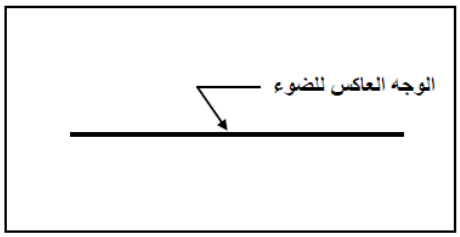
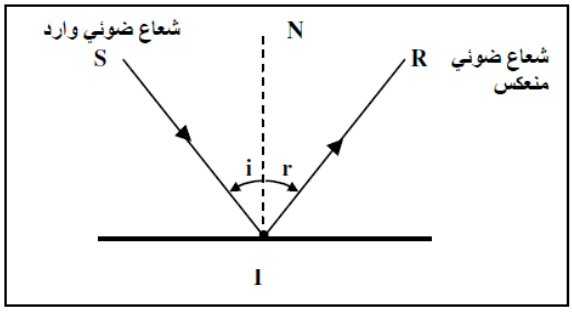
1- قانوني الانعكاس - تذكير

● ظاهرة انعكاس الضوء :

- انعكاس الضوء هو الظاهرة التي تتمثل في رجوع الضوء في نفس وسط انتشاره عندما يلاقي سطحا فاصلا بين هذا الوسط ووسط آخر ، يسمى هذا السطح الفاصل بين الوسطين بـ **المرآة** ، و في الحالة التي يكون فيها هذا السطح مستويا يسمى عندها بـ **مرآة مستوية** .
- كأمثلة عن مرايا مستوية نذكر : صفيحة معدنية مصقولة بشكل جيد ، ماء راكد ، صفيحة زجاجية أحد وجهيها يكون مفضفض .
- نمثل المرآة المستوية بقطعة مستقيمة ، يظلل وجهها غير العاكس ، كما موضح في الشكل التالي :



- إذا سلطنا حزمة ضوئية على مرآة مستوية نلاحظ أن هذه الحزمة تنعكس كما مبين في الشكل التالي :



- يسمى الشعاع الضوئي (SI) بـ **شعاع ضوئي وارد** .
- يسمى الشعاع الضوئي (IR) بـ **شعاع ضوئي منعكس** .
- تسمى الزاوية $\hat{i}$ بين الشعاع الوارد و الناظم (NI) بـ **زاوية الورود** .
- تسمى الزاوية $\hat{r}$ ، بين الشعاع المنعكس و الناظم (NI) بـ **زاوية الإنعكاس** .

● قانوني الإنعكاس :

القانون الأول :

الشعاع الضوئي الوارد و الشعاع الضوئي المنعكس في ظاهرة الإنعكاس يقعان في مستوي واحد .

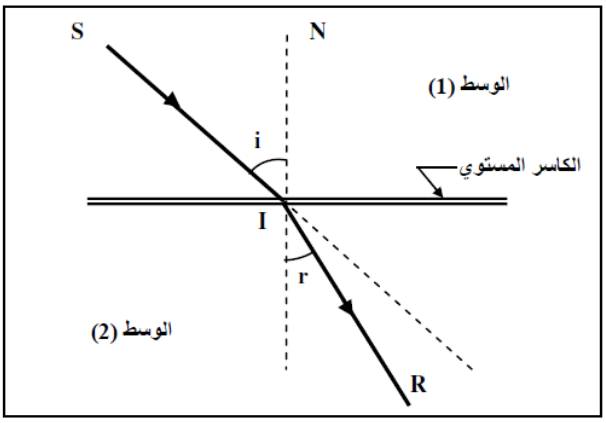
القانون الثاني :

زاوية الورود في ظاهرة الإنعكاس ، تكون مساوية لزاوية الإنعكاس مهما كانت زاوية الورود ، أي : $\hat{i} = \hat{r}$

2- قانوني الانكسار

● تعاريف :

- انكسار الضوء هو ظاهرة فيزيائية يغير فيها الضوء فجأة اتجاهه ، بعد أن يجتاز السطح الفاصل بين وسطين شفافين (الشكل) .



- يسمى السطح الفاصل بين وسطين شفافين بالكاسر ، و إذا كان هذا السطح مستويا ، نقول عنه **كاسر مستوي** .
- كأمثلة عن الكاسر المستوي نذكر : السطح الحر للماء ، صفيحة زجاجية شفافة .
- يسمى الشعاع (SI) **الشعاع الضوئي الوارد** .
- يسمى الشعاع (IR) **الشعاع الضوئي المنكسر** .
- تسمى الزاوية $\hat{i}$ بين الشعاع الوارد و الناظم (NI) **بزاوية الورود** .
- تسمى الزاوية $\hat{r}$ بين الشعاع المنكسر و الناظم (NI) **بزاوية الإنكسار** .

● قانوني الإنكسار :

القانون الأول :

- الشعاع الضوئي الوارد و الشعاع الضوئي المنكسر في ظاهرة الانكسار يقعان في مستوي واحد .

