البحث السادس....

1- المرآة الكروية (spherical mirror)

من الممكن ان يكون السطح العاكس عبارة عن سطح مقتطع من كرة، فإذا كان السطح العاكس هو السطح الخارجي للكرة تسمى هذه بالمرآة المحدبة convex mirror، اما اذا كان السطح العاكس هو السطح الداخلي من الكرة فإنها تسمى بالمرآة المقعرة concave mirror.

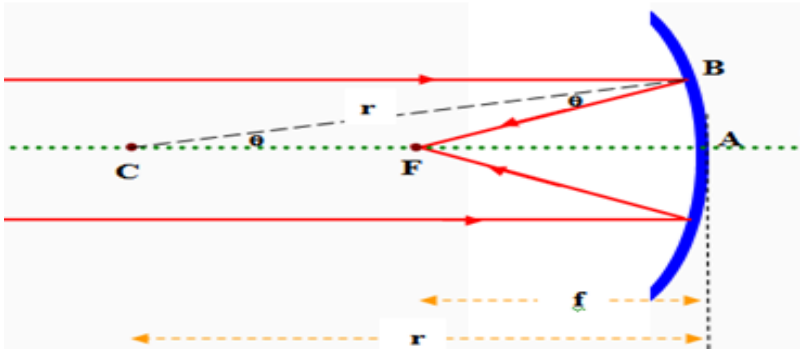
لاحظ في الشكل التالي أن المرآة المحدبة convex mirror تفرق الأشعة بينما المرآة المقعرة concave mirror تجمع الأشعةi.

- البعد البؤري Focal length

افترض مصدر ضوئي بعيد جداً مثل اشعة الشمس تسقط على سطح مرآة مقعرة concave mirror وحيث ان المصدر الضوئي بعيد جداً فإن الأشعة الساقطة على المرآة تكون متوازية كما في الشكل ادناه، تنعكس الأشعة عن السطح العاكس بحيث تكون زاوية السقوط تساوي زوية الانعكاس ونجد ان جميع الأشعة تتجمع في نقطة واحدة تسمى نقطة التركيز البؤرة focus point ويرمز لها بالرمز F والمسافة بين نقطة التركيز وبعدها عن المرآة A يسمى البعد البؤري للمرأة focal length ويرمز له بالرمز f.

يوضح الشكل مرآة مقعرة تسقط عليه اشعة متوازية فتتجمع في البؤرة وعلى الشكل نلاحظ المحور الرئيسي للمرآة principal axis وهو المحور الأفقي العمودي على المرآة والمار في مكزها، مركز المرأة يسمى مركز التقعر center of curvature ويرمز له بالرمز C وهو مركز الكرة التي اقتطعت منها المرآة والمسافة بين مركز التكور والمرآة يسمى نصف قطر التقعر raduis of curvature ويرمز له بالرمز r يتقاطع مع المرآة

نستنتج ان الأشعة المتوازية التي تسقط على المرآة المقعرة تنعكس دائماً مارة بالبؤرة. ولكن ما العلاقة بين البعد البؤري f ونصف قطر التقعر r. للأجابة على هذا التساؤل دعنا نستعين بالشكل التالي



لنأخذ شعاع ضوئي يسقط موازي للمحور الضوئي للمرآة عند النقطة Bعلى سطح المرآة ينعكس ماراً بالبؤرة .Fمن الشكل السابق نجد أن المسافة CBتساوي) rنصف قطر التقعر) و CB عمودي على سطح المرآة عند النقطة B، من الشكل السابق نجد ان المثلث CBFمتساوي الساقين أي ان المسافة CFتساوي المسافة FB، كما أن FBيساوي FAوحيث ان FAهي البعد البؤري fنستنتج من ذلك ان CAتساوي 2 FAاي ان

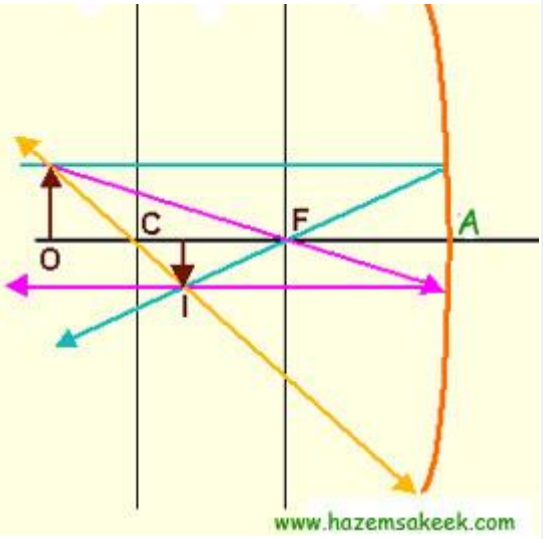
$$r = 2f$$

وهذ يعني ان البعد البؤري يساوي نصف المسافة) rنصف قطر التقعر للمرآة.(

الطريقة البيانية لتحديد مواصفات الصورة المتكونة عن المرآة المقعرة

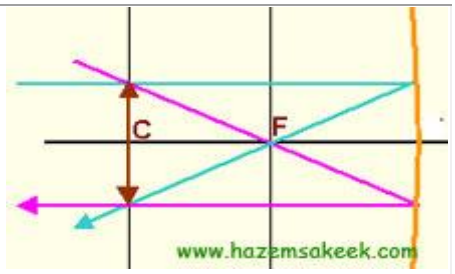
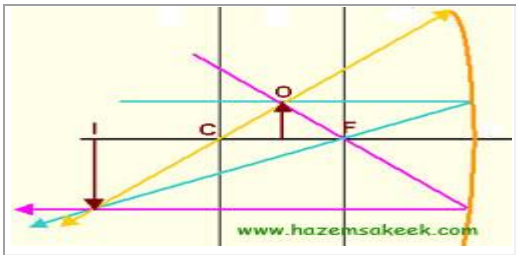
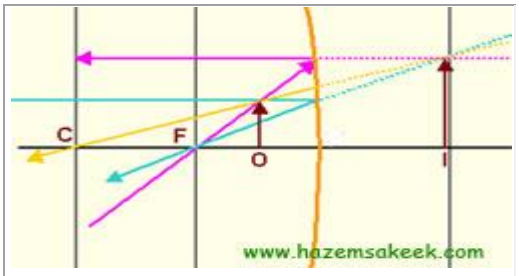
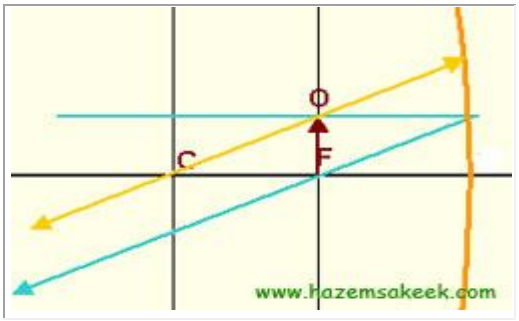
يمكن تحديد مواصفات الصورة الناتجة عن المرايا الكروية عن طريق الرسم وذلك من خلال تقاطع ثلاث أشعة ضوئية رئيسية كما في الشكل التالي

حالة (1)

	افترض جسم موجود على مسافة اكبر من نصف قطر التقعر فإنه لتحديد مواصفات الصورة نتبع ما يلي: (1)نرسم شعاع من الجسم موازي للمحور الضوئي للمرآة ينعكس ماراً بالبؤرة)الشعاع الأزرق.((2)نرسم شعاع من الجسم يمر في البؤرة فينعكس عن المرآة موازياً للمحور الضوئي (الشعاع الزهري.((3)نرسم شعاع من الجسم إلى المرآة ماراً بمركز المرآة Cفينعكس على نفسه (الشعاع الأصفر.(

	لاحظ أن الصورة المتكونة Iهي صورة مصغرة مقلوبة وحقيقية.

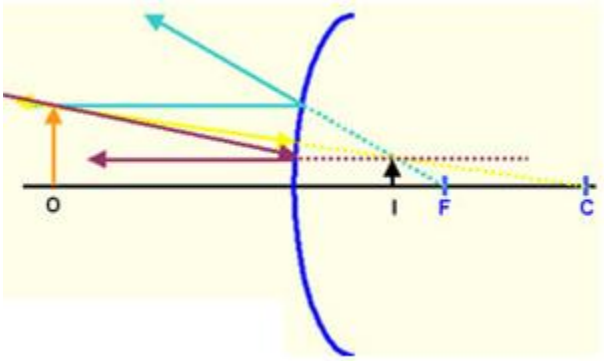
تقاطع الأشعة الثلاثة يحدد موقع الصورة ويمكن تحديد اذا كانت الصورة مكبرة ام مصغرة مقلوبة ام معتدلة وحقيقة او تخيلية وفيما يلي بعض الحالات المختلفة للصورة عند تغير بعد الجسم عن المرأة.

حالة (2) عندما يكون الجسم على بعد يساوي نصف قطر التقعر للمرآة فإن الصورة تكون على نفس المسافة ومساوية للجسم ومقلوبة وحقيقية.	
حالة (3) عندما يكون الجسم بين البعد البؤري fونصف قطر التقعر rتكون الصورة حقيقية معتدلة مصغرة.	
حالة (4) عندما يكون الجسم عن مسافة أقل من البعد البؤري فإن الصورة تكون خيالية مكبرة معتدلة.	
حالة (5) عندما يكون الجسم على مسافة مساوية للبعد البؤري fفإن الصورة تكون في اللانهاية، لا توجد صورة.	

