المملكة العربية السعودية
وزارة التعليم العالي
جامعة أم القرى
كلية العلوم التطبيقية
قسم الفيزياء

الضـــــوء

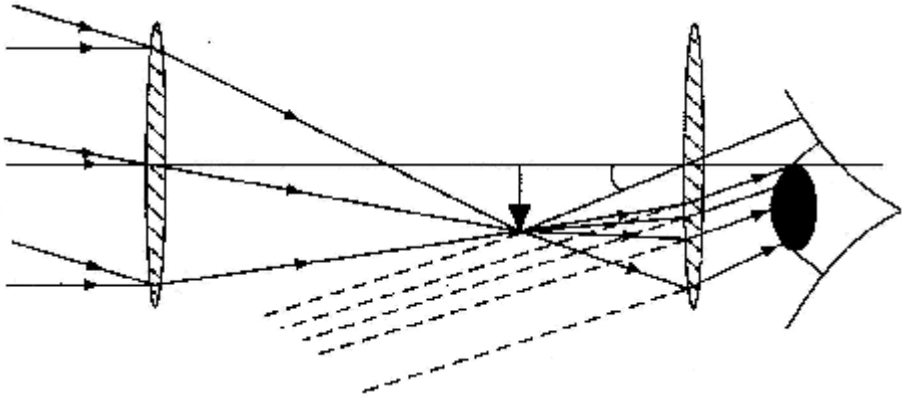
إعداد الدكتور

سعود الدحيان

الفصل الأول

انتشار الضوء وانعكاسه

Propagation and Reflection of Light



- انتشار الضوء في خطوط مستقيمة.
- القياس الضوئي.
- انعكاس الضوء عند سطح مستوى – المرآة المستوية.
- انعكاس الضوء عند سطح كرى – المرايا الكرية.

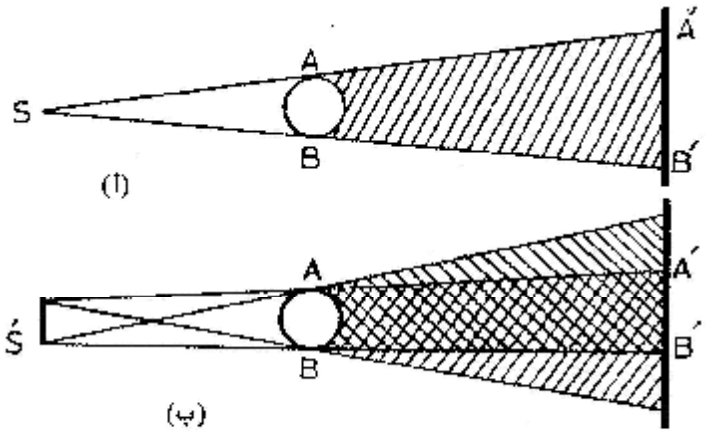
أسئلة الفصل.

١-١ انتشار الضوء في خطوط مستقيمة:

إذا اعتبرنا مصدراً ضوئياً نقطياً يصدر حزمة ضوئية من خلال ثقب صغير، فإنه يمكننا رؤية حدود هذه الحزمة الضوئية بنفث دقائق من الدخان أو الطباشير في مسارها، وإذا وضعنا في طريقها حاجزاً به ثقب أضيق من الأول، فإننا نحصل على حزمة ضوئية ضيقة. وإذا نجحنا في وضع ثقب صغير جداً في طريق الضوء المنبعث من المصدر النقطي بحيث نحصل على أضيق حزمة ضوئية ممكنة، فإنها عندئذ تسمى "شعاعاً ضوئياً". والواقع أنه لا يمكن الحصول عملياً على شعاع ضوئي،

وإنما نتحدث عنه من الناحية النظرية فقط لنفيد من تصوره في وصف سلوك الضوء وتحديد مساراته وتكوين صور الأجسام.

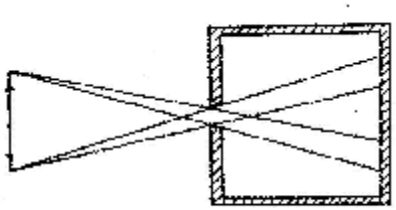
ومن أهم خصائص الضوء أنه ينتشر، أو ينتقل خلال الأوساط المتجانسة في خطوط مستقيمة، ويستدل على ذلك بتكوين الظلال عندما يعترض مسار الأشعة الضوئية عائق معتم. فإذا كان مصدر الضوء نقطياً كان الظل هو المسقط الهندسي للعائق، (شكل ١ - ١/ أ) أما إذا كان مصدر الضوء ممتداً، فإن المسقط الهندسي للعائق يتكون من منطقة ظل داخلية ومنطقة شبه ظل خارجية متدرجة العتمة، (شكل ١ - ١/ب).



شكل (١ - ١) أ. منطقة الظل $A'B'$ للجسم AB من مصدر نقطي S.
ب. منطقة شبه الظل نتيجة المصدر الممتد S'.

وقد كان الحسن بن الهيثم أول من برهن عملياً على صحة مبدأ الانتشار المستقيم للضوء وتكوّن الصور المقلوبة للمرئيات بتجربة الغرفة المظلمة، أو الخزانة ذات الثقب، فهو يقول في المقالة الأولى من كتابه "المناظر": "إذا كان في موضع واحد عدة سُرُج في أمكنة متفرقة وكانت جميعها مقابلة لثقب واحد، وكان ذلك الثقب ينفذ إلى مكان مظلم، وكان مقابل ذلك الثقب في المكان المظلم جدار، فإن أضواء تلك السرج تظهر على ذلك الجدار متفرقة،وبعدد تلك السرج وكل واحد منها مقابل لواحد من السرج على السمت (الخط) المستقيم الذي يمر بالثقب، وإذا ستر واحد من السرج بطل من الأضواء التي في الموضع المظلم الضوء الذي كان يقابل ذلك السراج فقط، وإن رفع الساتر عن السراج عاد ذلك الضوء إلى مكانه.

وتتوقف درجة وضوح الصورة المتكونة بهذه الطريقة على سعة الثقب وشدة استضاءة الجسم"، (شكل ١ - ٢).



شكل (١ - ٢) الخزانة ذات الثقب

١-٢ القياس الضوئي:

تختلف المصادر الضوئية عن بعضها البعض في كمية الضوء المنبعث منها. وفي النظام المتري تقاس قوة (أو شدة) إضاءة مصدر نقطي بوحدة تسمى "الشمعة العيارية" (أو كاندلا، ورمزها cd).

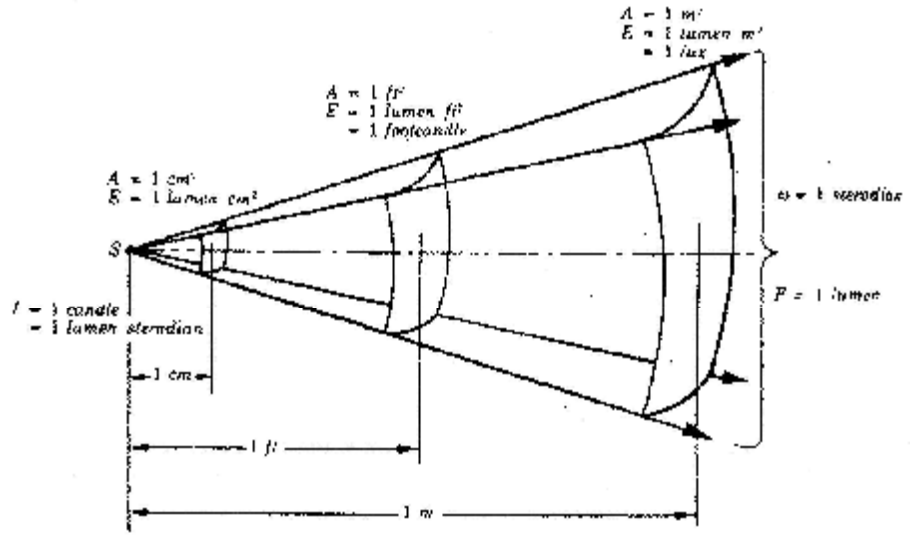
ويعرف الفيض (أو التدفق) الضوئي بكمية الضوء المنبعث من مصدر ضوئي في الثانية. ولما كان مقدار هذا الفيض صغيراً جداً بالنسبة للوحدات المطلقة التي تستخدم لقياس الطاقة بصفة عامة، فقد اتفق على وحدة خاصة له تسمى "ليومن"، ورمزها 1m، وتعرف بأنها الفيض الضوئي الذي ينبعث في الثانية من مصدر نقطي شدته شمعة عيارية واحدة، خلاف وحدة الزوايا المجسمة (استريديان sr) عمودياً على جزء من سطح كروي مساحته متر مربع واحد ويبعد عن المصدر مسافة متر واحد.

وحيث إن عدد وحدات الزوايا المجسمة حول مصدر نقطي هو 4π، فإن الفيض الضوئي الكلي F (مقاساً بالليومن) الذي ينبعث من مصدر شدة إضاءته I شمعة في جميع الاتجاهات هو:

$$F\,(lm) = 4\pi\,(sr) \times I\,(cd) \qquad (1\text{-}1)$$

من ناحية أخرى، كلما زادت قوة إضاءة المصدر الضوئي فإن كمية الضوء التي تسقط على السطوح القريبة تزداد أيضاً، أي أن استنارة أو استضاءة هذه السطوح تزداد. وتعرف شدة الاستضاءة E لسطح ما بالفيض الضوئي الساقط عمودياً على وحدة المساحات من هذا السطح. (شكل ١ - ٣) أي أن:

$$E = \frac{F}{A}\ 1m/m^2 \qquad (1-2)$$



شكل (١ - ٣) رسم تخطيطي لبيان معنى الفيض ووحدات شدة الاستضاءة المستخدمة

وفي النظام المتري يطلق على وحدة شدة الاستضاءة اسم "لاكس"، ورمزه lx ولكي نتخيل قيمة هـذه الوحدة نستعرض الجدول (١ - ١) الذي يبين بالتقريب شدة استضاءة النهار والليل وبعض المـصادر من حولنا. وإذا كان الفيض منبعثاً من مصدر نقطي قوته I كاندلا، وكانت المساحة A عبـارة عـن السطح الداخلي لكرة نصف قطرها r يقع مركزها عند المصدر، فإن شدة استضاءة السطح E معبـراً عنها باللاكس، هي:

$$E\ (1x) = \frac{F}{A} = \frac{4\pi I}{4\pi r^2} = \frac{I}{r^2}\ cd/m^2 \qquad (1-3)$$

وتدل هذه النتيجة على أن شدة الاستضاءة تتناسب عكسياً مع مربع بعد السطح عن المركـز (أو المصدر) وطردياً مع قوة المصدر الضوئي، وهو نص "قانون التربيع العكسي في الضوء".

جدول (١-١) قيم تقريبية لاستضائية بعض المصادر

صيغ الإضاءة	الاستضائية بوحدات ليومن /متر^2
نهار ساطع	١٠٠٠٠٠
نهار ملبد بغيوم وسحب	١٠٠٠
إضاءة داخلية نهارا	٢٠٠
إضاءة داخلية اصطناعية ليلا	١٠٠
سطح الشمس	٢ × ١٠^9

فتيلة متوجهة من التنجستن	٢ × ١٠^{٧}
سطح ورقة بيضاء في ضوء الشمس	٢٥٠٠٠
مصباح فلورسنت	٦٠٠٠
لهيب الشمع	٥٠٠٠
السماء الصافية	٣٢٠٠
سطح القمر	٢٩٠٠
نور القمر	٠,٢
سطح ورقة بيضاء في نور القمر	٠,٣

وفي حالة سقوط الضوء مائلاً بزاوية θ على العمودي على السطح فإن شدة استضاءة السطح تكون:

$$E = \frac{I}{r^2}\cos\theta \qquad (1-4)$$

ويختص مبحث "القياس الضوئي" (أو الفوتومترية) بدراسة طرق المقارنة بين قوى المصادر الضوئية باستخدام الفوتومترات، وهي أجهزة يتوقف عملها على إحداث شدتي استضاءة متساويتين من مصدرين ضوئيين، إما على سطح واحد بالتعاقب المتكرر، أو على سطحين قريبين في وقت واحد. وفي كلتا الحالتين تتناسب قوتا إضاءة مصدرين I_1 , I_2 تحدثان نفس شدة الاستضاءة على حاجز تناسب طردياً مع مربع بعدهما r_1, r_2 عن الحاجز، حيث إن:

$$E = \frac{I_1}{r_1^2} = \frac{I_2}{r_2^2}$$

فيكون:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

وتوجد عدة أنواع من الفوتومترات، من أمثلتها فوتومتر "جولي" وفوتومتر "ليومر – برودهن".

مثال ١ - ١:

مصباح من مصابيح الطرق معلق بارتفاع ٧ متر من الأرض، وكانت استضائية الطريق تحت المصباح مباشرة ١٠ ليومن/ م^{٢}. احسب قوة إضاءة المصباح.

الحل:

$$I = 10 \times 7^2 = 490 \text{ cd}$$

مثال ١ - ٢:

وضع حائل صغير على بعد ٥٠سم من منبع ضوئي بحيث كانت أشعة المنبع عمودية على الحائل. ثم أبعد الحائل حتى صار بعده ١٥٠سم. وأدير حتى صارت زاوية سقوط الأشعة على السطح ٦٠°. قارن بين شدتي استضاءة الحائل في الحالتين.

الحل:

في مثل هذه المسائل نبحث دائماً على الأشعة الساقطة عمودياً على الحائل. وفي حالة سقوط الأشعة بزاوية θ على العمودي على السطح. تكون العلاقة بين شدة الاستضاءة I وشدتها I_o لو كانت الأشعة العمودية هي:

$$I = I_o \cos\theta$$

نفرض أن شدتي الاستضاءة في الحالتين هما I_1 , I_2

$$\therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{I_1}{I_{o2}\cos\theta} = \frac{r_2^{\,2}}{r_1^{\,2}} \frac{1}{\cos\theta}$$

$$= \frac{(150)^2}{(50)^2 \cos 60} = \frac{3^2}{\left(\frac{1}{2}\right)} = 18$$

١-٣ انعكاس الضوء عند سطح مستوى – المرآة المستوية:

عند سقوط أشعة ضوئية على سطح يفصل بين وسطين فإن قدرا من الطاقة الشمسية يرتد وينعكس في الوسط الذي سقط منه وتتوقف نسبة ما ينعكس من ضوء على طبيعة السطح العاكس. فسطح الزجاج مثلاً يعكس ٥٪ من الأشعة الساقطة ويمتص ما بقي منها. والمرآة التي تستعمل بكثرة في حياتنا اليومية عبارة عن سطح أملس مفضض، يصنع بترسيب طبقة رقيقة من الفضة على السطح الخلفي للوح زجاجي.

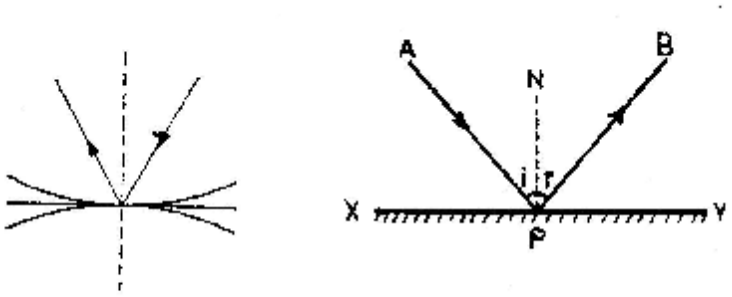
وقد يكون الانعكاس منتظماً عند الأسطح المصقولة، بينما يكون غير منتظم عند الأسطح الخشنة، حيث تنتشر الأشعة المنعكسة في جميع الاتجاهات الممكنة لتكون ما يعرف بظاهرة التشتت.

وجدير بالذكر أن جميع الأشياء التي نراها في حياتنا اليومية، كالزهور والكتب والملابس وغيرها من المرئيات، إنما ترى نتيجة لتشتت الضوء الساقط عليها بسبب خشونة السطح، إلا أن زاوية سقوط الأشعة عند نقطة ما تختلف عنها عند نقطة أخرى، بخلاف ما يحدث عند سطح مستو مصقول.

وتعرف الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام عند نقطة السقوط على السطح الأملس المستوي بزاوية السقوط. وكذلك تعرف الزاوية بين الشعاع المنعكس والعمود عند نقطة السقوط بزاوية الانعكاس (شكل ١ - ٤) وعلى ذلك يمكن تلخيص قانوني الانعكاس كما يلي:

١ - زاوية السقوط = زاوية الانعكاس.

٢ - الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود على السطح العاكس من نقطة السقوط تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس.



شكل (١ - ٤) بيان ظاهرة الانعكاس من على سطح مرآة مستوية وكذلك أسطح كرية وتمثل دأ، زاوية السقوط، دك، زاوية الانعكاس عند النقطة P على سطح المرآة XY.

وهناك عدد من الحقائق نورد منها:

١ - عند دوران سطح عاكس بزاوية قدرها (θ) ينحرف الشعاع المنعكس بزاوية قدرها (2θ) وأمكن الاستفادة من هذه الحقيقة في عدد من الأجهزة البصرية.

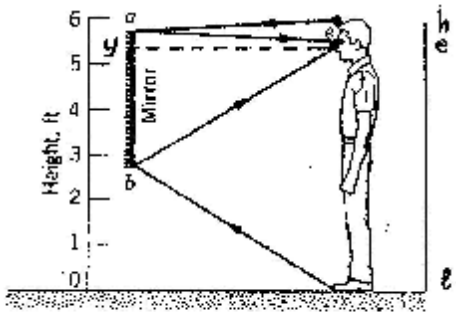
٢ - إذا وضع جسم نقطي بين مرآتين مستويتين بينهما زاوية (θ) فإن عدد الصور الناتجة من الانعكاسات المتعددة عند سطحي المرآتين يُعطى بالعلاقة:

$$n = \frac{360}{\theta} - 1$$

وإذا لم يكن الناتج عدداً صحيحاً يكمل الكسر إلى العدد الصحيح التالي.

مثال ١ - ٣:

إذا نظر شخص طوله ١٧٤سم، إلى مرآة مستوية، وكان ارتفاع مستوى نظره من سطح الأرض هو ١٦٠سم فما هو أقل طول رأسي للمرآة إذا أراد هذا الشخص أن يشاهد جسمه كاملاً في المرآة؟ (شكل ١ - ٥)



شكل (١ - ٥) توضيح المثال ١ - ٣

الحل:

يبين الرسم مسار الأشعة الضوئية اللازمة لإظهار الجسم كاملاً في المرآة.

في الشكل تمثل lh طول الشخص (١٧٤سم).

le ارتفاع مستوى النظر (١٦٠سم).

he ارتفاع الرأس فوق مستوى النظر (١٤سم).

وشرط الحصول على صورة كاملة هو سقوط شعاع من h على أعلى نقطة في المرآة (a) وينعكس عند مستوى النظر (e) فيكون:

$$ay = \frac{1}{2}(he) = \frac{1}{2} \times (14) = 7\,cm$$

وذلك بتطبيق قانون الانعكاس عند النقطة (a).

وكذلك سقوط شعاع من أسفل القدم (l) على أدنى نقطة في المرآة (b) ينعكس عند مستوى النظر (e) وبتطبيق قانون الانعكاس عند النقطة (b) يكون:

$$y\,b = \frac{1}{2}(el) = \frac{1}{2} \times 160 = 80\ cm$$

وبذلك يكون طول المرآة:

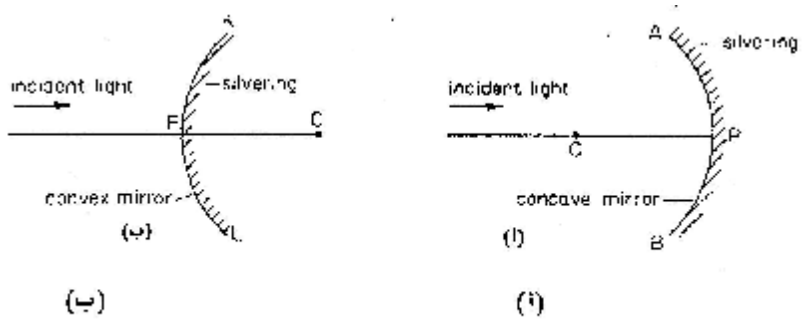
$$a\,b = a\,y + yb$$
$$= 7 + 80 = 87\ cm$$

نستخلص من هذا المثال أنه كي يرى شخص ما طوله كاملاً في مرآة مستوية وجب ألا يقل طولها عن نصف طوله.

٤-١ انعكاس الضوء عن سطح كرى – المرايا الكرية:

عند سقوط أشعة ضوئية على سطح عاكس كرى فإنها تنعكس عند نقاط السقوط المختلفة وفقاً لقانوني الانعكاس اللذين ورد ذكرهما من قبل.

وتعرف المرآة الكرية بأنها السطح الناتج من تقاطع كرة عاكسة بمستوى. وهذه المرآة قد تكون مرآة مقعرة إذا كان سطحها الداخلي هو السطح العاكس، أو تكون مرآة محدبة إذا كان سطحها الخارجي هو السطح العاكس. (شكل ١ - ٦)



شكل (١ – ٦) المرآة المقعرة (أ) والمرآة المحدبة (ب)

وتتميز المرايا الكرية بالخواص التي يمكن تلخيصها فيما يلي:

١ - قطب المرآة، وهي نقطة ارتكاز السطح الكري على مستوى أملس أفقي.

٢ - مركز المرآة، وهو المركز الهندسي للكرة التي تمثل المرآة جزءاً منها، والمسافة بينه وبين القطب هو نصف قطر تكور المرآة.

٣ - المحور الرئيسي للمرآة، ،هو المستقيم الواصل بين قطب المرآة ومركزها ويعرف أيضاً بالمحور البصري.

٤ - بؤرة المرآة، وهي نقطة تتجمع عندها الأشعة المنعكسة إذا ما سقطت أشعة متوازية على سطح المرآة. وهذه قد تكون بؤرة حقيقية تُستقبل على حائل أمام المرآة في حالة المرآة المقعرة، أو تكون بؤرة تقديرية لا تُستقبل على حائل لوجودها خلف المرآة في حالة المرآة المحدبة.

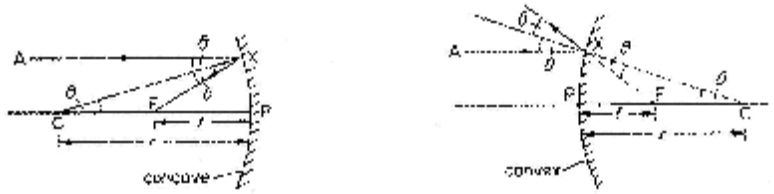
٥ - البعد البؤري للمرآة، وهو الجزء من المحور البصري فيما بين قطب المرآة وبؤرتها.

٦ - البعد البؤري للمرآة الكرية يساوي نصف قيمة قطر تكورها.. بمعنى آخر يكون نصف قطر تكور المرآة مساوياً لضعف البعد البؤري.

ويمثل شكل (١ - ٧) سقوط حزمة ضوئية ضيقة موازية للمحور الرئيسي، وعلى مقربة منه، على سطح مرآة مقعرة، وكذلك على سطح مرآة محدبة.

وتظهر الأشعة المنعكسة من سطح المرآة المقعرة متجمعة في نقطة أمامها، هي البؤرة الحقيقية (F). بينما تظهر الأشعة المنعكسة من سطح المرآة المحدبة وكأنها متفرقة من نقطة خلف المرآة، هي البؤرة التقديرية (F) لها (شكل ١ - ٧أ).

شكل (١ - ٧أ) حزمة ضوئية ضيقة موازية للمحور الرئيسى
تسقط على مرآة مقعرة ومرآة محدبة



شكل (١ - ٧ ب) العلاقة بين البعد البؤرى ونصف قطر تكور السطح
فى مرآة مقعرة ومرآة محدبة

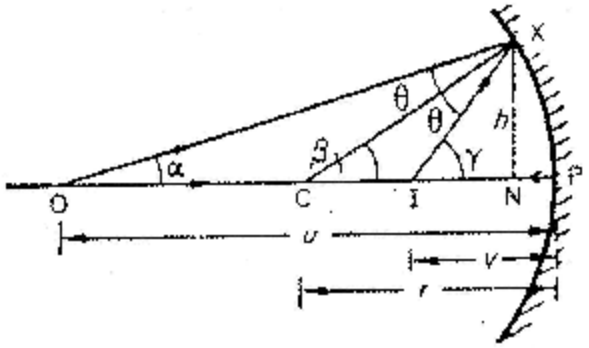
ويمثل شكل (١ - ٧ب) العلاقة بين البعد البؤري ونصف قطر تكور السطح في حالتي المرآة الكرية.

ولإيجاد علاقة رياضية تربط بين بعد الجسم وبعد الصورة وثابت المرآة (البعد البؤري) نعتبر (شكل١ - ٨) وفيه مرآة مقعرة قطبها P ومركز تكورها C يخرج شعاع من مصدر نقطي مضيء عند O لينعكس عند X وفقاً لقانوني الانعكاس في الاتجاه XI حيث يتكون صورة عند النقطة I ومن هندسة الشكل نجد:

$$\hat{\beta} = \hat{\theta} + \hat{\alpha}$$
$$\hat{\gamma} = \hat{\theta} + \hat{\beta}$$
$$\therefore 2\hat{\beta} = \hat{\alpha} + \hat{\gamma}$$

وإذا كانت هذه الزوايا صغيرة فإن النقطة (X) التي ينعكس عندها الشعاع الساقط تكاد تقترب من قطب المرآة P وعليه يمكن بالتقريب، ودون خطأ يذكر، اعتبار أن:

$$\alpha = \frac{h}{op} = \frac{h}{u}$$
$$\beta = \frac{h}{cp} = \frac{h}{r}$$
$$\gamma = \frac{h}{ip} = \frac{h}{v}$$



شكل (١ - ٨) العلاقة بين موضع الجسم O وموضع الصورة I

وبالتعويض عن هذه القيم نجد أن:

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

وباعتبار أن نصف قطر التكور (r) يساوي ضعف البعد البؤري f أي:

$$r = 2F$$

فإن العلاقة تصبح:

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \qquad (1-5)$$

وهذه العلاقة يمكن تعميمها لكل من المرآة المقعرة والمرآة المحدبة، شريطة اعتبار قاعدة الإشارات التي تنص على أن البعد البؤري يكون موجباً في المرآة المقعرة وسالباً في المرآة المحدبة. كما أن جميع المسافات مقاسة من قطب المرآة تكون سالبة في اتجاه انتشار الضوء وموجبة في الاتجاه المضاد لانتشار الضوء.

وتعرف قوة تكبير المرآة (m) بالعلاقة:

$$\text{قوة التكبير} = \frac{\text{طول الصورة}}{\text{طول الجسم}} = \frac{\text{بعد الصورة عن قطب(بؤرة) المرآة}}{\text{بعد الجسم عن قطب(بؤرة) المرآة}}$$

$$\therefore m = \frac{v}{u} \qquad (1-6)$$

ومن حالات القانون العام للمرايا الكرية نلاحظ ما يلي:

١ - إذا كان هناك جسم على بعد لانهائي من المرآة فإن:

$$u = \infty$$

$$\text{Q} \quad \frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore \ v = f$$

أي أن الصورة تتكون عند البعد البؤري.

٢ - إذا كان الجسم عند مركز تكور المرآة فإن:

$$u = r = 2f$$

$$\therefore \frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{2f} = \frac{1}{2f}$$

$$\therefore v = 2f$$

تكون الصورة عندئذ منطبقة على موضع الجسم عند المركز.

٣ - إذا كانت الصورة عند بعد يساوي البعد البؤري فإن:

$$u = f$$

$$\therefore \frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{f} = 0$$

$$\therefore v = \infty$$

أي تكون الصورة على بعد لانهائي بأشعة منعكسة وموازية لبعضها البعض.

٤ - إذا كانت $u < f$ تتكون صورة تقديرية للمرآة المقعرة.

وتساعد الأمثلة التالية على تعميق فهم هذه العلاقات الأساسية:

مثال ١ - ٤:

وضع جسم على بعد ١٠سم أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري ١٥سم. أوجد موضع الصورة وقوة التكبير.

الحل:

Q المرآة مقعرة

$$\therefore f = +15\ cm$$

Q الجسم الحقيقي موضع أمام المرآة

$$\therefore u = +10\ cm$$

بالتعويض في العلاقة العامة:

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

$$\therefore \frac{1}{v} + \frac{1}{(+10)} + \frac{1}{(+15)}$$

$$\therefore \frac{1}{v} = \frac{1}{15} - \frac{1}{10} = -\frac{5}{150}$$

$$\therefore v = -30\ cm$$

Q بعد الصورة سالب، فإن الصورة تكون تقديرية وعلى بعد ٣٠سم خلف المرآة وتكون قوة التكبير:

$$m = \frac{v}{u} = \frac{30}{10} = 3$$

أي أن ارتفاع الصورة يساوي ٣ مرات قدر ارتفاع الجسم.

مثال ١ - ٥:

مرآة محدبة نصف قطر تكورها ٢٤سم. تكونت خلفها صورة على بعد ٤سم من القطب. أوجد موضع الجسم واحسب قوة التكبير.

الحل:

أولاً نعين البعد البؤري من:

$$r = 2f$$

$$\therefore 24 = 2f$$

$$\therefore f = 12\ cm$$

ولكون المرآة محدبة والصورة الناتجة تقديرية فإن:

$$f = (-12\ cm)$$

$$v = (-4\ cm)$$

وبالتعويض في العلاقة العامة:

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$
$$\frac{1}{(-4)}+\frac{1}{u}=\frac{1}{(-12)}$$
$$\therefore u=+6\ cm$$

وبذلك يكون الجسم حقيقياً، ويقع أمام المرآة وعلى بعد ٦سم من القطب.

ولحساب قوة التكبير:

$$m=\frac{v}{u}=\frac{4}{6}=\frac{2}{3}$$

أي أن الصورة مصغرة بقدر $\frac{2}{3}$ من طول الجسم.

مثال١ - ٦:

تكونت صورة معتدلة باستخدام مرآة مقعرة نصف قطر تكورها ٣٦سم. فإذا كانت قوة التكبير = ٣. احسب موضع الجسم.

الحل:

نفرض أن بعد الجسم عن قطب المرآة هو Xcm وحيث إن قوة التكبير m تساوي ثلاثة:

$$\therefore m=\frac{v}{u}=\frac{v}{x}=3$$
$$\therefore v=3x$$

فيصبح بعد الصورة

في المرآة المقعرة لا تكون الصورة معتدلة إلا إذا كانت تقديرية وعليه فإن:

$$v=(-3x)$$
$$u=(+x)$$
$$f=\frac{r}{2}=\frac{36}{2}=(+18)$$

وبالتعويض في:

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$
$$\frac{1}{(-3x)}+\frac{1}{(+x)}=\frac{1}{(+18)}$$
$$\therefore x=+12\ cm$$

وهو بعد الجسم عن قطب المرآة المقعرة.

أسئلة الفصل الأول

١ - خلية كهروضوئية تقيس شدة الاستضاءة التي تستقبلها من الشمس على أنها تساوي 10^5 lx، إذا كانت المسافة بين الأرض والشمس هي $10^5 \times 10^{11}$ m احسب قوة استضاءة الشمس.

٢ - ما هو الفيض الضوئي على سطح كروي مساحته 0.3 m^2 ونصف قطره 4m إذا وضع مصدر ضوئي قوته 800 cd عند المركز؟

٣ - ما الفرق بين الانعكاس المنتظم والانعكاس المشتت؟ اذكر بعض الظواهر التي يتضح فيها أثر الانعكاس المشتت.

٤ - استنتج المعادلة العامة لانعكاس الأشعة عند سطح مرآة كرية.

٥ - مرآة للحلاقة تستخدم على بعد ١٥سم من الوجه. وتحدث تكبيراً مضاعفاً للوجه فيها. احسب قوتها وبعدها البؤري.

٦ - وضع جسم على بعد ١٠سم من مرآة كرية، فتكونت له صورة مقلوبة على بعد ٥سم من المرآة. استنتج نوع المرآة ونصف قطر تكورها.

٧ - كونت مرآة لامة صورة حقيقية لجسم ما مكبرة ثلاث مرات وعلى مساحة مترين من سطحها. فإذا أريد أن تتكون الصورة على بعد ٤ أمتار فما تكون درجة تكبيرها؟

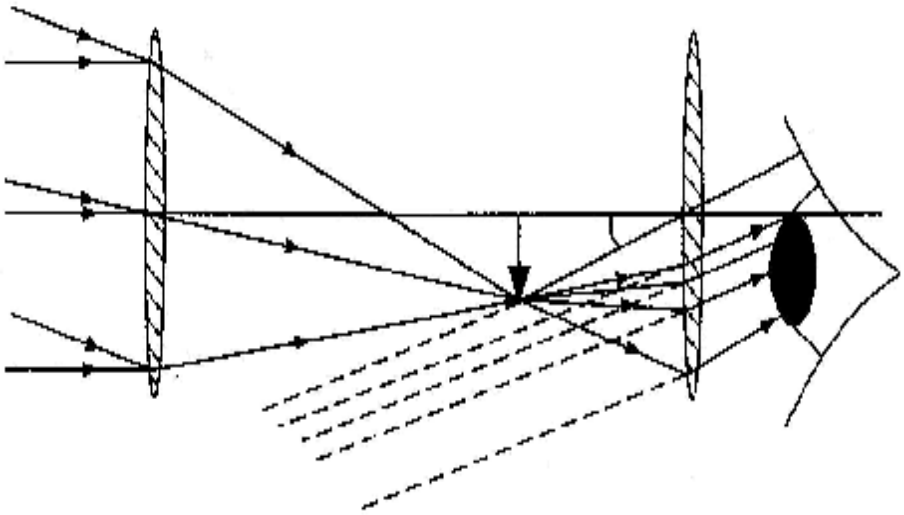
٨ - إذا وضعت نقطة مضيئة بين مرآتين مستويتين متوازيتين، البعد بينهما ١٥سم. فكم عدد الانعكاسات التي تصبح بعدها المسافة بين الجسم والصورة ٩٠سم.

٩ - مرآتان مستويتان وضعتا بحيث تميل إحداهما على الأخرى زاوية قدرها ٣٥°، ثم سقط شعاع ضوئي على إحدى المرآتين بزاوية قدرها ٦٠°. أوجد بالرسم زاوية انحراف الشعاع الخارجي بالانعكاس من المرآتين على التوالي.

الفصل الثاني

انكسار الضوء

Refraction of Light

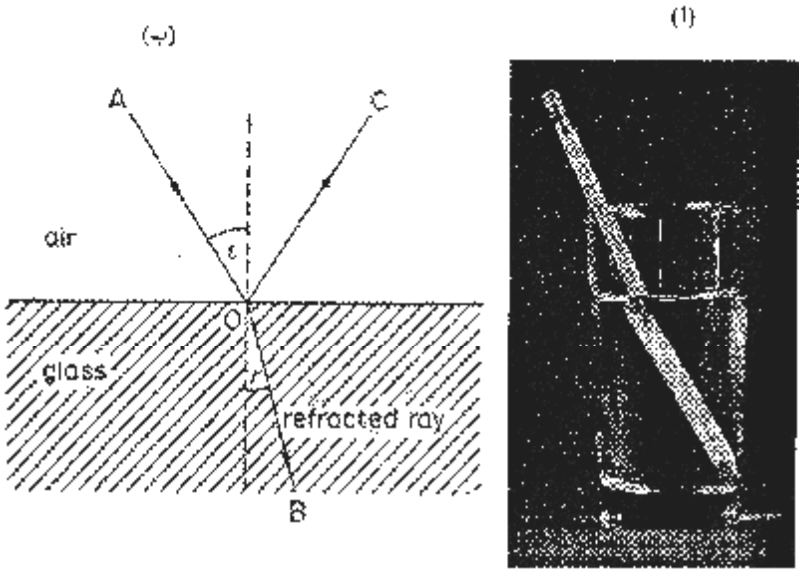


- قانونا الانعطاف (الانكسار).
- معامل الانكسار.
- الانعكاس الكلي والزاوية الحرجة.
- تعيين معامل انكسار سائل.
- انكسار الضوء خلال منشور ثلاثي.
- تغير زاوية الانحراف في المنشور.
- انحراف الأشعة بواسطة المنشور الرقيق.
- الانكسار عند الأسطح الكرية.
- العلاقة العامة بين بعد الجسم وبعد الصورة عن سطح كرى.

أسئلة الفصل.

٢-١: قانونا الانعطاف (الانكسار):

دلت المشاهدات على أنه إذا سقط شعاع ضوئي من وسط متجانس إلى آخر، فإنه يعاني انحرافاً عند السطح الفاصل بين الوسطين، ويتبع مساراً جديداً كما يوضحه شكل (٢ - ١) تعرف هذه الظاهرة بانعطاف (انكسار) الضوء.



شكل (٢ - ١)

أ - صورة لقلم رصاص وضع في كأس ماء فظهر الانكسار في مسار القلم عند سطح الماء

ب - مسار الشعاع المنكسر B داخل الزجاج والجزء المنعكس C عند السطح.

وتخضع الظاهرة لقانونين أساسيين صاغهما ابن الهيثم، ومن بعده نيوتن، ثم سنيل، على النحو التالي:

١ - الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والعمود على السطح الفاصل عند نقطة السقوط تقع جميعها في مستوى واحد.

٢ - النسبة بين جيب زاوية السقوط إلى جيب زاوية الانكسار لأي وسطين تكون دائماً ثابتة بثبات الوسطين.

ومن شكل (٢ - ١) نجد أن:

زاوية السقوط ($\hat{i}$) هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام على السطح عند نقطة السقوط.

زاوية الانكسار ($\hat{r}$) هي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر والعمود المقام على السطح عند نقطة السقوط.

وعليه فإن:

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \text{Constant} \qquad (2-1)$$

٢-٢: معامل الانكسار:

تعرف النسبة المعرفة بالعلاقة (٢ - ١) بمعامل الانكسار (μ) النسبي للوسطين المعطيين. وحيث إن هذه النسبة تعتمد على لون الضوء الساقط (الطول الموجي للضوء) فقد جرى العرف على

حساب هذه النسبة باستخدام اللون الأصفر (٥٨٩٠ أنجستروم) وإذا ميزنا وسط السقوط بالرقم (١) ووسط الانكسار بالرقم (٢) فإن معامل الانكسار النسبي يمكن كتابته على الصورة $1\mu_2$

وقد اعتمد العلماء جداول لمعاملات انكسار المواد المختلفة باعتبار وسط السقوط هو الفراغ، وفي هذه الحالة يعرف المعامل (μ) بمعامل الانكسار المطلق لوسط الانكسار.

ويبين الجدول التالي معامل الانكسار المطلق لعدد من المواد، وذلك عند الطول الموجي ٥٨٩٠ أنجستروم والخاص بضوء الصوديوم.

إذا انتقل الضوء من وسط (١) ذي معامل انكسار مطلق μ_1 إلى وسط (٢) ذي معامل انكسار مطلق μ_2 فإن معامل الانكسار النسبي بين الوسطين (١)، (٢) يوجد بالعلاقة:

$$1\mu_2 = \frac{\mu_2}{\mu_1} \qquad (2-2)$$

وإذا كانت زاوية سقوط الشعاع في الوسط (١) هي θ_1 وزاوية الانكسار في الوسط (٢) هي θ_1 فإن:

$$1\mu_2 = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} \qquad (2-3)$$

جدول (١-٢) معاملات الانكسار المطلق لعدد من المواد عند الطول الموجي ٥٨٩٠ أنجستروم الخاص بالضوء الأصفر

الوسط	معامل الانكسار (μ)
ماء	١,٣٣
كحول إيثيلي	١,٣٦
ثاني كبريتيد الكربون	١,٦٣
يوديد المثيلين	١,٧٤
زجاج تاجي	١,٥٢
زجاج صخري كثيف	١,٦٦
كلوريد الصوديوم	١,٥٣
بولي إيثلين	١,٥٢
فلوريت	١,٤٣

ويحدث الانكسار في شعاع الضوء عند انتقاله من الوسط (١) إلى الوسط (٢) لاختلاف سرعة الضوء باختلاف الوسط. فإذا كانت سرعته في الوسط (١) هي v_1 وسرعته في الوسط (٢) هي v_2 فإن:

$$1\mu_2 = \frac{v_1}{v_2} \qquad (2-4)$$

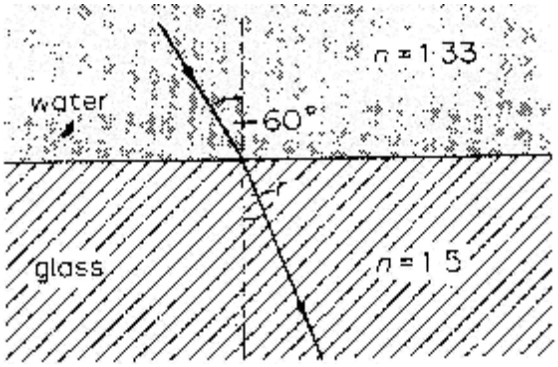
فإذا كان الوسط (١) هو الفراغ وكانت سرعة الضوء فيه هي c، وسرعته في الوسط (٢) هي v، فإن معامل الانكسار المعرف بالعلاقة السابقة يصبح في هذه الحالة معاملاً مطلقاً للوسط المواجه للفراغ، ولكون:

$$\mu_2 = \frac{c}{v} \qquad (2-5)$$

وقد جرى العرف على اعتبار سرعة الضوء في الفراغ مساوية لسرعته في الهواء دون خطأ يذكر عند تطبيق هذه العلاقة.

مثال: ٢ - ١:

يمر شعاع ضوء خلال سطح يفصل بين الماء (معامل انكساره ١,٣٣) والزجاج (معامل انكساره ١,٥). فإذا كانت زاوية السقوط في الماء ٦٠° (شكل ٢ - ٢) احسب زاوية الانكسار في الزجاج ومعامل الانكسار النسبي بين الماء والزجاج. وكذلك معامل الانكسار النسبي بين الزجاج والماء.



شكل (٢ - ١) توضيح المثال ٢ - ٢

الحل:

معامل الانكسار النسبي بين الماء والزجاج ${}_w\mu_g$:

$$\therefore {}_w\mu_g = \frac{\mu_g}{\mu_w} = \frac{1.50}{1.33}$$

ومعامل الانكسار النسبي بين الزجاج والماء ${}_g\mu_w$:

$${}_g\mu_w = \frac{\mu_w}{\mu_g} = \frac{1.33}{1.50} = \frac{1}{{}_w\mu_g}$$

ولحساب زاوية الانكسار فإن:

$${}_w\mu_g = \frac{\sin 60}{\sin r}$$

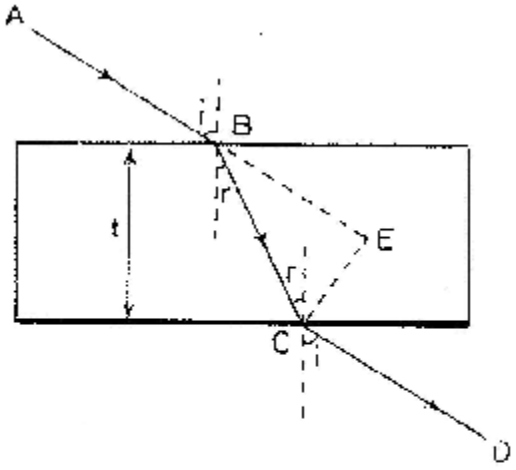
حيث ($\hat{r}$) هي زاوية الانكسار في الزجاج، بينما زاوية السقوط = ٦٠°، وتقع في الماء.

$$\therefore \frac{1.50}{1.33} = \frac{\sin 60}{\sin r}$$

$$\therefore \sin r = \left(\frac{1.33}{1.50}\right) \sin 60 = 0.768$$

$$\therefore r = 50.2^o$$

وفي معامل الفيزيـــاء قـــد يـــستخدم متوازي مستطيلات لدراسة انكسار الأشـــعة الضوئية. فإذا سقط شعاع ضوئي من الهواء على أحد السطحين المتوازيين فإنـــه يعـــاني انكساراً في مساره، ويقترب فيه من العمـــود المقام عند نقطـــة الـــسقوط شـــكل (٢-٣أ). وعند خروج الشعاع إلى الهواء من الـــسطح المقابل فإنه يعاني انكساراً، ويبتعد في مساره عن العمود المقام عند نقطة خروج الـــشعاع المسطح. ويكون الشعاع الخارج موازياً



شكل (٢ – ١٣) الانكسار خلال متوازي المستطيلات الزجاجي

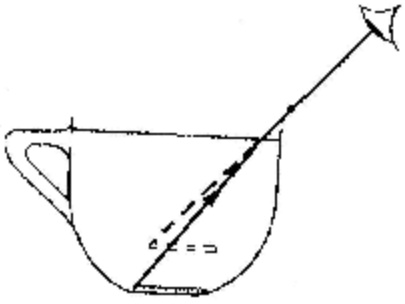
من للشعاع الساقط، ولكن بإزاحة عمودية على اتجاه السقوط. وتتوقف قيمة هذه الإزاحـــة المـــستعرضة على مقدار عرض متوازي المستطيلات المستخدم.

