الفصل الثاني:

الأنعكاس والأنكسار في السطوح المستوية:

Reflection and Refraction at plane surfaces

الانعكاس على السطوح المستوية (Reflection in plane surfaces):

أن السطح المستوي أو المرآة المستوية هو أي سطح مستوي له القدرة على انعكاس الضوء وقد تصنع من الزجاج الشفاف او البلاستك.

تتكون الصور في المرايا نتيجة لتقاطع أشعة الضوء، حيث تنقسم أشعة الضوء في هذه الحالة إلى نوعين:

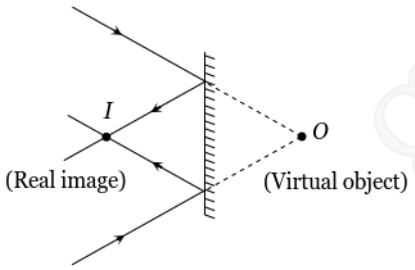
- أشعة ضوء حقيقية : ويرمز لها بخط مستقيم متصل $A \longrightarrow B$

وهو ينشأ من مصدر ضوئي أو جسم عاكس ويتميز هذا الشعاع بإمكانية استقباله على شاشة أو حاجز غير شفاف.

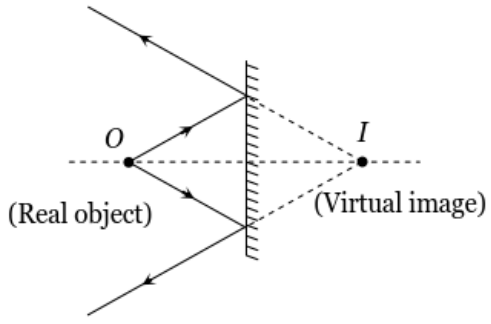
- أشعة ضوء تقديرية (خيالية) : ويرمز لها بخط مستقيم متقطع $\acute{A} \dashrightarrow \acute{B}$

وهو امتداد لشعاع ضوء حقيقي بعد انعكاسه على مرآة أو إي سطح عاكس. وهولا يحمل من طاقة الضوء شيء ولذلك لايمكن استقباله على شاشة أو حاجز، اتجاه الشعاع الخيالي عكس اتجاه الشعاع الحقيقي.

- تتكون الصور الحقيقة من تقاطع أشعة حقيقية



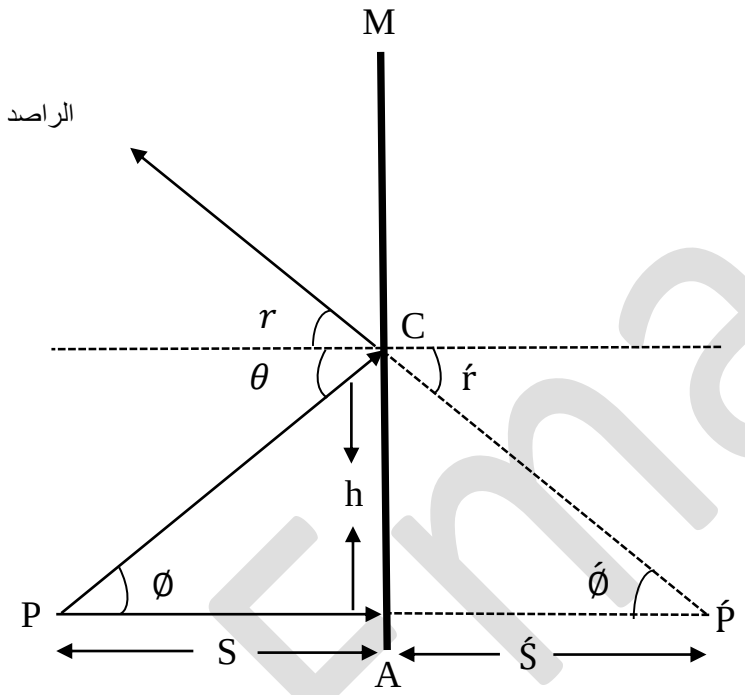
- تتكون الصور الخيالية من تقاطع أشعة خيالية (امتدادات الأشعة المنعكسة)



Dr Emad

تكوين الصورة Image formation:

