انكسارُ الضوء

للضوءِ أهميّةٌ بالغةٌ في حياتِنا، وهو يحيطُ بنا من كلِّ مكانٍ، فهوسببُ رؤيتِنا الأشياءَ من حولِنا،

استكشافَ العالمِ المحيطِ بنا ويُسهِّلُ علينا أعيُنَنا لحظةً، وتخيّلْنا عالمَ الظلامِ فلو أغمضْنا فيهِ، فكيفَ سيبدو عالمُنا دونَ الذي سنعيشُ وجودِ الضوءِ؟

عملياتٌ مختلفةٌ تحدثُ وتساعدُنا على توجدُ رؤيةِ العالمِ

من حولِنا، منها الانعكاسُ والانكسارُ، فالأجسامُ من

حولِنا تعكسُ الضوءَ الساقطَ عليها منَ المصادرِ الضوئيّةِ

المختلفةِ، كالشمسِ، والمصابيح، والأجسامِ المشتعلةِ،

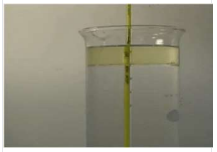
وعندَما يدخلُ الضوءُ القادمُ من هذهِ الأجسامِ إلى أعيُنِنا

ينكسرُ عن طريقِ العدسةِ الموجودةِ في أعيُنِنا

ويتركّزُ على
الشبكيّةِ، فتحدثُ الرؤيةُ.
وقد تعرّفْنا في صفٍّ سابقٍ الانعكاسَ،
وسنتعرّفُ في هذا
الدرسِ خاصيّةً أخرى للضوءِ وهي الانكسارُ.

الانكسارُ Refraction

ينتقلُ الضوءُ في الفراغ أو في الوسطِ الشفّافِ المتجانسِ
كالماءِ والزجاج بسرعةٍ ثابتةٍ وفي خطٍّ مستقيمٍ دونَ أن
ينحرفَ، ولكنْ هلْ يبقى كذلك عندَما ينتقلُ منَ الفراغ إلى
وسطٍ شفّافٍ أو العكس، أو من وسطٍ شفّافٍ إلى وسطٍ
شفّافٍ آخرَ؟



عندما نضعُ قلمًا مائلًا في كأسٍ بها سائل، فإنَّ القلمَ
يظهرُ مكسورًا عندَ سطح السائل على نحوِ ما يظهرُ
في الشكلِ (1)

وهذا يدلُّ على أنَّ الأشعّةَ الضوئيةَ القادمةَ منَ الجزءِ
المغمورِ في الماءِ منَ القلمِ والساقطةَ على العينِ
قد غيّرتْ مسارَ حركتِها (انكسرتْ) عندما انتقلتْ منَ
الماءِ إلى الهواءِ، فما الذي أدّى إلى ظهورِ القلمِ
مكسورًا؟ ولماذا تغيّرَ مسارُ الضوءِ عندما انتقلَ منَ
الماءِ إلى الهواءِ؟
تبلغُ سرعةُ الضوءِ في الفراغ ($c = 3 \times 10^8$ m/s)
تقريبًا، لكنَّها تقلُّ عن ذلكَ في الأوساطِ الشفّافةِ
(كالهواءِ، والماءِ، والزجاج، ...)، وتختلفُ سرعةُ الضوءِ
في الأوساطِ الشفّافةِ باختلافِ هذهِ الأوساطِ، لذا عندما
ينتقلُ الضوءُ من وسطٍ شفّافٍ إلى وسطٍ شفّافٍ آخرَ
فإنَّ سرعتَه تتغيّرُ، ما يؤدّي إلى تغيّرِ مسارِه.

ويُطلقُ على
ظاهرةِ تغيّرِ مسارِ الضوءِ عندَ انتقالِه بينَ
وسطينِ شفّافينِ
مختلفينِ اسمَ: انكسارِ الضوءِ Refraction of light.

معاملُ الانكسارِ Refractive index

يُعرّفُ معاملُ الانكسارِ Refractive index للوسطِ
الشفّافِ بأنَّه:
النسبةُ (c) بينَ سرعةِ الضوءِ في الفراغ إلى
سرعتِه
ويُرمزُ إلى معاملِ الانكسارِ (ν) في الوسطِ الشفّافِ
بالرمزِ (n)، أيْ أنَّ:
=
سرعةَ الضوءِ في الفراغ سرعةِ الضوءِ في الو
سطِ الشفافِ
بالرموز : =

ونظرًا إلى أنَّ سرعةَ الضوءِ في الوسطِ الشفافِ
أقلُّ من سرعتِه في الفراغ، فإنَّه وفقًا للمعادلةِ السابقةِ تكونُ قيمةُ معاملِ الانكسارِ ($n \geq 1$)، حيثُ تساوي (١) للفراغ، وهي أقلُّ قيمةٍ لمعاملِ الانكسارِ.

