١١

دولـــة فلسطين
وزارة التربية والتعليم

الفيـــزيـــاء

العلمي والصناعي

الرزمة التعليمية

٢٠٢٤

دولـــة فلسطين
وزارة التربية والتعليم
مركز المناهج

mohe.ps | mohe.pna.ps | moehe.gov.ps
.com/MinistryOfEducationWzartAltrbytWaltlym
هاتف 2983280 2 970+ | فاكس 2983250 2 970+

حي الماصيون، شارع المعاهد
ص. ب 719 - رام الله - فلسطين
pcdc.mohe@gmail.com | pcdc.edu.ps

المحتويات

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذه الوحدة المتمازجة والتفاعل مع أنشطتها أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الميكانيكا في حل مسائل تتعلق بالكميات المتجهة والحركة بأنواعها المختلفة من خلال تحقيق الآتي:

- توظيف المفاهيم العلميّة في تفسير الظواهر الطبيعيّة التي تتعلّق بالميكانيكا.
- اكتساب مهارة التحليل الفيزيائي للمسائل المتعلّقة بالميكانيكا.
- التعرّف إلى تطبيقات الميكانيكا في المُعدّات والآلات.
- إنتاج مشروع حول استخدام الميكانيكا في بعض المُعدّات مثل: الروافع، والمصاعد، وألعاب الملاهي، وغيرها.
- تفسير بعض الظواهر والمشاهدات اعتماداً على قوانين (نيوتن).
- حل مسائل على قوانين (نيوتن).
- توضيح المقصود بالحركة الدائريّة ومتغيّراتها.
- الربط بين معادلات الحركة الخطّيّة وما يقابلها في الحركة الدائريّة.
- حل مسائل على الحركة الدائرية.
- تفسير بعض تطبيقات الحركة الدائريّة.
- تتعرّف إلى مفهوم الشحنة الكهربائية وخصائصها.
- تذكر طرق التكهرب (الشحن)، وتفسرها.
- توضّح المقصود بتكمية الشحنة الكهربائية، وقانون حفظ الشحنة.
- تتعرّف إلى مفهوم القوة الكهربائية.
- تحلّ مسائل لحساب قوى التجاذب والتنافر بين الشحنات الكهربائيّة.

الميكانيكا (Mechanics)

الكميّات المتّجهة والحركة في بُعديْن (Vectors and Two-Dimensional Motion)

هناك العديدُ من الكميّات الفيزيائيّة التي نواجهها في حياتنا، كالمسافات التي نسيرها يوميّاً إلى الأماكن التي نبغي وصولها، والأزمان التي نحتاجها لذلك، وكذلك القوى التي ندفع بها الأشياء من حولنا، كمركبةٍ معطّلةٍ، بهدف تحريكها، وغيرها من الكميّات. وكما مرّ معك سابقاً، فإنّ هذه الكميّات يُمكن تصنيفُها من حيثُ ما يلزم لوصفها، والتعبير عنها بشكلٍ كامل؛ حيث نسمّي بعضَها كميّاتٍ قياسيّة، بينما نسمّي البعضَ الآخر كميّاتٍ متّجهةٍ، أو متّجهات.

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذا الفصل والتفاعل مع أنشطته أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الميكانيكا في حل الكميات المتجهة والحركة في بعدين من خلال تحقيق الآتي:

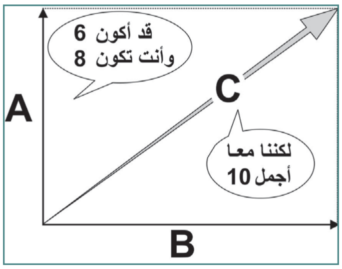
- اجراء العمليّاتِ الجبريّة على المتّجهات.
- تعرُّف إلى بعض الكميّات الفيزيائيّة من خلال العمليّات الجبريّة عليها.
- حل مسائلَ عدديّةً باستخدام جبر المتّجهات.
- تفسير بعضَ التطبيقات على الحركة في بُعديْن.

1-1 الكميّات المتّجهة(Vectors)

لقد مرّ بك في الصفّ العاشر مفهومُ الكميّات المتّجهة، التي تُعرف بأنّها الكميّات الفيزيائيّة التي يلزم للتعبير عنها تحديدُ مقدارها واتّجاهها، كالإزاحة، والسّرعةِ المتّجهة، والقوّة. وتعلّمتَ تمثيلَها بيانيّاً، وإيجاد حاصل جمعها بالطريقة الهندسيّة. ونستخدم الرّمز الغامق **A** أو $\vec{A}$ للتعبير عن المتّجه، بينما نستخدم |**A**| أو A للتعبير عن مقدار المتّجه.

أناقش

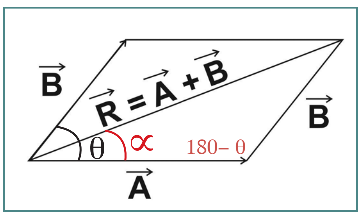
١- أعطِ أمثلةً لكميّاتٍ فيزيائيّة.
٢- صنّف الكميّات التي ذكرتَها إلى: قياسيّة، ومتّجهة.
٣- ما المقصود بمعكوس المتّجه؟
٤- كيف نمثّل الكميّة المتّجهة بيانيّاً؟
٥- فسّر الحوار في الشّكل المجاور.



2-1 جمع المتّجهات (Vector Addition)

تعلمتَ في الصفّ العاشر الأساسيّ جمعَ المتّجهات بيانيّاً (الطريقة الهندسيّة)، وجمعَ متّجهيْن متوازييْن، أو متعامديْن.

1 -2- Aجمع المتّجهات بطريقة متوازي الأضلاع



إذا كان لدينا المتّجهان **A** و **B**، بينهما زاوية θ كما في الشكل المجاور، فإنّ قُطرَ متوازي الأضلاع المحصور يمثّل محصّلة المتّجهيْن **R**، مقداراً واتّجاهاً، وهو السّهم الواصل من ذيْل المتّجه الأوّل إلى رأس المتّجه الثّاني. ويُعطى مقدارُ المحصّلة بالعلاقة الآتية:

$$R=\sqrt{A^2+B^2+2AB\cos\theta} \qquad (1\text{-}1)$$

ولإيجاد اتّجاه المحصّلة، نستخدم قاعدة الجيب لنجد الزاوية ∝ التي تصنعها المحصّلة R مع A

$$\frac{B}{\sin\propto}=\frac{R}{\sin(180-\theta)} \qquad (1\text{-}2\text{-}A)$$

وحيث إنّ $\sin(180-\theta)=\sin\theta$، فيمكن التعبير عن $\sin\propto$ من خلال العلاقة:

$$\sin\propto=\frac{B}{R}\sin\theta \qquad (1\text{-}2\text{-}B)$$

أناقش

ما محصّلةُ متّجهين **A** و**B** إذا كانا:

١- بالاتّجاه نفسه.

٢- باتّجاهيْن متعاكسيْن.

٣- باتّجاهيْن متعامديْن.

٤- متساوييْن مقداراً، وبينهما زاوية θ.

مثال (1): غرزت سيّارةٌ في الرمل، واستُخدم لجرّها حبلان يحصران بينهما زاوية(45°). فإذا كانت قوة الشدّ في أحدِهما **A** = 600 N ، وفي الآخر **B** =800 N ، ما محصّلةُ قوّتيّ الشّدّ في الحبليْن التي تتأثّر بها السيّارة؟

الحل:

لإيجاد مقدار المحصّلة، نستخدم العلاقة (1-1):

$$R=\sqrt{(600)^2+(800)^2+2\times600\times800\times\cos(45^\circ)}$$

$$R=1295.7N$$

ولإيجاد الاتّجاه، نستخدم قاعدة الجيب (1-2-A):

$$\frac{800}{\sin\propto}=\frac{1295.7}{\sin 45^\circ}$$

$$\sin\propto=0.71\times\frac{800}{1295.7}=0.44$$

$$\propto = 26^\circ$$

أيّ انّ: **R** تصنع زاوية مقدارها 26° مع **A**.

سؤال

استُخدم حبلان يؤثّران في قوتيّ شدٍّ متساويتيْن مقداراً، يحصران بينهما زاوية 60° ؛ لتحريك جسمٍ على سطحٍ أفقيّ، وكانت محصّلتُهما (50 N)، ما مقدار القوّة التي يؤثّر بها كلٌّ من الحبليْن في الجسم.

B-2-1 جمع المتّجهات بتحليلها إلى مركّبات متعامدة

مثال (2): جدْ مركّبتيّ القوة الأفقيّة والرأسيّة في كلٍّ من الحالات الآتية:

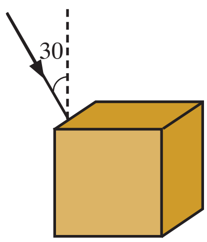
١. يجرُّ طالبٌ حقيبة كُتبه بقوة(20 N)، وباتّجاهٍ يميل عن الأفقيّ بزاوية(53°).

٢. يدفع رجلٌ عربةَ التّسوّق بقوةٍ مقدارها (30 N) ، بحيث تشكّل زاوية (30°) مع الرأسي.

الحل: 1:

$$F_X = F\cos\theta$$
$$= 20\times\cos 53^\circ$$
$$= 12\ N$$
$$F_Y = F\sin\theta$$
$$= 20\times\sin 53^\circ$$
$$= 16\ N$$

2: لاحظْ أنّ القوّة تصنع زاويةً رأسيّةً مقدارها (30°) ، وبالتالي فإنّ الزاوية التي تصنعها القوة مع الاتّجاه (+x) هي (60°) :



$$F_x = F\cos\theta$$
$$= 30\times\cos(60^\circ)$$
$$= 15\ N$$
$$F_y = F\sin\theta$$
$$= 30\times\sin(60^\circ)$$
$$= 26\ N$$ باتجاه -y

ونستخدم الطريقة التحليليّة لإيجاد محصّلة عدّة متجهات (كالقوى)، وللقيام بذلك نتبع الخطوات الآتية:

١- نحلّل كلّ قوّةٍ إلى مركّبتيها الأفقيّة(+x) والرأسيّة(+y).

٢- نحسب المجموع الجبريّ للقوى المؤثّرة في الاتّجاه السيني $\sum F_x$.

٣- نحسب المجموع الجبريّ للقوى المؤثّرة في الاتّجاه الصادي $\sum F_y$.

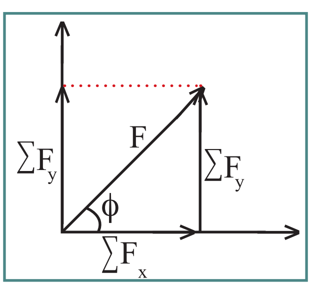
٤- نحسب المحصّلة الكليّة للمحصّلتيْن المتعامدتيْن.

$$F = \sqrt{\left(\sum F_x\right)^2 + \left(\sum F_y\right)^2} \qquad (1\text{-}3)$$

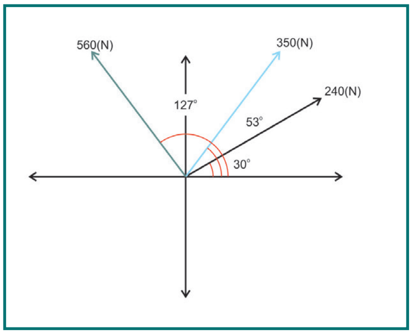
٥- نحدّد اتّجاه القوة المحصّلة من خلال:

$$\phi = \tan^{-1}\frac{\left(\sum F_y\right)}{\left(\sum F_x\right)} \qquad (1\text{-}4)$$

حيث تمثل ϕ الزاوية التي تصنعها المحصّلة F مع المحور السيني الموجب، مع مراعاة إشارات كل من F_x و F_y كما في الشكل المجاور.



مثال(3): في الشكل المجاور أوْجد المحصّلة للقوى الثلاث؛ علماً بأنّ القوى تؤثّر في النقطة نفسها، ومقاديرها كما يأتي:



$\mathbf{F_1} = 240\ N$ $\mathbf{F_2} = 350\ N$ $\mathbf{F_3} = 560\ N$

الحلّ:

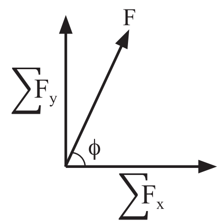
نحلّل كلًّا من القوى لمركّبتيْها، ونجمع مركّباتها الأفقيّة:

$$\sum F_x = F_1 \cos(\theta_1) + F_2 \cos(\theta_2) + F_3 \cos(\theta_3)$$
$$= 240 \cos(30°) + 350 \cos(53°) + 560 \cos(127°)$$
$$= 240 \times 0.86 + 350 \times 0.60 + 560 \times (-0.60) = 80\ N$$

وكذلك الرأسيّة:

$$\sum F_y = F_1 \sin(\theta_1) + F_2 \sin(\theta_2) + F_3 \sin(\theta_3)$$
$$= 240 \sin(30°) + 350 \sin(53°) + 560 \sin(127°)$$
$$= 240 \times 0.50 + 350 \times 0.8 + 560 \times (0.80) = 848N$$

$$F = \sqrt{\left(\sum F_x\right)^2 + \left(\sum F_y\right)^2}$$
$$= \sqrt{(80)^2 + (848)^2}$$
$$= 851.7\ N$$



$$\phi = \tan^{-1} \frac{\left(\sum F_y\right)}{\left(\sum F_x\right)} = 84.6°$$

3-1 عمليّات ضرب الكميّات المتّجهة (Vector Multipliction)

تعلمتَ فيما سبق، كيف تجدُ محصّلة متّجهيْن أو أكثر، ومرّ بك في الصّف العاشر الأساسيّ ضربُ الكميّة المتّجهة بعدد.

أناقش

لديْك المتّجهات $\mathbf{A} = 6$ وَحداتٍ باتّجاه المحور السيني الموجب، $\mathbf{B} = 8$ وَحداتٍ باتّجاهٍ يصنع زاوية $127°$ مع محور السينات الموجب، جدْ:

١. $\mathbf{C} = 2\ \mathbf{A}$

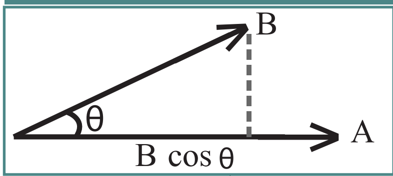
٢. $\mathbf{D} = 0.4\ \mathbf{B}$

٣. $\mathbf{E} = -0.25\ \mathbf{A}$

٤. مثّل بيانيّاً كلًّا من المتّجهات السابقة.

والآن ماذا عن ضرب المتّجهات، فهل يختلف ضرب المتّجهات عن ضرب الكميّات العدديّة؟

B-3-1 ضرب الكميّات المتّجهة ضرباً قياسيّاً (نقطيّاً):



إذا كان لديْنا المتّجهان **A**،**B** يحصران بينهما زاوية θ، كما في الشكل، فإنّ:

$$\mathbf{A}.\mathbf{B} = A\ B\ \cos\theta \qquad (1\text{-}7)$$

الضرب القياسي: حاصل ضرب مقدار أحد المتّجهين في مقدار مركّبة المتّجه الآخر باتّجاهه.

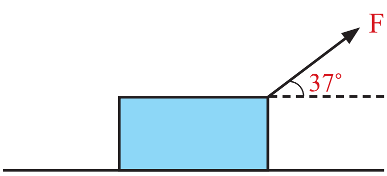
ومثال ذلك: الشغل = القوة . الإزاحة، ونعبّر عن ذلك رياضيّاً كما يأتي:

$$W = \mathbf{F}.\Delta\mathbf{r} = F\Delta r\ \cos\ \theta \qquad (1\text{-}8)$$

أناقش

١. متى يكون حاصلُ الضرب النقطيّ أكبرَ ما يمكن؟
٢. متى يكون حاصل الضرب النقطي موجباً؟ ومتى يكون سالباً؟
٣. متى يكون حاصل الضرب النقطي صفراً؟
٤. هل يمكن أن نعُدّ الوزن($\mathbf{F_g}= \mathbf{mg}$) مثالاً للضرب النقطي؟
٥. كيف يمكن استخدام الضرب النقطي في إثبات محصّلة متّجهيْن بينهما زاوية؟

مثال(5): في الشكل أثّرت قوة (35 N)تميل بزاوية (37^o) عن الأفقيّ، فأحدثت إزاحة (20 m) للجسم في الاتّجاه الأفقيّ، جد الشغل الذي تبذله القوة؟



الحل:

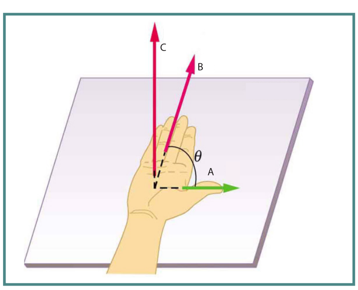
بحسب العلاقة (1-8):

$$W=\mathbf{F}.\Delta\mathbf{r} = F\ \Delta r\ \cos\ \theta$$

$$=35 \times 20\ \cos\ (37) = 560J$$

C-3-1 ضرب الكميّات المتّجهة ضرباً متّجهاً (تقاطعيّاً)

إذا كان لديْنا المتّجهان (**A**) ، (**B**) ويحصران بينهما زاوية (θ)، وكان(**C**) حاصل ضربهما التقاطعيّ، فإنّ الناتج (**C**) كميّة متّجهة، ويُعبَّرُ عن حاصل الضرب التقاطعيّ بما يأتي:



$$\mathbf{C}=\mathbf{A}\times\mathbf{B} \qquad (1\text{-}9)$$

ويعطى مقدار (**C**) بالعلاقة:

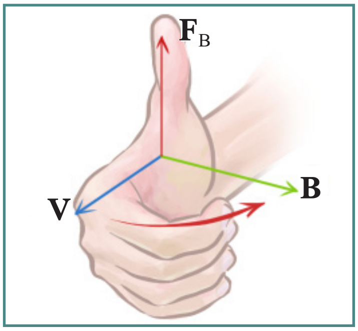
$$|\mathbf{C}| = |\mathbf{A}||\mathbf{B}|\ \sin\theta \qquad (1\text{-}10)$$

ولتحديد اتّجاه(**C**)نستخدم قاعدة اليد اليمنى، وهي فرد أصابع اليد اليمنى باتّجاه المتّجه الأوّل، ثم تدويرها باتّجاه المتّجه الثاني بأصغر زاوية، فيؤشّر الإبهام باتّجاه حاصل الضرب.

الضرب التقاطعيّ: حاصل ضرب مقدار المتّجه الأوّل في مركّبة المتّجه الثّاني العموديّة عليه، ويكون اتّجاه المتّجه الناتج عموديّاً على كلٍّ منهما، وعلى المستوى الذي يقع عليه كلا المتّجهيْن.

ومن الأمثلة عليه، القوة $\mathbf{F}_B$ التي يؤثر فيها مجالٌ مغناطيسي $\mathbf{B}$، على شحنة كهربائيّة q، تسير بسرعة متّجهة $\mathbf{v}$، حيث تُعطى القوة بالعلاقة:

$$\boxed{\mathbf{F}_B = q\,(\mathbf{v}\times\mathbf{B})}$$



ولتحديد اتّجاه القوة نستخدم قاعدة اليد اليمنى.

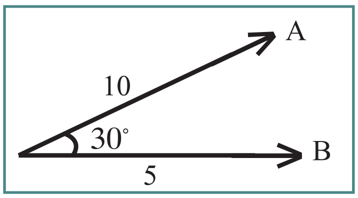
أناقش

١- متى يكون حاصل الضرب التقاطعيّ أكبر ما يمكن؟

٢- متى يكون حاصل الضرب التقاطعيّ صفراً؟

٣- هل عمليّة الضرب التقاطعيّ تبديليّة؟ وضّح إجابتك بمثال.