وفي الحياة يظهر أثر ظاهرة الانكسار جلياً عند حمامات السباحة، حيث يبدو للرائي اقتـــراب عمق الحمام من سطح الماء معطياً بذلك عمقاً وهمياً أو ظاهرياً، ويمكن تحديد هذا العمق الظـــاهري بالعلاقة:

$$\text{معامل انكسار الماء} = \frac{\text{العمق الحقيقي}}{\text{العمق الظاهري}} \qquad (2\text{-}6)$$

مثال ٢-٢:

وضع جسم على عمق ٦سم أسفل سطح المـــاء فـــي إناء. فإذا كان معامل انكسار الماء ١,٣٣. احـــسب الإزاحـــة الرأسية التي ظهرت في موضع الجسم.



شكل (٢ – ٣ ب) توضيح المثال ٢ – ٢

الحل:

الإزاحة الرأسية = البعد الحقيقي – البعد الظاهري.

$$= \text{البعد الحقيقي} - \left(\frac{\text{العمق الحقيقي}}{\text{معامل الانكسار}} \right)$$

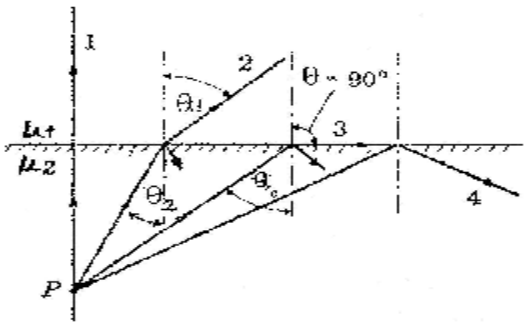
$$= \text{البعد الحقيقي} \left(1 - \frac{1}{\text{معامل الانكسار}} \right)$$

$$= ٦ \left(1 - \frac{1}{1.33} \right) = ١,٥ \text{ سم}$$

٢-٣: الانعكاس الكلي والزاوية الحرجة:

من المشاهدات العملية أنه إذا سقط شعاع من الضوء على سطح مستو فاصل بين زجاج وهواء فإنه ينقسم إلى شعاعين: أحدهما يمر في الهواء منكسراً بعيداً عن العمودين على السطح بزاوية انكسار، والآخر ينعكس في الزجاج بنسبة قليلة. وإذا زادت زاوية سقوط الشعاع θ_2 في الزجاج زادت تبعاً لذلك زاوية الانكسار θ_1 في الهواء إلى أن تصل إلى الحالة الحرجة، وعندما يكون الشعاع المنكسر منطبقاً على السطح الفاصل حيث تكون زاوية الانكسار $(\theta_1=90)$ تناظرها زاوية سقوط $(\theta_c = \theta_2)$ تعرف بالزاوية الحرجة.

وإذا زادت زاوية السقوط عن قيمة الزاوية الحرجة θ_c فإن الطاقة الضوئية لا ينفذ منها شيء إلى الهواء، وترتد كلها لتنعكس انعكاساً كلياً في الزجاج. وتعرف هذه الحالة بالانعكاس الكلي الداخلي للضوء (شكل ٢ - ٤).



شكل (٢ – ٤) الزاوية الحرجة θ_c والانعكاس الكلي (الشعاع ٤) داخل الوسط الأكثف ضوئيا

وبتطبيق قانون سنل على الحالة الحرجة نجد أن:

$$\mu_2 \sin\theta_2 = \mu_1 \sin\theta_1$$
$$\therefore \ \mu_2 \sin\theta_c = \mu_1 \sin 90$$
$$\therefore \quad \sin\theta_c = \frac{\mu_1}{\mu_2} \qquad (2-7)$$

من ذلك نرى أنه إذا حاول شعاع ضوئي أن ينتقل من مادة تتميز بكثافة ضوئية عالية (ذات معامل انكسار كبير) إلى مادة تتميز بكثافة ضوئية أقل (ذات معامل انكسار أصغر) فإنه سينعكس كلياً داخلياً إذا زادت زاوية السقوط عن الزاوية الحرجة المعطاة بالعلاقة (٢-٧)، ويلاحظ أن الزاوية الحرجة تحدث فقط في الوسط الأكبر كثافة ضوئية.

وتبلغ الزوايا الحرجة النموذجية للماء ٤٩°، للزجاج ٤٢°، وللماس ٢٤°. ويدين الماس بقدر كبير من جماله لظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي، حيث يقوم الجوهري بقطع البلورة بطريقة معينة بحيث إذا دخلها شعاع ضوئي فإنه يضطر أن يصطدم بالسطوح الداخلية بزاوية أكبر من ٢٤°، وهي الزاوية الحرجة للماس، وينعكس الشعاع الحبيس عدة مرات داخل البللورة قبل أن يتمكن من الهرب، وهذا ما يجعل الماس يتلألأ في جميع الاتجاهات.

كذلك يمكن إمرار الضوء خلال أنبوبة من البلاستيك الشفاف فيعاني الضوء انعكاساً كلياً داخلياً عند حدود الأنبوبة متتبعاً محيطها، ويخرج من طرفها الآخر كحزمة متفرقة، فيمكن بذلك نقل الضوء من مكان لآخر باستخدام حزمة من الألياف الزجاجية الدقيقة. ويستخدم الأطباء والجراحون آلات مختلفة (مناظير) تعمل بهذه القاعدة لرؤية الجسم من الداخل.

مثال: ٢-٣:

يسقط شعاع ضوئي في زجاج على سطح يفصل بين الزجاج والماء. فإذا كانت معاملات الانكسار ١,٥ للزجاج، ١,٣٣ للماء. احسب الزاوية الحرجة.

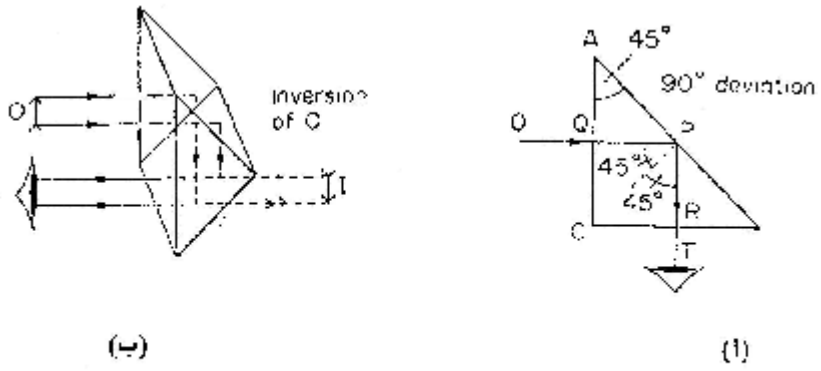
الحل:

تحدث الزاوية الحرجة في الوسط الأكبر كثافة ضوئية، أي في الزجاج ويكون:

$$\sin\theta_c = \frac{\mu_w}{\mu_g}$$
$$\therefore \quad \sin\theta_c = \frac{1.33}{1.50} = 0.889$$
$$\therefore \quad \theta_c = 63^o$$

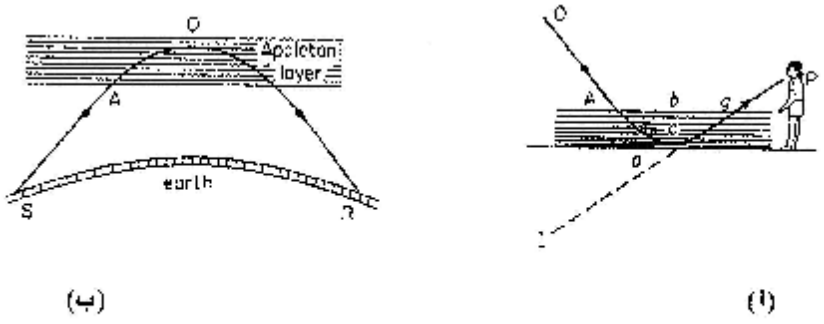
هنالك تطبيقات أخرى لظاهرة الانعكاس الكلي منها المنشور العاكس، والمنشور القالب (شكل ٢-٥)، وكلاهما منشور قائم متساوي الساقين. ويتضح من الشكل في كلتا الحالتين أن الأشعة تدخل

المنشور حيث تسقط على السطح الداخلي المواجه للزاوية القائمة فيه بزاوية أكبر من ٤٢° وهي الزاوية الحرجة للزجاج، وبذلك يحدث انعكاس كلي عند هذا السطح. ويلاحظ في حالة المنشور العاكس أن الشعاع الخارجي (المنعكس) يتعامد مع الشعاع الساقط. وتمتاز هذه الطريقة لعكس الأشعة في الأجهزة البصرية على طريقة المرآة المستوية بقوة انعكاس كبيرة. أما عمل المنشور القالب فيتضح بسهولة من تتبع الشعاعين الساقطين عليه حيث يخرجان من الجانب الآخر في نفس اتجاه سقوطهما. ولكن بتبادل موقعيهما.



شكل (٢ ـ ٥) (أ) المنشور العاكس
(ب) المنشور القالب

كذلك نجد في ظاهرة السراب تطبيقاً مجسداً للانعكاس الكلي، ففي المناطق الحارة تزداد سخونة طبقات الهواء كلما اقترب من سطح الأرض. وتتناقص معها كثافة الهواء. فإذا ما سقط شعاع ضوئي من جسم ما نحو الأرض فإنه يعاني انكساراً خلال طبقات الهواء ذات الكثافات الضوئية المتناقصة إلى أن يصل إلى طبقة مثل I (شكل ٢ - ٦) تكون عندها زاوية السقوط مساوية للزاوية الحرجة لهذه الطبقة من الهواء فينعكس عندها انعكاساً كلياً، ويحمل هذا الشعاع المنعكس إلى يمين الرائي صورة للجسم على امتداد الشعاع عند I فتبدو وكأنها صورة منعكسة من سطح مياه عند موقع الجسم.



شكل (٢ - ٦) (أ) بيان ظاهرة السراب عند سطح الأرض
(ب) بيان ظاهرة انعكاس الموجات الكهرومغنطيسية عند طبقات الجو العليا

ويمكن بنفس الطريقة تفسير انعكاس الموجات الكهرومغناطيسية عند "طبقة أبلتون" في طبقات الجو العليا.

٢-٤: تعيين معامل انكسار سائل:

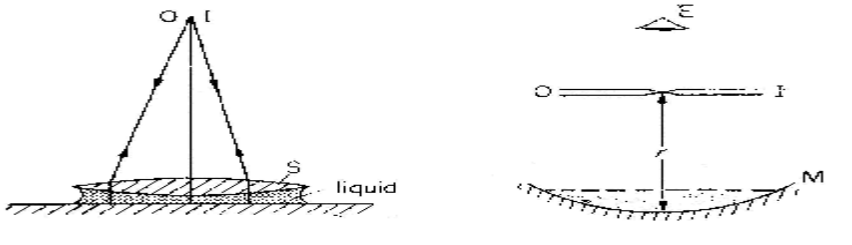
توجد طرق عديدة لتعيين معامل انكسار السوائل، منها استعمال المرآة المقعرة، وفيها توضع مرآة مقعرة أفقياً، ثم نعين نصف قطر تكورها r_1 بطريقة انطباق المواضع (موضعي جسم وصورته) ثم نغطي سطح المرآة بالسائل المراد تعيين معامل انكساره (μ) ونعيد تعيين نصف قطر التكور r_2 من ذلك يكون:

$$\mu = \frac{r_1}{r_2} \qquad (2-8)$$

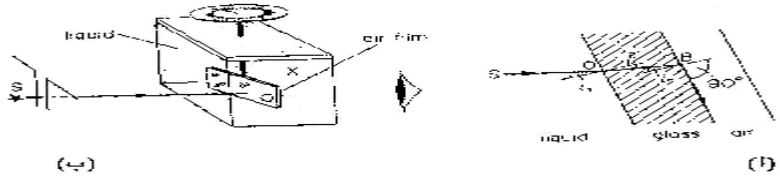
وقد تجرى هذه التجربة بتكوين عدسة سائلة بين مرآة مستوية وعدسة محدبة (شكل ٢ - ٧أ).

إضافة لذلك هناك أجهزة معدة لقياس معامل انكسار السوائل، ونظرية عملها مبنية على ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي. من هذه الأجهزة: جهاز بولفريتس، جهاز آبي، وجهاز الخلية الهوائية، وهو ما سنعرضه هنا بالتفصيل:

يتألف جهاز الخلية الهوائية من شريحتين مستويتين من الزجاج كتلك الشرائح التي تستعمل في دراسة العينات تحت ميكرسكوب. يتم لصق هاتين الشريحتين من حافتهما المستطيلة لصقاً محكماً، بحيث تحبسان بين سطحيهما غشاءً رقيقاً منتظماً من الهواء فيتكون ما يُعرف بالخلية الهوائية (×) (شكل ٢ - ٧ب)



شكل (٢ – ٧) تعيين معامل انكسار سائل بتكوين عدسة منه باستخدام مرآة مقعرة أو مرآة مستوية وعدسة محدبة بطريقة تطابق موضعي الجسم وصورته



شكل (٢ – ٧ ب) جهاز الخلية الهوائية لتعيين معامل انكسار سائل:
(أ) تركيب الجهاز
(ب) الخلية الهوائية وتظهر فيها الزاوية الحرجة

والسائل المراد تعيين معامل انكساره يوضع في إناء زجاجي ذي جدران رقيقة مستوية ومتوازية، وتثبت الخلية بداخله رأسياً بمحور رأسي ينتهي بمؤشر زاوي عند طرفه العلوي.

يسقط شعاع من الضوء في اتجاه محدد SO على الخلية، وترصد الأشعة النافذة خلال الخلية من جهتها الأخرى على عين الراصد E إذ عند سقوط الأشعة عمودية على سطح الخلية (×) فإنها تنفذ إلى E وإذا ما أديرت الخلية حول محورها الرأسي ناحية اليمين أو اليسار، فإن الضوء يخفت في شدته إلى أن يختفي فجأة في مجال الرؤية عند E وهذه هي الحالة الحرجة. أي تكون زاوية السقوط هي الزاوية الحرجة. تقاس الإزاحة الزاوية بين موضعي اختفاء الأشعة على اليمين وعلى اليسار، وتقسم على ٢ فنحصل على زاوية السقوط الحرج ولتكن i_1 ومنها نحسب انكسار السائل (μ) بالعلاقة:

$$\mu = \frac{1}{\sin r_1} \qquad (2-9)$$

وللحصول على نتائج دقيقة بهذه الطريقة ينبغي استخدام شعاع ضوء أحادي اللون (أحادي الطول الموجي) ليكون هناك حداً فاصلاً بين الضياء والعتمة عند الرصد. أما إذا استخدم الضوء العادي فلن يكون هناك هذا الحد الفاصل بين الضياء والعتمة لتعدد الألوان المكونة للضوء العادي. ولاعتماد معامل الانكسار على الطول الموجي فإنه ستكون هناك زوايا حرجة متعددة بتعدد الألوان؛ لذا كان من الضروري استخدام ضوء أحادي اللون، وليكن الأصفر تمشياً مع العرف.

مثال: ٢ - ٤:

عند استخدام جهاز الخلية الهوائية لتعيين معامل انكسار سائل وجد أن الإزاحة الزاوية بين موضعي الاختفاء المفاجئ للشعاع الخارجي حول خط السقوط العمودي على الخلية تساوي ٩٧,٥°. احسب من ذلك معامل انكسار السائل.

الحل:

تحسب زاوية السقوط الحرجة i_c من:

$$i_c = \frac{97.5}{2} = 48.75^o$$

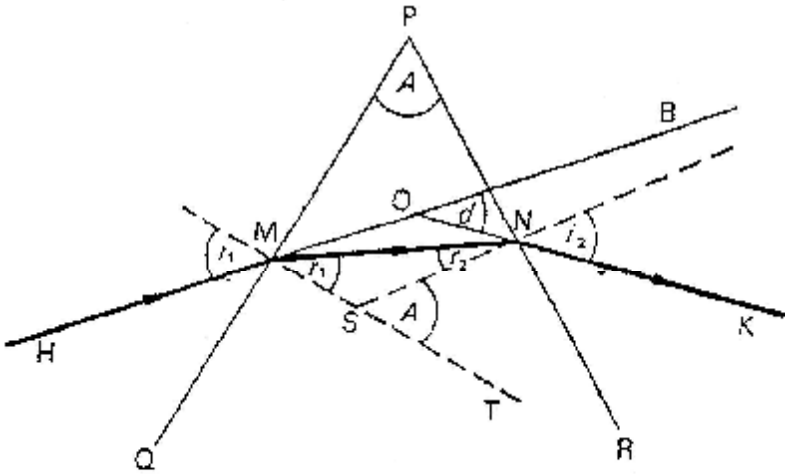
ومنها:

$$\mu = \frac{1}{\sin 48.75} = 1.33$$

٢-٥: انكسار الضوء خلال منشور ثلاثي:

ذكرنا من قبل أنه عند نفاذ الضوء في متوازي المستطيلات، فإن الشعاع الخارج يكون دائماً موازياً للشعاع الساقط، أي إنه يكون مزاحاً إزاحة جانبية دون انحراف في الاتجاه.

أما إذا كان سطحا الجسم الزجاجي المقابلان للسقوط والخروج غير متوازيين يكون الشعاع الخارجي مائلاً على الشعاع الساقط بزاوية تعرف بزاوية الانحراف، وهذا هو ما يحدث عند انكسار الضوء خلال منشور زجاجي ثلاثي كما هو موضح في شكل (٢ - ٨).



شكل (٢ - ٨) انكسار الأشعة خلال منشور ثلاثي

ومن تتبع المسار الضوئي للشعاع الساقط والمنكسر والخارج نجد أنه:

عند السطح PQ

$$\sin i_1 = \mu \sin r_1$$

وعند السطح PR

$$\sin i_2 = \mu \sin r_2$$

وكذلك في المثلث MON نجد أن الزاوية d، وهي زاوية خارجة عن هذا المثلث ترتبط بكل من زاوية السقوط وزاوية الخروج بالعلاقة:

$$d = (i_1 - r_1) + (i_2 - r_2) \qquad (2\text{-}10)$$

وبالاستعانة بالشكل الرباعي الدائري MPNS وفيه:

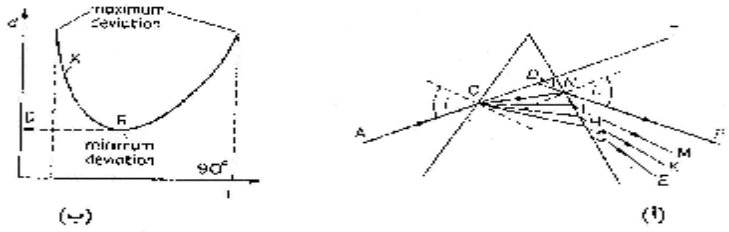
$$A = r_1 + r_2 \qquad (2\text{-}11)$$

تصبح قيمة زاوية الانحراف هي:

$$d = i_1 + i_2 - A \qquad (2\text{-}12)$$

٢-٦: تغير زاوية الانحراف في المنشور:

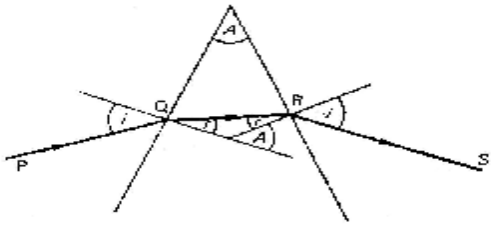
بدارسة العلاقة بين زاوية السقوط وزاوية الانحراف



شكل (٢ - ٩)

(أ) تغير زوايا الخروج بتغير زاوية السقوط

(ب) العلاقة بين زاوية الانحراف وزاوية السقوط وبيان النهاية الصغرى للانحراف



شكل (٢ - ١٠) بيان زوايا السقوط والانكسار

المناظرة بيانيا في شكل (٢ - ٩) نجد أنه كلما نقصت زاوية السقوط I من أكبر قيمة إلى أصغر قيمة على الإحداثي السيني فإن زاوية الانحراف d على الإحداثي الرأسي تأخذ أولاً في التناقص السريع، ثم تبطئ تدريجياً حتى تصل إلى نهاية صغرى لها تأخذ بعدها في الزيادة التدريجية.

ويتضح من الرسم البياني ما يلي:

١ - لكل قيمة من قيم زاوية الانحراف (d) توجد قيمتان للزاوية I تعبّران في حقيقة الأمر عن زاوية سقوط وزاوية خروج مناظرة لها؛ وذلك نظراً لقابلية عكس المسار الضوئي للشعاع الساقط.

٢ - زاوية الانحراف d تُظهر نهاية صغرى تعرف بزاوية الانحراف بزاوية الانحراف الصغرى D عند قاع المنحنى، وعندها تنطبق قيمتا زاوية السقوط وزاوية الخروج.

وبالرجوع إلى شكل (٢ - ٨) نجد أن:

$$i_1 = i_2 = i$$

وبالتعويض في (2-12) تصبح

$$i = \frac{A + D}{2}$$

كذلك:

$$r_1 = r_2 = r$$

فيصبح زاوية رأس المنشور

$$A = 2\,r$$

ومنها

$$r = \frac{A}{2}$$

من ذلك يمكن حساب قيمة معامل انكسار مادة المنشور عند حالة النهاية الصغرى لزاوية الانحراف من العلاقة:

$$\mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin\left(\frac{A+D}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)} \qquad (2-13)$$

تبين هذه العلاقة أنه بمعرفة قيمة زاوية رأس المنشور A وبقياس قيمة النهاية الصغرى لزاوية الانحراف D فإنه يمكن حساب معامل انكسار مادة المنشور.

مثال: ٢ - ٥:

منشور زجاجي بزاوية رأس ٧٢° ومعامل انكسار مادته ١,٦٦ غمر بالكامل داخل سائل معامل انكسار مادته ١,٣٣ ما هي قيمة النهاية الصغرى لزاوية الانحراف فيه.

الحل:

أولاً نحسب معامل الانكسار النسبي بين السائل 1 والزجاج g

$$_1\mu_g = \frac{\mu_g}{\mu_1} = \frac{1.66}{1.33}$$

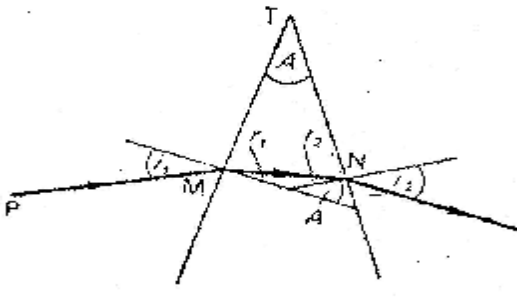
وبتطبيق العلاقة السابقة:

$$_1\mu_g = \frac{1.66}{1.33} = \frac{\sin\left(\frac{72+D}{2}\right)}{\sin\left(\frac{72}{2}\right)}$$

$$\therefore \quad D = 22^\circ\,22'$$

٢-٧: انحراف الأشعة بواسطة المنشور الرقيق:

حين تكون زاوية رأس المنشور A صغيرة فإن زاوية الانحراف d تكون أيضاً صغيرة كما في شكل (٢ - ١١)، ولما كان جيب الزاوية الصغيرة يساوي تقريباً قيمة الزاوية نفسها مقاسة بالتقدير الدائري، فإنه يمكن اختزال المعادلة (2-13)



شكل (٢ - ١١) انحراف الأشعة في منشور رقيق

إلى

$$\mu = \frac{\left(\frac{A+D}{2}\right)}{\left(\frac{A}{2}\right)}$$

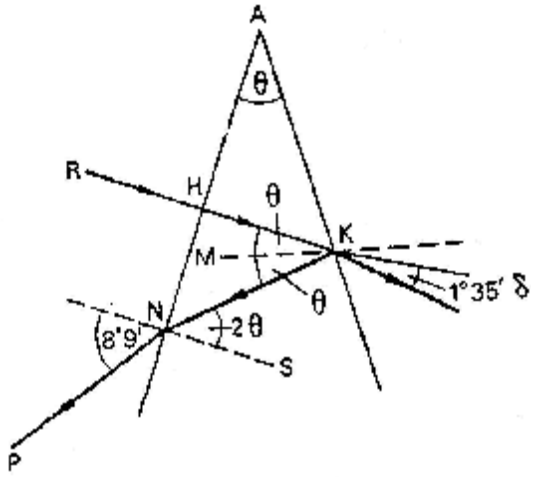
ومنها

$$d = (\mu - 1)\, A \qquad (2\text{-}14)$$

وحيث إن زاوية الانحراف d تكون صغيرة في هذا المنشور، فإن مقدار التغير فيها المناظر لتغير صغير في قيمة زاوية السقوط i_1 يكون كذلك من الصغر بحيث يمكن إهماله. وهذه النتيجة تسهل علينا عملية ضبط وضع المنشور بالنسبة للشعاع الساقط للحصول على زاوية الانحراف الصغرى. حيث نكتفي بوضع المنشور ليلاقي الشعاع الساقط في وضع عمودي تقريباً.

مثال: ٢ - ٦:

سقطت حزمة متوازية من الأشعة الضوئية عمودية على سطح منشور رقيق فانحرف جزء من الأشعة عند خروجه من السطح الثاني بزاوية $1^{\circ}35'$ بينما كانت زاوية انكسار الأشعة المرتدة (المنعكسة) نحو السطح الأول $8^{\circ}9'$ احسب من ذلك زاوية رأس المنشور وكذلك معامل انكسار مادته.



شكل (٢ - ١٢) توضيح المثال ٢ - ٦

الحل:

يوضح شكل (٢ - ١٢) مشار الأشعة لتوضيح المثال، وفيه:

زاوية رأس المنشور = θ

معامل انكسار مادة المنشور = μ

RH شعاع ساقط عمودياً على السطح الأول AN للمنشور فينفذ ويسقط على السطح الثاني للمنشور عند نقطة K وفيها يحدث أن:

١ - يخرج جزء من الأشعة إلى الهواء خلال هذا السطح بزاوية انحراف

$$d = \delta = 1^{\circ}\ 35`$$

٢ - ينعكس الجزء الأخير من الأشعة عن النقطة (K) على هذا السطح بحيث تكون:

زاوية الانعكاس $M\hat{K}N$ = زاوية السقوط $H\hat{K}N = \theta$

تصبح بذلك الزاوية $H\hat{K}N = 2\theta$

ومن هندسة الشكل نجد أنه عند النقطة N:

زاوية سقوط الشعاع KN على السطح الأول $AN = 2\theta$

وزاوية الانكسار عند $N = 8^{\circ}9'$ وعلى ذلك:

عند النقطة N نحسب معامل الانكسار بالعلاقة:

$$\mu = \frac{\sin 8^{\circ}9'}{\sin 2\theta}$$

وبما أن هذه زوايا صغيرة فإنه يمكن كتابة هذه العلاقة على الصورة:

$$\mu = \frac{8^{\circ}9'}{2\theta}$$

$$\therefore \theta = \frac{8^{\circ}9'}{2\mu}$$

ثم نطبق العلاقة

$$d = (\mu - 1)A$$

$$1^{\circ}35' = (\mu - 1)\frac{8^{\circ}9'}{2\mu}$$

لنحصل على:

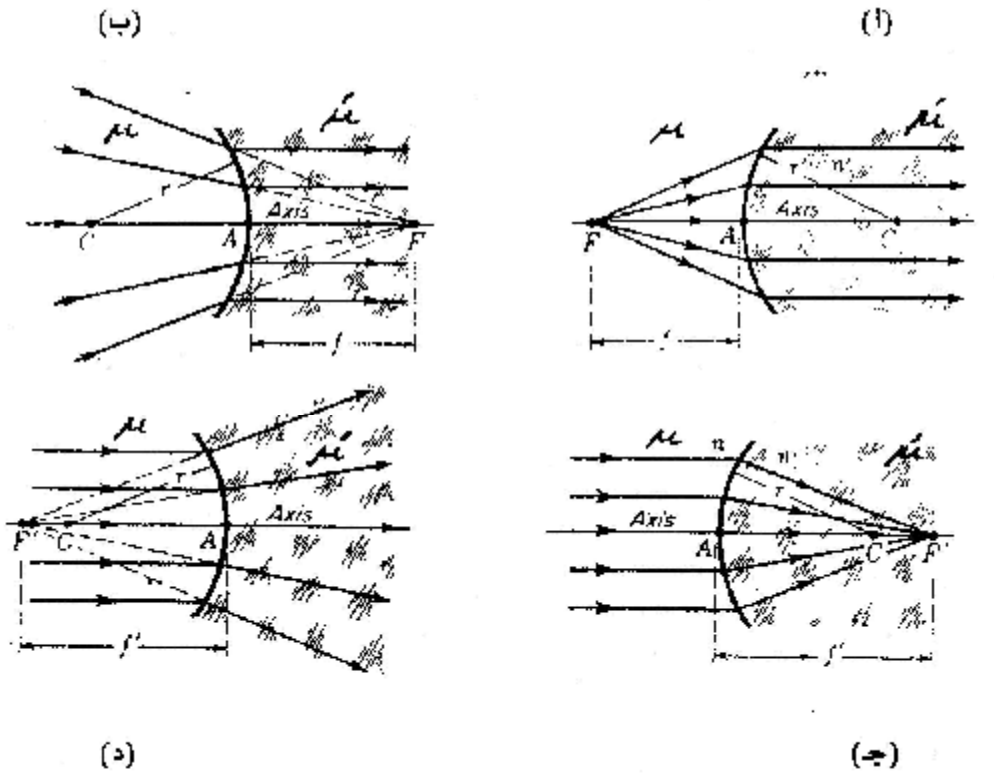
$$\mu = 1.63$$

$$\theta = 2^{\circ}\ 30`$$

٢-٨: الانكسار عند الأسطح الكرية:

للأسطح الكرية قدرة على تجميع أو تفريق الأشعة الساقطة عليها مكونة صوراً حقيقية أو تقديرية حسب طبيعة الوسط المحيط بها وتكون هذه الصور إما مكبرة أو مصغرة.

ولدراسة هذا النوع من الانكسار نتتبع مسار شعاع ضوئي يسقط على سطح كرى مفرد يفصل بين وسطين لهما كثافة ضوئية مختلفة. يكون لهذا السطح بؤرة وبعد بؤري. يبين شكل (٢ - ١٣) انكسار الأشعة الساقطة على سطح كرى محدب وآخر مقعر. عند الانكسار في أي من هذين السطحين يخضع الشعاع لقانون سنل. المحور الرئيسي في هذه الأشكال هو الخط المستقيم الأفقي الواصل بمركز تكور السطح C. وتعرف النقطة A بقطب السطح الكري.



شكل (٢ – ١٣) انكسار الحزم الضوئية المختلفة على الأسطح الكرية التي تفصل بين وسطين

في الشكل (أ) من هذه المجموعة تصدر أشعة متفرقة من النقطة F على المحور الرئيسي في الوسط الأول. هذه الأشعة تنكسر عند السطح المحدب لتكون حزمة من الأشعة المتوازية والموازية للمحور في الوسط الثاني.

أما في شكل (ب) تظهر حزمة متجمعة من الأشعة في الوسط الأول وتسقط على السطح المقعر فتبدو وكأنها في طريقها للتجمع عند نقطة F في الوسط الثاني، إلا أن الأشعة النافذة عند المسطح المقعر تكوّن حزمة من الأشعة المتوازية والموازية للمحور.

في الأشكال (أ) ، (ب) تعرف النقطة F بالبؤرة الأولية كما تعرف المسافة f بالبعد البؤري الأولي.

يمثل الشكل (جـ) انكسار أشعة متوازية عند سقوطها على سطح محدب يفصل بين وسطين وتتجمع عند البؤرة F في الوسط الثاني.

ويمثل الشكل (د) سقوط حزمة متوازية من الأشعة على سطح مقعر من وسطين فتنكسر متفرقة، بحيث تبدو كما لو كانت صادرة من النقطة F في الوسط الأول.

في هذين الشكلين تعرف النقطة F′ بالبؤرة الثانوية، وكذلك المسافة f′ تعرف بالبعد البؤري الثانوي.

والنتيجة الهامة هي أن البعد البؤري الأولى f لسطح ما (شكل أ) لا يساوي البعد البؤري الثانوي لنفس السطح (شكل جـ). ولكن العلاقة بينهما هي كالعلاقة بين معاملات انكسار الوسطين. أي أن:

$$\frac{f'}{f}=\frac{\mu'}{\mu} \qquad (2-15)$$

وكذلك نلاحظ أنه في السطح المحدب يقع مركز التكور C على يمين السطح، بينما يقع المركز على يسار السطح المقعر.

٢-٩: العلاقة بين بعد الجسم وبعد الصورة عن سطح كري:

يبين شكل (٢ - ١٤) انكسار شعاع من الضوء عند سطح منحنى واحد ليكون صورة حقيقية لجسم وفي الشكل TA سطح كري محدب يفصل بين وسطين. الوسط الأول معامل انكساره μ ويوجد به الجسم عند النقطة M. والوسط الثاني معامل انكساره μ' ومركز تكور السطح عند النقطة C الشعاع الساقط MT يسقط على السطح المحدب عند T بزاوية انكسار φ في الوسط ذو معامل انكسار μ. ينكسر هذا الشعاع في الوسط الثاني ذي معامل الانكسار μ' بزاوية انكسار φ' ويكون تقاطع الشعاع المنكسر مع المحور الأصلي عند M' هو موضع الصورة.

بتطبيق قانون سنل عند موضع السقوط نجد:

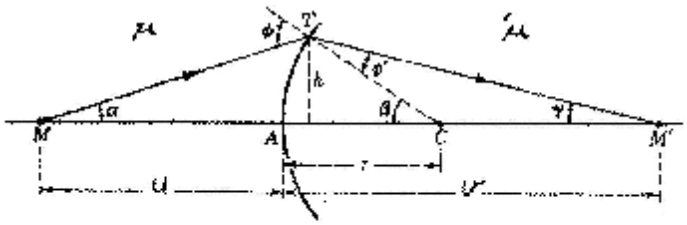
$$\mu \sin\varphi = \mu' \sin\varphi'$$

ولصغر زوايا السقوط φ والانكسار φ' فإنه يمكن كتابة

$$\mu\,\varphi = \mu'\,\varphi'$$

ومنها:

$$\frac{\varphi}{\varphi'}=\frac{\mu'}{\mu} \qquad (2-16)$$



شكل (٢ - ١٤) مسار شعاعى لاستنتاج العلاقة العامة بين موضع جسم وصورته خلال سطح كرى يفصل بين وسطين

من هندسة الشكل نجد

$$\varphi = \alpha + \beta \qquad (2\text{-}17)$$

$$\varphi' = \beta - \gamma \qquad (2\text{-}18)$$

بقسمة هاتين المعادلتين، والتعويض من المعادلة (2-16) نجد أن

$$\mu\,\alpha + \mu'\,\gamma = (\mu' - \mu)\,\beta$$

وبالعودة للشكل نجد:

$$\alpha = \frac{h}{u} \quad , \quad \beta = \frac{h}{r} \quad , \quad \gamma = \frac{h}{v}$$

بالتعويض في المعادلة السابقة نصل إلى معادلة جاوس للسطح الكري المفرد:

$$\frac{\mu}{u} + \frac{\mu'}{v} = \frac{\mu' - \mu}{r} \qquad (2-19)$$

تعرف هذه النتيجة بالعلاقة العامة بين جسم وصورته المتكونة بالانكسار عند سطح منحنى واحد حيث u هي بعد الجسم عن السطح في الوسط الأول ذو معامل الانكسار μ , v هي بعد الصورة عن السطح في الوسط الثاني ذي معامل الانكسار μ'

ويعرّف المقدار $\left(\frac{\mu' - \mu}{r}\right)$ بقوة السطح. تكون موجبة إذا تسبب السطح في تجميع الأشعة الساقطة، وسالبة إذا تسبب السطح في تفريق الأشعة الساقطة.

ويمكن تلخيص قاعدة الإشارات على النحو التالي:

١ - يتم رسم أو رصد كافة الأشعة من جهة الشمال إلى جهة اليمين.

٢ - يعتبر بعد الجسم u موجباً إذا تم قياسه على شمال القطب، وسالباً إذا تم قياسه على يمين القطب.

٣ - يعتبر بعد الصورة v موجباً إذا تم قياسه يمين القطب وسالباً إذا تم قياسه على شمال القطب.

٤ - البعد البؤري يكون موجباً للسطح المجمع للأشعة وسالباً للسطح المفرق لها.

٥ - تكون أطوال الجسم والصورة موجبة إذا تم قياسها من أعلى المحور وتكون سالبة إذا تم قياسها من أسفل المحور.

٦ - إذا كان السطح المقابل للجسم محدباً كانت قوته موجبة، وإذا كان السطح المقابل للجسم مقعراً كانت قوته سالبة.

مثال: ٢ - ٧:

سطح مقعر نصف قطره ٤ سم، ويفصل بين وسطين معامل انكسار الوسط الأول $\mu = 1$ والثاني $\mu' = 1.5$ وضع جسم في الوسط الأول على بعد ١٠سم من القطب.

أوجد:

أ - البعد البؤري الأول.

ب - البعد البؤري الثانوي.

جـــ - بعد الصورة.

الحل:

نطبق العلاقة العامة:

$$\frac{\mu}{u} + \frac{'\mu}{v} = \frac{'\mu - \mu}{r}$$

(أ) بوضع v = ¥ حيث يكون الجسم في البؤرة الأولية:

$$\therefore \frac{\mu}{f} + \frac{'\mu}{\infty} = \frac{'\mu - \mu}{r}$$

$$\therefore \frac{1}{f} = \frac{1.5 - 1}{-4}$$

$$\therefore f = -8 \text{ cm}$$

(ب) بوضع u = ¥ تتكون الصورة عند البؤرة الثانوية.

$$\therefore \frac{\mu}{\infty} + \frac{'\mu}{f'} = \frac{1.5 - 1}{-4}$$

$$\therefore \frac{1.5}{f'} = \frac{0.5}{-4}$$

$$\therefore f' = -12 \text{ cm}$$

(جـــ) لحساب بعد الصورة عن السطح:

$$\frac{1}{10} + \frac{1.5}{v} = \frac{(1.5-1)}{4}$$

$$\therefore v = -6.6 \text{ cm}$$

أسئلة الفصل الثاني

١ - عرف معامل الانكسار من (أ) الهواء للزجاج. (ب) الزجاج للماء، مع رسم مسار الأشعة في كل حالة. بين كيف ترتبط هذه المعاملات بسرعة الضوء في الأوساط المختلفة.

٢ - أوجد زاوية انكسار الضوء لشعاع ساقط بزاوية ٣٥° من الهواء إلى الزجاج ومن الزجاج إلى الماء. علماً بأن معامل الانكسار للزجاج ١,٥، وللماء ١,٣٣.

٣ - إناء يحتوي على شريحة من الزجاج سمكها ١٠سم. احسب قيمة الإزاحة الظاهرية لجسم أسفل شريحة الزجاج عند النظر إليه مباشرة من أعلى الشريحة. وإذا غمرت الشريحة بطبقة من الماء فوقها بارتفاع ١٠سم. احسب قيمة الإزاحة لنفس الجسم إذا نظر إليه من أعلى خلال الطبقتين.

٤ - بيّن كيف يمكن تعيين معامل انكسار سائل باستخدام مرآة مقعرة.

٥ - احسب قيمة الزاوية الحرجة بين الأوساط التالية مع رسم لمسار الأشعة. (أ) هواء – زجـــاج ، (ب) هواء – ماء، (جـــ) زجاج – ماء. علماً بأن معامل الانكسار للماء ١,٣ وللزجاج ١,٥.

٦ - مصدر ضوئي موضوع على بعد ١٢سم من مرآة مقعرة، نصف قطر تكورها ٨سم. أوجد قيمة زحزحة الصورة المتكونة عندما يوضع متوازي مستطيلات زجاجي سمكه ٣سم عمودياً علـــى محور المرآة بين المصدر الضوئي والمرآة.

٧ - سقط شعاع ضوئي على متوازي مستطيلات من الزجاج بزاوية قدرها ٦٠° . أوجد قيمة إزاحة الشعاع النافذ من الزجاج في الاتجاه العمودي على الشعاع نفسه. علماً بـــأن ســـمك متـــوازي المستطيلات الزجاجي ٥سم، ومعامل انكسار مادته ١,٥.

٨ - استنتج العلاقة بين معامل انكسار مادة منشور ثلاثي وبين زاوية رأسه، والنهايـــة الـــصغرى للانحراف الناتج عن انكسار الضوء في المنشور.

٩ - شعاع من ضوء أحادي اللون يسقط على أحد وجهي منشور ثلاثي بزاوية سقوط قـــدرها ٦٠°. فإذا علم أن الشعاع المنكسر ينعكس عند الوجه الثاني للمنشور، بحيث ينطبـــق علـــى مـــسار تماماً. فأوجد معامل انكسار مادة المنشور، إذا علم أن زاوية رأسه ٣٠°.

١٠ - منشور زجاجي زاوية رأسه ٣٠°، ومعامل انكسار الـــضوء الأزرق فيـــه ١,٦٤٣ ، ومعامـــل انكسار الضوء الأحمر ١,٦١٨. فإذا علم أن سرعة الضوء في الفراغ هي ٣ × ١٠^{٨} متر/ ث. احسب:

أ) الفرق بين زاويتي خروج الشعاع الأزرق والشعاع الأحمر.

ب) الفرق بين سرعة الضوء الأزرق والأحمر داخل المنشور.

١١ - منشور زواياه ٩٠° ، ٤٥° ، ٤٥°، إذا سقط شعاع من الضوء موازياً للوجه الأكبر، ثم انكسر نافذاً في المنشور متجهاً نحو هذا الوجه. برهن على أنه يعاني انعكاساً كلياً عند هذا الوجه.

