



دولة فلسطين
وَأَزَلَّةُ الشَّيْءِ وَالْعَجَلِ

الفيزياء العلمي والصناعي الفترة الثالثة

جميع حقوق الطبع محفوظة ©

دولة فلسطين
وَأَزَلَّةُ الشَّيْءِ وَالْعَجَلِ



مركز المناهج

mohe.ps | mohe.pna.ps | moehe.gov.ps

f.com/MinistryOfEducationWzartAltrbytWaltlym

هاتف +970 2 2983280 | فاكس +970 2 2983250

حي الماصيون، شارع المعاهد

ص. ب 719 - رام الله - فلسطين

pcdc.mohe@gmail.com | pcdc.edu.ps

المحتويات

الوحدة الأولى: الميكانيكا (Mechanics)

٣

الفصل الخامس : الحركة الدائرية (Circular Motion)

١٣

الفصل السادس: الحركة التوافقية البسيطة (Simple Harmonic Motion)

تُعَدُّ الحركة الدائرية جزءاً مهماً من حياتنا اليومية، فكثيرٌ من ألعاب مدينة الملاهي، والعديد من الأجهزة الكهربائية في بيوتنا كالخلاط والغسالة تظهر فيها حركة دائرية، ودوران عجلات الدراجة الهوائية يُسهم في سهولة حركتها، وتعاقب الليل والنهار ناتجٌ من دوران الأرض حول نفسها، ومحطة الفضاء الدولية، والأقمار الصناعية تدور حول الأرض.

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذه الوحدة المتمازجة والتفاعل مع أنشطته أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الميكانيكا في حل مسائل تتعلق بالحركة الدائرية من خلال تحقيق الآتي:

- ◆ توضيح المقصود بالحركة الدائرية ومتغيراتها.
- ◆ الربط بين معادلات الحركة الخطية وما يقابلها في الحركة الدائرية.
- ◆ حل مسائل على الحركة الدائرية.
- ◆ تفسير بعض تطبيقات الحركة الدائرية.

الحركة الدائرية (Circular Motion)

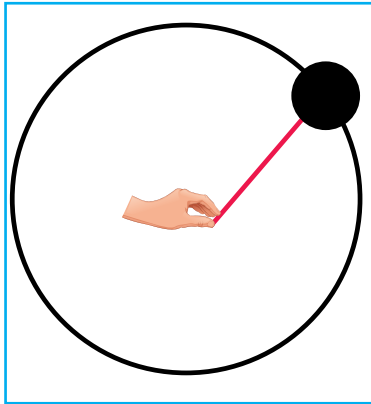
1-5 الحركة الدورانية (Rotational Motion)



تعدُّ الحركة الدورانية حركةً مهمّةً في الفيزياء، وفي حياتنا اليومية، ويمكن تعريف الحركة الدورانية بأنّها: دوران الجسم حول مركزه أو محوره. وقد تعلّمت في الصفّ العاشر الأساسي مفهوم الحركة الدائرية، وهي حالةٌ خاصّةٌ من الحركة الدورانية، وتتعلّق بحركة جسمٍ على محيط دائرةٍ بسرعةٍ ثابتة، ويقطع فيها الجسم أقواساً متساويةً في أزمانٍ متساويةٍ، وتُسمّى حركةً دائريةً منتظمةً، ويكون نصف قطر الدوران ثابتاً، ويكون للجسم تسارعٌ مركزيٌّ ناتجٌ عن تغيّر اتجاه السرعة.

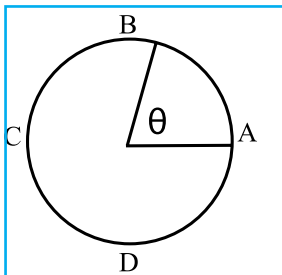
ولمعرفة خصائص الحركة الدائرية نفّذ النشاط الآتي:

نشاط(1): الحركة الدائرية



١. اربط كرةً كتلتها (m) بطرف خيط، وأمسك الطرف الآخر بيدك.
 ٢. قم بتدوير الكرة بسرعة (v) ثابتة في مسارٍ دائريٍّ، في مستوى أفقيٍّ،
 ٣. كما هو مبين في الشكل المجاور، صف حركة الكرة.
 ٤. زد سرعة الكرة، كيف تشعر بتغيّر قوة الشدّ في الخيط عند زيادة السرعة؟
 ٥. أفلت الخيط، صف حركة الكرة.
- نتوصّل ممّا سبق إلى أنّ:

- الحركة الدائرية المنتظمة حركةٌ مسارها دائريٌّ، فيها يقطع الجسم المتحرك أقواساً متساويةً في أزمنةٍ متساوية.
- لكي يتحرّك جسمٌ في مسارٍ دائريٍّ، لا بدّ أن تؤثر فيه قوةٌ عموديةٌ على اتجاه حركته، في اتجاه مركز المسار الدائريٍّ؛ وذلك للمحافظة على استمراريّته في الحركة الدائرية.
- إذا انعدمت هذه القوة فإنّ الجسم سوف يتحرك باتجاه المماس للمسار الدائريّ.



سؤال

- يمثّل الشكل المجاور حركة جسم كتلته (0.1 kg) في مسارٍ دائريٍّ منتظم، طول نصف قطره (3.5 m)، حيث سرعة الجسم عند النقطة A تساوي (7 m/s) باتجاه الجنوب.
١. ما القوة المركزية المؤثرة في الجسم؟
 ٢. ما التسارع المركزي للجسم؟
 ٣. ما سرعة الجسم وتسارعه عند النقاط B، C، D ؟
 ٤. كم تصبح القوة المركزية إذا ضاعفنا سرعة الجسم مع ثبات نصف القطر؟

١. كم تصبح القوة المركزية إذا ضاعفنا نصف قطر المسار مع ثبات مقدار سرعة الجسم؟
٢. ما الشغل الذي تبذله القوة المركزية على الجسم؟

سؤال

لماذا يقوم السائق بتخفيف سرعته عند دخوله منحدرًا حادًا؟

2-5 الموضع الزاوي والسرعة الزاوية (Angular Position and Average Angular Speed)

لتتعرف الموضع الزاوي والسرعة الزاوية نفذ النشاط الآتي :

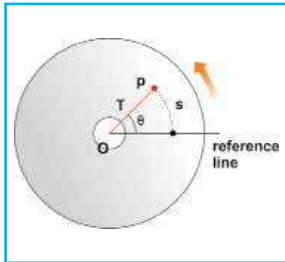
نشاط (2): الموضع الزاوي والسرعة الزاوية

جلس أحمد وصديقه رامي في المقعد A في لعبة الملاهي التي قطرها 12m، وتدور بسرعة ثابتة 3.14 m/s.



١. ما الزمن الدوري؟
٢. ما طول القوس الذي تحركه المقعد خلال 3s؟
٣. ما موضع أحمد ورامي بعد 3 s؟ (افرض أن الخط الأفقي المار بالنقطة A هو خط الإسناد)
٤. ما مقدار الزاوية التي دارها المقعد خلال 3s؟
٥. ما العلاقة بين سرعة الجسم v والزاوية التي دارها المقعد (بالتقدير الدائري)؟ (تعبّر الزاوية θ (بالتقدير الدائري) التي قطعها المقعد عن الإزاحة الزاوية، وتحدّد الموضع الزاوي).
٦. ما مقدار الإزاحة الزاوية لمقعد أحمد ورامي؟

أ. الموضع الزاوي



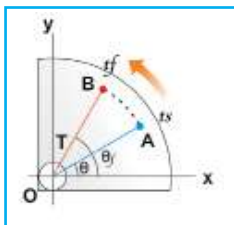
لنفرض أن نقطة على قرصٍ مرّن، على بعد r من مركز القرص عند خط المرجع $(+x)$ ، عندما يدور القرص زاوية θ فإنّ النقطة تصبح عند p ، وتكون النقطة قد قطعت قوساً طوله s ، يقابله زاوية مقدارها θ تعبّر عن الموضع الزاوي.

في الشكل المجاور بدأ القرص الدوران عندما كانت النقطة عند A ، بعد زمن t_i من الوضع الأصلي، حيث الموضع الزاوي θ_i وبعد زمن t_f أصبحت عند B، حيث الموضع الزاوي θ_f ، فإنّ

$$\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$$

والتغيّر بين الموضعين يعبر عن الإزاحة الزاوية.

وبذلك يكون الجسم قد قطع قوساً طوله s ، ويقابل هذا القوس زاوية مركزية $\Delta\theta$ تمثل الإزاحة الزاوية



ب. الإزاحة الزاوية

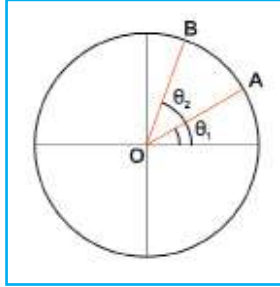
وتُعطى بالعلاقة: (5-1) $\theta = \frac{s}{r}$ ، وتقاس بوحدة الراديان rad.

حيث إن الراديان: الزاوية النصف قطرية، ويكافئ زاوية مقدارها 57.3° تقريباً.

قياس الزاوية بالراديان $= \frac{\pi}{180} \times$ قياس الزاوية بالدرجات

ويعدّ الموضع الزاوي موجباً إذا كان الدوران عكس اتجاه حركة عقارب الساعة، وسالباً إذا كان الدوران مع عقارب الساعة.

ج. السرعة الزاوية ω



الشكل (1)

إنّ موضع الجسم الزاوي في أيّة لحظة يتحدّد بالزاوية θ التي يصنعها متّجه موضعه الخطي r مع محور السينات (خط المرجع). فإذا كان الجسم عند الموضع A في اللحظة، ثم أصبح عند الموضع B في اللحظة t_2 عندئذ نجد أنّه $\Delta\theta$ في زمن قدره Δt ، كما في الشكل (1)، وبالتالي فإنّ السرعة الزاوية المتوسطة (ω) تُعطى بالعلاقة:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (5-2)$$

فالسرعة الزاوية (ω): هي الإزاحة الزاوية التي يدورها الجسم في وحدة الزمن، ووحدتها في النظام الدولي هي راديان/ثانية (rad/s).