مثال(6): لديك المتّجهان في الشكل المجاور، فإذا كان مقدار $\mathbf{A}$ =10m، ومقدار $\mathbf{B}$ =5 m في المستوى، x-y جدْ:



١- $\mathbf{C} = \mathbf{A} \times \mathbf{B}$

٢- $D = \mathbf{A} \cdot \mathbf{B}$

الحل:

١- $|\mathbf{C}|=|\mathbf{A}||\mathbf{B}|\sin\theta = 10\times5\times0.5= 25\ m^2$

باتّجاه المحور الزيني السالب؛ بحسب قاعدة اليد اليمنى.

٢- $D=A\ B\cos\theta =10\times5\times0.86= 43\ m^2$

مشروع:

ابحثْ في أهميّة المتّجهات في تحليل حوادث السير بين المركبات، من خلال استضافة أحد ضبّاط شرطة المرور، متخصّص في حوادث السير، أو من خلال زيارة مركز شرطة المرور.

4-1 الحركة في بعديْن (Motion In Two-Dimensions)

تعلمتَ في الصفّ العاشر الأساسيّ الحركةَ الرأسيّة، في مجال الجاذبيّة الأرضيّة، وهي حركةٌ في بعدٍ واحد، وسوف نتعرّف إلى حركة الأجسام في الهواء في بعديْن، فعند ممارستك لعبة كرة السلة، فإنّك تقذف الكرة نحو الهدف بزوايا وسرعاتٍ مختلفة؛ اعتماداً على بُعد موضعك عن الهدف.

أناقش

١- ما شكل المسار الذي تسلكه الكرة؟

٢- ما العلاقة بين السرعة الابتدائيّة التي رميت بها الكرة والبعد عن الهدف؟

٣- ما القوى المؤثّرة في الكرة في الهواء؟ (بإهمال مقاومة الهواء).

٤- هل سرعة الكرة وتسارعُها ثابتان أثناء الحركة؟ فسّرْ ذلك.

عند انتقال الكرة من يد لاعب كرة السلة نحو الهدف، فإنّها تتحرّك في بعديْن:

- حركة في الاتّجاه الرأسي توازي المحور الصادي، وهي حركةٌ بتسارُعٍ ثابت، هو تسارع الجاذبيّة الأرضيّة.
- حركة في الاتّجاه الأفقي توازي المحور السيني، وهي حركةٌ بتسارُعٍ يساوي صفراً، لماذا؟

المقذوفات: حركة الجسم في بعديْن تحت تأثير قوة الجاذبيّة، وبإهمال مقاومة الهواء.

ومن الأمثلة عليها حركةُ قذيفة المِدفع، وكرة القدم، والأسهم عند قذفها، وحركة لاعب الوثب الطويل، فعندما يركض يكون لسرعته مركّبة واحدة أفقيّة، وعندما يقفز في الهواء يكون لسرعته مركّبتان أفقيّة ورأسيّة.

نلاحظ من الأمثلة السابقة أنّ للسرعة مركّبتان:

$$v_{xi} = v_i \cos\theta \quad ; \quad v_{yi} = v_i \sin\theta$$

وبتطبيق معادلات الحركة الانتقاليّة بتسارعٍ ثابتٍ في مجال الجاذبيّة الأرضيّة على المقذوفات، فإنّ مركّبات الإزاحة والسرعة تُعطى كما يأتي:

معادلات الحركة الانتقاليّة	الحركة الأفقيّة (السينيّة) $a_x = 0$	الحركة الرأسيّة (الصاديّة) $a_y = -g$
	$v_{xi} = v_i \cos\theta$	$v_{yi} = v_i \sin\theta$
$\mathbf{v}_f = \mathbf{v}_i + \mathbf{a}t$	$v_{xf} = v_{xi}$	$v_{yf} = v_{yi} - gt$
$\mathbf{r}_f = \mathbf{r}_i + \mathbf{v}_i t + \frac{1}{2}\mathbf{a}t^2$	$x_f = x_i + v_{xi}t$	$y_f = y_i + v_{yi}t - \frac{1}{2}gt^2$
$v^2_f = v^2_i + 2\mathbf{a}\cdot(\mathbf{r}_f - \mathbf{r}_i)$		$v^2_{yf} = v^2_{yi} - 2g(y_f - y_i)$

حيث:

x_f: الإزاحة الأفقيّة للجسم المقذوف عند الزمن t.

v_{xf}: مركّبة السرعة الأفقيّة للجسم المقذوف عند الزمن t.

y_f: الإزاحة الرأسيّة للجسم المقذوف عند الزمن t.

v_{yf}: مركّبة السرعة الرأسية للجسم المقذوف عند الزمن t.

g: تسارُع الجاذبيّة الأرضيّة.

ولإيجاد الزمن اللازم لوصول الجسم المقذوف إلى أقصى ارتفاع ، وحيث إنّ المركبة الرأسيّة لسرعة الجسم المقذوف عند أقصى ارتفاع تساوي صفراً، فإنّ:

$$v_{yf} = v_{yi} - gt = 0 = v_i \sin\theta - gt_1$$

أو أنّ:

$$t_1 = \frac{v_i \sin\theta}{g}$$

في حالة عودة الجسم المقذوف إلى نفس المستوى الذي قذف منه يكون زمن التحليق الكليّ: $2t_1 = \frac{2v_i \sin\theta}{g}$

سؤال:

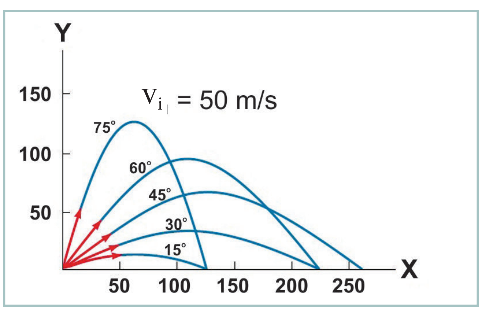
أثبتْ أنّ:

١- أقصى ارتفاع يصل إليه الجسم : $H = \frac{v_i^2 (\sin\theta)^2}{2g}$

٢- المدى الأفقيّ للجسم: $R = \frac{v_i^2 \sin(2\theta)}{g}$

أناقش

إذا قُذف جسمٌ بسرعة $(50\,m/s)$، بزوايا مختلفة كما في الشكل المجاور، فأجبْ عمّا يأتي:



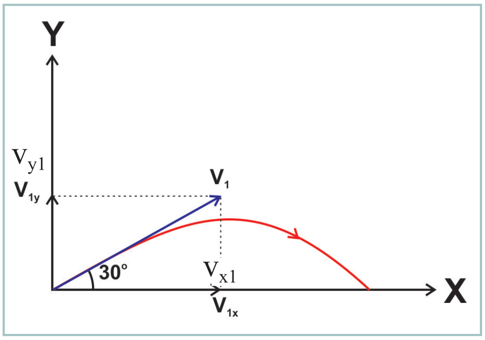
١-ما العلاقة بين أقصى ارتفاع رأسيّ يصل إليه الجسم وزاوية قذفه؟

٢-ما مجموع زاويتيّ القذف عندما يتساوى المدى الأفقيّ؟ تحقّقْ من ذلك رياضيّاً.

٣-هل يمكن الحصول على مدىً أفقيّ أكبر من $(250\,m)$؟

٤-ما الزاوية التي يُقذف بها الجسم ليصل إلى أقصى ارتفاع ممكن؟

٥-ما الزاوية التي يقذف بها جسمٌ ليصل إلى أكبر مدىً أفقيّ؟



مثال(7): قُذف جسمٌ بسرعة (11m/s) بحيث يصنع زاوية (30°) مع سطح الأرض، أوجدْ ما يأتي:

١- زمن التحليق.
٢- أقصى ارتفاع يصل إليه الجسم.
٣- المدى الأفقيّ للجسم.
٤- سرعة وصوله إلى الأرض.

الحل:

ارسم مخطّط حركة المقذوف، ثم حلّل السرعة الإبتدائية التي قذف بها الجسم إلى مركّبتيْن: أفقيّة ورأسيّة.

المعطيات: (v_1=11m/s)، الزاوية مع الأفقي (30°)،

لاحظ أنّ إشارة التسارُع سالبة؛ لأنّ المحور الصادي الموجب إلى أعلى.

1: يمكن حساب الزمن (t) من معادلة الإزاحة الرأسيّة ومساواتها بالصفر ($y_2 = 0$)، كما يأتي:

$$y_2 = 0 = v_{y1}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$0 = v_1 \sin\theta\, t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$0 = 11\times 0.5t - 5t^2$$

$$0 = 5.5 - 5t \quad , (t = 1.1s)$$

وبالتالي فإنّه يمكن حساب زمن التحليق ($t = 2t_1$) من المعادلة $t = \frac{2v_1 \sin\theta}{g}$

2: عند أقصى ارتفاعٍ رأسيّ $v_{yf} = 0$

$$v^2_{yf} = v^2_{yi} - 2gy = 0 = (11\times \sin(30)^2 - 20y$$

$$y = 1.51\ m$$

3:

$$x_f = v_{xi}t = 11\times\cos(30°)\times 1.1 = 10.5m$$

4 يكون لسرعة الجسم لحظةَ وصوله إلى الأرض مركّبتان:

$$v_{xf} = v_i\cos\theta = 11\times\cos(30°) = 9.5m/s$$

$$v_{yf} = v_{yi} - gt = v_i\sin\theta - gt = 11\times\sin(30°) - 10\times 1.1 = -5.5m/s$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(9.5)^2 + (5.5)^2} = 11m/s$$

$$\tan\phi = \frac{v_y}{v_x} = \frac{-5.5}{9.5} = -0.58 \Longrightarrow \phi = 30°$$ تحت محور السينات الموجب

أختبر نفسي:

1 ضعْ دائرةً حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. ما الزاوية θ بالدرجات التي يتساوى عندها المدى الأفقي مع أقصى ارتفاعٍ رأسيٍّ، لجسمٍ مقذوفٍ بزاوية مع الأفق إلى أعلى؟

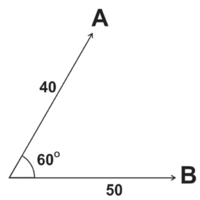
أ- 45   ب- 60   جـ- 76   د- 90

2. قُذف جسمٌ بسرعة v ، وبزاوية $30°$ مع الأفق، فكان مداه الأفقيّ 50 m. إذا قُذف الجسم بالسرعة نفسها، بزاوية $60°$، فما المدى الأفقي؟

أ- 25m   ب- 43m   جـ- 50m   د- 100m

3. يبيّن الشكل المجاور مقدار واتّجاه كميّتيْن متّجهتيْن: **A** و **B**، ما مقدار الكميّة المتّجهة **C**؟ حيث **C=A-B**

أ- 46   ب- 10   جـ- 30   د- 78



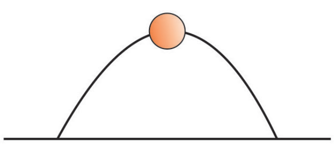
4. ما مقدار الزاوية بالدرجات بين متّجهين، لتكون محصّلتهما أكبر ما يمكن ؟

أ- 0   ب- 45   جـ- 90   د- 180

5. مامقدار الزاوية المحصورة بالدرجات بين متجهين ليكون حاصل ضربهما القياسي = صفرا ؟

أ- 0   ب- 45   جـ- 90   د- 180

6. يبيّن الشكل المجاور مسار كرة مضرب مقذوفه بسرعة **v** ، وباتجاهٍ يصنع زاوية θ مع الأفقي. عندما تصل الكرة أقصى ارتفاع لها، فإنّ:



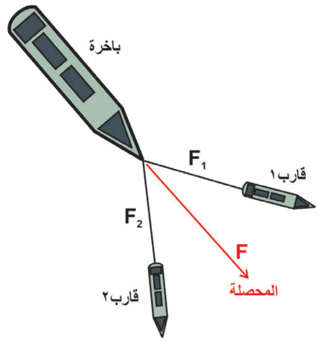
أ .تسارع الكرة يساوي صفراً، وسرعة الكرة تساوي صفراً.

ب .سرعة الكرة تساوي صفراً، وتسارع الكرة لا يساوي صفراً.

جـ .تسارع الكرة يساوي صفراً، وسرعة الكرة لا تساوي صفراً.

د .سرعة الكرة لا تساوي صفراً، وتسارع الكرة لا يساوي صفراً.

2 وضّح المقصود بالمصطلحات الآتية: المقذوفات، والمدى الأفقي، والضرب النقطي.



3 قاربا إنقاذٍ يسحبان باخرةً معطلةً بوساطة حبلين، الزاوية بينهما °37، ما محصّلة القوى الناتجة عن القاربين،إذا أثّرا بالقوتين، (12000N)، (15000N)، على الترتيب؟

4 جد المركّبتيْن السينيّة والصاديّة للكميّات المتّجهة الآتية:

أ- يهرب طائرٌ من صيّاد بسرعة (2 m/s)، باتّجاه يصنع زاوية (°53) غرب الشمال.

ب- قوّة مقدارها (400 N) باتجاه (°60) شمال الشرق.

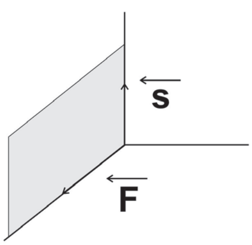
5 قوّتان مقدار إحداهما ثلاثة أمثال الأخرى، والزاوية بينهما (°120)، جد محصّلتهما.

6 وُجِّهَ خرطومُ سيّارة الإطفاء باتجاه (°53) نحو نافذة مبنى، ارتفاعها (20 m) عن سطح الأرض، إذا دخل الماء من الشباك عند أقصى ارتفاع له، احسبْ:

ا- سرعة اندفاع الماء من الخرطوم.

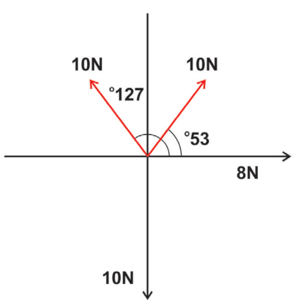
ب- الزمن اللازم لوصول الماء إلى النافذة.

جـ- بُعْد سيارة الإطفاء عن المبنى.



7 في الشكل المجاور، إذا كانت ($\mathbf{S} = 5\,m$) ، ($\mathbf{F} = 12\,N$)، فجدْ:

أ- $2\mathbf{S}$ ب- $\mathbf{F}.\mathbf{S}$ جـ- $\mathbf{F}\times\mathbf{S}$



8 جدْ محصّلة القوى المبيّنة في الشكل المجاور، مقداراً واتّجاهاً.

القوى والعزوم (Forces and Torques)

القوّة كلمةٌ شائعةُ الاستخدام في حياتنا اليوميّة، فقوّتُك العضليّة تساعدك في تحريك الأشياء، وقوّة محرّك المَرْكبة تساعد في بدءِ حَرَكتِها، والفرامل تؤثّر بقوّةٍ تعمل على إيقافها. وحسب مبادئ الميكانيكا، فإنّ القوى المؤثّرة في جسمٍ ما قد تغيّر من حالته الحركيّة، وتمكنُّنا من التنبؤ بحالته الحركيّة بدقّة، وقد تؤثر القوى في الأجسام فتعمل على تدويرها، أو اتّزانها.

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذا الفصل والتفاعل مع أنشطته أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الميكانيكا في حل مسائل تتعلق بالقوى والعزوم من خلال تحقيق الآتي:

- توضيح تأثيراتِ أنواع القوى المختلفة في الأجسام من حولنا.
- تحديد شروط اتّزان الجسم الجاسئ تحت تأثير عددٍ من القوى المستوية.
- حل مسائلَ على اتّزان الجسم الجاسئ تحت تأثير عددٍ من القوى المستوية.
- تفسّيرَ بعض التطبيقات على اتّزان الأجسام.

ما القوى المؤثّرة في الشكل، وتعمل على اتّزانه؟

فكّرْ

2- 1 القوة والحركة (Force and Motion)

ارتبط مفهوم القوة بمفهوم الحركة منذ عهد أرسطو؛ وفي القرن السابعَ عشرَ الميلادي أرسى العالم الإيطالي (جاليليو) قواعد علم الحركة، واستكمل (نيوتن) من بعده دراسة علم الحركة، واضعاً قوانينه الثلاثة التي تُعدّ أساس علم الحركة.

القوة: مؤثرٌ خارجيٌّ قد يغيّر الحالة الحركيّة للجسم، أو شكله، أو كليْهما.

حيث تعلّمتَ سابقاً: أنّ القوة المؤثّرة في جسم = كتلة الجسم × تسارُعه.

ووَحدة قياسها في النظام الدوْليّ (SI) للوَحدات نيوتن ويرمز لها بـِ (N).

سؤال

اكتب ما يكافئ وحدة نيوتن بالوحدات الأساسيّة في النظام الدوْليّ (SI) للوحدات.

هناك عددٌ من القوى التي نوظّفها في حلّ مسائلَ ميكانيكيّة، وسنتعرف إلى بعضٍ منها.

قوة الجاذبيّة الأرضيّة:(Gravitational Force)

هي القوّة التي تؤثّر بها الأرض في جميع الأجسام، فتجذبُها نحوها، وتكسبها أوزانها، وتساوي مقدار القوة اللازمة لمنع الجسم من السقوط سقوطاً حرّاً، ويتمّ قياسُها بوساطة الميزان النابضي.

ويعبَّرُ عن قوّة جذب الأرض للأجسام القريبة من سطحها بالعلاقة:

$$\mathbf{F}_g = m\,\mathbf{g} \qquad (2 - 1)$$

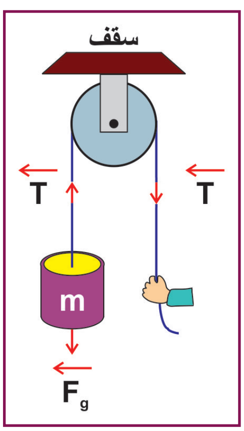
حيث: $\mathbf{F_g}$:وزن الجسم بوحدة نيوتن(N)، m: كتلة الجسم تقاس بوحدة كغم (kg)، **g**: تسارع الجاذبيّة الأرضيّة وتقاس بوحدة (m/s^2).

وزن الجسم: مقدار قوّة جَذْب الأرض للجسم.

قوّة الشدّ :(Tension)

عند ربط جسم بحبلٍ وشدِّهِ، فإنّ الحبل ينقل نقطةَ تأثير قوّةِ الشدّ باتّجاه طوله،خارجاً من الجسم، انظر الشكل (3).

يعدُّ الحبلُ في الغالب ثابتَ الطّول، ومهمل الكتلة مقارنةً مع كتلة الجسم، وفي هذه الحالة تعد قيمة الشدّ في جميع أجزاء الحبل متساوياً. وعندما يدور الحبل حول بكرةٍ ملساءَ وخفيفةٍ (عديمة الكتلة)، فإنّ الشدَّ يبقى متساوياً في جميع أجزاء الحبل، وتعمل البَكَرة على تغيير اتّجاه الشدّ.



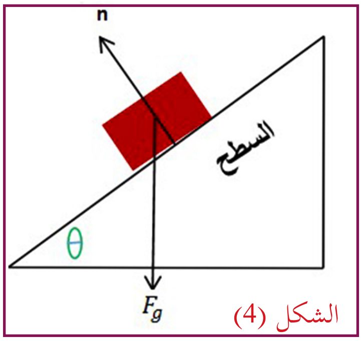
الشكل (3)

بحث ابحثْ عن فوائد البكرات في الحياة اليوميّة.

قوّة التلامُس العموديّة (Normal Force)

لعلك لاحظت في الشكليْن (1) و (2) أنّ هناك قوةً تعاكس قوّةَ الجاذبيّة الأرضيّة بالاتّجاه، تسمّى قوةَ التلامُس العموديّة، ويرمز لها بالرمز (**n**) ، وهي تؤثّر في الجسم عموديّاً على مستوى التلامُس، وبعيداً عن السطح، وتظهر عندما يلامس الجسم سطحاً آخر.