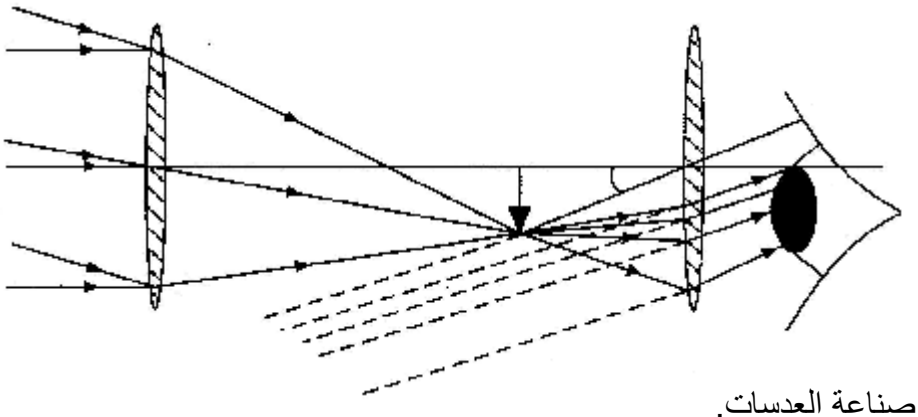
١٢ - احسب أكبر قيمة لزاوية رأس منشور من الزجاج لكي ينفذ من شعاع من ضوء ســـاقط علـــى الوجه المقابل، إذا علم أن معامل الانكسار لمادته ١,٥٢.

١٣ - وضع جسم على مسافة ٢٠سم أمام أقرب نقطة من كرة زجاجية نصف قطرها ١٥سم. أوجـــد موضع الصورة المتكونة بالانكسار عند أقرب نقطة من الكرة. أين تتكون الـــصورة إذا وضـــع الجسم على بعد ٤٠سم من الكرة بدلاً من ٢٠سم، علماً بأن معامل انكسار الزجاج ١,٥.

الفصل الثالث

العدسات

Lenses



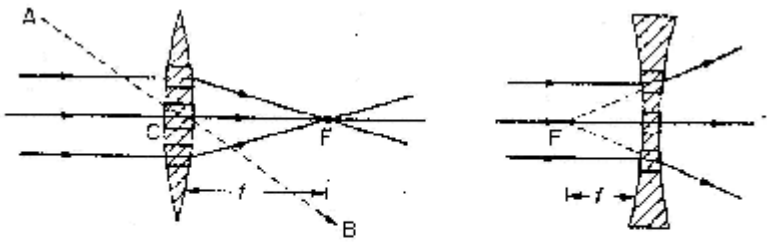
- صناعة العدسات.
- العدسات الرقيقة.
- القانون العام للعدسات.
- التكبير الخطي أو المستعرض.
- النقطتان المترافقتان وعلاقة نيوتن.
- الوضعان المتبادلان لعدسة محدبة.
- تلامس العدسات.

أسئلة الفصل.

٣-١ صناعة العدسات:

تتكون العدسة من مادة مشفة للضوء يحدها سطحان كريان عادة. وتسمى بالعدسة الكريـــة، وفي أحوال خاصة قد يكون أحد سطحيها أو كلاهما اسطوانياً أو طوريدياً.

والمهمة الابتدائية للعدسة هي تكوين صور لأجسام حقيقية. وبالرغم من أن أغلب العدســات مصنوعة من الزجاج العادي إلا أن هناك عدسات خاصة تصنع من مواد أخــرى شــفافة كــالكوارتز والفلوريت. ولكي نفهم القواعد التي على أساسها تعمل العدسة، نتصور مجموعــة مــن منــشورات ومتوازي مستطيلات من زجاج مرتبة حسب الأوضاع المبينة في شكل (٣-١).

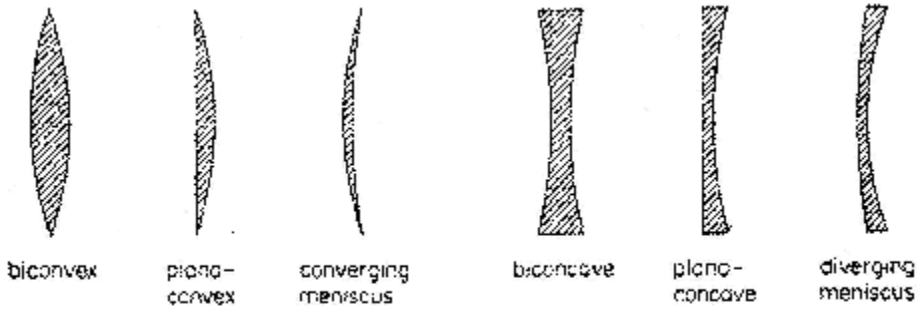


شكل (٣ – ١) توضيح عمل العدسات

ففي الترتيب الأول صنعت المنشورات لكي تكسر أشعة الضوء المتوازية وتجمعها في بؤرة عند F وفي الترتيب الثاني أجبرت الأشعة المتوازية على أن تتفرق وكأنها قد أتت من نقطة F ويحدث أكبر انحراف في كل مجموعة عند منشورات القمة، إذ أن لها أكبر زاوية بين سطحيها الكاسرين. ولا تحدث أية انحرافات للأشعة المركزية، إذ أنه عند هذه النقطة يكون الوجهان الأماميان متوازيين.

ولا تصنع العدسات الحقيقية من منشورات، ولكنها تصنع من كرة مصمتة من الزجاج. وقد تكون العدسات محدبة الوجهين أو محدبة مسطحة أو محدبة مقعرة أو مقعرة الوجهين أو مقعرة مسطحة أو مقعرة محدبة (شكل ٣-٢).

وتعتبر العدسة سميكة إذا اقترب سمكها من بعدها البؤري، وتعتبر رقيقة إذا كان سمكها صغيراً نسبياً بحيث يمكن إهمال تأثيره على الضوء المتكون، وفيها يعتبر قطباً السطحين المنحنيين منطبقين على بعضهما في المركز الهندسي للعدسة الرقيقة.



شكل (٣-٢) أشكال العدسات

٣-٢: العدسات الرقيقة:

تتكون العدسات الرقيقة من أشكال مختلفة تبعاً لتكور سطحيها. كما يتضح من شكل (٣-٢) وهي قد تكون:

أ) مجمّعة، أو موجبة القوة، وتمتاز بأنها أكبر سمكاً في الوسط عنها في الأطراف، وعادة تكون أشكالها إما محدبة الوجهين أو مستوية محدبة أو هلالية موجبة.

ب) مفرقة أو سالبة القوة، وتمتاز بأنها سميكة عند الأطراف ورقيقة عند الوسط وأشكالها مقعرة الوجهين أو مستوية مقعرة أو هلالية سالبة.

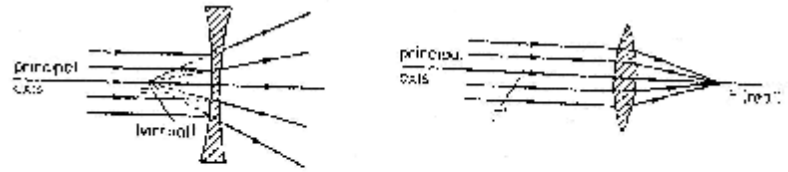
ويبين شكل (٣-٣) انكسار أشعة الضوء بواسطة عدسة محدبة الوجهين، وأخرى مقعرة الوجهين، وفيها نلاحظ ما يلي:

١ - المحور الرئيسي للعدسة هو الخط الواصل بين مركزي تكور سطحيها خلال مركزها الرئيسي.

٢ - البؤرة الرئيسية تقع على المحور الرئيسي للعدسة، وتكون حقيقية عند نقطة تجمع الأشعة المتوازية الساقطة على العدسة المحدبة، أو تقديرية عند نقطة تلاقي امتداد الأشعة المنكسرة من العدسة المقعرة.

٣ - المستوى البؤري هو المستوى المار عمودياً على المحور عند البؤرة، وهو يحدد موضع الصور المتكونة بانكسار حزمة متوازية من الأشعة، سواء كانت هذه الحزمة موازية أم غير موازية للمحور الرئيسي.

ويلاحظ أن الأشعة الطرفية في الحزمة الضوئية الساقطة على عدسة ما تعاني أقصى انحراف، بينما الشعاع الرئيسي الذي يقطع محور العدسة عند المركز لا يعاني انكساراً.

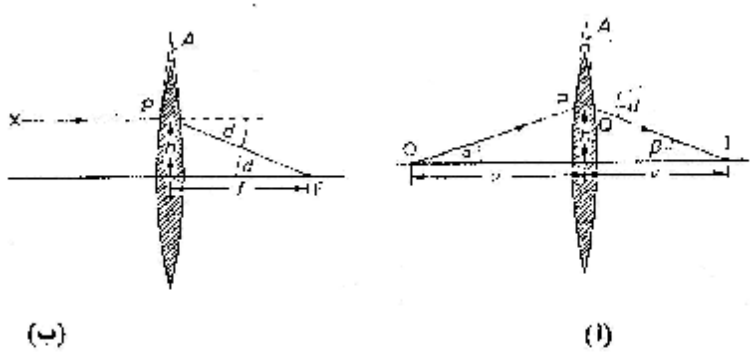


(ب) (أ)

شكل (٣ - ٣) انكسار الأشعة في العدسة المحدبة (أ) والعدسة المقعرة (ب)

٣-٣: القانون العام للعدسات:

يبين شكل (٣ - ٤أ) عدسة مجمعة موجودة في وسط متجانس (هواء) وجسم عند النقطة O، يخرج منه شعاعان ضوئيان، يمر أحدهما بمركز العدسة عمودياً على محورها، فينفذ دون انحراف منطبقاً على المحور الرئيسي، بينما يسقط الشعاع الثاني OP على العدسة ليعاني انكساراً عند P ثم Q في اتجاه QI بزاوية انحراف d ويمكن تشبيه الجزء العلوي من العدسة، حيث يسقط الشعاع OP بمنشور رقيق زاوية رأسه A، وزاوية انحراف الشعاع الخارج منه d.



(ب) (أ)

شكل (٣ - ٤) استنتاج القانون العام للعدسات

فإذا كان ارتفاع نقطة سقوط الشعاع h فمن هندسة الشكل نجد:

$$d = \alpha + \beta \qquad (3-1)$$

$$d = \frac{h}{v} + \frac{h}{u} \qquad (3-2)$$

حيث تمثل v بعد الجسم عن العدسة، u بعد الصورة عن العدسة. وإذا ما أزيح الشعاع OP إزاحة زاوية بحيث يسقط في الاتجاه XP (شكل ٣ - ٤ب)، فإن الشعاع الخارج سيزاح بنفس الإزاحة الزاوية. ويمر عندئذ بالبؤرة F مع احتفاظ زاوية الانحراف d بنفس قيمتها.

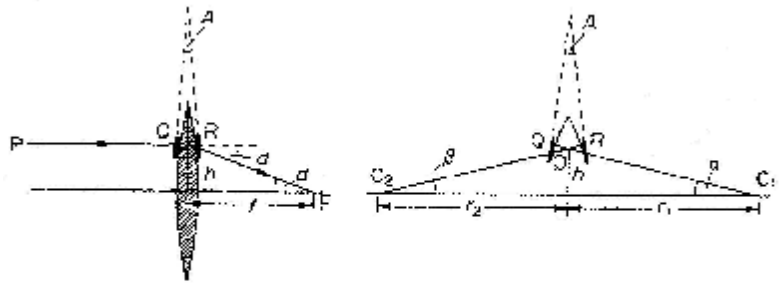
ومن هذا الشكل يمكن حساب d من العلاقة:

$$d = \frac{h}{f} \qquad (3-3)$$

وبهذه النتيجة يمكننا كتابة قانون "جاوس" للعدسات على نفس الصورة السابقة في حالة المرآة الكرية، وهي:

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \qquad (3-4)$$

تطبق هذه العلاقة على العدسات الرقيقة المجمعة والمفرقة، مع مراعاة التقيد باستخدام مصطلح الإشارات في كل حالة.



شكل (٣ – ٥) تشابه الأشعة خلال طرفي العدسة مع مسارها في منشور رقيق

وبالاستعانة بقانون انحراف الأشعة في منشور رقيق (شكل ٣ - ٥) يمكننا كتابة زاوية الانحراف d على الصورة:

$$d = \frac{h}{f} = (\mu - 1)A \qquad (3-5)$$

ومنها:

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\frac{A}{h} \qquad (3-6)$$

وإذا كان هناك عمودان مقامان عند P , Q فإنهما سيمران عند مركزي تكور هذين السطحين اللذين يبعدان عن العدسة بمقدار r_2, r_1 على الترتيب، ومن ذلك يمكن إثبات أن:

$$\frac{A}{h} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \qquad (3-7)$$

ومنها تصبح:

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) \qquad (3-8)$$

مثال: ٣ - ١:

وضع جسم على بعد ١٢سم من عدسة بعدها البؤري ١٨سم. أوجد موضع الصورة المتكونة.

الحل:

Q العدسة مجمعة $\quad \therefore f = +18\ cm$

Q الجسم الحقيقي $\quad \therefore u = +12\ cm$

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

$$\therefore \frac{1}{v} + \frac{1}{(+12)} = \frac{1}{(+18)}$$

$$\therefore \frac{1}{v} = \frac{1}{18} - \frac{1}{12} = -\frac{1}{36}$$

$$\therefore v = -36$$

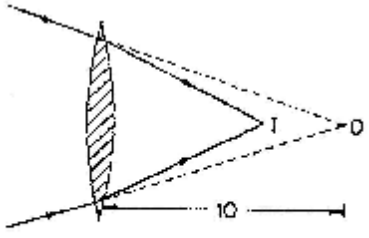
وتعني هذه النتيجة أن الصورة تقديرية وتبعد ٣٦ سم عن العدسة؛ وذلك لوجود الإشارة السالبة في قيمة بعد الصورة v.

مثال: ٣ - ٢:

حزمة ضوئية متجمعة عند نقطة تبعد ١٠سم خلف عدسة محدبة (شكل ٣ - ٦) بعدها البؤري ٤٠سم. أوجد موضع صورة تجمع هذه الأشعة.

الحل:

من الشكل الموضح لهذا المثال نجد أن نقطة تجمع الأشعة الساقطة تمثل جسم تقديري خلف العدسة، ويبعد عنها مسافة ١٠سم.



شكل (٣ - ٦) توضيح للمثال ٣ - ٢

وعلى ذلك تصبح:

$$u = -10 \quad , \quad f = +40$$

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

$$\therefore \frac{1}{v} + \frac{1}{(-10)} = \frac{1}{(+40)}$$

$$\therefore v = \frac{40}{5} = 8 \text{ cm}$$

ولوجود الإشارة الموجبة في بعد الصورة v تكون هذه الصورة حقيقية عنـــد I وتبعـــد عـــن العدسة مسافة ٨سم.

مثال: ٣ - ٣:

وضع جسم على بعد ٦سم أمام عدسة مفرقة بعدها البؤري ١٢سم. أوجد موضع الصورة.

الحل:

∵ العدسة مقعرة ∴ f = - 12

∵ الجسم حقيقي ∴ u = + 6

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

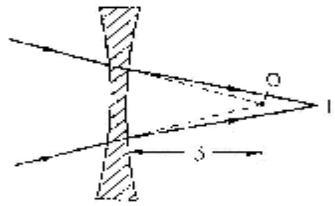
$$\therefore \frac{1}{v} + \frac{1}{(+6)} = \frac{1}{(-12)}$$

$$\therefore v = -\frac{12}{3} = -4$$

وهذه صورة تقديرية على بعد ٤ سم من العدسة وأمامها.

مثال: ٣ - ٤:

تسقط حزمة متجمعة من الأشعة على عدسة مفرقة بعـــدها البؤري ١٥سم. فإذا كانت نقطة تجمع هذه الأشعة تقع خلف العدسة وعلى بعد ٣سم منها. أوجد موضع صورة هذه النقطة (٣ - ٧).



شكل (٣ – ٧) توضيح للمثال ٣ – ٤

الحل:

من الشكل الموضح للمثال نجد النقطة O هي موضع تجمع الأشعة الـــساقطة، وتقـــع خلـــف العدسة. وهي جسم تقديري. ولذلك فإن:

$$u = -3 \text{ cm} \quad , \quad f = -15$$

$$\text{Q} \quad \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{v} + \frac{1}{(-3)} = \frac{1}{(-15)}$$

$$\therefore \quad v = \frac{15}{4} = 3.75 \text{ cm}$$

والصورة حقيقية وتبعد ٣,٧٥سم عن العدسة المقعرة وتقع خلفها.

مثال: ٣ - ٥:

احسب الأبعاد البؤرية للعدسات الموضحة في شكل (٣ - ٨) إذا كان معامل انكسار مادة العدسة ١,٥، ونصف قطر كل من أسطحها الكرية = ١٠سم.

في هذا المثال تدريب على تطبيق العلاقة:

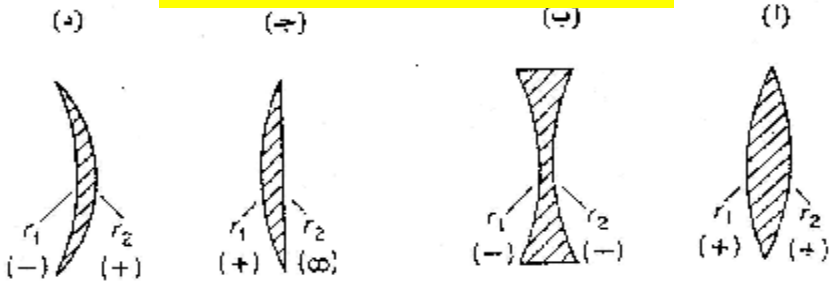
$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$$

من الشكل نجد أن:

العدسة (أ) محدبة الوجهين:

$$\therefore \quad \frac{1}{f} = (1.5 - 1)\left(\frac{1}{(+10)} + \frac{1}{(+10)}\right)$$

$$\therefore \quad f = +10 \text{ cm}$$



شكل (٣ - ٨) توضيح للمثال ٣ - ٥

العدسة (ب) مقعرة الوجهين:

$$\therefore \quad \frac{1}{f} = (1.5 - 1)\left(\frac{1}{(-10)} + \frac{1}{(-10)}\right)$$

$$\therefore \quad f = -10 \text{ cm}$$

العدسة (جـ) محدبة – مستوية:

$$\therefore \quad \frac{1}{f} = (1.5 - 1)\left(\frac{1}{(+10)} + \frac{1}{\infty}\right)$$

$$\therefore \quad f = +20 \text{ cm}$$

العدسة (د) بفرض $r_1 = -16$, $r_2 = 12$ فإن:

$$\therefore \quad \frac{1}{f} = (1.5 - 1)\left(\frac{1}{(-16)} + \frac{1}{(+12)}\right)$$

$$\therefore \quad f = +96 \text{ cm}$$

ومحصلتها عدسة مجمعة.

في هذا المثال اعتبرت العدسات موضوعة في الهواء حيث معامل الانكسار يساوي الواحد تقريباً. أما إذا كان يحيط بسطحي هذه العدسات معامل انكساره يساوي μ' فإن العلاقة:

$$\frac{1}{f} = (\mu - \mu')\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$$

فإذا غمرت العدسات في الماء فإن أبعادها البؤرية تصبح:

للعدسة (أ) = + ٢٥سم للعدسة (جـ) = + ٥٠سم.

للعدسة (ب) = - ٢٥سم للعدسة (د) = +٢٤سم

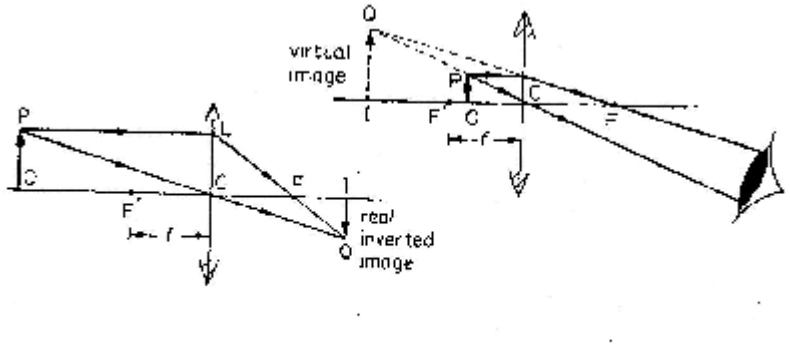
٣-٤: التكبير الخطي أو المستعرض:

يعرف قوة التكبير الخطي أو العرضي m بالعلاقة:

$$\text{قوة التكبير} = \frac{\text{طول الصورة}}{\text{طول الجسم}}$$

يبين شكل (٣-٩) مسار الأشعة الخارجة من الجسم عند O لتكوين صورة عند I. وباستخدام التعريف يمكن حساب قوة التكبير m بالاستعانة بهندسة الشكل كما يلي:

$$m = \frac{IQ}{OP} = \frac{CI}{CO} = \frac{v}{u}$$



شكل (٣ - ٩) التكبير الخطي

حيث تمثل v بعد الصورة عن العدسة، u بعد الجسم عن العدسة.

$$\therefore \quad m = \frac{v}{u} \qquad (3-9)$$

وهناك صورة أخرى إذا ما استعنا بقانون جاوس للعدسات حيث:

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

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

ومنها

$$m = \frac{v}{f} - 1 \qquad (3-10)$$

مثال: ٣ - ٦:

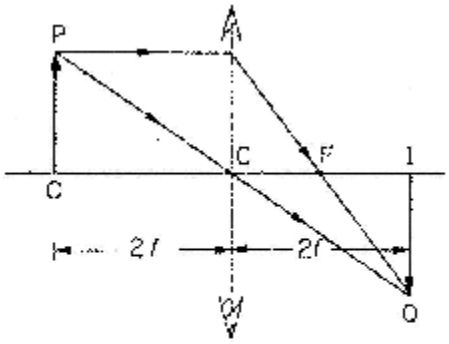
تكونت صورة حقيقية على بعد ٢٥سم من عدسة محدبة بعدها البؤري ١٠سم. احسب قـوة تكبير الصورة.

الحل:

$$m = \frac{v}{f} - 1 = \frac{25}{10} - = 1.5$$

مثال: ٣ - ٧:

وضع جسم على بعد مساوي لضعف البعد البؤري لعدسة محدبة. احسب من ذلك موضع الجسم وقوة التكبير (شكل ٣ - ١٠).



شكل (٣ - ١٠) توضيح المثال ٣ - ٧

الحل:

إذا كان البعد البؤري f تكون بعد الصورة $u = 2f$

$$\mathbf{Q} \quad \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{v} + \frac{1}{2f} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{v} = \frac{1}{2f}$$

ومنها:

$$v = 2f = u$$

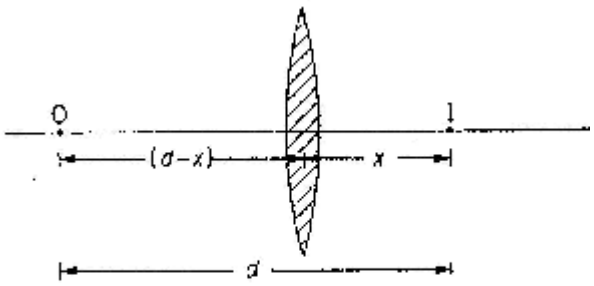
والتكبير

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

أي أن الصورة تكون عند مركز تكور العدسة (أي ضعف البعد البؤري) وقوة تكبيرها ١. أي مساوية تماماً للجسم.

مثال: ٣ - ٨:

في شكل (٣ - ١١) ما هي أقل مسافة ضرورية بين الجسم O وصورته الحقيقية I إذا كان البعد البؤري للعدسة f+.



شكل (٣ - ١١) توضيح المثال ٣ - ٨

الحل:

نفرض أن الطول اللازم بين الجسم وصورته الحقيقية = d

كذلك نفرض أن x = υ وعليه فإن u = d – x

وبالتعويض في

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

نحصل على

$$\frac{1}{d-x}+\frac{1}{x}=\frac{1}{f}$$
$$\therefore x^2-dx+df=o$$

ونوجد جذور هذه المعادلة من

$$x=\frac{-d\pm\sqrt{d^2-4df}}{2}$$

ولكي نحصل على صورة حقيقية يجب أن تكون جذور هذه المعادلة حقيقية، ولا يتحقق ذلك إلا إذا كان:

$$d^2-4df\geq o$$

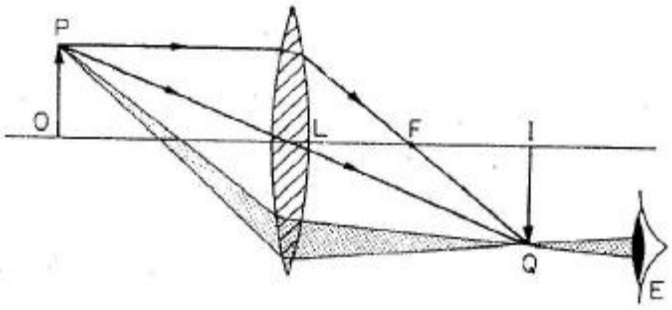
أو

$$d\geq 4f \qquad (3-11)$$

وهكذا تكون أقل مسافة ضرورية كشرط لاستقبال صورة حقيقية لجسم باستخدام عدسة محدبة هي أربعة أضعاف البعد البؤري بين الجسم وصورته، وإلا استحال الحصول على صورة حقيقية، ويتأكد ذلك في المثال السابق حيث إنه عند وضع جسم على بعد مساوي لضعف البعد البؤري تكونت الصورة الحقيقية عند بعد مساوي أيضاً لضعف البعد البؤري، وبذلك تصبح المسافة بين الجسم وصورته الحقيقية أربعة أمثال البعد البؤري للعدسة المستخدمة.

٣-٥: النقطتان المترافقتان وعلاقة نيوتن:

من الحقائق الثابتة في مسار الأشعة الضوئية من جسم إلى صورته خلال عدسة ما أنها تخضع لقاعدة قبول العكس. فإذا كان هناك جسم في (شكل٣-١٢) عند O وتكونت له صورة عند I نجد أنه إذا وضع الجسم مكان صورته عند I تكونت صورة له مكان الجسم عند O أي أن الجسم وصورته يمكن استبدال مواضعهما.



شكل (٣ - ١٢) النقطتان المترافقتان

تسمى النقطتان O, I بالنقطتين المترافقتين، كما يعرف المستويان المارات فيهما عمودياً على المحور بالمستويين المترافقين.

وإذا علم البعد البؤري لعدسة رقيقة f وكذلك بعد الجسم عن مركز العدسة u فإنه يمكن تعيين وضع وحجم صورته المتبادلة إما بيانيا بتتبع مسار الأشعة أو بتطبيق قانون جاوس للعدسات.

ولتعيين وضع الصورة المتكونة بيانياً نطبق الحقائق المعروفة بأن الشعاع الساقط من P موازياً لمحور العدسة يمر بعد انكساره بالبؤرة الثانوية F وكذلك الشعاع الرئيسي PC الشعاع المار بالبؤرة الثانوية في نقطة عند Q وستقع بقية الصورة في المستوى المتبادل المار بالنقطة Q عمودياً على محور العدسة؛ نتيجة لأن جميع الأشعة الخارجة من PO تتقابل جميعها بعد الانكسار عند هذا المستوى لتكون الصورة QI.

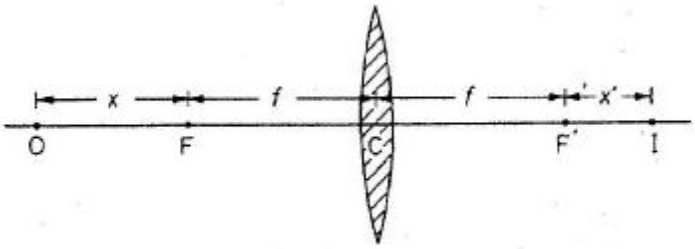
وقد بين نيوتن أن النقاط المترافقة تخضعان لعلاقة خاصة على الصورة:

$$f^2 = x'x \qquad (3-12)$$

حيث x تمثل بعد الجسم عن البؤرة الرئيسية F.

و x' تمثل بعد الجسم عن البؤرة الثانوية F'.

على جانبي عدسة بعدها البؤري f وفيها F = F' كما يوضحها شكل (٣-١٣).



شكل (٣ - ١٣) استنتاج علاقة نيوتن للعدسات

تعرف هذه العلاقة بقانون نيوتن للعدسات ويمكن استنتاجها مباشرة من القانون العام بوضع $v = f + x'$ ، $u = f + x$.

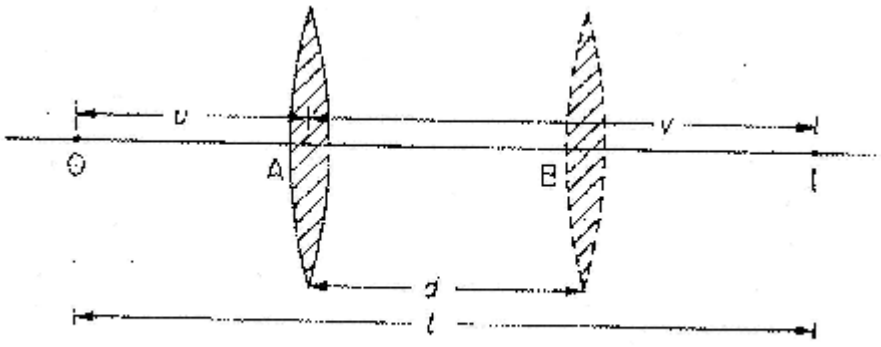
كما يمكن منها استنتاج قوة التكبير m بحيث تكون:

$$m = \frac{x'}{f} = \frac{f}{x} \qquad (3-13)$$

وتستخدم علاقة نيوتن في الحالات الخاصة التي يعرف فيها يُعرف فيها بُعد الجسم عن البؤرة المرافقة له (أي في نفس الجهة من السطح)، وكذلك بعد الصورة عن البؤرة المرافقة لها.

٣-٦: الوضعان المتبادلات لعدسة محدبة:

في شكل (٣ - ١٤) نفرض أن جسم ما موضوع عند النقطة O أمام عدسة مجمعة A تكونت له صورة حقيقية على حائل للصورة عند I. إذا كان بعد الصورة عن العدسة أكبر من بعد الجسم عن العدسات كانت الصورة مبكرة.



شكل (٣ - ١٤) الوضعان المتبادلان

إذا ثبت مكان الجسم عند O والصورة عند I في موضعهما فإنه يمكن الحصول على صورة ثانية للجسم على الحائل بتحريك العدسة إلى موضع جديد B في هذه الحالة تكون هذه الصورة مصغرة؛ نظراً لأن بعد الصورة عن العدسة أصبح أقل من بعد الجسم عن العدسة، وتصبح النقطتان I,O نقطتين مترافقتين بحيث يكون OB = IA إذا كانت المسافة الثابتة بين الجسم عند O والصورة عند

I مساوية للمقدار l وكانت إزاحة العدسة من A إلى B مساوية d باستخدام قانون جاوس للعدسات عند موضعي العدسة A , B يمكن استنتاج العلاقة:

$$f = \frac{l^2 - d^2}{4l} \qquad (3-14)$$

تستخدم هذه العلاقة لحساب البعد البؤري لعدسة مجمعة، حيث يتعذر لمس سطحي العدسة لقياس بعدي الجسم والصورة من مركز العدسة.

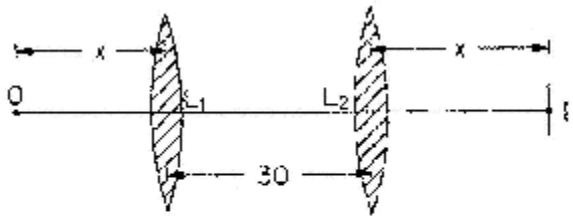
بالإضافة إلى ذلك، يمكن حساب طول الصورة h بدلالة أطوال الصورة المكبرة h1 في الحالة الأولى، والصورة المصغرة h2 في الحالة الثانية من العلاقة:

$$h = \sqrt{h_1 h_2} \qquad (3-15)$$

وتفيد هذه النتيجة في حالة قياس طول جسم يتعذر الوصول إليه لتحديد طوله بطريقة مباشرة، على سبيل المثال تعيين طول أو سعة فتحة في أنبوبة يمر منها ضوء.

مثال: ٣ - ٩:

وضع جسم مضيء وحائل لاستقبال صورة فوق منضدة ضوئية، وبينهما مسافة ثابتة تتحرك فيها عدسة محدبة. في موضع معين للعدسة تكون لجسم صورة بقوة تكبير للجسم. احسب من ذلك البعد البؤري للعدسة (شكل ٣ - ١٥).



شكل (٣ - ١٥) توضيح المثال ٣ - ٩

الحل:

من الشكل نجد أن بعد الجسم عن العدسة وهي في موضعها الأول L_1.

بعد الجسم $u = OL_1 = x$

بعد الصورة $\therefore v = I L_1 = 30 + x$

لكن

$$m = \frac{v}{u} = 2.5$$

$$\therefore \frac{30+x}{x} = 2.5$$

ومنها $x = 20\ cm$

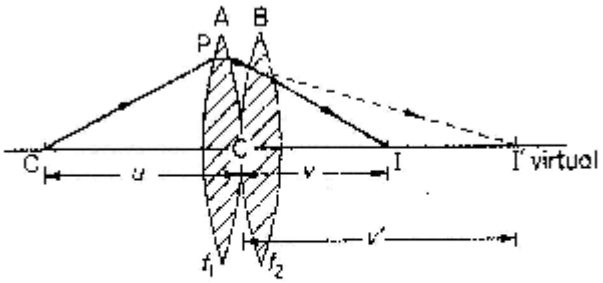
وتصبح المسافة (1) بين الجسم عند O والحائل عند I =

$$\therefore 1 = 70 \text{ cm}$$

$$\therefore f = \frac{l^2 - d^2}{41} = \frac{(70)^2 - (30)^2}{4 \times 70} = 14.3 \text{ cm}$$

٣-٧: تلامس العدسات:

عند تلامس عدستين رقيقتين عند قطبيهما كما في الشكل (٣-١٦) فإن مجموعتهما تعمل كعدسة واحدة مكافئة مركزها نقطة تلامس القطبين، ولإيجاد البعد البؤري المكافئ نضع جسيم نقطي عند O على بعد u من مركز المجموعة فتتكون له صورة عند I' وعلى بعد v'.



شكل (٣-١٦) تلامس العدسات

وبتطبيق المعادلة العامة على العدسة الأولى A:

$$\frac{1}{v'} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1}$$

هذه الصورة تعتبر جسماً تقديرياً للعدسة الثانية B وعلى بعد v' منها فتتكون له صورة حقيقية عند I وعلى بعد υ وبتطبيق العلاقة العامة على العدسة B.

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{(-v')} = \frac{1}{f_2}$$

بجمع هاتين المعادلتين نجد أن:

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

وبما أن الصورة النهائية I هي صورة للجسم O بالانكسار خلال مجموعة العدستين، فبتطبيق العلاقة العامة على هذه الحالة باعتبار أن بعد الجسم u وبعد الصورة v عند المجموعة ذات البعد البؤري F:

$$\therefore \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{F} \qquad (3-16)$$

من ذلك نجد أن:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \qquad (3-17)$$

هذه العلاقة صالحة لأي مجموعة من عدستين مع مراعاة إشارة العدسات المكونة للمجموعة.

مثال: ٣-١٠:

عدسة رقيقة محدبة بعدها البؤري ٨سم. وضعت ملامسة لعدسة رقيقة مقعرة بعدها البؤري ١٢سم. احسب البعد البؤري المكافئ.

الحل:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

$$= \frac{1}{(+8)} + \frac{1}{(-12)} = \frac{1}{24}$$

$$\therefore F = +24 \text{ cm}$$

وتدل الإشارة الموجبة على أن المجموعة تعمل كعدسة مجمعة.

وجدير بالذكر أنه إذا لم تكن العدستان متلامستين، وكانت بينهما مسافة d فإن البعد البؤري المكافئ يتعين بالعلاقة

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2} \qquad (3-18)$$

على أن تكون d أقل من f_1 , f_2

تستخدم هذه المجموعة في أغراض التصوير، وهي تتألف من عدستين إحداهما مجمعة والأخرى مفرقة، إلا أن البعد البؤري لهما متساوي، فإذا فرض أن البعد البؤري للعدسة المحدبة f + وللعدسة المقعرة f – وبينهما مسافة d فإن البعد البؤري المكافئ

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{(+f)} + \frac{1}{(f-)} - \frac{d}{(+f)(-f)} = \frac{d}{f} \qquad (3-19)$$

مثال: ٣-١١:

عدسة مركبة تتألف من عدسة محدبة بعدها البؤري ٢٠سم، وأخرى مقعرة وبعدها البؤري -٢٠سم، بينهما ١٠سم. احسب البعد البؤري المكافئ.

الحل:

يتعين البعد البؤري المكافئ من العلاقة العامة:د

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}$$

وبمراعاة الإشارات تكون:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{(+20)} + \frac{1}{(-20)} - \frac{d}{(+20)(-20)}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{40}$$

$$\therefore F = +40 \text{ cm}$$

أسئلة الفصل الثالث

١ - وضعت عدسة رقيقة متساوية التحدب فوق مرآة مستوية أفقية، وأمسك بسهم أفقياً فوق العدسة، وعلى بعد ٢٠سم فانطبقت عليه صورته. ثم ملئ الفراغ بين العدسة والمرآة بطبقة من الماء فوجد أن صورة السهم تنطبق على نفسها عند ارتفاع ٢٧,٥سم. فإذا كان معامل انكسار الماء ١,٣٣. احسب نصف قطر تكور سطحي العدسة (شكل ٢ - ٧أ).

٢ - أوجد بعد الصورة المتكونة عن عدسة محدبة بعدها البؤري ١٢سم إذا كان الجسم موضعاً على بعد:

(أ) ١٦سم. (ب) ٨ سم من العدسة. وضح إجابتك بالرسم.

٣ - عدسة محدبة بعدها البؤري ٢٠سم. كونت صورة حقيقية مكبرة ثلاث مرات لجسم أمامها. احسب بعد الجسم.

٤ - أوجد بعد الصورة المتكونة عن عدسة مفرقة بعدها البؤري ١٢سم، إذا كان الجسم موضعاً على بعد:

(أ) ٢٤ سم. (ب) ٦سم.

٥ - عدسة سالبة بعدها البؤري ٢٠سم. أين يوضع الجسم لتتكون له صورة تساوي نصف طوله؟

٦ - عدسة مجمعة استخدمت كعدسة مكبرة لتكبير الجسم ثمانية مرات. أوجد البعد البؤري للعدسة إذا كان بعد الجسم وصورته ١٤سم.

٧ - احسب البعد البؤري في الحالات التالية:

(أ) عدسة مستوية مقعرة معامل انكسارها ١,٥، تكور سطحها ٢٠سم.

(ب) عدسة محدبة الوجهين، نصف قطر تكور سطحها الأول ١٥سم، والثاني ٢٠سم، ومعامل انكسار مادتها ١,٦سم.

٨ - حزمة ضوئية متجمعة عند نقطة على بعد ١٨سم خلف كل من:

(أ) عدسة محدبة بعدها البؤري ١٠سم.

(ب) عدسة مقعرة بعدها البؤري ٢٥سم.

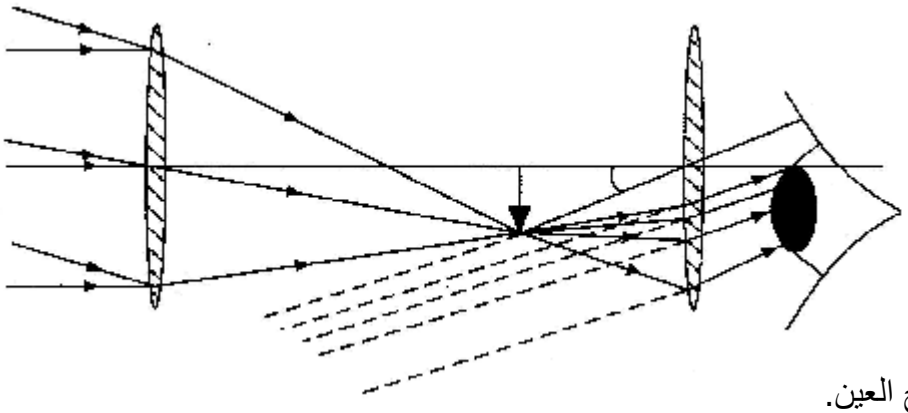
احسب بعد الصورة المتكونة في كل حالة.

٩- عدستان ملتصقتان أنصاف أقطارهما: الأولى ١٢سم، ٨سم، والثانية ١٠سم، ١٥سم. احسب البعد البؤري المكافئ لهما في الحالتين:

(أ) إذا كانا من مادة واحدة معامل انكسارها ١,٥.

(ب) إذا كان معامل انكسار العدسة الأولى ١,٥، والثانية ١,٣.

الفصل الرابع
العين والأجهزة البصرية
The Eye and the Optical Instruments



- تشريح العين.
- حدة البصر.
- زاوية الإبصار والتكبير الزاوي.
- التلسكوب الفلكي.
- التلسكوب العاكس.
- التلسكوب الأرضي.
- الميكرسكوب المركب.
- آلة التصوير الفوتوغرافي.

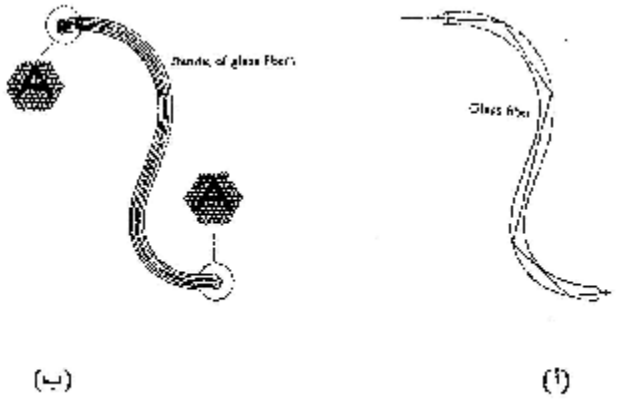
أسئلة الفصل

يتميز العصر الحديث بانتشار واسع للأجهزة البصرية واستخدامها في شتى المجالات.

ففي مجالات الرصد الفلكي والمساحي والعسكري تستخدم المقاريب (التلسكوبات)، وفي مجالات الفحوص المعملية والبحوث العلمية تستخدم المجاهر (الميكروسكوبات).

وفي المجالات الطبية تستخدم المناظير بأنواعها المختلفة، فمنا ما هو خارجي لفحص قاع العين والأنف والأذن والحلق، ومنها ما هو داخلي كمنظار المعدة ومنظار القولون ومنظار الركبة ومنظار البطن. وقد أحدثت المناظير ثورة هائلة في مجال إجراء الجراحات الدقيقة.

وتختلف نظريات عمل هذه الأجهزة. فمنها ما يعتمد على مرايا أو عدسات فقط، ومنها ما يعمل بالألياف الضوئية (شكل ٤ - ١)، إلا أنها تتفق حول غرض واحد وهو مشاهدة المرئيات بشكل مفصل ودقيق بواسطة العين.



(ب) (أ)

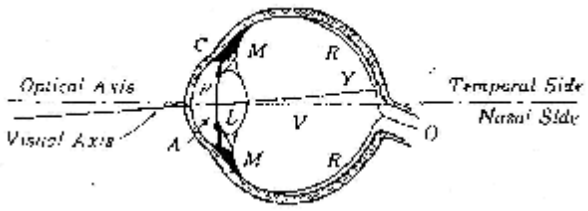
شكل (٤ – ١) الألياف الضوئية

والشكل النهائي لهذه المشاهدات يظهر كصورة للعين. لهذا سوف نبدأ بدراسة تركيب العين وكيفية تكون الصورة فيها والتعرف على عيوب البصر الشائعة.

٤-١: تشريح العين:

تعتبر العين واحدة من أدق الأنظمة البصرية التي ترصد المرئيات في سكونها وحركتها، قُربها وبعدها، طولها وعرضها وسمكها وارتفاعها وشدة إضاءتها وعتامتها، إضافة إلى تمييز ألوانها.