القانون الثاني :

- تكون النسبة $\frac{\sin i}{\sin r}$ بالنسبة لوسطين شفافين متجانسين ثابتة مهما كانت زاوية الورود .
- يمكن أن نعبر عن هذا القانون كما يلي :

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n$$

- الثابت n يدعى القرينة النسبية للوسط الثاني إلى قرينة انكسار الوسط الأول و نكتب :

$$n = \frac{n_2}{n_1}$$

حيث n_1 تدعى قرينة الإنكسار المطلقة للوسط الأول الذي حدث فيه الورود و n_2 قرينة الإنكسار المطلقة للوسط الثاني الذي حدث فيه الإنكسار ، و منه يمكن صيغة القانون الثاني للانكسار كما يلي :

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

- إذا كان الوسط الأول هو الهواء تكون قرينة انكساره $n_1 = 1$. و يكتب القانون الثاني في هذه الحالة كما يلي :

$$\sin i = n \sin r$$

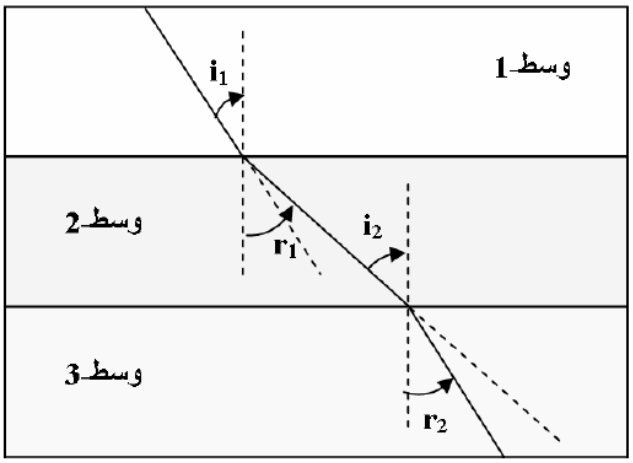
حيث n قرينة انكسار الوسط الثاني .

▪ قيم قرائن الإنكسار لبعض المواد :

المادة	قرينة الإنكسار n
الهواء	1
الجليد	1.31
الماء	1.33
الكحول الإيثيلي	1.36
الزجاج العادي	1.38
زجاج الكوارتز	1.46
زجاج الكروان	1.52
زجاج الفلينت الخفيف	158
الألماس	2.42

التمرين (1) :

يجتاز شعاع ضوئي ثلاث أوساط شفافة :
- وسط-1 قرينة انكساره $n_1 = 1$ (الهواء)
- وسط-2 قرينة انكساره $n_2 = 1.5$
- وسط-3 قرينة انكساره $n_3 = 1.2$ (الشكل) .



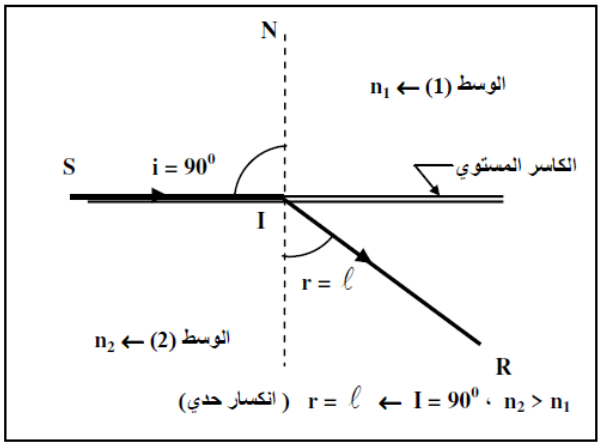
1- سير الأشعة في (الشكل-1) تحتوي على خطأ ، أعد رسم سير الأشعة بشكل صحيح في الشكل على ورقتك .

2- إذا كانت زاوية الانكسار في الوسط-2 هي $r_1 = 20^0$.
أ- أحسب زاوية الورود i_1 في الوسط-1 .
ب- استنتج زاوية الوورد i_2 في الوسط-2 .
جـ أحسب زاوية الانكسار r_2 في الوسط-3 .

3- الانكسار الحدى و الانعكاس الكلي

● الإنكسار الحدي :

- عندما تقترب زاوية الورود من القيمة 90^0 تنتهي زاوية الإنكسار نحو قيمة معينة ثابتة نعتبرها ℓ ، تدعى هذه الزاوية **زاوية الإنكسار الحدي** . بعبارة أخرى تغير زاوية الورود i من $0°$ إلى $90°$ ، يقابلها تغير في زاوية الانكسار من $0°$ إلى قيمة حدية ($r = \ell$) . (الشكل) .



● عبارة القيمة الحدية للإنكسار :

تزداد زاوية الانكسار r كلما ازدادت زاوية الورود i و عندما تقترب زاوية الورود إلى القيمة $i = 90°$ تنتهي زاوية الإنكسار إلى زاوية ثابتة ندعوها الزاوية الحدية للانكسار يرمز لها بـ ℓ .