أناقش



الشكل (4)

وُضِعَ جسمٌ على سطحٍ مائلٍ، كما في الشكل (4).

١. اكتب ما تساويه قوة التلامُس العموديّة.

٢. بيّنْ ما يحدث لمقدار قوة التلامُس العموديّة إذا أثّرتْ قوّة:

* موازية للسطح المائل.
* أفقيّة لليمين، موازية لقاعدة السطح المائل.

قوّة الاحتكاك: (Friction Force)

عندما يتحرّك جسمٌ ما على سطحٍ، أو خلال مائعٍ كالهواء أو الماء ، فإنّه يتعرّض لمقاومة من المحيط، وتُعرَفُ هذه المقاومة بالاحتكاك، فلا بدّ أنّك حاولت يوماً دَفْعَ صندوقٍ على الأرض، ولم تفلح في المحاولة الأولى؛ ما جعلك تؤثّر فيه بقوةٍ أكبرَ، حتى استطعت أنْ تتغلّب على قوةٍ معاكسةٍ لقوّتك، تُسمّى قوّةَ الاحتكاك.
تنشأ قوّة الاحتكاك بسبب تداخُل نتوءات السطحيْن المتلامسيْن، فتقاومِ انزلاقَهما على بعضهما؛ ولذلك فهي تعتمد بشكلٍ أساسيٍّ على طبيعة السطحيْن.

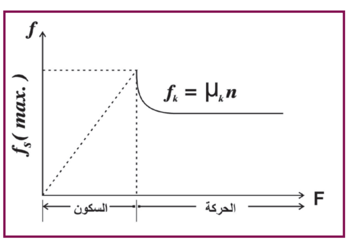
وُجِدَ بالتجربة أنّ مقدار قوّة الاحتكاك (f) تتناسب طرديّاً مع مقدار قوة التلامُس العمودية (n)، ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة:

$$f = \mu\, n \qquad (2 - 2)$$

حيث μ**:** معامل الاحتكاك بين السطحيْن.

كما دلّت التجارب العمليّة على وجود نوعيْن من قوى الاحتكاك بين الأسطح الصُّلبة، هما:

- قوّة الاحتكاك السكوني $(f_{s(max)} = \mu_s\, n)$
- قوّة الاحتكاك الحركي $(f_K = \mu_K\, n)$



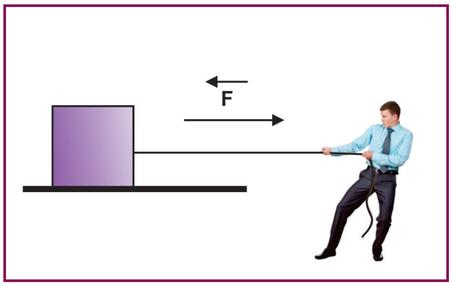
الشكل (5)

حيث ينشأ الاحتكاك السكوني بين سطحيْن متلامسيْن ساكنيْن، وقوة الاحتكاك السكوني متغيّرة، وتوازن باستمرار القوّة المتزايدة والمؤثّرة من قِبَلِك أثناء محاولتك تحريك الجسم، وتصل إلى قيمتها القصوى في اللحظة التي يكون فيها الجسم على وشك الحركة، وبعدها يتحرّك الجسم، وتقلّ قوة الاحتكاك عن قيمتها القصوى، عند بدء الحركة وتُسمّى قوة الاحتكاك في هذه الحالة قوّةَ الاحتكاك الحركي.

أناقش

١. معتمداً على المنحنى في الشكل (5)، الذي يمثّل العلاقة بين القوة المؤثّرة، وقوّة الاحتكاك بين جسمين. قارنْ بين قوّة الاحتكاك السكوني، وقوة الاحتكاك الحركي من حيث: مقدار معامل الاحتكاك، والتغيّر في مقدارهما.

٢. في الشكل المجاور إذا علمت أنّ كتلة الجسم (6kg)، وأنّه يصبح على وشك الحركة عندما تكون F=50 N، وأنّه يتحرك بسرعةٍ ثابتةٍ في اتّجاه القوّة المؤثّرة عندما تكون F = 46 N. احسب مقدار كلٍّ من معامل الاحتكاك السكوني والحركي.



2-2 مركز الثّقَل (Center of Gravity):

مركز الثقل: النقطة التي إذا أثّرت فيها قوّةٌ فإنّها تسبّب حركةً انتقاليّةً للجسم، ولا يتحرّك دورانيّاً.

اتّزان القوى: يكون الجسم متّزناً تحت تأثير قوىً عِدّة مستوية، عندما تكون محصّلتها تساوي صفراً.

ويكون الجسم في وضع اتّزانٍ عندما يكون ساكناً، أو متحرّكاً بسرعةٍ ثابتةٍ في خطٍّ مستقيم، ويُعدُّ هذا شرطًا لحدوث اتّزان الجسم. ويُعبَّر عن هذه العلاقة رياضيًّا كما يأتي:

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \ldots = 0 \qquad (2 - 3)$$

أي أنّ المجموع الجبري للمركّبات السينية يساوي صفراً:

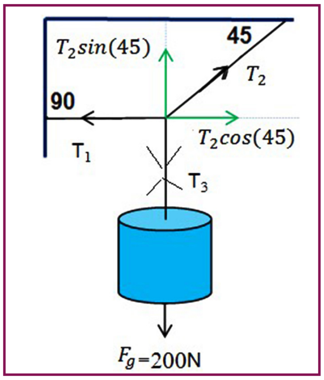
$$\sum F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + \ldots = 0 \qquad (2 - 3 - A)$$

والمجموع الجبري للمركّبات الصاديّة يساوي صفراً:

$$\sum F_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + \ldots = 0 \qquad (2 - 3 - B)$$

مثال1: جسم وزنه 200 N معلّق بوساطة حبلين في سقفٍ أفقيٍّ، وحائطٍ رأسيّ، كما في الشكل المجاور، احسبْ قوى الشدّ في الحبلين عندما يتّزن الجسم.

الحل:



١. نرسم مخطّط القوى المؤثّرة في الجسم.

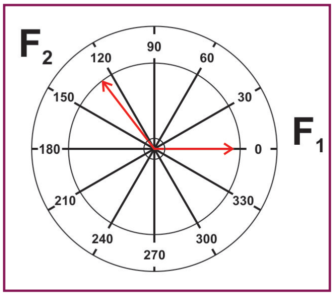
٢. نحلّل قوّة الشدّ في الحبل (T_2) لمركّبتيْها: السينية والصادية.

٣. نطبّق شروط الاتّزان:

لاحظ أنّ: $T_1 = T_{2x} = T_2 \cos(45)$ وأن $T_3 = F_g$

وكذلك: $T_3 = F_g = T_2 \sin(45)$

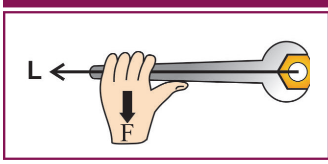
وبهاتين المعادلتين نجد: $T_1 = 200\ N$ $T_2 = 283\ N$

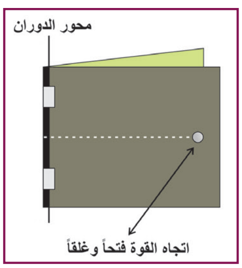


سؤال

قام طالبٌ بضبط استواء طاولة القوى، واستخدم القوّتين ($F_1 = 0.6\ N$) و($F_2 = 1\ N$) بحيث الزاوية بينهما (127°)، كما هو موضّح في الشكل المقابل، احسبْ مقدار القوّة الثّالثة (F_3) التي تُحدِثُ الاتّزان، ثم حدّد اتّجاهها. تحقق من ذلك عملياً.

2 - 4 العزم (Torque):



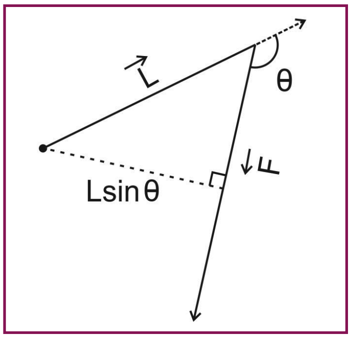


عرفنا أنّ شرط اتّزان نقطةٍ ماديّةٍ، أو جسمٍ مهملِ الأبعاد أن تكون محصّلة القوى المؤثّرة فيه تساوي صفراً، أمّا بالنسبة إلى الأجسام التي لا يُمكن إهمالُ أبعادها، فقد نؤثّر فيها بقوةٍ، أو مجموعة من القوى المتّزنة، ومع ذلك فإنّها تُحدث دوراناً حول نقطةٍ أو محور، وفي حياتنا اليوميّة أمثلةٌ كثيرة على ذلك، منها: فكّ برغي بمفتاح، دوران باب الغرفة حول مِفصله عند التأثير على مِقبضه بقوةٍ، كما هو موضّح في الأشكال المجاورة.

إنّ عزم القوة يعتمد على عاملين هما:

١. القوة.

٢. البعد العمودي بين خط عمل القوة (F) ومحور الدوران الذي يُسمّى ذراعَ عزم القوة.



عزم القوة: مدى مقدرة القوة على إحداث دوران لجسمٍ حول محورٍ ثابت، وتساوي حاصل الضرب التقاطعي بين بُعد نقطة تأثير القوة عن محور الدوران والقوة.

ويمكن حساب عزم القوة رياضيّاً من العلاقة الآتية:

$$\tau = \mathbf{L} \times \mathbf{F} \qquad (2 - 3)$$

$$|\tau| = LF \sin\theta \qquad (2 - 3 \text{ -A})$$

حيث:

τ: متّجه عزم القوة حول محور الدوران وتلفظ تاو.

F: متّجه القوة المؤثّرة.

L: متّجه الموضع لنقطة تأثير القوة بالنسبة لمحور الدوران.

θ: الزاوية المحصورة بين **F** و **L**.

أناقش

- ما وحدة قياس عزم القوة؟
- متى ينعدم عزم القوة؟

أفكر

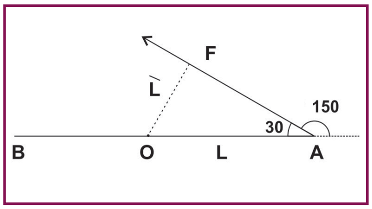
هل ذراع عزم القوة يساوي دائما البعد بين نقطة تأثير القوة ومحور الدوران؟

قاعدة اليد اليمنى:

يُحدّدُ اتّجاهُ العزم بقاعدة اليد اليمنى؛ حيث نجعل اتّجاهَ الاصابع باتّجاه متّجه الموضع (L) ، وتدوير الأصابع باتّجاه القوة بأصغر زاوية، فيشير الإبهام إلى متّجه العزم (τ).

اصطُلِحَ على أنْ يكون مقدار عزم القوة (τ) موجباً، حينما يكون عموديّاً على الصفحة نحو الخارج (مقترباً من الناظر)، وفي هذه الحالة يكون اتّجاه الدوران بعكس اتّجاه دوران عقارب الساعة، ويكون سالباً حينما يكون عموديّاً على الصفحة نحو الداخل (مبتعداً عن الناظر)، وفي هذه الحالة يكون اتّجاه الدوران مع اتّجاه حركة دوران عقارب الساعة.

مثال(2): (AB)لوحٌ طولُه (3 m) قابل للدوران حول محورٍ عموديّ، يمرّ بمنتصفه(o)، أثّرتْ في طرفه (A) قوة (F= 20 N) ، في الاتّجاه المبيّن في الشكل المجاور، احسبْ عزم القوة مقداراً واتّجاهاً حول محور الدوران.



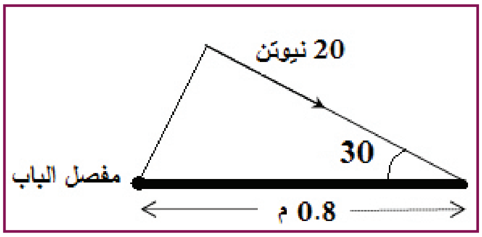
الحل:

$$|\tau| = LF \sin\theta = 1.5 \times 20 \times \sin(150^{o})$$
$$= 15 \text{ N m}$$

واتّجاه الدوران عكس عقارب الساعة، وهذا يعني أنّ العزم موجبٌ (نحو الخارج).

سؤال

يبيّن الشكل المجاور باباً، عرضُه (0.8 m)، مثبّت من مفصله، وتؤثّر فيه قوّة (20 N) بالاتّجاه المبيّن في الشكل، احسبْ عزم القوّة حول مفصل الباب (محور الدوران).



شروط اتّزان الجسم الجاسئ تحت تأثير عددٍ من القوى

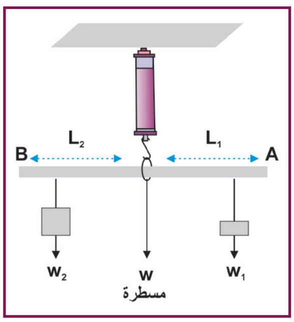
قد يؤثّر في الجسم قوىً عدّة، خطوطُ عملها غير متلاقية، ففي أيّ اتّجاهٍ يدور الجسم؟ ولتتعرفَ شروط اتّزان جسمٍ تحت تأثير عددٍ من القوى المتوازية، نفّذ النشاط الآتي:

نشاط (7): اتّزان الجسم الصُّلب تحت تأثير عدّة قوى متوازية

المواد والأدوات: مسطرة مترية، وميزان نابضي، وكتل مختلفة.

الخطوات:

١. علّق المسطرة من منتصفها بوساطة ميزان نابضي، مثبّت من الأعلى، كما في الشكل المجاور.
٢. علّقْ ثقلاً (W_1) في طرف المِسطرة (A).
٣. علّقْ ثقلاً آخر (W_2) في الطرف الثاني(B)، على بُعدٍ يجعل المِسطرة متّزنة أفقيّاً.
٤. قِسْ ذراع الثقل الأول (L_1) ، وذراع الثّقل الثاني (L_2).



قراءة الميزان	$(W_2 L_2)$	(L_2)	(W_2)	$(W_1 L_1)$	(L_1)	(W_1)	رقم المحاولة
							1
							2
							3

١. قِسْ قراءة الميزان النابض.

٢. كرّر الخطوات السابقة بتغيير الأثقال في كلّ حالة. سجّل نتائجك في الجدول المرفق.

نلاحظ من التجربة السابقة أنّ المِسطرة تتّزن في كلّ حالةٍ عندما تتحقّق العلاقة: $(W_1 L_1) = (W_2 L_2)$.

وهذا يعني أنّ مجموع العزوم حول محورٍ يمرّ في منتصف المسطرة = صفراً، وأنّ القوة التي يؤثّر بها الميزان في كلّ حالةٍ هي:

$$\boxed{T = -(W_1 + W_2 + W_3)}$$

حيث W_3 وزن المسطرة؛ أي أنّ مجموع القوى المؤثرة في المسطرة تساوي صفراً.

- كرّر الخطوات السابقة باستخدام أثقالٍ عدّة، على أبعادٍ مختلفة من نقطة الارتكاز.
- حرّك الأثقال على طول المِسطرة، حتى تحصل على الاتّزان في كلّ حالة. ماذا تستنتج؟

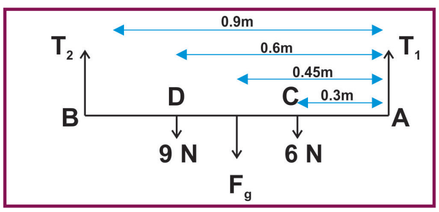
ممّا سبق نلاحظ أنّ الشروط اللازم توفّرها لاتّزان جسمٍ جاسئ تحت تأثير قوىً عدة، هي:

$$\boxed{\sum \tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \ldots = 0 \quad (2-4)}$$

$$\boxed{\sum \mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \ldots = 0 \quad (2-5)}$$

وبغير ذلك يبدأ الجسم بالدوران تحت تأثير محصّلة العزم الذي يحدّد اتّجاه دوران الجسم.

مثال(3): عُلّقَ قضيبٌ منتظم طوله (90 cm)، ووزنه(4 N) في وضعٍ أفقيّ، بواسطة خيطيْن رأسييْن عند طرفيه، ثم عُلِّق فيه ثقلان، مقداراهما (9 N و 6 N) عند النقطتين (CوD)، كما في الشكل المجاور. أوْجد الشدّ في كلٍّ من الخيطيْن.



الحل:

نرسم مخطّط القوى، ونحدد ذراع كلٍّ منها، كما في الشكل.

_ نطبّق شرطيّ الاتّزان السابقيْن.

الشرط الأول: $\sum \tau = 0$ (حول النقطة (A = صفر (تذكَّر إشارة العزم)

$$T_1 \times 0 + 6 \times 0.3 + 4 \times 0.45 + 9 \times 0.6 - T_2 \times 0.9 = 0$$

$$T_2 = 10\,N$$

الشرط الثاني: $\sum F = 0$

$$T_1 + T_2 - (6+4+9) = 0$$

وبتعويض قيمة T_2 نجد أنّ: $T_1 = 9\ N$

أسئلة الفصل:

1 ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة للفقرات الآتية:

1. يدفع شخص باباً بقوة (10 N) ، تؤثر عمودياً عند نقطة تبعد (80 cm) من مِفصل الباب، فكم يساوي عزم هذه القوة (Nm)؟

أ) 0.08　　ب) 8　　جـ) 80　　د) 800

2. حينما تحمل كتاباً وزنه F_g في يدك وهي ممدودة وطولها L، وترفعها إلى أعلى، بحيث تصنع زاوية (60°) مع الأفقي، فكم يساوي عزم وزن الكتاب على مِفصل يدك؟

أ) $F_g\ L \sin (60°)$　　ب) $F_g\ L \sin (30°)$　　جـ) $F_g\ L$　　د) صفراً

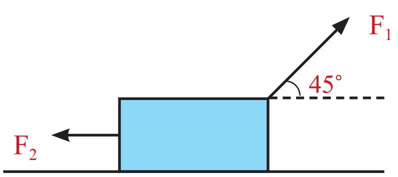
3. في السؤال السابق، لو رفعت يدك إلى أعلى أكثر، فما أثر ذلك في عزم وزن الكتاب؟

أ) يزداد　　ب) يقلّ　　جـ) يبقى ثابتاً　　د) يساوى صفراً

4. ينزلق جسمٌ على سطحٍ مائلٍ خشنٍ، يميل عن الأفق بزاوية (45°) بسرعةٍ ثابتة، فما معامل احتكاك السطح الحركيّ؟

أ) 0.2　　ب) 0.5　　جـ) 0.7　　د) 1

5. في الشكل المجاور، كم تساوي قوة التلامس العموديّة؟



أ) F_g　　ب) $F_g - F_1 \sin 45$

جـ) $Fg - F_1 \cos 45$　　د) $F_g - F_2$

6. إذا كان الجسم في السؤال السابق متّزناً، عند زيادة F_1، فما التغيّر الذي يُبقي الجسم متّزناً؟

أ) نزيد θ　　ب) نقلّل θ　　جـ) نقلّل F_2　　د) نزيد كتلة الجسم

2 ما المقصود بكلٍّ من المفاهيم الآتية: القوة، قوة الاحتكاك السكوني، وعزم القوة.

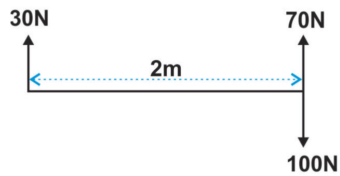
3 فسّرْ ما يأتي تفسيراً علميّاً:

أ- القيمة القصوى لمعامل الاحتكاك السكونيّ أكبر من معامل الاحتكاك الحركي.