وهي في تركيبها تأخذ شكلاً كروياً قطره حوالي ٢,٥سم (بوصة واحدة)، ويحيط بالجزء الأكبر من سطحها جدار صلب يعرف بالصلبة، شكل (٤-٢). وتزداد شدة التكور عند الجزء الأمامي من العين، وهذا الجزء مغطى بغشاء شفاف محدب يبلغ نصف قطره تكوره ٠,٨سم. ويعرف بالقرنية C. والمنطقة التي تلي القرنية تحتوي على سائل A يعرف بالسائل المائي، ويليه العدسة البلورية L وهي تحتمي خلف حاجز معتم P يعرف بالقزحية. وتتوسط القزحية فتحة مستديرة تسمى "إنسان العين" أو الحدقة. هذه الفتحة تتسع أو تضيق تبعاً لشدة الضوء الذي تستقبله كي تحفظ العين من أضرار الإضاءة الشديدة والمتوهجة. وتثبت العدسة البلورية في مكانها بفعل ألياف عضلية M عند أطرافها.وهذه الأجهزة تتصل بالجدار الداخلي لكرة العين، وبتقلصها وارتخائها تغير من انحناء سطح العدسة البلورية فيما يعرف بتكييف العين للرؤية الواضحة. وخلف العدسة تمتلئ العين بسائل جيلاتيني يعرف بالسائل الزجاجيV.



شكل (٤ - ٢) تشريح العين

معامل انكسار السائل المائي والسائل الزجاجي يساوي ١,٣٣٦، وهي قيمة قريبة من مقدار معامل انكسار الماء، أما العدسة البلورية فمعامل انكسار مادتها غير متجانس وقيمته المتوسطة (١,٤٣٧) ولا تختلف كثيراً عن قيم معاملات انكسار السوائل المحيطة بها، لذا فإن معظم الأشعة المنكسرة للضوء الداخلي إلى العين تتجمع عند القرنية.

والجزء الأكبر من السطح الداخلي مغطى بغشاء رقيق من ألياف عصبية هي الشبكية والنقطة الصفراء Y أكثر نقطة الشبكية تأثراً بالضوء الأبيض أو الملون، وهي عبارة عن فجوة صغيرة قطرها ٠,٢٥سم. وتقع عند تقاطع محور العين مع الشبكية، وبالقرب من هذه النقطة وفي جهة الأنف تقع نقطة أخرى تتجمع عندها الألياف العصبية الدقيقة في العصب البصري O ولصغر الفجوة الموجودة عند مركز النقطة الصفراء، فإنه يلزم للعين أن تتحرك كي ترصد بوضوح نقطتين قريبتين.

ويسمى موضع دخول العصب البصري إلى داخل العين بالنقطة العمياء، حيث لا ترى فيها الخلايا العصوية والمخروطية.

أهم عيوب الإبصار هي:

أ - قصر النظر (ميوبيا).

ب - طول النظر (هيبروبيا).

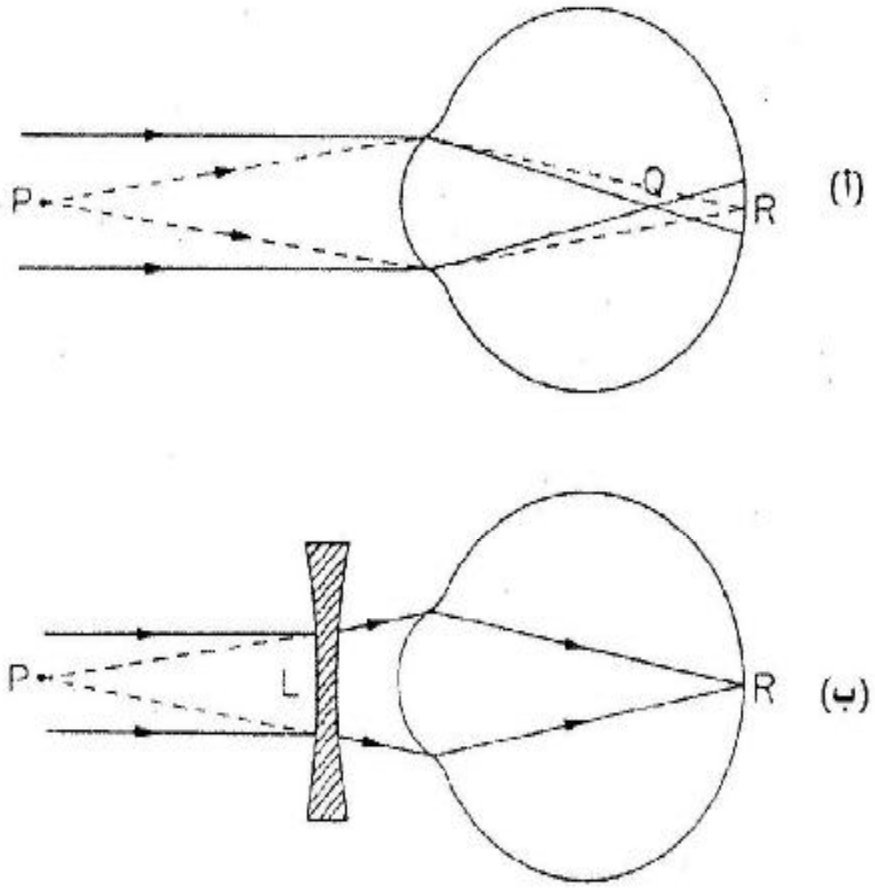
جـ - ضعف قوة التكييف (برسبيوبيا).

د - اللانقطية أو اللابؤرية (استجماتيزم).

يمكن التغلب على هذه العيوب بتصميم عدسات رقيقة مناسبة لكل حالة، وهذه قد تكون عدسات لاصقة من مواد تعرف بالبلمرات، أو قد تكون زجاجية فيما يعرف بالنظارات الطبية.

(أ) قصر النظر (ميوبيا):

يعني هذا التعبير أن الأشعة المتوازية الصادرة من جسم بعيد تتجمع داخل العين في نقطة Q أمام الشبكية بدلاً من أن تكون عليها. وتستقبل بذلك الشبكية امتداد الأشعة المتجمعة عند Q فتبدو للجسم صورة غير واضحة، (شكل ٤ - ٤) ومع اقتراب الجسم تدريجياً من العين تأخذ الصورة في الوضوح حتى تصبح أدق ما يمكن عندما تقع على الشبكية تماماً. والعين المصابة بقصر النظر تقع نقطتها البعيدة عند مسافة محدودة عند النقطة P في الشكل (أ)، ولا تقع في ما لا نهاية.



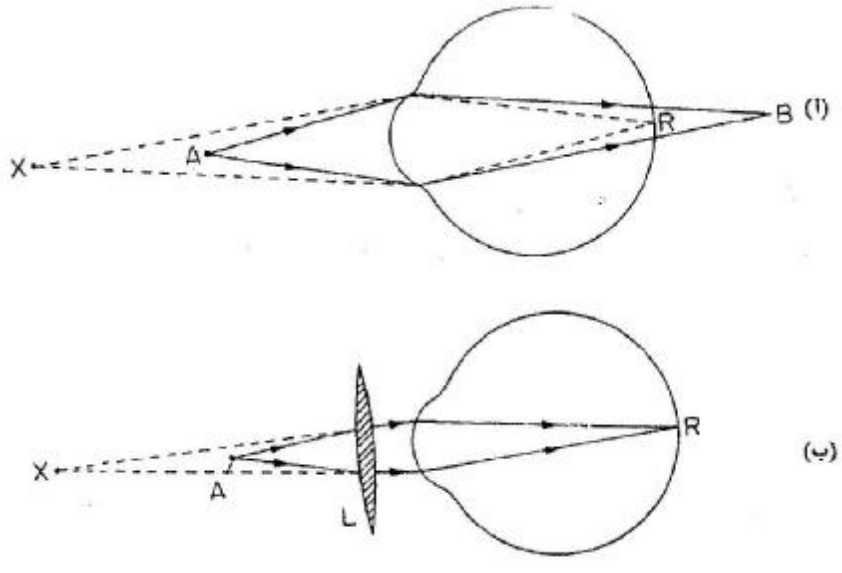
شكل (٤ - ٤) (أ) قصر النظر ، (ب) تصحيح للنقطة البعيدة

ويمكن إصلاح قصر النظر باستخدام عدسة مفرقة عند L، لزيادة البعد البؤري لعدسة العين بالقدر الذي تنطبق به صورة الأجسام البعيدة على الشبكية تماماً عند النقطة R كما في الشكل (ب). ويتضح من الشكل أن البعد البؤري للعدسة المطلوبة يساوي المسافة PL وهذه تساوي عملياً بعد النقطة البعيدة عن العين.

(ب) طول النظر (هيبروبيا):

إذا وقعت النقطة البعيدة لعين ما في ما لا نهاية، وكانت نقطتها القريبة أبعد من البعد الطبيعي المقدر بـ ٢٥سم، فإن هذه العين مصابة بطول النظر، وفي شكل (٤ - ٥أ) تمثل X النقطة القريبة لعين مصابة بطول النظر والأشعة الصادرة من X تتجمع عند الشبكية R إلا أن الأشعة التي تنبعث من النقطة القريبة السوية عند A والموجودة على بعد ٢٥سم من العين تتجمع عند نقطة B خلف الشبكية.

ويمكن إصلاح طول النظر باستخدام عدسة لامة L تعمل على زيادة قوة عدسة العين بالقدر الذي يجعل الأشعة المنبعثة من A تتجمع على الشبكية، وتبدو كما لو كانت صادرة من النقطة X في الشكل (٤ - ٥ب).



شكل (٤ - ٥) (أ) طول النظر ، (ب) تصحيح للنقطة القريبة

فإذا كان هناك جسم عند النقطة القريبة A بحيث تكون AL مساوية ٢٥سم فبدت صورته عند X بحيث كانت XL مساوية ٥٠سم.

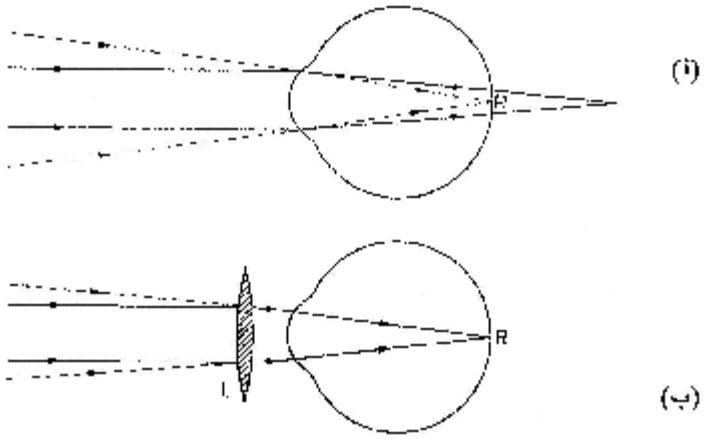
تكون بذلك العدسة المطلوبة من المعادلة العامة:

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

$$\frac{1}{(+25)}+\frac{1}{(-50)}=\frac{1}{F}$$

ومنها يكون البعد البؤري لهذه العدسة هو $f = 50\ cm$

وقد يحتاج الأمر إلى تصحيح موضع النقطة البعيدة، وذلك حين تتجمع الأشعة المتوازية في نقطة خلف الشبكية كما في شكل (٤ - ٦أ) ويمكن التغلب على هذا العيب باستخدام عدسة محدبة L كما في شكل (٤ - ٦ب) لتعمل على تجمع الأشعة المتوازية عند الشبكية R.



شكل (٤ – ٦) طول النظر وتصحيح للنقطة البعيدة

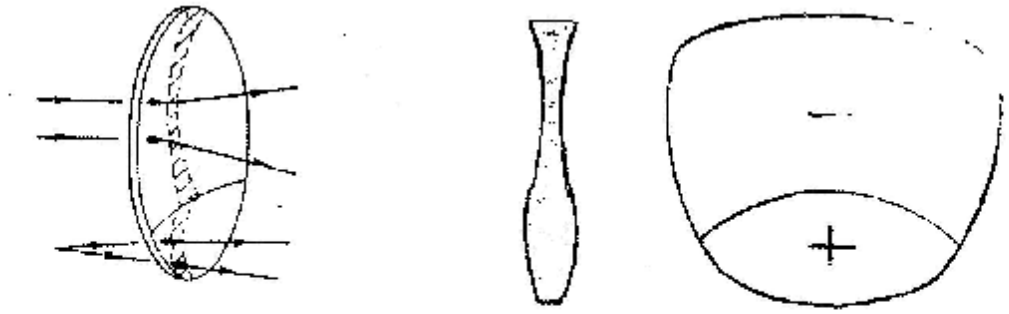
(جـ) ضعف قوة التكييف (برسبيوبيا):

يتضح مما سبق أن قصر النظر وبعد النظر إنما هما من عيوب انكسار الأشعة الداخلية للعين، بحيث تتجمع الأشعة المنكسرة إما قبل الشبكية أو بعدها. والعين المصابة بأي من هذين العيبين تظل لها القدرة على التكييف، وهي القدرة على تغيير انحناء سطحي العدسة (ومن ثم قوتها البصرية) تبعاً لقرب أو بعد المرئيات والمشاهدات كي يتم رصد هذه المرئيات بوضوح تام، وقد تفقد عدسة العين هذه القدرة بسبب اضمحلال مرونة العضلات المتصلة بالعدسة، وخاصة مع تقدم العمر، ويعرف هذا العيب بالبرسبيوبيا.

وإذا فقدت العين قدرتها على التكييف، ولم تكن تعاني من قصر النظر، فإن نقطتها البعيدة تكون في ما لانهاية، وتحتاج إلى عدسة لامة عند النظر إلى الأجسام القريبة. أما إذا كانت العين تعاني من قصر النظر، بالإضافة إلى ضعف قوة التكييف فإنها تحتاج إلى عدستين إحداهما مفرقة

عند النظر إلى أجسام على مسافات أكبر من نقطتها البعيدة، والأخرى لامة للنظر إلى أجسام قريبة وعلى مسافات أقل من نقطتها البعيدة.

وللتغلب على البرسبيوبيا تستعمل عدسات ثنائية البعد البؤري لتصحيح كل من النقطة القريبة والنقطة البعيدة. ففي هذه العدسات يكون الجزء السفلي عدسة لامة موجبة القوة لتصحيح النقطة القريبة، ويستخدم لرؤية الأجسام القريبة والقراءة. أما الجزء العلوي من هذه العدسة فتمثل عدسة مفرقة سالبة القوة لتصحيح النقطة البعيدة، (شكل ٤ - ٧) وميزة ذلك تجنب إبدال العدستين عند تنقل النظر بين الأجسام البعيدة والقريبة والاقتصار على تحريك العين للنظر خلال الجزء العلوي أو خلال الجزء السفلي من العدسة الثنائية.



شكل (٤ - ٧) مقاطع مختلفة لعدسة ثنائية البعد البؤري لتصحيح الرؤية القريبة والبعيدة

وقوة التكييف تبلغ مداها في عيون الأطفال، ثم تتناقص كلما أمد العمر ويعزي ذلك إضافة إلى ما سبق ذكره من فقد عضلات العدسة مرونتها فقداً تاماً أو جزئياً إلى أنه يحدث مع كبر السن أن يزداد معامل انكسار الطبقات الخارجية لهذه العدسة. وبذلك تقل القوة المركبة للمجموعة، وتصبح العين بذلك طويلة النظر، مما يترتب عليه أن تنعدم أو تقل قوة تكييف العين.

ومن المعتاد في القياسات البصرية عامة، وعلم أمراض العيون خاصة أن نعبر عن البعد البؤري لأية عدسة بالأمتار، وأن نتحدث عن قوة العدسة بوحدة الديوبتر.

وقوة العدسة بالديوبتر يعبر عنها بمقلوب البعد البؤري مقاساً بالأمتار.

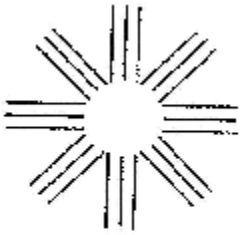
فمثلاً إذا كان البعد البؤري لعدسة = + ٥٠سم،

= + ٠,٥متر

وهكذا فالعدسات اللامة لها قوة موجبة، في حين أن العدسات المفرقة لها قوة سالبة. وتصنع عدسات النظارات الطبية إلى أقرب ¼ ديوبتر.

(د) اللانقطة أو اللابؤرية (الاستجماتيزم):

ينشأ هذا العيب إذا فقدت كرة العين أو فقد أحد الأسطح الكاسرة فيها تماثله الكري، وأهم هذه السطوح هي القرنية. وينتج عن ذلك أن تختلف القوة البصرية للعين في المقاطع المختلفة المارة بمحور بصرها، ويختلف بذلك وضوح أجزاء الجسم. فإذا نظرت مثل هذه العين إلى مجموعتين من الخطوط الرأسية والخطوط الأفقية في لوحة واحدة (شكل ٤ - ٨) فإنها لا يمكنها أن تتبين بوضوح إلا مجموعة واحدة منهما في آن واحد.

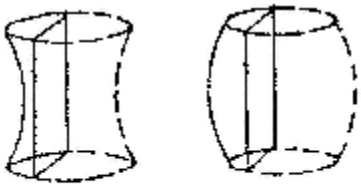


شكل (٤ – ٨) اختبار الاستجماتزم

ويمكن التغلب على هذا العيب الاستجماتي في العين باستخدام عدسة استجمية، (شكل ٤ - ٩أ) بحيث يتكون من هذه العدسة والسطح الكاسر الاستجمي في العين كالقرنية على سبيل المثال مجموعة متماثلة بالنسبة للمحور البصري.

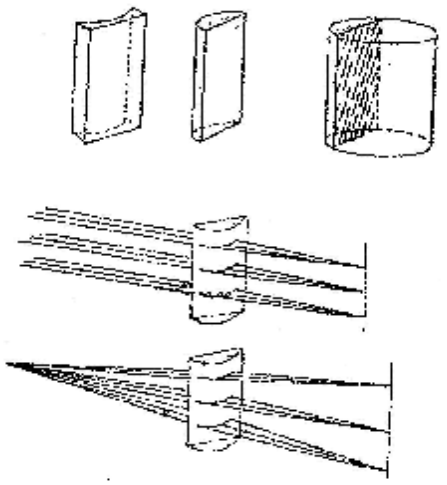
وقد يكون العيب في تكور القرنية في مقطع رئيسي واحد (الأفقي مثلاً) دون المقطع العمودي عليه، في هذه الحالة يمكن إصلاح اللانقطية باستخدام عدسة اسطوانية مستوية توضع أمام العين بحيث يوازي محورها المقطع الذي لا عيب فيه فتعوض بذلك نقص أو زيادة قوة العين في اتجاه المقطع الآخر.

أما إذا كانت العين تعاني عيباً استجمياً مصحوباً بقصر نظر أو طول نظر، كأن يشتمل العيب في تكور القرنية المقطعين الرئيسيين المتعامدين الأفقي والرأسي مثلاً، فإن صورة أي من الخطين المتعامدين لا تنطبق تماماً على الشبكية.

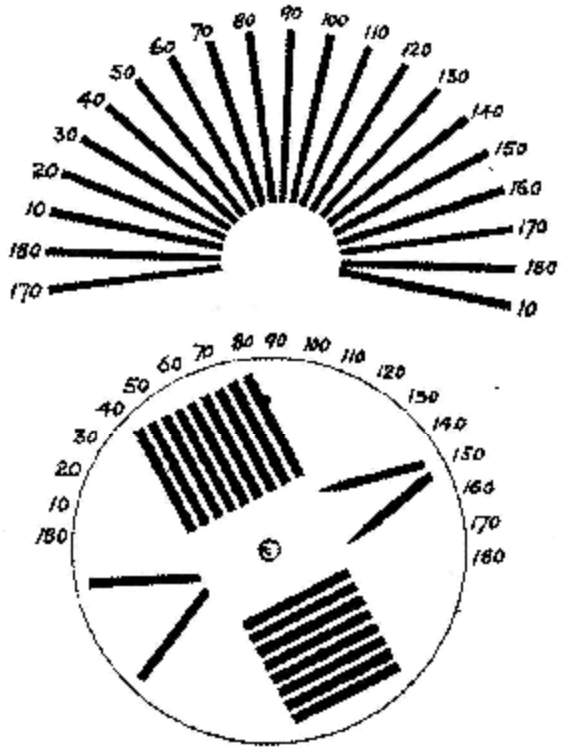


شكل (٤ – ٩ب) العدسة الطوريدية

في هذه الحالة يمكن إصلاح هذا العيب باستخدام عدسة اسطوانية كرية أو عدسة طوريدية (شكل ٤ - ٩ب) تكون قوتها في المقطعين الرئيسيين بحيث يتكون منها ومن القرنية والعدسة البلورية مجموعة متماثلة القوة حول المحور البصري للعين. وفي كلتا الحالتين تكون العدسة إما مفرقة أو مجمعة وفقاً لما تكون عليه العين من قصر أو من طول في النظر.



شكل (٤ - ١٩) عدسة استجمية ومسار الأشعة في إحداها



شكل (٤ - ١٠أ) لوحة الكشف على الاستجماتيزم

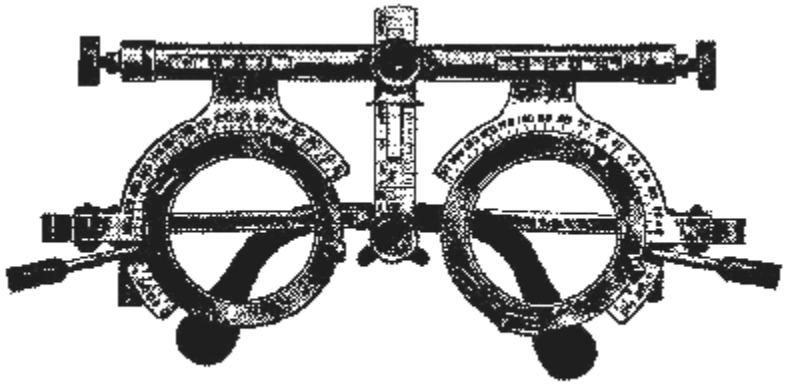
وقد يكون تكور سطح القرنية غير منتظم لدرجة يصعب معها إصلاح العيب بالعدسات الاستجمية، وفي هذه الحالة تستخدم عدسة رقيقة من مادة بلمرية (غير زجاجية) توضع بحيث يكون حافتها تحت جفن العين، ويملأ الفراغ بينها وبين القرنية بسائل له نفس معامل انكسار السائل المائي الذي يملأ الحيز بين القرنية والعدسة البلورية. وبذلك تعمل العدسة الرقيقة عمل القرنية تماماً بينما لا يعاني الضوء انكساراً عند سطح القرنية نفسها، لأن السائل على جانبيها له معامل انكسار واحد، وهذه العدسة الرقيقة تُعرف بالعدسة اللاصقة.

ويمكن الكشف عن الاتجاه الذي يوجد به العيب الانحنائي في العين باستخدام إحدى اللوحات الخاصة المبنية في شكل (٤ - ١٠أ) فإذا نظرت العين المصابة بالاستجماتيزم إلى الشكل العلوي مثلاً، فإنها سوف تلاحظ كأنما هناك فرق واضح في درجة سواد هذه الخطوط، ففي اتجاه خاص تظهر الخطوط قاتمة السواد، بينما تظهر في الاتجاه المتعامد وكأنها رمادية اللون.

وفي الشكل السفلي تدار اللوحة حول المحور البصري إلى أن تظهر إحدى مجموعتي الخطوط أوضح من الأخرى أو أكثر سواداً عنها. من ذلك يستنتج أن العدسة الاستجمية المطلوبة يجب أن توضع بحيث يتعامد محورها الاسطواني مع اتجاه الخطوط الأكثر وضوحاً في اللوحة.

ولو فرضنا أن العين كانت ترى الخطوط الأفقية واضحة تماماً، فإن هذا معناه أنها قادرة على تمييز سمك هذه الخطوط بدقة كافية، أي أنها مثالية في الاتجاه الرأسي، ومن ثم فإن العدسة الاسطوانية يجب ألا تؤثر في هذا الاتجاه المثالي، أي أنها يجب أن توضع بحيث يكون محورها الاسطواني رأسياً حتى يقتصر تأثيرها على الاتجاه الأفقي.

ويبين (شكل ٤-١٠ب) رسماً لإطار النظارة من الجهة المقابلة للعين المصابة بالاستجماتيزم، وبه تدرج زاوي من صفر إلى ١٨٠°، ويختلف عن تدريج لوحة الفحص في الشكل السابق بزاوية ٩٠°. وبذلك تكون مهمة الطبيب الفاحص أن يقرأ على لوحة الفحص الاتجاه الذي يرى فيه المريض الخطوط واضحة، ويؤشر لهذه القراءة نفسها على شكل الإطار، فيكون هذا هو الاتجاه الذي يعين على صنع النظارة أن يضع فيه المحور الاسطواني للعدسة الاستجمية.



شكل (٤ ١٠ب) الإطار المستخدم في الكشف على اتجاه الاستجماتيزم

وبعد أن يتحدد موضع هذا المحور يبقى بعد ذلك تعيين قوة العدسة الاسطوانية المطلوبة، ويأتي ذلك بطريق المحاولة فيستخدم الطبيب عدداً من العدسات الاسطوانية ذات قوى متزايدة تدريجياً تزيد كل منها عن سابقتها ¼ ديوبتر حتى ينتقي منها العدسة التي يتمكن بها المريض من رؤية جميع خطوط اللوحة بوضوح تام.

٤-٢: حدة البصر:

سبق أن ذكرنا بأن سطح الشبكية يتكون من شبكة كثيفة جداً لشعيرات من الأعصاب بعضها على شكل قضبان، والبعض الآخر على شكل مخروطات. وطبقاً لنظرية هلمهولتز في الإبصار فإن القضبان تختص بتمييز اللونين الأبيض والأسود فقط، أما المخروطات فتميز الألوان، بالإضافة إلى اللونين الأبيض والأسود. وتبلغ درجة كثافة القضبان على الشبكية أقصاها عند النقطة الصفراء حيث تقدر المسافة بين اثنين منها بنحو ٠,٠٠٤مم.

فإذا نظرت العين إلى جسم دقيق بحيث لم يتأثر بصورته أكثر من شعيرة واحدة فإن العين لا تستطيع أن تحدد تفاصيل هذا الجسم، بل تميزه بنقطة واحدة، ولا يمكن لعين أن تميز بين نقطتين إلا إذا وقفت صورتاهما على شعيرتين مختلفتين. ولما كانت المسافة بين كل شعيرتين مساوية ٠,٠٠٤مم، فإن العين لا يمكنها أن تميز بين نقطتين إلا إذا كانت المسافة بين صورتيهما مساوية ٠,٠٠٤مم على الشبكية. وهذه تقابل زاوية بصرية مقدارها دقيقة واحدة، وهي الزاوية التي يصنعها جسم طوله ٠,٣مم موضوع على مسافة متر من العين.

مثال: ٤ - ١:

إذا كانت النقطة القريبة لعين طويلة النظر تقع على بعد ١٠٠سم منها، احسب البعد البؤري والقوة للعدسة اللازمة لها للقراءة بوضوح على البعد المثالي.

الحل:

في هذه الحالة يوضع الجسم عند ٢٥سم $\therefore u = 25\ cm$

تتكون الصورة عند ١٠٠ سم $\therefore v = -100\ cm$

ومنها:

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

$$\frac{1}{(+25)} + \frac{1}{(-100)} = \frac{1}{f}$$

فيكون البعد البؤري

$$\therefore\ f \quad \frac{100}{3} \quad = \quad 33.3 \quad cm$$

وتكون القوة

$$F = \frac{1}{f\ (\text{in meter})} = \frac{100}{0.333} = +3\ \Delta$$

مثال: ٤ - ٢:

النقطة البعيدة لعين بها ميوبيا تبعد ١٠٠سم عن العين. احسب العدسة اللازمة لرؤية الأجسام عند ما لا نهاية:

الحل:

$$u = \infty\ , \qquad v = -100$$

$$\therefore \frac{1}{\infty} + \frac{1}{(-100)} = \frac{1}{f}$$

ومنها يكون البعد البؤري – ١٠٠ سم.

أي أن العدسة مفرقة وقوتها - ١ ديوبتر.

مثال: ٤ - ٣:

يمكن لشخص أن يرصد المرئيات بين ٥٠ سم و ٣٠٠ سم بشكل واضح. ما هي العدسة التي تلبي:

أ) زيادة مدى الرؤية الواضحة إلى ∞ .

ب) اختزال النقطة القريبة إلى ٢٥ سم.

الحل:

أ) لزيادة مدى الرؤية إلى ∞ تستعمل عدسة مفرقة، وبفرض قرب العدسة من العين، فإن الجسم الموضوع عند ∞ تظهر صورته عند النقطة البعيدة على بعد ٣٠٠سم.

$$\therefore \ u = \infty \ , \qquad v = -300$$

$$\therefore \ \frac{1}{\infty} + \frac{1}{(-300)} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore f = -300 \text{ cm}$$

وتغير هذه العدسة من وضع النقطة القريبة ٥٠ سم إلى u

$$\therefore \ \frac{1}{u} + \frac{1}{(-50)} = \frac{1}{(-300)}$$

$$\therefore u = 60 \text{ cm}$$

ويصبح المدى الجديد بين ٦٠سم ، ∞ .

ب) لاختزال النقطة القريبة من ٥٠ سم إلى ٢٥سم. تستعمل عدسة محدبة بحيث يكون

$$\therefore \ u = 25 \ , \qquad v = -50$$

$$\therefore \ \frac{1}{25} + \frac{1}{(-50)} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore f = +50 \text{ cm}$$

وهذه العدسة تغير من النقطة البعيدة ٣٠٠سم إلى u'

$$\therefore \ \frac{1}{u'} + \frac{1}{(-300)} = \frac{1}{(+50)}$$

$$\therefore \ u' = 42.7 \text{ cm}$$

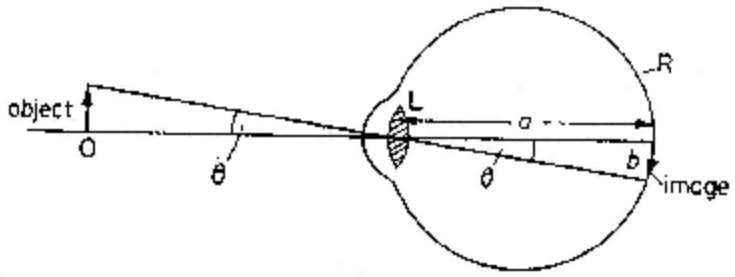
ويصح مدى الرؤية لهذه العدسات من ٢٥سم – ٤٢,٧ سم.

٤-٣: زاوية الإبصار والتكبير الزاوي:

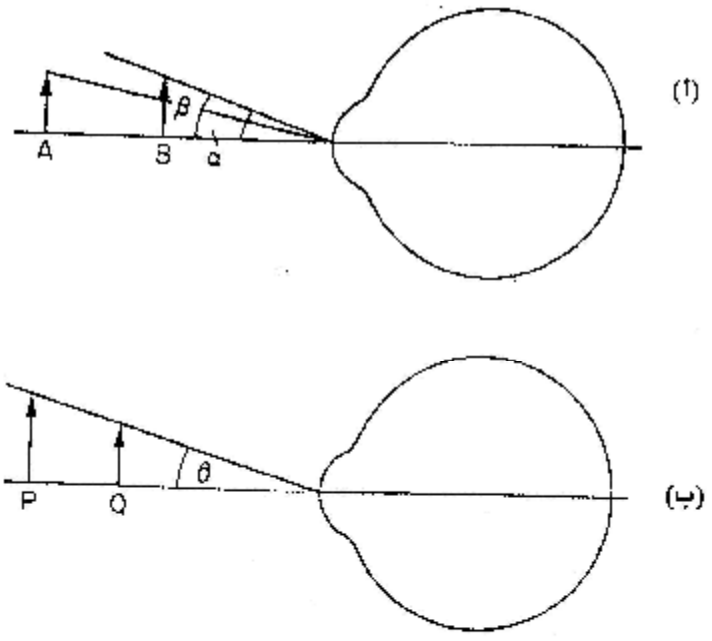
نعتبر أن هناك جسماً O في شكل (٤-١١) وقد تكونت له صورة b على شبكية عين شخص ما. وكان قطر كرة العين a. فإذا كانت θ هي الزاوية التي يصنعها الجسم عند العين، ومقدرة بالتقدير الدائري، فإنه من هندسة الشكل نجد أن $b = \theta \ a$ ومنها $b \ \alpha \ \theta$. من ذلك نصل إلى النتيجة الهامة التالية:

"يتناسب طول صورة جسم ما تناسباً طردياً مع زاوية الإبصار التي يعملها الجسم عند العين".

ويوضح الشكل (٤ - ١٢أ) هذه الحقيقة. فإذا كان هناك جسماً عند A يصنع زاوية $\hat{\alpha}$ ثم تحرك الجسم قرباً من العين إلى نقطة B وعمل زاوية $\hat{\beta}$ فسنجد أن $\hat{\theta} < \hat{\beta}$ وعليه فإن الجسم سيبدو عند النقطة B أكبر منه عند النقطة A رغم أن طوله ثابت لم يتغير. كذلك في شكل (٤ - ١٢ب) الجسمان عند P, Q يصنعان زاوية واحدة $\hat{\beta}$ عند العين، ولذلك سيظهران متساويين على الرغم من اختلاف أطوالهما الطبيعية.



شكل (٤ – ١١) طول الصورة على الشبكية وزاوية الإبصار



شكل (٤ – ١٢) العلاقة بين زاوية الإبصار وطول الصورة

وهكذا نجد أن زاوية الإبصار هي المسئولة عن كيفية ظهور صور الأجسام في العين.

وتعد التلسكوبات والميكرسكوبات أجهزة بصرية مصممة بفكرة زيادة الزاوية البصرية للمرئيات، كي تظهر بصورة أكبر بكثير من حقيقتها. فإذا كانت الزاوية البصرية عند العين لجسم ما

بدون استخدام الجهاز هي α وأصبحت بعد استخدام الجهاز α' فإن التكبير الزاوي M للجهاز يعطي بالعلاقة:

$$M = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

وتعرف هذه العلاقة بقوة التكبير للجهاز، وفيها يتم التركيز على الزوايا البصرية للجسم وصورته، وليس على الحجم الطبيعي للجسم.

والتلسكوب جهاز لرصد المرئيات البعيدة، ولذلك يستخدم بفعالية كبيرة في الأرصاد الفلكية، وقد صمم أول تلسكوب عام ١٦٠٨م، واستخدمه جاليليو عام ١٦٠٩م للرصد الفلكي، وفتح الطريق بذلك أمام اكتشافات فلكية هائلة ساهم فيها كلمن كيلر ونيوتن الذي قام بدوره بتصميم تلسكوبات أخرى.

٤-٤ التلسكوب الفلكي:

يتألف التلسكوب الفلكي من عدستين: شيئية ذات بعد بؤري كبير، وعينية ذات بعد بؤري صغير. وعند الاستخدام المعتاد للتلسكوب تكون الصورة النهائية عند ما لا نهاية، وتراها العين دون عناء.

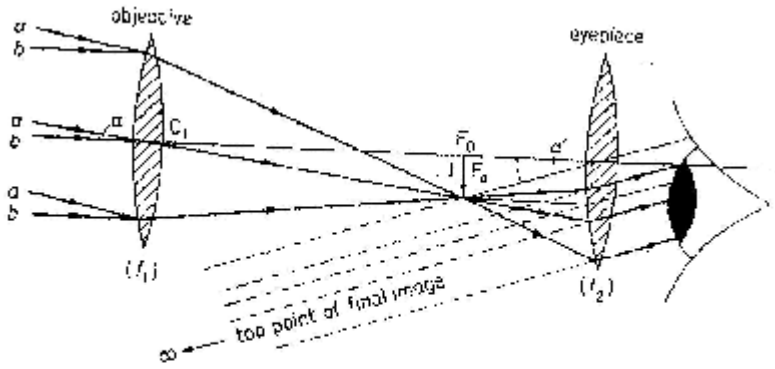
ويوضح شكل (٤-١٣) كيفية تكون الصورة النهائية عند الاستخدام الطبيعي للتلسكوب، حيث تتكون الصورة I للجسم البعيد عند البؤرة الثانوية، F_o للعدسة الشيئية. كذلك تكون الصورة النهائية عند ما لا نهاية، وذلك لوقوع الصورة الأولية I عند البؤرة الأساسية F_e للعدسة العينية، وبمقارنة بعد العدسة الشيئية عن العين مع بعد الجسم البعيد عن العين، فإنه يمكن اعتبار أن الزاويةα هي الزاوية البصرية للجسم عند العين؛ نتيجة لقرب هذه العدسة من العين، أما زاوية إبصار الصورة فهي α' وعليه تكون:

$$\alpha = \frac{h}{f_o} \quad , \quad \alpha' = \frac{h}{f_e}$$

حيث h يمثل طول الصورة I وتكون قوة تكبير التلسكوب:

$$M = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f_o}{f_e} \frac{\text{(البعد البؤري للشيئية)}}{\text{(البعد البؤري للعينية)}}$$

وهكذا نجد أن قوة تكبير التلسكوب تساوي النسبة بين البعد البؤري للعدسة الشيئية إلى البعد البؤري للعدسة العينية.



شكل (٤ ١٣) التلسكوب في الاستخدام المعتاد . الصورة النهائية عند ما لا نهاية

ويلاحظ أن المسافة بين العدستين يساوي حاصل جمع البعدين البؤريين $(f_o + f_e)$ ويستفاد من هذه النتيجة عند تصنيع أو تصميم التلسكوب.

وقد يكون هناك وضع غير معتاد لاستخدام التلسكوب، وفيه تتكون الصورة النهائية عند موضع النقطة القريبة للعين، وليس عند ما لا نهاية كما ذكر من قبل. ويوضح شكل (٤ - ١٤) هذه الحالة، وفيه تكوّن الشيئية L_1 صورة للجسم البعيد عن بؤرتها F_1 وتُحرك العينية بحيث تقع هذه الصورة على بعد أقل من بؤرتها F_2 فتكون له صورة نهائية مبكرة معتدلة على بعد D من العينية، وتكون قوة التكبير عندئذ:

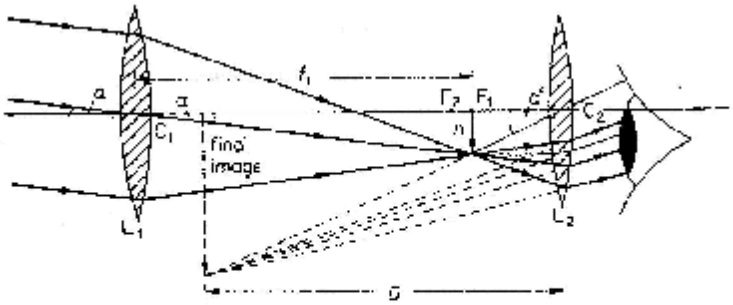
$$M = \frac{f_1}{f_2}\left(1 + \frac{f_2}{D}\right) \qquad (4\text{-}1)$$

وبالمقارنة بالنتيجة السابقة، نجد أن هذا الاستخدام للتلسكوب بتكوين الصورة النهائية عند النقطة القريبة بدلاً من ما لا نهاية يعمل على زيادة قوة التكبير.

٤-٥: التلسكوب العاكس:

التلسكوب الفلكي الذي تم شرحه في البند السابق يعتمد في عمله على قدرة العدسة الشيئية على كسر الأشعة الساقطة عليها من جسم بعيد وتجميعها في بؤرتها، ولذلك يسمى هذا النوع من التلسكوبات بتلسكوب الانكسار أو التلسكوب الكاسر.

هناك أنواع أخرى من التلسكوبات، وتعرف بتلسكوب الانعكاس أو التلسكوب العاكس، وفيه تستبدل العدسة الشيئية بمرآة لامة شيئية تقوم بعكس الأشعة وتجميعها عند بؤرتها لتكون صورة أمام العدسة العينية للتلسكوب.



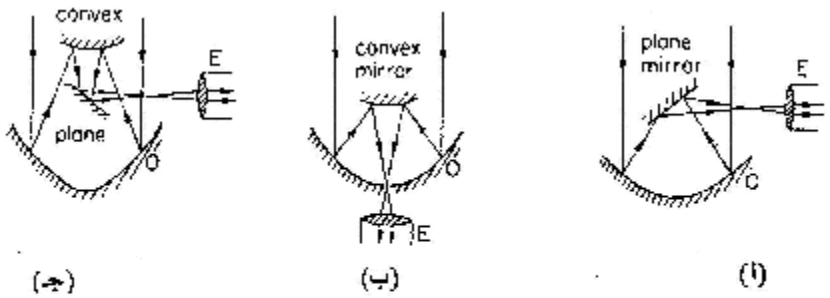
(٤ - ١٤) التلسكوب في استخدام غير عادي - الصورة النهائية عند النقطة القريبة للعين

يتجلى ذلك كأروع ما ابتكره العقل البشري في تاريخ العلوم في تلسكوب هال المقام عند سفح جبل بالومار بولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية. وقد اختير هذا الموقع لما يتميز به المكان من هواء خال من الرطوبة، ومن معوقات الرؤية الليلية.

ويتكون الجزء الأكبر في هذا التلسكوب من مرآة على هيئة قطع مكافئ اتساعه خمسة أمتار. صنعت المرآة من زجاج البيركس الذي يتميز بصغر معامل تمدده الحراري، واستغرق العمل في إعدادها وصقلها قرابة ست سنوات. وتغطي واجهة المرآة بطبقة رقيقة من الألومنيوم الذي يتميز بمقاومته الشديدة لعوامل التعرية مقارنة بالفضة التي تتأثر بسرعة في الجو المكشوف.

وتساعد ضخامة المرآة على السماح بقدر وافر من الضوء الساقط من النجوم والكواكب البعيدة، كي ينعكس ويتجمع عند بؤرتها وتسجيل هذه الصور بواسطة أجهزة تصوير خاصة. ويمكن بهذا التلسكوب متابعة عناصر كونية تولد أو تفني، ودراسة بعض النظريات الفلكية في الكون وتصوير عدد من الكواكب مثل المريخ، وإضافة للمرآة الرئيسية والتي تمثل الشيئية العاكسة O في شكل (٤ - ١٥) هناك مرايا أخرى مساعدة، قد تكون مستوية أو محدبة.

ففي شكل (أ) والذي يمثل التلسكوب العاكس لنيوتن نجد أن المرآة المساعدة مستوية تقوم بعكس الصورة المتكونة بالشيئية في اتجاه عمودي على المحور الرئيسي لها، وتقع بذلك أمام العدسة العينية E. وفي التلسكوب العاكس لكاسيجارين (شكل ب)، نجد أن المرايا المساعدة محدبة، وتعمل على تكوين صورة واضحة ومركزه خلف الشيئية خلال فتحة صغيرة عند قطبها، وتقع الصورة بذلك أمام العينية E الموجودة خلف الشيئية على امتداد المحور الرئيسي لها. أما في التلسكوب العاكس لكودية تم تجميع المرايا المستوية والمحدبة، بحيث تكون صورة نهائية أمام العدسة العينية E الموجودة في اتجاه عمودي على المحور الرئيسي لشيئية التلسكوب (شكل جـ).

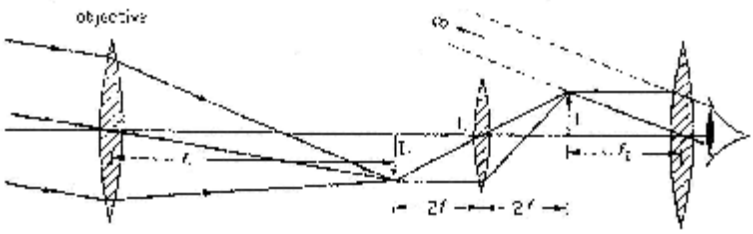


شكل (٤ – ١٥) التلسكوب العاكس وفقا لكل من:
(أ) نيوتن (ب) كاسيجارين (جـ) كوديه

٤-٦: التلسكوب الأرضي:

لوحظ في التلسكوب الفلكي الكاسر أن الصورة الأولية للجسم البعيد، والموجودة عند بؤرة الشيئية هي صورة حقيقية مقلوبة. وفي الملاحظات الفلكية لا يهتم بهذا الأمر كثيراً بقدر الاهتمام بوضوح الصورة النهائية، إلا أن الأمر يختلف في الرصد المساحي حيث ينصب الهدف على رصد مرئيات ساحية بحيث ترى في النهاية معتدلة.