ملاحظة

ينطبق كل ما سبق على المرآة المحدبة convex mirror. على ان نراعي أن البعد البؤري للمرآة المحدبة fومركز التحدب Cخلف السطح العاكس كما في الشكل التالي:

تتكون الصورة بالرسم البياني كما سبق توضيحه ولكن تكون الصورة خيالية دوماً

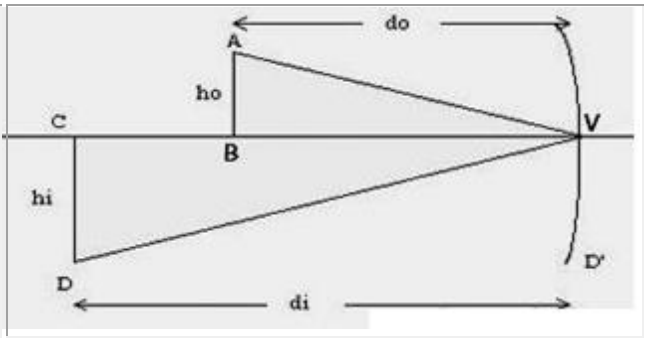
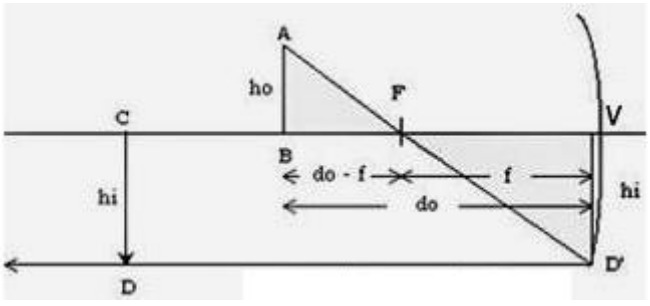


- معادلة المرايا Mirror equation

اشتقاق معادلة المرآة

افترض جسم على بعد مسافة d_o من مرآة مقعرة بحيث d_o بين البعد البؤري ونصف قطر التقعر كما في الشكل التالي:

تتكون صورة الجسم من خلال استخدام شعاعين احدهما يسقط ماراً في البؤرة وينعكس عن المرآة موازياً للمحور الضوئي والثاني يسقط في مركز المرآة عند النقطة A فينعكس بزاوية سقوط تساوي زاوية الانعكاس.

من الشكل المثلثين ABV و DCV متشابهين اذا حصل على العلاقة التالية $\frac{h_o}{h_i} = \frac{d_o}{d_i}$	
كذلك المثلثين ABF و D'VF متشابهين ايضا. اذا يكون $\frac{h_o}{h_i} = \frac{d_o - f}{f}$ بالتقسيم على d_o طرفي المعادلة نحصل على معادلة المرايا.	

$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$	معادلة المرآة

حيث ان

f البعد المحرقي (m)

do بعد الجسم عن المرآة(m)

di بعد الخيال عن المرآة (m)

التكبير Magnification

يعرف التكبير mلمرآة بأنه ارتفاع الصورة hiمقسوماً على ارتفاع الجسم ho، فإذا كان التكبير اكبر من واحد فإن الصورة اكبر من الجسم أما اذا كان التكبير اقل من واحد تكون الصورة اصغر من الجسم.

$$m = \frac{h_i}{h_o}$$

ولكن مما سبق وجدنا ان النسبة بين hi/hoتساوي النسبة بين di/doوبالتالي فإن التكبير يمكن ان يحسب من المعادلة التالية ايضا اذا توفرت المعلومات لذلك بحيث أن

$$m = -\frac{d_i}{d_o}$$

والأشارة السالبة اضيفت لتحقق مفهوم اصطلاح الاشارة الذي سنشرحه في الموضوع القادم. اذا التكبير يعطى بالمعادلة التالية:

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

اصطلاح الاشارة للمرايا Sign convention for mirrors

اشارة كلا من d_o و d_iتحدد ما إذا كان الجسم او الصورة حقيقي realاو تخيلي virtual، بينما تحدد اشارة التكبير اذا ما كانت الصورة معتدلة uprightأو مقلوبة invertedوذلك على النحو التالي:

الجسم حقيقي real object	عندما يكون الجسم امام المرآة	+	d_o
الجسم تخيلي virtual object	عندما يكون الجسم خلف المرآة	-	d_o
الصورة حقيقية real image	عندما تكون الصورة خلف المرآة	+	d_i
الصورة تخيلية virtual image	عندما تكون الصورة امام المرآة	-	d_i

اما بالنسبة لاشارة كلاً من f و rفتكون على النحو التالي

مرآة مقعرة concave mirror	عندما يكون البعد البؤري امام المرآة	+	**r & f**
مرآة محدبة convex mirror	عندما يكون البعد البؤري خلف المرآة	-	**r & f**

أما بالنسبة لأشارة التكبير M

تكون الصورة معتدلة upright	+	M
تكون الصورة مقلوبة inverted	-	M

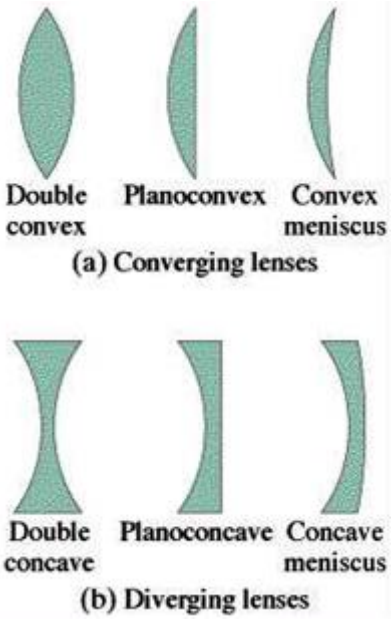
1- العدسات Lenses

تعتبر العدسات من اهم الاجهزة البصرية فتجد العدسات في النظارات الطبية والكاميرات والتيليسكوب والمجهر والبريجيكتور، هناك نوعان من العدسات النوع الاول هو العدسة المحدبة convex lensوتسمي ايضا بالعدسة المجمعة converging lensوالنوع الثاني هو العدسة المقعرة concave lensاو العدسة المفرقة diverging lens، في هذه المحاضرة سندرس فقط العدسات الرقيقة وكيف تكون الصورة.

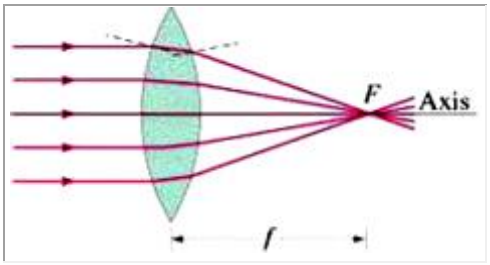
تأتي العدسات بالنوعين السابقين في عدة اشكال حسب تحدب او تقعر سطحي العدسة والشكل التالي يوضح انواع العدسات الرقيقة.

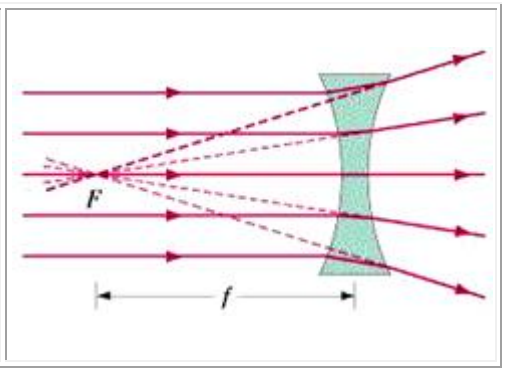
وكما كان للمرايا مركز للتقعر وبؤرة كذلك الحال بالنسبة للعدسات حيث ان سطح العدسة هو سطح كروي فله ايضا مركز تقعر وبؤرة، وحيث ان للعدسة سطحين فإن لكل سطح مركز تقعر وبؤرة.

لايجاد بؤرة العدسة نقوم بتسليط اشعة ضوئية متوازية من مصدر بعيد جداً مثل اشعة الشمس فنجد ان تلك الاشعة تتجمع في الجانب الأخر من الهدسة ونقطة التجمع هي بؤرة العدسة focus pointويرمز لها بالرمز fوبعدها عن مركز العدسة يسمى البعد البؤري للعدسة focal length.



يبين الشكل المقابل سقوط حزمة من الأشعة المتوزية على عدسة محدبة convex lensتتجمع في البؤرة وكل شعاع يسقط على العدسة يحدث له انكسار عند سطح العدسة ويحدث انكسار عندما ينفذ الضوء من العدسة محققاً قانون Snell.



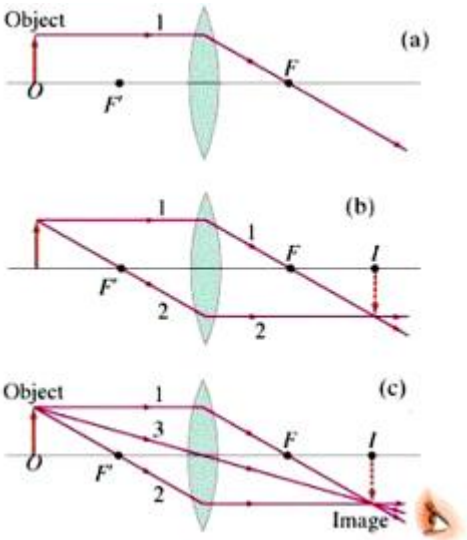


في حالة العدسة المقعرة concave lensتسقط الأشعة المتوازية على سطح العدسة ولكن تخرج من السطح المقابل متفرقة ولا تتجمع في نقطة كما سبق، ولكن امتداد الاشعة النافذة في اتجاه السطح الأول للعدسة (الخطوط المنقطة في الشكل) تتلاقي في نقطة Fوهي بؤرة العدسة في هذه الحالة، وتكون المسافة fوهي البعد البؤري .focal length

ملاحظة :تم الاصطلاح على ان يكون البعد البؤري للعدسة المحدبة موجباً والبعد البؤري للعدسة المقعرة سالباً.

الطريقة البيانية لتحديد مواصفات الصورة المتكونة بواسطة العدسات

يمكن تحديد مواصفات الصورة الناتجة عن العدسات المحدبة أو المقعرة عن طريق الرسم وذلك من خلال تقاطع ثلاث أشعة ضوئية رئيسية كما في الشكل التالي



افترض جسم موجود على مسافة اكبر من البعد البؤري لعدسة محدبة كما في الشكل المقابل، ولتحديد مواصفات الصورة نتبع ما يلي:

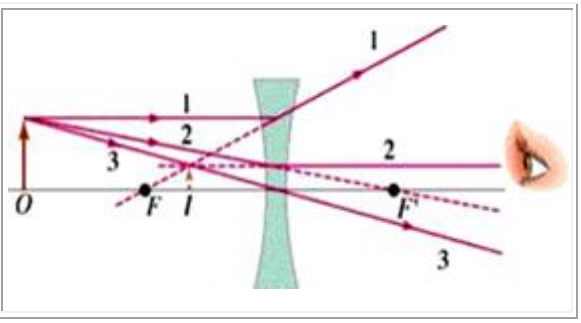
(a)نرسم شعاع من الجسم موازي للمحور الضوئي للعدسة ليسقط على العدسة وينفذ منكسراً ماراً بالبؤرة F. (الشعاع رقم 1)

(b)نرسم شعاع من الجسم يمر في البؤرة ليسقط على العدسة وينفذ موازياً للمحور الضوئي) .الشعاع رقم 2)

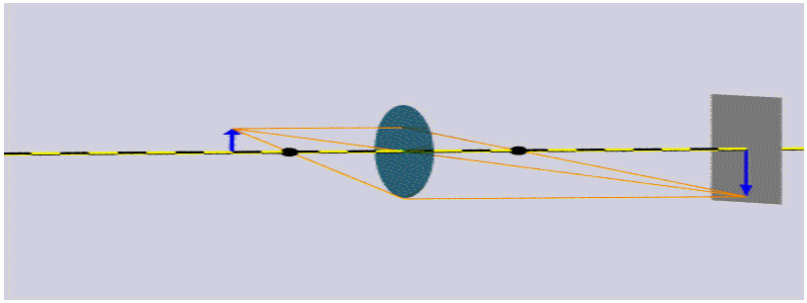
(c)نرسم شعاع من الجسم ماراً في مركز العدسة فينفذ دون انكسار. (الشعاع رقم 3)

لاحظ أن الصورة المتكونة Iهي صورة مصغرة مقلوبة وحقيقية.