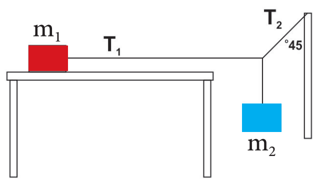
ب- القوّة التي يكون خطّ عملها موازياً للذراع ليس لها أثرٌ دورانيٌّ على الجسم.

4 ماذا يحدث لجسمٍ أثّرت فيه قوّةٌ، ومرّ خطّ عملها في مركزِ ثقله؟

5 تتّزن نجفة ممثّلة بنقطةٍ ماديّةٍ، وزنها (10 N)،تحت تأثير الشدّ في حبليْن: أحدهما يشدّها في الاتّجاه الأفقي بقوة شد (T_1)، والآخر يشدّها في اتّجاهٍ يصنع زاوية (60°) مع الاتّجاه الرأسي، بقوة شدّ (T_2). وضّحْ بالرسم القوى المؤثّرة في النجفة، ثم احسب الشدّ في الحبليْن (T_1) و (T_2) .



6 احسب مجموع العزوم للقوى حول نقطة تبعد (0.5 m)عن القوة (70 N) من الخارج في الشكل المقابل.



7 في الشكل المقابل، إذا كان سطح الطاولة خشناً، والكتلة (m_1= 10 kg)، والكتلة (m_2= 7 kg)، وتسارع الجاذبيّة الأرضيّة ($g = 10m/s^2$)، والنظام متّزنٌ، احسبْ مقدار الشدّ (T_1) و (T_2)، ومعامل الاحتكاك السكونيّ.

8 يرتكز عمودٌ منتظمٌ، طوله (6m)، ووزنه (36 N)، في وضعٍ أفقيٍّ على حامليْن: أحدهما يبعد (1 m) عن أحد الطرفين، والثاني يبعد (2m) عن الطرف الآخر. أوجدْ قوّتيّ التلامُس العموديّة من الحامليْن. ثم أوْجد الثّقل الذي يُعلّق من الطرف الآخر، حتى يكون العمود على وشك الانقلاب.

1-3 قوانين نيوتن في الحركة (Newton's Laws of Motion)

لقد مهّدت أعمال (غاليليو) الطريق أمام العالم (نيوتن) لصياغة القانون الأوّل، في حين يرتبط القانون الثاني بالتسارُع وسببه، أما القانون الثالث فهو قانون الفعل ورد الفعل. تُعدُّ قوانين نيوتن الثلاثة في الحركة أساس الميكانيكا في الوقت الحاضر، وهي ذاتها القوانين التي أوصلت الإنسان إلى القمر.

A-1-3 القانون الأوّل لنيوتن في الحركة (قانون القصور الذاتي)

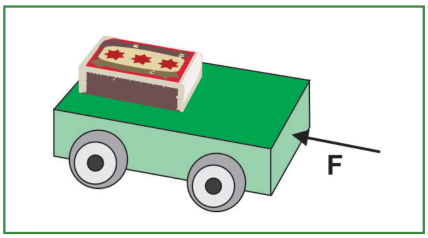
عند الضغط على الفرامل فجأة وأنت راكب بالمركبة تشعر باندفاعك نحو الأمام، لماذا؟ ما أهميّة حزام الأمان في المركبة؟ للإجابة عن هذه الأسئلة، نفّذ النشاط الآتي:

نشاط (1): القانون الأوّل لنيوتن.

المواد والأدوات: مركبة لعبة أطفال، وعلبة كبريت.

الخطوات:

١. ضعْ علبة الكبريت على سطح المركبة.
٢. ادفع المركبة بقوةٍ لتسيرَ مسافة، ماذا يحدث لعلبة الكبريت؟
٣. كرّر الخطوة (2)، ثم ضع حاجزاً أمام العربة، ماذا يحدث لعلبة الكبريت؟ سجّل ملاحظاتك.
٤. فسّرْ ما حدث.



أناقش

شاحنةٌ محمّلةٌ بصناديق البرتقال تقف على الإشارة الضَوْئية، ماذا يحدث للصناديق عند الانطلاق المفاجئ، وعند التوقّف المفاجئ أيضاً، إذا لم يربط السائق الصناديق بالحبال جيداً؟

من خلال النشاط السابق، ودراستك السابقة لقوانين (نيوتن)، تعرّفت إلى مضمون قانون نيوتن الأوّل في الحركة:
الجسم الساكن أو المتحرك بسرعةٍ ثابتةٍ، وفي خطٍّ مستقيم يبقى على حالته الحركيّة، ما لم تؤثر فيه قوّةٌ خارجيّة تغيّر من هذه الحالة.

إنّ الأجسام تمانع التغيير في حالتها الحركيّة من تلقاء نفسها، بل تقاوم أيَّ تغير لهذه الحالة، وهذا ما يُعرف بخاصيّة القصور الذاتيّ، والقصور لغةً: يعني العجز، أما فيزيائيّاً فيعني: ممانعة الجسم تغيير حالته الحركيّة. وتعتمد على كتلة الجسم، التي تُعرف بكتلة القصور الذاتيّ وهي: **كميّةٌ قياسيّةٌ تعتمد على مقدار ما يحويه الجسم من مادّة، تعبّر عن مقدار الممانعة التي يبديها الجسم لتغيير حالته الحركيّة.**

سؤال

لماذا نحتاج إلى شخصيْن لدفع مركبةٍ صغيرة، بينما نحتاج إلى عددٍ أكبر من الأشخاص لتحريك شاحنة كبيرة؟

الشكل (1)

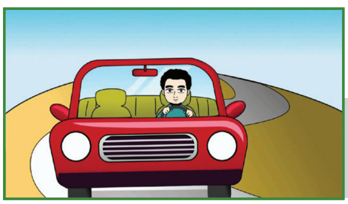
هل الأجسام الساكنة من حولنا، أو تلك المتحركة بسرعةٍ ثابتةٍ، وفي خطٍّ مستقيم تؤثّر فيها أيّةُ قوّة؟ إنّ الحبل المستخدَم في لعبةِ شدِّ الحبل (الشكل1) يُمكن أنْ يبقى ساكناً رغم القوى المؤثّرة فيه؛ وذلك لأنّ مقاديرها متساوية، واتّجاهاتها متعاكسة، بحيث يلغي بعضها بعضاً؛ أي أنّ محصّلة القوى على الجسم تساوي صفراً، فلا تتغيّر حالتها الحركيّة، وكذلك الحال بالنسبة للمركبة.

مشروع:

كلّفْ مجموعةً من الطلبة بزيارة مركز شرطة المرور، وعمل إحصائيّة حول الأضرار الناجمة عن حوادث السير؛ نتيجة عدم وضع حزام الأمان.

B-1-3 قانون نيوتن الثاني في الحركة (قانون التّسارُع)

وصف القانون الأول لنيوتن ثبات الجسم على حالته الحركيّة في حال غياب قوةٍ خارجيّة، فكيف تتغيّر هذه الحالة بوجود قوّةٍ خارجيّة؟



أفكر

- كيف يزيد السائق من سرعة المركبة؟
- وكيف يخفّف من سرعتها؟ وكيف يوقِفُها؟

وبتأثير عددٍ من القوى تصبح العلاقة:

$$\sum \mathbf{F} = m\,\mathbf{a} \qquad (3 - 1)$$

إنّ المعادلة (3-1) تمثّل الصيغة الرياضيّة للقانون الثاني لنيوتن، الذي ينصُّ على أنّ: **التّسارُع الذي يتحرّك به جسمٌ يتناسب طرديّاً مع مقدار القوّة المحصّلة المؤثّرة فيه وباتّجاهها.**

حيث:

$\sum \mathbf{F}$: محصّلة القوى المؤثّرة في الجسم.

$\mathbf{a}$: التسارُع

m : كتلة القصور للجسم (كتلة الجسم)

باستخدام النظام الدوْليّ للوَحدات:

وَحدة قياس الكتلة هي الكيلوغرام (kg)، والتسارع m/s^2، فتكون وحدة قياس القوّة هي $kg\ m/s^2$، وتُسمّى نيوتن N.

النيوتن: القوّة التي إذا أثّرت في جسم كتلته 1 kg أكسبته تسارُعاً مقداره $1 m/s^2$ باتّجاهها.

أفكر

يُعدّ القانونُ الأوّل لنيوتن حالةً خاصّةً من القانون الثاني. فسّرْ إجابتك.

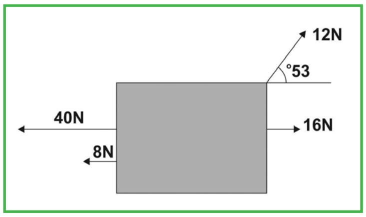
مثال1: أثّرت قوة ($20\,N$) في عربةٍ كتلتُها($40\,Kg$)، احسب تسارُع العربة؟

الحل:

$$\sum \mathbf{F} = m\,\mathbf{a}$$
$$20 = 40\,\mathbf{a}$$
$$\mathbf{a} = 0.5\ m/s^2$$

سؤال

في الشكل المجاور، أثّرت القوى على الجسم الذي كتلته ($4kg$)، جِد التسارُع.



3-1-C القانون الثّالث لنيوتن في الحركة

لعلّك لاحظت عند محاولتك القفزَ إلى أعلى، فإنّك تؤثّر في مكان وقوفك بقوّة، ولزيادة الارتفاع الذي تصلُ إليه فإنّك تحتاج للتأثير بقوّةٍ أكبر، وتُسمّى قوّةُ تأثيرك في مكان وقوفك قوّةَ الفعل، واتّجاهها إلى الأسفل، فتتأثّر بقوّة ردّ الفعل في الاتّجاه المعاكس (إلى الأعلى)أي أنّ القوى في الطبيعة تُوجَدُ على شكل أزواج. ولمعرفة العلاقة بين كلٍّ من قوتي الفعل وردّ الفعل، قم بتنفيذ النشاط الآتي:

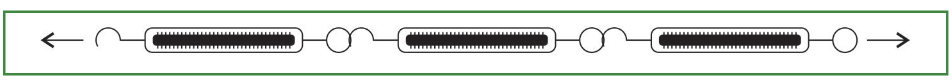
نشاط (3): مقدار قوتيّ الفعل وردّ الفعل.

المواد والأدوات: ميزان نابضي عدد 3.

الخطوات:

- اشبك الموازين الثلاثة كما في الشكل المجاور.
- اسحب الميزانيْن على الأطراف باتّجاهيْن متعاكسيْن.
- سجّلْ قراءة كلِّ ميزان. ماذا تلاحظ؟

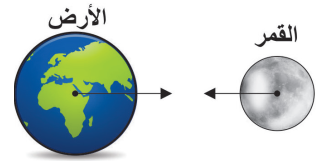
وينصّ القانون الثالث لنيوتن على أنّ: **لكلِّ قوّةِ فعلٍ قوّةُ ردٍّ فعلٍ مساوية لها في المقدار، ومعاكسة لها في الاتّجاه.**

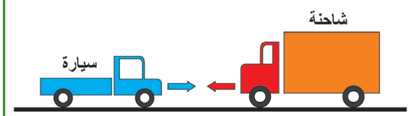


أناقش

أولاً: لماذا لا يجوز تحصيل قوتيّ الفعل وردّ الفعل؟

ثانياً: حدّدْ قوّتيّ الفعل وردّ الفعل في الحالات الآتية:

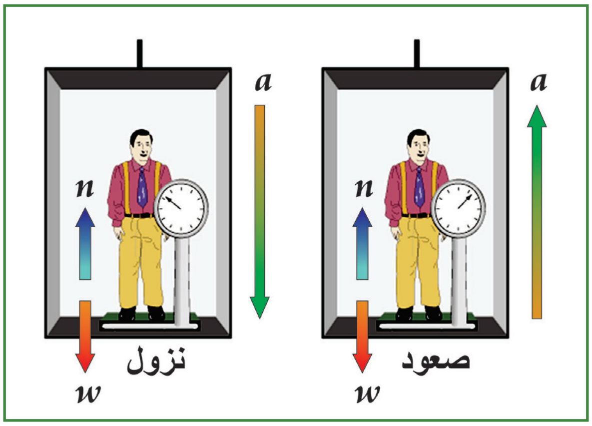




2-3 تطبيقات على قوانين نيوتن.

أولاً: حركة المِصعد

بالنسبة إلى شخصٍ يقف على ميزانٍ موضوعٍ على أرضيّة مِصعد، فإنّ قوة ردّ الفعل تعتمد على اتّجاه حركة المصعد، وتسارُع حركته.



$$\sum \mathbf{F} = m\,\mathbf{a}$$

أثناء الصعود بتسارع ثابت $\mathbf{a}$

$$\mathbf{n} - \mathbf{w} = m\,\mathbf{a}$$

$$\mathbf{n} = \mathbf{w} + m\,\mathbf{a}$$

أثناء النزول بتسارع ثابت $\mathbf{a}$:

$$\sum \mathbf{F} = m\,\mathbf{a}$$

$$\mathbf{w} - \mathbf{n} = m\,\mathbf{a}$$

$$\mathbf{n} = \mathbf{w} - m\,\mathbf{a}$$

سؤال

ماذا تتوقّع أنْ تكون قوّةُ ردّ الفعل (قراءة الميزان):

* إذا تحرك المِصعد بسرعةٍ ثابتة؟
* إذا قُطِعَ حبلُ المصعد؟

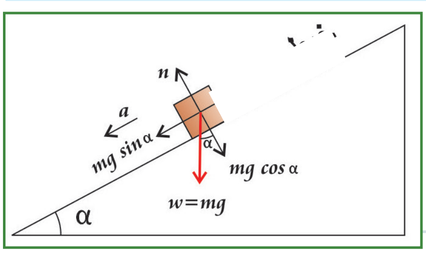
مشروع:

كلّفْ مجموعةً من الطلبة بتصميم نموذجٍ للصّاروخ النفّاث، باستخدام مركبة أطفالٍ صغيرة، ذاتِ عجلاتٍ ملساء، وبالون، وعبوة (كولا) فارغة (أحْدِثْ فيها فتحة، ليسهل نفخ البالون).

- صمّم جدولاً يضمّ تطبيقات قوانين نيوتن في الحياة اليوميّة.

ثانياً: الحركة على مستوى مائل

ما القوّة المسبّبة لانزلاق جسمٍ على مستوىً مائلٍ أملس؟



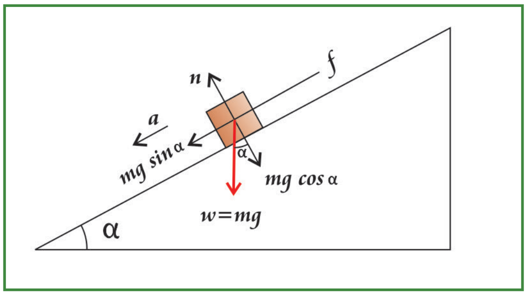
أنّ قيمة $w \sin \alpha$ تمثّل قيمةَ قوّة الاحتكاك، عندما يكون الجسم على وشك الحركة. وأنّ قيمة $\tan \alpha$ تمثل معامل الاحتكاك السكونيّ، أي أن $f_s = \mu_s n$.

أما إذا كان السطح خشناً وزاوية ميل السطح أكبر من α ينزلق الجسم على السطح وتصبح قوة الإحتكاك حركية، f التي تُعدُّ قوةً معيقة للحركة.

$$f_k = \mu n$$

حيث: (μ): معامل الاحتكاك

(n): قوة التلامس العمودية



$$\sum \mathbf{F} = m\,\mathbf{a}$$

$$w \sin\alpha - f_k = m\,a$$

حيث: (w): تمثّل وزن الجسم المنزلق.

(α): هي زاوية ميل المستوى المائل.

(m): كتلة الجسم المنزلق.

(a): تسارُع الجسم المنزلق.

أناقش

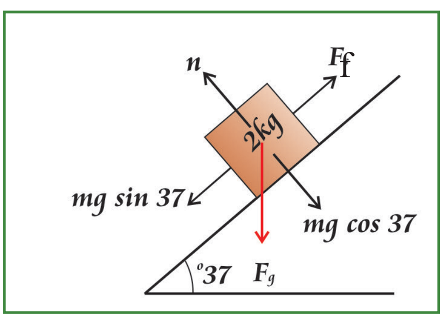
في أيّ المتزلّقات المائيّة، في الشكل المجاور، يمتلك الشخص تسارُعاً أكبر؟ ولماذا؟

- ما الهدف من استخدام الماء على المتزلّقات؟
- ما القوّة التي تسبّب انزلاقك على المتزلقات؟ وكيف يمكن زيادتها؟

مثال 4: بالاعتماد على الشكل المجاور، تنزلق الكتلة (2 kg) على مستوىً مائلٍ خشن، معامل الاحتكاك الحركي (0.4). احسب تسارُع الكتلة.

الحل:

$$f_k = \mu n$$
$$= \mu\, F_g \cos 37$$
$$= 0.4\times2\times10\times0.8$$
$$= 6.4\ \text{N}$$



$$\sum \mathbf{F} = m\,\mathbf{a}$$
$$F_g \sin 37 - f_k = m\,a$$
$$\times10\times0.6 - 6.4 = 2\,a$$
$$12 - 6.4 = 2\,a$$
$$5.6 = 2\,a$$
$$a = 2.8\ \text{m/s}^2$$

أختبر نفسي:

1 ضع دائرةً حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. أثّرت قوة محصّلة (F) في جسمٍ كتلته (m)، فأكسبته تسارعاً مقداره (a). إذا أثّرت قوة محصلة مقدارها (4F) في جسمٍ كتلته (2m)، فما التسارع الذي يكتسبه الجسم الثاني؟

أ. 8a ب. 4a جـ. 2a د. 0.5a

2. تحمل طالبةٌ كرةً في يدها، إذا كانت القوة التي تؤثّر بها الأرض في الكرة هي الفعل، فإن قوة ردّ الفعل هي القوة التي تؤثر بها:

أ. الكرة في الأرض. ب. الكرة في اليد. جـ. اليد في الكرة. د. الأرض في اليد.

3. قُذِفت كرةٌ وزنها (1.5 N) بسرعة (12 m/s) باتّجاهٍ يصنع زاوية (30°) مع الأفقي إلى أعلى . عندما تصل الكرة أقصى ارتفاع لها، فكم تساوي محصّلة القوى المؤثّرة فيها؟

أ. 0 ب. 9.8 N إلى أعلى. جـ. 9.8 N إلى أسفل. د. 1.5 N إلى أسفل.

2 وضح المقصود بكلٍّ من: القوة، والقصور.

3 علّل:

1- الصورة المعلقة على الحائط لا تتحرك.

2- تؤكد الشرطة ضرورة ربط حزام الأمان لكلّ راكبٍ في المركبة.

4 تقف طالبةٌ كتلتها($45\,kg$) على أرضيّة مِصعد، احسب القوة التي تؤثّر بها أرضيّة المصعد (قوة التلامس العمودية n) فيها في الحالات الآتية:

١. عندما يكون المصعد متحركاً إلى أعلى بتسارع $4m/s^2$

٢. عندما يكون المصعد متحركاً إلى أعلى بسرعة ثابتة $3m/s$

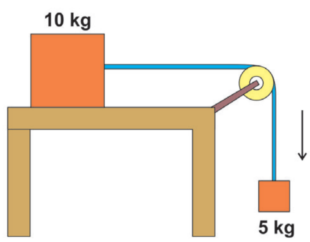
٣. عندما يكون المصعد متحركاً إلى أسفل بتسارع $1.5m/s^2$

٤. إذا انقطع حبل المِصعد.

5 في الشكل المجاور، إذا كان السطح الأفقي خشناً، ومعامل الاحتكاك الحركي بين الجسم والسطح 0.2، جدْ:

١. تسارع المجموعة.

٢. الشدّ في الحبل.



6 وضّحْ قوتيّ الفعل وردّ الفعل في حالة:

١. تنافر شحنتيْن كهربائيتيْن.