ويُعدُّ معاملُ الانكسارِ مقياسًا لقدرةِ الوسطِ الشفّافِ على كسرِ الأشعةِ الضوئيةِ، إذ كلَّما كانَ
معاملُ انكسارِ الوسطِ الشفافِ أكبرَ كانتْ قدرتُه على كسرِ الأشعةِ الضوئيةِ أكبرَ، لكنَّ سرعتَه تقلُّ
معَ زيادةِ معاملِ الانكسارِ على نحوِ ما يظهرُ منَ
المعادلةِ السابقةِ، وألاحظُ أيضًا من المعادلةِ أنَّ معاملَ الانكسارِ ليسَ لهُ وحدةُ قياسٍ، لأنَّه حاصلُ
قسمةِ كمّيتينِ لهما وحدةُ القياسِ نفسُها. ويُبيّنُ الجدولُ (١) معاملاتِ الانكسارِ لبعضِ الموادِّ

الشفّافةِ.

لاتُ الانكسارِ لبعضِ الموادِّ الشفّافةِ.

معاملاتُ الانكسارِ لبعضِ الموادِّ الشفّافةِ							
الهواءُ	الماءُ	الأسيتون	الجلسرين	الزجاجُ	الكوارتز	الماس	
1.0003	1.33	1.36	1.47	1.52	1.54	2.42	

أَلاحظُ من الجدولِ أنَّ معاملَ الانكسارِ للهواءِ يساوي تقريبًا، والذي يساوي معاملَ الانكسارِ للفراغِ. (1)

مثال

بالاستعانةِ بالجدولِ (١)، أحسُبُ سرعةَ الضوءِ في الماءِ علمًا بأنَّ سرعتَه في الفراغ ٣ x10⁸m/s

الحل

بالتطبيقِ على معادلةِ حسابِ معاملِ الانكسارِ:

=1.33=3×108=3×1081.33=2.25 × 108 /

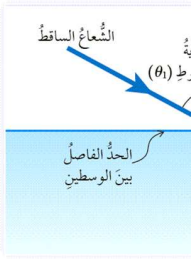
تمرين

الاستعانةِ بالجدولِ (١) أحسبُ سرعةَ الضوءِ في الزجاج:

الحل:$\lambda = \lambda_0 / n = 3 \times 10^8 / 1.52 = 1.97 \times 10^8$ m/s

تمثيلُ الانكسارِ بالرسمِ

Representing Refraction with Diagrams



لفهمِ سلوكِ الضوءِ في أثناءِ انتقالِه في الأوساطِ الشفّافةِ،

يمكنُ تمثيلُ عمليةِ الانكسارِ برسومٍ تخطيطيّةٍ.

(2) فالشكلُ

يمثّلُ انتقالَ شعاع ضوئيّ بينَ وسطينِ شفّافينِ، وتُعرّفُ

المصطلحاتُ الواردةُ في الشكلِ على النحوِ الآتي:

سطحُ التقاءِ الوسطِ الأولِ مع الوسطِ الثاني: **الحدُّ الفاصلُ بينَ الوسطينِ**.

الخطُّ العموديُّ على الحدِّ الفاصلِ بينَ الوسطينِ: **العمودُ**

الشفّافينِ والمقامِ من نقطةِ السقوطِ (نقطةِ التقاءِ الشعاع الساقطِ بالحدِّ الفاصلِ بينَ الوسطينِ).

زاويةُ السقوطِ Angle of incidence

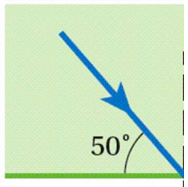
الزاويةُ المحصورةُ بينَ الشعاع الساقطِ والعمودِ، ويُرمزُ إليها بالرمزِ (θ_1).

زاويةُ الانكسارِ Angle of refraction

الزاويةُ المحصورةُ بينَ الشعاع المنكسرِ والعمودِ، ويُرمزُ إليها بالرمزِ (θ_2).

وكلٌّ من الشعاع الساقطِ والشعاع المنكسرِ والعمودِ تقعُ جميعُها في مستوًى واحدٍ عموديٍّ على الحدِّ الفاصلِ بينَ الوسطينِ.