- شعاع من نقطة P يسقط على سطح مستوي (مرآة مستوية) وينعكس عند نقطة C نحو الراصد
- نرسم عمود على مرآة في C موازي الى محور المرآة $P\acute{P}$



$\theta = r$ قانون الانعكاس

$r = \acute{r}$ تقابل بالرأس

$\acute{r} = \acute{\emptyset}$ زاويتان متبادلتان

$\therefore\ \theta = \acute{\emptyset}$

$\theta = \emptyset$ زاويتان متبادلتان

$\therefore\ \emptyset = \acute{\emptyset}$

$tan\,\emptyset = tan\,\acute{\emptyset}$

$\frac{h}{s} = \frac{h}{\acute{s}}$

$\therefore\ \ s = -\acute{s}$

اي ان بعد الصورة عن المرآة يساوي بعد الجسم عنها

Dr. Emad

مواصفات الصور في المرايا المستويه:

1. خيالة $\acute{s}$ سالبة (تقع خلف المرأة)
2. معكوسة الجوانب
3. معتدلة
4. مساوية لحجم الجسم

أنظمة المرايا المستوية:

❖ يتكون نظام المرايا المستوية من مرآتين مستويتين أو اكثر تميل كل منهما على الاخرى بزاوية.

❖ أذا وجد جسم أمام مرآتين متوازيتين فأن كل منهما ستكوَن صورة لهذا الجسم (خيالية، معتدلة، مساوية للجسم).

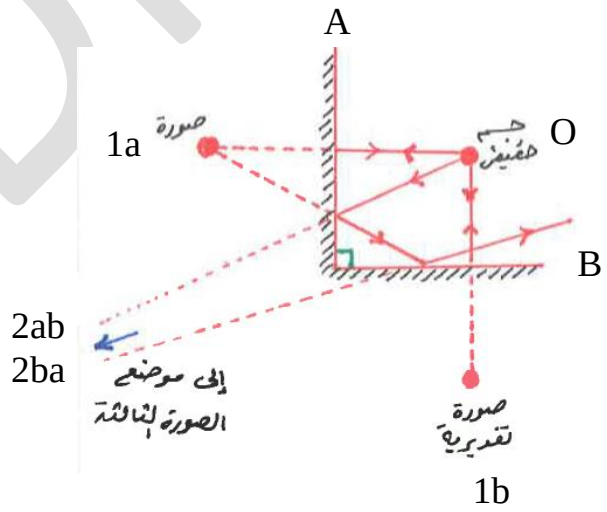
❖ صورة الجسم في المرآة تعتبر جسماً خيالياً للمرآة الأخرى وبالتالي لهُ صورة جديدة وهكذا تتعدد الصور لجسم واحد.

❖ يعتمد عدد الصور الناتجة في المرآتين على زاوية الميل بينهما (θ).

❖ يمكن حساب عدد الصور الناتجة لجسم واحد في مرآتين مستويتين تميل أحدهما على الأخرى بزاوية θ باستخدام القانون

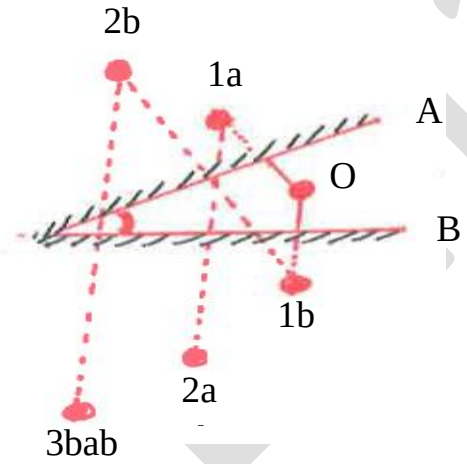
$$\text{عدد الصور} = \frac{360^{\circ}}{\theta} - 1$$

مثال: مرآتان مستويتان تصنعان زاوية 90° أحدهما مع الاخرى. جد أكبر عدد من الصور لجسم وضع بينهما والتي يمكن رؤيتها بعين وضعت في مكان مناسب؟



- المرأة A تكون الصورة 1a
- المرآة B تكون الصورة 1b
- أما صورة 1a في المرآة B أو صورة 1b في المرآة A فهي الصورة الثالثة 2ab وقد سميت الصورة 2ab لان الأشعة انعكست مرتين، مرة في A وأخرى في B . وقد رسمت والشخص ينظر الى المرآة B
- أذا نظرت العين الى المرآة A فأن الانعكاس الثاني يحصل في A وتسمى الصورة 2ba. لذا عدد الصور المتكونه هو ثلاث.