تقاطع الأشعة الثلاثة يحدد موقع الصورة ويمكن تحديد اذا كانت الصورة مكبرة ام مصغرة مقلوبة ام معتدلة وحقيقة او تخيلية وفيما يلي بعض الحالات المختلفة للصورة عند تغير بعد الجسم عن المرأة.



نحصل على الصورة المكونة بواسطة العدسة المقعرة بنفس الطريقة التي تكونت بها الصورة في العدسة المحدبة نتبعها. مع العلم ان الصورة تتكون من تقاطع امتداد الاشعة الثلاثة مع بعضها وبالتالي فإن الصورة تكون تخيلية.



يوضح الشكل اعلاه علاقة بعد الجسم عن العدسة مع الصورة المكونة على الحائل

معادلة العدسات Lenses equation

يمكن الخصول على مواصفات الصورة بطريقة رياضية بدلا عن استخدام الطريقة البيانية التي تصبح صعبة عند التعامل مع نظام مكون من أكثر من عدسة.

لذلك نستخدم معادلة رياضية تربط بين بعد الجسم عن العدسة d_o وبعد الصورة عن العدسة d_i والبعد البؤري للعدسة f.

اشتقاق معادلة العدسة

افترض جسم على بعد مسافة d_o من عدسة محدبة بحيث تكون d_o بين البعد البؤري ونصف قطر التكور radius of curvature كما في الشكل التالي:

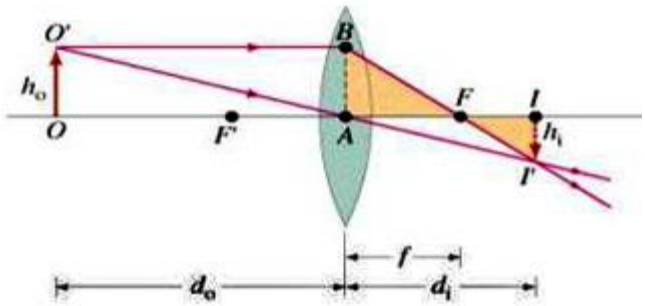
تتكون صورة الجسم من خلال استخدام شعاعين احدهما يسقط موازيا للمحور الضوئي فينكسر ماراً بالبؤرة والثاني يسقط في مركز العدسة عند النقطة A فينفذ بدون انكسار . نفترض ان طول الجسم ho وطول الصورة الناتجة hi.

من المثلثين FI'I و FBA الموضحان في الشكل ادناه بالمنطقة المظللة باللون البرتقالي نجد أنهما متشابهين، اذا نستنتج من ذلك أن

$$\frac{h_i}{h_o} = \frac{d_i - f}{f}$$

ومن المثلثين O'AO و I'AI المتشابهين ايضاً نحصل على

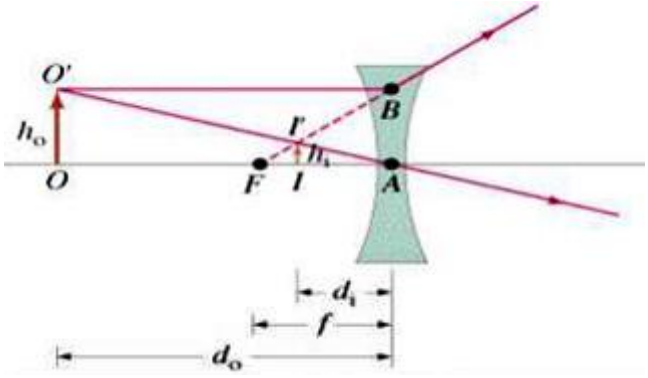
$$\frac{h_i}{h_o} = \frac{d_i}{d_o}$$



بمساواة المعادلتين وقسمة طرفي المعادلة الناتجة على diنحصل على

Lens equation	$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$

كما يمكن اشتقاق نفس المعادلة بنفس الطريقة باستخدام عدسة مقعرة.



<u>التكبير Magnification</u>

يعرف التكبير mللعدسة بأنه ارتفاع الصورة hiمقسوماً على ارتفاع الجسم ho، فإذا كان التكبير اكبر من واحد فإن الصورة اكبر من الجسم أما اذا كان التكبير اقل من واحد تكون الصورة اصغر من الجسم.

$$m = \frac{h_i}{h_o}$$

ولكن مما سبق وجدنا ان النسبة بين hi/hoتساوي النسبة بين di/doوبالتالي فإن التكبير يمكن ان يحسب من المعادلة التالية ايضا اذا توفرت المعلومات لذلك بحيث أن

$$m = -\frac{d_i}{d_o}$$

والأشارة السالبة اضيفت لتحقق مفهوم اصطلاح الاشارة الذي سنشرحه في الموضوع القادم. اذا التكبير يعطى بالمعادلة التالية:

$$m=\frac{h_i}{h_o}=\frac{-d_i}{d_o}$$

اصطلاح الاشارة للعدسات Sign convention for lenses

اشارة كلا من d_o و d_i تحدد ما إذا كان الجسم او الصورة حقيقي real او تخيلي virtual، بينما تحدد اشارة التكبير اذا ما كانت الصورة معتدلة upright أو مقلوبة inverted وذلك على النحو التالي:

الجسم حقيقي real object	عندما يكون الجسم في الجانب الذي يأتي منه الضوء على العدسة	+	d_o
الجسم تخيلي virtual object	عندما يكون الجسم عكس الجانب الذي يأتي منه الضوء على العدسة	-	d_o
الصورة حقيقية real image	عندما تتكون الصورة عكس الجانب الذي يأتي منه الضوء على العدسة	+	d_i
الصورة تخيلية virtual image	عندما تتكون الصورة في الجانب الذي يأتي منه الضوء على العدسة	-	d_i

اما بالنسبة لاشارة كلاً من f و r فتكون على النحو التالي

عندما تكون العدسة محدبة convex mirror	+	r & f
عندما تكون العدسة مقعرة concave mirror	-	r & f

أما بالنسبة لأشارة التكبير M

تكون الصورة معتدلة (upright على افتراض ان الجسم معتدل)	+	M
تكون الصورة مقلوبة (inverted على افتراض ان الجسم معتدل)	-	M

1- التداخل والانعراج

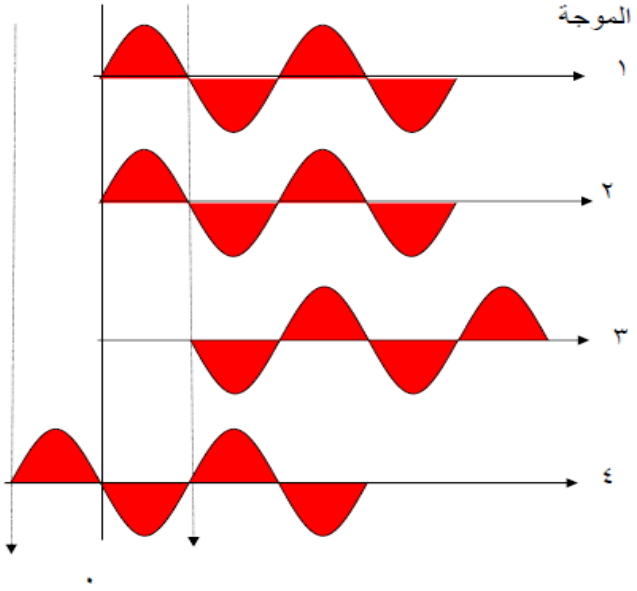
أولا- **التداخل :** Interference -2

3- في البحث الأول سبق وان ذكرنا أن الضوء هو عبارة عن حالة موجة حبيبية بآن. فالأشعة الضوئية عبارة عن موجة كهرطيسية لها مركبتان (كهربائية ومغناطيسية) كما هو ممثل في الشكل المجاور

4- حيث يسلك الضوء مسلكاً موجيا ينتج عنه جملة من الظواهر الفيزيائية كالتداخل والانعراج والحيود والاستقطاب ....

*** مقارنة الموجات ٢،٣،٤ بالنسبة للموجة رقم ١:**

الموجة	φ	δ
٢-	٠	٠
٣-	-π (-١٨٠)	-λ/٢
٤-	+π (+١٨٠)	+λ/٢



ويمكننا القول ان:

- الموجة ٢ لها نفس الطور ولا يوجد فرق في المسار،

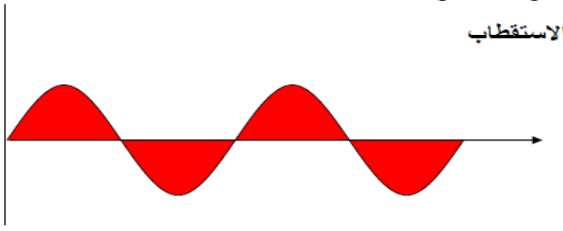
-الموجة ٣ متأخرة عن الموجة ١ بنصف دورة أي بزاوية 180° (π/2) ، وطول موجي يساوي λ/٢.

- الموجة ٤ متقدمة عن الموجة ١ بنصف دورة أي بزاوية 180° (π) ، وطول موجي يساوي λ/٢.