الزاوية التي يدورها جسم في زمن t ، تُعطى بالعلاقة:

$$\theta = \omega t \quad (5-3)$$

وكثيراً ما تُعطى السرعة الزاوية لجسمٍ يدور بوحدة مثل دورة /الدقيقة مثلاً، حيث إنّ الدورة الواحدة تعادل $360 = 2\pi$ radians.

مثال 1: يدور حوض نشافة غسالة بمعدل 1200 rev/ min. ما سرعتها الزاوية المتوسطة؟

الحل:

نلاحظ أنّ الزاوية المسموحة خلال دقيقة هي:

$$1200 \times 2 \pi \text{ rad}$$

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{2400 \pi}{60} = 40 \pi \text{ rad/s}$$

سؤال

تدور مروحة سقف بمعدل 1800 rev/ min، احسب الزاوية التي تدورها المروحة خلال 10 s.

3-5 السرعة الزاوية اللحظية: (Instantaneous Angular Velocity)

تُعرف السرعة الزاوية اللحظية بأنها: السرعة الزاوية لجسم يدور على مسارٍ دائريٍّ في لحظةٍ معينة، وتحسب عن طريق حساب السرعة الزاوية المتوسطة في فترة زمنية قصيرة جداً، بجعل النقطتين A و B في الشكل (1) تقتربان من بعضهما بشكلٍ كبير لتتطبقا في النهاية على بعضهما، عندئذٍ تصبح الزاوية $\Delta\theta$ والزمن Δt غاية في الصغر، وكلما صغرت الفترة الزمنية اقتربت السرعة الزاوية المتوسطة من السرعة الزاوية اللحظية، وعندما تصبح الفترة الزمنية صغيرة جداً (تؤول إلى الصفر) تصبح السرعة الزاوية المتوسطة مساويةً للسرعة الزاوية اللحظية.

أناقش

هل لكل أجزاء عقرب الدقائق الإزاحة الزاوية نفسها؟ وهل لها إزاحة خطية متماثلة خلال فترة زمنية معينة؟

مثال 2: يتحرك جسم على مسارٍ دائريٍّ بسرعة زاوية متغيرة، بحيث تُعطى الزاوية التي يدورها خلال زمن t بالعلاقة $\theta = t^2 + 3t$

١. ما السرعة الزاوية المتوسطة للجسم بين اللحظتين $t_1 = 0$ ، $t_2 = 4s$ ؟

٢. ما السرعة الزاوية اللحظية عندما: $t_1 = 0$ حيث $\omega = 2t + 3$ اللحظية ؟

الحل:

أ- لتحديد السرعة الزاوية المتوسطة نحسب الزاوية التي كان عندها الجسم في اللحظتين المذكورتين:

$$\theta_1 = \theta(0) = 0$$

$$\theta_2 = \theta(4) = 28 \text{ rad}$$

ولذا نجد السرعة الزاوية المتوسطة بكتابة:

$$\omega = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1}$$

$$\omega = \frac{28 - 0}{4 - 0} = 7 \text{ rad/s}$$

ب- السرعة اللحظية الزاوية $\omega = 2(0) + 3 = 3 \text{ rad/s}$

4-5 التسارع الزاوي المتوسط واللحظي (Average and Instantaneous Angular Acceleration)

وكما تعلمنا في الحركة الانتقالية (الخطية) بأن التسارع الخطي يساوي المعدل الزمني للتغير في السرعة الخطية، وبالمثل فإن التسارع الزاوي يساوي المعدل الزمني للسرعة الزاوية، فإذا كانت السرعة الزاوية اللحظية عند النقطة A، أي في لحظة t_1 هي ω_1 ، وعند B، أي في اللحظة t_2 هي ω_2 ، عندئذٍ يُعطى التسارع الزاوي المتوسط بين هاتين اللحظتين بالعلاقة:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} \quad (5-4)$$

ومن العلاقة السابقة فإن وحدة التسارع الزاوي هي وحدة سرعة زاوية على زمن، أي rad/s^2 . ويعرف التسارع الزاوي اللحظي بأنه متوسط التسارع الزاوي خلال فترة زمنية قصيرة ؛ أي Δt تؤول إلى الصفر في المعادلة (4).

بدأت عجلة الدوران من السكون، ثم اكتسبت سرعةً دورانيةً، قدرها 360 rev/min خلال دقيقتين، احسب متوسط التسارع الزاوي.

5-5 الحركة الدائرية بتسارع زاوي ثابت (Uniform Circular Motion)

تعلمت في الصفّ العاشر أنه إذا تحرك جسمٌ بتسارعٍ خطيٍّ ثابت a ، فإنّ معادلات الحركة التي تصف حركة الجسم

$$v_f = v_i + at \quad \text{تُعطى بالعلاقات}$$

$$r = v_i t + \frac{1}{2} at^2$$

$$v_f^2 = v_i^2 + 2ar$$

وبالمنطق نفسه، إذا دار جسمٌ بتسارعٍ زاوي ثابت α فإنّ معادلات الحركة التي تصف حركة الجسم تُعطى بالشكل:

$$\omega_f = \omega_i + \alpha t \quad (5-5)$$

$$\theta = \omega_i t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad (5-6)$$

$$\omega_f^2 = \omega_i^2 + 2\alpha\theta \quad (5-7)$$

وتوضّح الأمثلة الآتية سهولة استخدام العلاقات السابقة، لتحديد متغيّرات الحركة لجسمٍ يدور بتسارعٍ زاويٍّ ثابت.

في المعادلات (5، 6، 7) ما مدلول ووحدة قياس كلّ من: θ و ω و α ؟

مثال 3: بدأ جسم الدوران بسرعة زاوية (4 rad/s)، وبتسارعٍ زاويٍّ ثابت مقداره (2 rad/s²) احسب:

١. الإزاحة الزاوية بعد مرور 3 s.

٢. السرعة الزاوية بعد مرور 3 s.

الحل:

1. باستخدام المعادلة (5-6)

$$\theta = \omega_i t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\theta = 4 \times 3 + \frac{1}{2} \times 2 \times 9 = 21 \text{ rad}$$

2. باستخدام المعادلة (5-5) أو (5-7)

$$\omega_f = \omega_i + \alpha t$$

$$\omega_f = 4 + 2 \times 3 = 10 \text{ rad/s}$$

مثال 4: يدور حجرٌ طاحونةٍ بدءاً من السكون زاوية 180°، خلال (2 s) بتسارعٍ زاويٍّ ثابت. احسب:

١. السرعة الزاوية المتوسطة للحجر.

٢. التسارع الزاوي.

الحل: 1:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\frac{180}{2}\pi}{2} = \frac{\pi}{2} \text{ rad/s}$$

2:

$$\theta = \omega_i t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\pi = 0 + \frac{1}{2} \times \alpha \times 2^2$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \text{ rad /s}^2$$

مثال 5: تدور حلقة خلال (4 s) زاوية مقدارها (120 rad)، وتسارعٍ زاويٍّ ثابت (3 rad/s²). احسب:

١. ما السرعة الزاوية الابتدائية للحلقة؟

٢. كم تستغرق للوصول إلى هذه السرعة إذا بدأت من السكون؟

الحل: 1:

نستخدم معادلات الحركة بتسارعٍ زاويٍّ ثابت:

$$\theta = \omega_i t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$120 = \omega_i \times 4 + \frac{1}{2} \times 3 \times 4^2$$

$$\omega = 24 \text{ rad /s}$$

2: إذا بدأ الجسم دورانه من السكون:

$$\omega_f = \omega_i + \alpha t$$

$$24 = 0 + 3t$$

$$t = 8 \text{ s}$$

سؤال

أوقفت مروحة كهربائية عندما كانت تدور بمعدل (3 rev/min)، ثم وصلت إلى السكون خلال (18 s). احسب:

١. التسارع الزاوي للمروحة بفرض أنه ثابت.

٢. عدد الدورات التي تدورها المروحة قبل أن تصل إلى السكون.

5-6 العلاقة بين متغيرات الحركة الدورانية والحركة الانتقالية

من المفيد جداً أن نربط بين متغيرات الحركتين: الانتقالية والدورانية، لنلاحظ التناظر التام بينهما، ولذلك نفترض أن لدينا جسماً يدور على مسارٍ دائريٍّ، نصف قطره r ، كما في الشكل (4). فنلاحظ أنه يقطع مسافةً خطيةً s ، عندما يدور زاوية θ في زمن t ، بحيث أن:

$$s = r \theta$$

حيث تُقدَّر θ بالراديان دوماً.

$$v = \frac{s}{t} = \frac{r \theta}{t}$$

حيث v هي السرعة الخطية التي يتحرك بها الجسم على المسار الدائري، بينما $\omega = \frac{\theta}{t}$ هي السرعة الزاوية التي يدور بها، وبالتالي:

$$v = r \omega \quad (5-8)$$

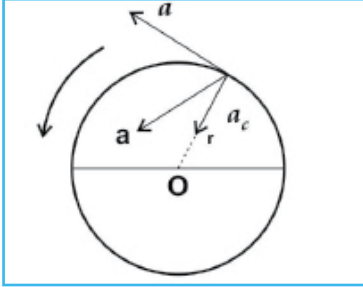
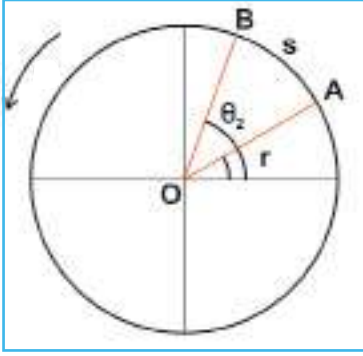
كما يمكن الربط بين التسارع الخطي a والتسارع الزاوي

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{r \omega}{t} = r \alpha \quad (5-9)$$

وبملاحظة أن $a_{\text{المماسية}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ، حيث $(a_{\text{المماسية}})$ التسارع المماسي للجسم على المسار الدائري الذي يدل على تغيير قيمة السرعة الخطية للجسم، وعندما يدور الجسم بسرعةٍ خطيةٍ ثابتة، وبما أن $v = \omega r$ فإن التسارع المماسي يكون معدوماً، ولكن تسارعه المركزي.

$$a_c = r \omega^2 \quad (5-10)$$

لا يساوي صفراً، ومع ذلك تسارعه الزاوي يكون مساوياً للصفر $\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$ ؛ لأن سرعته الزاوية، مثل سرعته الخطية ثابتة. فإذا دار الجسم بسرعةٍ خطيةٍ ثابتة ينعلم تسارعه المماسي والزاوي، ويبقى تسارعه المركزي الذي يدل على تغيير اتجاه حركته، والمعطى بالمعادلة (10).