- بتطبيق القانون الثاني للانكسار :

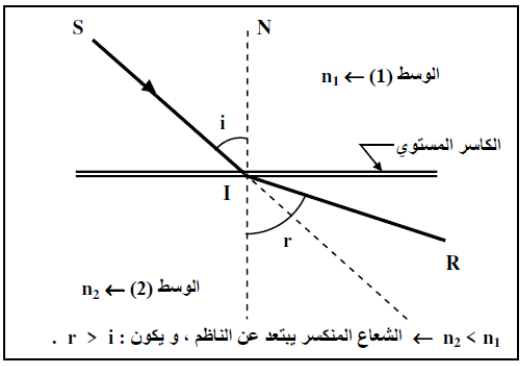
$n_1 \sin i = n_2 \sin r$
$n_1 \sin 90° = n_2 \sin \ell$
$n_1 = n_2 \sin \ell$

إذن :

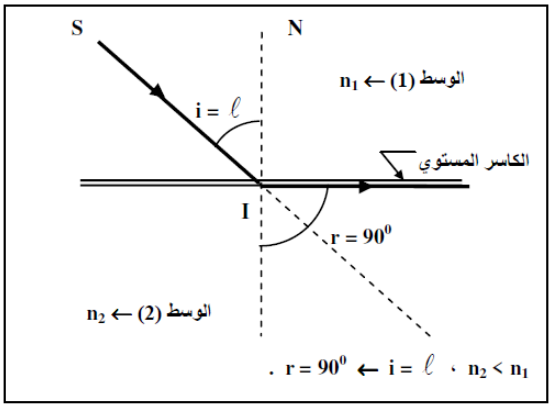
$$\sin \ell = \frac{n_1}{n_2}$$

● الإنعكاس الكلي :

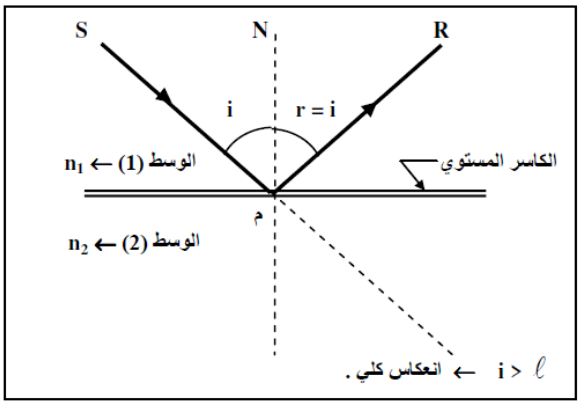
- نعتبر شعاع ضوئي ينتقل من وسط شفاف (1) قرينة انكساره n_1 إلى وسط شفاف (2) قرينة انكساره n_2 حيث يكون $n_1 > n_2$ أي أن الوسط الشفاف (1) أكثر كسرا من الوسط الشفاف (2) .



في هذه الحالة نلاحظ أنه إذا تغيرت زاوية الورود من 0° إلى الزاوية الحدية ℓ ، فإن زاوية الانكسار تتغير من 0° إلى 90° كما مبين في الشكل التالي و عندما تكون زاوية الورود مساوية لمقدار القيمة الحدية (ℓ) ، تكون زاوية الإنكسار مساوية للقيمة 90^0 (الشكل) .

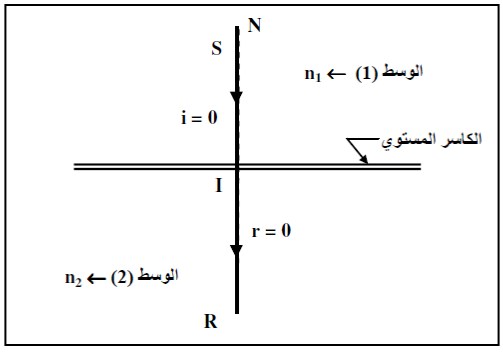


- إذا كانت زاوية الورود أكبر من الزاوية الحدية ($i > \ell$) ، فإنه لا تعود هناك حزيمة منكسرة ، حيث تنعكس الحزمة الواردة كليا (الشكل) ، و تدعى هذه الظاهرة بـ **الإنعكاس الكلي** .



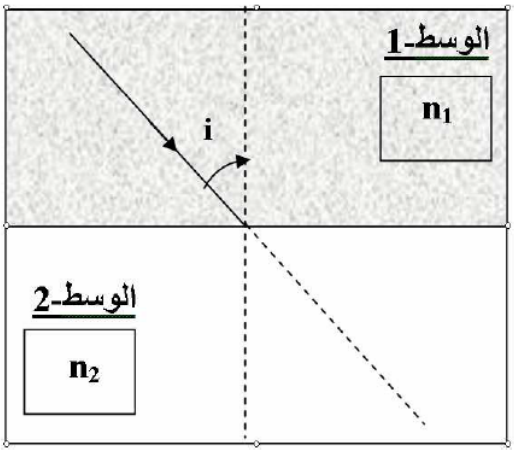
ملاحظة :

- إذا كان $i = 0$ يكون حسب قانون الإنكسار $\sin r = 0$ ، و منه $r = 0$ ، هذا يعني أنه إذا كان الشعاع الوارد ناظمي على الكاسر المستوي ، فإنه لا ينحرف عند دخوله الوسط (2) (الشكل) .