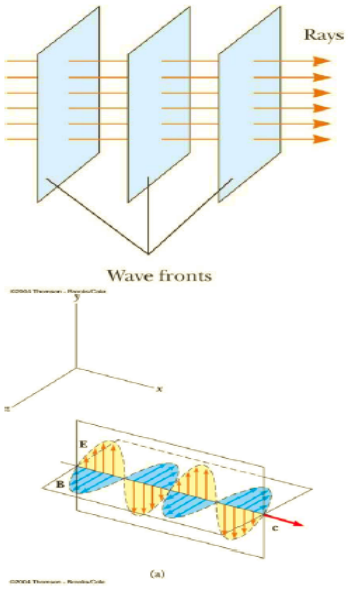
١٠-١ مقدمة

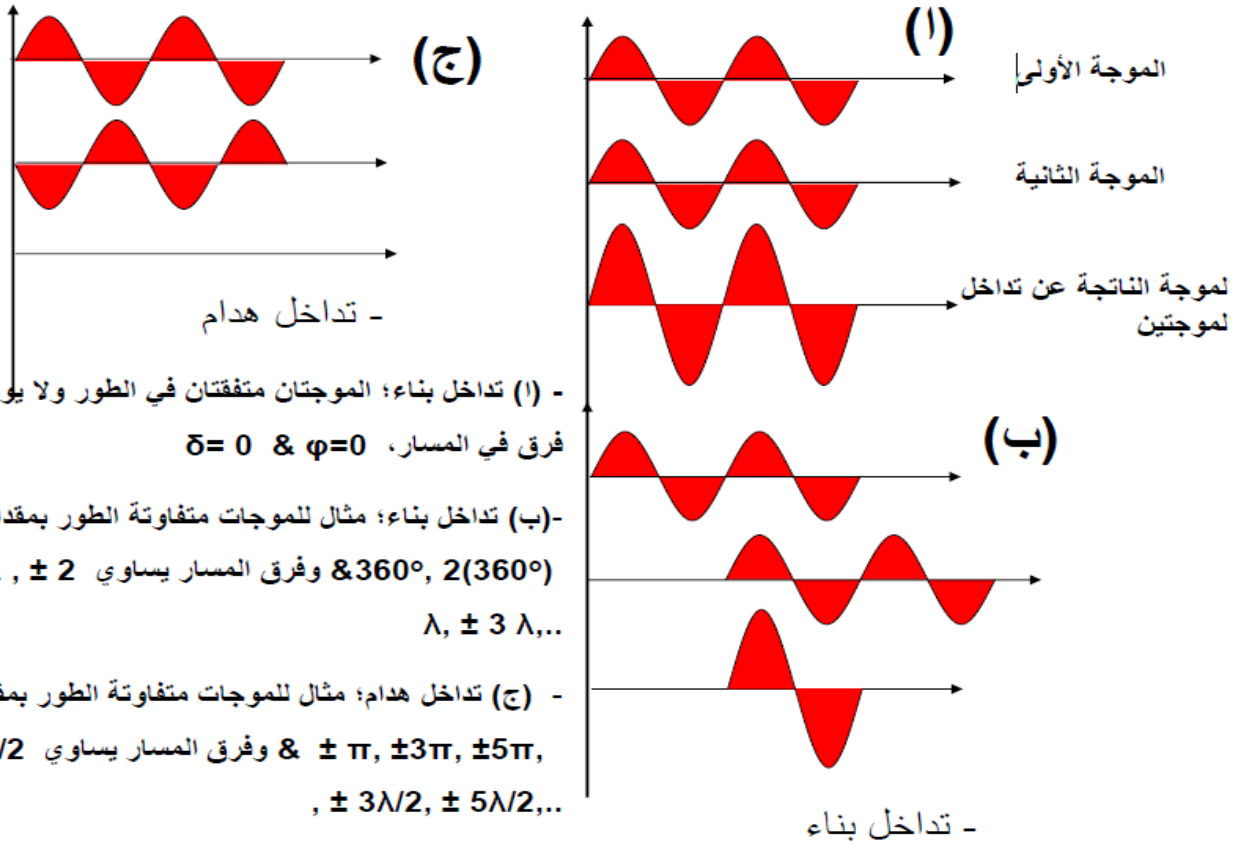
- الضوء الهندسي: حيث يستخدم مفهوم الشعاع الضوئي لشرح وتوضيح بعض الظواهر الضوئية مثل انعكسا وانكسار الضوء

- البصريات الموجية: حيث يستخدم مفهوم الموجات الضوئية لشرح وتوضيح بعض الظواهر الضوئية مثل التداخل، الحيود والاستقطاب



المركبة الكهربية للموجة الكهرومغناطيسية





- (ا) تداخل بناء؛ الموجتان متفقتان في الطور ولا يوجد فرق في المسار، $\delta = 0$ & $\varphi = 0$

-(ب) تداخل بناء؛ مثال للموجات متفاوتة الطور بمقدار &360°, 2(360°) وفرق المسار يساوي $\pm 2\ \lambda$, $\pm\ \lambda, \pm 3\ \lambda$,..

- (ج) تداخل هدام؛ مثال للموجات متفاوتة الطور بمقدار $\pm \pi, \pm 3\pi, \pm 5\pi$, & وفرق المسار يساوي $\pm\ \lambda/2$, $\pm\ 3\lambda/2, \pm\ 5\lambda/2$,..

التداخل	فرق الطور (φ)	فرق المسار (δ)
البناء	$\varphi = 2m\pi$ $= 0, \pm 2\ \pi, \pm 4\ \pi, \ldots.$	$\delta = m\lambda$ $= 0, \pm\ \lambda\ , \pm\ 2\ \lambda, \pm\ 3\ \lambda$,..
الهدام	$\varphi = 2(m+½)\ \pi$ $= \pi, \pm 3\pi, \pm 5\pi, \pm ٧\pi\ \ldots.$	$\delta = (m+\ ½)\ \lambda$ $= \pm\ \lambda/2\ , \pm\ 3\lambda/2, \pm\ 5\lambda$,..

m = 0, ±1, ±2, ±3,....

$\delta = \varphi / K$

$$E_1 = E_0 \sin(kx - \omega t - \varphi) \quad \& \quad E_2 = E_0 \sin(kx - \omega t)$$

- السعة الكهربية للموجتين قبل التداخل

$$E = 2E_0 \cos\frac{\varphi}{2} = E_{\max} \cos\frac{\varphi}{2} \longleftarrow$$

- السعة الكهربية للموجة الناتجة عن تداخل الموجتين

حيث:

-K: العدد الموجي (عدد الموجات لكل 2π ،360^o) & ($k=2\pi/\lambda$)

- ω: التردد الزاوي ($\omega=2\pi f$) - f: التردد (عدد الدورات لكل ثانية)

- λ: الطول الموجي - φ: زاوية فرق الطور

- E: السعة الكهربية للموجة، تتغير قيمتها بتغير قيمة ال (----) sin بالمعادلة

- E_o : القيمة العظمى لسعة الموجة وهى قيمة السعة عندما قيمة ال (----) sin يساوي واحد

- E_{max}: النهاية العظمى لسعة الموجة الناتجة عن التداخل

$$\because I \alpha E^2 \Rightarrow \therefore I = 4 I_o \cos^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)$$

حيث I_0: شدة الموجة قبل التداخل & I: شدة الموجة بعد التداخل

$$E_1 = E_0 \sin(kx - \omega t - \varphi) \quad \& \quad E_2 = E_0 \sin(kx - \omega t)$$

- السعة الكهربية للموجتين قبل التداخل

$$E = 2E_0 \cos\frac{\varphi}{2} = E_{\max} \cos\frac{\varphi}{2} \longleftarrow$$

- السعة الكهربية للموجة الناتجة عن تداخل الموجتين

حيث:

-K: العدد الموجي (عدد الموجات لكل 360^o، 2π) & ($k=2\pi/\lambda$)

- ω: التردد الزاوي ($\omega=2\pi f$) - f: التردد (عدد الدورات لكل ثانية)

- λ: الطول الموجي - φ: زاوية فرق الطور

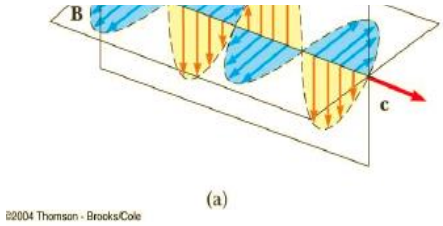
- E: السعة الكهربية للموجة، تتغير قيمتها بتغير قيمة ال (----) sin بالمعادلة

- E_o : القيمة العظمى لسعة الموجة وهى قيمة السعة عندما قيمة ال (----) sin يساوي واحد

- E_{max}: النهاية العظمى لسعة الموجة الناتجة عن التداخل

$$\because I \alpha E^2 \Rightarrow \therefore I = 4 I_o \cos^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)$$

حيث I_o: شدة الموجة قبل التداخل & I: شدة الموجة بعد التداخل

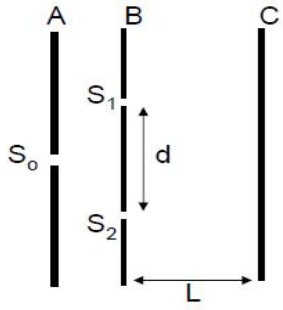


(a)

©2004 Thomson - Brooks/Cole

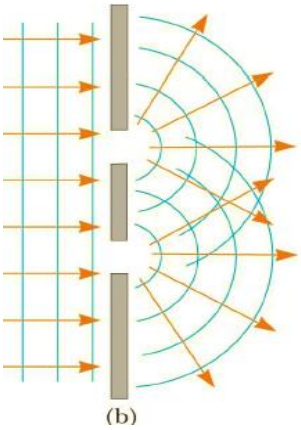
زاويه الطور						
(الراديان)	٠	π/2	π	٢π	٣π/2	4π
(الدرجة)	٠	90	١٨٠	٣٦٠		