مثال: مرآتان مستويتان الزاوية بينهما 60°. جد أكبر عدد للصور أذا وضع الجسم بينهما ؟



- 1a و 1b تنتج من انعكاس واحد.
- 2ab و 2ba عن انعكاسين.
- 3bab من ثلاثة انعكاسات والراصد ينظر إلى المرآة B ، ولو نظر إلى المرآة A لسميت 3aba

لذا عدد الصور المتكونه هو خمس.

مثال: أذا كانت الزاوية بين مرآتين مستويتين θ فبرهن أن عدد الصور المتكونة لجسم بينهما يساوي

$$\left(\frac{360}{\theta}-1\right)$$

من الأمثلة السابقة نستنتج أن الفضاء بين وحول المرآتين ينقسم الى $\left(\frac{360}{\theta}\right)$ قطاعاً أو زاوية بما في ذاك الفضاء الحقيقي بين المرآتين.

- لاتوجد صورة بين المرآتين.
- لذا فالقطاعات $\left(\frac{360}{\theta}-1\right)$ هي فضاءات للصور تحتل كل واحد منهما صورة واحدة.
- لذا يكون عدد الصور مساويا إلى $\left(\frac{360}{\theta}-1\right)$

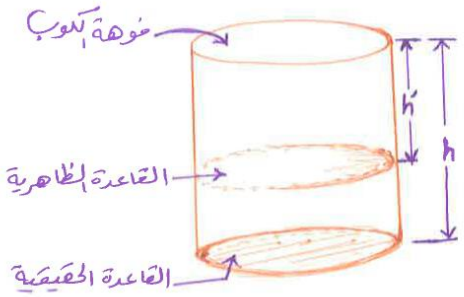
س/ ما هو البريسكوب periscope ؟

البعد الحقيقي والبعد الظاهري:

ظاهرة اقتراب قاعدة الكوب عندما يمتلأ بالماء !

أن عمق الكوب (ارتفاعه) عندما يكون فارغ يمثل قيمة حقيقة، أي يمثل بعد الحقيقي

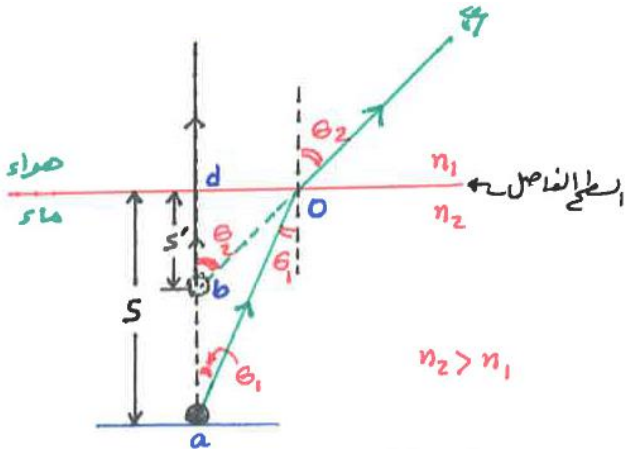
أما ارتفاع الكوب بألآقتراب الظاهري لقاعدته عند امتلائه بالماء فيسمى بالبعد الظاهري.



h' = العمق الظاهري

h = العمق الحقيقي

أن سبب حدوث هذا الاختلاف هو وجود الجسم في وسط يختلف في معامل الانكسار (الكثافة) عن الوسط الذي يتم مشاهدة الجسم منهُ أو حدوث أنكسار لمسار شعاع الضوء عند الانتقال بين الوسطين، مما يؤدي الى عدم تطابق بين مسار الشعاع المنكسر وأمتداد الشعاع الساقط أو العكس: كما يبدو في الشكل التالي



● الموقع الحقيقي

○ الموقع الظاهري

s بعد الجسم (البعد الحقيقي)

s' بعد الجسم (البعد الظاهري)

- عندما يكون الجسم في وسط أعلى كثافة وننظر اليه من وسط اقل كثافة $n_1 < n_2$ يبدو الجسم أقرب ألينا من موقعه الحقيقي.
- عندما يكون الجسم في وسط أقل كثافة n_1 (هواء) وننظر اليه من وسط أعلى كثافة n_2 (ماء) يبدو الجسم أبعد عن موقعه الحقيقي.