وللحصول على صورة نهائية معتدلة تم إدخال عدسة دخيلة L بين الشيئية F_1 والعينية F_2 (شكل ٤-١٦) توضع هذه العدسة بحيث تكون الصورة الأولية I_1 على بعد مساو لضعف البعد البؤري ناحية البؤرة الأساسية فتتكون لها صورة "ثانوية" I حقيقية معتدلة ومساوية. وعند بعد من L يساوي أيضاً ضعف البعد البؤري ناحية البؤرة الثانوية. نتيجة لذلك يكون هناك صورة حقيقية معتدلة عند بؤرة العدسة العينية لتكون عند ما لا نهاية الصورة النهائية للجسم المرصود في الوضع المعتدل له.



شكل (٤ – ١٦) التلسكوب الأرضي

ونجد في هذه الحالة أن قوة التكبير ما زالت تساوي النسبة بين البعد البؤري للشيئية إلى البعد البؤري للعينية (f_1 / f_2) إلا أن المسافة بين الشيئية والعينية قد زادت بحيث أصبحت $(f_1 + f_2 + 4f)$

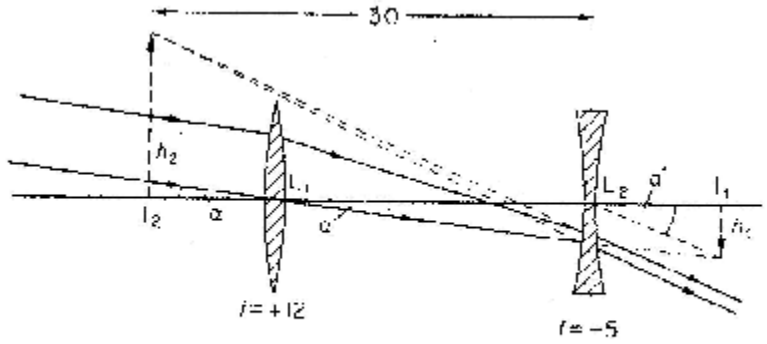
بدلاً من $(f_1 + f_2)$ حيث تمثل f البعد البؤري للعدسة الدخيلة L. ويعتبره زيادة طول قصبة التلسكوب عيباً آخر يضاف إلى عيب نقص شدة استضاءة الصورة الموجودة أمام العينية بفعل العدسة الدخيلة.

مثال: ٤ - ٤:

تلسكوب جاليليو فيه البعد البؤري للشيئية +١٢سم، وللعينية -٥سم. وعند رصد جسم بعيد تكونت له صورة تقديرية معتدلة على بعد ٣٠سم من العينية. احسب من ذلك قوة التكبير الزاوي للتلسكوب.

الحل:

يوضح شكل (٤ - ١٧) مسار الأشعة في هذا المثال:



شكل (٤ - ١٧) توضيح للمثال ٤ - ٤ في استخدام تلسكوب جاليليو

نطبق قانون جاوس للعدسات لإيجاد بعد الصورة الأولية عن العينية، فإذا كان بعد هذه الصورة I_1 عن العينية هي u وبعد الصورة النهائية v.

$$\mathbf{Q}\quad \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{F}$$

$$\therefore \frac{1}{u} + \frac{1}{(-30)} = \frac{1}{(-5)}$$

$$\therefore u = 6\ \text{cm}$$

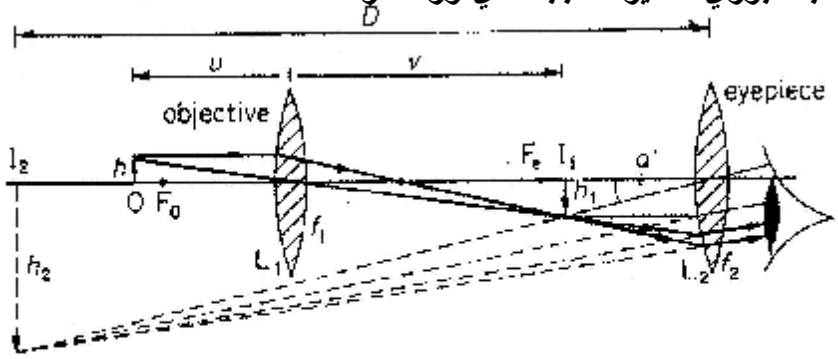
ويكون قوة التكبير الزاوي = $\dfrac{\text{البعد البؤري للشيئية}}{\text{بعد الصورة الأولية عن العينية}}$

$$\therefore M = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{h_1/(L_2 I_1)}{h_1/f_1} = \frac{f_1}{(L_2 I_1)} = \frac{12}{6} = 2$$

٤-٧: الميكرسكوب المركب:

بدراسة التركيب الزاوي للميكرسكوب البسيط وجد أن قوة التكبير M تزداد كلما صغر البعد البؤري f للعدسة، ونظراً لأن البعد البؤري يتوقف على شدة تكور سطح العدسة، فإن هناك حد أدنى لقيمة f لا يمكن الحصول على أقل منها لصعوبة تصنيع أسطح ذات شدة تكور كبيرة، ولذلك تم

استخدام عدستين بدلاً من عدسة واحدة في الميكرسكوب؛ لزيادة قوة التكبير الزاوي، وأطلق على الجهاز اسم الميكرسكوب المركب، ويبينه الشكل (٤-١٨) تسمى العدسة القريبة من الجسم بالشيئية، والعدسة التي تتكون من خلالها الصورة النهائية بالعينية، وكلا من هاتين العدستين محدبة، ولكليهما بعد بؤري صغير للسبب الذي ورد ذكره.



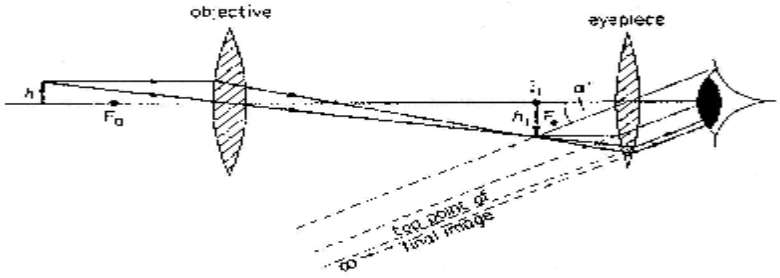
شكل (٤ - ١٨) الميكرسكوب المركب عند الاستخدام المعتاد

وعند استعمال الميكرسكوب، فإن الجسم يوضع على بعد أكبر قليلاً من البعد البؤري f_o للشيئية، وتتكون له صورة حقيقية مكبرة مقلوبة عند I_1 داخل قصبة الميكرسكوب. تضبط العينية للحصول على صورة نهائية تقديرية مكبرة عند I_2، وبذلك تكون I_2 على بعد أقرب إلى العين من بعدها البؤري f_e فتعمل هذه العدسة عمل عدسة مكبرة كما في حالة الميكرسكوب البسيط.

وعند استخدام الأمثل للميكرسكوب تكون العين شديدة القرب من العينية، وتقع الصورة النهائية على مسافة D تساوي بعد النقطة القريبة للعين. وبالاستعانة بالشكل وكذلك الكميات التي سبق تعريفها، وملاحظة أن بعد الصورة الأولية I_1 تبعد مسافة v من الشيئية، فإنه يمكن حساب التكبير الزاوي للميكرسكوب المركب ليصبح:

$$M_{n.\,p.} = \left(\frac{D}{f_e} - 1\right)\left(\frac{v}{f_o} - 1\right) \qquad (4-2)$$

وقد يستعمل الميكرسكوب المركب في غير حالته المثلى والمعتادة؛ وذلك بأن تقع الصورة الأولية I_1 عند بؤرة العينية. وعليه، فإن الصورة النهائية سوف تتكون عند ما لا نهاية كما في شكل (٤-١٩).



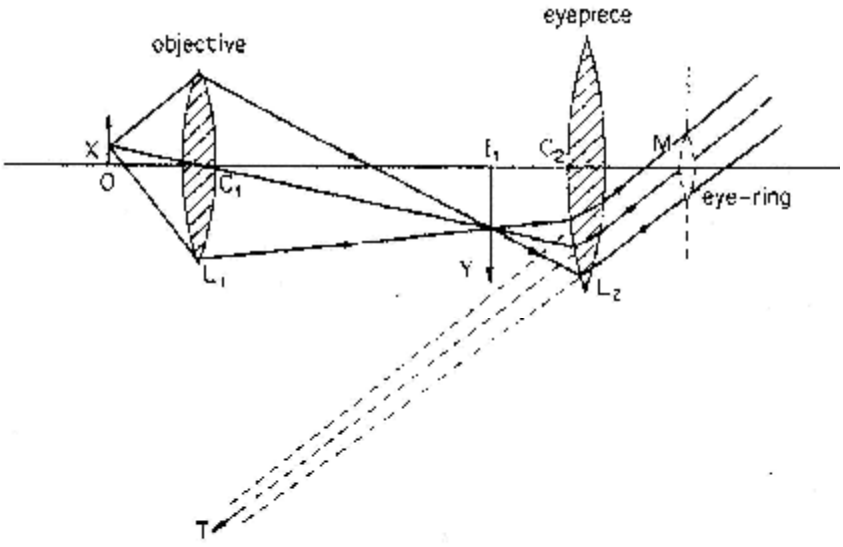
شكل (٤ - ١٩) الميكرسكوب المركب والصورة النهائية عند ما لا نهاية

في هذه الحالة تعطي قوة التكبير الزاوي بالعلاقة:

$$M_{f.p.} = \left(\frac{v}{f_o} - 1\right)\frac{D}{f_e} \qquad (4-3)$$

يتضح من هذه العلاقة أنه كلما صغرت قيم الأبعاد البؤرية للعدسات المستعملة، كلما كبرت قيمة التكبير الزاوي M.

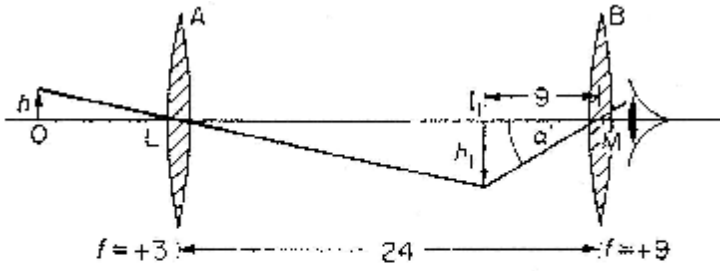
والوضع الأمثل عند مشاهدة الأجسام خلال الميكرسكوب هو اختيار دائرة العين M كما يوضحه شكل (٤ - ٢٠). ويحدث ذلك عندما تكون عين المشاهد قريبة جداً من العينية بالقدر الذي يمكن معه متابعة الشعاع المركزي T في الأشعة المكونة للصورة وهذا الشعاع يناظر الشعاع المركزي X الصادر من مركز الجسم.



شكل (٤ - ٢٠) موضع دائرة العين عند المشاهدة

مثال: ٤ - ٥:

ميكرسكوب مركب البعد البؤري لعدستيه ٣سم، ٩سم، والمسافة بينهما ٢٤سم. أين يوضع جسم بحيث تظهر صورته النهائية عند ما لا نهاية؟ وما هي قوة التكبير الزاوي إذا ما استعمل الميكرسكوب استعمالاً معتاداً بواسطة شخص تقع النقطة القريبة لعينه على بعد ٢٥سم، شكل (٤ - ٢١).



شكل (٤ - ٢١) توضيح المثال ٤ - ٥

الحل:

بمتابعة الشكل (٤ - ٢١) نفرض أن الشيئية A والعينية B بحيث يكون:

$$f_o = 3\ cm \quad , \quad f_e = 9\ cm$$

يوضع الجسم على بعد u من الشيئية بحيث تتكون له صورة أولية عند بؤرة العينية، وتكون على بعد من الشيئية $v = 15\ cm$ وباستخدام قانون جاوس:

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{+15} = \frac{1}{+9}$$

$$\therefore u = 3\frac{3}{4}\ cm$$

$$\therefore M = \left(\frac{v}{f_o} - 1\right)\frac{D}{f_e} = \left(\frac{15}{3} - 1\right)\frac{25}{9} = 11.1\ rad$$

٤-٨: آلة التصوير الفوتوغرافي:

تتكون آلة التصوير من الأجزاء الأساسية التالية:

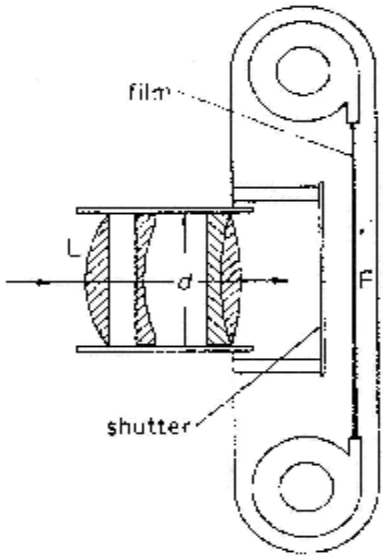
١ - **منظومة العدسات L وتقع عند مقدمة الآلة.**

٢ - **فيلم F حساس للضوء، ويقع عند مؤخرة الآلة.**

٣ - **أداة لضبط البعد البؤري للعدسات لضمان تكون صور واضحة على الفيلم الحساس.**

٤ - **نظام تعريض للضوء يمد الفيلم بجرعات مناسبة لفتحة العدسة.**

وتظهر هذه الأجزاء في شكل (٤ - ٢٢)

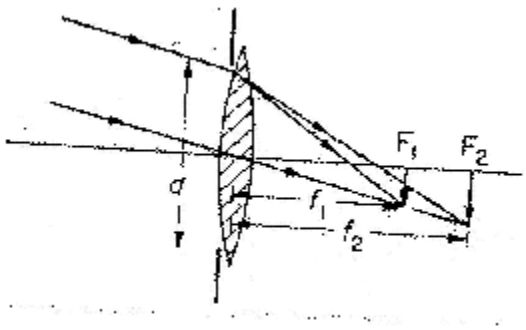


شكل (٤ - ٢٢) الأجزاء الأساسية لآلة التصوير

منظومة العدسات قد تحتوي على أزواج من العدسات اللالونية ومجموعة من العدسات المنفصلة، والتي تعمل في مجموعها على اختزال التشويه اللوني والشكلي. وتمر هذه المجموعة من الأمام بحاجز معتم ذي فتحة أو نافذة مركزية قطرها d بحيث تسمح بدخول الضوء بشكل منتظم ومركز حول المحور البصري، وذلك لزيادة اختزال العيوب المسببة لتشويه الصورة.

تتناسب كمية الضوء الساقطة على سطح الفيلم في آلة التصوير مع مربع قطر الفتحة المركزية d_2.

يبين شكل (٤-٢٣) أن طول الصورة يتناسب مع قيمة البعد البؤري للعدسة، ومنها نستنتج أن مساحة الصورة تتناسب مع مربع البعد البؤري f_2 يتناسب الفيض الضوئي β مع المقدار (d_2 / f_2)، ويعرف في هذا المجال بضياء الصورة أو صفائها، ويساوي رياضياً شدة الضوء الساقط على وحدة المساحات.



شكل (٤-٢٣) اعتماد طول الصورة على البعد البؤري

يلاحظ أن الزمن (t) اللازم لتنشيط التفاعلات الكيميائية على اللوح الحساس يتناسب هو الآخر مع الكمية β تناسباً عكسياً، أي أن

$$t \alpha \frac{1}{\beta} \alpha \frac{f_2}{d_2} \qquad (4-4)$$

تقدر الفتحة النسبية للعدسة بقيمة النسبة (d/f) ويعبر عنها بالعدد f. فإذا كانت الفتحة وفقاً للعدد f – 2 فهذا يعني أن قطر فتحة العدسة (f/2) وللعدد f-8 يصبح قطر الفتحة (f/8) وهي أصغر من القطر في الحالة الأولى.وبذلك نرى أن زيادة العدد f يعني نقصاً في قطر فتحة العدسة، واختزالاً لكمية الضوء الساقط خلالها على سطح الفيلم الحساس، ويكون زمن التعريض في حالة f-8 مساوياً لـ ١٦ ضعفاً من زمن التعريض في الحالة f-2.

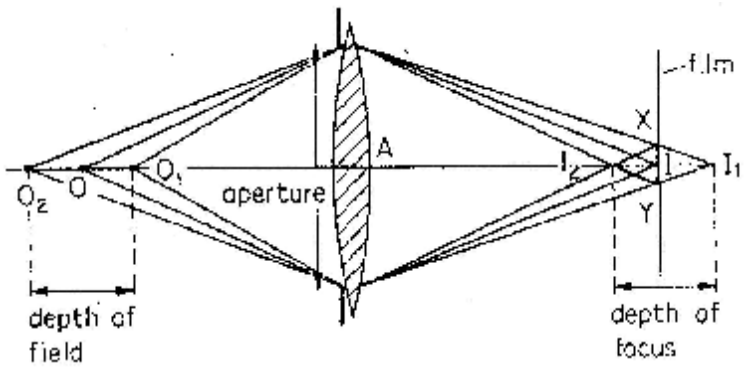
يكتب العدد f على إطار دائري في محيط مجموعة العدسات على هيئة:

العدد 2 , 2.8 , 3.5 , 4 , 4.8

ومربعاتها 4 , 8 , 12 , 16 , 20

والنسبة بينهما 1 , 2 , 3 , 4 , 5

يمكن لآلة التصوير أن تلتقط صوراً واضحة لأهداف على مسافات مختلفة (شكل ٤ - ٢٤) تتحد هذه المسافات بمدى معين يعرف بمدى مجال الرؤية الواضحة O_1O_2، ويناظر هذا المدى مدى آخر يعرف بالعمق البؤري I_1I_2، يمكن للعين أن ترصد بوضوح تام أي صورة تقع خلاله. ويتناسب عمق مجال الرؤية عكسياً مع مقدار فتحة العدسة.



شكل (٤ - ٢٤) عمق مجال الرؤية والعمق البؤري في عدسة آلة التصوير

أسئلة الفصل الرابع

١ - قارن بين التركيب الضوئي لكل من: عين الإنسان، وآلة التصوير الفوتوغرافية.

٢ - شخص طويل النظر تقع نقطته القريبة للنظر الواضح على بعد ٥٠سم، وباستخدام نظارة طبية تقل هذه المسافة إلى ٢٠سم، احسب قوة العدسة المستعملة وبيّن طبيعتها.

٣ - شخص قصير النظر يقع مدى الرؤية الواضحة له بين ١٨سم، ٨٠سم من عينيه فإذا استخدم عدسة على بعد ٢سم من عينيه. احسب قوة العدسة. وموضع النقطة القريبة المعدلة.

٤ - ماذا يقصد بتكييف العين؟ وكيف يمكن علاج ضعفه؟

٥ - احسب قوة العدسة اللازمة لشخص طويل النظر تقع نقطته القريبة على بعد ١٥٠سم ليتمكن بواسطتها من القراءة على بعد ٢٠سم.

٦ - ركبت عدسة ملتصقة بقرنية عين طويلة النظر بحيث انطبق سطحاهما الملتصقان انطباقاً تاماً. فإذا كان انحناء سطح القرنية هو ٨٠ ديوبتر، وانحناء السطح الخارجي للعدسة الملتصقة هو ١٠٠ ديوبتر. احسب من ذلك قوة المجموعة المركبة من العدسة الملتصقة والقرنية. إذا علم أن معامل انكسار مادة العدسة ١,٦٢ ومعامل انكسار سائل العين ١,٣٤.

٧- يستخدم شخص عدسة بعدها البؤري ٢٢سم كي يقرأ كتاباً على بعد ٢٠سم من عينيه. ما هو أقرب بعد لجسم يستطيع أن يراه بوضوح دون استعماله هذه العدسة.

٨- عين طويلة النظر نقطتها القريبة على بعد ١٠٠سم. ما نوع وقوة العدسة اللازمة للقراءة؟، وكيف تتغير بها نقطتها البعيدة؟

٩- اشرح عيوب الإبصار التي تعالج باستخدام العدسات الكرية، أي من هذه العيوب يستخدم معها العدسة الطوريدية؟

١٠- بيّن كيف يمكن ترتيب عدستين محدبتين لاستخدامهما:

(أ) كميكرسكوب. (ب) كتلسكوب.

١١- يتركب تلسكوب من عدستين لامتين، البعد البؤري للأولى ٢٥٠سم، وللثانية ٢سم ويستخدم لرصد كوكب زاوية إبصاره ٥ × $١٠^{-٥}$ زاوية نصف قطرية. بيّن كيف يمكن ترتيب العدستين لهذا الغرض، وأوجد زاوية إبصار الصورة النهائية عند عين الراصد.

١٢- أثبت أن قوة تكبير الميكرسكوب البسيط تتناسب عكسياً مع البعد البؤري.

١٣- ميكرسكوب مركب فيه البعد البؤري للشيئية ١سم، وللعينية ٥سم، والبعد بينهما ١٥,١٥سم. احسب بعد الجسم عن الشيئية، ودرجة تكبير الميكرسكوب، إذا كانت الصورة النهائية تبعد ٢٥سم من عين المشاهد.

الفصل الخامس

مبدءا هنجز والنظرية الموجية لضوء

Hinges and light wave theory

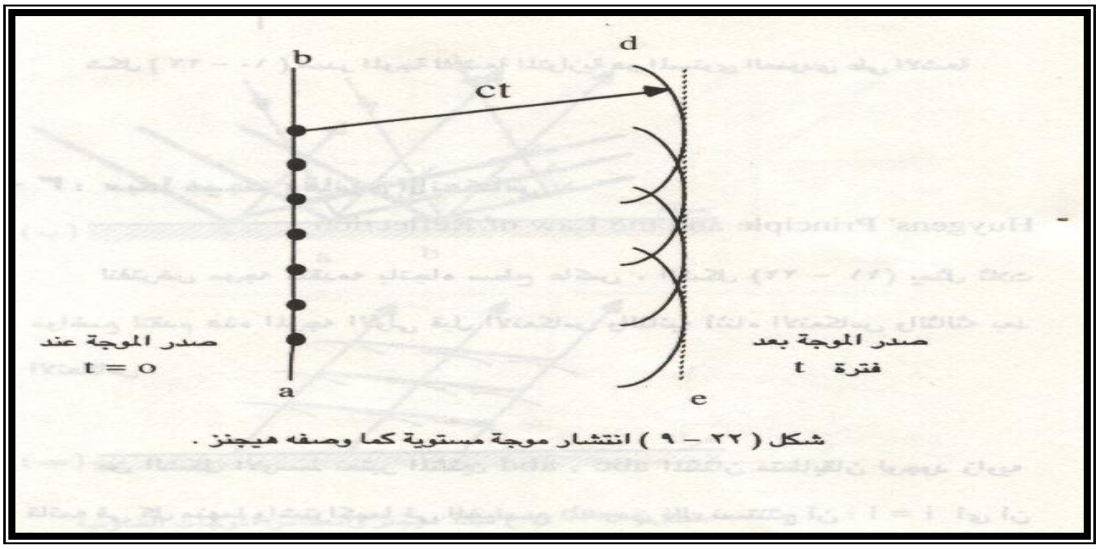
تمثل قوانين الانكسار في الضوء ظواهر أساسيه وذلك يحتم علينا أن نقبل بالنظريات التي تفسر هاتين الظاهرتين تفسيرا منطقيا ومعقولا وقد تمكن هينجز من اشتقاق قوانين الانعكاس والانكسار على أساس نظريه ضوئية بسيطة تفترض التالي:

١) أن الضوء موجه وليس سيلا من الجسيمات .
٢) لا تتعارض هذه النظرية لطبيعة هذه الموجات .
٣) لا يشير إطلاقا إلى خواص الضوء الضوء الكهرومغناطسييه.
٤) لم يكن يعلم أن للضوء موجات عرضيه أو طوليه .
٥) لم يعلم الأطوال الموجيه للضوء المنظور أو سرعته .

وهذه النظريه مبنية على تصميم هندسي معين يسمى مبدأ هينجز وأمكن بواسطته تحديد مكان الموجه في أي لحظه مقبله إذا علم مكانها الحالي وينص مبدأ هينجز على :

(جميع النقط على جبهة الموجه يمكن اعتبارها مصادر نقطيه ثانويه للحصول على موجات ثانويه وبد مرور فتره زمنيه t يكون المكان الجديد لجبهة الموجه هو السطح المماس لكل الموجات الثانوية)

وبإتباع مبدأ هينجز تستخدم عدة نقط على مستوى معين كمراكز للموجات الثانوية الكريه كما في الشكل وبعد فتره زمنيه t تكون الموجات قد قطعت مسافة هي ct في نفس الزمن (وذلك لان الموجات الضوئيه تنتشر في نفس الوسط بنفس السرعه) وتعتبر هذه المسافه نصف قطر هذه الموجات الكريه حيث أن C هي سرعة الضوء في الفراغ ويمثل لمستوى المماس لهذه لكرات بعد فتره t بالمستوى (ed) ويكون (ed) موازيا للمستوى (ab) وتفصلهما مسافة عموديه قدرها (ct) وهو صدر الموجه الجديدة المنعكسة .



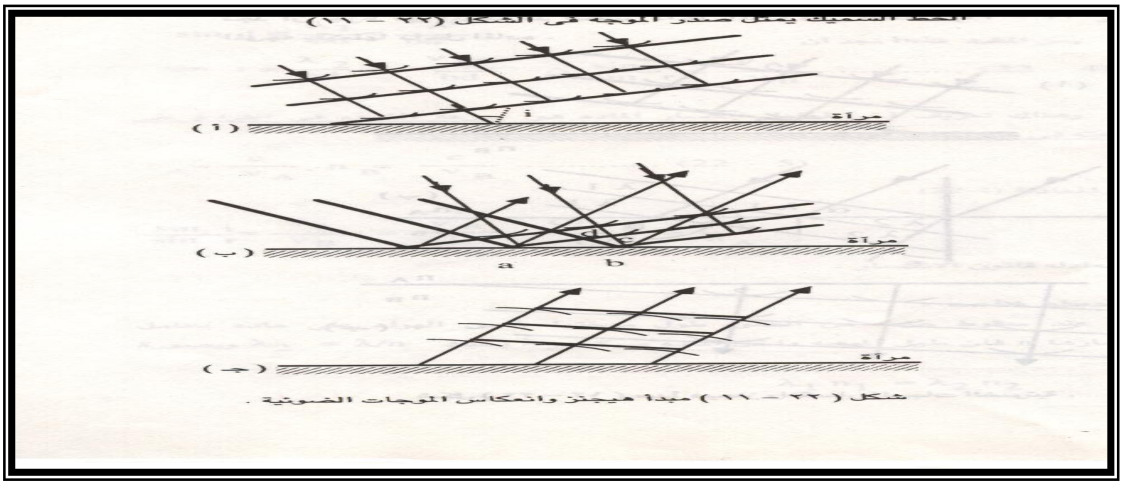
شكل (٢٢ – ٩) انتشار موجة مستوية كما وصفه هيجنز .

٥-١مبدأ هينجز وقانون الانعكاس :

لنفترض موجه متقدمه باتجاه سطح عاكس الشكل التالي يمثل ثلاث مواضع لتقدم هذه الموجه الأولى قبل الانعكاس والثانية اثناء الانعكاس والثالثة بعد الانعكاس .

من الشكل الأوسط نعتبر المثلثين abd وabc المثلثان متطابقان لوجود زاويه قائمه في كل منهما واشتركتما في الضلع ab ومن ذلك نستنتج ان: i=1 أي ان زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس

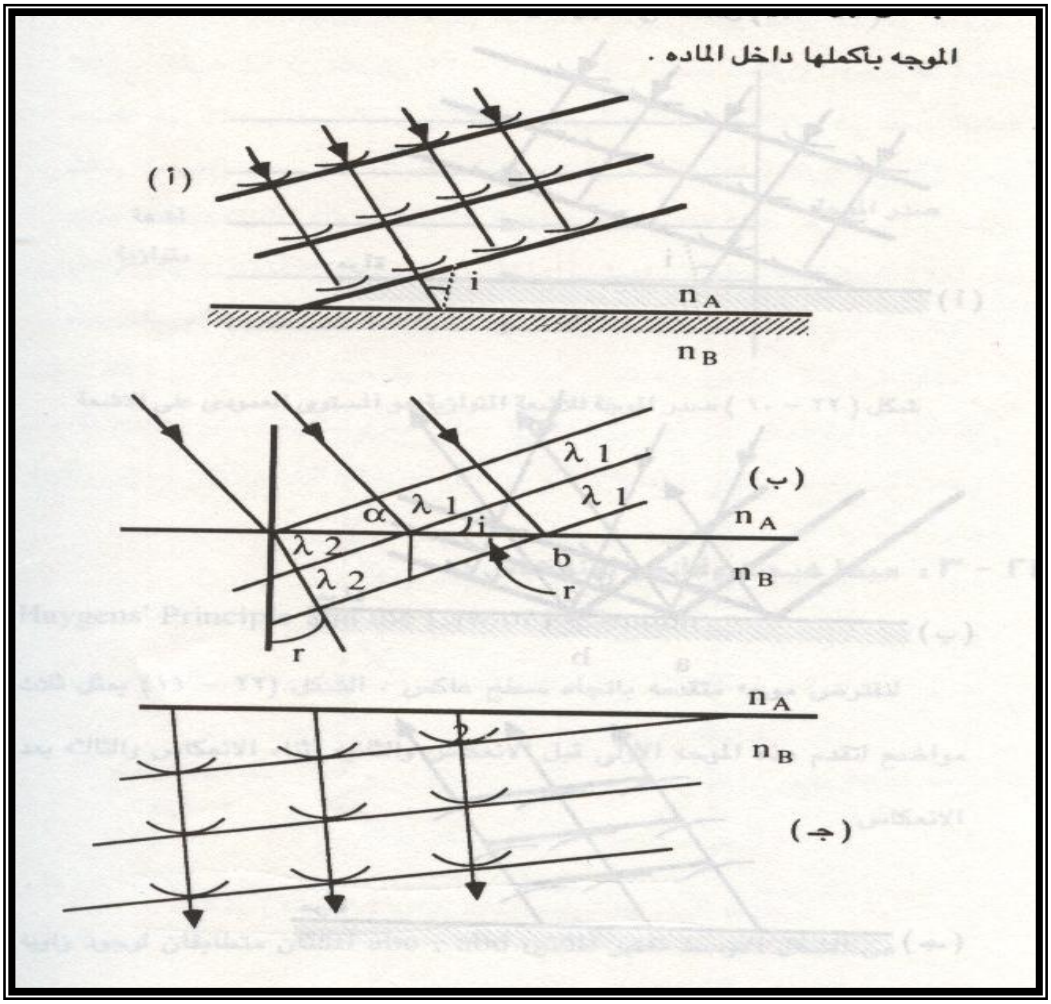
ملاحظه : الخط السميك يمثل صدر الموجه.



شكل (٢٢ – ١١) مبدأ هيجنز وانعكاس الموجات الضوئية .

٥-٢مبدأ هينجز وقانون الانكسار:

الشكل (ا) يوضح موجه متقدمه نحو سطح كاسر .معامل انكسار الوسطين n_B, n_A وفي الشكل(ب) نجد ان جزءا من الموجه قد انكسر داخل المادة وفي الشكل (ج) انكسرت الموجه بأكملها داخل المادة .



سرعة الضوء تختلف باختلاف المادة .ففي زمن قدره Tتنتقل الموجه مسافة مقدارها $l_1 V_A t$ ومسافة قدرها $l_2 v_b t$ في الوسط الثاني B. ومن الشكل (ب) ومن المثلث bdcنجد ان :

$$\sin r = \frac{l_2}{bd} = \frac{v_B t}{bd} \therefore \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_A}{V_B} \mathbf{KKKK} (*)$$

ومن المثلث bdaنجد ان : $\sin i = \frac{l_1}{bd} = \frac{v_A t}{bd}$

وهناك تعريف أخر لمعامل انكسار المادة وسرعة الضوء في الفراغ على سرعته في تلك المـــادة أي ان $n_A = \frac{C}{V_A}, n_b = \frac{c}{v_B}$ ومـــــــــــــن المعادلـــــــــــــة (*) نحـــــــــــــد ان :

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_A}{V_B} = \frac{\frac{1}{V_B}}{\frac{1}{V_A}} = \frac{\frac{C}{V_B}}{\frac{C}{V_A}} = \frac{n_B}{n_A}$$

وهي نفس معادلة قانون الانكسار.

ملاحظه : عند سقوط حزمه من الضوء طول موجتها l من الهواء علـــى مـــاده معامـــل انكسارها n فان طول الموجه داخل المادة سيكون l_2 بحيـــث $l_2 = l/n$ وبـــصوره عامه :- $l_1 n_1 = l_2 n_2$

يتطلب تطبيق مبدأ هيجنز في حالة الانكسار انه أذا انحرف شعاع تكون سرعة الضوء في هـــذا الوسط الكثيف اقل منها في الهواء وهذا صحيح لكل النظريات الموجيه للضوء.

أما النظرية الجسيميه فقد تمكنت من تفسير انكسار الضوء إذا كانت سرعة الضوء في الوســـط الذي يميل نحو العمود اكبر من سرعته في الهواء . وقد كان يظن أن الوسط الأكثر كثافة يـــؤثر بقوى في جسيمات الضوء حين تقترب هذه الجسيمات من السطح فتزداد سرعتها وتغيرا تجاهها لتصنع زاوية اصغر من العمود.

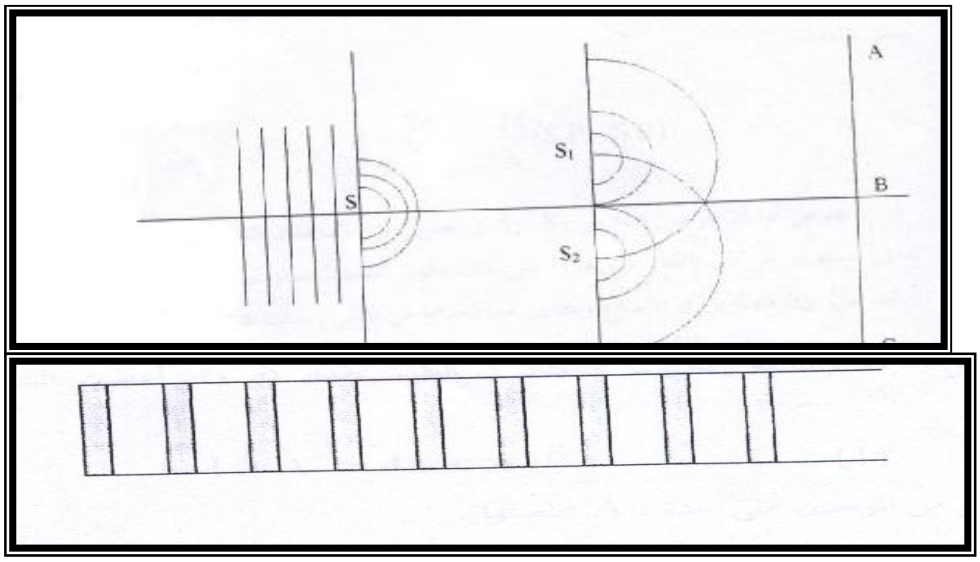
٥-٣ الزاوية الحرجة :-

إذا سقطت أشعه من وسط كثيف مثل الزجاج إلى وسط أقل كثافة ضوئية مثل الهـــواء أي عنـــد انتقال الضوء من وسط معامل انكساره كبير إلى وسط معامل انكساره اقل فان زاويـــة الانكـــسار تكون اكبر من زاوية السقوط وبتكبير زاوية السقوط q مثلا نصل إلى وضع حرج يكـــون فيـــه الشعاع المنكسر مماسا للسطح الفاصل أي بزاوية انكسار قـــدرها ٩٠ درجـــه وتـــسمى زاويـــة السقوط في هذه الحالة الزاوية الحرجة q_c .

٥-٤ تجربة الشق المزدوج ليونج :-

التجربة الا صليه التي أجراها يونج موضحه في الشكل . يسمح لضوء الـــشمس بـــالمرور أولا خلال ثقب صغير "S" ثم خلال ثقبين ضيقين $S_1 S_2$

يقعان على بعد كبير من الثقب الأول. حينئذ تتداخل مجموعتا الموجات الكرويـــه الخارجـــه مـــن الثقبين كلا مع الأخرى بحيث يتكون خط متماثل متغير الشده على الستارAC.



ومنذ أن أجريت هذه التجربة وجد انه من المناسب الاستغناء عن الثقوب الضيقه بشقوق نحيفه واستخدام مصدر يعطي ضوءا اللومر أي ضوء يحتوي على طول موجي واحد فقط. بهذا يصبح لدينا الان جبهات الموجه الكرويه ، وهذه تمثل ايضا في بعدين بنفس الشكل فإذا كانت الخطوط الدائرية تمثل قمم الموجات فان تقاطع أي خطين منها تمثل وصول موجتين متساويتين في الطور ، مختلفتين في الطور بمضاعفات " $2p$ " إلى تلك النقط ومن ثم فان مثل هذه النقط هي إذن نقط أقصى اضطراب أو شده . وسوف يبين الفحص الدقيق للضوء المستقبل على الستار انه يتكون من شرائط أو هدب ساطعه ومظلمه تفصلها مسافات متساويه شبيهة بما هو مبين في الشكل< ٢> ويمكن الحصول على مثل هذه الصور الفوتوغرافيه بالاستغناء عن الستار AC بلوح فوتوغرافي.

٥-٥التداخل :-

لنفرض أن لدينا مصدرين للموجات عند النقطتين A و B في الشكل (أ) ، وأن هذين المصدرين يبعثان موجات متماثلة وعمليا يمكننا استخدام الموجات المنبعثة من مصدر واحد وتقسيمهما إلى جزئيين لكي نتأكد أن الموجات متماثلة في الشكل . ومن الواضح أنعه إذا اتحدت الموجتان AوB في الشكل أ سويا فإنهما سوف تقوي كل منهما الأخرى لأنهما متفقتا الطور وفي هذه الحالة تجمع قمم الموجة Aعلى قمم الموجة B منتجة قمم كبيرة كما هو مبين بالنسبة إلى مجموع الموجة في الجزء أ و تسمى هذه الحالة التي تجمعت فيها موجتان بحيث تقوي كل منهما الأخرى بالتداخل البناء .

وإذا حركنا المصدر B إلى الخلف مسافة نصف طول موجي كما هو مبين في الشكل ب فإننا سنرى أن الموقف مختلف تماماُ . وا لأن إذا جمعنا الموجتين فإن قمة الموجة A سوف تجمع

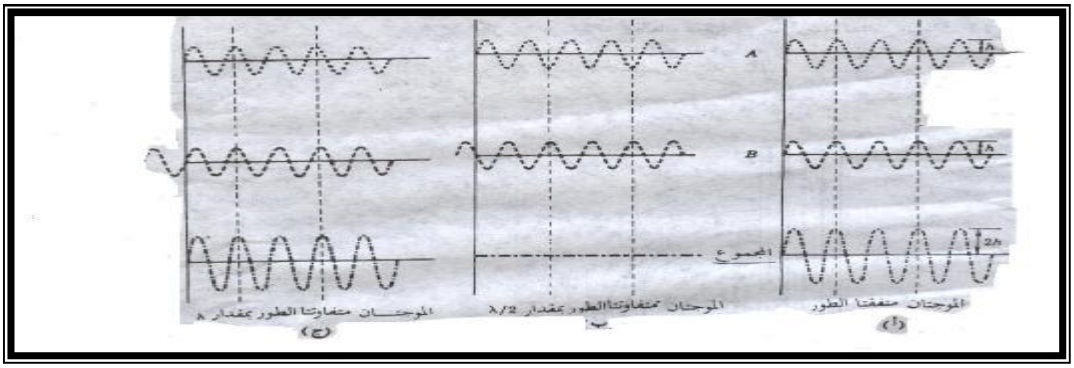
على قمة الموجة Bنتيجة لذلك فإن الموجتين Aو B سوف تلاشي كل منهما الأخرى إذا كانتا متساويتين في المقدار ويوضح الجزء ب مجموع هاتين الموجتين المختلفة في الطور بمقدار ١٨٠ درجة .

وكما نرى فإن مجموع الموجتين يساوي صفر وهذه الحالة حالة التداخل الإتلافي الكلي وفي التداخل الإتلافي تلاشي كل من الموجتين الأخرى تماما عندما يجمعان معا .

وإذا أرجعنا الموجة B إلى الخلف بمقدار نصف طول موجي أخر فإنها ستكون متأخرة عن الموجة A بمقدار ٣٦٠ درجة درجه اوطول موجي كامل كما هو مبين في الشكل (ج) وهنا تتحد الموجتان تماما في الخطوه مره ثانيه بحيث إذا جمعتا سويا فإنهما سوف تقويان كل منهما الأخرى كما هو مبين في الجزء ج. ومن هذا التحليل يتضح لنا إن الموجات المتفاوتة الطور بمقدار ٠ او ٣٦٠ درجه تميل الى ان تقوي كل منهما الأخرى .

بالمثل يحدث الموقف المبين في الجزء ب من الشكل إذا كانت الموجه B متأخرة عن الموجه A بمقدار $l+\frac{1}{2}l$ ويحدث التلاشي إذا كان فرق المسار يساوي $n\,l+\frac{1}{2}l$ حيث أن n=1.2.3

وهذا يعني ان التداخل الاتلافي يحدث إذا كان فرق المسار هو $\frac{l}{2},\frac{3l}{2},\frac{5l}{2}$ ؛.....الخ.

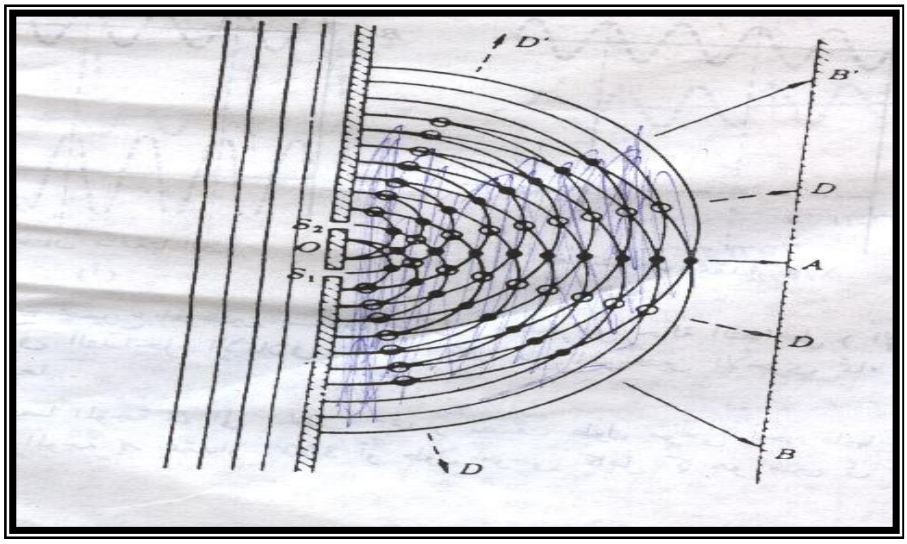


يمثل الشكل التالي رسما تخطيطيا لتجربة بسيطة توضح تداخل موجات الماء .وفي هذه التجربة تسقط موجات الماء المستوية على الحائط من اليسار ، ويسمح الشقان s_1,s_2 الموجودان بالحائط للموجات بالمرور خلالها عند هاتين النقطتين.