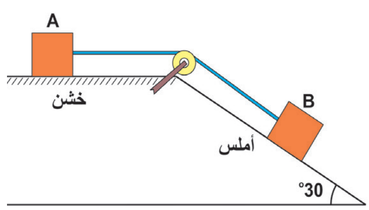
٢. تجاذب زوج من المغانط المستقيمة.

٣. حمل تفّاحة في يدك.

7 يبيّن الشكل المجاور جسميْن، كتلة كلٍّ منهما($6\,kg$)، الأول موضوع على سطحٍ أملسَ، ويميل عن الأفقي بزاوية (°30)، والثاني على سطحٍ أفقيٍّ خشن، معامل الاحتكاك الحركي له (0.1). جدٍ:

أ. تسارع المجموعة.

ب. الشدّ في الخيط.



الفصل الرابع الشغل والطّاقة الميكانيكيّة (Work and Mechanical Energy)

يتناول هذا الفصل مفهوميّ الشغل والطاقة اللذيْن يمكن توظيفُهما لدراسة حركة الأجسام في حالات عديدة؛ لما لذلك من أهميّة من حيث سهولة معالجتهما؛ كونهما كميّتيْن قياسيتيْن مقارنة بالكميّات الفيزيائيّة المتّجهة؛ ما يتطلب تحليل القوى لمركّباتها بالاتّجاهات المختلفة، وتطبيق قانون نيوتن الثاني كما مر بك سابقاً. كما يتعرّض هذا الفصل إلى مفهوم القدرة الذي يعبّر عن معدّل صرف الطاقة، أو تغيّرها واستهلاكها. الشكل (1) المجاور يظهر رافعة ميكانيكيّة ذات قدرةٍ محدّدة، تقوم بإزاحة الأحمال من مكانٍ إلى آخر في ورشة بناء. لا شك أنّ هناك شغلاً يتمُّ بذلُه لإنجاز هذه المهام، وأنّ هناك طاقةً يتمّ استهلاكُها في هذا العمل. وأنّ الرافعة تؤثّر بقوةٍ تكفي لتحريك هذه المواد مسافاتٍ افقيّة، وأخرى عموديّة لتضعها في الأماكن المنشودة.

الشكل (1)

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

- توضيح المقصود بكلٍّ من: الشغل، والطاقة.
- تفسير بعض تطبيقات الشغل والطاقة.
- حل مسائل على الشغل، والطاقة.
- توظيف النابض والسطح المائل في التعرّف إلى الشغل والطاقة.
- التمييز بين القوى المحافظة والقوى غير المحافظة.

1-4 الشغل (Work)

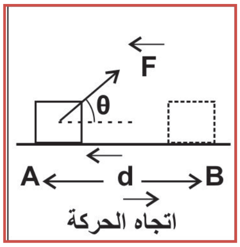
هناك العديد من المفاهيم والمصطلحات التي يتناولها علم الفيزياء، كالتي سبق انْ تعلمتها، مثل الكتلة، والسرعة، والتسارُع، وغيرها، والتي يتقارب تعريفها الفيزيائيّ مع المعنى الشائع لها في الحياة اليوميّة. أمّا الشغل فتعريفه الفيزيائيّ يختلف عمّا هو مقصود به في العادة، فيقال مثلاً: اشتغل معلّماً، أو بنّاءً، أو قاضياً، أو غير ذلك. وهذا يعني أنّ الشغل باللغة الدارجة هو القيام بمجهودٍ عقليٍّ، أو عضليٍّ لتحقيق هدفٍ ما. أمّا في التعريف الفيزيائيّ، فإنّ الشغل ينتج عندما تؤثّر قوةٌ ما في جسم، وتسبّب إزاحته من مكانٍ الى آخر.

ويعرَّف الشغل بأنّه: **حاصل ضرب الإزاحة في مركبة القوة باتّجاه تلك الازاحة، ويُعبَّر عن ذلك رياضيّاً بحاصل الضرب النقطي بين متّجهيّ القوة والإزاحة.**

في الشكل (2) تؤثّر قوةٌ ثابتةٌ **F** في جسمٍ، وتحدث إزاحة **d** بحيث تصنع **F** زاوية θ مع **d**. يمكن حساب الشغل (W) من العلاقة:

$$W = \mathbf{F}.\mathbf{d} \qquad (4\text{-}1\text{-}A)$$

$$W = F\ d\cos\theta \qquad (4\text{-}1\text{-}B)$$



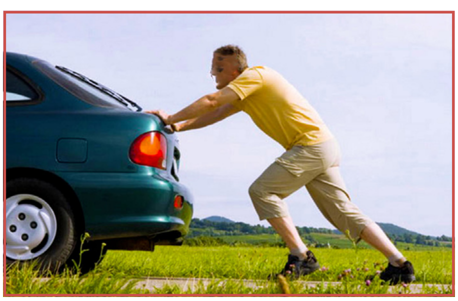
الشكل (2)

فتكون وحدة الشغل في النظام الدوْلي للوَحدات هي [نيوتن].[متر] (N.m)، وتُسمّى [جول] (J)؛ تكريماً للعالِم (جيمس بريسكوت جول)، وبالتالي يمكن تعريف الجول: **الشغل الذي تبذله قوةٌ مقدارها نيوتن واحد عندما تُحدث إزاحة جسمٍ ما باتّجاه تأثيرها، مقدارها متر واحد.**

جيمس بريسكوت جول (1818 -1889م): فيزيائيّ إنجليزيّ له اكتشافات مهمّة، منها قانون التسخين في الموصل الكهربائي، وأبحاث عديدة في الكهرباء والمغناطيسيّة، ولعلّ أشهر أعماله هو تعيين المكافئ الميكانيكيّ للحرارة، وسُميّت وحدة الطاقة باسمه (Joule) جول.

أناقش

* هل الشغل كميّة قياسيّة، أم كميّة متجهة؟
* ما وحدة الشغل في النظام الغاوسي؟
* هل الشغل كميّة أساسيّة، أم كميّة مشتقّة؟
* يؤثّر الرجل في الشكل المجاور بقوة في المركبة، محاولًا دفعَها إلى الأمام.
  - متى يكون الشغل الذي يبذله الرجل موجباً؟
  - متى يكون الشغل الذي يبذله الرجل صفراَ؟
  - متى يكون الشغل الذي يبذله الرجل سالباً؟



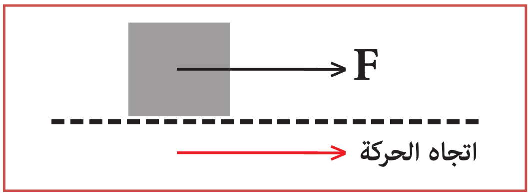
مثال1: تحرّك جسمٌ مسافة مقدارها ($d = 20\ m$)، باتّجاه الشرق (المحور السيني الموجب)، تحت تأثير مجموعة من القوى، كما في الشكل الآتي. احسب مقدار الشغل الذي تبذله قوةٌ مقدارها ($10N$)، في كلٍّ من الحالات الآتية:

١. تؤثّر القوة باتّجاه الشرق.
٢. تؤثّر القوة باتّجاه الغرب.
٣. تؤثّر القوة بزاوية ٦٠° شمال الشرق.

الحل:

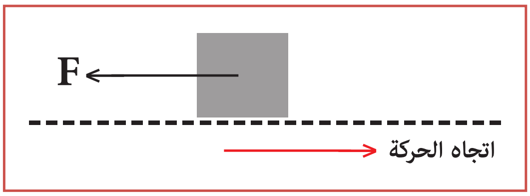
:1

$$W = F\ d \cos\theta$$
$$=10\times20\times1$$
$$=200J$$



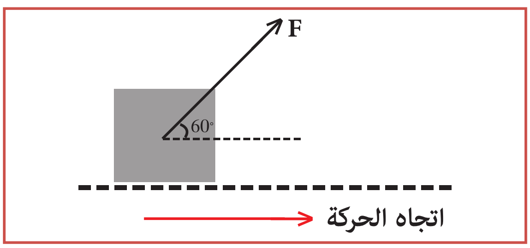
:2

$$W = F\ d \cos\theta$$
$$=10\times20\times-1$$
$$=-200J$$



:3

$$W = F\ d \cos\theta$$
$$=10\times20\times0.5$$
$$=100J$$



سؤال

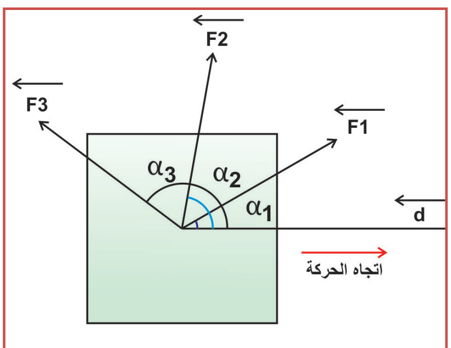
ما شغل كلٍّ من: قوة الجاذبيّة، وقوة التلامس العموديّة في المثال السابق؟

والشغل الكليّ لمجموعةٍ من القوى التي تؤثّر في جسمٍ ما، هو الجمع العددي لشغل كلِّ قوةٍ منها، كما في الشكل (3)، وهو كذلك الشغل الذي تبذله محصّلة القوى، كما يأتي:

$$W_{net}= W_1+W_2+W_3+\ldots\ldots \quad (4\text{-}2\text{-}A)$$

$$W_{net}= F_{net}\ d \cos\theta \quad (4\text{-}2\text{-}B)$$

أيّ أنّ الشغل الكلي = شغل محصّلة القوى



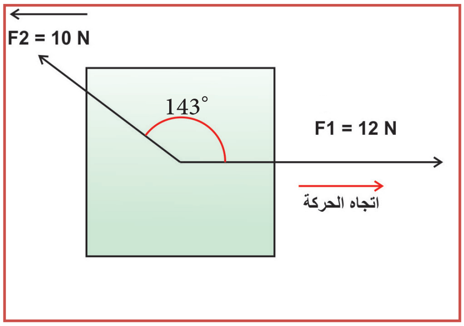
الشكل (3) يبين اتجاهات مختلفة لتأثير ق

مثال2: في الشكل(3)، أثّرت القوى في الجسم فتحرّك (0.2 m) إلى اليمين، احسب:

١. الشغل المبذول من كلّ قوة.

٢. الشغل الكليّ.

٣. تحقّقْ من أنّ شغل القوة المحصّلة يساوي المجموع العدديّ لشغل كلٍّ من القوّتيْن.



الحل:1

$$W_1 = F_1 d \cos\theta = 12\times0.2\times\cos(0) = 2.4\ J$$

$$W_2 = F_2 d \cos\theta = 10\times0.2\times\cos(143^\circ) = -1.6\ J$$

:2

$$W_{net} = W_1 + W_2 = 2.4 - 1.6 = 0.8\ J$$

:3

$$F_{net} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta}$$

$$F_{net} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos 143^\circ}$$

$$F_{net} = \sqrt{12^2 + 10^2 + 2\times12\times10\times\cos 143^\circ}$$

$$= \sqrt{52} = 7.2\ N$$

نحدّد اتّجاه القوة المحصّلة بالاعتماد على قاعدة لامي / قاعدة الجيوب

$$\frac{F_{net}}{\sin 143} = \frac{F_2}{\sin\alpha}$$

$$\frac{7.2}{\sin\alpha} = \frac{10}{\sin 143}$$

$$\sin\alpha = 0.83 \qquad \alpha = 56^\circ$$

$$W = F_{net}\, d \cos 56$$

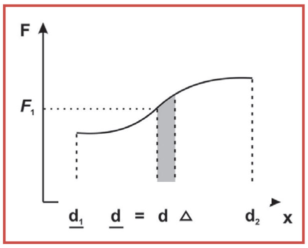
$$W = F_{net}\, d \cos 56$$

$$= 7.2\times0.2\times0.55 = 0.8\ J$$

نجد أنّ شغل محصّلة القوى = المجموع العددي لشغل كلٍّ من القوى المؤثّرة.

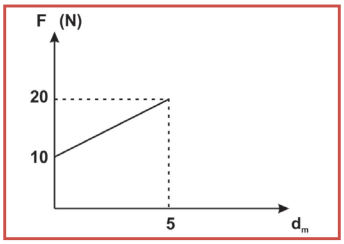
4-2 الشغل الذي تبذله قوةٌ متغيّرة:

يمثّل الشغل الذي تبذله قوةٌ ثابتة (**F**) في جسم، بِمساحة المستطيل، تحت الخط البيانيّ لمنحنى القوة – الإزاحة، ويكون المنحنى خطّاً مستقيماً أفقيّاً، يوازي محور الإزاحة.



ويمكن تعميم النتيجة السابقة على جميع أنواع القوى، بما فيها القوة المتغيّرة المقدار؛ أي أنّ:
الشغل الذي تبذله قوة يساوي عدديّاً المِساحة المحصورة تحت منحنى القوة – الإزاحة (F – x). ومن الأمثلة على القوة المتغيّرة القوة التي يؤثّر بها نابض.

مثال3: في الشكل المجاور، احسب الشغل .

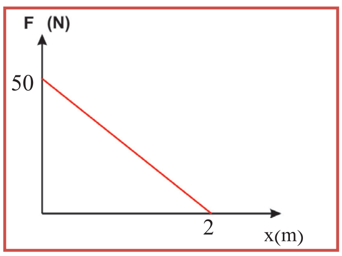


الحل:

الشغل = عدديّاً مساحة شبه المنحرف =½(مجموع القاعدتين المتوازيتين)× الارتفاع

$$W=\frac{1}{2}(10+20)\times 5=75J$$

سؤال

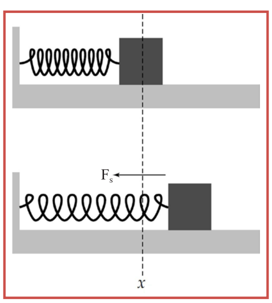


يمثّل الشكل المجاور العلاقة بين القوة المتغيّرة المؤثّرة في جسم وإزاحته، احسب الشغل الكلي المبذول من القوة.

شغل النابض:

مر بك سابقاً قانون (هوك) الذي يوضّح العلاقة بين القوة المؤثّرة في المواد المَرِنة، والتغيّرات الحادثة لشكلها، الذي ينصّ على أنّ: **تتناسب القوة المعيدة في النابض تناسباً طرديّاً مع مقدار استطالته، وتعاكسها في الاتّجاه.**

عندما تؤثّر قوة خارجيّة في نابض فإنها تسبّب شدّه، أو ضغطه بمقدار (x)، وحسب القانون الثالث لنيوتن، فإنّها تنشأ في النابض قوةٌ تساوي القوة الخارجيّة بالمقدار،وتعاكسها في الاتّجاه، تُسمّى القوّة المعيدة التي تحاول إعادة النابض إلى وضعه الأصلي.



ورياضيّاً:

$$\mathbf{F}_{external}=-F_s=k\,x \qquad (4-4)$$

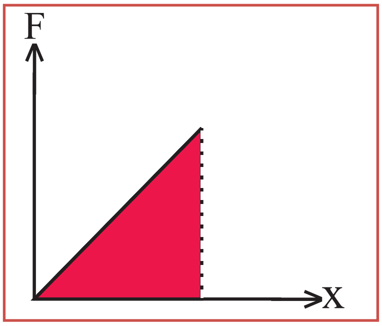
حيث:

($F_{external}$) : القوة الخارجيّة المؤثّرة في النابض، والمسبّبة له الاستطالة، أو الانضغاط.

(F_s) : القوة المعيدة.

(k) : ثابت مرونة النابض.

ويمكن تمثيل العلاقة بين مقدار القوّة المؤثّرة في نابض، والاستطالة الحادثة له بيانيّاً، كما في الشكل المجاور.بما أنّ القوة الخارجيّة المؤثّرة في النابض أحدثت إزاحة، فإنّها تنجز شغلاً، يتم إيجاده بحساب المِساحة المحصورة بين منحنى



القوة – الإزاحة.

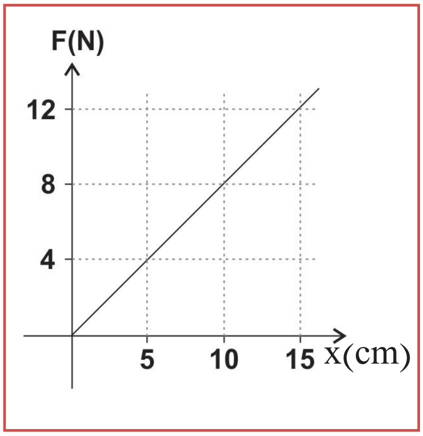
شغل القوة الخارجيّة = مِساحة المثلث = ½ القاعدة × الارتفاع

$$w = \frac{1}{2} x (k x)$$
$$= \frac{1}{2} k x^2$$

ويختزن هذا الشغل في النابظ على شكل طاقة وضع مرونية.

وتمثّل العلاقة السابقة الشغل الذي تبذله قوة خارجيّة لتغيير طول نابض ضمن حدود مرونته. وحتى يعود النابض إلى وضعه الطبيعي تحت تأثير القوة المعيدة، فانّه يبذل شغلاً يساوي سالب شغل القوة الخارجيّة؛ أي أنّ القوة الخارجيّة تنقل للكتلة المتّصلة بالنابض طاقةً حركيّة، أمّا قوة النابض (القوة المعيدة) فتأخذ هذه الطاقة الحركيّة من الكتلة.

مثال4: احسب الشغل المبذول على النابض في الشكل المجاور



الحل:

الشغل = المساحة تحت المنحنى

$$W = \frac{1}{2} \times 0.15 \times 12 = 0.9 \text{ J}$$

سؤال

أثّرت قوة (200 N) في نابضٍ، فضغطته (2 cm). جِدْ:

١. ثابت مرونة النابض.

٢. الطاقة المختزنة في النابض.

3-4 طاقة الحركة: (Kinetic Energy)

هي الطاقة الحركية تعتمد على كتلة الجسم وسرعته، وتُعطى بالعلاقة (4-5) ووحدتها هي وحدة الشغل (جول) (Joul).

$$KE = \frac{1}{2} m v^2 \qquad (4\text{-}5)$$

4-4 نظرية الشغل والطاقة (Work-Energy Theorem)

إذا أثّرت قوةٌ أفقيّة **F** في جسمٍ، كتلته m، فإنّها تحرّكه باتّجاهها، وتكسبه تسارُعاً ثابتاً **a**، حسب القانون الثاني لنيوتن

$$\mathbf{F} = m\,\mathbf{a}$$

وإذا تحرّك الجسم إزاحة d، فإنّ الشغل الذي تنجزه القوة:

$$W = F\ d \cos \theta$$
$$= m\ a\ d \cos 0^\circ$$
$$= m\ a\ d$$

ومن معادلات الحركة بتسارع ثابت:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2ad$$

نضرب المعادلة السابقة $\times \frac{1}{2}m$ فتصبح

$$\frac{1}{2}m\ v^2_f = \frac{1}{2}m\ v^2_i + \frac{1}{2}m\ \times 2ad$$

$$\frac{1}{2}m\ v^2_f = \frac{1}{2}m\ v^2_i + \frac{1}{2}m\ \times 2ad$$

$$(K.E)_f - (K.E)_i = m\ a\ d$$

$$\boxed{\Delta K.E = W_{net} \qquad (4 - 6)}$$

أي أنّ: الشغل الكليّ الناتج عن قوةٍ، أو مجموعة قوى تؤثّر في جسمٍ متحرّكٍ يساوي التغيّر في طاقة حركة الجسم، وهذا ما يُعرف بنظريّة الشغل – الطاقة الحركيّة.

مثال5: أثّرت قوة (240 N) في جسمٍ ساكنٍ، كتلته (4 kg)، فحرّكته باتّجاهها مسافة (0.5 m)، جد:

١. التغيّر في الطاقة الحركيّة للجسم.
٢. السرعة النهائيّة للجسم.