التمرين (2) :

1- نعتبر شعاع ضوئي ، يخترق وسط-1 شفاف قرينة انكساره n_1 ، و عند خروجه منه يخترق وسط-2 شفاف قرينة انكساره n_2 .



أ- اذكر نص قانوني الإنكسار .

ب- بين برسم مسار الشعاع الضوئي ، داخل الوسط الثاني في الحالتين التاليتين : $n_2 > n_1$ ، $n_2 < n_1$. قارن بين i و r في كل مرة .

2- نعتبر الوسط-1 عبارة عن زجاج عادي قرينة انكساره $n_1 = 1.5$ و الوسط-2 عبارة عن الهواء $n_2 = 1$.

أ- أوجد زاوية الإنكسار r ، إذا كانت زاوية الورود $i = 20^0$.

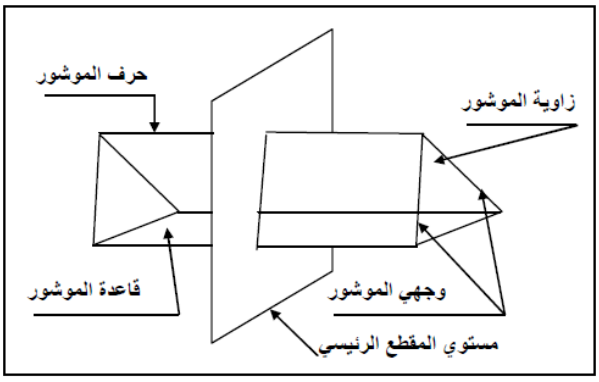
ب- أحسب زاوية الإنكسار r عندما تكون زاوية الورود $i = 41.82^0$ ، ماذا تستنتج ؟

جـ- ماذا يحدث لو تكون زاوية الورود أكبر من 41.82^0 . مثل برسم سير الشعاع الضوئي عبر الوسطين .

4- انحراف الضوء في موشور

• تعريف الموشور :

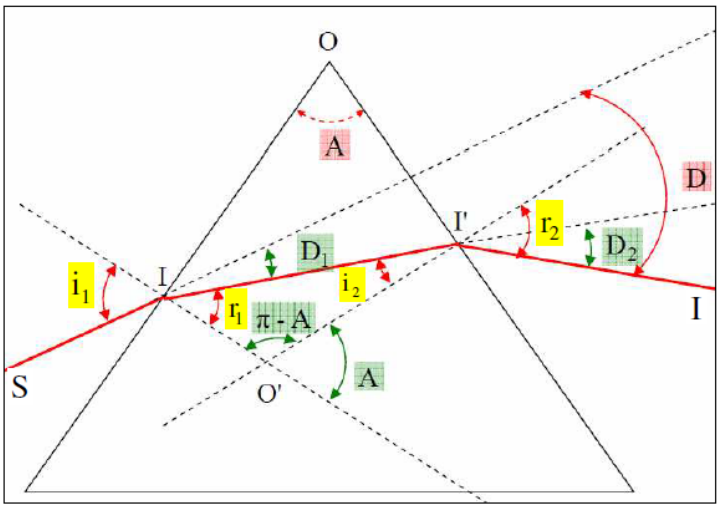
- الموشور هو كل وسط شفاف متجانس محدود بمستويين غير متوازيين ، يسمى كل من هذين المستويين **وجهي الموشور** ، و يسمى خط تقاطعهما بـ **حرف الموشور** ، كما تسمى الزاوية المحصورة بينهما بـ **زاوية الموشور** . (الشكل) .



- يسمى المستوي العمودي على الحرف بـ **مستوي المقطع الرئيسي** و سوف لن نأخذ بعين الإعتبار إلا الأشعة الموجودة في هذا المستوي .

• علاقات الموشور :

▪ علاقة بين r ، r' ، A :



- من المثلث (O'II') يكون :

$$r_1 + i_2 + (\pi - A) = \pi$$

(لأن مجموع زوايا المثلث مساوي 180° أي π راديان) .

ومنه :

$$r_1 + i_2 + \pi - A = \pi$$

إذن :

$$\boxed{r_1 + i_2 = A}$$

▪ علاقة بين n ، i ، r :

- بتطبيق قانون الانكسار الثاني عند دخول الشعاع الضوئي الوارد إلى الموشور :

$$n_0 \sin i_1 = n \sin r_1$$

و حيث أن $n_0 = 1$ (قرينة انكسار الهواء) يصبح :

$$\boxed{\sin i_1 = n \sin r_1}$$

▪ علاقة بين n ، r' ، i' :

- بتطبيق قانون الانكسار الثاني عند خروج الشعاع الضوئي المنكسر من الموشور :

$$n \sin i_2 = n_0 \sin r_2$$

و حيث أن $n_0 = 1$ (قرينة انكسار الهواء) يصبح :

$$\boxed{n \sin i_2 = \sin r_2}$$

4- علاقة بين D ، i_1 ، r_2 ، A :

اعتمادا على الشكل الهندسي :