وعليه فان الشقين يعملان كمصدرين جديدين للموجات بالنسبة للمنطقة التي تقع على يمين الحائط . ويلاحظ ان هذين المصدرين يولدان موجتين مترابطتين لأنهما تنتجان من نفس الموجه الساقطه وتمثل بعض قمم الموجات الدائرية المنبعثة من s_1,s_2 في الشكل بالون الأسود.

لاحظ أن قمم الموجات المنبعثة من المصدرين متفقه الطور وتقوي كل منها الأخرى عند النقط الداكنة المبينه على الخطوط $OB^{-}،OB،OA$

في الشكل .



وتوجد قرارات الموجات في منتصف المسافه بين كل قمتين متتاليتين وهي ايضا تقوي كل منهما الأخرى على نفس الخطوط عند النقط الموضحه بالنقط الفاتحه في الشكل وكما نرى تتداخل الموجتان المنبعثتان من المصدرين سويا تداخلا بناءا على الخطوط $OB^{-}، OB، OA$ ....الخ . ولهذا فان سعة الموجات التي تصطدم مع الحائط الأيمن عند النقط $B^{-}، B، A$ ...الخ تكون كبيره سوف تكون هذه النقط مناظره لبطون الموجات .

وعند فحص الشكل بتفصيل أكثر سنرى ان الموجتين تلاشي كل منهما الأخرى عند نقط معينه تقع على الخطين $OD^{-}، OD$. وعند مواضع الدوائر المفتوحة تلتقي قمة من احد المصدرين مع قرار من المصدر الاخر وتلاشي كل منهما الأخرى . وحيث ان إزاحة سطح الماء على الخطين $OD^{-}، OD$ تساوي صفرا ، فان نقطتي تقاطع هذين الخطين مع الحائط الأيمن هما عقدتان. لذلك لن توجد اية حركه موجيه عند النقط المرموز لها بالرمز D، ومن السهل إثبات ان هذه النقط هي دائما نقط حركه صفرية .

٥-٦ هدب التداخل الناتجه من مصدر مزدوج:-

سنقوم الان باشتقاق معادلة للشدة عند اية نقطه (ا) على الحاجز ودراسة المسافه الفاصلة بين هدبتي تداخل متجاورتين .الموجتان الواصلتان الى "P" تقطعان مسافتين مختلفتين S_1P ،، $_2S\ P$ أي أنهما تتراكبان بفرق في الطور يعطى بالمعادلة: $d = \frac{2p}{l}\Delta = \frac{2p}{l}(S_2P - S_1P)$

يفترض هنا ان الموجتين تبدأ من $S_2، S_1$ في نفس الطور لان هذان الشقان يقعان على بعدين متساووين عن شق المصدر S ، علاوه على ذلك تكون السعتان متساويتين عمليا إذا كان

الشقان S_2،S_1 متساويين في الاتساع ومتقاربين جدا أحدهما من الاخر .بـذلك تـووّل مـسالة ايجاد الشده المحصله في النقطه "P" الى المساله السابق مناقشتها حيث درسنا جمـع حـركتين توافقيتين بسيطتين متساويتي التردد والسعه ولكنهما مختلفتان في الطور بمقدار d.

وقد أعطيت الشده بالمعادلة التالية(١):..... $I \cong A^2 = 4a^2 \cos 2\frac{d}{2}$

حيث a سعة كل من الموجتين على حده ،A محصلتها.

بقي علينا الان ايجاد قيمة فرق الطور بدلالة المسافه "X" وهي بعد النقطه المعينه عـن النقطـه المركزيه "P_0" على الستار ،والمسافه بين الشقين "d"وبعد الشقين عن الستار "D" .فرق المسير هنا هو المسافه S_2A حيث رسم الخط المتقطع S_1A لكي يجعل النقطتين S_1A متساووين البعد عن P ،وعاده تجري تجربة يونج بحيث تكون المسافه "D" اكبر من d أوx ببـضعة ألاف مـن المرات .

ومن ثم فان الزاويتين $q, -q$ تكونان صغيرتين جدا ومتساويتين عمليا

($\sin q = \sin q$) وبهذا يمكننا اعتبار المثلث s_1AS_2 مثلثا قائما وعليـه فـان فـرق المسار يصبح $S_2A = d\sin q \cong d\sin q$

بنفس التقريـب هـذا يمكننـا اعتبـار ان جيـب الزاويـه يـساوي ظلهـا بحيـث يكـون : $\sin q \cong \tan q = x\Delta$ وبناء على هذه الفروض :

فرق المسير $S_2P - S_1P = S_2A = \Delta = d\sin q = \frac{dx}{D} .....(2)$

$\therefore d = \frac{2p}{l}\Delta$

فرق الطور $\therefore d = \frac{2p}{l}\Delta .....(3)$

تبين المعادلة (١) إن الشده تصل الىقيمتها القصوى وقدرها $4a^2$ متى كان d مضاعفا صحيحا للمقدار $2p$ وهذا يحدث طبقا للمعادله (٣) عندما يكون فرق المـسير مـضاعفا صـحيحا للطـول الموجي l إذن .....

$x\frac{D}{d} = 0.l.2l.3l = ml$ $m = 0,1,2,3$

أو $d = 0,2p,4p$

بعد أي نقطه مضيئة mعن الهدبه المركزيه "x" يعطى ب: $x_m = m\,l\,\frac{D}{d}$.....(4) للهدب الساطعة ، والقيمة الصغرى هي صفر .وهذا يحدث عندما يكون $d = p,3p,5p$ أي عندما يكون :

$$\Delta = \frac{l}{2},\frac{3l}{2},.....=(m+\frac{1}{2})l$$

$$\therefore x\frac{d}{D} = \frac{l}{2},\frac{3l}{2},\frac{5l}{2},.....=(m+1/2)l \qquad m=0,1,2,3,.....$$

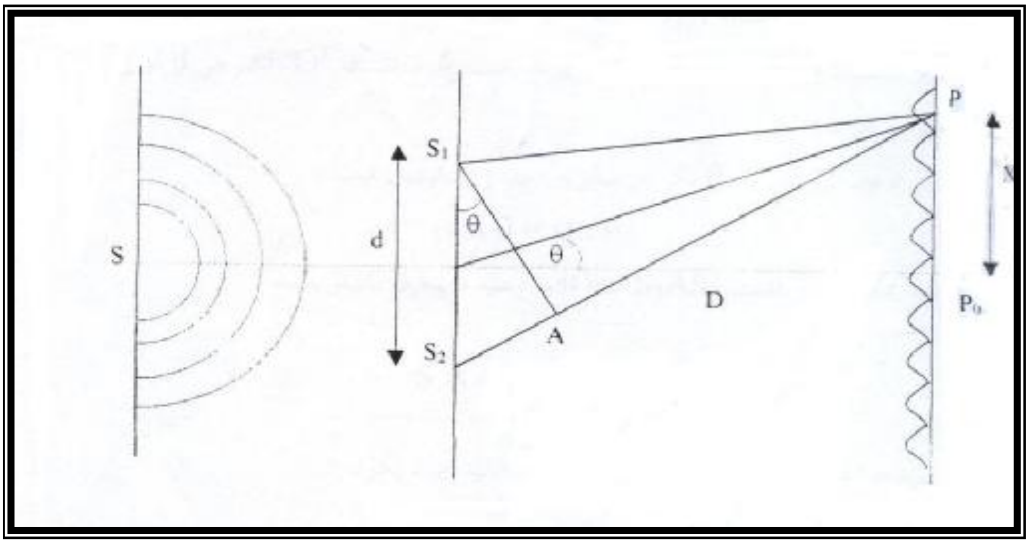
ويكون بعد أي نقطه مظلمه رقم "m" عن الهدب المركزيه يعطى ب: $x_m = (m+1/2)\,l\,\frac{D}{d}$.....(5)

للهدب المظلمة ، العدد الصحيح "m" الذي يميز هدبه ساطعه يسمى رتبة التداخل ومن ثم فان الهدب ذات m=0,1,2,3,..... تسمى الرتبه الصفريه والأولى والثانيه ....الخ.

طبقا لهذه المعادلات نرى ان المسافه بين هدبتين متتاليتين على الستار والتي تستنتج تغيير "m" بمقدار الوحدة في أي من المعادلات (٤) و(٥) تساوي مقدار ثابت $(\frac{lD}{d})$.

كما ان مقدارها يتناسب طرديا مع المسافه بين الشقين والستار "D" عكسيا مع المسافه بين الشقين "d"وطرديا مع الطول الموجي " l " .ومن ثم فان معرفة مسافه انفصال الهدب تعطينا طريقه مباشره لتعيين l بدلالة كميات معلومه.

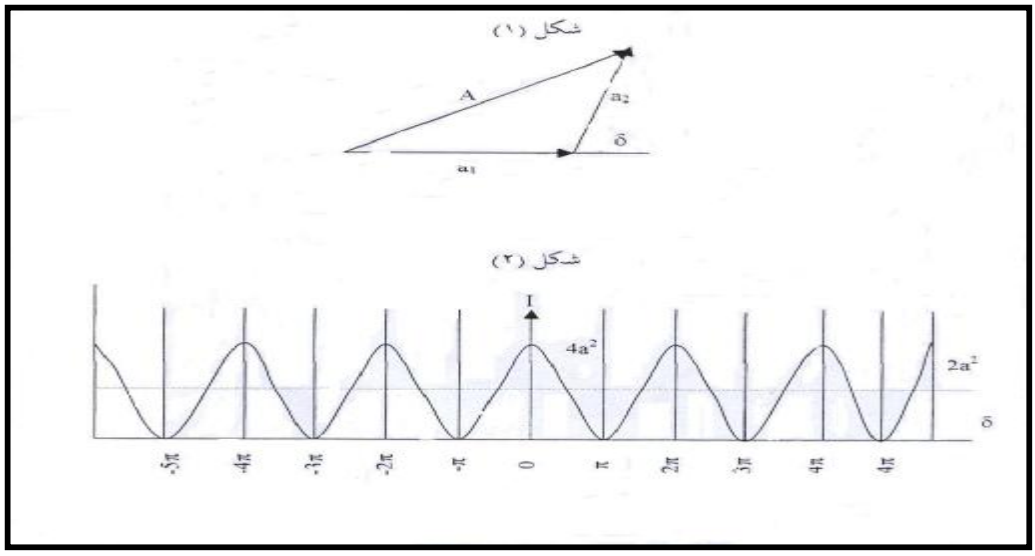
وتسمى المسافه الفاصله بين أي هدبتين متتاليتين مضيئتين او مظلمتين بعرض الهدبه ويرمز لها بالرمز(b) وتساوي $b = \frac{lD}{d}$.



٥-٧ توزيع الشدة في النظام الهدبي :-

لإيجاد الشدة على الستار على النقط الواقعة بين النهايات العظمى يمكننا تطبيق ألطريقه الاتجاهية لتركيب السعات والموضحة في الحالة الحاضره في الشكل(١) بالنسبة للنهايات العظمى تكون الزاويه $d = 0$ وتكون الشدتان $a_1 a_2$ متساويتين . واذا كانتا متساويتين فان محصلتها ($A = 2a$).

أما في حالة النهايات الصغرى فان a_2 وa_1 تكون متضادتي الاتجاه وبالتالي A=0 ، وعموما لأي قيمه للزاويه d تكون السعه المحصله "A" هي الضلع الذي يغلق المثلث . وعند ئذ تعطى قيمه "A^2" وهي مقياس للشده وهي تتناسب مع $COS^2 d/2$ في الشكل (٢) يمثل المنحنى السميك العلاقه البيانيه للشده مقابل فرق الطور.

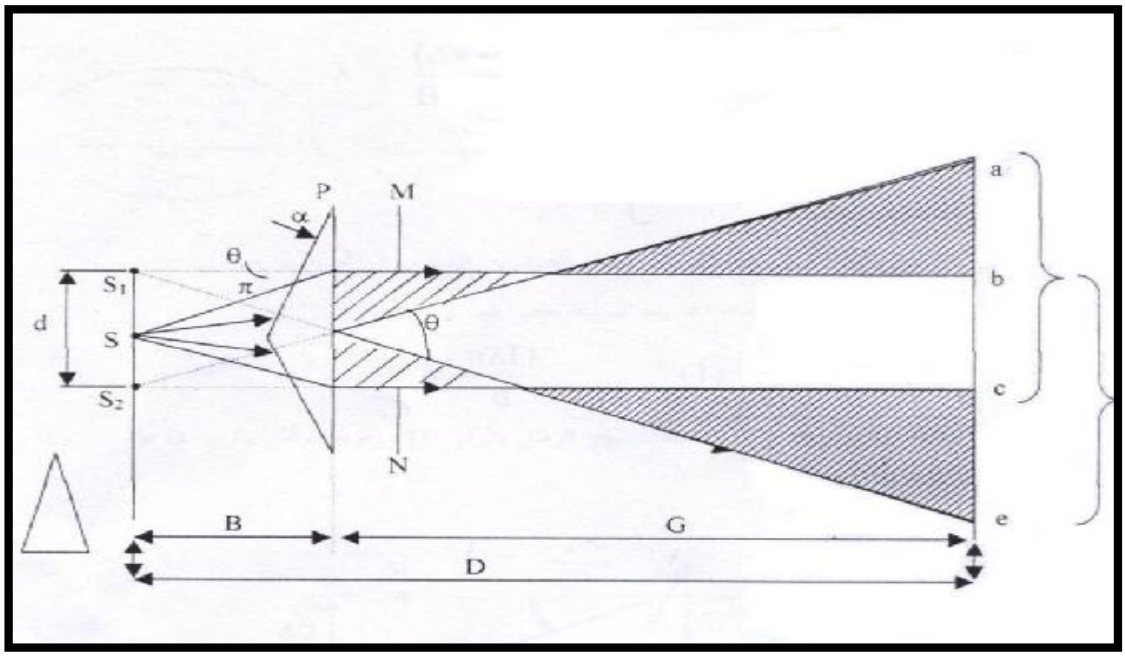


٥-٨ المنشور الثنائي لفرنيل :-

يقوم المنشور الرقيق "P" بكسر الضوء المنبعث من الشق "S" مكونا حزمتين متراكبتين as وbe فإذا وضع ستاران M وN فان هدب التداخل يشاهد في المنطقة bc فقط.

وإذا أبدل الستار ae بلوح فوتوغرافي فإننا نحصل على صوره تشبه الصورة رقم ( ) .

الهدب المتقاربة في مركز ألصوره ناتجة من التداخل ، اماالهدب العريضة الواقعة عند حافة النمط فإنها ناتجة من الحيود. هذه الهدب العريضة تتكون بواسطة رأس المنشورين الذين تعمل كل منهما كحافة مستقيمة مما يؤدي إلى ظهور نمط، وإذا أزيل الستاران من MوNمن مسار الضوء فان المسارين يتراكبان في المنطقة ae بأكملها.



وكما في تجربة يونج يمكن تعيين الطول الموجي للضوء من قياسات هدب التداخل الناتجة بالمنشور الثنائي . فإذا كانت Bو C بعدا المصدر والستار عن المنشور "P" على الترتيب ، dالمسافة بين الصورتين التقديريتين S_1و S_2 وكانت ΔX هي المسافة بين هدبتين متتاليتين على الستار؛ فان الطول الموجي يعطى بالعلاقة : $l = \frac{(\Delta X)d}{B+C}$ و $B+C=D$ و $(\Delta X) = l\frac{D}{d}$

إذن الصورتان S_1و S_2 تقومان بعمل المصدرين الشقين في تجربة يونج .والمسافه بين الهدبه المركزيه والهدبه المضيئه النونيه تعطى ب:-

$$X = \frac{n l D}{d} .....(1)$$

فلو رمزنا لمعامل الانكسار للضوء في ماده المنشور الرقيق بالرمز m وزاوية الراس بالرمز a فان الانحراف في المنشور يعطى ب:

$$q = a\ (\ m\ - ١)$$

$\therefore\ q$ صغيرة

$$\therefore \tan q \cong q$$

$$\therefore d = 2yq \quad \text{.....(٢)} \qquad = \frac{d}{2/y} = \frac{d}{2y}$$

qبالتقدير الدائري

∴ المسافه بين الهدبه المضيئه المركزيه والهدبه المضيئه النونيه :

$$x = \frac{nlD}{d} = \frac{nlD}{2yq} = \frac{nlD}{2y[a(m-1)]}$$

حيث q و a مقاستان بالتقدير الدائري.

واذاكانت قيم كلا من a, m و D معلومة امكن حساب الطول الموجي l .

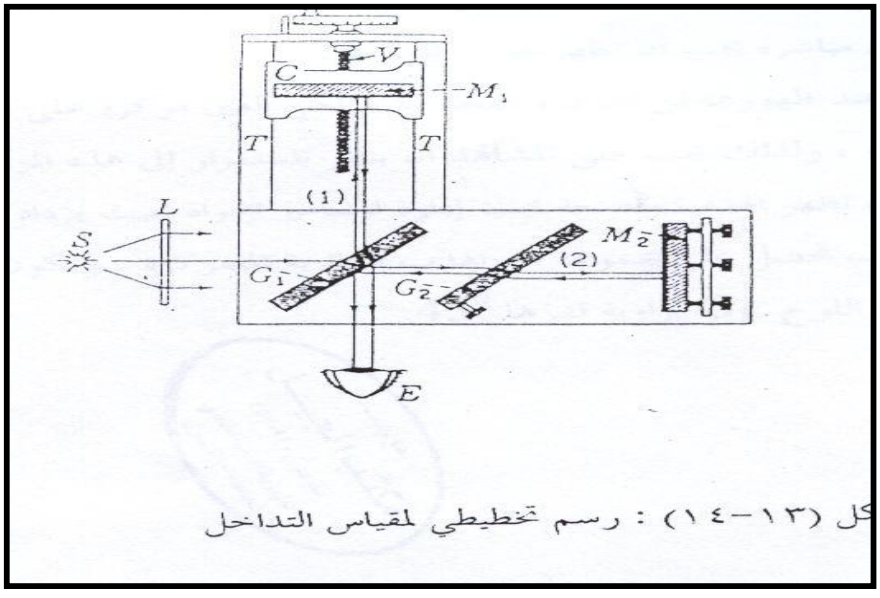
٥-٩ مقياس التداخل لمايكلسون :-

من المناسب تقسيم أجهزة التداخل إلى قسمين رئيسيين:-

- أجهزة مبنية على أساس إنقسام الجبهة الموجية .
- أجهزة مبنية على أساس إنقسام السعة

الأمثلة السابقة تنتمي جميعها إلى القسم الأول الذي تنقسم فيه الجبهة الموجية جانبيا إلى جزئين بالمرايا أو الأحجبة .من الممكن أيضا أن تنقسم الموجة بالإنعكاس الجزئي حيث تحتفظ الجبهتان الموجيتان الناتجتان بالإتساع الأصلي ولكن سعتهما تقلان قليلا .

يعتبر مقياس التداخل لما يكلسون مثالا هما لهذا القسم ، هنا ترسل الحزمتان الناتجتان من انقسام السعة في إتجاهين مختلفين تماما إلى مرآتين مستويتين ثم يجمعان مرة أخرى لتكوين هدب التداخل .



كل (١٣-١٤) : رسم تخطيطي لمقياس التداخل

الأجزاء الرئيسية في هذا االجهاز عبارة عن مرآتين مستويتين مصقولتين صقلا جيدا M1وM2 لوحين زجاجيين متوازيي السطحين G1وG2 . وفي بعض الأحيان يفضض السطح الخلفي للوح G2 تفضيضا خفيفا بحيث ينقسم الضوء الأتي من S إلى (١) حزمة منعكسة . (٢) حزمة نافذة مساوية في الشدة للأولى .

الضوء المنعكس عامودياً من المرآة M1 يمر خلاله مرة ثالثه ويصل إلى العين . كذلك يمر الضوء المنعكس من المرآة M2 خلال G2 للمرة الثانية ثم ينعكس من سطح G2 ليصل إلى العين كذلك .

الغرض من اللوح G2ويسمى اللوح المعادل ، هو جعل مسيرة الحزمتين في الزجاج متساويتن .هذا ليس أساسيا لتكوين الهدب في الضوء وحيد اللون ولكن لاغنى عنه عندما يستخدم الضوء الابيض.

المرآة M1 مركبة على عربة C ويمكن تحريكها على طول طريق القضبان T. هذه الحركة البطيئة المحكومة بدقة تتحقق بواسطة مسمار تحوي V . معاير لتعيين المسافة المضوبطة التي تتحركها المرآة .

وللحصول على الهدب تضبط المرأتان M1 M2 بحيث تتعامد تماما إحدهما على الأخرى بالاستعانة بالمسامير الموضحة خلف المرآة M2 . حتى إذا أجريت عمليات الضبط السابقة فإن الهدب لن ترى إلا إذا تحقق شرطان هامان :

أولا: يجب أن ينبع الضوء من مصدر ممتد ذلك أن المصدر أو الشق المستخدمان في التجارب السابقه لن يؤديا إلى تكون النظام الهدبي المطلوب في هذه الحالة . وسوف يتضح السبب في ذلك عند دراسة منشأ الهدب .

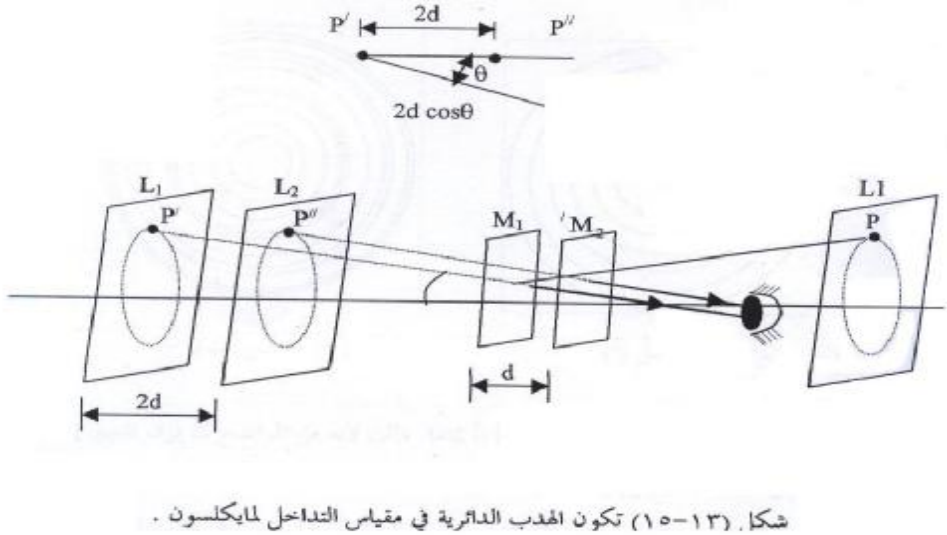
ثانيا: يجب أن يكون الضوء عموما وحيد اللون أو قريب من ذلك هذا صحيح على وجه الخصوص عندما تكون المسافتان من M1 M2 إلى اللوح G1 مختلفتين بدرجة كبيرة . وبالنظر إلى المرآةM1خلال اللوح G1 سوف يرى المرء أن المرآة مليئة بالضوء .

وللحصول على الهدب تكون الخطوة التالية هي مقياس المسافة من كل من M1 M2 إلى السطح الخلفي للوح G1بشكل تقريبي وذلك بإستخدام مسطرة مليمترية وتحريك M1 إلى أن تتساوى هاتان المسافتان في حدود فرق قدرة مليمترات قليلة . بعدئذ تضبط المرآة M2 لتصبح عمودية على M1وذلك بمشاهدة صور دبوس أو أي شي حاد موضوع بين المصدر واللوح G1 . عندئذ سوف يرى زوجان من الصور أحدهما ناتج من الإنعكاس على السطح الأمامي للوح G1 والأخر ناتج من الإنعكاس على سطحه الخلفي . عندما تدار المسامير التي تتحكم من وضع M2 إلى أن ينطبق أحد الزوجين على الأخر مباشرة يجب إن تظهر هدب التداخل .

لكن هذه الهدب عند ظهورها لن تكون واضحة مالم تكن العين مركزة على السطح الخلفي للمرآة M1 أو قريبة منه ، ولذلك يجب على المشاهد إن ينظر باستمرار إلى هذه المرآة أثنا البحث على الهدب . بعد أن تظهر الهدب واضحة يجب إدارة المسامير بحيث يزداد عرض الهدب باستمرار . وفي النهاية سوف نحصل على مجموعة من الهدب الدائرية المتمركزة وتكون المرآة M2 إذا كانت الأخيرة تميل على اللوح G1 بزاوية قدرها ٤٥ درجة

٥-١٠ الهدب الدائرية :-

تنتج هذه الهدب بواسطة الضوء وحيد اللون عندما تكون المرآتان في الوضع المضبوط تماما ، وهي الهدب المستخدمة في معظم أنواع القياسات التي ترجى بمقياس التداخل . ويمكن فهم منشأها بالرجوع إلى الرسم التخطيطي الموضح في الشكل وقد استبدلت المرآة الحقيقة M2هان بصورتها التقديريه M2 المتكونة بالانعكاس في G1. إذا M2موازية للمرآة M1 ونظرا للإنعكاسات المتعددة في مقياس التداخل الحقيقي يمكننا الآن أن نعتبر المصدر الممتد الموجود عند L خلف المشاهد ، وانه يكون صورتان تقديريتين L1 L2 في M1 M2 . هذان المصدران متماسكان بمعنى أن أطوار النقط المتناظرة في الاثنين متساوية تماما طوال الوقت . فإذا كان Dيمثل المسافة M1 M2فإن المسافة بين المصدرين تكون 2D .وعندما تكون المسافة Dعددا صحيحا من الأطوال الموجية الكاملة فإن جميع الأشعة المنعكسة عموديا على المرآة تكون متطاورة . لكن الأشعة الموجية المنعكسة بأية زوايا أخرى سوف لا تكون متطاورة عموما .



شكل (١٣-١٥) تكون الهدب الدائرية في مقياس التداخل لمايكلسون .

بالرجوع على الشكل يمكننا أن نقول أن فرق المسير بين الشعاعين الواصلين إلى العين من نقطتين متناظرتين $P^{-}P^{--}$ هو $2DCOSq$. هذا ولابد أن تكون الزاوية q بالضرورة متساوية للشعاعين عندما تكون المرآة M1موازية للمرآة M2لكي تكون الأشعة متوازية ومن ثم فإذا كانت العين متكيفة لاستقبال الأشعة المتوازية فإن الأشعة سوف تقوي بعضها البعض لتكوين نهايات عظمى عند تلك الزوايا التي تحقق المعادلة $2DCOSq = Ml$

وحيث أن الزاوية q ثابتة للقيم الثابتة للمقادير l و MوD فإن النهايات العظمى تقع في صورة دوائر حول طرف العمود الممتد من العين إلى المرآتين . بفك جيب التمام يمكننا أن نثبت من المعادلة السابقة إن أنصاف أقطار الحلقات تتناسب مع الجذور التربيعية للأعداد الصحيحية كما في حالة حلقات نيوتن . هذا ويتبع توزيع الشدة عبر الهدب المعادلة

: $$I \cong A^2 = 4a^2 COS^2 \frac{d}{2}$$

التي يعطى فيها الطور بالمعادلة التالية

$$d = \frac{2p}{l} 2dCOSq$$

الهدب من هذا النوع الذي تتداخل فيه حزمتان يتحدد فرق الطور بينهما بزاوية الميل q تعرف عادة باسم متساوية الميل .

وبعكس النوع الذي سيوصف في هذا القسم يمكن أن يظل هذا النوع من الهدب مرئيا في ندى واسع جدا من فروق الطور .

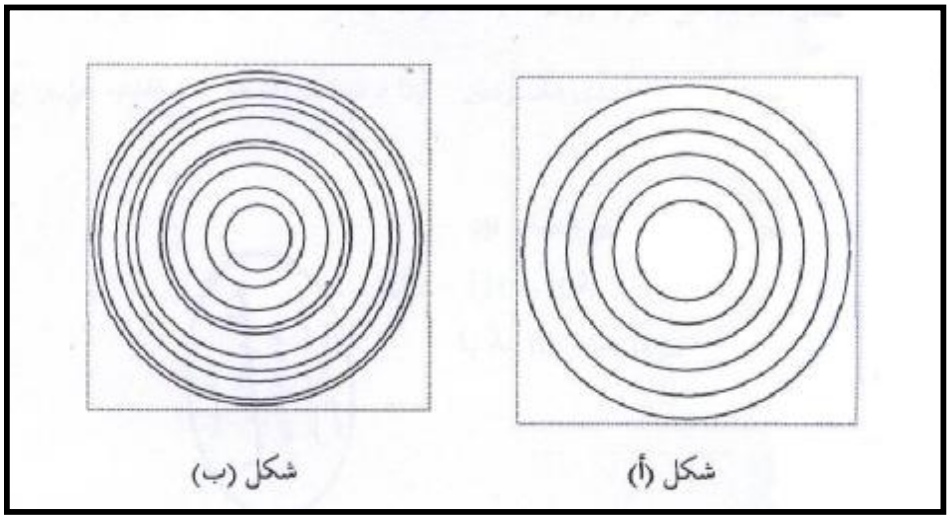
الشكل التالي يوضح كيف تظهر الهدب الدائرية في ظروف مختلفة إذا بدأنا بالمرآة M1 في وضع يبعد عدة سنتيمترات عن M2فإن المظهر العام للنظام الهدبي سيكون كما هو موضح في P حيث تكون الهدب متقاربة جدا بعضها من بعض . وإذا حركنا الأن M1ببطء تجاه M 2 بحيث تتناقص المسافة D فإن المعادلة $2DCOSq = Ml$ ، تبين أن هذه الهدبة معينة ذات قيمة معينة للرتبة M بحيث ينقص قطرها لأن حاصل الضرب $2DCOSq$

يجب أن يظل ثابت . ومن ثم فإن الحلقات تختفي في المركز على التوالي ، وتختفي حلقة واحدة في كل مرة تنقص فيها المسافة 2D بمقدار l ، أو تنقص فيها D بمقدار $COSq = 1$هذا ينتج من حقيقة أن $COSq = 1$ عند المركز بحيث تتحول المعادلة السابقة إلى $2D = Ml$

FOR M=1,2D= l ,D= $\frac{l}{2}$

لكي تتغير الرتبة M بالوحدة يجب أن تتغير D بمقدار $\frac{l}{2}$ وألان كلما ازدادت M1قربا من M2 يزداد انفصال الحلقات زيادة مضربة كما هو مبين في الشكل ب حتى تصل في النهاية إلى موضع حرج تمتد فيه الهدبة المركزية لتغطي مجال المنظر بأكمله

هذا يحدث عندما تنطبق M1/M2تماما ذلك لأنه من الواضح أن فرق المسير في هذه الظروف يساوي 0لجميع زوايا السقوط وإذا استمرت المرآة في الحركة فإنها تمر من الواقع بالمراة M2 وعندئذ تظهر هدب منفصلة بمسافات كبيرة وتبدأ الهدب في هذه الحالة وتمتد إلى الخارج هذه الهدب تصبح أكثر تقاربا كلما ازداد فرق المسير .



٥-١١ الحيود :-

يقال إن الضوء يسير في خطوط مستقيمة . فعند مرور الضوء خلال فتحتين في سور نتوقع إن نرى حزمتين ضوئيتين خارجتين من الفتحتين كما هو مبين في الشكل (ا) ونتيجة لذلك لابد أن تظهر بقعتان ساطعتان AوB على الحائط المواجه للسور . وهذاهوما يشاهد بالفعل .وبالرغم من ذلك فان الموقف يختلف تماما إذا كانت الفتحتان ضيقتين ومتقاربتين جدا كما في حالة الشق المزدوج .عندئذ لن تظهر صورتان متميزتان وبدلا من ذلك سنرى نمط التداخل الموضح في الجزء (ب) من الشكل .

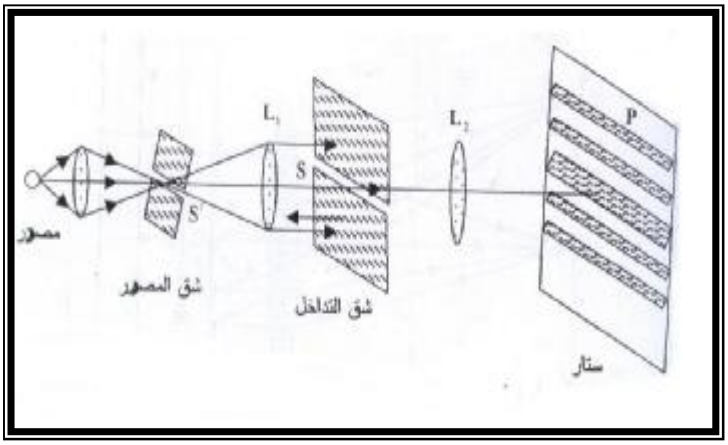
٥-١١-١حيود فرنيل وحيود فرانهوفر:-

عندما تمر جزمة ضوئية خلال شق صغير فإنها تنتشر إلى حد ما في منطقة الظل الهندسي ، هذه الظاهر تسمى الحيود . أي فشل الضوء في أن يسير في خطوط مستقيمة

حيود فرانهوفر	حيود فرنيل
١ -تكون المسافة للمصدر كذلك الحائل على مسافات كبيرة جداً غير محدودة من الفتحة .	١ - يكون المصدر الضوئي كذلك الحائل المعد لإستقبال الحيود على مسافات صغيرة محدودة
٢ -يكون صدر الموجات مستوية	٢ -صدر الموجات منفرجة إما كروية أو دائرية .
٣ - الأشعة الحائدة تلاحظ بواسطة العدسات .	
٤ -الاستنتاج الرياضي سهل	الملاحظات :
٥ -يكون منتصف الشكل الناتج دائماً مضيء وله إضاءة عظمى .	تتم بدون استعمال عدسات .
	استنتاج الرياضي دائما معقد .
	منتصف الشكل الناتج عن الحيود يكون مضيء ومرة أخرى مظلم .

يمكن مشاهدة حيود فرانهوفر عمليا بسهولة بتحويل اضوء المنبعث من مصدرما إلى حزمة متوازية بإستخدام عدسة تم تركيزها بؤريا على ستار بإستعمال عدسة أخرى خلف الفتحة .

٥-١١- ٢الحيود بواسطة شق أحادي :



الشق هو فتحة طولها كبير بالنسبة إلى عرضها . إعتبر الشق S وقد وضع كما هو مبين في الشكل بحيث كان بعده الكبير I مستوى الصفحة . نفترض أنه مضاء بحزمة ضوئية متوازية وحيدة اللون منبعثة من الشق الصغير S'

الذي يقع في البؤرة الأساسية للعدسة L1 . إذا وضعت عدسة اخرى L2 خلف الشق S فإنها سوف تركز الضوء بؤريا على ستار مزدوج ، فوتوغرافي P في بؤرتها الأساسية وبذلك يتكون نمط حيود من الممكن تفسير نمط حيود الشق الأحادي على أساس تداخل موجات هينجز الثانوية التي يمكننا اعتبارها من كل نقطة على الجبهة الموجية في خط وجودها في مستوى الشق يمثل الشكل مقطع شق اتساعه (b) يسقط عليه ضوء متوازي من الجانب الأيسر . لنفرض أن "ds" عنصر من عرض الجبهة الموجية في مستوى الشق وأنه يبعد مسافة قدرها s عن المركز الذي سوف نسميه نقطة الأصل عندئذ سوف تتجمع أجزاء كل موجة ثانوية تسير في الاتجاه العمودي على مستوى الشق في النقطة p0 بينما تصل الأجزاء الأخرى التي تسير بأي زاوية أخرى J إلى النقطة p.فإذا ركزنا اهتمامنا على الموجة الأولى المنبعثة من العنصر ds الموجود في نقطة الأصل فإن سعتها سوف تتناسب طرديا مع طول ds ، وعكسيا مع المسافة xومن ثم فإن هذه الموجة سوف تنتج إزاحة متناهية في الصغر في النقطة p.

وعن حالة الموجات الكروية يمكن التعبير عن هذه الإزاحة كالتالي :

$$dy_0 = \frac{ads}{x}\sin(wt - kx)$$

سعة الموجة الأولى المنبعثة من العنصر ds الموجود في نقطة الأصل (o)

بتغيير موضع dsسوف تتغير الإزاحة في الطور بسبب اختلاف طول المسير إلى النقطة p. وعندما يوجد هذا العنصر على بعد s تحت نقطة الأصل عندئذ سوف تكون الإزاحة كالتالي :

$$dy_s = \frac{ads}{x}\sin[wt - k(x + \Delta)]$$

$$\Delta = s\sin q$$

$$= \frac{ads}{x}\sin(wt - kx - ks\sin q)$$

نريد ألان جمع تأثيرات جميع العناصر ابتداء من إحدى مسافتي الشق إلى حافته الأخرى هذا يمكن تحقيقه بتكامل المعادلة ١من s=-b/2إلى b/2+

وأبسط طريقة لذلك بأن تكامل الإسهامات الناتجة من أزواج العناصر ذات المواضع المتماثلة s+،-s وعندئذ يكون كل إسهام كالتالي

$$dy = dy_{-s} + sy_{+s}$$
$$= ads[\sin(wt - kx - ks\sin q + \sin(wt - kx = ks\sin q))]$$

من المتطابقة نجد أن :

$$\mathbf{Q}\sin a + \sin b = 2\cos\frac{1}{2}(a - b)\sin\frac{1}{2}(a + b)$$
$$\therefore dy = \frac{ads}{x}[2\cos(ks\sin q)\sin(wt - kx)]$$

التي يجب أن تكامل من s=0إلى s=d/2 وفي هذه العملية يجب اعتبار xثابتة لأنها تؤثر على الإزاحة .

$$y = \frac{2a}{x}\sin(wt - kx)\int_0^{b/2}\cos(ks\sin q)ds$$
$$= \frac{2a}{x}\left[\frac{\sin(ks\sin q)^{b/2}}{k\sin q}\right][\sin(wt - kx)]$$

وعليه فإن الاهتزاز المحصل هو حركة توافقية بسيطة تتغير سعتها مع موضع p لأن الأخير يتغير بقيمة q وهكذا يمكن تمثيل سعتها كما يلي :

$$A = \frac{ab}{x}\frac{\sin(1/2kb\sin q)}{1/2kb\sin q}$$

بوضع المقدار A0=ab/x

$$b = \frac{1}{2}kb\sin q = \frac{pb\sin q}{l}, k = 2p / l$$

الكمية b متغير وهي مثل نصف فرق الطور بين الإسهامين الناتجين من حافتي الشق وعلى ذلك فإن الشدة على الستار هي $I = \cong A^2 = A_0^2\frac{\sin^2 b}{b^2}$

ملاحظه:

∴ فرق المسار بين الإسهامين الناتجين من حافتي الشق (Δ) وعليه فإن فرق الطور $\Delta = b\sin q$

نستنتج أن الكمية

$$d = \frac{2p}{l}b\sin q$$
$$b = \frac{pb\sin q}{l}$$

تمثل نصف فرق الطور بين الإسهامين النتاجين من حافتي الشق .

إذا لم يكن الضوء ساقطا على الشق في اتجاه عمودي على مستواه بل كان يصنع زاوية ما (i) فإن

b تعطى بـــ: $b = \frac{pb(\sin q + \sin i)}{l}$

وعند b تكون صغيرة جدا فإن $\sin b$ يقترب من b وعليه فإن $\sin b / b = 1$

عند $b = 0, A_0 = A$ ، وعل ذلك فإن ثابت A_0 يمثل السعة عندما تصل الموجات متطاورة ، وعليه فإن A_0^2 تمثل قيمة الشدة القصوى وهي توجد في مركز النمط .

بابتعادها عن هذه النهاية العظمى الرئيسية تقل لشدة تدريجيا إلى أن تصل إلى الضوء عند $b = \pm p$ ثم تمر بعدة نهايات عظمى ثانوية تفصلها نقط صفرية الشدة على أبعاد متساوية بعضها من بعض عند $b = \pm p, \pm 2p, \pm 3p$ ومع ذلك يجب أن نلاحظ أن النهايات العظمى الثانوية لاتقع في منتصف المسافة بين هذه النقط تماما ولكنها مزاحة نحو مركز النمط بمقدار يقل مع زيادة m.

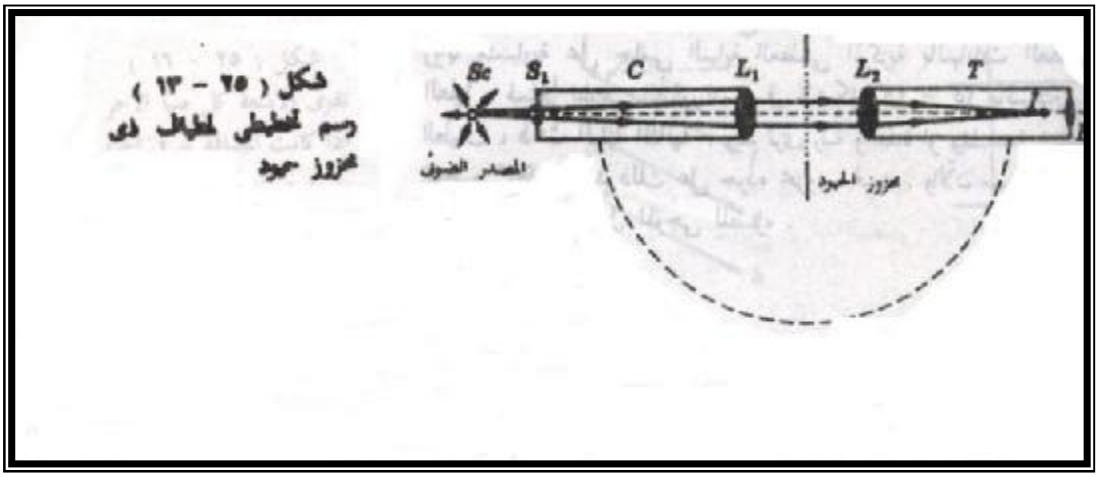
٥-١٢ محزوز الحيود:-

يستخدم محزوز الحيود عادة لقياس الطول الموجي للضوء بدقه كبيره ويسمى الجهاز المبني لهذا الغرض المطياف ذو محزوز الحيود .

المحزوز :- عبارة عن عدد كبير من الشقوق المتوازية في ستار معتم منتظمة البعد عن بعضها البعض.

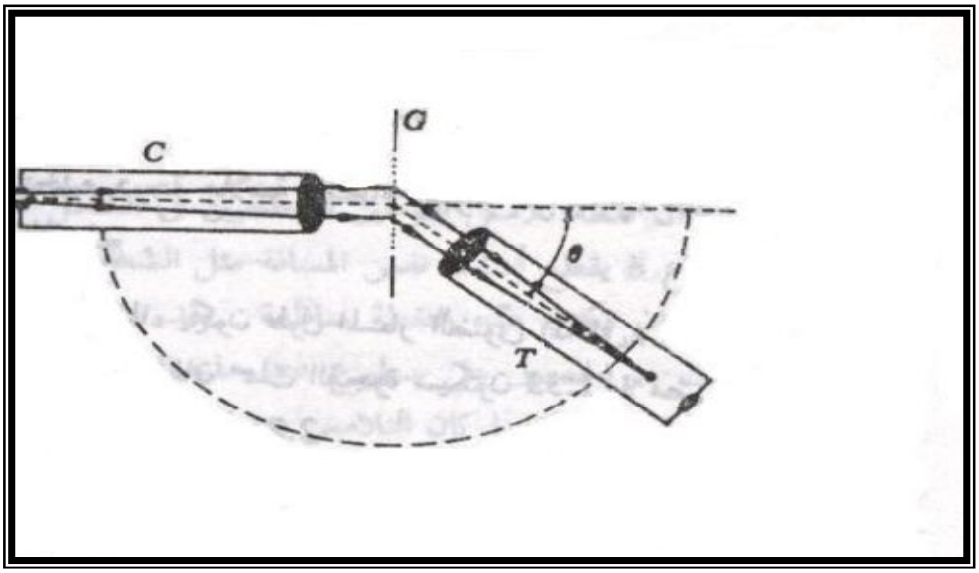
ويحتوي المحزوز العادي على ١٠,٠٠٠ شق في مسافة قدرها ١cm. وعليه فان المسافة d بين مركزي شقين متجاورين ستكون ٠,٠٠٠١cm وسوف نرى أن عمل هذا الجهاز لايخلف كثيرا عن شقوق يونج المزدوجة.