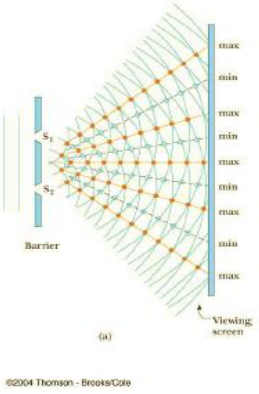
دورة كاملة

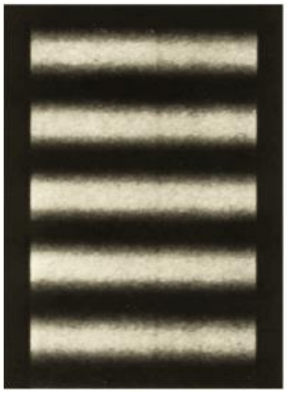


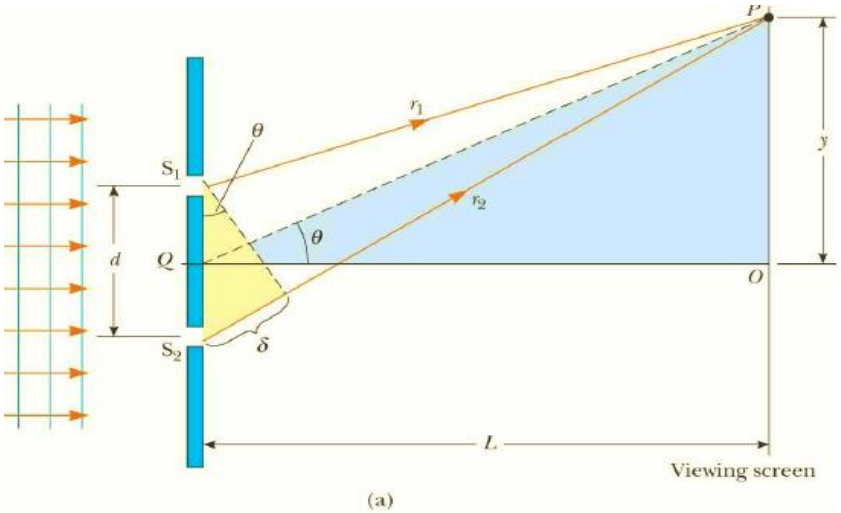
٣-١٠ تجربة شقي يونج : - تجربة لدراسة ظاهرة تداخل الأمواج الضوئية

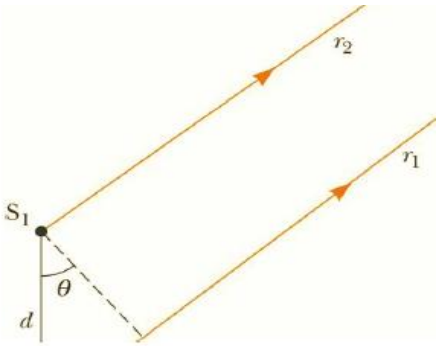
- مصدر ضوء احادي الطول الموجي عند S_0 ، شقان ضيقان (S1 &S2) متوازيان المسافة بينهما (d) يعملان كمصدرين لضوء مترابط لأن الضوء النافذ منهما له نفس جبهة الموجة الابتدائية. بذلك نحصل على موجتين ضوئيتين لهم نفس زاوية الطور والتردد ويتحركان في نفس الاتجاه وبنفس السرعة.











-التداخل البناء (مناطق مضيئة): $\delta = d \sin\theta = m\lambda$

عندما $\theta = 0$, $m = 0$ ---- تسمى الرتبة الصفرية

-التداخل الهدام (مناطق مظلمة): $\delta = d \sin\theta = (m+1/2)\,\lambda$

$m = 0, \pm1, \pm2, \pm3, \ldots$.متسمى رتبة الهدب

Text Box: (هدب مضيء مركزي (صفري

$$E_1 = E_0 \sin(kx - \omega t - \varphi) \quad \& \quad E_2 = E_0 \sin(kx - \omega t)$$

- السعة الكهربية للموجتين قبل التداخل

$$E = 2E_0 \cos\frac{\varphi}{2} = E_{\max} \cos\frac{\varphi}{2} \longleftarrow$$

- السعة الكهربية للموجة الناتجة عن تداخل الموجتين

حيث:

-K: العدد الموجي (عدد الموجات لكل 2π ،360°) & ($k=2\pi/\lambda$)

- ω: التردد الزاوي ($\omega=2\pi f$) - f: التردد (عدد الدورات لكل ثانية)

- λ: الطول الموجي - φ: زاوية فرق الطور

- E: السعة الكهربية للموجة، تتغير قيمتها بتغير قيمة ال (----) sin بالمعادلة

- E_o : القيمة العظمى لسعة الموجة وهى قيمة السعة عندما قيمة ال (----) sin يساوي واحد

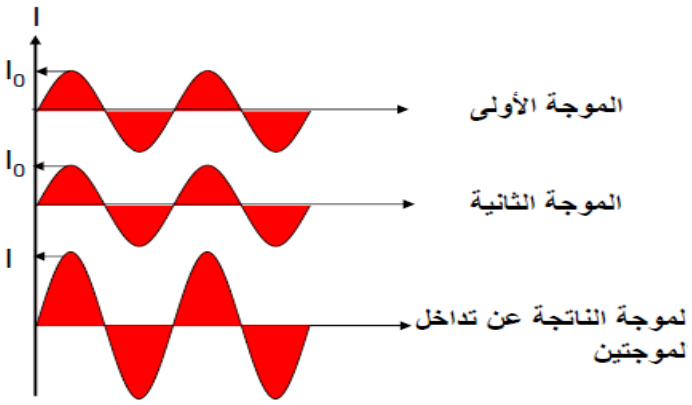
- E_{max}: النهاية العظمى لسعة الموجة الناتجة عن التداخل

$$\because I \propto E^2 \Rightarrow \therefore I = 4 I_o \cos^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)$$

حيث I_0: شدة الموجة قبل التداخل & I: شدة الموجة بعد التداخل

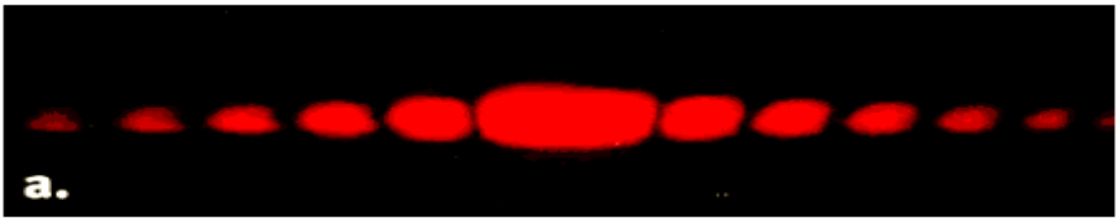
٢-١٠ تداخل الموجات الضوئية وشروط التداخل:

* يحدث التداخل عند التقاء موجتين جيبيتين متساويتين في التردد وتتحركان في نفس الاتجاه وبنفس السرعة (نفس الطول الموجي حيث $V = f\lambda$) وبفرق طور ثابت مقداره φ وبفرق مسار ثابت مقداره δ.

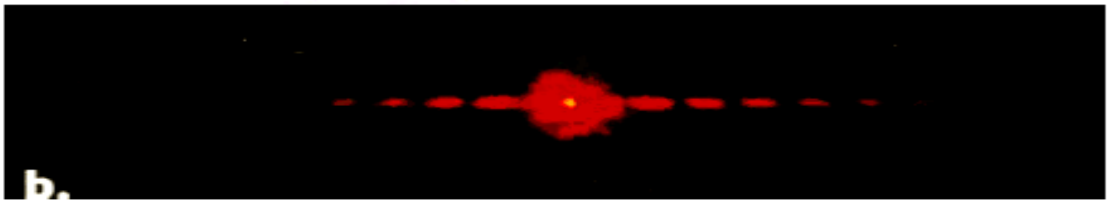


- الموجة الجديدة الناتجة عن تداخل الموجتين يكون لها نفس التردد ولكنها مختلفة السعة (E) وكذلك الشدة (I). وبالإضافة إلى ذلك تختلف في الطور عن الموجتين الأصليتين بمقدار (φ/2) أي اما تقدما أو تأخرا.

إنّ هذه الظاهرة تشبه الظاهرة الملاحظة عندما تلاقي الأمواج حاجزا على سطح الماء.
تسمى الصورة المتحصل عليها **صورة الانعراج**.
إنّ هذه البقع المتحصل عليها على الشاشة تكون بشكل عمودي على الفتحة.
فيما يلي صورة حقيقية لظاهرة انعراج لضوء ليزر بفتحة صغيرة.

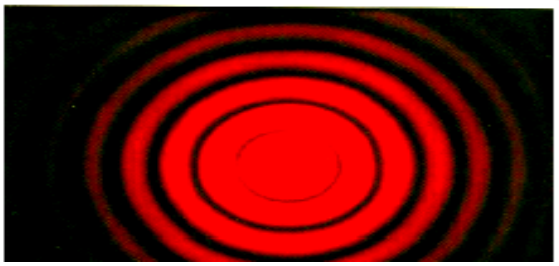


نعيد نفس تجربة الانعراج باستعمال خيط بدل فتحة ، فنحصل على صورة انعراج تشبه الـ صورة التي نحصل عليها بواسطة فتحة، لكن نلاحظ في هذه الحالة بأنّها تحتوي في مركزها على بقعة ضوئية كما لو أنّه لا يوجد حاجز.



صورة انعراج ضوء ليزر بواسطة خيط.

الصورة الموالية هي لانعراج ضوء الليزر بواسطة ثقب.



ثانياً- الانعراج :Diffraction

الضوء وحيد اللون هو كل ضوء له لون واحد و وحيد، يتميز بتواتر و طول موجة.

من المعروف أن الموجات تنعكس عندما تصطدم بحاجز مادي، ولكن ماذا يحدث لهذه الموجات عندما تصطدم بحافة الحاجز أو عندما تعبر فتحة صغيرة في الحاجز؟

إنّها تنعرج.

الانعراج هو انحراف الموجات عن اتجاه انتشارها الأصلي حول حافة الحاجز أو حول حافتي فتحة صغيرة.

لا تقتصر ظاهرة الانعراج على نوع معين من الموجات.

فالأمواج الميكانيكية تنعرج عندما تصطدم بحاجز أو فتحة ذات أبعاد قريبة من طول الموجة.

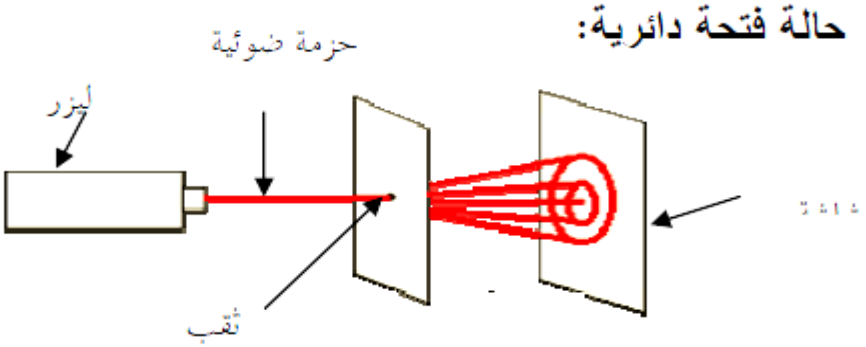
تجربة 1:

نستعمل ضوءا وحيد اللون طول موجته λ و تواتره f .