- الشعاع الضوء الوراد SI عندما ينكسر في النقطة I يعاني انحراف D_1 ، و حيث أن الزاويتين i_1 ، $(r_1 + D_1)$ متقابلتين بالرأس يكون :

$r_1 + D_1 = i_1 \rightarrow D_1 = i_1 - r_1$

- الشعاع الضوئي الوارد 'II عندما ينكسر في النقطة 'I يعاني انحراف D_2 ، و حيث أن الزاويتين i_2 ، $(r_2 - D_2)$ متقابلتين بالرأس يكون :

$r' = i' - D_2$

ومنه :

$D_2 + i_2 = r_2 \rightarrow D_2 = r_2 - i_2$

- الإنحراف الكلي D الذي يعانيه الشعاع الضوئي الخارج من الموشور هو :

$D = D_1 + D_2$

و منه :

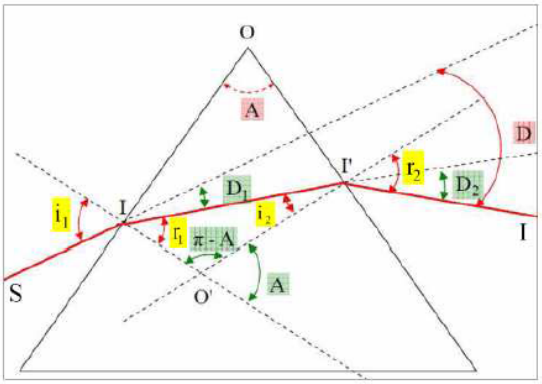
$D = (i_1 - r_1) + (r_2 - i_2)$
$D = i_1 - r_1 + r_2 - i_2$
$D = i_1 + r_2 - r_1 - i_2$
$D = i_1 + r_2 - (r_1 + i_2)$

مما سبق وجدنا : $(r_1 + i_2 = A)$ يصبح لدينا :

$$D = i_1 + r_2 - A$$

نتيجة :

في موشور قرينة انكساره n و زاويته A تتحقق العلاقات التالية :



$$\sin i_1 = n \sin r_1$$
$$n \sin i_2 = \sin r_2$$
$$r_1 + i_2 = A$$
$$D = i_1 + r_2 - A$$

• شرطي بروز الشعاع الضوئي من الموشور :

الشرط الأول :

- بما أن الشعاع الضوئي ينعكس كليا من أجل $i_2 > \ell$ ، و بالتالي من المؤكد أنه لا يحدث له ذلك من أجل :

$i_2 < \ell$ ..... (1)

- من جهة أخرى نعلم أنه يحدث انكسار على الوجه الأول عندما يكون :

$r_1 < \ell$ ..... (2)

من (1) و (2) يمكن كتابة العلاقة :

$r_1 + i_2 < 2\ell$

- من قوانين الموشور لدينا : $r_1 + i_2 = A$ و منه يمكن كتابة :

$$A < 2\ell$$

و هو الشرط الأول لبروز الأشعة الضوئية من الموشور .

نتيجة :

- حتى يبرز الشعاع الوارد من الموشور ، ينبغي أن يصل هذا الشعاع إلى الوجه الثاني للموشور ، بزاوية ورود أصغر أو تساوي الزاوية الحدية للإنكسار (ℓ) ، التي تميز مجموعة مادة الموشور و الهواء ، و عليه لا يمكن لأي شعاع وارد أن يخرج من موشور إلا إذا كانت زاوية هذا الموشور A أقل من ضعفي الزاوية الحدية للإنكسار ، أي : $A > 2\ell$

الشرط الثاني :

- مما سبق حتى لا يحدث بروز للشعاع الضوئي من الموشور يجب أن يكون : $r' < \ell$.

و من قوانين الموشور لدينا :

$$r_1 + i_2 = A \rightarrow i_2 = A - r_1$$

يصبح لدينا :

$$A - r_1 < \ell \rightarrow A - \ell < r_1 \rightarrow r_1 > A - \ell$$

و من خواص الدالة sin يمكن كتابة :

$$\sin r_1 > \sin(A - \ell)$$

- بضرب الطرفين في n نجد :

$$n \sin r_1 > n \sin (A - \ell)$$

و حيث أن $n \sin r = \sin i$ (حسب القانون الثاني للإنكسار) يصبح :

$$\sin i_1 > n \sin (A - \ell)$$

من اجل $i = i_0$ يكون الشعاع البارز مماسيا للوجه الثاني للموشور و منه نجد :

$$\boxed{\sin i_0 \geq \sin (A - \ell)}$$

نتيجة :

- القيم اللازم إعطائها لزاوية الورود حتى يكون هناك بروز بعد تحقق الشرط الأول ، هي القيم التي تحقق العلاقة التالية :