الحل:1:

$$\Delta K.E = W_{net}$$
$$\Delta K.E = W$$
$$= F\ d \cos\theta$$
$$= 240 \times 0.5 = 120\ \ J$$

:2

$$(K.E)_f - (K.E)_i = \Delta K.E$$
$$\frac{1}{2} m\ v^2 - 0 = 120$$
$$\frac{1}{2} \times 4 \times v_f^2 - 0 = 120$$
$$240 = 4 \times v_f^2$$
$$v_f = 7.7 m/s$$

سؤال

تتحرّك مركبةٌ كتلتها ($2600\,kg$)، بسرعة ($20\,m/s$)، فإذا توقّفت عند الضغط على الكوابح:

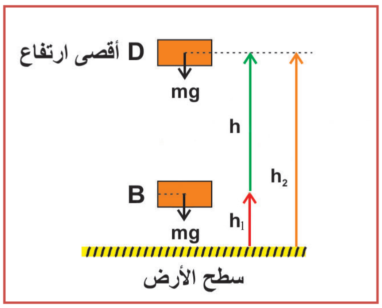
١. ما التغيّر في طاقة حركة المركبة؟

٢. ما مقدار الشغل المبذول أثناء الضغط على الكوابح؟

٣. صفْ تحوّلات الطاقة؟

5-4 طاقة الوضع في مجال الجاذبيّة: Potential Energy (U)

جسمٌ موضوعٌ على سطحٍ أفقيّ، يتّجه إلى الأعلى من النقطة B إلى النقطة D سرعة ثابتة ، ليتحقّق ذلك فإنّه يلزم التأثير بقوة رأسيّاً إلى أعلى، تساوي قوة جذب الأرض لذلك الجسم، وتبذل شغلاً ضد الجاذبيّة مقداره:



الشغل من القوة الخارجيّة = - الشغل من قوة الجاذبيّة

الشغل من القوة الخارجيّة $W= F\ d \cos \theta$

$= m\ g\ (h_2-h_1) = m\ gh$

لأنّ الجسم يسكن عند D، فإنّ هذا الشغل يختزن في الجسم على شكل طاقةِ وضعٍ، وتعتمد -كما مر بك سابقاً- على: وزن الجسم، ومقدار الإزاحة عن مستوى الإسناد. وتُعرف بأنّها:**الشغل المبذول لإيصال الجسم إلى ارتفاعٍ معيّن عن مستوى معلوم، يعرف بمستوى الإسناد، حيث طاقة الوضع فيه صفر.**

حيث U طاقة الوضع في مجال الجاذبيّة الأرضيّة من الشكل وعند رفع الجسم من B الى D: باعتبار الأرض مستوى الإسناد.

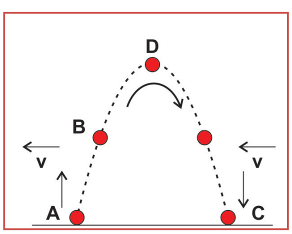
$$U = m\ g\ h_2 \qquad (4 - 7)$$

حيث:

(m): كتلة الجسم بوحدة kg

(g): تسارع الجاذبيّة الأرضيّة، ووحدته m/s^2

(h): الإزاحة الحادثة للجسم عن مستوى الإسناد بوحدة m.



في نظام (الأرض – الجسم) عند صعود الجسم نحو أقصى ارتفاع، نجد أنّ قوة الوزن تبذل شغلاً، مقداره $-m\ g\ h$ لأنّ قوة الوزن تعاكس الإزاحة الحادثة في الاتّجاه. وعند نزول الجسم فإنّ قوة الجاذبيّة تبذل شغلاً، مقداره $+m\ g\ h$ أي أنّ:

$$W= - \Delta\ U \qquad (4\text{-}8)$$

أناقش

- لماذا تُعدُّ طاقة الوضع على سطح الأرض صفراً؟
- ما الفرق بين التغيّر في طاقة الوضع أثناء ارتفاع الجسم وأثناء نزوله؟ وعلى ماذا يدل ذلك؟
- أثبت أنّ وحدة الشغل، والطاقة الحركيّة، وطاقة الوضع هي الجول.
- جسمٌ يزنُ(600 N) على ارتفاع (2 m) من سطح الأرض، ما مقدار طاقةِ وضعِه على سطح القمر إذا وُضِع على الارتفاع نفسه؛ علماً بأنّ $g_M = 0.16\ g_E$؟

مثال6: كرةٌ كتلتها (2.5 kg) على سطح الأرض، إذا أصبحت على ارتفاع (40 m) من سطح الأرض، جد:

١. الشغل المبذول على الكرة.

٢. التغيّر في طاقة وضعِها، عندما تعود إلى ارتفاع (10 m) عن سطح الأرض.

الحل:

1:

$$W = \Delta (m\ g\ h)$$
$$= 2.5\times10\times 40 - 0$$
$$=1000J$$

2:

$$W = \Delta (m\ g\ h)$$
$$\Delta U = m\ g\ h_f - m\ g\ h_1$$
$$= 2.5\times 10\times10 - 2.5\times10\times 40$$
$$= -750J$$

6-4 حفظ الطاقة الميكانيكيّة (Conservation of Mechanical Energy)

مرّ بك سابقاً أنّ الطاقة الميكانيكيّة لنظامٍ ما: هي مجموع طاقتيّ الوضع والحركة للنظام. فمثلاً عند قذف جسمٍ إلى أعلى، فإنّه لحظة القذف لا يمتلك طاقةَ وضعٍ؛ كونه على مستوى الإسناد، ولكنه يمتلك طاقةً حركيّةً، وعند ارتفاعه إلى أعلى تزداد طاقة وضعه، وتقلّ طاقة حركته (لماذا؟)، إلى أنْ يصلَ أقصى ارتفاعٍ، حيث يسكنُ لحظيّاً، وعند عودته تقلّ طاقةُ وضعِه؛ لأنه بدأ بالاقتراب من مستوى الإسناد، وتزداد طاقة حركته لأنّ سرعته تزداد.

وبما أنّ الجسم يتحرك تحت تأثير قوة الجاذبيّة الأرضيّة فقط، فإنّ: $W = \Delta K.E$

شغل قوة الجاذبيّة : $W = -\Delta \ U$

شغل قوة الجاذبيّة : $W = \Delta \ K.E$

إذن:

$$-\Delta \ U = \Delta \ K.E$$

$$U_i + K.E_i = U_f + K.E_f$$

وبشكلٍ عام:

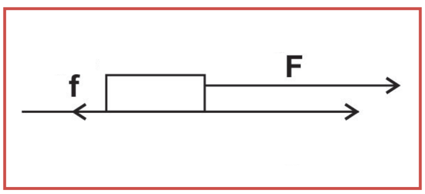
$$\boxed{(U_i + K.E_i)_a = (U_f + K.E_f)_b \qquad (4 - 9)}$$

$E_a = E_b$

حيث a ، b أيّ موضعين، أي أن: $E = Constsnt$

أي أنّ الطاقة الميكانيكيّة (E) للنظام تساوي مقداراً ثابتاً. وهذا ما يُعرف بقانون حفظ الطاقة الميكانيكيّة. ويسمّى النظام في هذه الحالة نظاماً محافظاً، وتُعرف القوة بالقوة المحافظة، ومن أمثلتها: قوة جذب الأرض للجسم (الوزن)، والقوة الكهربائيّة، وقوة المرونة (النابض). هل جميع الأنظمة محافظة؟ في الشكل المجاور يتحرّك الجسم بسرعةٍ ثابتةٍ على سطحٍ أفقيّ خشن، بتأثير قوةٍ موازيةٍ للسطح. إنّ الشغل الذي تبذله هذه القوة يساوي:

$$W = F \ d \cos \theta$$



حيث **F:** القوة المؤثرّة.

d: الإزاحة الحادثة للجسم.

وبما أنّه موجب فهذا يعني أنّ هناك زيادة في الطاقة الحركيّة للجسم.

$$W = \Delta K.E$$

أي أنّ سرعة الجسم ستزداد باستمرار، إلّا أنّ قوة الاحتكاك تبذل شغلاً سالباً.

$$W_{\text{احتكاك}} = f \times d \cos 180$$

ويُعَدّ شغلاً معيقاً لحركة الجسم؛ أي أنّه يعمل على تقليل الطاقة الحركيّة للجسم.وإذا توقّف تأثير القوة الخارجيّة **(F)**، فإنّ الجسم سيتباطأ تدريجيّاً إلى أن يتوقّف، فهو سيفقد الطاقة الحركيّة، وتحولّها قوة الاحتكاك إلى حرارة يصعب الاستفادة منها، أو استرجاعها، ويُسمّى النظام في هذه الحالة نظاماً غير محافظ، ومن الأمثلة عليه: جسم – سطح خشن، ومن أشهر القوى غير المحافظة قوة الاحتكاك، وفي هذا النظام لا يبقى مجموع الطاقة الميكانيكيّة ثابتاً.

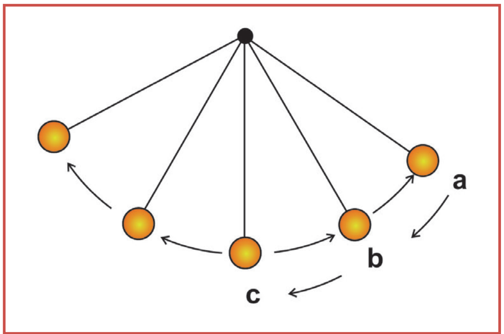
أفكر

- هل يختلف الشغل في النظام المحافظ عنه في النظام غير المحافظ؟
- هل هناك قوى غير محافظة غير قوة الاحتكاك؟

مثال7: في الشكل المجاور، عُلّقت كتلة (0.5 kg) بطرف خيطٍ طوله (3 m)، إذا سُحب الخيطُ جانباً حتى النقطة d على ارتفاع (50 cm) عن موضعها الابتدائي، ثم تُركت تتحرّك بشكلٍ حرّ، احسب بإهمال مقاومة الهواء:

١. سرعة الكتلة لحظة مرورها بالنقطة c.

٢. الطاقة الميكانيكيّة للكتلة عند النقطة b.

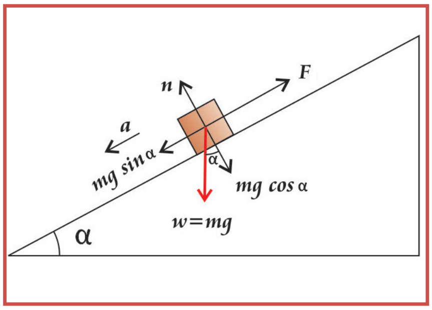


الحل:1:

$$E_c = E_a$$
$$K\,E_c + U_c = K\,E_a + U_a$$
$$\tfrac{1}{2}mv^2 + 0 = 0 + m\,g\,h$$
$$\tfrac{1}{2}v^2 = \tfrac{1}{2} \times 10 \times 0.5$$
$$v_c = 2.24\ m/sec$$

:2

$$E_b = E_a = K\,E_a + U_a$$
$$0.5 \times 10 \times 0.5 = m\,g\,h + 0$$
$$= 2.5\ J$$



سؤال

ينزلق جسمٌ كتلته (35 kg) تحت تأثير وزنه، من قمّة مستوى مائلٍ خشنٍ، يميل بزاوية °37 عن الأفقيّ، وارتفاعه (8 m) فإذا كان معامل الاحتكاك الحركيّ بين الجسم والسطح 0.25، جد سرعة الجسم لحظة وصوله أسفل المستوى.

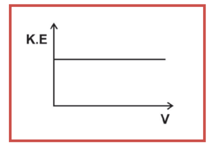
أناقش

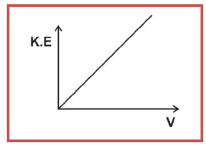
- ما تحوّلات الطاقة في مسدس الخرز؟
- أيّهما أسهل: سحب طاولة على سطحٍ أفقيّ أملس، أم على سطح أفقي خشن؟ ولماذا؟
- متى تؤثّر في جسمٍ بقوّةٍ، ولا تحدث له إزاحة؟
- أيّهما أسهل لرفع جسمٍ مسافة (2 m) رأسيّاً إلى أعلى، بسحبه على مستوى مائل أملس، أم برفعه رأسيّاً بقوة؟ ولماذا؟

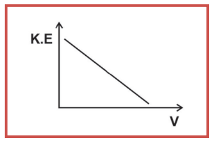
أختبر نفسي:

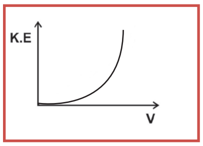
1 ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. أيّ المنحنيات الآتية يمثّل العلاقة بين طاقة حركة جسمٍ وسرعته؟

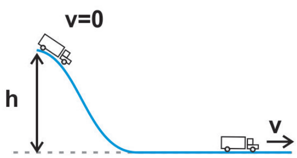
أ. 

ب. 

جـ. 

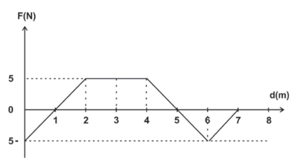
د. 

٢. في الشكل المجاور، تتحرّك عربة كتلتها (m)، من السكون تحت تأثير وزنها على سطحٍ أملس. إنّ مقدار سرعتها عندما تصل إلى السطح الأفقي هو :



أ. $\sqrt{2mgh}$ ب. $\sqrt{mgh}$ جـ. $\sqrt{2gh}$ د. $\sqrt{gh}$

٣. يبيّن الشكل المجاور العلاقة بين القوة المؤثّرة في جسمٍ ما، وإزاحة الجسم عندما يتحرّك على سطحٍ أفقيّ أملس. كم يساوي شغل هذه القوة خلال إزاحة الجسم من صفر إلى (6) م بوحدة «جول» ؟

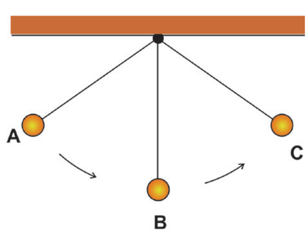


أ. (5) ب. (8) جـ. (10) د. (15)

٤. جسم طاقته الحركيّة K.E ، فإذا تضاعفت سرعته، كم تصبح طاقة حركته؟

أ. 2K.E ب. ¼K.E جـ. ½K.E د. 4K.E

٥. يبيّن الشكل المجاور ثلاثة مواضع لكرةٍ معلّقة في نهاية خيطٍ، تتحرك حركة توافقيّة بسيطة. فإذا كانت سرعة الكرة في النقطة (A) تساوي صفراً، فأيّ العبارات الآتية الصحيحة ؟



أ . طاقة وضع الكرة في (A) تساوي طاقة حركة الكرة في (C).
ب. سرعة الكرة في (A) تساوي سرعة الكرة في (B).
جـ. طاقة وضع الكرة في (B) تساوي طاقة وضع الكرة في (C).
د . طاقة وضع الكرة في (A) تساوي طاقة حركة الكرة في (B).

2 هل يمكن أنْ تتغيّر سرعة جسمٍ، إذا كان الشغل الكليّ عليه صفراً؟

3 طفلٌ كتلتُه (35kg)، يتأرجّح في أرجوحةٍ، طول الحبل فيها (2m). جد طاقة الوضع للطفل بالنسبة إلى أدنى

• وضعٍ له في الحالات الآتية:

أ- عندما تكون الحبال أفقيّة.

ب-عندما تشكل الحبال زاوية 30 مع الاتّجاه الرأسي.

ج- في أسفل نقطة في المسار.

د- إذا ارتفعت الأرجوحة ودارت بزاوية 180 عند أخفض نقطة.

4 بإهمال تأثير الاحتكاك للوصول إلى قمّة منحدرٍ، لماذا لا يتمّ شقُّ الطرق مستقيمةً باتّجاه القمة، وإنّما يتمّ شقُّها بشكلٍ ملتوٍ، رغم المعروف في الرياضيات أنّ الخطّ المستقيم هو أقصر مسافة بين نقطتيْن.

5 جد أقصى ارتفاعٍ تصل إليه كرةٌ كتلتها $(2\,kg)$، تُقذف رأسيّاً إلى أعلى، إذا كان الشغل الذي تبذله الجاذبيّة على الكرة من لحظة قذفها وحتى لحظة وصولها إلى أقصى ارتفاع $(75.5\,J)$.

6 تسحب قوة $(400\,N)$ جسماً كتلته $(15\,kg)$ نحو قمّة أعلى مستوى مائل، بزاوية 30 عن الأفقيّ، مسافة $(10\,m)$، فإذا كان المستوى خشناً، ومعامل الاحتكاك الحركي 0.2، جد:

١. شغل القوة المؤثّرة.

٢. شغل قوة الاحتكاك.

٣. سرعة الجسم لحظة وصوله أعلى المستوى.

7 استُخدِمت كتلة $(2\,kg)$ لضغط نابضٍ، مسافة $(4\,cm)$ على سطحٍ أفقيّ أملس، وعندما أُفلِت النابض انطلقت الكتلة بسرعة $(1.5\,m/s)$ أفقيّاً، جد ثابت مرونة النابض.

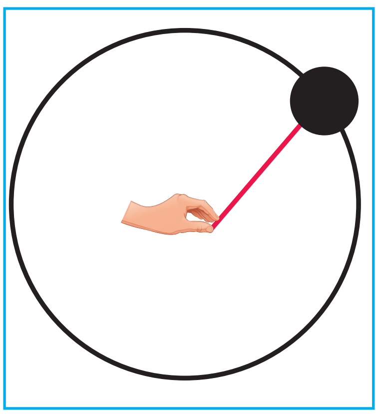
الحركة الدائريّة (Circular Motion)

1-5 الحركة الدورانيّة (Rotational Motion)

تعدُّ الحركة الدورانيّة حركةً مهمّةً في الفيزياء، وفي حياتنا اليوميّة، ويمكن تعريف الحركة الدورانيّة بأنّها: دوران الجسم حول مركزه أو محوره. وقد تعلّمت في الصفّ العاشر الأساسيّ مفهوم الحركة الدائريّة، وهي حالةٌ خاصّةٌ من الحركة الدورانيّة، وتتعلّقُ بحركة جسمٍ على محيط دائرةٍ بسرعةٍ ثابتة، ويقطع فيها الجسم أقواساً متساويةً في أزمانٍ متساويةٍ، وتُسمّى حركةً دائريّةً منتظمة، ويكون نصف قطر الدوران ثابتاً، ويكون للجسم تسارعٌ مركزيّ ناتجٌ عن تغيّر اتّجاه السرعة.

ولمعرفة خصائص الحركة الدائريّة نفّذ النشاط الآتي:

نشاط(1): الحركة الدائريّة

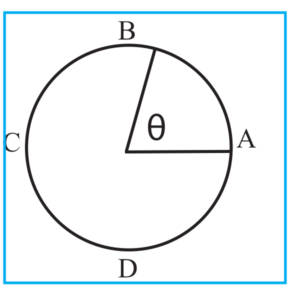


١. اربط كرةً كتلتها (m) بطرف خيط، وأمسك الطرف الآخر بيدك.
٢. قمْ بتدوير الكرة بسرعة (v) ثابتة في مسارٍ دائريّ، في مستوى أفقيٍّ،
٣. كما هو مبيّن في الشكل المجاور، صفْ حركة الكرة.
٤. زد سرعة الكرة، كيف تشعر بتغيّر قوة الشدّ في الخيط عند زيادة السرعة؟
٥. أفلت الخيط، صفْ حركة الكرة.