بما أن أطوال موجات الإشعاع الضوئي صغيرة جدا فلا يمكن مشاهدة الانعراج في الضوء إلا على مسافة كبيرة من الحاجز أو الفتحة.

نضع ليزر أمام شاشة بعيدة عنه حيث يصدر ضوءا أحمرا و على مسار الحزمة الضوئية التي يصدرها الليزر، نضع فتحة ضيقة عرضها متغير.

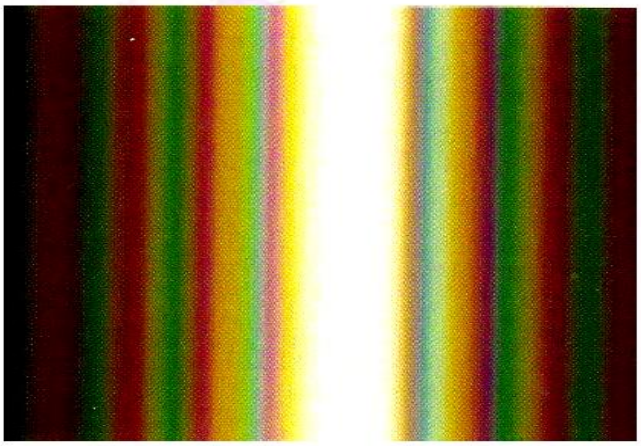
حالة فتحة دائرية:



انعراج الضوء الأبيض:

نقوم بنفس التجربة السابقة و ذلك بتعويض ضوء الليزر بضوء أبيض.

نستطيع أن نلاحظ ظاهرة الانعراج بواسطة منبع للضوء الأبيض و تكون صورة الانعراج كالتالي:

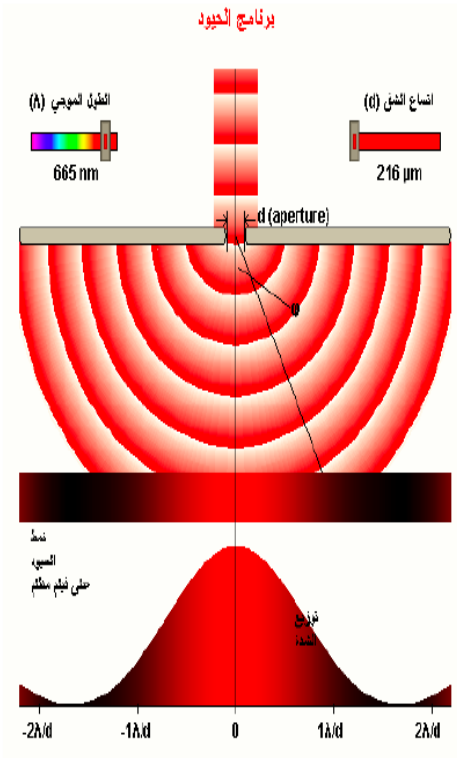


نلاحظ أنّ صورة الانعراج تتكون من بقعة مركزية بيضاء و بقع جانبية مقزحة بالأحمر و الأزرق.

نتحقق من ظاهرة الانعراج بواسطة المحاكاة التالية (من موقع مدرس الفيزياء):

مثال 1:

نستعمل ضوءا أحمرا و عرض الفتحة d = 216 µm.



يحدث انعراج بشكل ملحوظ

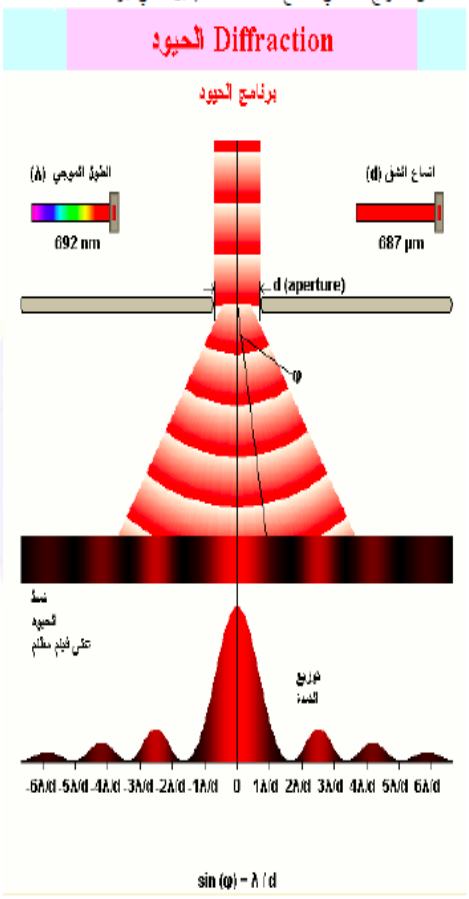
وفي برنامج المحاكاة نلاحظ انعراج الضوء من شق مفرد عرضه صغير جدا وتظهر بقع الانعراج على شكل مناطق مضيئة وأخرى معتمة وتقل شدتها تدريجيا كلما ابتعدنا عن المركز،

حيث يمثل المنحنى الأسود الداكن أسفل صورة الانعراج شدة الانعراج.

مثال 2 :

نقوم بتكبير عرض الفتحة d = 687 µm مع المحافظة على نفس لون الضوء (الأحمر).

نلاحظ أنّ الأمواج لا تغطي السطح خلف الشاشة كليا بل تغطي جزءا منه فقط.



استنتاج:

إنّ ظاهرة انحراف الضوء تشبه ما رأيناه بالنسبة لأمواج تنتشر على سطح الماء.

نتيجة:

- ✓ إنّ الضوء يحدث له انحراف عندما يلاقي فتحة أو حاجزا .
- ✓ إنّ هذه الظاهرة مميزة للأمواج ، و تؤكد هذه التجربة الطبيعة الموجية للضوء.
- ✓ **الضوء عبارة عن موجة تنتشر في كل الأوساط الشفافة.**
- ✓ تتميز كل موجة ضوئية وحيدة اللون بتواترها.
- ✓ إنّ تواتر اللون موجة وحيدة اللون يبقى نفسه في كل الأوساط الشفافة.
- ✓ إنّ الضوء ينتمي إلى نوع من الأمواج يسمى: الأمواج الكهرومغناطيسية.
- ✓ على عكس الأمواج الميكانيكية، فإنّ الأمواج الضوئية تستطيع الانتشار في الفراغ.

ملاحظة:

عندما تكون أبعاد الحاجز أو الفتحة متقاربة مع طول الموجة فإنه يحدث الانحراف بقرب الحاجز مباشرة، أما عندما تكون أبعاد الحاجز كبيرة، مقارنة بطول الموجة، يمكن أن نشاهد الانحراف ولكن على مسافة أكبر من الحاجز.

التفسير:

يفسر ما سبق أن التغيرات في جبهة الموجة التي يحدثها الحاجز تكون أكثر ظهورا كلما ابتعدنا عن الحاجز وبالتالي كلما كان أبعاد الحاجز أكبر كلما شوهدت ظاهرة الانحراف على مسافة أبعد منه بشرط أن تكون طاقة الموجات كبيرة بدرجة كافية لكي يكون انعطافها وانحرافها واضحا.

4-1-2- طول الموجة في الفراغ :

إنّ الموجة الضوئية الوحيدة اللون هي موجة متقدمة جيبية تتميز بـ :

- تواترها f (أو دورها $T = \frac{1}{f}$) الذي يعطيه منبع الموجة.
- سرعتها v التي تتعلق بالوسط الذي تنتشر فيه الموجة الضوئية.

تجربة:

نستعمل ناقوسا زجاجيا حيث نحدث فيه الفراغ بواسطة مضخة الهواء (نخرج منه الهواء)، ثمّ نمرر ضوء ليزر أمامه.

ملاحظة :

نلاحظ أنّ ضوء الليزر يمر من الجهة الأخرى.

نتيجة :

تنتشر الموجة الضوئية الوحيدة اللون في الفراغ.

سرعة الضوء في الفراغ :

نضع c = سرعة الضوء في الفراغ و هي ثابتة، قيمتها لا تتعلق بتواتر الإشعاعة الضوئية حيث:

$$c = 3.10^8 \ m/s$$

في كل الأوساط، ماعدا الفراغ ، تكون سرعة الضوء v دائما أصغر من سرعته في الفراغ ($v < c$).

إنّ سرعة الضوء في الهواء تكون قريبة جدا من سرعته في الفراغ.

$$V_{air} \simeq c$$

طول الموجة في الفراغ :

تتميز الموجة الضوئية بطول موجتها λ_0 ، كما تتميز بتواترها.

و قد رأينا في المحور السابق عبارتها: $\lambda_0 = \frac{c}{f}$

حيث :

λ_0 مقدرة بالمتر [m] ، c مقدرة بـ [m/s] ، f مقدر بالهرتز [Hz]

http://www.onefd.edu.dz جميع الحقوق محفوظة (ج)

ملاحظة :

إنّ المنبع الليزر يوافق لونا واحدا.

إنّ تواتر الموجة يحدّد لون المنبع مهما كانت طبيعة وسط الانتشار .

نلاحظ في الصورة حزمتين ضوئيتين وحيدتي اللون لها تواتران مختلفان:

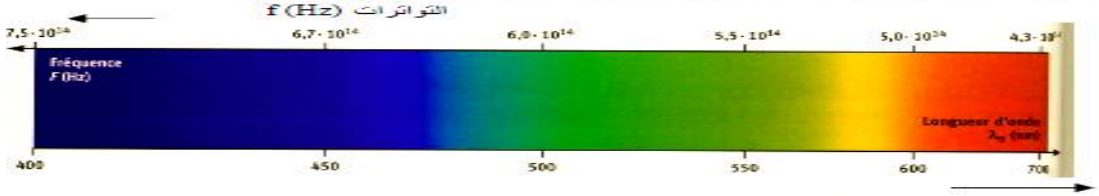
أحدهما لليزر يصدر ضوءا ذا لون أخضر و الآخر يصدر ضوءا ذا لون أحمر .