مثال 6: تتسارع أسطوانة موسيقيّة نصف قطرها (15 cm)، بدءاً من السكون، فتصبح سرعتها (33 rev/min) خلال (60 s). احسب:

١. السرعة الخطيّة والتسارع المركزيّ لنقطةٍ على محيطها.

٢. التسارع الزاوي لهذه النقطة.

الحل:

السرعة الخطيّة: $v = r \omega$

$$\omega = \frac{33 \times 2\pi}{60} = 3.45 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$v = 0.15 \times 3.45 = 0.52 \text{ m/s}$$

$$\text{التسارع المركزي : } a_c = \frac{v^2}{r} \\ a_c = \frac{0.52^2}{0.15} = 1.8 \text{ m/s}^2$$

$$\text{ب- التسارع الزاوي للأسطوانة : } \alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \\ = \frac{3.45 - 0}{60} = 0.06 \text{ rad/s}^2$$

أختبر نفسي:

1 ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. في حركة قرص مرن، أيّ العبارات الآتية صحيحة، فيما يتعلق بالسرعة الخطية والزاوية لنقطة على القرص؟
 أ) كلاهما ثابت . ب) كلاهما متغير . ج) الخطية ثابتة والزاوية متغيرة . د) الخطية متغيرة والزاوية ثابتة.
2. كيف يتناسب التسارع المركزي في الحركة الدائرية المنتظمة؟
 أ) طردياً مع السرعة الخطية . ب) طردياً مع السرعة الزاوية .
 ج) عكسياً مع السرعة الزاوية . د) طردياً مع مربع السرعة الزاوية.
3. يتحرك جسم حركة دائرية منتظمة، بحيث يعمل دورة واحدة كل ثانية، فكم تساوي سرعته الزاوية بوحدة rad/s ؟
 أ) π ب) 2π ج) 3π د) 4π
4. عربة ملاهي تتحرك حركة دائرية منتظمة بحيث تنجز 8 دورات خلال 4s فكم يساوي زمنها الدوري بالثانية ؟
 أ) 0.5 ب) 2 ج) 4 د) 8
5. يتحرك جسم في مسار دائري بتسارع زاوي طبقاً للعلاقة $\alpha = \frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{4}t^2$ ، فكم يساوي التسارع الزاوي للجسم بعد ثانية بوحدة rad/s² ؟
 أ) $\frac{\pi}{8}$ ب) $\frac{3\pi}{4}$ ج) $\frac{\pi}{2}$ د) π
6. كرة مربوطة في نهاية خيط طوله 40 cm، تدور بانتظام في مستوى أفقي، في مسار دائري، فتستغرق زمناً دورياً مقداره 0.2 s، فكم يساوي تسارعها المركزي بوحدة rad/s² ؟
 أ) 400 ب) $40\pi^2$ ج) 200 د) $20\pi^2$
7. كم تساوي الإزاحة الزاوية التي تقطعها كتلة نقطية عندما تتحرك على مسار دائري، طول نصف قطره 100 m مسافة 157 m ؟
 أ) 1.57° ب) 30° ج) 60° د) 90°
8. يتحرك جسم نقطي على مسار دائري طول نصف قطره 25 m بزاوية 30° ، فما المسافة التي يقطعها الجسم على المسار بوحدة المتر ؟
 أ) 1.2 ب) 7.5 ج) 13 د) 750

2 عرّف المفاهيم الفيزيائية الآتية:

الإزاحة الزاوية، والسرعة الزاوية، والتسارع الزاوي المتوسط.

3 إذا كان طول قطر الكرة المستخدمة في فأرة الحاسوب 2 cm، وحرّكت الفأرة 12 cm، فما الإزاحة الزاوية للكرة؟

4 إذا كان التسارع الخطي لعربة نقل 1.85 m/s^2 ، والتسارع الزاوي لإطاراتها 5.23 rad/s^2 ، فما قطر الإطار الواحد للعربة؟

5 تعطى زاوية دوران حلقة بالعلاقة $\theta = 5t + 3t^2 + 4.5t^4$ ، احسب:
أ- السرعة الزاوية اللحظية للحلقة عندما $t = 3 \text{ s}$ حيث $\omega_{\text{اللحظية}} = 5 + 6 + 18t$
ب- السرعة الزاوية المتوسطة خلال الفترة $[0, 3]$.
ج- التسارع الزاوي اللحظي للحلقة عندما $t = 2 \text{ s}$ ، حيث
د- التسارع الزاوي المتوسط للحلقة خلال الفترة $[0, 3]$. $\alpha = 6 + 54t^2$

6 تغيير السرعة الزاوية لمحرك من 900 rev/min إلى 300 rev/min خلال 10 s ، ما متوسط تسارعه الزاوي؟ وما عدد الدورات التي يدورها إلى أن يقف؟

7 صف حركة جسم عندما يتسارع بتسارع ثابت المقدار في الحالات الآتية:
1. عمودي على سرعته.
2. مواز لسرعته.

8 تتحرك سيارة شرقاً، فإذا غيّرت مسارها لتصبح شمالاً في قوسٍ دائريٍّ، فقطعت مسافة 235 m خلال 36 s ، جد:
- التسارع المركزي.
2- السرعة المتوسطة الزاوية للسيارة.

9 جسم كتلته 400 g ، مربوط بخيط طوله 2.0 m ، يتحرك في مسار دائريٍّ عموديٍّ، إذا كانت سرعته في أعلى نقطة في أعلى المسار 6 m/s ، احسب الشد في الخيط عند تلك النقطة.

10 يدور قرص حول مركزه بسرعة دائرية منتظمة، بحيث يعمل 40 rev/min ، احسب:
1. الزمن الدوري للقرص.
2. السرعة الزاوية للقرص.
3. السرعة الخطية لنقطة على القرص تبعد 20 cm عن مركزه.
4. التسارع المركزي.

الحركة التوافقية البسيطة (Simple Harmonic Motion)

سبق أن درست أنواعاً مختلفة من حركة الأجسام، مثل الحركة الانتقالية كحركة سيارة على الطريق، والحركة الدورانية للأرض حول الشمس، وحركتي البندول والنابض اللتين تتكرران ذهاباً وإياباً على نفس المسار حول موضع الاتزان.



يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذه الوحدة المتمازجة والتفاعل مع أنشطته أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الميكانيكا في حل مسائل تتعلق بالحركة التوافقية البسيطة من خلال تحقيق الآتي:

- ◆ تمثيل الحركة التوافقية البسيطة رياضياً.
- ◆ وصف الحركة التوافقية البسيطة لكتلة مربوطة في نابض، وللبندول البسيط.
- ◆ توضيح العلاقة بين الحركة الدائرية والحركة التوافقية البسيطة.
- ◆ حل مسائل بسيطة على الحركة التوافقية البسيطة.

(1-6) الحركة الاهتزازية في النابض (Spring Oscillation)

عندما تدفع الأرجوحة بقوة لتصل أقصى ارتفاع لها فإنها تعود إلى الجهة المقابلة مارة بموضعها الأصلي، وكذلك عند سحبك لجسم مثبت بنابض وتركه، فإنه يهتز على جانبي موضعه الأصلي، فما الذي يعيد هذه الأجسام إلى موضعها الأصلي؟

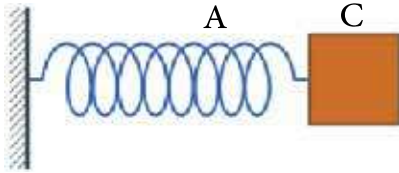
وتعرف هذه الحركة بالحركة التوافقية البسيطة: الحركة الاهتزازية التي تكرر نفسها ويتناسب فيها مقدار (قوة الارجاع) تسارع الجسم طردياً مع مقدار ازاحة الجسم، ويكون اتجاهها بعكس اتجاه الازاحة.

وتوصف هذه الحركة بسعة الاهتزاز أو الاتساع (وهي أقصى إزاحة للجسم المهتز عن موضع الاتزان، وتعرف الاهتزازة بأنها حركة الجسم المهتز عند مروره بنقطة معينة على مسار حركته مرتين متتاليتين في الاتجاه نفسه، والزمن الدوري (T) الزمن الذي يستغرقه الجسم لعمل اهتزازة (أو ذبذبة) كاملة- والتردد (f) عدد الاهتزازات (أو الذبذبات) في الثانية الواحدة، ويقاس بوحدة هيرتز Hz (ذبذبة/ ث). ويمكن ملاحظة أن العلاقة بين التردد والزمن الدوري عكسية؛ أي أن:

$$f = \frac{1}{T}$$

أناقش

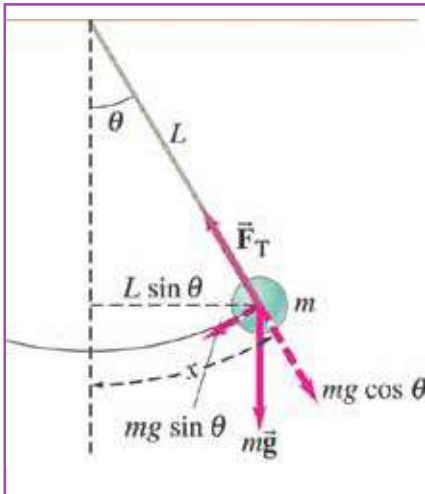
تتحرك كتلة مربوطة بنابض على سطح أفقي أملس حركة توافقية بسيطة بين النقطتين B ، A مروراً بموضع الاتزان C. عند أي النقاط يكون:



1. التسارع أكبر ما يمكن.
2. السرعة أكبر ما يمكن.
3. التسارع صفراً.
4. السرعة صفراً.