نتوصّل ممّا سبق إلى أنّ:

- الحركة الدائريّة المنتظمة حركةٌ مسارُها دائريّ، فيها يقطع الجسم المتحرك أقواساً متساويةً في أزمنةٍ متساوية.
- لكي يتحرّك جسمٌ في مسار دائريّ، لا بدّ أنْ تؤثّر فيه قوةٌ عموديّة على اتّجاه حركته، في اتّجاه مركز المسار الدائريّ؛ وذلك للمحافظة على استمراريّته في الحركة الدائريّة.
- إذا انعدمت هذه القوة فإنّ الجسم سوف يتحرك باتّجاه المماس للمسار الدائريّ.

سؤال



يمثّل الشكل المجاور حركة جسم كتلته $(0.1 kg)$ في مسارٍ دائريّ منتظم، طول نصف قطره $(3.5 m)$، حيث سرعة الجسم عند النقطة A تساوي $(7\ m/s)$ باتّجاه الجنوب.

١. ما القوة المركزيّة المؤثّرة في الجسم؟
٢. ما التسارع المركزيّ للجسم؟
٣. ما سرعة الجسم وتسارعه عند النقاط B، C،D ؟
٤. كم تصبح القوة المركزيّة إذا ضاعفنا سرعة الجسم مع ثبات نصف القُطر؟

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

سؤال

لماذا يقوم السائق بتخفيف سرعته عند دخوله منحدراً حادّاً؟

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

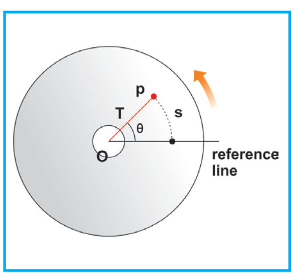
لتتعرف الموضع الزاوي والسرعة الزاوية نفّذ النشاط الآتي:

نشاط (2): الموضع الزاوي والسرعة الزاوية

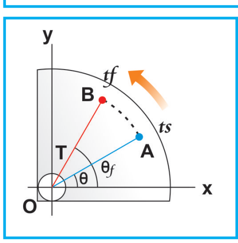
جلس أحمد وصديقه رامي في المقعد A في لعبة الملاهي التي قطرها 12m، وتدور بسرعةٍ ثابتة 3.14 m/s.

١. ما الزمن الدوري؟
٢. ما طول القوس الذي تحرّكه المقعد خلال 3s؟
٣. ما موضع أحمد ورامي بعد 3 s؟ (افرض أنّ الخطّ الأفقيّ 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)؟ (تعبر الزاوية θ (بالتقدير الدائري) التي قطعها المقعد عن الإزاحة الزاوية، وتحدّد الموضع الزاوي).
٦. ما مقدار الإزاحة الزاوية لمقعد أحمد ورامي؟

أ. الموضع الزاوي



لنفرضْ أنّ نقطةً على قرصٍ مرنٍ، 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 النقطة تكون قد قطعت زاوية تساوي $\Delta\theta$ ، $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$
والتغيّر بين الموضعين يعبّر عن الإزاحة الزاوية.
وبذلك يكون الجسم قد قطع قوساً طوله s، ويقابل هذا القوس زاوية مركزية $\Delta\theta$ تمثل الإزاحة الزاويّة

ب. الإزاحة الزاوية

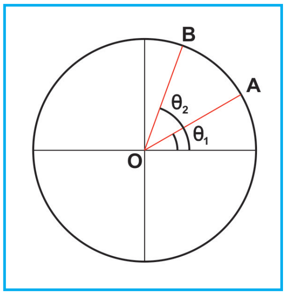
وتُعطى بالعلاقة: $\theta = \frac{s}{r}$ ، وتقاس بوحدة الراديان rad. (5-1)

حيث إنّ الراديان: الزاوية النصف قطرية، ويكافئ زاويةً مقدارها $57.3°$ تقريباً.

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

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

ج. السرعة الزاوية ω



الشكل (1)

إنّ موضع الجسم الزاوي في أيّةِ لحظة يتحدّد بالزاوية θ التي يصنعها متّجهُ 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 زمنٍ قدرُه Δt ، كما في الشكل (1)، وبالتالي فإنّ السرعة الزاوية المتوسطة (ω) تُعطى بالعلاقة:

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

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

الزاوية التي يدورها جسم في زمن t، تُعطى بالعلاقة:

$$\theta = \omega t \quad (5\text{–}3)$$

وكثيراً ما تُعطى السرعة الزاوية لجسمٍ يدور بوحدات مختلفة مثل دورة /الدقيقة مثلاً، حيث إنّ الدورة الواحدة تعادل 360= 2π radians.

مثال1: يدور حوض نشّافة غسّالة 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 مِروحةُ سقفٍ بمعدل 1800 rev/ min، احسب الزاوية التي تدورها المروحة خلال 10 s.

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

تُعرف السرعة الزاوية اللّحظيّة بأنها: **السرعة الزاوية لجسم يدور على مسارٍ دائريّ في لحظةٍ معينة**، وتحسب عن طريق حساب السّرعة الزاوية المتوسطة في فترة زمنية قصيرة جداً، بجعل النقطتين A و B في الشكل (1) تقتربان من بعضهما بشكلٍ كبير لتنطبقا في النهاية على بعضهما، عندئذٍ تصبح الزاوية $\Delta\theta$ والزمن Δt غاية في الصّغر، وكلما صغرت الفترة الزمنية اقتربت السرعة الزاوية المتوسّطة من السرعة الزاوية اللحظيّة، وعندما تصبح الفترة الزمنية صغيرةً جدّاً (تؤول إلى الصّفر) تصبح السرعة الزاوية المتوسّطة مساويةً للسرعة الزاوية اللحظيّة.

أناقش

هل لكلّ أجزاءِ عقرب الدقائق الإزاحة الزاوية نفسها؟ وهل لها إزاحة خطيّة متماثلة خلال فترةٍ زمنيّةٍ معيّنة؟

مثال2: يتحرّك جسمٌ على مسارٍ دائريّ بسرعةٍ زاويةٍ متغيّرة، بحيث تُعطى الزاوية التي يدورها خلال زمن t بالعلاقة $\theta = t^2 + 3t$

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

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

الحل:

أ- لتحديد السرعة الزاوية المتوسطة نحسب الزاوية التي كان عندها الجسم في اللحظتيْن المذكورتيْن:

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

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

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 المتوسّط واللّحظي (Average and Instantaneous Angular Acceleration)

وكما تعلمنا في الحركة الانتقاليّة (الخطيّة) بأنّ التسارع الخطّيّ يساوي المعدل الزمنيّ للتغيّر في السرعة الخطيّة، وبالمثل فإنّ التسارع الزاوي يساوي المعدل الزمنيّ للسرعة الزاوية، فإذا كانت السرعة الزاوية اللحظيّة 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 المتوسّط بين هاتين اللحظتيْن بالعلاقة:

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

ومن العلاقة السابقة فإنّ وحدة التسارع الزاوي هي وحدة سرعة زاوية على زمن، أي rad/s^2. ويعرف التسارع الزاوي اللحظي بأنّه متوسّط التسارع الزاوي خلال فترةٍ زمنيّةٍ قصيرة ؛ أي Δt تؤول إلى الصفر في المعادلة (4).

سؤال

بدأت عجلةٌ الدوران من السكون، ثمّ اكتسبت سرعةً دورانيّةً، قدرها 360 rev/min خلال دقيقتين، احسب متوسط التسارع الزاوي.

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

تعلمت في الصفّ العاشر أنّه إذا تحرّك جسمٌ بتسارعٍ خطيٍّ ثابت a، فإنّ معادلات الحركة التي تصف حركة الجسم تُعطى بالعلاقات

$$v_f = v_i + at$$

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

$$v^2_f = v^2_i + 2ar$$

وبالمنطق نفسه، إذا دار جسمٌ بتسارع زاوي ثابت α فإنّ معادلات الحركة التي تصفُ حركة الجسم تعطى بالشكل:

$$\omega_f = \omega_i + \alpha t \qquad (5–5)$$

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

$$\omega^2_f = \omega^2_i + 2\alpha\theta \qquad (5–7)$$

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

سؤال

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

مثال3: بدأ جسم الدوران بسرعةٍ زاوية (4 rad/s)، وبتسارعٍ زاويٍّ ثابت مقداره ($2\ rad/s^2$) احسب:

١. الإزاحة الزاوية بعد مرور 3 s.

٢. السرعة الزاوية بعد مرور 3 s.

الحل:

1. باستخدام المعادلة (5-6)

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

$$\theta = 4\times3 + \frac{1}{2}\times2\times9 = 21\ rad$$

2. باستخدام المعادلة (5-5) أو (5-7)

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

$$\omega_f = 4 + 2\times3 = 10\ rad/s$$

مثال4: يدور حجرُ طاحونةٍ بدءاً من السكون زاوية 180°، خلال (2 s) بتسارعٍ زاويٍّ ثابت. احسب:

١. السرعة الزاوية المتوسّطة للحجر.

٢. التسارع الزاوي.

الحل: 1:

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

2:

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

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

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

مثال5: تدور حلقة خلال(4 s) زاويةٍ مقدارها (rad 120)، وبتسارعٍ زاوي ثابت ($3\ \text{rad/s}^2$).

١. ما السرعة الزاوية الابتدائيّة للحلقة؟

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

الحل: 1:

نستخدم معادلات الحركة بتسارع زاوي 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

أُوقِفَتْ مِروحةٌ كهربائيّة عندما كانت تدور بمعدل (3 rev/min)، ثم وصلت إلى السكون خلال (18 s). احسب:

١. التسارع الزاوي للمِروحة بفرض أنّه ثابت.

٢. عدد الدورات التي تدورها المِروحة قبل أنْ تصل إلى السكون.

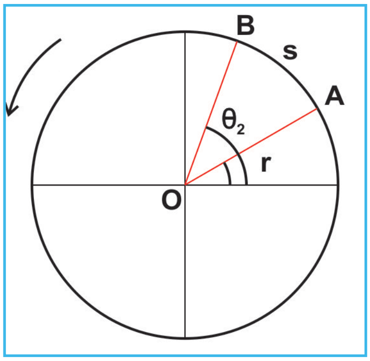
5-6 العلاقة بين متغيّرات الحركة الدورانيّة والحركة الانتقاليّة

من المفيد جداً أنْ نربط بين متغيّرات الحركتين: الانتقاليّة والدورانيّة، لنلاحظ التناظر التام بينهما، ولذلك نفترض أنّ لدينا جسماً يدور على مسارٍ دائريّ، نصف قطره r، كما في الشكل (4). فنلاحظ أنّه يقطع مسافةً خطيّةً s، عندما يدور زاوية θ في زمن t، بحيث أنّ:

$$s = r\ \theta$$

حيث تُقدّر θ بالراديان دوماً.

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

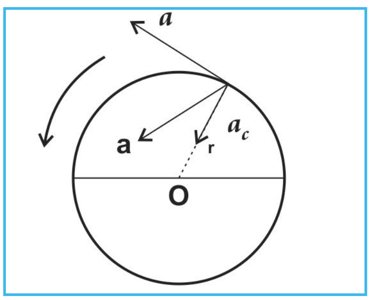


حيث v هي السرعة الخطيّة التي يتحرّك بها الجسم على المسار الدائري، بينما **$\omega = \frac{\theta}{t}$ هي السرعة الزاوية التي يدور بها، وبالتالي:**

$$\boxed{v = r\,\omega \qquad (5\text{–}8)}$$

كما يمكن الربط بين التسارع الخطّي a والتسارع الزاوي

$$\boxed{a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{r\,\omega}{t} = r\alpha \qquad (5\text{–}9)}$$



وبملاحظة أنّ $\frac{\Delta v}{\Delta t} = a_{\text{المماسية}}$، حيث $(a_{\text{المماسية}})$ التسارع المماسي للجسم على المسار الدائري الذي يدلّ على تغيّر قيمة السرعة الخطيّة للجسم، وعندما يدور الجسم بسرعةٍ خطّيّةٍ ثابتة، وبما أنّ $v = \omega r$ فإنّ التسارع المماسي يكون معدومًا، ولكنّ تسارعه المركزيّ.

$$\boxed{a_c = r\,\omega^2 \qquad (5\text{–}10)}$$

لا يساوي صفراً، ومع ذلك تسارعه الزاوي يكون مساوياً للصفر $\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$؛ لأنّ سرعته الزاوية، مثل سرعته الخطيّة ثابتة. فإذا دار الجسم بسرعةٍ خطيّةٍ ثابتة ينعدم تسارعه المماسي والزاوي، ويبقى تسارعه المركزيّ الذي يدل على تغيّر اتجاه حركته، والمعطى بالمعادلة (10).

مثال6: تتسارع أسطوانةٌ موسيقيّةٌ 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 الخطية: $v = r\ \omega$

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

$$v = 0.15 \times 3.45 = 0.52\ m/s$$

التسارع المركزي : $a_c = \frac{v^2}{r}$

$$a_c = \frac{0.52^2}{0.15} = 1.8\ m/s^2$$

ب- التسارع الزاوي للأسطوانة: $\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$

$$= \frac{3.45-0}{60} = 0.06\ rad/s^2$$

أختبر نفسي:

1 ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. في حركة قرصٍ مَرِن، أيّ العبارات الأتية صحيحة، فيما يتعلق بالسرعة الخطية والزاوية لنقطة على القرص؟

أ) كلاهما ثابت . ب) كلاهما متغير. جـ) الخطيّة ثابتة والزاوية متغيّرة. د) الخطيّة متغيّرة والزاوية ثابتة.

2. كيف يتناسب التسارع المركزيّ في الحركة الدائريّة المنتظمة؟

أ) طردياً مع السرعة الخطية . ب) طردياً مع السرعة الزاوية.

جـ) عكسياً مع السرعة الزاوية . د) طردياً مع مربع السرعة الزاوية.

3. يتحرك جسمٌ حركة دائرية منتظمة، بحيث يعمل دورة واحدة كلّ ثانية، فكم تساوي سرعته الزاوية بوحدة rad/s ؟

أ) π ب) 2π جـ) 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. يتحرّك جسم في مسار دائري بتسارع زاوي طبقا للعلاقة $\alpha = \frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{4}t^2$، فكم يساوي التسارع الزاوي للجسم بعد ثانية بوحدة rad/s^2؟

أ) $\frac{\pi}{8}$ ب) $\frac{3\pi}{4}$ جـ) $\frac{\pi}{2}$ د) π

6. كرة مربوطة في نهاية خيط طوله 40 cm، تدور بانتظام في مستوى أفقيّ، في مسارٍ دائريّ، فتستغرق زمناً دورياً مقداره 0.2 s، فكم يساوي تسارعها المركزي بوحدة rad/s^2 ؟

أ) 400 ب) $40\pi^2$ جـ) 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^o ب) 30^o جـ) 60^o د) 90^o

8. يتحرك جسم نقطي على مسار دائري طول نصف قطره 25 m بزاوية 30^o، فما المسافة التي يقطعها الجسم على المسار بوحدة المتر ؟

أ) 1.2 ب) 7.5 جـ) 13 د) 750

2 عرّف المفاهيم الفيزيائيّة الآتية:

الإزاحة الزاوية، والسرعة الزاوية، والتسارع الزاوي المتوسط.

3 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 اللحظيّة للحلقة عندما $t=3\ s$ حيث $\omega_{\text{اللحظية}} = 5 + 6 + 18t$

ب- السرعة الزاوية المتوسطة خلال الفترة [3 ، 0].

جـ- التسارع الزاوي اللحظي للحلقة عندما $t = 2\ s$ ،حيث

د- التسارع الزاوي المتوسط للحلقة خلال الفترة [3 ، 0]. $\alpha = 6 + 54\ t^2$

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

7 صف حركة جسم عندما يتسارع بتسارعٍ ثابتِ المقدار في الحالات الآتية:

1. عمودي على سرعته. 2. موازٍ لسرعته.

8 تتحرّك سيارة شرقاً، فإذا غيّرت مسارها لتصبح شمالاً في قوسٍ دائريّ، 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 دائريّ عموديّ، 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.

6 - 1 الشحنة الكهربائيّة وخصائصها

إن شحنة أي جسم مشحون ليست كمية متصلة مثل الموائع بل هي عدد صحيح من مضاعفات شحنة الإلكترون ويعبر عن ذلك بتكمية الشحنة وبالتالي فإن شحنة أي جسم =

$$q = \pm\ n\ e\ \ ,\ n = 1,2,3,......\qquad (8\text{-}1)$$

إنّ الشحنة الكهربائيّة خاصيّة فيزيائيّة لبعض الجُسيْمات الأوليّة كالبروتون والإلكترون وغيرها. وينشأ التكهرب بسبب فقدان أو اكتساب المادة للإلكترونات؛ أي لحدوث خلل في التعادل الكهربائي للمادة، وأن الشحنات المتشابهة تتنافر بينما المختلفة تتجاذب.

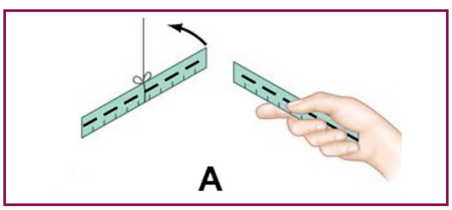
لتتعرف إلى الشحنة الكهربائيّة وعلاقتها بالمادة، قم بتنفيذ النشاط الآتي:

نشاط (6- 1): تنافر وتجاذب الأجسام المشحونة كهربائيّاً

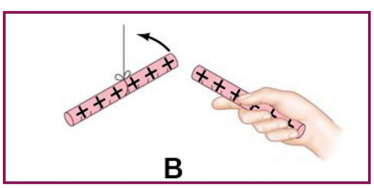
الخطوات: يوضّح الشكل (8-1) خطوات تنفيذ التجربة وذلك بعمل ما يأتي:

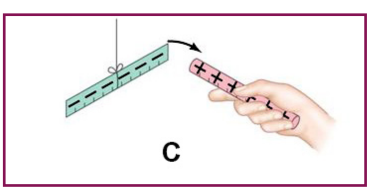
المواد والأدوات: ساق زجاجي عدد (٢)، ومسطرة بلاستيكية عدد (٢)، وقطعة صوف، وقطعة حرير، وحامل معدني، وخيط.

- علّقْ مِسطرة بلاستيكيّة مدلوكة بقطعة من الصوف بخيط في حامل، ثم قرّب منها مسطرة أخرى مدلوكة بقطعة من الصوف.



- علّق ساقاً زجاجيّاً مدلوكاً بقطعة من الحرير بخيط في حامل، ثم قرّب منه ساقاً آخر من الزجاج مدلوكاً بقطعة من الحرير.
- قرّب ساق الزجاج المدلوك بالحرير من المسطرة البلاستيكية المدلوكة بالصوف، والمعلقة في الخيط.





الشكل (8-1)

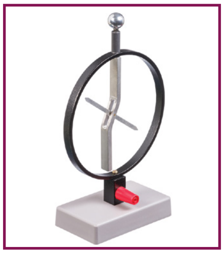
ماذا تلاحظ في كلٍّ من الحالات؟ وماذا تستنتج؟

دوّن مشاهداتك واستنتاجاتك في تقرير حول هذا النشاط.

يُظهر الشكل المجاور (8-2) كشّافاً كهربائيّاً الذي مرّ معك سابقاً.