مجال الأمواج الضوئية المرئية :

كما رأينا سابقا فإنّ الضوء هو عبارة عن أمواج كهرومغناطيسية تستطيع أن تراها عين الإنسان، وهذا يوافق مجال لأطوال الموجة في الفراغ محصور بين 400 nm (البنفسجي) و 800 nm (الأحمر الداكن) أي مجال تواتر محصور بين $7.5.10^{14}$ Hz و 3.10^{16} Hz .

$$400\ \text{nm} \leq \lambda \leq 800\ \text{nm}$$
$$7,5 \cdot 10^{14}\ \text{Hz} \leq f \leq 3 \cdot 10^{16}\ \text{Hz}$$

يمثل الشكل التالي طيف الضوء الأبيض أي مجال أطوال الموجة و التواترات المرئية.



طول الموجة λ_0 (nm) .

إنّ عين الإنسان حساسة لتركيب إشعاعات ضوئية وحيدة اللون، و هذا ما يسمح لنا برؤية ألوان مث ل الوردي والبني، والتي لا تنتمي لطيف الضوء الأبيض.

و هذا ما يفسر كون كل لون مرئي لا يوافق طول موجة واحدة في الفراغ بل يوافق أكثر م ن حد ول موجة.

ملاحظة:

إنّ الضوء الأبيض خليط من ألوان الطيف السبعة، والتي يمكن جمع أسمائها في كلمتين (حرس خزين) حيث يمثل كل حرف الحرف الثاني من اسم اللون وهي مرتبة تصاعديا حسب التواتر .

أحـ مر – بـ رتقالي – أصـ فر – أخـ ضر – أزرق – نيـ لي – بـ نفسجي.

كما تعتبر الشمس أكبر مصدر للطاقة الضوئية.

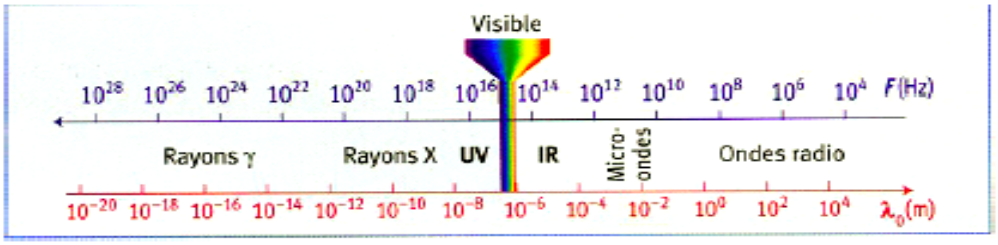
الإشعاعات تحت الحمراء و فوق البنفسجية :

كما رأينا ذلك، فإنّ هناك مجالا مرئيا للضوء، وهذا يعني بأنّ هناك ألوانا لا تراها عين الإنسان إنما هناك أجهزة خاصة يمكن أن ترصدها.

إنّ مجال أطوال الموجات الأصغر من 400 nm يوافق مجال الإشعاعات فوق البنفسجية (Ultra Violet: UV).

و مجال أطوال الموجات الأكبر من 800nm يوافق مجال الإشعاعات تحت الحمراء (Infra Rouge: IR).

نبين في المخطط التالي مختلف المجالات الخاصة بالتواتر و طول الموجة:



تطبيق 2 :

1- موجة ضوئية وحيدة اللون لها تواتر $f = 4{,}5.10^{14}$ Hz . ما هو طول الموجة الموافق لها في الفراغ ؟ ما هو اللون الموافق ؟

2- تنتشر هذه الموجة الآن في الماء.

أ- هل تتغير سرعتها ؟ إذا كان الجواب بنعم، وضح كيف يكون ذلك بالنسبة لسرعتها في الفراغ.

ب- هل يتغير لونها في الوسط الجديد ؟

جـ - هل يتغير طول موجتها ؟

حل التطبيق:

1- طول الموجة:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f}$$

$$\lambda_0 = \frac{3.10^8}{4{,}5.10^{14}} = 666{,}6 \text{ nm}$$

$$\lambda_0 = 666{,}6 \text{ nm}$$

و هذا يوافق اللون الأحمر

2- أ- السرعة:

إنّ سرعة الموجة في الماء تتغير و تكون أصغر من سرعتها في الفراغ.

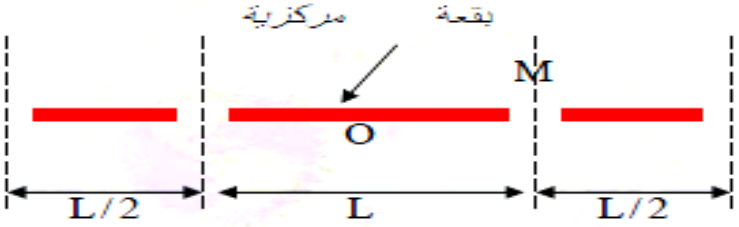
ب- إنّ لون الإشعاع الضوئي الوحيد اللون يحدد بتواتره، وهو الميزة الخاصة بالموجة، والتي لا تتعلق بالوسط؛ أي لا يتغير لون الإشعاع عند انتشاره .

جـ .- بالطبع إذا تغيرت سرعة الإشعاع ($\lambda = \frac{v}{f}$)، فإنّ طول موجتها سيتغير.

و بما أنّ سرعة الإشعاعة تكون أصغر في الماء منها في الفراغ، فإنّ طول الموجة في الماء سيكون أصغر منه في الفراغ (هناك تناسب بين السرعة و طول الموجة $\lambda = \frac{v}{f}$).

4-1-3- انعراج موجة ضوئية وحيدة اللون :

كما رأينا في التجارب السابقة، فإنّ ظاهرة انعراج الأمواج الضوئية يكون ملاحظا إذا كان عرض الفتحات أو الحواجز التي تعترض طريق الحزمة الضوئية أصغر أو من نفس رتبة طول الموجة λ في وسط الانتشار أو كذلك إذا كان a أكبر بـ 10 إلى 100 مرّة من λ.

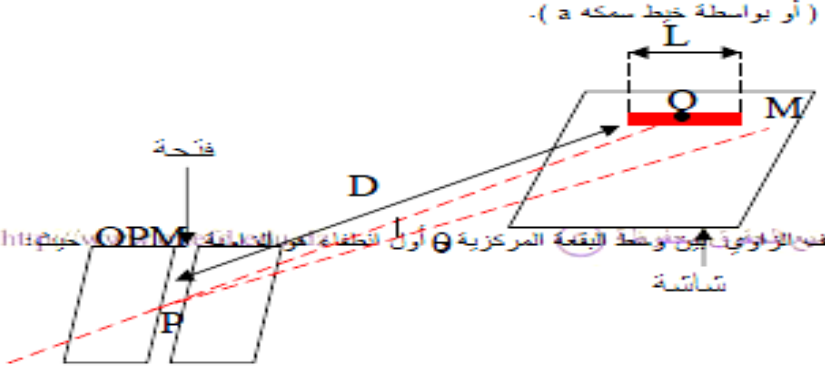


نلاحظ على الشكل أنّ عرض البقعة المركزية لشكل الانعراج المتحصل عليه بفتحة يكون أكبر بمرتين من البقعات الجانبية.

حيث أنّه كلما كانت الفتحة أو الثقب صغيرا، كلما كان عرض البقعة المركزية كبيرا.

أ- الانحراف الزاوي θ :

تعتبر ظاهرة الانعراج في حالة ضوء وحيد اللون طول موجته في الفراغ λ_0 بواسطة فتحة عرضها a (أو بواسطة خيط سمكه a).



إنّ الانحراف الزاوي θ بين وسط البقعة المركزية و أول انطفاء [illegible]

$$\theta = \frac{L}{2D}$$

- O هو وسط البقعة المركزية،
- P هو مركز الفتحة،
- M هو وسط أول منطقة سوداء.

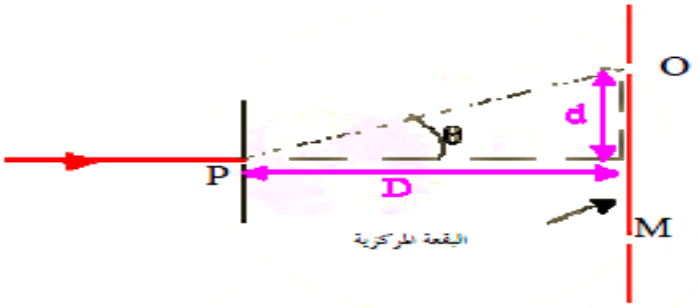
تعطى عبارة الانحراف الزاوي:

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

حيث : λ و a مقدرة بالمتر [m] ، θ مقدرة بالراديان [rad].

كما أنّ التجارب بينت أنّ الانحراف الزاوي يتعلق بعرض البقعة المركزية L.

نبرهن على ذلك:



من المثلث القائم OPM ، لدينا:

$\tan\theta = \frac{d}{D}$ حيث $d = L/2$ ، إذن:

$\tan\theta = \frac{L/2}{D}$ حيث D تمثل المسافة الفاصلة بين الفتحة و الشاشة.

و بما أنّ الزاوية θ صغيرة، نستطيع أن نكتب $\tan\theta \simeq \theta$ و منه نستنتج أنّ:

نتيجة:

كلما كان عرض الفتحة a صغيرا، كلما كان الانحراف الزاوي θ كبيرا، و كلما كان العرض L للبقعة المركزية كبيرا.

5- تبدد الأمواج الضوئية:

5-1- قرينة انكسار الوسط:

في الفراغ، إنّ كل الأمواج الضوئية لها نفس السرعة c حيث:

$$c = 3.10^8\ m/s$$

و في وسط شفاف غير الفراغ ، فإنّ الأمواج الضوئية لها سرعة v أصغر من سرعتها في الفراغ c.

تعريف:

قرينة الانكسار n لوسط هي مقدار مميز للوسط، قيمتها دائما أكبر أو تساوي 1 ، ليس لها وحدة حيث:

$$n = \frac{c}{v}$$

قيم قرينة الانكسار لبعض الأوساط من أجل ضوء وحيد اللون:

الوسط	طول الموجة في الفراغ (nm)	قرينة الانكسار n
الفراغ	كيفية	1
الهواء	كيفية	1,00029
الماء في 20°C	589	1,333
الزجاج	589	1,50
الكريستال	589	1,63
الماس	589	2,418

ملاحظة:

إنّ قرينة انكسار الهواء هي 1,00029، و نقربها إلى 1 أي تساوي قرينة الانكسار في الفراغ.