يمثل الشكل التالي رسما تخطيطيا لمطياف معتاد ذي محزوز حيود .يضيء الضوء من المصدر scالشق s1 الموجود في نهاية أنبوبة c تسمى الميزاء (أي موجة الاشعه) وهي تستخدم لجعل الاشعه متوازية . ويتم ذلك بان توضع العدسة L1 في موجة الاشعه بحيث تكون S1 في بؤرتها ولهذا فان الضوء الخارج من الشق يتحول إلى ضوء متواز أي مسدد بواسطة العدسة L1 وتمر هذه الحزمة الضوئية المتوازية بعد ذلك في محزوز الحيود وتدخل التلسكوب Tوتكون العدسة L2 صوره للشق عند I وتشاهد هذه الصورة في العدسة العيينيه E .



شكل (٢٥ - ١٣)
رسم تخطيطي لمقياس ذى
محورز حيود

التلسكوب مصمم بحيث يمكن ادارته بزوايا معلومه بدقه كما هو مبين في الشكل التالي :



وبالطبع عندما تكون الزاوية q صفرا يرى المشاهد صوره واضحة لشق موجة الاشعه وتسمى هذه الصورة بأسماء مختلفة هي النهاية العظمى المركزية ،النهاية العظمى ذات الرتبة الصفريه ، الصورة المركزية.

ويلاحظ ان لون هذه الصورة هو نفس لون المصدر الضوئي ،فإذا استخدم الضوء الأبيض فان الصورة تكون بيضاء .

وعندما تتطابق الشعيرتين المتعامدتين الموجودتين في التلسكوب مع هذه الصوره تكون الزاويه qفي الشكل صفرا.

من المتوقع ان تتشابه ظواهر التداخل المشاهده بواسطة مثل هذا الجهاز عديد الشقوق الى حد ما مع تلك الظواهر التي تشاهد بواسطة الشق المزدوج . وهذا صحيح بالفعل ومع ذلك فان نمط الحيود

المشاهد في حالة محزوز يحتوي على الاف الشقوق اكثر حده من النمط المتكونفي حالة الشق المزدوج وعند استخدام الضوء الاصفر المنبعث من القوس الصوديومي لاضاءة شق موجة الاشعه ستشاهد نمط شدة الضوء المبين في الشكل كداله في الزاوية q.

الفصل السادس

التجارب العملية

لمقرر الضوء والطيف

بقسم الفيزياء بجامعة أم القرى

التجربة الأولى :-

{تعيين معامل الانكسار لمواد متجانسة ضوئيا}

مقدمه نظريه : تنتشر الأمواج الكهرومغناطيسية بما فيها الضوء في الفراغ الحر بسرعة ثابتة مقدارها $c = 3X10^8 m/s$ أما في الأوساط المادية والتي تسمى بالأوساط الكثيفة ضوئيا فان سرعة الأمواج المذكورة v تعتمد على التردد والذي يعتمد بدوره على خصائص المصدر ولكن السرعة v لايمكن أن تزيد بأي حال من الأحوال عن قيمه c الا في حالة واحده وهي حالة البلازما للمادة . وتعرف النسبة بين السرعتين c و v في الأوساط الكثيفة بمعامل الانكسار الضوئي n حيث n=c/v وحيث أن c تكون دائما اكبرمن v فان (n>١) وتعرف المواد التي تبدي خصائص موحده حيال انتشار الضوء فيها بغض النظر عن اتجاه التقدم بالمواد المتجانسة ضوئيا حيث تكون سرعة انتشار الضوء فيها وكذلك معامل الانكسار مستقلين تماما عن اتجاه تقدم الموجه الضوئية ومستقلين أيضا عن حالة استقطابها أي لكل منهما قيمه واحده في جميع أنحاء المادة الواحدة .

توجد طريقتان لتعيين معامل الانكسار :-

١) **باستخدام مقياس آبي .**

٢) **باستخدام الميكروسكوب المتحرك.**

*** الطريقة الأولى :**

مقياس الانكسار لآبي : يستخدم هذا الجهاز في تعيين معاملات الانكسار الضوئي في السوائل والمواد الصلبة بطريقه مباشره حيث تعتمد طريقة عمله على فكرة الزاوية الحرجة واهم عناصر تركيبه منشور زجاجي يكون وجهه الأكبر أملسا ومصقولا تماما ويتميز هذا الزجاج بالكثافة الضوئية العالية ومعامل انكساره الكبير . ويتكامل عمل هذا الجهاز بتثبيت منشور آخر على مفصله بطريقه متماثلة مع المنشور الأول بحيث يتم تحريكه زاويا بعدا واقربا من المنشور الأول بطريقه تجعل الوجهين الكبيرين في المنشورين يتواجهان ويتلاصقان في وضع العمل ولابد أن يكون زجاج المنشور الثاني من نفس نوع المنشور الأول الا أن وجهه الكبير يكون خشنا ورماديا كي يمنع تكون الصور في مجال الرؤية وعند استخدام الجهاز توضع قطره أو اثنتان من السائل على الوجه الخشن للمنشور(٢) ثم يعاد الى وضع التثبيت كما في الشكل وفي حالة قياس

معامل انكسار ماده صلبه فلابد أن تكون العينة على شكل شريحة رقيقه ملساء تحصر بين وجهي المنشورين وتتلخص الوظيفة الرئيسية للمنشور الثاني في توجيه الضوء الساقط على وجهه القصير من الخارج ليأخذ المسار حتى يخرج إلى مجال الرؤية فيرصده منظار الجهاز ويتم التوجيه بحيث يكون سقوط مقطع الشعاع على الوجه ABسقوطا تحديقا (أي يكاد يوازي هذا الوجه بزاوية سقوط كبيره).

في هذه الحالة ستكون زاوية انكسار الشعاع الضوئي على الحد الفاصل بين العينة والمنشور (١) قريبه جدا جدا من الزاوية الحرجة بين المادتين (العينة والزجاج) وعليه فان :

$$\sin q_c = \frac{n}{n_g} .....(1)$$

حيث nهو معامل انكسار العينة و n_g هو معامل انكسار زجاج المنشور وبخروج الشعاع بزاوية qفان معامل انكسار الزجاج يتعين من قانون سنل ومن هندسة الشكل

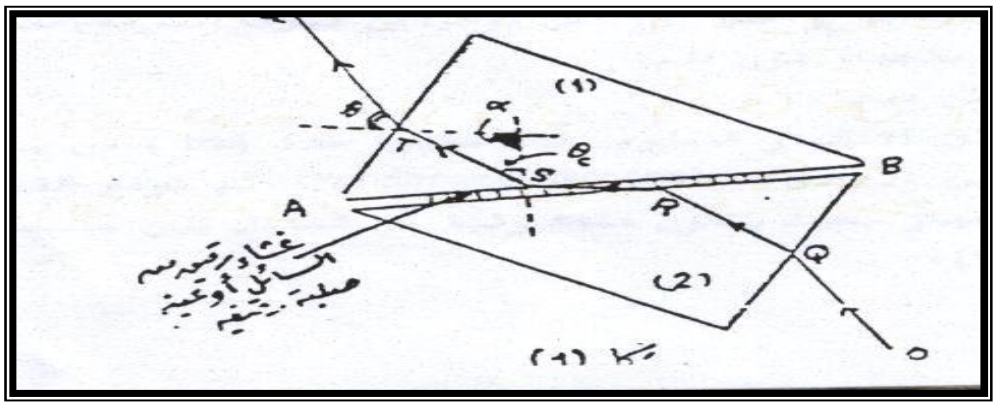
$$n_g = \frac{\sin q}{\sin(a + q_c)} .....(2)$$

وبحل المعادلتين (١) و(٢) لحذف q_c تنتج العلاقة مباشره بين زاوية الخروج q ومعامل الانكسار المراد تعيينه n وبمعلومية n_g فان تدريج الجهاز يمكن معايرته ليعطى قيمه لn المجهولة مباشره وقد عوير تدريج الجهاز بواسطة صانعيه ليعطي القراءة بالفعل الا انه يحتاج إلى ضبط خطوات العمل وتعيين الخطاء الصفري.

* الطريقة الثانية :

باستخدام الميكروسكوب المتحرك :

من الشكل المجاور: - $n_1 \sin q_1 = n_2 \sin q_2 .....(*)$



وعندما يكون النظر قريب جدا من العمودي فان : $\sin q \to \tan q$ ومنها: -

$$\tan q_1 = \frac{X}{L}, \tan q_2 = \frac{X}{L'} \quad \leftarrow \quad n_1 \frac{x}{L} = n_2 \frac{x}{L'}$$

وعندما يكون الوسط n_2 هو الهواء فان $n_2 = 1$ ومنه فان البعد الظاهري/

البعد الحقيقي $= \frac{L}{L'} = n_1$

ولقياس البعدين L و L' نتبع الخطوات التالية: -

١) نضع الميكروسكوب المتحرك على المنضده بحيث يكون مستويا ويكون اتجاه انزلاق الو رنيه راسيا.

٢) نضع تحت العدسة الشيئية للميكروسكوب ورقه بيضاء مثبته على المنضده ونعلم عليها بقلم حبر على شكل خط أو نقطه لتقوم مقام الجسم P انظر الشكل (ب) ثم نضبط الميكروسكوب بتحريكه إلى أسفل أو أعلى حتى تصبح العلاقة في منطقة أدق تصويب (١) ونقرا الو رنيه.

٣) نضع القالب الشفاف فوق الورقة بحيث تقع العلامة أسفله ونضبط الميكروسكوب مره أخرى حتى نرى العلامة فوق موقع أدق تصويب (٢) ونقرا الو رنيه .

٤) أخيرا نضع علامة حبر على سطح القالب العلوي ونحاول ضبط الميكروسكوب عليها حتى نحصل على موقع أدق تصويب (٣)

ونقرا الو رنيه. ومن هذه القراءات يكون لدينا: -

البعد الحقيقي = { القراءة في الوضع (٣) – القراءة في الوضع (١)}

البعد الظاهري={القراءة في الوضع (٣) – القراءة في الوضع (٢)}

ثم نحسب معامل الانكسار n_1 .

التجربة الثانية : -

{ الثيرموبيل وبعض القياسات الضوئية }

الهدف من التجربة: -

١) استخدام الثيرموبيل في تحقيق قانون التربيع العكسي لشدة الاستضاءة.

٢) تعيين معامل التوهين للزجاج.

الأدوات والاجهزه المطلوبة: -

ثيرموبيل – جلفانومترحساس - مصدر ضوئي حراري – ألواح رقيقه من الزجاج – مصدرين ضوئيين مختلفي القوه - قضيب معدني مصمت D=1-2CM ، L=32CM - قاعدة لتثبيت القضيب في وضع راسي - حائل أو شاشه بيضاء مثبته على حامل – مسطره قياس – حواجز حاجبه للضوء.

طريقة العمل : تعرف شدة الاضاءه لمصدر ضوئي باتجاه مخروطي مجسم على أنها النسبة بين الفيض الضوئي والزاوية المجسمة التي يصنعها المخروط أوهي الفيض الذي ينطلق من المصدر لوحدة الزاوية المجسمة فلو رمزنا لشدة الاضاءه بالرمز x ولمقدار الفيض ΔF ولمقدار الزاوية المجسمة ب Δv فان (١) ..... $x = \frac{\Delta F}{\Delta v}$

وتكون الزاوية المحيطة لمصدر نقطي مساوية ل $v = 4p$

لكن المصادر الضوئية لاتشع كميات متساوية من الفيض في جميع الاتجاهات ويمكننا اعتبار مصدر نقطي نموذجي يبعث شده أضاءه مقدارها x ثابتة في جميع الاتجاهات أي على مدى $4p$.

ΔA تمثل عنصر مساحه تصنع المسافة r بينه وبين المصدر s زاوية q مع العمودي على عنصر المساحة أما الزاوية المجسمة التي تصنعها ΔA على المصدر فهي : $\Delta v = \frac{\Delta A COS q}{2}$ لوكان سقوط الضوء عموديا على المساحة فان q تساوي صفر وهذا مانسعى إليه دائما في المعمل وعليه فان : $I = \frac{x}{r^2}$ وهذا مايسمى بقانون التربيع العكسي للضوء وينص على أن(شدة استضاءة أي عنصر من سطح مستضاء

تتناسب عكسيا مع مربع المسافة بين السطح والمصدر على افتراض أن شدة إضاءة المصدر تظل ثابتة).

سوف نكشف عن I باستخدام الثيرموميل وهو عبارة عن عدد من الازدواجات الحرارية المتصلة مع بعضها البعض على التوالي أو "عدد من البولوميترات التي تتغير مقاومتها الكهربية بتغير درجة حرارتها " وفي حالة الازدواجات الحرارية تكون مصنوعه من أسلاك رقيقه جدا وحساسة وتكون القوه الدافعة الكهروحراريه الناتجة مساوية لمجموع القوى الناتجة عن الازدواجات فيما لوكانت منفردة فإذا تم توصيل الثيرموميل بجلفانومتر حساس فان مقدار الانحراف في الجلفانومتر يتناسب طرديا مع القوه الدافعة الكهروحراريه التي تتناسب بدورها مع فرق درجتي حراره موصلات الاختباريه المعرضة للإشعاع والموصلات الاسناديه المعزولة ،أي أن الانحراف (d) في الجلفانومتر يتناسب مع I " شدة استضاءة السطح الحساس للثيرموبيل". وفي الثيرموبيل تغطى الوصلات الاختباريه بماده سوداء كي تزيد من امتصاص الطاقة الا شعاعيه الساقطة عليها بينما تعزل الوصلات الاسناديه حتى لاتتاثر بالحرارة وتبقى عند درجة حرارة الغرفة .

* نثبت الثيرموبيل والمصدر الضوئي في مكانين مناسبين بحيث يعطي وضعها عند التشغيل انحرافا كبيرا في الجلفانومتر ولكن لايجب أن يصل إلى نهاية التدريج ثم نسجل مقدار الانحراف (d).

* نبدأ بوضع ألواح من الزجاج بعد أن نقيس السمك لها (x) واحد بعد الآخر بحيث تتلاصق الألواح تماما لكل قيمه من قيم (x) وبحيث تتغير فتحة المصدر أو فتحة الثيرموبيل ونسجل في كل خطوة مقدار الانحراف في الجلفانومتر ٠

* نرسم علاقة بيانيه ونستنتج معامل التوهين للزجاج ٠

* ندرس عمليا العلاقة بين I و $\frac{1}{r^2}$ مع ملاحظة أن I ثابتة ٠

* نستنتج من العلاقة البيانية المتوسط الزمني لشدة اضاءة المصدر x ثم نحسب كفاءة المصدر حسب نوعه ٠

التجربة الثالثة :-

{مقياس التداخل المخروطي}

الهدف من التجربة :-

١) تعيين الطول الموجي لمصدر ضوئي "ضوء الصوديوم"٠

٢) تعيين سمك سلك رفيع جدا٠

الأدوات :

شريحة زجاجيه سميكة ذات سطح مستوي – شريحة زجاجيه رفيعة – ورقه رقيقه معلومة السمك – سلك رفيع جدا – مصدر لضوء الصوديوم – ميكروسكوب متحرك ٠

نظرية التجربة :

نفرض أن غشاء رقيق محصور بين سطحين عاكسين بحيث كان السطحان يصنعان زاوية أحدهما مع الأخر .

عند سقوط الضوء على هذا الغشاء فان هدب التداخل المتكونة في الغشاء تكون مستقيمة وعلى شكل خطوط متساوية السمك .

وإذا كان احد السطحين غير تام الاستواء فان الهدب لاتكون مستقيمة ولذلك تستخدم هذه الظاهرة في اختبار استواء الأسطح البصرية وكذلك تستعمل هذه الظاهرة في تعيين معامل انكسار السوائل٠

شرط الحصول على هدب مظلمة هو: $2mt\cos q = n\,l$

في حالة المشاهدات العمودية تكون $\cos q = 1$

سمك العينة : $t = \frac{l\,L}{2\Delta X}$

المسافة البينية بين هدبتين متماثلتين : $\Delta X = \frac{X}{N-1}$

L طول الشريحة والطول الموجي هو $l = 5895A^0$

خطوات التجربة : -

١ - نرتب الجهاز كما في الشكل ونغير فبوضع المصدر الضوئي والعدسة الشيئيه للميكروسكوب وكذلك وضع الشريحتان اللتان تحصران الفلم الهوائي حتى نحصل على هدب التداخل المستقيمة والمتساوية السمك .

٢ - نضبط مواقع المنظار والو رنيه حتى تنطبق إحدى شعرتي المنظار المتتاليتين على منتصف سمك إحدى الهدب ونسجل قراءة الورنيه .

٣ - نحرك الو رنيه تجاه اليمين ونقف عندما تنطبق القراءة الراسية في المنظار على منتصف سمك الهدبه السادسة ثم نسجل قراءة الورنيه .

٤ - المسافة التي تشغلها ٦ هدب تساوي الفرق بين قراء تي الو رنيه في الخطوتين ٣و٤ .

٥ - يقاس طول الشريحة L باستخدام القدمه ذات الو رنيه مبتدأ من حافة الورقة بين الشريحتين إلى خط تماس الشريحتين.

٦ - لقياس قطر السلك الرفيع نكرر الخطوات السابقة باستخدام الشريحتين اللتين بينهما السلك.

٧ - نحسب سمك السلك وذلك بمعلومية الطول الموجي .

التجربة الرابعة :-

{ تداخل الضوء وقوة الفصل لعين الإنسان }

الهدف من التجربة :-

١ - استخدام شقي يونج وليزر الهيليوم للحصول على أهداب التداخل.

٢ - قياس البعد بين الشقين باستخدام الميكروسكوب المتحرك وحساب الطول الموجي للضوء.

٣ - اختبار قوة فصل العين للمجرب وحساب القيمة التقريبية المؤثرة لقطرانسان العين.

٤ - استخدام ٥ أو ٦ فتحات متجاورة والحصول على شكل تداخلي للمقارنة مع ١ .

الا جهزه والأدوات :

جهاز ليزر الهيليوم – عدسه مفرقه – شريحة تحتوي على شقين وعلى عدد آخر من الشقوق المتجاورة – حوامل – شريط متري للقياس – ورقة مربعات – شاشه.

مقدمه نظريه :

تتلخص نتيجة التداخل بين موجتين ضوئيتين أو أكثر في إعادة توزيع شدة الاستضاءة وسعة الاهتزازة بحيث يبدو مجال الرؤية مقسما إلى مايسمى بأهداب التداخل وفي حالة المصادر المتجاورة تكون الأهداب عبارة عن خطوط مضيئة متوازية وأخرى معتمه مرصوصة بانتظام جنبا إلى جنب . وقد أثبتت هذه الظاهرة أن للضوء طبيعة موجيه حيث لم يكن بقدور الضوء الهندسي تفسير ظاهرة إعادة توزيع شدة الاستضاءة .

ولمشاهدة ظاهرة التداخل نعتبر مصدرين ضوئيين متماثلين تماما s1 وs2 يرسل كل منهما قطارا موجيا مستمرا من الضوء ويجب أن يكون هذان المصدران متوافقين ومتجانسين في شدة إضاءتهما وان تكون الأمواج المنبعثة منهما متساوية في التردد ولكن الصناعة تعجز عن إيجاد مثل هذين المصدرين لذلك يستعاض عنهما بشقين متجاورين متماثلين بينهما بعد صغير وثابت ويوضع أمامهما مصدر منفرد للضوء الأحادي .

عندما يصطدم القطاران الموحيان بالشاشة فان فرق المسار بينهما سيكون مختلفا لجميع نقط الشاشة ماعدا المركز"o" حيث يكون $L_1 = L_2$

و $\Delta L = 0$ ولذا فان المركز سيبدو مضيئا حيث سيتداخل القطاران الموجيان تداخلا بناء ويتحقق التداخل البناء أيضا لأي نقطه على الشاشة تحقق الشرط : $\Delta L = d \sin q = n l$ و n=1 2 3 حيث l هي الطول الموجي ، "o" هي المركز ،d المسافة بين الشقين.

أما التداخل فيحدث عندما :- $\Delta L = d \sin q = (n + 1/2) l$

وينتج عنه أهداب مظلمة تتخلل الأهداب المضيئة وتكون المسافة بين بين أي هدبتين متتاليتين مقدار ثابتا يتعين بدلالة الطول الموجي للضوء المستخدم والمسافه بين الشقين وكذلك المسافه بين موقع الشقين وموقع الشاشه.

وبافتراض بعض القريبات المسموحه ومن هندسة الشكل يمكن إثبات أن المسافه بين أي هدبتين متتاليتين من نفس النوع تعطى بالعلاقة :-

$$\Delta X = \frac{l D}{d}$$

ولوكان المصدران متماثلين تماما فان شدة الأهداب على الشاشه ستكون ثابته ولكن نظرا لان المصدرين عبارة عن شقين ضيقين فان حيود الضوء من كل منهما سيؤثر على الشكل الناتج بان يجعل شدة الاستضاءة نهايه عظمى في المركز ويقللها تدريجيا كلما ابتعدنا عن المركز . وما يظهر في الشاشه هوفي الواقع شكلان متراكبان احدهما حيودي والاخر تداخلي وهو المسئول عن تقسيم مجال الرؤيه إلى أهداب متساوية البعد وستركز دراستنا في هذه التجربة على التداخل.

قوة الفصل للعين :- تعرف قوة الفصل بأنها اصغر زاوية يصنعها جسمان متقاربان على فتحة عدسه العين ولازالت العين تفصلهما عن بعضهما ، فلو كانت المسافه بين هذين الجسمين هي ΔX فان الزاوية q_R بالتقدير الدائري التي تصنعها هاتين الهدبتين على فتحة العين هي :

$$q_R = \frac{\Delta X}{D'}$$

حيث : D' هي المسافه بين الملاحظ والشكل التداخلي .وكلما صغرت قيمة الزاوية كلما كانت قوة الفصل اكبر ولكن الأجسام الدقيقه لاينتج عنها صورا دقيقه ولكن أشكالا حيوديه ويعطينا شرط رالي المبني على نظرية الحيود للضوء مقدار قوة الفصل بدلالة طول موجة الضوء المستخدم واتساع العدسة a من خلال العلاقة :- $q_R = \frac{1.22 l}{a}$

خطوات العمل:-

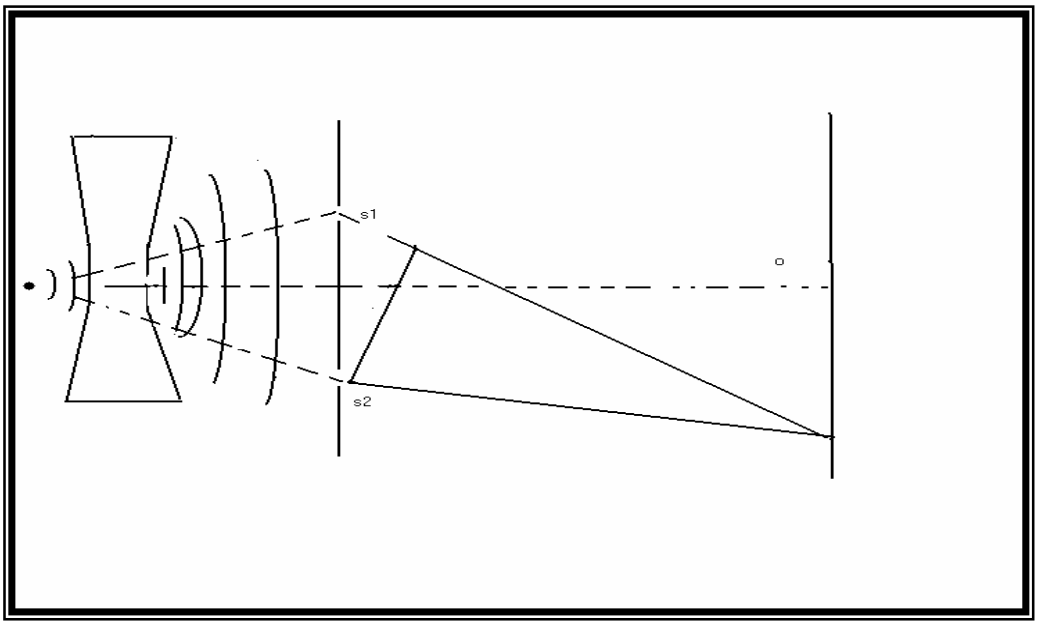
١ - ترتب الأجهزة والأدوات في نظام ضوئي كالموضح بالشكل حيث تستخدم العدسة المقعرة لتفريق شعاع اليزربحيث يضيء الشقين تماما "طولا واتساعا" ونعدل في وضع الشقين

واتجاه سقوط الضوء حتى نحصل على شكل تداخلي مكون من أهداب مضيئة وأخرى مظلمة واضحة على ورقة المربعات الملصقة على الجدار.

٢ - نعد اكبر عدد ممكن من الأهداب المضيئة "N" والذي يشغل مسافة X على ورقة المربعات بحيث يكون القياس من مركز الهدبه الأولى وحتى مركز الهدبه N ومنها نحسب المسافه الفاصلة بين هدبتين مضيئتين متتاليتين $\Delta X = \frac{X}{X-1}$.

٣ - نستخدم ميكروسكوب متحركا لقياس المسافه "d" بين مركزي الشقين وذلك بتصويب الميكروسكوب على الشقين المثبتين في حاملهما ونضع خلف شريحة الشقين مصدرا للضوء الأبيض .

٤ - نحسب الطول الموجي وذلك بعد قياس المسافه D بين موقع الشقين وموقع ورقة المربعات بالشريط المتري.



٥ - نقف أمام الشكل التداخلي ثم نبدأ بالرجوع إلى الوراء مبتعدين عن الشكل خطوة خطوة وفي كل مره نختبر نظرنا فيما إذا كان بقدورنا رؤية الأهداب مفصولة ثم نتوقف عند أطول مسافة ممكنه D' نستطيع فصل الأهداب .

٦- نحسب قوة الفصل وذلك بمعلومية ΔX من الخطوة ٢.

٧- بمعلومية الطول الموجي المحسوب في الخطوة ٤ ، q_R نحسب قطر إنسان العين "a" على افتراض أن النظر عادي (ليس به طول أو قصر).

٨- نقارن بين قوة الفصل التي حصلنا عليها من الفحص الشخصي والقيمة $5X10^{-4} rad$ ونعلق على النتيجة ، ثم نقارن بين قطر إنسان العين العملي وبين القيمة : $(1.5 \pm 20\%) mm$ ونكتب عند الانتقال من هدبه إلى الهدبه التي تليها تزداد n بمقدار الوحدة وهذا يتطلب تغير السمك البصري mt بمقدار $l/2$ وذلك من معادله (١).

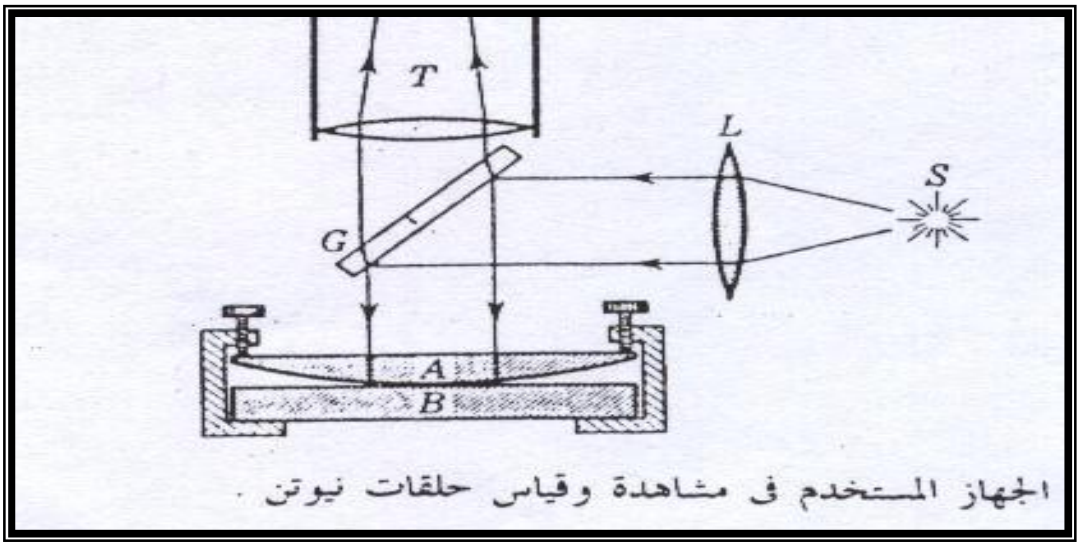
٩- نزيح ألان حامل شريحة الشقوق أمام المصدر الضوئي بحيث نجعل شعاع الليزر يسقط على اكبر مجموعه من الشقوق المتجاورة الموجودة على الشريحة ونضبط الجهاز لنحصل على شكل تداخلي كما فعلنا في الخطوة ١.

التجربة الخامسة :-

{ حلقات نيوتن }

إذا تكونت الهدب متساوية السمك في غشاء هوائي بين السطح المحدب لعدسه ذات بعد بؤري طويل وسطح خارجي مستوي فان الخطوط الكنتوريه تكون دائرية .

وقد درس نيوتن الهدب ذات الشكل الحلقي والمتكونة بهذه الطريقة بالتفصيل ولكنه لم يستطع تفسيرها تفسيرا صحيحا.ولأغراض القياس تجري المشاهدات عادة في حالة السقوط العمودي باستخدام الجهاز المبين في الشكل حيث يعكس ألوح الزجاجي G الضوء إلى أسفل تجاه اللوحين ؛ وبعد الانعكاس يشاهد الضوء النافذ خلال النهايات العظمى حيث d سمك الغشاء الهوائي .والآن إذا رمزنا بالحرف R إلى نصف انحناء السطح A وافترضنا أن A و B يتلامسان في المركز فان قيمة d لأي حلقه نصف قطرها r نكون هي العمق السهمي للقوس وتعطى بالعلاقة : $d = \frac{r^2}{2r}$ وبالتعويض عن قيمتها سوف نحصل على علاقة لأنصاف اقطارالحلقات والطول الموجي للضوء وللعمل الكمي لايمكننا افتراض أن اللوحين يتلامسان في نقطه، ذلك لان هناك دائما بعض دقائق الغبار بين السطحين اوبسبب التشوه الناتج من الضغط هذه الاضطرابات سوف تؤدي إلى مجرد إضافة ثابت صغير إلى المعادلة السابقة ومع ذلك فان من الممكن التخلص من تأثيرها بقياس قطري اصغر حلقتين.



الجهاز المستخدم فى مشاهدة وقياس حلقات نيوتن .

نظرا لان أقطار الحلقات تعتمد على الطول الموجي فان الضوء الأبيض ينتج عددا قليلا فقط من الحلقات الملونه بالقرب من نقطة التلامس ؛ أما في حالة الضوء وحيد ألون فإننا نلاحظ نظاما مكونا من عدد هائل من الهدب .

قام توماس يوينج بإجراء تحوير هام في هذه التجربة كان فيه اللوح السفلي ذو معامل انكسار اكبرمن معامل انكسار العدسة وملا الغشاء بينهما بزيت معامل انكساره وسط بين هذين المعاملين. وفي هذه الحالة يتم كلا الانعكاسين من الوسط المخلخل إلى الكثيف ولا يحدث تغير في الطور النسبي وبالتالي يجب ان تكون الهدبه المركزيه في النظام المنعكس ساطعة وهذا ماحدث بالفعل . هذه التجربة لاتخبرنا عند أي سطح يحدث التغير الطوري في الجهاز العادي ، ولكن من المؤكد الان انه يحدث عند السطح السفلي (أي عند الانعكاس في حالة السقوط من الهواء الى الخارج).

يشاهد كذلك نظام من الهدب الحلقية في الضوء النافذ خلال اللوحين في تجربة حلقات نيوتن . هذا النظام مكمل تماما لنظام الحلقات المنعكسة بحيث تكون البقعة المركزيه ساطعة الان.

الهدف من التجربة : -

١ - الحصول على أهداب التداخل الدائرية باستخدام جهاز حلقات نيوتن.

٢ - قياس أقطار ست حلقات وتعيين الطول الموجي للضوء المستخدم ونصف قطر تكور العدسة

الا جهزه والأدوات : -

مصدر لضوء الصوديوم – عدسه محدبه مستوية طويلة البعد البؤري – جهاز حلقات نيوتن المكون من لوحين زجاجيين احدهما سميك في وضع أفقي والأخر رقيق مائل بزاوية ٤٥ على اللوح الأول – ميكروسكوب متحرك .

نظرية التجربة : -

إذا وضعت عدسه محدبه رقيقه على لوح مستو من الزجاج كما بالشكل فان غشاء رقيقا من الهواء سينحصر بينهما ويكون سمك هذا الغشاء متغيرا يتدرج من قيمته العظمى عند حواف العدسة إلى قيمة تكاد تساوي صفرا عند قطب العدسة (نقطة التلامس) فإذا ماسمح لضوء أحادي تقريبا مثل ضوء الصوديوم بالسقوط عموديا على العدسة ثم اللوح من أعلى فان الضوء سيعاني انعكاسا من ثلاثة سطوح : - ا) من السطح العلوي المستوي للعدسة ويشكل هذا الجزء خلفيه ضعيفة للاضاءه.

ب) من السطح الداخلي : المقعر للعدسة وهو الحد الفاصل بين زجاج العدسة غشاء الهواء وهنا لن يعاني الضوء تغيرا في الطور نظرا لان معامل انكسار الغشاء اقل منه للزجاج .

ج) من سطح لوح الزجاج السميك أسفل العدسة وهنا سنجد أن الضوء المنعكس سيعاني تغيرا في الطور بمقدار ١٨٠ لان هذه الحالة عكس الحالة (ب) وتبعا لذلك فستتولد فروق في المسارين الجزئيين المنعكسين في الحالتين (ب و ج) بسبب وجود غشاء العواء وستكون هذه الفروق مختلفة عن بعضها البعض نتيجة لتغير سمك الغشاء الهوائي ، وسيتداخل الجزءان المذكوران في رحلتهما تجاه العين أو الميكروسكوب وينتج عن تداخلهما أهدابا مضيئة وأخرى مظلمة تبعا لفرق المسار ونظرا لان العدسة متماثله دائريا وان سمك الهواء متماثل حول قطب العدسة فستبدو هذه الأهداب دائرية الشكل تسمى " حلقات نيوتن " ونظرا لوجود فرق مبدئي في الطور بين الجزئين المنعكسين على حدود غشاء الهواء مقداره ١٨٠فان شرط التداخل البناء يكون :-

$$(M+1/2)\,l = 2dn \ldots\ldots\ldots(1$$

M=0 .1. 2 .3……

وينتج عن ذلك حلقات مضيئة ، أما الشرط لتداخل البناء فيكون : $ml = 2dn$

حيث n هو معامل انكسار الغشاء ويساوي واحد صحيح تقريبا في حالة الهواء . الآن نجد أن سمك غشاء الهواء يعطى دائما من العلاقة : $d = R - \sqrt{R^2 - r^2} = R - R\left[1 - (\frac{r}{R})^2\right]^{1/2}$

حيث r هو نصف قطر الحلقة المضيئة أو المظلمة بصوره عامه ، وكما هو الحال دائما في تجارب من هذا النوع فان نصف قطر تكور العدسة Rيكون اكبر كثيرا من r وعليه فان $(\frac{r}{R})^2 << 1$ وبناء عليه نأخذ مفكوك مابين القوسين المربعين في المعادلة ٣ باستخدام نظرية ذات الحدين ونهمل الحدود $(\frac{r}{R})^4$ فاكبر فنحصل على :-

$d = \frac{r^2}{2R} \ldots\ldots\ldots(4)$ بالتعويض الآن في (١) و(٢) نحصل على :

للمضيئة …… $r_n^2 = (M+1/2)\frac{lR}{n}$

للمظلمة…… $r_n^2 = \frac{mlR}{n}$

خطوات العمل :-

١- الجهاز كما في الشكل المجاور ونغير في وضع المصدر الضوئي وموقع العدسة وحاصل الألواح الزجاجية وكذلك في بعد شيئية الميكروسكوب بعناية تامة حتى نحصل على حلقات التداخل مائلة لمجال الرؤية في عينية الميكروسكوب بحيث يقع مركزها المضيء في مركز مجال الرؤية بقدر المستطاع .

٢- نحرك منظار الميكروسكوب مع الو رنيه في اتجاه أفقي تجاه اليسار إلى ابعد من الحلقة السابعة ونحرص على أن يظل جسم الميكروسكوب ثابتا تماما وكذلك على بقاء الحلقات واضحة في مجال الرؤية ثم نضبط موقع المنظار والو رنيه باستخدام المسمار المحوي حتى تنطبق إحدى شعرتي المنظار المتصالبتين راسيا على منتصف سمك الحلقة المضيئة السادسة ونسجل قراءة الو رنيه ورقم الحلقة.

٣- نحرك الو رنيه مره أخرى تجاه اليمين ونقف عندما تنطبق الشعرة الراسية على منتصف سمك الحلقة الخامسة ثم نسجل قراءة الو رنيه ورقم الحلقة .

٤- نكرر الخطوة ٣ للحلقات الرابعة والثالثة والثانية والأولى (وهي المحيطة بالمركز) وندون قراءاتنا منسقه في جدول مناسب .

٥- نستمر في تحريك الو رنيه تجاه اليمين ونتعدى المركز لنقف عند منتصف سمك الحلقة الأولى في الجهة الثانية ونسجل قراءة الو رنيه أمام نفس الرقم ١ وليس ٦ .

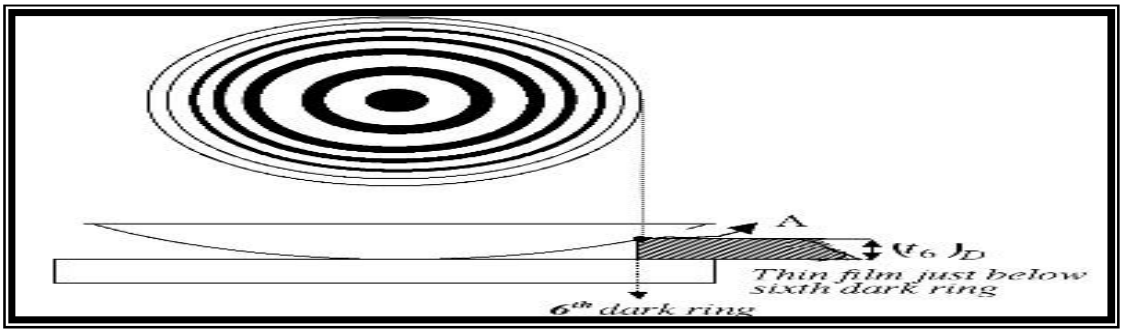
٦- نكرر الخطوة (٥) للحلقات الثانية والثالثة والرابعة والخامسة والسادسة وفي كل مره نسجل قراءة الو رنيه أمام الرقم المناسب .

٧- نستنتج قطر الحلقات m حيث (m=1.2.3.....6) بطرح القراءتين الخاصتين بنفس الحلقة ثم نستنتج نصف القطر ومربعه لكل حلقه .

٨- نرسم العلاقة البيانية بين $m.r^2 m$ حسب المعادلة ٥ ومن ميل الخط المستقيم نستنتج الطول الموجي للضوء " l " وذلك بمعلومية نصف قطر تكور العدسة R ونستطيع تعيينه بسهوله بتطبيق القانون $\frac{1}{F}=(n-1)(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2})$ حيث $n=1.5$ و $R_2=\infty$ ومنه فان : $\frac{1}{f}=\frac{0.5}{R}$

وما علينا الا أن نحصل على صوره لجسم باستخدام هذه العدسة ونطبق القانون : $\frac{1}{f}=\frac{1}{s}+\frac{1}{s^l}$

ثم نستنتج قيمة R .



التجربة السادسة : -

{ حيود الضوء }

الهدف من التجربة :

١ - دراسة نموذج الحيود الناتج من محزوز الحيود.

٢ - دراسة نموذج الحيود الناتج من شق منفرد.

٣ - دراسة نموذج الحيود الناتج من سلك رفيع .

مقدمه نظريه :

الحيود : هو انحراف او انفراج الضوء عن مساراته المستقيمه عندما يصطدم بعقبه او يمر خلال فتحه ضيقه وينشا عن ذلك اعادة لتوزيع شدة الاستضاءه نتيجه لتراكب المجات الثانويه التي انقسم اليها الجزء غير المقيد من صدر الموجه ويسمى التوزيع الجديد بالشكل الحيودي.

وتجدر الاشاره الى ان الحيود يكون موجودا دائما ولكن نتائجه لاتظهر الااذا كانت ابعاد الفتحات او العقبات صغيره بما فيها الكفايه بحيث تجعل نسبة الامواج الضوئيه الحائده قريبه في المقدار من نسبة الامواج التي استمرت في الانتشار بصوره خطيه.

الحيود من فتحه طوليه منفرده : يتكون الشكل الحيودي الناشيء عن مثل هذه الفتحه وباستخدام مصدر للضوء الاحادي من نهاية عظمى مركزيه يحيط بها من الجانبين توزيعا متماثلا من النهايات الصغرى والنهايات العظمى الثانويه تقل شدة استضاءتها بسرعه كاما ابتعدنا عن مركز الشكل الى ان تختفي ويكون اتساع هذه النهايات اصغر من اتساع النهايه العظمى المركزيه وعندما تكون

المسافه بين الفتحه والشاشه كبيره كما هو الحال في هذه التجربه فان الزاويه التي تصنعها النهايه الصغرى الثانويه الاولى على الفتحه تعطى ب

$$q = \frac{l}{a} \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

اما زاوية النهايه الصغرى ذات الرتبه m بعدا عن المركز تعطى ب :

$$q_m = \frac{ml}{a} \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

واما المواقع الزاويه للنهايات العظمى الثانويه فتتعين من :

$$q' = [\frac{ml}{a} + \frac{(m+1)}{a}]/2 \ldots\ldots\ldots (3)$$

حيث a هو اتساع الفتحه و l هو الطول الموجي وmهي الرتبه وتاخذ القيم..... $m = \pm 1. \pm 2. \pm 3 \ldots\ldots\ldots\ldots$

الحيود الناتج من سلك رفيع : عندما يصطدم صدر الموجه المتقدمه بعقبة ملساء مثل سلك قائم فان الجزء الخارجي غير المقيد من صدر الموجه ينقسم الى مويجات ثانويه تنتشر في جميع الاتجاهات المتاحه لها ولاتكون متساوية السعه وسيظهر نتيجة لهذا الانتشار ظاهرتان ظاهرة التداخل وظاهرة الحيود.