يعتبر البندول البسيط أحد الأنظمة الميكانيكية التي تعمل حركة دورية. ولكن، مم يتكون البندول البسيط؟ وهل تنطبق شروط الحركة التوافقية البسيطة على حركة البندول؟

يتكون البندول البسيط من كرة صغيرة مربوطة بخيط مثبت في حامل أفقي كما في الشكل المجاور، عند ازاحتها عن موضع الاتزان بزاوية θ فإنها ستتحرك ذهاباً وإياباً حول موضع الاتزان في حركة اهتزازية دورية تحت تأثير كل من قوة الجاذبية وقوة شد الخيط F_T .



عند أقصى إزاحة تكون القوى المؤثرة على الجسم المعلق هي قوة الشد (F_T) التي تنتج في الخيط وقوة الجاذبية الأرضية (F_g). وتحليل قوة الوزن فإن المركبة باتجاه موضع الاتزان ($F_g \sin \theta$) تؤثر دائماً في الاتجاه الذي يجعل الزاوية ($\theta = 0$ صفراً)، وفي عكس الإزاحة التي تحدث للجسم بالنسبة لموضع الاتزان. أما ($F_g \cos \theta$) فتعاكس الشد في الخيط.

$$\text{قوة الارجاع} = -F_g \sin \theta \quad (6-1)$$

إشارة السالب تدل على أنها باتجاه معاكس لاتجاه إزاحة الكرة عن موضع الاتزان، وتعمل على إرجاع الكرة نحو موضع الاتزان.

عندما تكون الزاوية θ صغيرة ($\theta \leq 15^\circ$) فإن $\sin \theta \approx \theta$ بالتقدير الدائري (الراديان)،

$$\text{الزاوية } \theta = \text{طول القوس } \frac{x}{L}$$

بالتعويض في معادلة (6-1)، فإن، قوة الارجاع $= -\frac{mgx}{L}$

ومنها نستنتج أن قوة الارجاع تتناسب طردياً مع الإزاحة عن موضع الاتزان (x) وتعاكسها في الاتجاه.

وبتطبيق القانون الثاني لنيوتن:

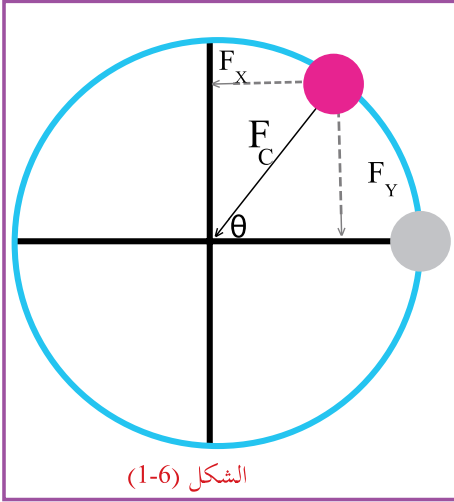
$$F = m a \Rightarrow F = -m g \sin \theta \Rightarrow m a = -\frac{mgx}{L}$$

$$\Rightarrow a = -\frac{gx}{L}$$

بما أن (L, g) ثابت (ثابت) فإن: $a \propto -x$

نستنتج من المعادلة السابقة أن التسارع يتناسب طردياً مع الإزاحة (x) ويكون اتجاهه بعكس اتجاه الإزاحة، مما يعني أن حركة البندول: حركة توافقية بسيطة.

(3-6) العلاقة بين الحركة الدائرية المنتظمة والحركة التوافقية البسيطة:



وللتعرف إلى العوامل التي يعتمد عليها الزمن الدوري لجسم يتحرك حركة توافقية بسيطة، نفترض أن جسماً يدور في مسار دائري نصف قطره (r) ومركزه (O) تؤثر فيه قوة مركزية (F_C) متزامن مع الحركة التوافقية البسيطة للجسم (أي لهما نفس السرعة الزاوية) كما في الشكل (1-6)، وتحليلها إلى مركبتين متعامدتين إحداها في الاتجاه السيني والأخرى في الاتجاه

$$F_x = F_C \cos \theta \Rightarrow F_x = m a_c \frac{x}{r}$$

حيث: a_c : التسارع المركزي.

وبتنطبق القانون الثاني لنيوتن لإيجاد التسارع في الحركة التوافقية:

$$m a_x = - m a_c \frac{x}{r}$$

$$a_x = -a_c \frac{x}{r}$$

$$a_x \propto -x \quad (6-2)$$

أي أن تسارع الجسم في الاتجاه السيني يتناسب طردياً مع الإزاحة، وبالتالي فإن مسقط حركة الجسم على المحور السيني هي حركة توافقية بسيطة.

إن العلاقة بين السرعة الخطية والسرعة الزاوية للحركة الدائرية هي ($v = r \omega$)، والتسارع المركزي للحركة الدائرية

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{r^2 \omega^2}{r} \quad \text{أي أن:} \quad (6-3) \quad a_c = r \omega^2$$

$$a_x = -\omega^2 x$$

والآن، يمكننا تحديد الزمن الدوري للحركة التوافقية البسيطة، لأنه يساوي زمن الجسم الذي يدور دورة كاملة. أي أن:

$$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

أي أن:

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

معادلات الحركة التوافقية البسيطة:

إن العلاقات التي تربط تسارع الأجسام في الحركة التوافقية البسيطة مع الإزاحة، سواء في النابض أم في البندول، أم في الحركة في مسار دائري منتظم كانت على النحو الآتي في:

$a = -\omega^2 x$	$a = \frac{-kx}{m}$	النابض:
$a = -\omega^2 x$	$a = \frac{-gx}{L}$	البندول:
$a_x = -\omega^2 x$	$a_x = \frac{-a_c x}{r}$	الحركة الدائرية:

- ما العوامل التي تعتمد عليها السرعة الزاوية في كل من النابض، والبندول، والحركة الدائرية؟
 – ما العلاقة التي تحسب منها الزمن الدوري لكل من البندول البسيط، والنابض، والحركة الدائرية؟ وما العوامل التي يعتمد عليها؟



دوران الأرض في مدارها حول الشمس حركة دورية، هل تعتبر حركة توافقية بسيطة؟ ولماذا؟

مثال 1: يهتز نظام جسم - نابض في حركة توافقية بسيطة سعتها (6 cm). فإذا كان ثابت المرونة للنابض (100 N/m) ومقدار كتلة الجسم (400 g). احسب:

1. السرعة الزاوية.
2. الزمن الدوري لحركة الجسم.
3. التردد.
4. القيمة القصوى لتسارع الجسم.
5. تسارع الجسم عندما تكون إزاحة الجسم (3 cm) عن موضع الاتزان.

الحل:

$$\omega^2 = \frac{k}{m} = \frac{100}{0.4} = 250 \Rightarrow \omega = 15.81 \text{ rad/s}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2 \times 3.14}{15.81} = 0.4 \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.4} = 2.5 \text{ Hz}$$

$$a = -\omega^2 x = 250 \times 0.06 = 15 \text{ m/s}^2$$

$$a = -\omega^2 x = 250 \times 0.03 = 7.5 \text{ m/s}^2$$

1. ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة للفقرات التالية:
 1. كتلة (m) تهتز تحت تأثير نابض ثابت المرونة له (k) بزمان دوري T، عند استبدال النابض بآخر ثابت مرونته (4K) فإن الزمن الدوري يصبح:
 - أ. 0.25T ب. 0.5T ج. 2T د. 4T
 2. في حركة البندول البسيط يتناسب التردد عكسياً مع الجذر التربيعي لـ:
 - أ. تسارع الجاذبية ب. الكتلة ج. طول البندول د. سعة الاهتزازة
 3. السرعة الخطية لجسم يتحرك في مسار دائري منتظم تعطى من العلاقة:
 - أ. $r v$ ب. $r \omega$ ج. $\frac{v}{r}$ د. $\frac{r}{v}$
 4. تصل سرعة الجسم المتحرك حركة توافقية بسيطة أكبر ما يمكن، عندما يكون للجسم:
 - أ. أكبر إزاحة ب. أقل إزاحة ج. أكبر تسارع د. أقل إزاحة وأكبر تسارع.
 5. إذا كان زمن (20) اهتزازة لجسم مثبت في نهاية نابض يتحرك حركة توافقية بسيطة هو (10 s)، فإن السرعة الزاوية لحركة الجسم بوحدة rad/s يساوي:
 - أ. (6.3) ب. (2) ج. (1.57) د. (12.6)
2. عرف كلاً مما يلي:
 - أ. الزمن الدوري.
 - ب. سعة الاهتزازة.
 - ج. السرعة الزاوية.
3. يدور جسم بسرعة ثابتة مقدراً في مسار دائري منتظم نصف قطره (20 cm). إذا كان الزمن الدوري له (2 s)، احسب:
 - أ. التردد
 - ب. السرعة الزاوية
 - ج. السرعة الخطية.
4. علق جسم كتلته (5 kg) في نهاية نابض طرفه العلوي مثبت في نقطة ثابتة، فحصلت له إزاحة مقدارها (25 cm). فإذا علق جسم آخر كتلته (2 kg) بدل الجسم الأول، وتحرك هذا الجسم حركة توافقية بسيطة. جد:
 - أ. السرعة الزاوية
 - ب. الزمن الدوري
 - ج. التردد.
5. يصنع بندول (150) ذبذبة في الدقيقة. إذا علمت أن تسارع السقوط الحر (10 m/s^2)، فاحسب:
 - أ. الزمن الدوري لحركة البندول.
 - ب. طول خيط البندول.
 - ج. التردد.
 - د. السرعة الزاوية.

طبيعة الضوء

سبق أن درستَ الضوءَ وعرفتَ أنه المؤثر الذي يؤثر على العين فيسبب الإبصار، وللضوء نظرياتٌ تفسّر طبيعته، فما طبيعة الضوء؟ وهل يتكوّن من جُسيمات أو موجات؟ وما نوع هذه الموجات؟ وكيف يمكن تفسير سلوك الضوء في ظواهر متعددة: كالانعكاس، والانكسار، والتداخل، والحيود؟

بعد دراستك لهذه الوحدة المتمازجة والتفاعل مع أنشطتها يتوقع منك أن:

- ◆ تحلّ مسائل على بعض خصائص الضوء وتطبيقاته.
- ◆ تفسّر بعض الظواهر المتعلقة بتطبيقات الضوء في مجالات متعددة.