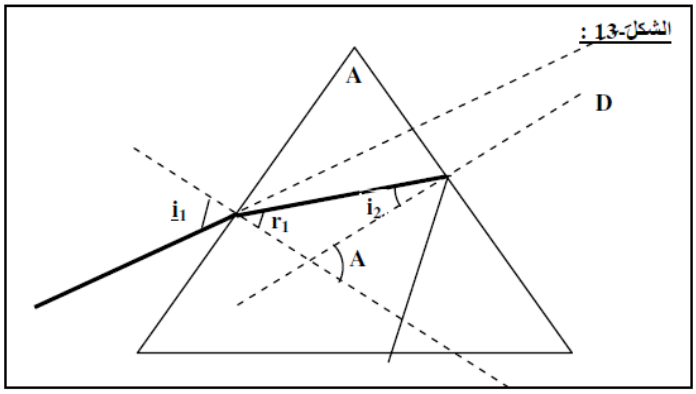
$$\boxed{\sin i_0 \geq \sin (A - \ell)}$$

حيث i_0 هي أدنى قيمة لزاوية الورود على الوجه الأول للموشور .

• الإنعكاس الكلي في الموشور :

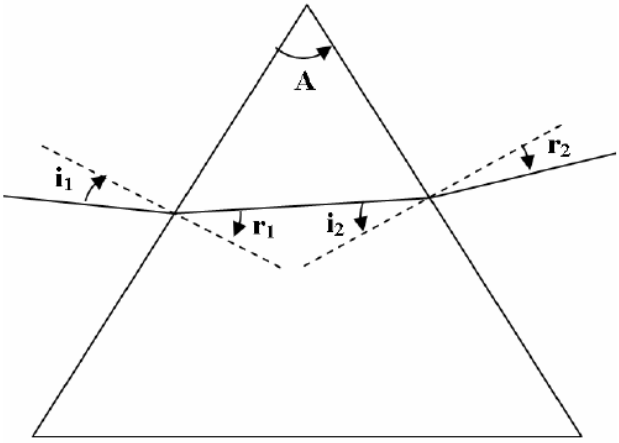
- يحدث انعكاس كلي للشعاع الضوئي الساقط على الوجه الثاني للموشور إذا تحقق : $0 \leq i_1 \leq i_0$

الشكل-13 :



التمرين (3) :

يرد شعاع ضوئي وحيد اللون من الهواء ($n_1 = 1$) إلى موشور زاوية رأسه $A = 60°$ و قرينة انكساره $n_2 = 1.5$ ثم يخرج مرة ثانية من الموشور إلى الهواء (الشكل) .

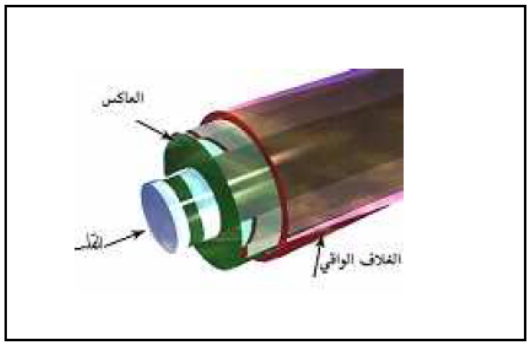


1- سير الأشعة في (الشكل) تحتوي على خطأ ، أعد رسم سير الأشعة بشكل صحيح في الشكل على ورقتك .
2- إذا كانت الزاوية التي يرد بها الشعاع الضوئي إلى الموشور هي $i_1 = 49^0$:
أ- أحسب الزاوية التي يخرج بها الشعاع الضوئي من الموشور r_2 .
ب- أوجد مقدار الإنحراف D .

5- تطبيقات الانكسار - الألياف البصرية

● تعريف الألياف البصرية :

- الألياف البصرية هي مجموعة من ألياف مصنوعة من الزجاج النقي طويلة ورفيعة لا يتعدى سمكها سمك الشعرة ، تجمع المئات أو الآلاف من هذه الألياف ، و تصطف معا في حزمة واحدة لتكوّن الحبل الضوئي الذي يُحمى بغطاء خارجي (الشكل) .

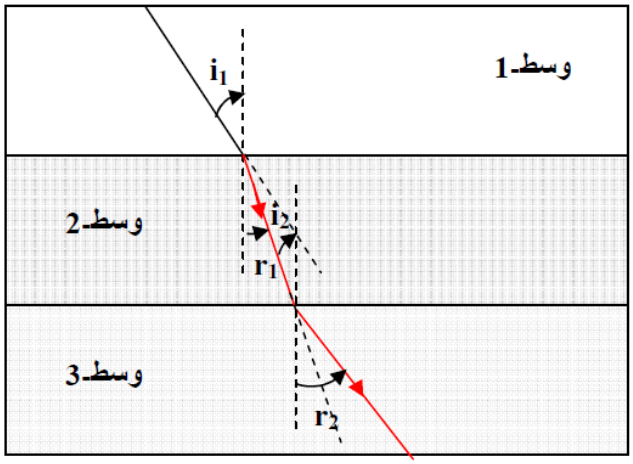


- تستخدم الألياف البصرية في نقل الإشارات الضوئية لمسافات بعيدة جداً تقدر بالمئات أو آلاف الكيلومترات ، وهي تستعمل بالخصوص في شبكات الاتصال .
- الألياف البصرية هي إحدى التطبيقات العملية لظاهرة الانعكاس الكلي .