اما ظاهرة التداخل فتحتل المنطقه الوسطى على الشاشه حيث تتراكب الموجات الحائده من الحافه A مع المويجات الحائده من الحافه B حيث تعمل الحافتان كمصدرين مستقلين للامواج الضوئيه وينشاعن ذلك تكون اهداب متساوية السمك تقريبا ومتساوية البعد عن بعضها البعض كما في تجربة يونج واما الحيود فينشا عنه شكلان حيوديان يحيطان بالمنطقه الوسطى نتيجه لتراكب المويجات الثانوية المنقسمة على كل حافة باستقلال عن تلك المنقسمة على الحافة الأخرى ويتميز هذان الشكلان عن الشكل التداخلي بتناقص شدة استضاءة مناطقهما المضيئة كلما زاد الانفراج الزاوي وتعطى المسافة المحصورة بين هدبتين مضيئتين متتاليتين في الشكل التداخلي الأوسط بالعلاقة: -

$$\Delta X = \frac{lD}{2r} \ldots\ldots (4)$$

حيث rهو نصف قطر السلك والرموزالباقيه تحمل نفس المعاني السابقة.

الحيود من محزوز الحيود: يمكن وصف محزوز الحيود على انه مرصوصة للفتحات الطوليه الضيقه جدا والكثيفه في العدد، وتعمل هذه الفتحات كمراكز للحيود عندما تمر الامواج الضوئيه منها ،وعندما يكون القطار الموجي الساقط احاديا فان جميع الموجات الحائده بزاويه معينه q من كل الفتحات المعرضه للضوء تقوي بعضها البعض اذا تحقق لها شرط التداخل البناء وهو :

$$d \sin q = m l \ldots\ldots\ldots(5)$$

وينشأ عنها نهايات عظمى عاليه الاستضاءه موزعة بتماثل حول النهايات العظمى المركزيه المسماه هنا بالرتبه الصفريه m=0 اما القيم الاخرى التي تاخذها m فهي $\pm 1. \pm 2. \pm 3.$ وتسمى الرتب الطيفيه حيث تقل شدة الاستضاءه فيها كلما زادت الرتبه mمن الجانبين ولكن انفراجها الزاوي يزداد اما "d" فهي المسافه الصغيرة الفاصله بين أي حزين متجاورين على المحزوز وهي ثابته للمحزوز الواحد وتعطى بالعلاقه:

عدد الحزوز/ وحدة الطول/١=d

ويمكن تعيين زوايا الحيود التي تصنعها هذه الرتب على موقع المحزوز بقياس المسافه X_m بين الرتبه ومركز الرتبه الصفريه ومعرفة المسافه بين المحزوز والشاشه.

خطوات العمل:

اولا: نستخدم محزوز الحيود لتعيين الطول الموجي لضوء اليزر لانه اكثر دقه.

١ - نضع محزوز الحيود امام مصدر اليزر وعلى بعد يساوي 20cm تقريبا منه بحيث يصبح بعد موقع المحزوز عن الشاشه ٢,٥مترا.

٢ - ندرس الشكل الحيودي الناتج ونتاكد من ظهور ٣رتب على الاقل على كلى الجانبين من الرتبه الصفريه المقابله لموقع المحزوز مباشره.

٣ - نقيس المسافه X_mعلى الشاشه بين الرتبه m ومركز الرتبه الصفريه حيث m=1.2.3.... ويجب ان يكون قياس X_m على جانبي المركز ثم ناخذ متوسط القيمتين X_m والا فان النتائج ستكون بعيده عن الواقع.

٤ - نحسب $(\sin q_m)$ من العلاقه $\frac{x_m}{(D^2 + X_m^2)^{1/2}}$ ونعوضهم في المعادله (٥) لحساب الطول الموجي l_m بمعلومية ثابت المحزوز d .

٥ - نكرر الخطوه (٤) ل m=2 وm=3 وفي كل مره نحسب l_m ثم نحصل على متوسط للطول الموجي l' وندون قيمتها لاستخدامها في الخطوات التاليه.

ثانيا : الحيود من فتحه طوليه :

١ - نبعد موقع الجهاز بكامله ليصبح على اكبر مسافه ممكنه من الجدار ٤ - ٥ مترا ثم نعيد ترتيبه بحيث تحل الفتحه المنفرده محل المحزوز وتكون في وضع راسي امام المصدر ومضاءه بكامل اتساعها.

٢ - ندرس الشكل الحيودي الناتج ونقيس اتساع النهايه العظمى المركزيه ونقارنه باتساع عدد من النهايات العظمى الثانويه.

٣ - نقيس المسافه بين مواقع عدد من المناطق المظلمه ومركز النهايه العظمى المركزيه ونستنتج الزوايا q_m حيث $m = \pm 1. \pm 2. \pm 3$ من العلاقه $q_m = \frac{x_m}{D}$ بالتقدير الدائري ثم نحسب اتساع الفتحه "a" باستخدام العلاقه (٢) لكل قيمه من قيم m ونحصل على متوسط للقيمه.

٤ - نكرر الخطوه ٣ وذلك باستخدام واحده او اثنتين من النهايات العظمى الثانويه ونحسب قيمة اتساع الفتحه "a" مره ثانيه من متوسط القراءات.

٥ - نقارن بين نتيجتي الخطوتين (٣) و(٤).

ثالثا : تعيين قطر السلك :

١ - نضع السلك الطولي المثبت على الحامل محل الفتحة أمام المصدر الضوئي ونتأكد بعدد من التعديلات أن السلك مضاء بتماثل من الجانبين وذلك باستخدام النظر ثم بفحص تماثل الشكل النتج على الجدار .

٢ - ندرس الشكل التداخلي والحيودي الناتجين وندون ملاحظاتنا.

٣ - نقيس المسافه التي تشغلها الاهداب الوسطيه المنتظمه في السمك والتباعد ومنها نحسب Δx بين أي هدبتين متتاليتين من نفس النوع على ان يكون القياس من المركز للمركز.

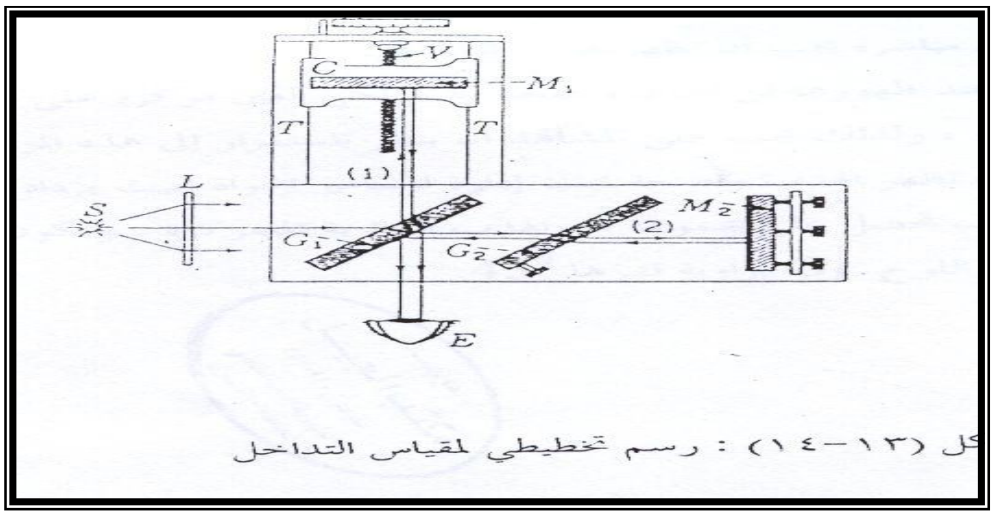
٤ - نحسب قطر السلك من العلاقه (٤).

التجربة السابعة :

{مقياس ما يكلسون}

يتكون مقياس التداخل لما يكلسون كما بالشكل (٢) من لوح زجاجي نصف مفضض G1 مائل بزاويه ٤٥ درجه على الاتجاه الموجب لمحور سقوط الضوء ويسمى قاسم الشعاع ومن مراتين قائمتين M1,M2 مستوياهما متعامدان على اتجاه سقوط الضوء عليهما بالنفاذ والانعكاس من قاسم الشعاع على الترتيب كما يوجد لوح زجاجي اخر G2 موازي لقاسم الشعاع وله نفس السمك يعمل كمعوض لفرق المسار الذي ينتج عن مرور الضوء الذي يتخذ المسارd2بالزجاج اكثر من ذلك الذي يتخذ المسار d1 وذلك لان قاسم الشعاع مفضض على السطح الداخلي له.

ومن الجدير بالذكر ان المراه M2 الماجهه لعين المجرب E تكون مركبه على عربه زنبركيه قابله للحركه للامام وللخلف يدفعها مسمار محوي طويل محكوم من الخارج بقوه دفع ميكرومتر دقيق التدريج اما المراه M1 على يمين المجرب فموقعها ثابت ولكن حاملها مزود بمسامير تسويه وتعديل من الخلف تساعد على ضبطها في الوضع الراسي المناسب.



شكل (١٣–١٤) : رسم تخطيطي لمقياس التداخل

نظرية التجربة :

عندما يسقط الضوء على قاسم الشعاع G1 فانه سينقسم ال شعاعين احدهما سينفذ من G1 ليصل الى المراه M1 عبر اللوح G2 ثم ينعكس من M1 مارا بنفس المسار الى ان يضرب الوجه المفضض في G1 وينعكس تجاه العين E اما الشعاع الاخر فسينعكس عند سقوطه علىG1 تجاه المراه M2 ويعود على نفس مساره ليخترق G1 متجها الى العين Eوتقوم العين او أي عدسه بتقريب الشعاعين من بعضها الى درجه تحقق التداخل بينهما وينتج عن ذلك اهداب مضيئه واخرى مظلمه يعتمد شكلها على مواصفات الحزمه الضوئيه الساقطه فاذا كانت القطارات الموجيه المكونه للشعاعين المتداخلين نابعه من نقاط مختلفه في المصدر الضوئي وساقطه على G1 بزوايا مختلفه فان الاهداب المتكونه تبدو على هيئة حلقات متحدة المركز كما ان شكل الاهداب يعتمد على وضع المراتين M1,M2 ومدى تعامد مستوياتهما وعندما تتحرك احدى المراتين ولتكن M2 حركه بطيئهفي اتجاه زيادة فرق المسار بين الشعاعين d=d2-d1 سنجد ان الحلقه ذات الرتبه m مثلا ستكبر في المساحه وتتمدد للخارج لتتولد حلقات جديده من المركز وكلما تتحرك المراه مسافه مساويه ل $\frac{l}{2}$ ستتولد حلقه واحده من المركز والعكس صحيح فعندما يصغر فرق المسار d نجد ان الحلقات تختفي في المركز وهكذا وبناء على ماتقدم نجد ان عدد الحلقات m المختفيه فيه او المتولده من المركز يعطى بالعلاقه : $d = m\frac{l}{2}$.....(2)

حيث d هوالفرق بين موقعي المراه M2 عند بداية ونهاية عدد الحلقات وهولايساوي الفرق بين قراءتي الميكرومتر في الحالتين حسب نوع الجهاز المستخدم بل يجب ضرب فرق قراءتي الميكرومتر في مقدار ثابت كي يعطي مقدار الحركه الخطيه الفعليه للمراه وذلك حسب تصميم الجهاز.

خطوات العمل :

١ - سيجد الطالب ان الجهاز محمل على قاعده مستويه ثقيله وثابته فلايجوز نقله اودفعه بقوه او لمس مركباته الضوئيه باليد.

٢ - نشغل المصدر الضوئي امام الوح الزجاجي المصنفر وننتظر حتى يكتمل توهجه ثم ننظر من الفتحه الدائريه المحفوره في بيت قاسم الشعاع والذي ياخذ شكل المنشور الرباعي وذلك باتجاه المراه M2 حيث تكون المراه M1 على يمين المجرب.

٣ - سنشاهد في هذه الحاله صورتين مضيئتين احدهما صورة مباشره حقيقيه للمراه M2والاخرى صوره تخيليه للمراه M1.

٤ - نحرك متناهيه مسامير التعديل في حامل المراه M1 على التتابع وبصوره تجعل صورة M1 التخيليه تقترب اكثر فاكثر من الانطباق على صورة المراه M2 المباشره ونستمر في عمل ذلك بدقه الى ان تنطبق الصورتان المضيئتان للمراتين تماما.

٥ - أي حركه خفيفه الان في مسامير التسويه كفيله بانتاج اهداب تداخليه في مجال الرؤيه ، نفترض اننا راينا اهدابا بدات تظهر ولكنها على شكل خطوط منحنيه ومتزاحمه في مجال الرؤيه.

٦ - نعدل مره اخرى في مسماري تعديل المراه M1 باليد اليمنى على التتابع ايضا وفي الاتجاه الذي يجعل الاهداب تزداد في السمك ويزداد انحناء حدودها كما ينتج عن الحركه المتتابعه الخفيفه لمسامير التعديل استداره الاهداب تجاه مركز مجال الرؤيه ونستطيع بهذه الحركه ان نجعل مركز الاهداب يتحد مع مركز مجال الرؤيه فتبدو حلقات مضيئه ومظلمه على التتابع متحدة المركز.

٧ - ندير الان الميكرومتر الذي يحرك المراه M2 للامام او للخلف فنشاهد انكماش الاهداب الدائريه واختفائها في المركز او تولد اهداب جديده من المركز بينما تتزاحم الاهداب القديمه متمدده للخارج ثم تختفي.

٨ - نثبت نظرنا تماما على مركز الاهداب ونجعل المركز يبدو مظلما عن طريق تحريك الميكرومتر حركه خفيفه ثم نسجل قراءه الميكرومتر في هذه الحاله d_1' .

٩ - ندير الميكرومتر للخلف بحذر شديد ونبدا في عد الحلقات التي تتولد من المركز مع الاستمرار في ادارة الميكرومتر حتى نصل الى الرقم ٥٠ على الاقل ثم نسجل قراءة الميكرومتر d_2' ونحسب المسافه التي تحركها $d' = d_2' - d_1'$.

١٠ - نحسب الطول الموجي للضوء المستخدم باستخدام المعادله (١) وبالاستفسار عن قيمة الثابت k الذي يجب ضربه في d' حتى تتحول القراءه الى المسافه الفعليه التي تحركها المراه M2 ثم نعلق على النتيجه.

التجربة الثامنة: -

{محزوز الحيود والتحليل الطيفي}

اهداف التجربه :

١ - دراسة طيف الكاديوم وتعيين اطواله الموجيه باستخدام محزوز الحيود .

٢ - تعيين التشتت الزاوي لمحزوز الحيود بطريقه بيانيه.

٣ - تعيين الفرق في الطول الموجي بين خطي ضوء الصوديوم وحساب قوة الفصل للمحزوز.

مقدمه نظريه : سبق ان علمنا بان المعادله الاساسيه للمحزوز تكتب في الصوره : $d\sin q = ml$ حيث : d هو ثابت المحزوز و يعطى في هذه التجربة $d = 1.6667x10^4 A$ و l' هو الطول الموجي و m هي الترتيب الطيفي q هي زاوية الحيود أو الانحراف لكل طول موجي في الترتيب الطيفي الواحد ، و تخبرنا المعادلة السابقة في الصورة $\sin q = \frac{ml}{d}$ أنه عندما يكون الضوء الساقط على المحزوز متعدد الأطوال الموجية فإن كل طول موجي يحيد و يتفرق عن الألوان الأخرى بزاوية خاصة و ذلك من جميع الفتحات الضيقة المتراصة بين الحزوز و أن الأمواج الحائدة ذات الطول الموجي الواحد تقوي بعضها البعض لينشأ عنها خط طيفي واحد عالي الشده منحرفا عن خط التماثل بزاوية تختلف عن زوايا انحراف الخطوط الأخرى و يبين الشكل كيفية تحلل الضوء إلى طيف باستخدام المحزوز في الترتيب الطيفي الأول m=1 أما الترتيب الصفري m=0 فيقع على امتداد خط التماثل و لا يحدث فيه تحلل لضوء نظراً لأن جميع الأطوال الموجية يتحقق لها فرق مسار $\Delta l = 0$ حيث تظهر صورة فتحة المطياف بنفس لون الضوء الصادر من الأنبوبة و لذلك يطلق عليه اسم الصورة مباشرة و حيث أن m تاخذ فقط أرقاماً صحيحة على جانبي خط التماثل فإن الطيف يكرر نفسه عندما تصبح m=2 ، m=3 و هكذا حيث تظهر نفس مجموعة خطوط الطيف التي ظهرت في الترتيب الأول و لكنها تكون أكثر تباعداً كلما زادت قيمة m إلا أن شدة إضاءة الخطوط الطيفية تنقص في الرتب العليا تبعا للمعادلة : $i_q = i_m(\frac{\sin a}{a})^2$ حيث : $a = \frac{pa}{l}\sin q$ و حيث a هي اتساع الفتحة الواحدة بين المحزوز .

أما التشتت الزاوي D لمحزوز الحيود فيعرف بأنه الفرق الزاوي بوحدة الراديان لكل وحدة طول موجي .

خطوات العمل :

أولاً : تعيين الأطوال الموجية لطيف الكادميوم و تعيين تشتت المحزوز.

١ - نجهز المطياف للعمل و نشغل مصدر ضوء الكادميوم و ننتظر حتى تكتمل اثارة الذرات داخل الانبوبة و يصدر عنها ضوء ساطع بلون أخضر فاتح .

٢ - نجعل المنظار على استقامة المسدد تمام و نضبط تصويب كلاً من المنظار و المسدد لنحصل على صورة حادة وواضحة للفتحة بنفس لون الضوء الصادر من الانبوبة .

٣ - نضع محزوز الحيود بحرص شديد على حامله فوق القرص الدوار و ندير القرص حتى يسقط الضوء من المسدد بتعامد مع مستوى المحزوز بقدر المستطاع ثم ننظر في المنظار لنرى صورة الفتحة رأسية تماماً و منطبقة على الشعرة الرأسية في مجال الرؤية على أن يكون صفر الورنية أقرب ما يكون من صفر التدريج الزاوي .

٤ - ندير التلسكوب تجاه اليمين فنرى مجموعة خطوط الطيف كاملة بألوانها المذكورة أعلاه في الترتيب الطيفي الأول فنلاحظ أنها عالية الشده و نتأكد من وجود الخط البنفسجي فإن تعذرت رؤيته نزيد اتساع فتحة المسدد فنراه واضحاً و نتعرف على مكانه كما لا يجب أن نكترث كثيرا للتكرارات ضعيفة الشدة المجاورة لخطوط الطيف و التي تأخذ نفس الألوان المجاورة لها لأنها ليست أساسية و إ نما تنشأ من الانعكاسات المتتاليه بين زجاج المحزوز و زجاج عدسة المسدد المقابلة .

٥ - ندير التلسكوب إلى الناحية اليسرى من خط التماثل لنحصل على نفس مجموعة خطوط الطيف الخمسة في الترتيب الثاني .

٦ - نبدأ الآن في قيس زوايا الانحراف .. نحرك التلسكوب و نضبط وضعه الزاوي حتى تنطبق شعرته الرأسية تماماً على الخط البنفسجي في الترتيب الثاني و نأخذ قراءة الورنية بدقة و نطرحها من ٣٦٠ فتكون النتيجة هي الزاوية المطلوبة .

٧ - ندير التلسكوب الآن جهة اليمين و نستمر في ادارته حتى نحصل على اللون البنفسجي في الترتيب الطيفي الثاني و ربما يلزمنا فتح الفتحة أكثر ثم تضييقها لحظة القياس كما سبق ذكره .فإذا ما تعرفنا عليه نطبق شعرة التلسكوب الرأسية عليه و نأخذ قراءة الورنية .

٨ - نكرر نفس العمل للألوان الأخرى .

٩ - نطبق المعادلة رقم ١ لحساب الاطوال الموجية بالانجستروم حيث m=2 .

١٠ - نرسم العلاقة البيانية بين q, l .ثم نحسب التشتت نظريا باستخدام العلاقة ٤ .

ثانياً : تعيين الفرق في الطول الموجي بين خطي ضوء الصوديوم .و حساب قوة المحزوز :

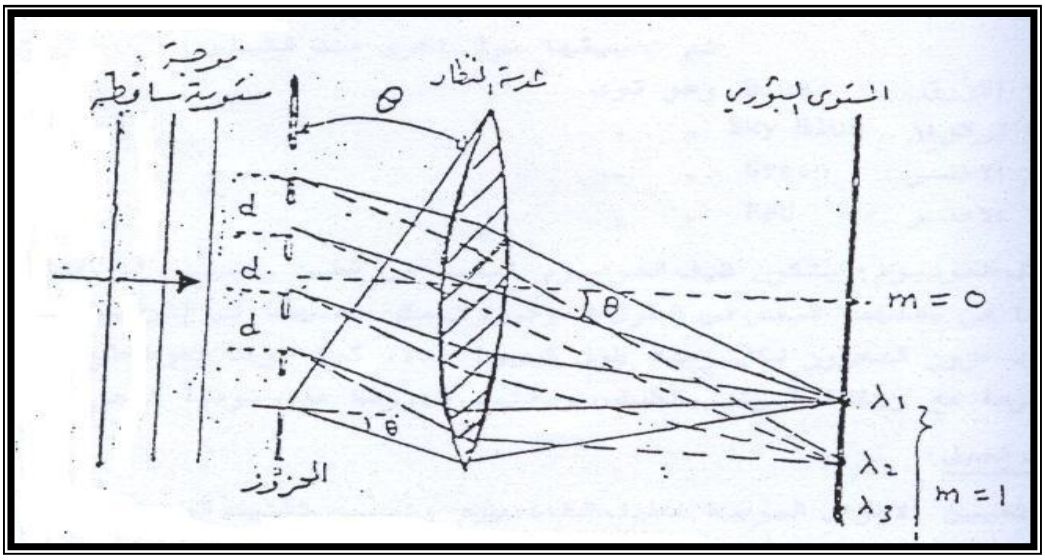
١ - نبقي على جميع الترتيبات السابقة قائمة ما عدا استبدال أنبوبة الكادميوم بأنبوبة الصوديوم ثم نشغلها و ننتظر حتى تتوهج تماماً و يصدر عنها ضوءاً ساطعاً بلون أصفر برتقالي .

٢ - ننظر في التلسكوب في الترتيب m=0 فنرى صورة الفتحة وضاءة صفراء ثم ندير التلسكوب إلى الترتيب الطيفي الأول تجاه اليمين فنلاحظ أن خطي الصوديوم بدءا ينفصلان و لكن يصعب قياس الفرق الزاوي بينهما .

٣ - ندري التسكوب أكثر إلى الترتيب الطيفي m=2 فنلاحظ انفصال خطي الصوديوم و رغم أن الانفصال ليس كبيراً إلا أن هذا أقصى ما نحصل عليه بهذا المحزوز لأن الترتيب الثالث m=3 لا يظهر في المدى المنظور .

٤ - نطبق شعرة التلسكوب الرأسية على الخط الأول في الترتيب m=2 و نقرأ الزاوية q_1 لأقرب جزء من مئة و يلزمنا هنا دقة متناهية و عدسة مكبرة لقراءة التدريج و رؤية الأجزاء المنطبقة من الورنية على أقسام التدريج الزاوي ثم نفعل نفس الشي بالنسبة للخط الثاني و نحصل على الزاوية q_2.

٥ - نأخذ متوسط الزاويتين q' ثم الفرق بينهما Δq فنلاحظ أنه صغير جداً (عدد من أجزاء المئة من الدرجة) ثم نعود للمنحنى العملي المرسوم في الجزء الأول و نأخذ العنصر حول على المحور الرأسي و نسقط منه على محور الطول الموجي لنحصل Δl على المطلوبة و متوسط الطول الموجي l' لضوء الصوديوم .



التجربة التاسعة :

{ استقطاب الضوء و ادارة مستوى استقطابه }

أهداف التجربة :

١ - تحقيق قانون مالوس لشدة الضوء النافذة .

٢ - دراسة دوران مستوى الاستقطاب بتأثير مادة نشطة ضوئيا و تعيين الدوران النوعي لهذه المادة باستخدام مقياس الاستقطاب (البولاريميتر).

الأجهزة و الأدوات :

لوح بولوريد ، مصدر ضوء أحادي ، خلية ضوئية ، جلفانومتر حساس، جهاز البولارميتر ، ميزان ، مخبار مدرج ، كؤوس ، ماء مقطر ، سكر .

مقدمة نظرية :

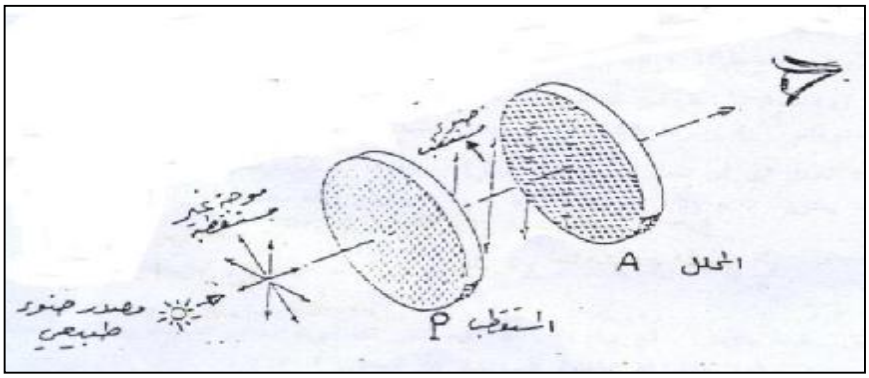
نعلم أن الضوء يتكون من مجالين أحدهما كهربي و الآخر مغناطيسي يتذبذبان في مستويين متعامدين تبادلياً و متعامدين على اتجاه انتشار الموجه و لما كانت التأثيرات الضوئية المعروفة مثل : استمالة حاسة البصر أو التأثير في الألواح الفوتوغرافية ناشئة فقط عن تأثير المجال الكهربي فيمكننا اهمال المجال المغناطيسي و اعتبار أن الموجة الضوئية هي موجة مستعرضة يتذبذب فيها المجال الكهربي بتعامد مع اتجاه انتشارها .فلو استطعنا أن نقصر حرية التذبذب للمتجه الكهربي في مستوى دون الآخر نقول أن الموجة الضوئية قد استقطبت استقطاباً استوائياً و معنى ذلك أن تذبذبات المتجه الكهربي E متوازية لجميع نقط الموجة و عند كل نقطة يصنع المتجه E مع اتجاه الانتشار مستوى يسمى مستوى الاستقطاب و في الموجه المستقطبة استوائياً تكون جميع هذه المستويات متوازية .و بالفعل يمكننا احداث مثل هذا الاستقطاب بالأمواج الضوئية و هي الظاهرة الوحيدة التي تدلنا على طبيعة الضوء كموجة مستعرضة و تتم عملية الاستقطاب بطرق متعددة مثل الانعكاس و الانكسار المزدوج و التشتت و الامتصاص الانتقائي و الطريقة الأخيرة هي موضوع الجزء الأول من هذه التجربة حيث سنستخدم لوحي بولوريد متماثلين و لهما نفس الخواص و لكن للتمييز بينهما نقول أن اللوح المواجه للمصدر الضوئي مباشرة هو المستقطب و اللوح البعيد هو المحلل .

لوح البولوريد : عبارة عن قطعه من نوع من البلاستيك تنثر عليها بلورات دقيقة من مادة كيميائية لها خاصية امتصاص الذبذبات الضوئية في مستوى معين و تسمح بمرور الذبذبات التي يتعامد مستواها مع المستوى المذكور و بعد النشر تسخن قطعة البلاستيك و تمط فتدفن البلورات بداخلها ثم تجفف فتتصلب . تعتمد خاصية استقطابها للضوء على الحقيقة التي تنص على أن الاستدارات العشوائية للتذبذبات الضوئية يمكن تحليلها و تحصيلها جميعاً في مستويين متعامدين

خطوات العمل :

١ - نرتب الجهاز كما هو موضح بالشكل التالي و ننظر بالعين المجردة خلال اللوح A ثم ندير مستوى استقطابه باليد فنلاحظ انخفاض الشدةأو ارتفاعها حسب اتجاه الدوران ثم نختار الوضع الزاوي الذي نعتقد بأنه أعطى أقصى شدة اضاءة نافذه من هذا اللوح .

٢ - نستبدل العين المجردة بخلية ضوئية موصلة بجلفانومتر و نضعها بحيث تتلاصق مع اللوح A مع المحافظة على الاظلام التام في منطقة التجربة .



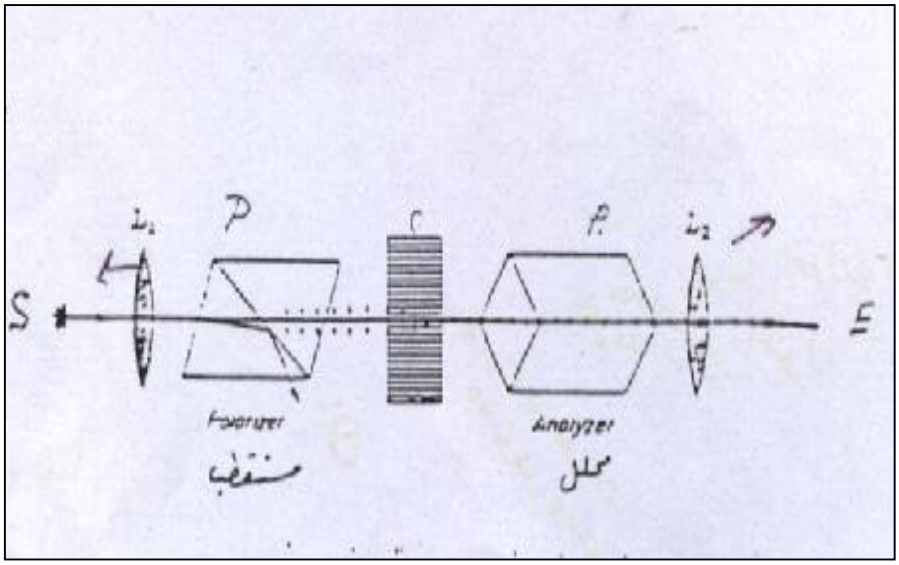
٣ - نعدل في الوضع الزاوي للمحلل A حتى نحصل على أقصى انحراف للجلفانومتر و نسجل انحراف الجلفانومتر و الزاوية لمؤشر المحلل عند هذا الوضع .

٤ - ندير مستوى استقطاب A بمقدار ١٠ درجات باتجاه الزيادة أو النقصان و نسجل قراءة الجلفانومتر .

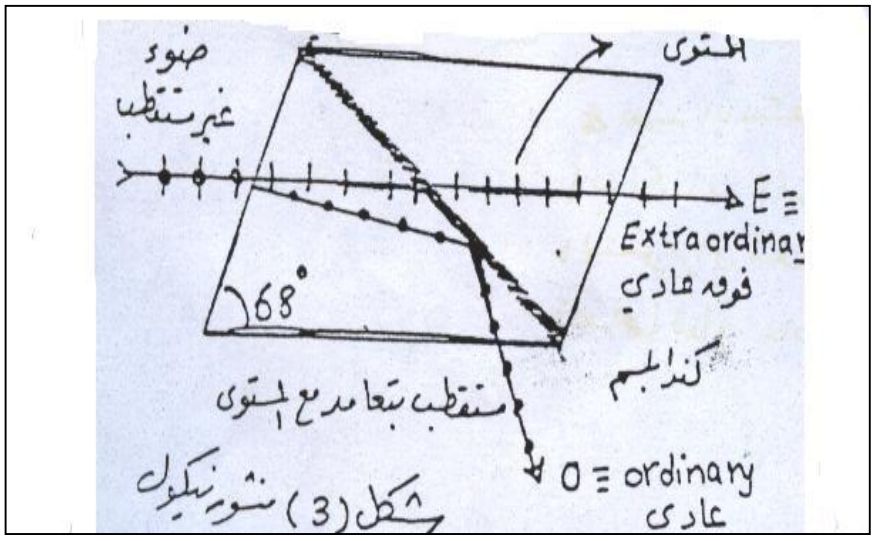
٥ - نستمر في هذا العمل إلى أن نصل إلى أدنى انحراف يسجله الجلفانومتر .

الجزء الثاني : البولاريميتر و تعيين الدوران النوعي للسكر

يتكون البولاريميتر كما في الشكل من منشوري نيكول P ، A حيث يعمل P : كمستقطب و يعمل A : كمحلل . و يكون P مثبتاً أما Aفيمكن ادارته آلياً باليد ببطء حول محور الرؤية حيث زود الجهاز بمقياس دائري يمكن من خلاله تعيين زاوية دوران المحلل A . و يشير الرمز S في الشكل إلى مصدر الضوء الأحادي ، كما تشير L1 ,L2 إلى عدستي تسديد و تصويب.



مقدمة نظرية : يعتمد الاستقطاب في منشور نيكول على ظاهرة الانكسار المزدوج حيث ينقسم شعاع الضوء الطبيعي الساقط على هذا المنشور إلى شعاعين أحدهما يسمى الشعاع العادي و الآخر يسمى الشعاع فوق العادي و يكون هذان الشعاعان مستقطبين استقطاباً استوائياً في مستويين متعامدين كما في الشكل التالي .



يصنع المنشور من بلورة من مادة غير متجانسة ضوئياً مثل الكالسيت تقص على طول أحد أقطارها ثم يلصق النصفان بطبقة رقيقة من مادة تسمى (كندابلسم) و عند سقوط الشعاعين

المنقسمين على هذه الطبقة ينعكس الشعاع العادي انعكاساً كلياً و يضيع بينما ينفذ الشعاع فوق العادي من النصف الآخر للبلورة مستقطباً في مستوى موازي لمستوى الرسم .

و في الجهاز المستخدم إذا وضعنا بين المنشورين أنبوبة زجاجية تحتوي على ماء مقطر و نظرنا إلى المصدر الضوئي خلال المحلل رأينا ظلمة عندما يكون مستويا استقطاب المنشورين (المحلل و المستقطب) متعامدين و عند استبدال الماء المقطر بمادة نشطة ضوئياً كمحلول السكر يلاحظ عندئذٍ استعادة الضوء في مجال الرؤية . و من المواد النشطة ضوئياً ما يدير مستوى الاستقطاب باتجاه حركة عقارب الساعة و تسمى المادة يمينية الدوران و يرمز لها بالرمز (+) مثل (+جلوكوز) و منها ما يدير المستوى في الاتجاه المعاكس و تسمى المادة يسارية الدوران ويرمز لها بالرمز (-) مثل (- فركتوز) . و يتوقف مقدار الزاوية q التي تدير بها مادة نشطة ضوئياً مستوى الاستقطاب على سمك هذه المادة (طول المسار الضوئي) L و على تركيز المادة r أي كتلة المادة النشطة في السنتيمتر المكعب من المحلول و على الطول الموجي و درجة حرارة الغرفة $q = crl$ حيث c ثابت للمادة و يسمى بالدوران النوعي لهذه المادة .

خطوات العمل :

١ - ننظف الأنبوبة الزجاجية جيداً ثم نملأها بسائل ليس له فعل ضوئي مثل الماء المقطر .

٢ - نضع الأنبوبة في الموضع المخصص لها من الجهاز بين المنشورين مع مراعاة جعل الانتفاخ في الجانب العلوي لحجز الفقاعات الهوائية.

٣ - نحاول جعل العينة تعطي أوضح صورة ممكنة و الوضع الأفضل هو عندما يظهر الخط الشعري الأسود واضحاً و يتوسط مجال الإضاءة في عينة التلسكوب .

٤ - نبدأ بادراة المحلل باستخدام المفتاح الدائري الأيمن حتى نحصل على موضع الإظلام التام و نسجل قراءة المقياس الدائري التي يمكن مشاهدتها من خلال المكبر العلوي .

٥ - نكون محلول سكر بتركيز ٤٠% في الأنبوبة الأخرى و نستبدلها بأنبوبة الماء المقطر و نلاحظ عودة المنطقة المضيئة و نحاول الحصول على الوضع المظلم بادارة المحلل بالتدريج يمينا أو يسارا و نسجل قراءة المقياس الدائري عند هذا الوضع .

٦ - نغير تركيز المحلول بنسب مختلفة ٣٠% ، ٢٠% ، ١٠% و نكرر الخطوات السابقة على التراكيز المختلفة و في كل مرة نعين الزاوية بإيجاد الفرق عند كل تركيز و القراءة الأولى في حالة الماء المقطر .

٧ - نرسم العلاقة بين q و r فنحصل على خط مستقيم يمر بنقطة الأصل ميله يعطي متوسط (q / r).

٨ - نقيس طول الأنبوبة L و نعوض في المعادلة السابقة لنحصل على الدوران النوعي C

التجربة العاشرة

{استقطاب الضوء بالانعكاس و تعيين زاوية بروستر}

أهداف التجربة

١ - اثبات أن الضوء يمكن استقطابه بطريقة الانعكاس و تعيين زاوية بروستر .

٢ - تعيين معامل انكسار الزجاج العاكس .

الأجهزة و الأدوات

المطياف ، متوازي مستطيلات من الزجاج ، غطاء محكم لعدسة التلسكوب الشيئية مغلق بلوح بولوروويد ليعمل كمحلل ،مصدر لضوء الصوديوم .

مقدمة نظرية :

الاستقطاب بالانعكاس : نعلم أنه اذا سقط شعاع من الضوء الطبيعي بميل على لوح من الزجاج مثلا فإن جزءاً من الضوء سينعكس و جزءاً سيمتص داخل الزجاج أما الجزء الثالث فسينكسر على السطح الفاصل بين الزجاج و الهواء ثم يخرج من الوجه الآخر .

كما نعلم أيضاً أن كل قطار موجي في الشعاع الضوئي يمكن تحليل متجهه الكهربي إلى مركبتين يكونان باخذ المتوسط متساويتين في السعه و تقعان في مستويين متعامدين : أحدهما متعامد مع مستوى السقوط و الآخر موازي له ، و عندما يسقط الضوء على اللوح الزجاجي فإن معاملي الانعكاس لهاتين المركبتين سيكونان مختلفين عن بعضهما البعض و يعتمدان على زاوية السقوط و ينتج عن ذلك عدم تساوي السعه في المركبتين المنعكستين.

خطوات العمل :

١ - نلف الغطاء حول محور أنبوبة التلسكوب في الاتجاه الذي يعطينا أقل شدة إضاءة نافذه خلال المحلل .

٢ - إذا لم تكن شدة الإضاءة قد ثلاثت نغير زاوية السقوط و ذلك بإدارة القاعدة و عليه المتوازي مع أو ضد دوران عقارب السارعه لنحصل على تقليل أكثر للشدة و نلاحق صورة الفتحة للتلسكوب لتظل دائماً في مجال الرؤية كي لا تمر الشدة بنقطة الانقلاب .

٣ - نستمر في العمل إلى أن نحصل على وضع التلسكوب الأمثل و الذي تتلاشى عنده إضاءة صورة الفتحة من مجال الرؤية و نسجل قراءة الورنية في هذه الحالة .

٤ - نوجد القيمة المطلقة لزاوية دوران التلسكوب عن وضعه الابتدائي و يجب أن نلاحظ مرورنا بنهاية التدريج الزاوي ٣٦٠ .

٥ - نحسب معمل الانكسار لمادة المتوازي من المعادلة ٢ .

٦ - نطبق قانون سنل لنحسب زاوية الانكسار ثم نوجد قيمة الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر و الشعاع المنعكس .

المحتـــــــوي

العنوان	الصفحة
الفصل الاول انتشار الضوء	١
١ - ١ انتشار الضوء في خطوط مستقيمة	٢
١ - ٢ القياس الضوئي	٣
١ - ٣ انعكاس الضوء عند شطح مستوي	٤
١ - ٤ انعكاس الضوء عند سطح كوري	٥
اسئلة الفصل	
الفصل الثاني: انكسار الضوء	١٥
٢ - ١ قانون الانكسار	١٥
٢ - ٢ معامل الانكسار	١٦
٢ - ٣ الانعكاس الكلي والزاوية الحرجة	٢٠
٢ - ٤ تعين معامل الانكسار لسائل	٢٣
٢ - ٥ انكسار الضوء خلال منشور ثلاثي	٢٤
٢ - ٦ تغير زاوية الانحراف في المنشور	٢٥
٢ - ٧ انحراف الاشعة بواسطة منشور رقيق	٢٧
٢ - ٨ الانكسار عند الاسطح الكورية	٢٩
٢ - ٩ العلاقة العامة بين الجسم وبعد الصورة لسطح كوري	٣١
اسئلة الفصل	
الفصل الثالث: العدسات	٣٥
٣ - ١ صناعة العدسات	٣٥
٣ - ٢ العدسات الرقيقة	٣٦
٣ - ٣ القانون العام للعدسات	٣٧
٣ - ٤ التكبير الخطي أو المستعرض	٤٢
٣ - ٥ النقطتان المترافقتان وعلاقة نيوتن	٤٥
٣ - ٦ الوضعين المتبادلين لعدسة محدبة	٤٥
٣ - ٧ تلامس العدسات	٤٦
اسئلة الفصل	

الفصل الربع: العين والاجهزة البصرية	٥٣
٤ - ١ تشريح العين	٥٣
٤ - ٢ حدة البصر	٦١
٤ - ٣ زواية الابصار والتكبير الزاوي	٦٣
٤ - ٤ التلسكوب الفلكي	٦٥
٤ - ٥ التلسكوب العاكس	٦٦
٤ - ٦ التلسكوت الارضي	٦٨
٤ - ٧ الميكروسكوب المركب	٦٩
٤ - ٨ آلة التصوير الفوتوغرافي	٧٢
اشئلة الفصل	
الفصل الخامس: مبداء هنجز ونظرية موجة الضوء	٧٧
٥ - ١ مبداء هنجز وقانون الانعكاس	٧٧
٥ - ٢ مبداء هنجز وقانون الانكسار	٧٨
٥ - ٣ الزاوية الحرجة	٧٩
٥ - ٤ تجربة الشق المزدوج	٧٩
٥ - ٥ التداخل	٨٠
٥ - ٦ هدب التداخل من مصدر مزدوج	٨٢
٥ - ٧ توزيع الشدة في نظام هدبي	٨٥
٥ - ٨ المنشور الثنائي	٨٥
٥ - ٩ مقياس التداخل لماكاسون	٨٧
٥ - ١٠ الاهداب الدائرية	٨٩
٥ - ١١ الحيود	٩٢
٥ - ١١ - ١ حيود فرنيل وفرنهوفي	٩٢
٥ - ١١ - ٢ الحيود بواسطة شق احادي	٩٢
٥ - ١٢ محزوز الحيود	٩٥

الفصل السادس: التجارب المعملية ٩٩
٦ - ١ تجربة تعين معامل الانكسار لمواد متجانسة ضوئين ٩٩
٦ - ٢ تجربة التيرفيل وبعض القياسات الضوئية ١٠٢
٦ - ٣ تجربة مقياس التداخل المخروطي ١٠٤
٦ - ٤ تجربة تداخل الضوء وقوة الفصل ١٠٦
٦ - ٥ تجربة حلقات نيوتن ١١٠
٦ - ٦ تجربة حيود الضوء ١١٤
٦ - ٧ تجربة مقياس ماكالسون ١١٧
٦ - ٨ تجربة محزوز الحيود والتحليل الطيفي ١٢١
٦ - ٩ تجربة استقطاب الضوء ١٢٤
٦ - ١٠ تجربة استقطاب الضوء بواسطة الانكسار ١٢٨

الخـــاتمة

إن هـذا الكتـاب الـذي بـين أيـدينا في الـضوء والبـصريات يـشتمل علـى حـل الحقـائق الـتي توصـل إليهـا الباحثون قديماً وحديثاً وأهم القواعد الأساسية في الضوء والظواهر البصرية واضعين في الحسبان تفصليه منهجية لما يدرسه طلاب البكالوريوس في هذا الفرع من العلوم الفيزيائية .

هذا وبالله التوفيق

وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين .

قائمـــة المـــراجـــع

١-البصريات . د /أحمد فؤاد باشا . د /شريف أحمد خيري .

٢-الضوء . البصريات الهندسية . د /محمد عبدالكريم مصطفى .

٣-البصريات د /عبده قاسم .

مع تمنيـــــــــــاتي لكم
بالتـــــــــوفيق والنجـــــــاح

د/ سعود بن حميد اللحياني