من المثلث ado $\quad tan\,\theta_1 = \frac{do}{s} \simeq sin\,\theta_1$

من المثلث bdo $\quad tan\,\theta_2 = \frac{do}{s'} \simeq sin\,\theta_2$

وبتطبيق قانون سنيل للانكسار عند نقطة السقوط o نجد:

$$n_2\ sin\,\theta_1 = n_1\ sin\,\theta_2$$

$$n_2\ \frac{do}{s} = n_1\ \frac{do}{s'}$$

$$\therefore\ \frac{n_2}{n_1} = \frac{s}{s'} = \frac{\text{البعد الحقيقي}}{\text{البعد الظاهري}}$$

- عندما يكون $n_2 > n_1$ فأن $s > \acute{s}$
- عندما $n_2 = n$ و $n_1 = 1$

$$\therefore\ n = \frac{s}{s'} = \frac{\text{البعد الحقيقي}}{\text{البعد الظاهري}}$$

س/ لماذا ترى السمكة داخل الماء الصياد على بعد أكبر من بعده الحقيقي عنها ؟

Dr. Emad

الزاوية الحرجة (Critical angle):

عند سقوط شعاع ضوء من وسط أقل كثافة على وسط أكثر كثافة، كانت زاوية السقوط اكبر من زاوية الانكسار

أما إذا كان السقوط من وسط أعلى كثافة، كانت زاوية السقوط أقل من زاوية الانكسار وهذا يعني أمكانية الوصول إلى مرحلة تصل فيها زاوية الانكسار إلى أقصى قيمة لها وهي 90° عندئذ تسمى زاوية السقوط في الوسط الأعلى كثافة بالزاوية الحرجة (θ_c).

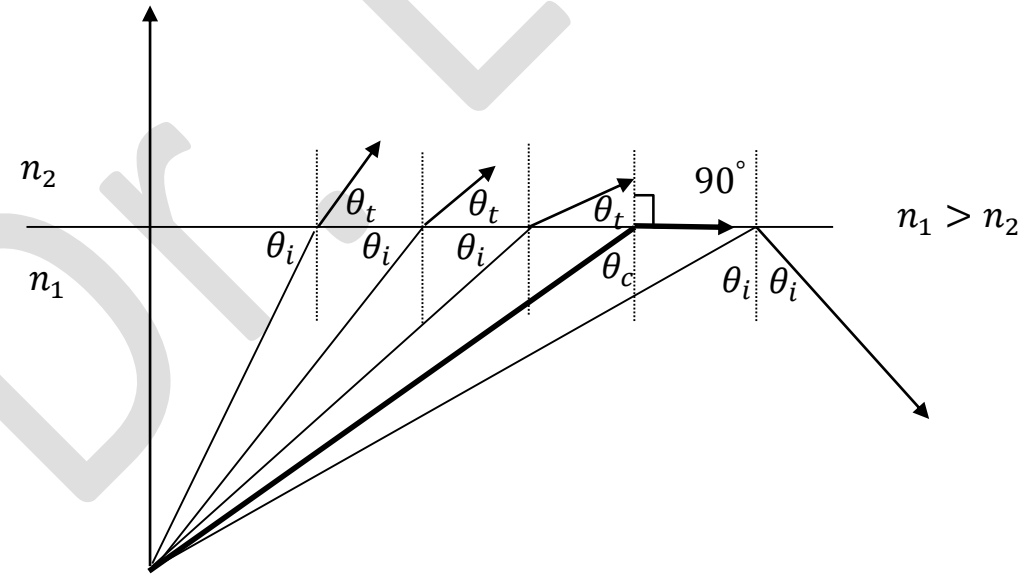
- الزاوية الحرجة (Critical angle): هي زاوية سقوط شعاع الضوء من وسط اعلى كثافة تقابلها زاوية انكسار 90° في الوسط الاقل كثافة.
- تعتمد الزاوية الحرجة على معاملي انكسار الوسطين فقط

$$n_1 \sin\theta_c = n_2 \sin 90^{\circ}$$

$$\therefore \ \theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

ملاحظ : تسمى حرجة لأنها تمثل الحد الفاصل بين حدوث ظاهرتي الانعكاس والانكسار.