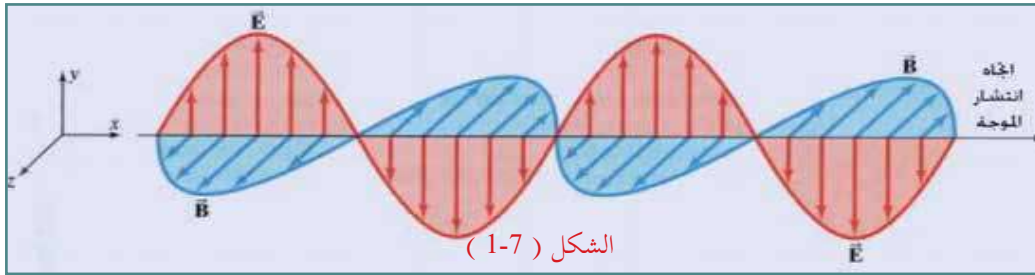
1-7 الأمواج الكهرومغناطيسية Electromagnetic Waves:

تعلمت في الصفوف السابقة بعض خصائص الضوء، كالانعكاس، والانكسار.

أناقش

- ١- ما قوانين انعكاس الضوء؟
- ٢- ماذا يحدث للشعاع الضوئي عند انتقاله من الهواء إلى الماء؟
- ٣- أذكر اثنين من التطبيقات الحيائية للضوء.

توصّل العالم (ماكسويل) إلى أنّ الضوء موجات كهرومغناطيسية تتكوّن من مجالين متعامدين: أحدهما كهربائي والآخر مغناطيسي، ويتعامدان مع اتجاه انتشار الموجة، ولا تحتاج إلى وسط ناقل؛ ولذلك يمكنها أن تنتشر في الفراغ بسرعة تساوي $(3 \times 10^8 \text{ m/s})$ ، كما في الشكل (1-7).



وقد مرّ معك سابقاً العلاقة التي تربط بين التردد وطول الموجة وسرعة انتشار الموجة.

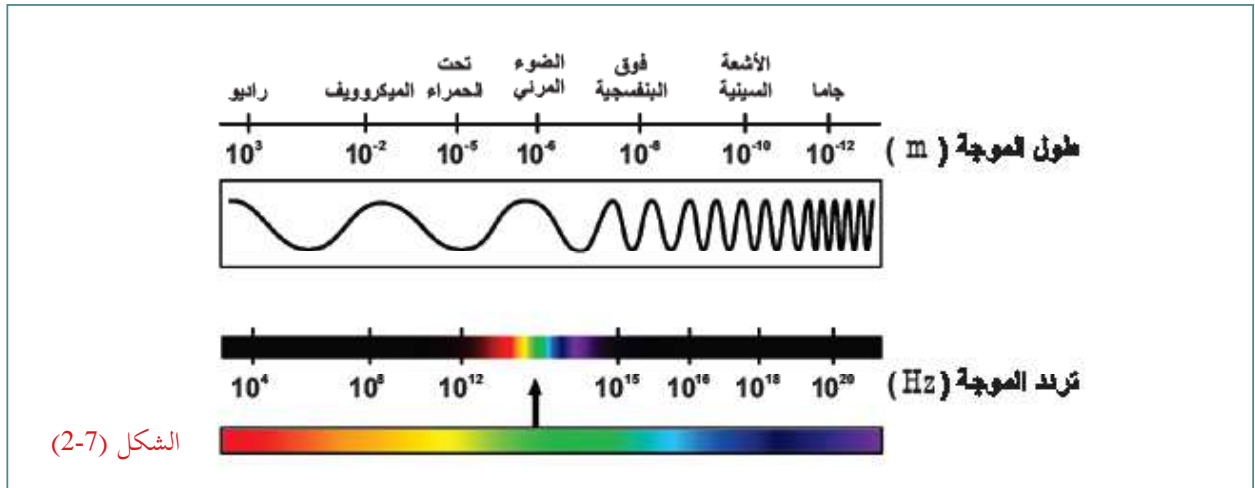
$$c = \lambda f \quad (7-1)$$

حيث c : سرعة الضوء في الفراغ.
 λ : الطول الموجي ويقاس بوحدة المتر.
 f : التردد ويقاس بوحدة الهيرتز.

2-7 الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic Spectrum:

هناك الكثير من التطبيقات للأمواج الكهرومغناطيسية في حياتنا اليومية؛ كالهواتف الخليوية، وأجهزة التحكم عن بعد، وأفران الميكروويف، وأبراج الهواتف الخليوية، وغيرها. كذلك بثّ الإشارات من محطات الإذاعة، والتلفزة، والأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض جميعها أمواج كهرومغناطيسية، ولكلّ منها الخصائص نفسها، إلّا أنّها تختلف في التردد، والطول الموجي، والطاقة؛ حيث إنّ الطاقة تتناسب طردياً مع التردد.

تُستخدم كلمة الطيف للتعبير عن مدى معيّن من الترددات، أو الأطوال الموجية، فالطيف الكهرومغناطيسي يشمل ترددات مختلفة من الإشعاعات الكهرومغناطيسية التي يوضحها الشكل (2-7).



ولكلّ منطقة من مناطق الطيف الكهرومغناطيسي خصائص تميّزها عن بعضها البعض، وبناءً عليه نتجت تطبيقات مختلفة لهذه الأشعة، سنتعرف إلى بعضٍ منها:

أمواج الراديو:

تُستخدم في البث الإذاعي والتلفازي؛ حيث يمكن لهوائي فلزي التقاطها؛ لأنّ أطوالها الموجية كبيرة.

أمواج الميكروويف:

تلي أمواج الراديو وتُستخدم في طهي الطعام وتسخينه في أفران الميكروويف، كما تُستخدم في الاتصالات.

الأشعة تحت الحمراء:

يُسمّى الجزء ذو الطول الموجي الأكبر من الأشعة تحت الحمراء الأمواج الحرارية؛ حيث تبعث الأجسام الساخنة أشعة تحت حمراء، ومنها جسم الإنسان الذي يُصدر أمواجاً حرارية تُستخدم في التصوير الحراري، حيث يتم استقبال الأشعة التي ترسلها الأجسام؛ ما يوضّح اختلاف حرارة الأجزاء المختلفة من الجسم، أمّا الجزء الأقصر منها فيُستخدم في التحكم عن بعد، مثل: جهاز التحكم عن بعد للتلفاز. وتحسّس الأفعالي الحرارة المنبعثة من أجسام الكائنات الحيّة؛ ما يمكنها من مطاردة فريستها ليلاً.

الضوء المرئي

ويشكّل أقلّ من واحد في المئة مليون من طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي، وأهمّ ما يميّز هذا الجزء من الطيف هو تمكّن الإنسان من رؤيته، والضوء المرئي الذي يصلنا من الشمس مركّب من الألوان جميعها (أحمر، وبرتقالي، وأصفر، وأخضر، وأزرق، ونيلي، وبنفسجي).

الأشعة فوق البنفسجية

وهي أقصر في الطول الموجي من الضوء المرئي وطاقته أكبر، ويحتوي الطيف الشمسي على هذه الأشعة، ويستطيع جزء قليل منها النفاذ من الغلاف الجوي للأرض، وتُستخدم في التصوير الفلكي للمجرات والنجوم. وللأشعة فوق البنفسجية استعمالات طبية، كحالات الأمراض الجلدية مثل الصدفية والبهاق. كما وتُستخدم في تعقيم الماء، وبعض المنتجات الغذائية، والدوائية، والعبوات الخاصة.

الأشعة السينية

وهي أقصر في الطول الموجي من الأمواج فوق البنفسجية، وتمتاز بطاقته العالية التي تمكنها من اختراق الأنسجة الناعمة في أجسام الكائنات الحية، ولكنها لا تنفذ من الأجسام الصلبة كالعظام؛ لذلك تُستخدم في تصوير العظام، وتُستخدم في تفتيش الحقائق داخل المطارات، وفي علاج الأورام السرطانية الخبيثة، والقضاء عليها. وبالرغم من طاقتها العالية إلا أنها لا تخترق الغلاف الجوي للأرض؛ لسماكة.

أشعة جاما

هذه الأشعة ذات الطول الموجي الأقصر في الطيف الكهرومغناطيسي، وذات الطاقة الأعلى؛ وذلك لأنها تنتج من التصادمات النووية ومن العناصر المشعة. تُستخدم في الطب لقتل الخلايا السرطانية ومنعها من النمو. وترجع قدرتها على تدمير الخلايا الحية إلى أنها أشعة مؤينة؛ أي أنها تُسبب التأين في الوسط الذي تمر به مسببة تأين الجزيئات فيه، وإذا حدث تأين للمادة الحية فإنها تتضرر، وقد يؤدي إلى موت الخلية.

أناقش

- أيّ أمواج الطيف الكهرومغناطيسي أعلى ترددًا؟ وأيها أقلّ ترددًا؟
- أيّ لون من ألوان الضوء المرئي له أكبر طول موجي؟ وأيها له أقصر طول موجي؟
- تغطي الأمواج الصادرة عن محطات التلفزة والراديو مساحات واسعة، بينما تغطي الأمواج الصادرة عن أبراج الهواتف الخلوية مساحات أقلّ.

سؤال:

يُستخدم كلٌّ من الضوء المرئي، والأشعة تحت الحمراء، والأشعة السينية في التصوير. من الشكل المقابل، ما الهدف من التصوير في كل حالة؟



3-7 التمثيل الرياضي للأمواج الكهرومغناطيسية Electromagnetic Wave Function:

تُمثِّل الأمواج الكهرومغناطيسية رياضياً باقترانٍ جيبي يوضح تغيُّر شدة المجال (الكهربائي والمغناطيسي) مع الزمن والإزاحة، في اتجاه انتشار الموجة بالعلاقة الآتية:

$$E = E_m \sin(kx - \omega t) \quad (7-2)$$

$$B = B_m \sin(kx - \omega t) \quad (7-3)$$

حيث:

E : شدة المجال الكهربائي وتقاس بوحدة V/m .