مثال



أُحدّدُ كلاً من زاويةِ السقوطِ وزاويةِ الانكسارِ في الشكلِ.

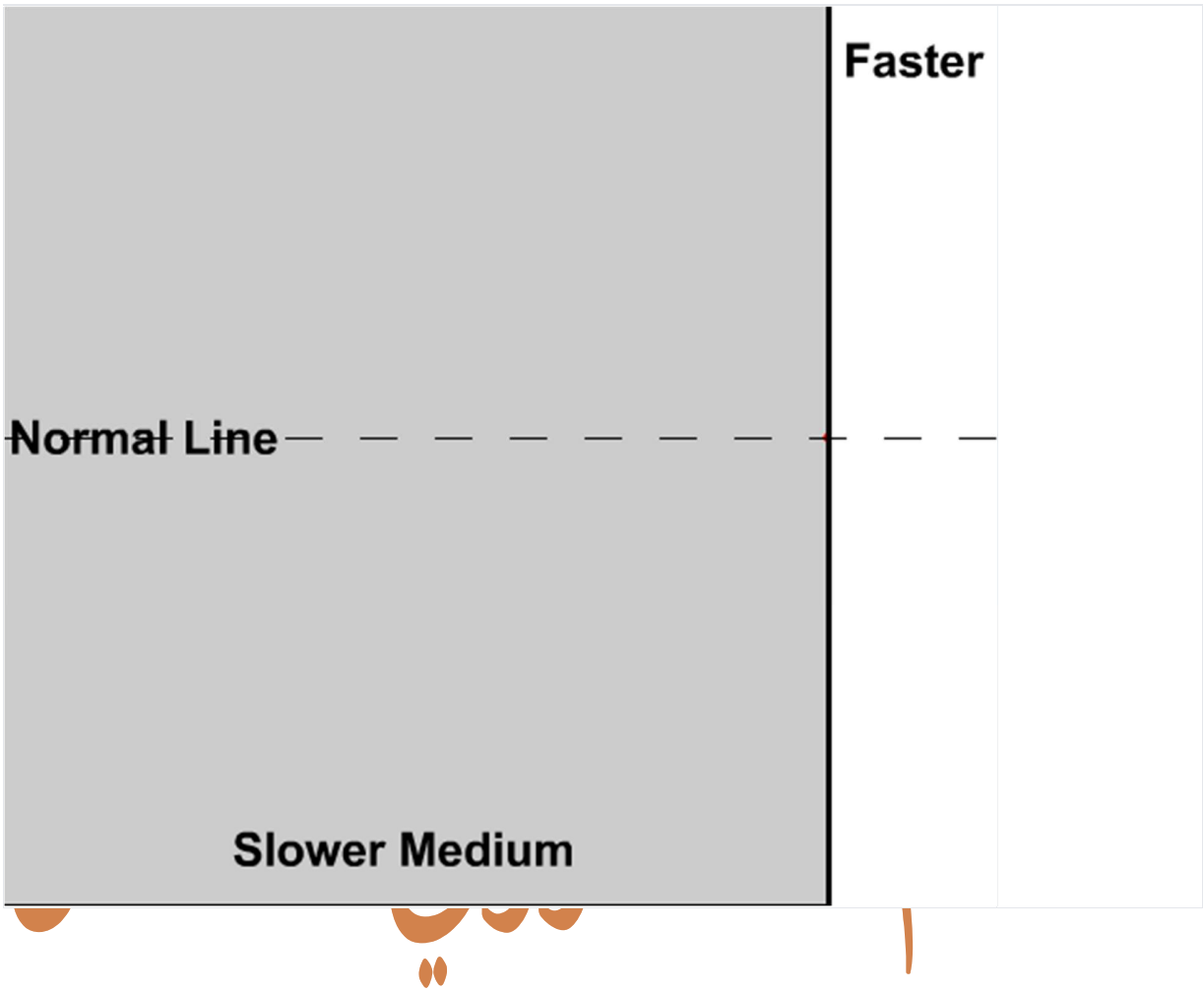
الحلُّ:

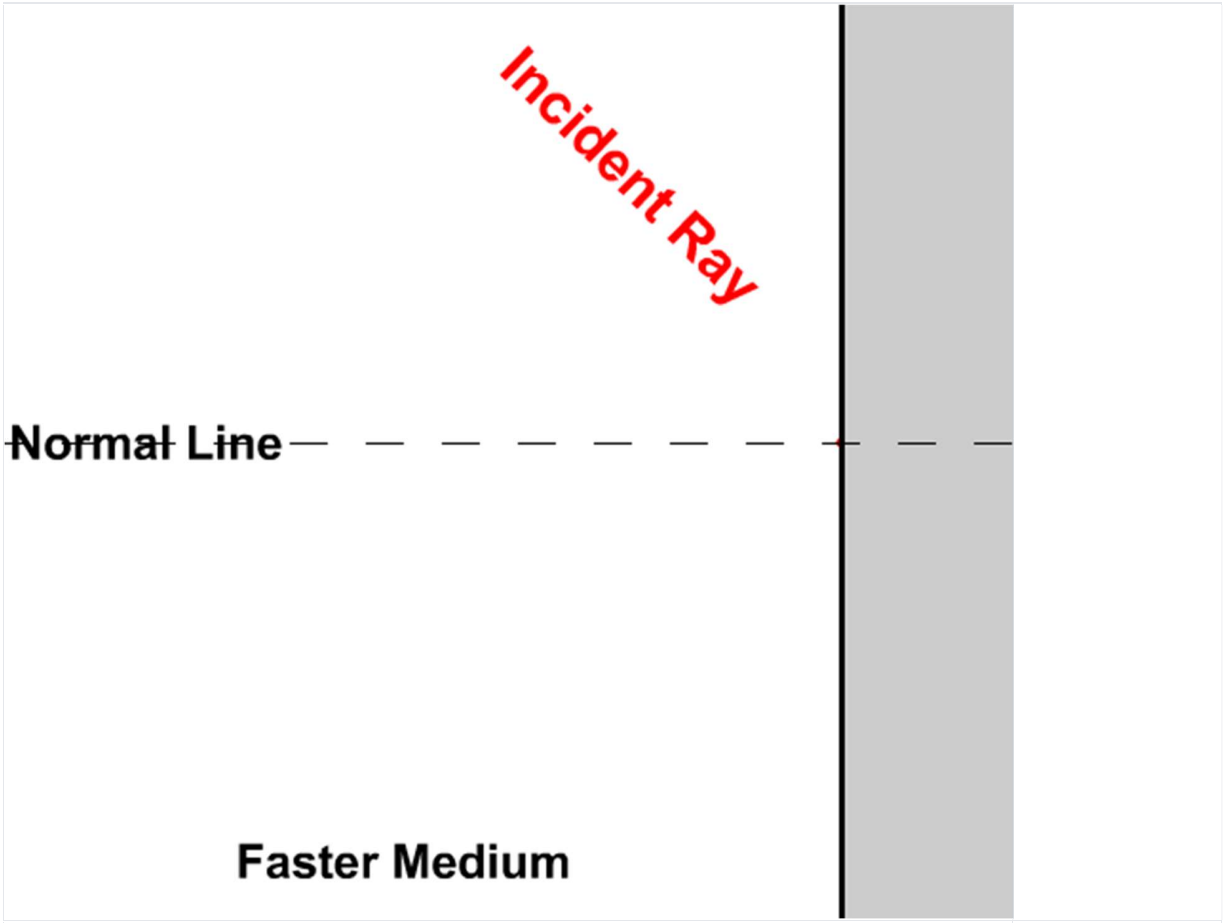
θ_1 : الزاويةُ التي يصنعُها الشعاعُ الساقطُ معَ العمودِ

$\theta_1 = 90^\circ - 50^\circ = 40^\circ$

θ_2 : الزاويةُ التي يصنعُها الشعاعُ المنكسرُ معَ العمودِ

$\theta_2 = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$


Faster
Normal Line
Slower Medium



قانونُ الانكسارِ -قانونُ سنِل

The Law of Refraction (Snell's Law)

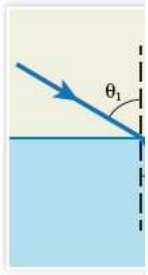
عندما ينتقلُ شعاعٌ ضوئيٌّ من وسطٍ شفّافٍ معاملُ

انكسارِه صغيرٌ إلى وسطٍ شفّافٍ معاملُ انكسارِه

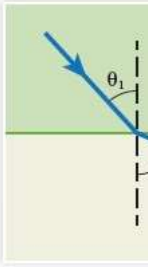
كبيرٌ فإنَّ سرعتَه تقلُّ، وينكسرُ مقترِبًا منَ