ظاهرة الأنعكاس الكلي الداخلي: Total Internal Reflection (TIR)

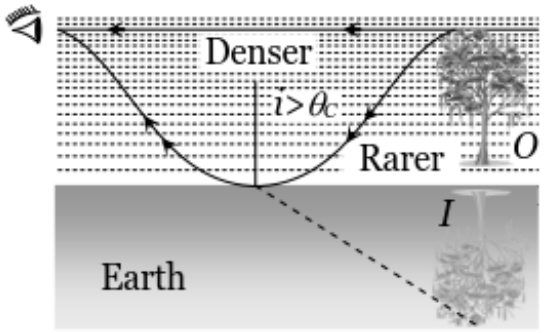


يبين الشكل أعلاه حدوث ظاهرة الانعكاس الكلي على السطح الفاصل بين وسطين عندما تكون زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة. $(\theta_i > \theta_c) \Leftarrow (\sin\theta_t = 1)$

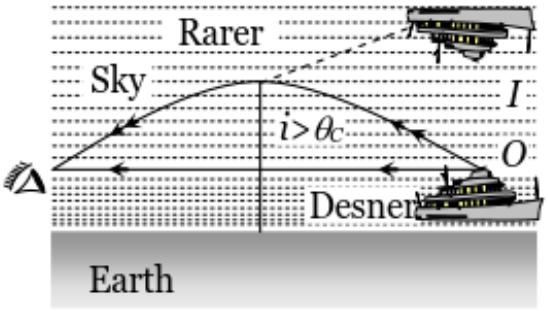
- عندما $\theta_i < \theta_c$ ، يحدث انعكاس جزئي لشدة الشعاع الساقط وتنتقل باقي الطاقة إلى الوسط الأقل كثافة ولكن بزاوية اكبر من زاوية السقوط.
- أنعكاس: لان الشعاع الساقط يرتد من نفس وسط السقوط بعد اصطدامه بالسطح الفاصل.
- كلي: لأن كل طاقة الشعاع الساقط لاتتجزأ بل تظل كلها في الشعاع المنعكس.
- داخلي: لأن عملية الانعكاس حدثت في نفس الوسط بدون وسط عاكس (مرآة) بل يعمل السطح الفاصل بين الوسطين كمرآة عالية الكفاءة (تعكس بنسبة 100%).

أمثله على الانعكاس الكلي الداخلي:

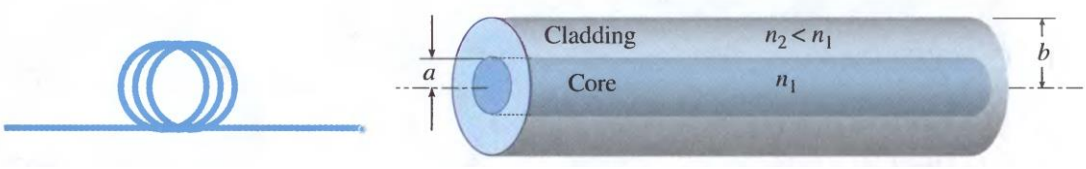
- السراب الصيفي *Mirage* *H.W*



- السراب الشتوي *Looming* *H.W*



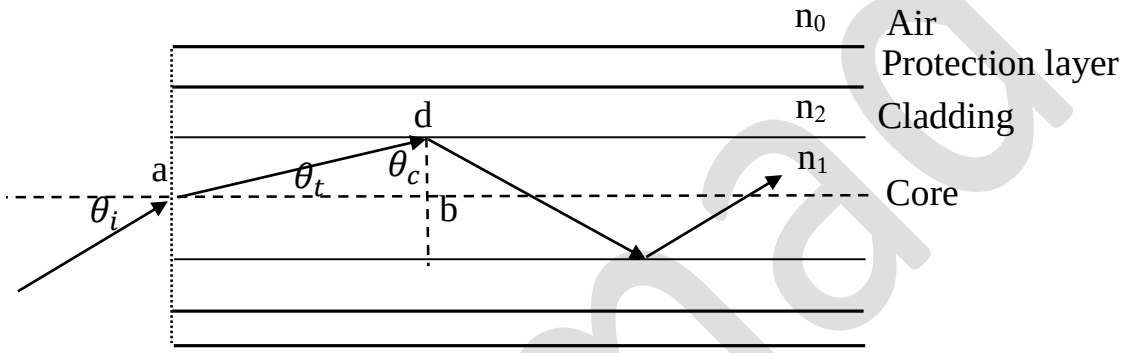
- الليف البصري *Optical Fibre*



الألياف البصرية:

يتكون الليف البصري من عدة طبقات اسطوانية متداخلة تختلف عن بعضها في معامل الانكسار.

- الاسطوانه الداخلية core: القلب المركزي وهو من الزجاج الشفاف جداً.
- الاسطوانه الخارجية cladding: الغلاف العاكس وبمعامل أنكسار أقل من مادة القلب.
- الغلاف الواقي Protection layer: وهو عبارة عن غلاف من البلاستيك يحمي الليف من الرطوبه والكسر.



$$n_1 > n_2 \ , \quad n_1 > n_0$$

من الشكل أعلاه نلاحظ أن الشعاع الساقط على القلب المركزي داخل ماده القلب سينكسر

اذا كانت $\theta_i > o$ و زاوية الانكسار $\theta_t < \theta_i$

- بتطبيق قانون سنيل عند النقطة d

$$n_1 \sin\theta_c = n_2 \sin 90^\circ$$

$$\therefore \ \sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

$$\theta_c + \theta_t = 90^\circ \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

- بتطبيق قانون سنيل عند النقطة a

$$n_0 \sin\theta_i = n_1 \sin\theta_t \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

- من تعويض (2) في (3) نحصل على

$$n_0 \sin\theta_i = n_1 \sin(90^\circ - \theta_c)$$

$$\because \quad \sin(90^\circ - \theta_c) = \cos\theta_c$$

$$n_0 \sin\theta_i = n_1 \cos\theta_c$$

Dr. Emad

$$\therefore \quad n_0 \sin\theta_i = n_1 \sqrt{1 - \sin^2\theta_c} \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

- ومن تعويض (1) في (4) ينتج

$$\therefore \quad n_0 \sin\theta_i = n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}$$

- ولمعرفة حدود زاوية السقوط θ_i

$$\therefore \quad \theta_i = \sin^{-1}\left(\sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_0}}\right)$$

حيث يعرف المقدار $\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ بالفتحة العددية لليف البصري *Numerical Apertures (NA)*.

- عند دخول شعاع الضوء إلى القلب المركزي بزاوية اقل من θ_i ، فأنها ستخرج من الطرف الأخر بعد عدة انعكاسات داخلية وبشدته التي دخل بها لعدم تشتت الضوء أو امتصاصه داخل مادة القلب.

مثال: أحسب الزاوية الحرجة للماء أذا سقط شعاع ضوئي من الماء الى الهواء $n=1.33$ للماء $n=1$ للهواء؟

$$n_1 \sin\theta_c = n_2 \sin 90^\circ$$

$$\therefore \quad \theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1}{1.33}\right) = 48.5^\circ$$

مثال: يوجه احد الغواصين شعاع ليزر من تحت الماء الى الاعلى بزاوية مقدارها 37° مع الاتجاه العمودي (الرأسي). ماهي الزاوية التي يخرج بها الشعاع الى الهواء ؟

$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_t$$

$$1.33 * \sin 37^\circ = 1 * \sin\theta_t \implies \therefore \quad \theta_t = \sin^{-1}[1.33 * \sin 37^\circ] = 53^\circ$$