B : شدة المجال المغناطيسي وتقاس بوحدة تسلا (Tesla).

E_m ، B_m : سعة المجالين الكهربائي والمغناطيسي.

k : العدد الموجي: عدد الأطوال الموجية في مسافة مقدارها متر واحد مضروباً بـ 2π ، وتُحسب من العلاقة

x : الموضع

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (7-4)$$

t : الزمن

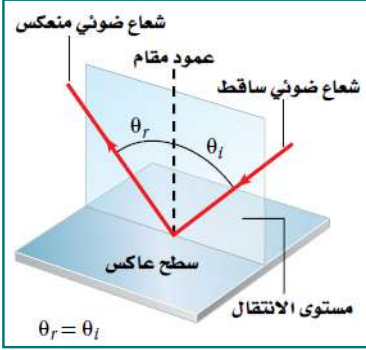
إنَّ كلا المجالين يتغيَّران في اتجاهين متعامدين، وكلاهما عموديٌّ على خط اتجاه انتشار الموجة في الوسط، كما في الشكل (1-7)، والنسبة بين قيمة المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي للموجة عند أيَّة لحظة تساوي سرعة الموجة عند تلك اللحظة في ذلك الوسط، وتساوي النسبة بين سعة موجة المجال الكهربائي وسعة موجة

المجال المغناطيسي؛ أيَّ أنَّ سرعة الموجة في الفراغ أو الهواء تعطى بالعلاقة: $c = \frac{E_m}{B_m}$

1-4-7 انعكاس الضوء Reflection of Light:

أناقش

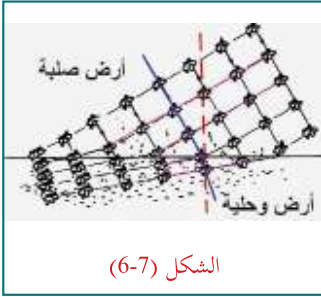
- ما الاتجاه الذي ترتد فيه الكرة عند ضربها بقوة عمودياً باتجاه الأرض؟
- ما الاتجاه الذي ترتد فيه الكرة إذا قُذِفَتْ بشكلٍ مائلٍ يصنع زاوية مع العمود المقام على السطح؟



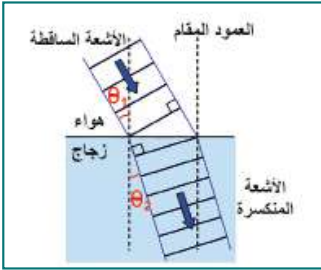
يوضح الشكل (5-7) ما يحدث لشعاع ضوئي عند سقوطه على سطح مستوٍ عاكس بزاوية θ_i ، فإنه سوف يرتد عن مساره بزاوية θ_r ، وتخضع عملية الانعكاس لقانوني الانعكاس، اذكر نصي قانوني الانعكاس.

الشكل (5-7)

2-4-7 انكسار الضوء Refraction of Light:



الشكل (6-7)



الشكل (7-7)

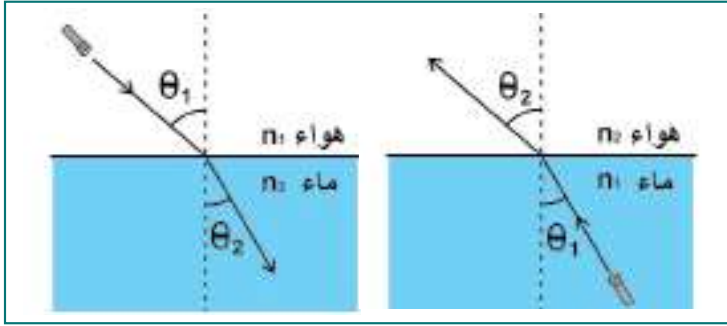
لمعرفة كيفية حدوث انحراف الضوء وانكساره عندما ينتقل من وسط شفاف إلى آخر يختلف عنه في الكثافة الضوئية، انظر الشكل (6-7) الذي يفترض أن مجموعة من الجنود يسرون في صفوفٍ وبسرعةٍ ثابتة على أرضٍ صلبة، وبعد ذلك دخل الجنود منطقة طينية موحلة، واصلوا السير بالوتيرة نفسها (التردد نفسه)، ولكن غوّس أقدامهم في الوحل أدى إلى تناقص طول خطواتهم فتقلّ سرعتهم (قلت سرعة الموجة)؛ ما يؤدي إلى تغيير في اتجاه حركة صفوف الجنود (انكسار)، في حين أن الجنود الموجودين في الصف نفسه، الذين ما زالوا يسرون على الأرض الصلبة يواصلون المسير بالخطوات السابقة نفسها.

يوضح الشكل (7-7) انتقال شعاع ضوئي من الهواء إلى الزجاج، حيث نلاحظ أن الشعاع الضوئي ينحرف عن مساره عند الحد الفاصل بين الوسطين، ويطلق على انحراف الضوء عن مساره عند انتقاله من وسطٍ شفافٍ إلى وسطٍ شفافٍ

آخر بانكسار الضوء، ولكن لماذا تحدث هذه الظاهرة؟

ينتقل الضوء في الأوساط البصريّة بسرعاتٍ مختلفة، فعلى سبيل المثال تكون سرعة الضوء في الهواء $(3 \times 10^8 \text{ m/s})$ بينما سرعته في الزجاج $(2.17 \times 10^8 \text{ m/s})$ ولذلك فإنه عند الحد الفاصل بين الوسطين سوف يحدث تغيير مفاجئ لسرعة الضوء؛ ما يؤدي إلى انحراف الضوء عن مساره مسبباً الانكسار.

A-2-4-7 قانون سنل Snells Law:



الشكل (7-8)

هل تعتمد العلاقة بين زاوية السقوط والانكسار على سرعة الضوء في الوسطين؟ بما أن عملية الانكسار تحدث بسبب التغير في سرعة الضوء بين الوسطين، فإن العلاقة بين زاوية السقوط وزاوية الانكسار تعتمد على التغير في السرعة، وكان العالم الدنماركي (سنل) 1621م هو أول من أثبت هذه العلاقة

التي عُرفت بقانون سنل، وينص على أن: حاصل ضرب معامل انكسار الوسط الأول في جيب زاوية السقوط يساوي حاصل ضرب معامل انكسار الوسط الثاني في جيب زاوية الانكسار. العلاقة الرياضية لقانون سنل:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (7-4)$$

حيث:

θ_1 : زاوية السقوط، θ_2 : زاوية الانكسار، كما في الشكل (7-8).
 n_1 : معامل الانكسار للوسط الأول، n_2 : معامل الانكسار للوسط الثاني
 n : معامل الانكسار ويعرف بأنه: النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ وسرعته في الوسط الذي ينتقل فيه.

$$n = \frac{\text{سرعة الضوء في الفراغ}}{\text{سرعة الضوء في الوسط}} = \frac{c}{v}$$

وقيمته دائماً أكبر من 1، فسّر ذلك.

ويبين الجدول المجاور معامل الانكسار لبعض الأوساط الشفافة.

معامل الانكسار لبعض المواد عند الطول الموجي (589 nm)	
n	المادة
1.0000	الفراغ
1.0003	الهواء
1.33	الماء
1.46 - 1.58	الزجاج
1.5 - 1.7	البلاستيك
2.42	الألماس

سؤال:

اكتب صيغة قانون سنل بدلالة:

أ- سرعة الضوء في الوسطين.

ب- طول موجة الضوء في الوسطين.

مثال: شعاع ضوئي طوله الموجي 589 نانومتر، سقط من الهواء نحو شريحة زجاجية بزاوية 30° مع العمود المقام على السطح، فإذا كان معامل الانكسار للهواء = 1، وللزجاج = 1.52 احسب زاوية الانكسار.

الحل:

من قانون سنل: $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

$$1 \times \sin 30 = 1.52 \times \sin \theta_2$$

$$\sin \theta_2 = 0.329$$

$$\theta_2 = 19.2^\circ$$

سؤال:

احسب طول موجة الضوء في الزجاج.

7-4-2 B الانعكاس الداخلي الكلي Total Internal Reflection:



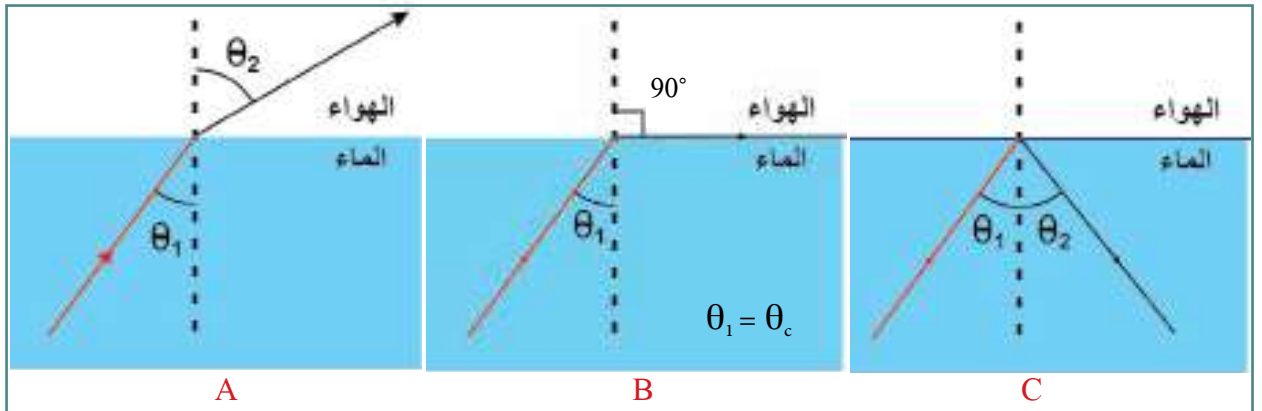
هل يمكن للأوساط الشفافة أن تعمل عمل مرآة مستوية؟

عرفنا أنه إذا سقط شعاع ضوئي من وسط معامل انكساره كبير مثل الماء إلى وسط آخر معامل انكساره أقل مثل الهواء، فإنه ينكسر مبتعداً عن العمود المقام على السطح الفاصل بين الوسطين؛ أي أن زاوية الانكسار تكون أكبر من زاوية السقوط $\theta_1 < \theta_2$ شكل (7-9 - A).