العمودِ على
نحوِ ما هو مُبيَّنٌ في الشكلِ (٣/أ)، وعندما ينتقلُ
الشعاعُ الضوئيُّ من وسطٍ شفّافٍ معاملُ انكسارِه
كبيرٌ إلى وسطٍ شفّافٍ معاملُ انكسارِه صغيرٌ فإنَّ
سرعتَه تزدادُ، وينكسرُ مبتعِدًا عن العمودِ على نحوِ
ما هو مبيَّنٌ في الشكلِ (٣/ب). لكنْ ما العلاقةُ بينَ
زاويةِ السقوطِ (θ_1) وزاويةِ الانكسارِ (θ_2)؟
عامَ ١٦٢١ توصّلَ العالِمُ الألمانيُّ ويلبرورد سنِل
(Willebrord Snell) إلى علاقةٍ تجريبيَّةٍ رياضيّةٍ تربطُ
بينَ زاويتي السقوطِ والانكسارِ، وهي على الصورةِ
الآتيةِ:

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



(أ)
ضوئيٌّ مقتربًا من العمودِ.



(ب)
الضوئيُّ مبتعدًا عن العمودِ.

شكل ٣

ويُطلقُ على العلاقةِ السابقةِ اسمَ قانونِ الانكسارِ أو
قانونِ سنِل، حيثُ:

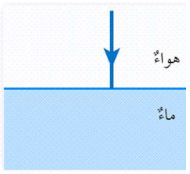
n_1 : معاملُ انكسارِ الوسطِ الأولِ

n_2 : معاملُ انكسارِ الوسطِ الثاني

θ_1 : زاويةُ السقوطِ

θ_2 : زاويةُ الانكسارِ

مثال



أحدّدُ الزاويةَ التي ينكسرُ فيها الشعاعُ الضوئيُّ في الشكلِ.

الحلُّ:

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

$$1 \times \sin 0° = 1.33 \times \sin\theta_2$$

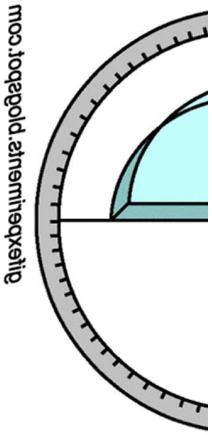
$$\theta_2 = 0°$$

وهذا يعني أنَّ الشعاعَ يستمرُّ في مسارِه دونَ

انحرافٍ.

يتّضحُ منَ المثالِ السابقِ أنَّ الشعاعَ الضوئيَّ لا يتغيّرُ مسارُه إذا سقطَ عموديًّا على السطحِ الفاصلِ بينَ وسطينِ شفّافينِ، ومعَ ذلكَ فإنَّ سرعتَه تتغيّرُ، فالانكسارُ هو نتيجةٌ لتغيُّرِ سرعةِ

الضوءِ عندَما ينتقلُ من وسطٍ شفّافٍ إلى وسطٍ شفّافٍ آخرَ، وليس سببًا لهذا التغيّرِ.



مثال

انتقلَ شعاعٌ ضوئيٌّ منَ الماءِ إلى وسطٍ شفّافٍ فإذا كانتْ زاويةُ سقوطِ الشعاع غيرِ معلومٍ، ٤٥°

، فأحسبُ معاملَ انكسارِ °وزاويةُ انكسارِه ٣٨ مستعينًا الوسطِ غيرِ المعلومِ، ثمَّ أحدّدُ طبيعتَه بالجدولِ (1).

الحلُّ:

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

$$\sin 45° \times 1.33 = n_2 \times \sin 38°$$

$$n_2 = 1.52$$

وبالرجوع إلى الجدولِ (١) يظهرُ أنَّ الوسطَ الشفّافَ مصنوعٌ منَ الزجاج.

تمرين

انتقلَ شعاعٌ ضوئيٌّ منَ الماسِ إلى الماءِ، فإذا كانتْ زاويةُ سقوطِ الشعاع ٣٠ ° ، فأحسبُ ما يأتي:

1 . سرعةُ الضوءِ في الماسِ.

2 . زاويةُ انكسارِ الشعاع في الماءِ.

الحل:أ.

$$\text{?} = \text{??} 2.42 = 3 \times 108 \text{??} = 3 \times 108$$

$$2.42 = 1.24 \times 108 \text{?}/\text{?}$$

ب. $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

$$2.42 X \sin 30^o = 1.33 x \sin \theta_2$$

$$2.42 x 0.5 = 1.33 \sin \theta_2$$

$$65^{o} = \sin^{-1}(0.91) = \theta_2$$

المعلم الالكتروني الشامل