مثال: ليف بصري لهُ قلب مركزي معامل أنكساره $n_1 = 1.475$ وغلاف عاكس معامل انكساره $n_2 = 1.460$. أحسب:

a. مقدار اكبر زاوية سقوط ؟

b. الفتحة العددية (NA) لهذا الليف ؟

c. الزاوية الحرجة ؟

d. زاوية الانعكاس الكلي ؟

$$a) \quad \theta_i = sin^{-1}(\frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0})$$

$$= sin^{-1}\left(\frac{\sqrt{1.475^2 - 1.460^2}}{1}\right)$$

$$= sin^{-1}(0.21)$$

$$= 12.11^{\circ}$$

$$b) \quad NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$= \sqrt{1.457^2 - 1.460^2} = 0.21$$

$$c) \quad n_1 \sin\theta_c = n_2 \sin 90^{\circ}$$

$$\theta_c = sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = sin^{-1}\left(\frac{1.460}{1.475}\right) = 81.82^{\circ}$$

$$d) \quad n_0 \sin\theta_i = n_1 \sin\theta_t$$

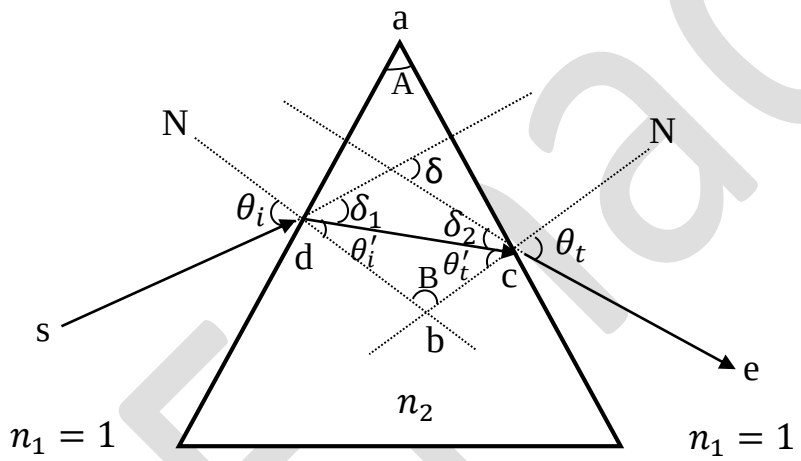
$$\theta_t = sin^{-1}\left(\frac{n_0 \sin\theta_i}{n_1}\right) = sin^{-1}\left(\frac{0.21}{1.475}\right) = 8.18^{\circ}$$

Dr. Emad

الانكسار بواسطة الموشور *(Refraction by prism):*

الموشور: هو مجسم هندسي ذو ثلاثة أوجه مستطيلة و قاعدتين كل منهما مثلثة الشكل. ويصنع الموشور من الزجاج أو البلاستيك الشفاف.

يوضع الموشور أثناء الاستخدام أما على إحدى قاعدتيه المثلثة أو احد الأوجه المستطيلة وفي هذه الحالة تكون الزاوية المقابلة هي **زاوية رأس الموشور** ويرمز لها بالرمز **A**، وتتراوح قيمتها من قيمة صغيرة جداً الى 180° حسب الهدف من استخدام الموشور.



θ_i : زاوية السقوط

θ_i' : زاوية الانكسار

θ_t : زاوية الخروج للشعاع من الموشور

θ_t' : زاوية السقوط على الوجه المقابل

- أذا سقط شعاع من الضوء على الموشور زجاجي ثلاثي مثل الشعاع sd فأنه ينكسر مقترباً نحو العمود على أستقامة dc عند دخوله الموشور وينكسر مبتعداً عن العمود باستقامة ce عند مغادرته الموشور.

δ : زاوية انحراف الموشور وهي الزاوية المحصورة بين امتدادي الشعاع الساقط والشعاع الخارج وتكون اقل مايمكن عندما تكون زاوية السقوط والخروج متساويتين وتسمى عندئذ بزاوية الانحراف الصغرى $(\delta = \delta_m)$

من الشكل الرباعي adbc

$A + B = 180^{\circ}$

(مجموع زاويا الشكل الرباعي = 360° , وأن $\measuredangle adb = \measuredangle acb = 90^{\circ}$)

ومن المثلث dbc

$\theta_i' + \theta_t' + B = 180^{\circ}$

$\therefore \quad A + B = \theta_i' + \theta_t' + B$

$\therefore \quad A = \theta_i' + \theta_t' \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$