وعند زيادة زاوية السقوط فإن زاوية الانكسار تزداد إلى أن تصل قيمتها القصوى 90° ، وتُسمى زاوية السقوط في هذه الحالة الزاوية الحرجة، شكل (7-9 - B).

ولكن، ماذا يحدث للشعاع الضوئي الساقط إذا زادت زاوية السقوط في الوسط ذي معامل الانكسار الأكبر عن الزاوية الحرجة؟

يلاحظ من خلال التجربة العملية أن الشعاع الضوئي لا ينتقل إلى الوسط الثاني ولكنه ينعكس في الوسط الساقط منه نفسه، بحيث تكون زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس، وتُسمى هذه الظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي شكل (7-9 - C).



شكل (7-9)

ظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي:

ظاهرة ارتداد الأشعة الضوئية عند سقوطها من وسط معامل انكساره كبير إلى وسط معامل انكساره أقل، عندما تكون زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة.

الزاوية الحرجة θ_c :

زاوية السقوط في الوسط ذي معامل الانكسار الأكبر، التي يقابلها زاوية انكسار مقدارها 90° في الوسط الذي معامل انكساره أقل.

وتعتمد قيمة الزاوية الحرجة لوسط ما على معامل انكسار كل من وسطي السقوط والانكسار، وتحسب من

$$\text{قانون سنل: } n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90$$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \sin 90$$

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

مثال: إذا كان معامل الانكسار للماء يساوي 1.33، فما مقدار الزاوية الحرجة بين الماء والهواء؟

الحل:

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \sin 90$$

$$\sin \theta_c = 1/1.33$$

$$\theta_c = 48.8^\circ$$

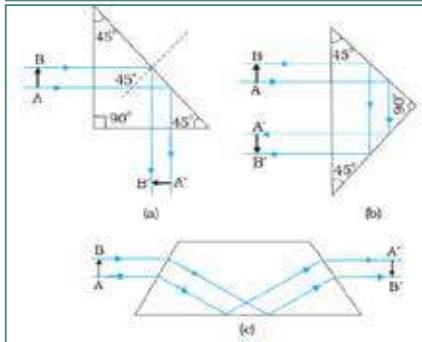
هذا يعني أن الشعاع الضوئي الذي يعبر من الماء إلى الهواء بزاوية 48.8° تكون زاوية انكساره 90° .

إن ظاهرة الانعكاس الكلي يمكن ملاحظتها في العديد من الظواهر الحياتية كظاهرة السراب، فما المقصود بهذه الظاهرة؟ وما السبب في حدوثها؟

بعض التطبيقات العملية على عملية الانعكاس الداخلي الكلي



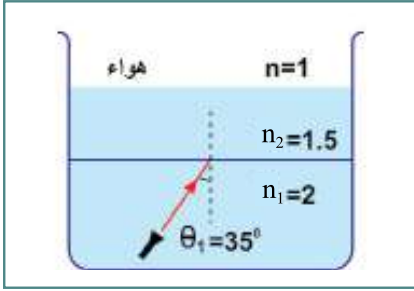
♦ **الألياف الضوئية:** تُصنع هذه الألياف من قلب زجاجي، أو بلاستيكي له معامل انكسار عالٍ كما في الشكل المجاور، ثم تُغطى بزجاج له معامل انكسار أقل، فعندما يدخل الضوء عبر الليف الضوئي سيعاني انعكاساً داخلياً حتى يُنقل من طرف إلى آخر. وتُستخدم في مجال الاتصالات؛ حيث يحمل الضوء المعلومات خلال الألياف الضوئية، وتُستخدم في الطب في مجال المناظير التي تستخدم للتشخيص، وفي مجال الجراحة.



الشكل (7-10)

♦ **المنشور العاكس:** يُستخدم منشور ثلاثي في كثير من الآلات البصرية، مثل البيروسكوب والتليسكوب، ويتم تغطية سطح المنشور بغشاء رقيق عاكس له معامل انكسار أقل من معامل انكسار الزجاج مثل الكريوليت. ويُستخدم لتغيير مسار الضوء بمقدار 90° أو 180° ويمكن استخدام مرآة مستوية تميل بزاوية 45° كما في الشكل (7-10)، ولكن يفضل المنشور العاكس على المرآة المستوية حيث

- ♦ يكون الانعكاس في المنشور كلياً، بمعنى أن 100 % من الأشعة الساقطة تنعكس بينما يصعب الحصول على مرآة تعكس 100 % من الأشعة الساقطة عليها.



الشكل (7 - 11)

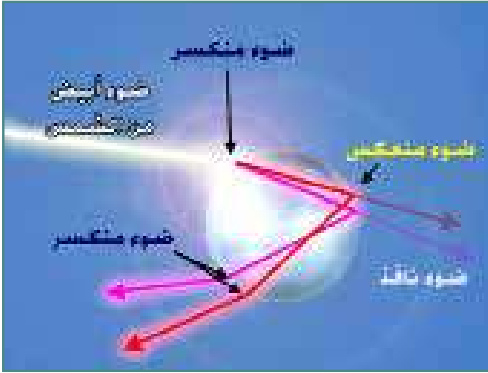
سؤال:

سقط شعاعٌ ضوئيٌّ من مصباح موجود في قاع وعاءٍ يحتوي طبقتين شفافتين من مادتين مختلفتين في معامل انكسارهما، حيث $n_1 = 2$ ، $n_2 = 1.5$ ، كما هو مبين في الشكل (7 - 11). فإذا سقط شعاعٌ ضوئيٌّ من قاع الإناء بزاوية مقدارها 35° ، تتبع مسار الشعاع مبيناً هل يمكن أن يخرج للهواء؟ اعتبر معامل الانكسار للهواء $= 1$.

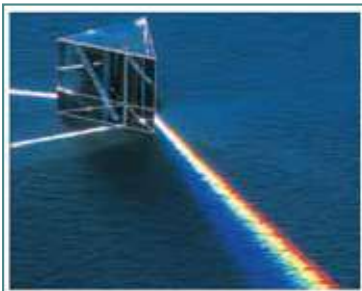
7-4-2 C انكسار الضوء في المنشور:



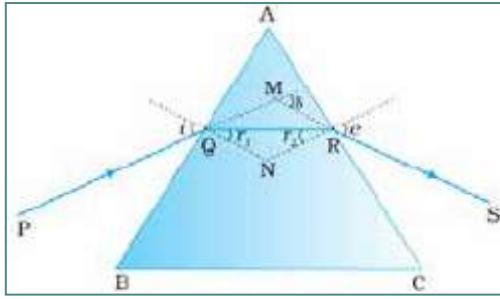
لعلك لاحظت ظهور قوس قزح في السماء في يوم ماطر، وعادة ما يظهر بعد سقوط المطر، أو خلاله بشرط شروق الشمس، فما السبب في ذلك؟ يحدث ذلك بسبب سقوط ضوء الشمس على قطرات المطر حيث يمر الضوء خلال وسطين مختلفين هما: الهواء والماء، فعندما تخترق الأشعة الضوئية قطرة المطر تنكسر وتنعكس



داخلها وتنكسر مرة أخرى خارجة منها. فيتحلل ضوء الشمس إلى ألوان الطيف، حيث يتكوّن ضوء الشمس من مجموعة من الألوان تُسمّى ألوان الطيف، ولكلٍّ منها معامل انكسار خاص به، فتكون زاوية انكسار كلٍّ منها مختلفة عن زاوية انكسار الألوان الأخرى. ويمكن الحصول على ألوان الطيف باستخدام منشور، فماذا يحدث إذا سقط شعاعٌ ضوئيٌّ أبيض على أحد أوجه منشور ثلاثي؟ عندما يسقط شعاعٌ ضوئيٌّ على أحد أوجه المنشور فإنه ينكسر أولاً عند انتقاله من الهواء إلى داخل المنشور، ثم ينكسر مرة ثانية



عند مغادرته المنشور إلى الهواء، مطلقاً ألوان الطيف السبعة، ولكلٍّ منها زاوية انحراف تعتمد على الطول الموجي للون، فكلما زاد الطول الموجي قلّ الانحراف.



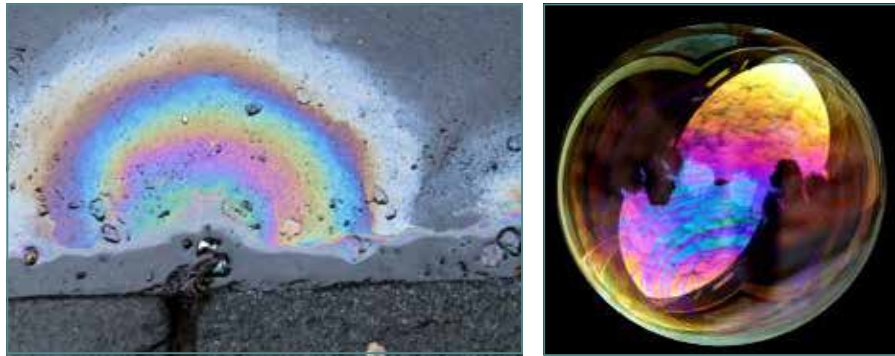
الشكل (7- 12)

ويوضح الشكل (7- 12) شعاعاً ضوئياً سقط على أحد أوجه المنشور، ثم نفذ منحرفاً نحو قاعدة المنشور ، وهذا الانحراف في مسار الشعاع الضوئي يُعبّر عنه بزاوية الانحراف الكلي δ : الزاوية المحصورة بين امتداد الشعاع الساقط على المنشور وامتداد الشعاع الخارج من المنشور وتعتمد على الطول الموجي.