الأجوبة :

التمرين (1) :

1- الرسم الصحيح :



2- أ- حساب زاوية الورود i_1 في الوسط -1 :
بتطبيق القانون الثاني للانكسار :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin r_1$$

$$\sin i_1 = \frac{n_2 \sin r_1}{n_1} \qquad (n_1 = 1)$$

$$\sin i_1 = \frac{1.5 \ . \ \sin 20°}{1} = 0.51 \ \rightarrow \ i_1 \approx 31°$$

ب- زاوية الورود i_2 في الوسط -2 :
من الشكل و بالتبادل الداخلي يكون $i_2 = r_1 = 20°$
جـ- زاوية الانكسار r_2 في الوسط -3 :
بتطبيق القانون الثاني للانكسار :

$$n_2 \sin i_2 = n_3 \sin r_2$$

$$\sin r_2 = \frac{n_2 \sin i_2}{n_3}$$

$$\sin r_2 = \frac{1.5 \ . \ \sin 20°}{1.2} = 0.43 \ \rightarrow \ r_2 \approx 25°$$

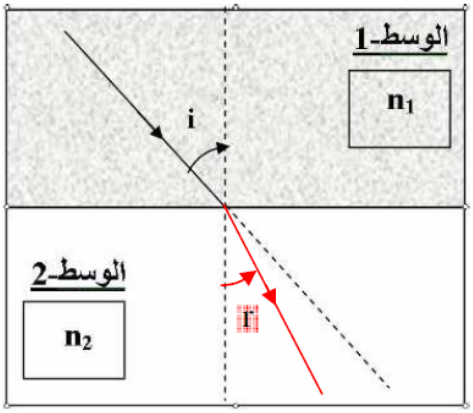
التمرين (2) :

1- أ- قانوني الانكسار :
القانون الأول :
الشعاع الضوئي الوارد و الشعاع الضوئي المنكسر يقعان في نفس المستوي .
القانون الثاني :
النسبة بين جب زاوية الورود i و زاوية الانكسار r ، تكون ثابتة مهما كانت زاوية الورود أي : $\frac{\sin i}{\sin r}$ = ثابت

ب- سير الأشعة

الحالة الأولى $n_2 > n_1$:

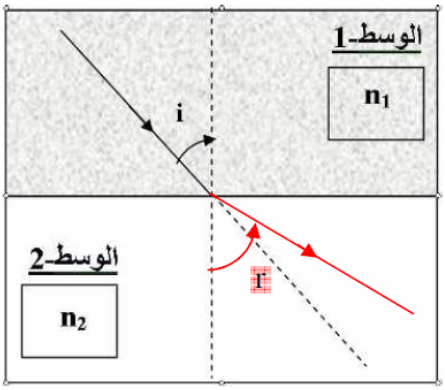
في هذه الحالة ينكسر الشعاع الضوئي الوارد مقتربا إلى الناظم .



في هذه الحالة يكون : $r < i$.

الحالة الثانية $n_2 < n_1$:

في هذه الحالة ينكسر الشعاع الضوئي الوارد مبتعدا عن الناظم .



في هذه الحالة يكون : $r > i$

2- أ- زاوية الانكسار :

بتطبيق القانون الثاني للانكسار :

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

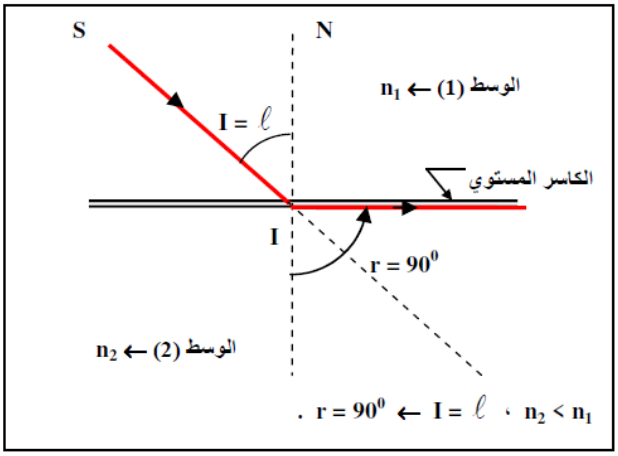
$$\sin r = \frac{n_1 \sin i}{n_2} \qquad (n_2 = 1)$$

$$\sin r = \frac{1.5 \ . \ \sin 20^\circ}{1} = 0.51 \ \rightarrow \ r \approx 31^\circ$$

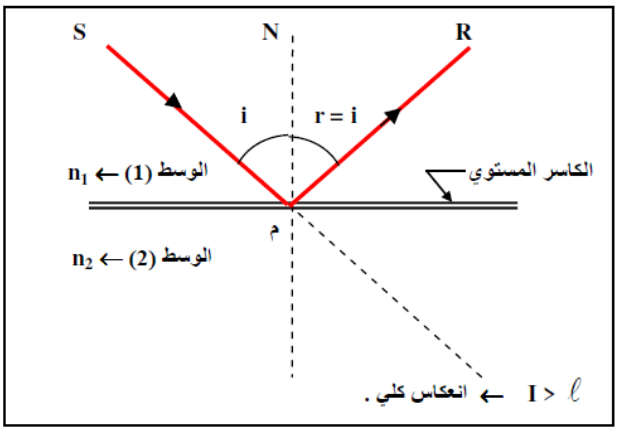
ب- زاوية الانكسار من أجل $r = 41.82^\circ$:

بتطبيق القانون الثاني للانكسار و باتباع نفس الخطوات السابقة نجد :

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

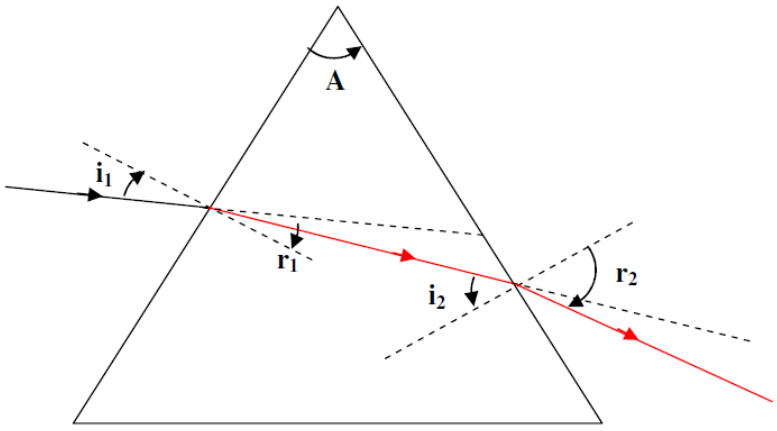


جـ- إذا كانت زاوية الورود أكبر من 41.82° أي أكبر من الزاوية الحدية للانكسار يحدث انعكاس كلي :



التمرين (3) :

1- سير الأشعة :



ب- الزاوية التي يخرج بها الشعاع الضوئي من الموشور (r_2) :

بتطبيق القانون الثاني للانكسار :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin r_1 \quad (n_1 = 1)$$

$$\sin r_1 = \frac{n_1 \sin i_1}{n_2}$$

$$\sin r_1 = \frac{1 \,.\, \sin 49^\circ}{1.5} = 0.5 \;\rightarrow\; r_1 \approx 30^\circ$$

و حسب قوانين الموشور :

$$A = r_1 + i_2$$
$$i_2 = A - r_1 = 60 - 30° = 30°$$

- بتطبيق القانون الثاني للانكسار :

$$n_2 \sin i_2 = n_1 \sin r_2$$
$$\sin r_2 = \frac{n_2 \sin i_2}{n_1}$$
$$\sin r_2 = \frac{1.5 \ . \ \sin 30°}{1} = 0.75 \ \rightarrow \ r_2 \approx 49°$$

ب- مقدار الانحراف :

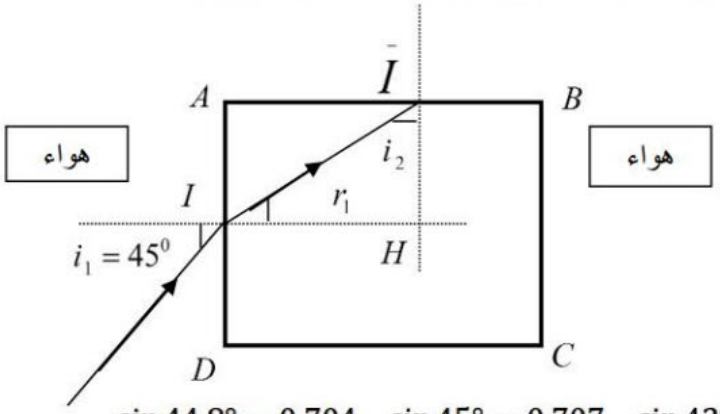
- حسب قوانين الموشور يكون :

$$D = i_1 + r_2 - A$$
$$D = 49 + 49 - 60 = 38°$$

التمرين

نعتبر مكعبا من الزجاج قرينة انكساره $n_2 = 1{,}5$ موجود في الهواء قرينة انكساره $n_1 = 1$، وموضوع على مستوى أفقي كما يبينه الشكل. يسقط شعاعا ضوئيا (SI) أحادي اللون واردا على الوجه (AD) للمكعب فينكسر على هذا الوجه ثم يصل إلى الوجه (AB) في النقطة $\bar{I}$.

1. بتطبيق قانون الانكسار، أوجد قيمة الزاوية r_1.
2. احسب زاية الانكسار الحدي.
3. اوجد قيمة زاوية الورود i_2 على الوجه (AB).
4. ماذا سيحدث للشعاع الضوئي في النقطة $\bar{I}$ ؟ علل جوابك.
5. أتمم مسار الشعاع الضوئي على الشكل حتى بروزه من المكعب موضحا الزوايا وقيمته.



$\sin 44{,}8° = 0{,}704 \quad \sin 45° = 0{,}707 \quad \sin 42° = 0{,}67 \quad \sin 28° = 0{,}47$