$\delta = \delta_1 + \delta_2$,

$\because \quad \theta_i = \delta_1 + \theta_i' \ , \qquad \theta_t = \delta_2 + \theta_t'$

$\therefore \quad \delta = (\theta_i - \theta_i') + (\theta_t - \theta_t')$

$= \theta_i + \theta_t - (\theta_i' + \theta_t')$

$\therefore \quad \delta = \theta_i + \theta_t - A \ldots\ldots\ldots \quad (2)$

* أن زاوية الانحراف تعتمد على: زاوية السقوط ، زاوية الخروج ، زاوية رأس الموشور

* تكون δ في نهايتها الصغرى عندما $\theta_i = \theta_t$ وان المعادلة (2) تصبح

$\delta = \delta_m = 2\theta_i - A$

$\therefore \quad \theta_i = \dfrac{A + \delta_m}{2}$

* وكذلك $\theta_i' = \theta_t'$ ومن المعادلة (1) فأن

$A = 2\,\theta_i' \Longrightarrow \theta_i' = {}^{A}/_{2}$

للوسط الأول $n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_i'$

وأن $n_1 = 1$ ، $n_2 = n$ ، حيث n معامل أنكسار مادة الموشور

$\therefore \quad n = \dfrac{\sin\theta_i}{\sin\theta_i'}$

$\therefore \quad n = \dfrac{\sin {}^{1}/_{2}\,(A + \delta_m)}{\sin({}^{A}/_{2})}$

مثال: موشور زجاجي ثلاثي زاوية رأسه $60°$ ومعامل أنكساره 1.62، اذا سقط شعاع ضوئي على أحد وجهيه بزاوية سقوط $70°$. أوجد:

a. زاوية أنحراف الموشور بالرسم والحساب

b. زاوية الانحراف الصغرى بالرسم والحساب

c. هل الشعاع ينفذ من السطح الأخر أم لا ولماذا ؟

$a.\ \ \delta = \theta_i + \theta_t - A$

At point d:

$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_i'$

$1 * sin(70°) = 1.62 * \sin\theta_i'$

$\therefore \theta_i' = 35.45°$

$\because A = \theta_i' + \theta_t'$

$60° = 35.45° + \theta_t'$

$\therefore \theta_t' = 24.55°$

At point c:

$n_2 \sin\theta_t' = n_1 \sin\theta_t$

$1.62 * sin(24.55°) = 1 * \sin\theta_t$

$\therefore \theta_t = 42.29°$

$\because \delta = \theta_i + \theta_t - A$

$= 70° + 42.29° - 60°$

$\therefore\ \ \delta = 52.29°$

$$b.\quad n = \frac{\sin {}^{1}/_{2}\,(A + S_m)}{\sin({}^{A}/_{2})}$$

$$1.62 = \frac{\sin\left(\frac{60° + \delta_m}{2}\right)}{\sin({}^{60°}/_{2})}$$

Dr. Emad

$$1.62 = \frac{sin\left(\frac{60° + \delta_m}{2}\right)}{sin\,30°}$$

$$1.62 = \frac{sin\left(\frac{60° + \delta_m}{2}\right)}{0.5}$$

$$0.81 = sin\left(\frac{60° + \delta_m}{2}\right)$$

$$sin^{-1}(0.81) = \frac{60° + \delta_m}{2}$$

$$\delta_m = 2 * sin^{-1}(0.81) - 60°$$

$$\therefore \quad \delta_m = 48.18°$$

$$c. \quad \theta_c = sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

$$= sin^{-1}\left(\frac{1}{1.62}\right)$$

$$\therefore \quad \theta_c = 38.11°$$

$$\because \quad \theta_t' = 24.55°$$

$$\therefore \quad \theta_t' < \theta_c$$

لذا الشعاع ينفذ

H.W: موشور ثلاثي زاوية رأسه $60°$ ومعامل انكسار مادته $^3/_2$ ، غمر في الماء $n_w = {}^4/_3$. فأذا أسقط عليه شعاع من الماء بزاوية 30° . مامقدار زاوية الانحراف ؟

H.W: P.32

Q): 1, 3, 4, 5, 7

Dr. Emad