3-4-7 تداخل الضوء

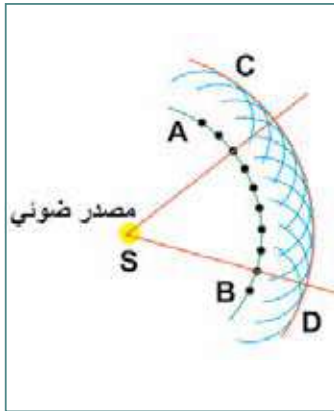
هل سبق أن شاهدت ألوان الطيف التي كونتها فقاعة صابون، أو غشاء زيتي عائم على سطح تجمع مائي صغير في ساحة موقف السيارات، كما في الشكل (7- 13)؟ فهي لم تنتج بسبب تحلل الضوء الأبيض بوساطة منشور، فما السبب في ظهور هذه الألوان؟

يمكن تفسير ظهور هذه الألوان نتيجة حدوث التداخل البناء والهدام للموجات الضوئية، وتعرف هذه الظاهرة بالتداخل في الأغشية الرقيقة.



الشكل (7- 13)

مبدأ هايجنز



الشكل (7 - 14)

يُعدّ العالم الألماني (كريستيان هايجنز) أول من افترض النموذج الموجي للضوء عام ١٦٧٨م، وقد تمّ تفسير انكسار الضوء عند انتقاله بين وسطين مختلفين باستخدام مبدأ هايجنز، وحسب هذا المبدأ: يمكن اعتبار جميع النقاط على مقدمة الموجة الضوئية وكأنها تمثل مصادر جديدةً للأمواج ثانوية تنتشر في جميع الاتجاهات بعضها خلف بعض، وبسرعةٍ مساوية لسرعة الأموجة الأصلية. وتكون مقدمة الموجة الجديدة هي الغلاف للأمواج الصغيرة جميعها؛ أي المماس لها كلها. وتتكوّن مقدّمة الموجة المستوية من عدد غير محدود من المصادر النقطية التي تولّد جبهات للأمواج مستوية.

وكمثال على مبدأ هايجنز نأخذ مقدمة الموجة (AB)، كما في الشكل (7 - 14)، التي تنتقل بعيداً عن المصدر بالسرعة نفسها في جميع الاتجاهات. ولنجد الموجة بعد مرور زمن (t) من المقدمة (AB).

نرسم دوائر صغيرة نصف قطر كلٍّ منها يساوي (vt). إنّ مراكز هذه الدوائر هي النقاط الزرقاء على مقدمة الموجة الأصلية (AB). وتمثّل الدوائر موجبات هيجنز (الوهمية). إنّ المماس لكلّ هذه الدوائر هو المنحنى (CD)، وهو الموقع الجديد لمقدمة الموجة.

وقد أثبت الفيزيائي الإنجليزي (توماس ينغ) عام 1801م أنّ للضوء خصائص موجيّة من خلال تجربة الشق المزدوج (تجربة ينغ).

4-4-7 حيود الضّوء

يحدث الحيود الضوئي في الغلاف الجوي؛ حيث تنحرف الأشعة الضوئية عند اصطدامها بذرّات الهواء المتواجدة حول مصدر الضوء، محدثةً حلقات ضوئية لامعة متتالية حول مصدر ضوء ساطع كالشمس أو القمر، وتبدو لنا تلك الحلقات حول القمر خصوصاً في وجود السحب الخفيفة أو الضباب.

حيود الضّوء: انحناء مقدّمة موجات الضّوء نتيجة وجود عوائق أو فتحات صغيرة تمرّ من خلالها.

أختبر نفسي:

- 1 عرّف كلاً ممّا يأتي:
الأمواج الكهرومغناطيسية. الزاوية الحرجة. حيود الضوء.
- 2 اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:
1- أيّ الأمواج الآتية لها أعلى تردد؟
أ) أمواج الميكروويف. ب) أمواج الراديو. ج) الأشعة السينية. د) أشعة جاما.
2- ما الظاهرة التي ينحرف فيها الشعاع عن مساره الأصلي عند انتقاله من وسط شفاف إلى آخر؟
أ) الحيود. ب) الانكسار. ج) الانعكاس. د) التداخل.
3- عندما ينتقل شعاع ضوئي من الهواء بزاوية سقوط 30° إلى الزجاج الذي معامل انكساره 1.5، فما زاوية الانكسار في الزجاج؟
أ) 10° ب) 20° ج) 30° د) 54°
4- أيّ ظواهر الضوء الآتية تُعدّ الألياف الضوئية تطبيقاً لها؟
أ) الحيود. ب) التداخل. ج) الانعكاس الداخلي الكلي. د) الانكسار.
5- أيّ من العبارات الآتية صحيحة حول سرعة أشعة جاما وموجات الراديو في الفراغ؟
أ) أشعة جاما أسرع من موجات الراديو. ب) موجات الراديو أسرع من أشعة جاما.
ج) لهما السرعة نفسها. د) تعتمد سرعتاهما على تردداتهما.
- 3 احسب الطول الموجي لكلّ من:
أ - محطة إذاعية تبث إرسالها على موجة ترددها (6 MHz).
ب - أمواج الميكروويف ترددها 9×10^9 Hz.
- 4 إذا سقط ضوء أبيض على شقوق باب شبكي يمنع دخول الحشرات فإنّه لا يرى نمط تداخل في ظلّ الباب على الجدار. فسّر ذلك.

أسئلة إثرائية

1 ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة للفقرات الآتية:

1. ما الأشعة التي تقع بين الطيف المرئي وأمواج الميكروويف وتستخدم في التصوير الليلي؟
أ) الأشعة السينية. ب) الأشعة فوق بنفسجية. ج) الأشعة تحت الحمراء. د) أشعة جاما.
2. إذا كان معامل الانكسار لوسط شفاف 1.5 فإن مقدار سرعة الضوء في هذا الوسط نسبة إلى سرعة الضوء في الهواء يساوي:

- أ) $\frac{1}{3}$ ب) $\frac{2}{3}$ ج) 1 د) $\frac{3}{2}$

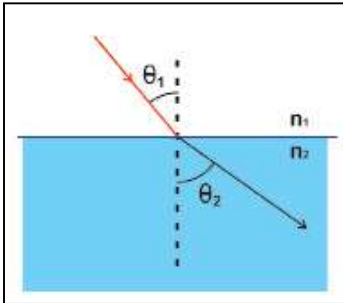
2 عرّف كلاً ممّا يأتي:

قانون سنل. الانعكاس الداخلي الكلي. مبدأ هايجنز. التداخل.

3 علّل ما يأتي:

* عادة لا تبدو ظاهرة الحيود واضحة للعين في الأمواج الضوئية.

4 سقط شعاع ضوئي من الوسط الأول إلى الوسط الثاني كما في الشكل المجاور:



- 1- أيّ الوسطين له معامل انكسار أكبر؟
- 2- في أيّ الوسطين سرعة الضوء أكبر؟
- 3- هل يمكن أن يحدث انعكاس داخلي كلي لشعاع ضوئي ساقط من الوسط الأول على السطح الفاصل بين الوسطين؟ ولماذا؟

اختبار الفترة الثالثة

مجموع العلامات (30) الزمن : 40 دقيقة

السؤال الأول : انقل رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي إلى ورقة الإجابة :

- 1 - في الحركة الدائرية المنتظمة يتناسب التسارع المركزي :
 أ) طرديا مع السرعة الخطية
 ب) عكسيا مع نصف القطر
 ج) عكسيا مع مربع السرعة الزاوية
 د) طرديا مع مربع السرعة الزاوية
- 2 - السرعة الخطية لجسم يتحرك في مسار دائري منتظم تعطى بالعلاقة :
 أ- $r v$ ب- $r w$ ج- $v \backslash r$ د- $r \backslash v$
- 3 - ربط حجر في خيط طوله 40 cm وأدير في وضع أفقي فأكمل دورة خلال 0.2 s كم يكون التسارع المركزي له؟
 أ- $20\pi \text{ m/s}^2$ ب- $20\pi^2 \text{ m/s}^2$ ج- $40\pi \text{ m/s}^2$ د- $40\pi^2 \text{ m/s}^2$
- 4 - من أجزاء الطيف الكهرومغناطيسي تستخدم في علاج الصدفية وتعقيم المياه هي :
 أ- الميكروويف ب- تحت الحمراء القصيرة ج- الفوق بنفسجية د- جاما
- 5 - انحراف الضوء عن مساره بسبب فتحة ضيقة هو :
 أ- الانعكاس ب- الانكسار ج- التداخل د- الحيود
- 6 - ما طول موجة ميكروويف ترددها $9 \times 10^9 \text{ Hz}$ «بالمتر» :
 أ- 0.3 ب- 0.03 ج- 0.003 د- 3

السؤال الثاني :

- أ- وضح المقصود بكل من : السرعة الزاوية ، الحركة التوافقية البسيطة ، الإزاحة الزاوية . الزاوية الحرجة
- ب- نابض مثبت به كتلة 0.4 Kg يتحرك حركة توافقية بسيطة بحيث يصنع 10 دورات في 20 ثانية جد :
 1 - السرعة الزاوية 2 - ثابت مرونة النابض .
- ج- تدور مروحة بتسارع ثابت بسرعة 600rev/min إذا أصبحت سرعة الدوران 800rev/min خلال 5 s جد :
 1 - الإزاحة الزاوية 2 - عدد الدورات التي دارتها خلال تلك الفترة

السؤال الثالث :

- أ - علل ما يلي :
 1 - تعتبر حركة البندول البسيط حركة توافقية بسيطة .
 2 - يخفف السائق من سرعة المركبة عند دخوله منعطف حاد.
- ب- يدور حجر طاحونة بدءا من السكون زاوية 180° خلال ثانيتين بتسارع زاوي ثابت . احسب :
 1- السرعة الزاوية المتوسطة للحجر ؟
 2- التسارع الزاوي ؟
- ج- في الشكل اذا كان معامل انكسار السائل الاول (1.25) والسائل الثاني (1.5) فما مقدار الزاوية الحرجة بينهما ؟