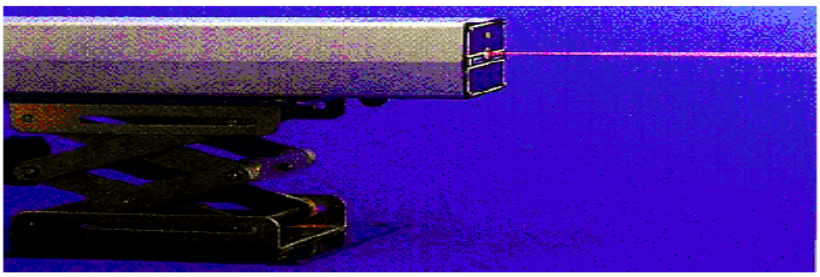
و منه فإنّ طول موجة إشعاع وحيد اللون في الهواء يساوي طول موجته في الفراغ.

5-2- تبدد الضوء بواسطة الموشور :

أ- حالة ضوء وحيد اللون:

تجربة:

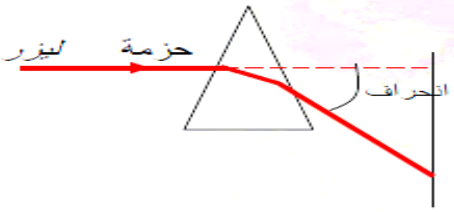
1- نعترض مسار حزمة ضوئية لليزر بشاشة.



ملاحظة:

نلاحظ ظهور بقعة ضوئية على الشاشة.

2- نعترض الآن الحزمة بموشور



ملاحظة:

- نلاحظ انحراف الحزمة الضوئية لليزر، حيث أنّ تغيرات الوسط (هواء – زجاج ، زجاج – هواء) تحدث انكسارين متتاليين واحد على كل وجه من وجهي الموشور.
- نحصل على نفس اللون على الشاشة (في هذه الحالة ضوء أحمر).
- إنّ انحراف الحزمة الضوئية يتعلق بقيمة قرينة الانكسار و التي تتعلق بنوع الزجاج الـ ذي صنع منه الموشور .

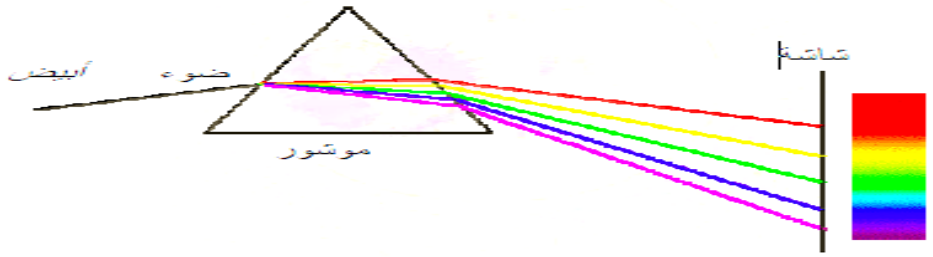
نتيجة:

- إنّ مبدأ الانتشار المستقيم للضوء الذي أشرنا إليه في بداية الدرس هو محقق.
- في كل وسط : الهواء أو الزجاج ، فإنّ الضوء ينتشر في خط مستقيم.
- إنّ الحزمة الضوئية لليزر حدث لها انكساران عند عبورها للموشور.

ب – حالة ضوء أبيض:

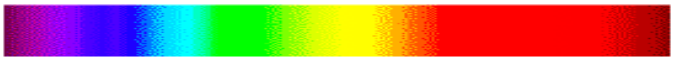
تجربة:

نقوم بنفس التجربة السابقة حيث نستعمل منبعا للضوء الأبيض.



ملاحظة:

نتحصل على طيف متكوّن من عدّة ألوان من الأحمر الداكن إلى البنفسجي و بينهما ما لا نهاية من الألوان.



نتيجة:

- إنّ الضوء الأبيض هو ضوء **متعدد** الألوان.
- إنّ الضوء الأبيض يتكون من عدد لا متناهي من الإشعاعات الوحيدة اللون.
- يوافق كل إشعاع لون محدّد.
- تتميز كل إشعاع بطول موجة في الفراغ ، و بالتالي بتواتر.
- إنّ طيف الضوء الأبيض هو طيف مستمر.

ملاحظة:

نستطيع أن نشاهد الوان الطيف للضوء الأبيض في ظاهرة قوس قزح.

خلال انكسار الضوء المتعدد الألوان بواسطة موشور ، فإنّ الإشعاعات ذات أطوال الموجة الـ ضعيفة تنحرف أكثرمن غيرها، مثل الأزرق، بينما الإشعاعات ذات أطوال اموجة الكبيرة فإنها تنحرف قليلا، مثل الأحمر.

بما أنّ إشعاعات مختلف أطوال الموجة λ_0 المكوّنة للضوء الأبيض في الفراغ، لا تنحرف بالموشور بنفس الطريقة ، فإننا نقول بأنّ الضوء **تبدد** بواسطة الموشور.

هذا يعني بأنّ قرينة الانكسار n للزجاج تتعلق بطول الموجة λ_0 و بالتالي بالتواتر.

نعلم أنّ $\mathbf{n = \frac{c}{v}}$

نستنتج أنّ سرعة الضوء v في الزجاج تتعلق بتواتر الإشعاعات.

نتيجة:

نقول عن وسط أنّه مبدد (Dispersif) إذا كانت سرعة الموجة الضوئية الوحيدة اللون (و كـ ذلك قرينة انكسار الوسط الشفاف) التي تنتشر في هذا الوسط تتعلق بتواتره، وبالتالي بطول موجته في الفراغ.

إنّها ظاهرة **تبدد** (Dispersion) الأمواج الضوئية.

تمارين

تمرين1 :

صحيح أو خطأ

1- إنّ سرعة الضوء ثابتة مهما يكن الوسط الذي تنتشر فيه و تساوي $c = 3.10^8\ m/s$.

2- الأمواج الضوئية المرئية لها تواتر أصغر من $7,5.10^{14}\ Hz$.

3- إنّ تواتر موجة ضوئية يتعلق بطبيعة الوسط الذي تنتشر فيه.

4- الأشعاعات الفوق بنفسجية هي موجات كهرومغناطيسية، طول موجتها في الفراغ أصغر من 0,4 nm.

5- طول الموجة في الفراغ للإشعاعات تحت الحمراء يكون أكبر من 1 mm .

6- نحقق ظاهرة الانعراج بواسطة حاجز لموجة ضوئية مرئية:

أ- إنّ شكل الانعراج المتحصل عليه بواسطة فتحة عرضها a هو نفسه من المتحصل عليه بخط عرضه a.

ب- إنّ منحنى شكل الانعراج المتحصل عليه بواسطة فتحة يكون موازيا لمنحى الفتحة.

ج -. إنّ الانحراف الزاوي للبقعة المركزية لا يتعلق بعرض الفتحة.

تمرين 2 :

موجة ضوئية وحيدة اللون تواترها $f = 4,5.10^{14}\ Hz$.

1- ما هو طول موجتها λ_0 في الفراغ ؟

2- ما هو اللون الموافق لها.

3- تنتشر هذه الموجة الآن في الماء.

أ- هل تتغير سرعتها ؟ إذا نعم، كيف يتم ذلك في الفراغ.

ب- هل يتغير اللون ؟

ج -. هل يتغير طول موجتها ؟

تمرين رقم 3 :

إنّ تواتر موجة ضوئية هو $f = 4,5.10^{14}\ Hz$.

1- ما هو طول الموجة في الفراغ لهذه الموجة ؟

2- هل هي موجة ضوئية مرئية لعين الإنسان ؟ إذا كان نعم، ما هو اللون الموافق لها ؟

تمرين 4 :

موجة ضوئية تواترها $f = 2,5.10^{14}\ Hz$.

1- أحسب طول موجتها في الفراغ، ثمّ في الهواء.

2- هل هي موجة مرئية ؟ إذا كان لا، ما هو المجال الذي تنتمي إليه؟

تمرين 5 :

من أجل دراسة انعراج موجة ضوئية طول موجتها في الفراغ $\lambda = 563\ nm$ ، نستعمل فتحة عرضها $a = 20\ \mu m$.

1- أرسم شكل الانعراج المتحصل عليه إذا كانت الفتحة أفقية.

2- أرسم التركيبة و مثّل الانحراف الزاوي θ المميز للبقعة المركزية للانعراج.

3- أعط العلاقة بين θ ، λ و a، أحسب θ.

4- نغير عرض الفتحة $a' = 100\ \mu m$. ماذا يحدث ؟

تمرين 6 :

نوضع فتحة عرضية في طريق حزمة ضوئية لليزر طول موجته في الفراغ λ.

إنّ الضوء الصادر عن الليزر ينتمي إلى المجال المرئي.

1- من أجل أية رتبة لعرض الفتحة، نبدأ في مشاهدة ظاهرة الانعراج ؟

2- ضع رسما للتركيب و صورة الانعراج المتحصل عليها على الشاشة الموضوعة عموديا على الحزمة، مثل العرض L للبقعة المركزية، المسافة D بين الشاشة و الفتحة، وكذا عرض الفتحة a.

3- أ- عرّف الانحراف الزاوي θ المميز للبقعة المركزية للانعراج، مثّله على الشكل السابق.

ب- أعط العلاقة التي تربط بين θ ، λ ، a.

4- إنّ الانحراف الزاوي صغير، لذلك يمكن أن نكتب $\tan\theta \simeq \theta$ ، ما هي العلاقة بين θ ، L و D، استنتج عبارة L بدلالة D ، a و λ.

5- من أجل عرض للفتحة قدره $a = 60\ \mu m$ يكون عرض البقعة المركزية $L = 4,2\ cm$ على الشاشة الواقعة على بعد $2\ m$ من الفتحة، استنتج طول الموجة λ في الفراغ لحزمة الليزر.

6- نحقق عدّة قياسات لـ L من أجل عرض مختلف للفتحة a.

أ- ما هي الفائدة من رسم المنحنى $L = f\left(\frac{1}{a}\right)$ ؟ ما هو المنحنى من بين المنحنيات

5 ملحق :

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 lm، 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:

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

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

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

وتدل هذه النتيجة على أن شدة الاستضاءة تتناسب عكسياً مع مربع بعد السطح عن المركز (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

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^2. 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 عموديـــة علـــى 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 الاستـــضاءة I وشـــدتها I_o لـــو كانت الأشعة العمودية هي:

$$I = I_o \cos\theta$$

نفرض أن شدتي الاستضاءة في الحالتين هما I_1 , I_2

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

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

نهاية المقرر.....

وفقكم الله وحماكم