أناقش

- ما استخدامات الكشّاف الكهربائي؟
- كيف تكشف عن شحنة جسمٍ ما؟
- هل يمكن معرفة نوع شحنة جسمٍ مشحون؟



الشكل (8-2)

سؤال

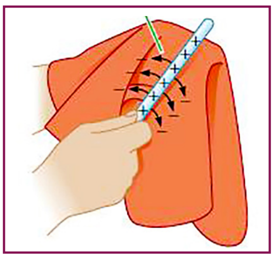
١- ما شحنة جسم فقد (100) إلكترون؟

٢- هل يمكن لجسم أنْ يحمل شحنة مقدارها (5×10^{-19} C)؟

2-6 شحن الأجسام كهربائيّاً (التكهرب)

أ - الشحن بالدلك:

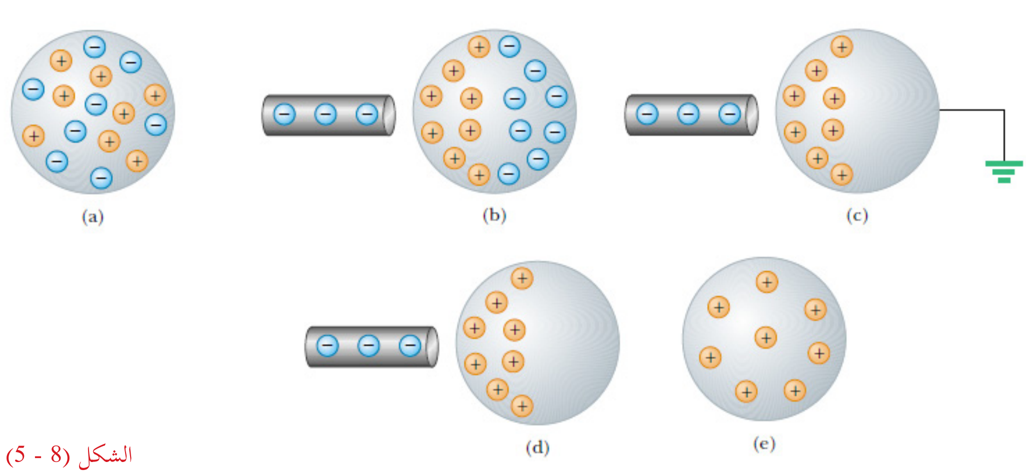
عند دلك جسميْن متعادلين من مادتين عازلتين مختلفتين تنتقل الإلكترونات من أحد الجسميْن إلى الآخر، وعدد الإلكترونات التي يفقدها أحد الجسمين يساوي تماماً عدد الإلكترونات التي يكتسبها الجسم الآخر، لذلك تكون شحنتاهما متساويتين مقداراً ومختلفتين نوعاً، مثل دلك ساق من الزجاج بقطعة من الحرير، فإنّ الزجاج يفقد بعضاً من إلكتروناته، فيصبح موجب الشحنة، في حين يكتسب الحرير هذه الإلكترونات، فيصبح سالب الشحنة، كما في الشكل (8 – 4).



الشكل (8 – 4)

ب - الشحن بالتأثير (الحث الكهروستاتيكي):

اكتشف الحث الكهروستاتيكي العالم البريطاني (جون كانتون) عام 1753. وأهم ما يميّز هذا النوع من طرق الشحن أنّه يُستخدم لشحن المواد الموصلة، مثل النحاس. ويوضّح الشكل (8-5) كيف تتم إعادة توزيع الشحنات الكهربائيّة الحرة على جسم موصل متعادل، تحت تأثير جسم آخر مشحون بشحنة سالبة لدى اقترابهما. لاحظ أنّ وصل الجسم الموصل بالأرض يفرغه من الشحنات السالبة؛ ما يترك الجسم مشحوناً بشحنة موجبة في هذه الحالة.



شكل (6 - 5): الحث الكهروستاتيكي: هو إعادة توزيع الشحنة الكهربائية في جسم بتأثير شحنات مجاورة.

سؤال

كيف نشحن جسم بشحنة سالبة دائمة بطريقة الحث؟

ج - الشحن باللمس:

إذا اتصل (أو تلامس) جسم موصل مشحون مع موصل متعادل، فتتم إعادة توزيع الشحنات الحرة على الجسميْن؛ ما يؤدي إلى شحن الموصل المتعادل، وتكون شحنتاهما من النوع نفسه ، وهذا التوزيع يبقي المجموع الكلي للشحنات ثابتاً.

في طرق الشحن السابقة جميعها ، وفي نظام معزول يكون المجموع الجبري الكلي للشحنة ثابتاً خلال عمليّة الشحن. وهذا ما يُعرف بمبدأ حفظ الشحنة.

سؤال

فسّر « عند تقريب الغلاف البلاستيكي الخاص بتغليف الأطعمة من أوعية الطعام ينجذب اليها ويلتصق بها».

(6-3) قانون كولوم

تعرفت سابقاً أنّ الشحنات الكهربائيّة المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب. وتُسمّى قوة التجاذب أو التنافر، القوة الكهربائية. وقد أجرى العالم (كولوم) في عام (1785) م سلسلة من التجارب باستخدام ميزان (اللي) الذي صنعه بنفسه، وقام بتحديد العوامل التي تعتمد عليها القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين نقطيتين. وقد استخدم في تجاربه كرات صغيرة مشحونة جعل البُعد بينها أكبر بكثير من أنصاف أقطارها، بحيث يمكن إهمال أبعاد الكرات وكأنّما تتمركز الشحنة في مركزها، وبذلك تُعامل كشحنات نقطية. دلت نتائج تجارب كولوم على أنّ القوة الكهربائية المتبادلة بين الشحنات الكهربائية الساكنة:

١. قوة تجاذب إذا كانت الشحنات مختلفة، وقوة تنافر إذا كانت الشحنات متشابهة.

٢. تتناسب طرديّاً مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين.

٣. تتناسب عكسيّاً مع مربع المسافة بين الشحنتين، ويكون اتّجاهها على امتداد الخط الواصل بين الشحنتين.

وتمثل هذه النتائج خصائص القوة الكهروستاتيكيّة، ومنها استطاع صياغة قانون يُعرف باسمه، قانون كولوم، ينصّ على أنّ: القوة المتبادلة (F) بين شحنتين نقطيتين (q_1 ، q_2) تفصل بينهما مسافة (r) تتناسب طرديّاً مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين، وعكسيّاً مع مربع المسافة بينهما. ويمكن التعبير عنه رياضيّاً بالعلاقة:

$$F = k\frac{q_1 \times q_2}{r^2} \qquad (8\text{-}2)$$

حيث k: ثابت تعتمد قيمته على طبيعة الوسط الذي توجد فيه الشحنات، فإذا كان الوسط فراغاً، فيُعبَّر عن هذا الثابت بالمقدار ($9 \times 10^9\ N.m^2/C^2$)، وغالباً ما يمكن اعتماد ذات القيمة للهواء، حيث يُعدّ الفارق بسيطاً، ويكتب على الصورة: $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$، حيث ε_0: السماحية الكهربائية للفراغ.

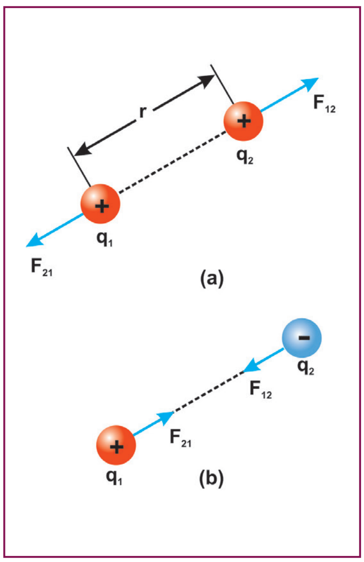
سؤال

احسب مقدار ε_0 ، وما وحدتها؟

وكما تعلم، فالقوة الكهربائية كمية متّجهة، والعلاقة السابقة تعطينا مقدار القوة. أمّا اتّجاهها، فيكون دائماً على امتداد الخط الواصل بين الشحنتين. فالشحنتان (q_1 ، q_2) في الشكل (8 – 6 – a) تؤثّر كلٌّ منهما في الأخرى بقوة تنافر، حيث F_{12} القوة التي تؤثّر بها الشحنة q_1 على q_2، و F_{21} القوة التي تؤثّر بها الشحنة q_2 على q_1 بالاتجاهات المبينة في الشكل (8 – 6 – b).

ما العلاقة بين مقدار واتّجاه كلٍّ من: F_{12}، F_{21} ؟

الكولوم: هو مقدار الشحنة التي ينقلها تيار كهربائي مقداره أمبير واحد في ثانية واحدة.



الشكل (8 - 6)

سؤال

عرّف الكولوم من خلال قانون كولوم.

من السهل تطبيق قانون كولوم على الشحنات النقطيّة؛ أيّ الحالات التي تكون فيها أبعاد الأجسام المشحونة صغيرة بالمقارنة بالمسافات بينها، حيث يمكن اعتبار الشحنات الكهربائيّة على الأجسام، كما لو كانت مركّزة في نقطة واحدة. أما إذا كانت الشحنات ممتدة فوق منطقة كبيرة، فيصعب تطبيق قانون كولوم بصورته العادية.

ممّا سبق نلاحظ أنّ قانون كولوم يُستخدم لحساب القوة المتبادلة بين شحنتين نقطيتين، بينما إذا وجدت عدد من الشحنات، فإنّ القوة الكليّة المؤثرّة في إحدى الشحنات تساوي محصّلة القوى المؤثّرة في تلك الشحنة من الشحنات الأخرى؛ أي أنّ:

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \dots \qquad (8\text{-}3)$$

مثال1: شحنتان نقطيتان موجبتان في الهواء والمسافة بينهما (60 cm)، مقدار الأولى ($4\ \mu C$)، ومقدار الثانية ($9\ \mu C$)، احسب:

١) القوة التي تؤثّر بها الشحنة الأولى في الثانية.

٢) القوة التي تؤثّر بها الشحنة الثانية في الأولى.

الحل:

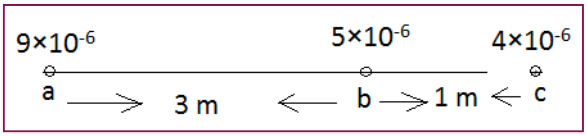
1: (تنافر) $F_{12} = k \dfrac{q_1 \times q_2}{r^2} = 9\times10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 9 \times 10^{-6}/(0.6)^2 = 0.9\ N$

2: (تنافر) $F_{21} = k \dfrac{q_1 \times q_2}{r^2} = 9\times10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 9 \times 10^{-6}/(0.6)^2 = 0.9\ N$

ماذا تستنتج؟

مثال (2): ثلاث شحنات نقطية موزعة ومبيّنة قيمها بالكولوم، كما في الشكل. احسب مقدار واتّجاه القوة المؤثّرة في الشحنة الموضوعة عند النقطة (b).

الحل:



$$\vec{F}_b = \vec{F}_{ab} + \vec{F}_{cb}$$

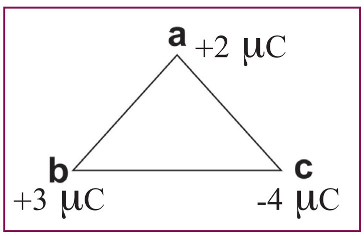
$$F_{ab} = k\,\frac{q_a \times q_b}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 9 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-6}/3^2 = 4.5 \times 10^{-2}\ \text{N}$$ باتجاه اليمين (+x)

$$F_{cb} = k\,\frac{q_c \times q_b}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-6}/1^2 = 18 \times 10^{-2}\ \text{N}$$ باتجاه اليسار (-x)

لاحظ أنّ الشحنة (b) تؤثر فيها قوتان متعاكستان تقعان على استقامة واحدة؛ لذلك فإنّ:

$$F_b = F_{cb} - F_{ab} = 18 \times 10^{-2} - 4.5 \times 10^{-2} = 1.35 \times 10^{-1}\ \text{N}$$ باتجاه اليسار (-x)

مثال(3): abc مثلث متساوي الأضلاع طول ضلعه (20 cm)، وضعت على رؤوسه الشحنات (-4 , +3 , +2) ميكروكولوم على الترتيب، احسب محصّلة القوى المؤثرة في الشحنة الموضوعة عند (b).



الحل:

$$\vec{F}_b = \vec{F}_{ab} + \vec{F}_{cb}$$

$$F_{ab} = k\,\frac{q_a \times q_b}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^{-6}/(0.2)^2 = 1.35\ \text{N}$$ (باتجاه ab)

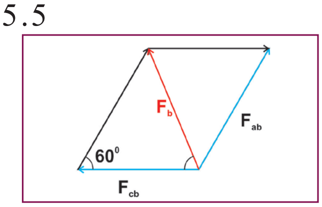
$$F_{cb} = k\,\frac{q_c \times q_b}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^{-6}/(0.2)^2 = 2.7\ \text{N}$$ (باتجاه bc)

$$F_b^2 = F_{ab}^{\ 2} + F_{cb}^{\ 2} + 2\,F_{ab}\,F_{cb}\cos 120 = (2.7)^2 + (1.35)^2 + 2\times 2.7 \times 1.35 \times (-0.5)$$

$$= 7.29 + 1.8225 + 2\times 2.7 \times 1.35 \times -0.5 = 9.113 - 3.645 = 5.5$$

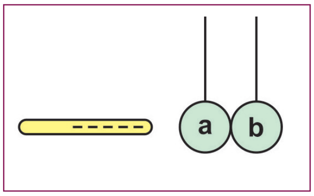
$$F_b = \sqrt{5.5} = 2.34\text{N}$$

$$\frac{F_b}{\sin 60} = \frac{F_{ab}}{\sin \propto} \longrightarrow \frac{2.34}{0.86} = \frac{1.35}{\sin \propto} \longrightarrow \propto = 30^\circ$$



أختبر نفسي:

1 اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:



1) يبيّن الشكل المجاور كرتين فلزّيتين (a , b) غير مشحونتين ومتلامستين. تم وضع موصل مشحون بشحنة سالبة بالقرب من الكرة (a) دون أن يلامسها. عند إبعاد الكرة (b) عن الكرة (a) فإنّ:

أ) الكرة (b) تشحن بشحنة موجبة، والكرة (a) تكون غير مشحونة.

ب) الكرة (b) تشحن بشحنة موجبة، والكرة (a) تشحن بشحنة سالبة.

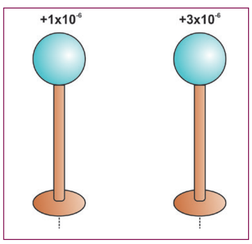
جـ) الكرة (b) تشحن بشحنة سالبة، والكرة (a) تشحن بشحنة موجبة.

د) الكرة (a) تشحن بشحنة موجبة، والكرة (b) تكون غير مشحونة.

2) شحنتان نقطيتان، شحنة الأولى (2 q) والثانية (q). إنّ مقدار القوة التي تؤثّر بها الشحنة الأولى في الثانية تساوي:

أ) مثلي القوة التي تؤثر فيها الثانية في الأولى. ب) نصف القوة التي تؤثر فيها الثانية في الأولى.

جـ) أربعة أمثال القوة التي تؤثر فيها الثانية في الأولى. د) القوة التي تؤثر فيها الثانية في الأولى.



3) يبيّن الشكل المجاور كرتين فلزيتين متماثلتين مشحونتين ومعزولتين، والمسافة بين مركزيهما(10 cm) . إذا لامست الكرة الأولى الكرة الثانية ثم أُبعدتا إلى المسافة نفسها ، فإنّ القوة المتبادلة بينهما بوحدة نيوتن تساوي:

أ) 1.4 ب) 1.8 جـ) 3.6 د) 14

4) إذا كانت القوة المتبادلة بين شحنتين نقطيتين متساويتين المسافة بينهما (r) تساوي (16N)، فإنّ القوة المتبادلة بينهما عندما تصبح المسافة بينهما (2r) تساوي (بوحدة نيوتن):

أ) 1 ب) 2 جـ) 4 د) 16

5) يبيّن الشكل المجاور شحنتين نقطيتين موضوعتين على خط مستقيم في النقطتين (a , b). إنّ أكبر قوة تنافر تكون بين الشحنات إذا كانت قيمهما:

أ) (- 2 q) ،(- 4 q) ب) (- 2 q) ،(+ 4 q)

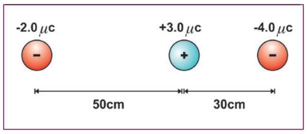
جـ) (+q) ،(+ 7 q) د) (- q) ،(- 4 q)

2 ما الفرق بين شحن موصل بالتأثير وشحنه باللمس؟

3 عندما ينجذب جسم باتجاه جسم مشحون، هل نستنتج أنّ الجسم المنجذب بالضرورة مشحون. فسّر ذلك.

4 وضعت أربع شحنات كهربائية (1 ,5.12 ,2.16 ,10-) ميكروكولوم على رؤوس المستطيل (a b c d) على الترتيب. إذا كان طول (ab = 8 cm)، (ad = 6 cm)، فاحسب القوة المؤثّرة في الشحنة الموضوعة في النقطة d.

5 وُضعت كرة صغيرة مشحونة بشحنة موجبة مقدارها 3μC، بين كرتين فلزيتين مشحونتين بشحنتين سالبتين، كما في الشكل، مقدار الأولى (4 μC)، وتبعد عنها (30 cm)، ومقدار الثانية (2 μC) وتبعد عنها (50 cm). ما محصّلة القوى المؤثّرة في الشحنة الموجبة؟



6 الكرة (a) تحمل شحنة موجبة مقدارها (12μC)، والكرة (b) تحمل شحنة سالبة مقدارها (3 μC)، والمسافة بينهما (1 m). أجب عمّا يأتي:

أ) أين يجب أنْ تُوضع الكرة (c) والمشحونة بشحنة سالبة مقدارها (8 μC) على امتداد الخط الواصل بين الكرتين لتكون محصّلة القوى المؤثّرة فيها صفراً؟

ب) أين يجب أنْ تُوضع الكرة (c) والمشحونة بشحنة موجبة مقدارها (1 μC) على امتداد الخط الواصل بين الكرتين لتكون محصّلة القوى المؤثّرة فيها صفراً؟

الفصل السابع: المجال الكهربائي (Electric Field)

درست في الوحدة السابقة قانون كولوم الذي يحدّد القوة المتبادلة بين الشحنات الكهربائية، ولكن ما الذي يجعل شحنة كهربائية تتأثر بقوة عندما تقترب منها شحنة أخرى؟ هل من الممكن أنْ تُعزى هذه القوة إلى وجود مجال كهربائي ينشأ بسبب هذه الشحنات كما هو الحال في مجال الجاذبيّة؟ وكيف نعرّف هذا المجال؟ وما خطوط المجال؟ هذه الأسئلة وغيرها سوف تستطيع الإجابة عنها بعد دراستك هذه الوحدة المتمازجة، ويُتوقَّع منك أنْ:

- توضّح المقصود بكلٍّ من: المجال الكهربائي، والتدفق الكهربائي، وقانون جاوس.
- ترسم خطوط المجال الكهربائي لتوزيعات مختلفة من الشحنات.
- تحسب شدة المجال الكهربائي الناشئ عن شحنات نقطيّة وأجسام منتظمة.
- تتعرّف إلى المجال الكهربائي المنتظم وحركة شحنة نقطية فيه.
- تطبق قانون جاوس لحساب شدة المجال الكهربائي لتوزيعات متصلة ومتماثلة من الشحنات.

1-7 المجال الكهربائيّ (Electric Field)

تعرفت سابقاً أنّ الشحنات الكهربائية تؤثر بقوة في شحنة نقطية صغيرة تُسمَّى شحنة اختبار (q_0)، موضوعة بالقرب منها حسب قانون كولوم، وأن كلًّا من مقدار هذه القوة واتّجاهها يتغيّر بتغيّر موضع شحنة الاختبار بالنسبة للشحنة. إنّ الشحنات الكهربائيّة تولّد في الحيّز المحيط بها خاصيّة تظهر على شكل قوى كهربائية تُسمَّى المجال الكهربائي، وعند وضع شحنة أخرى في هذا الحيز؛ فإنّها تتأثر بهذا المجال على نحو ينسجم مع قانون كولوم.

وتُعرف شدة المجال الكهربائي (E) عند نقطةٍ ما بأنّها القوة التي يؤثّر بها المجال على وحدة الشحنات الموجبة الموضوعة في تلك النقطة. فإذا كانت قيمة شحنة الاختبار الموضوعة في نقطة معينة في المجال هي (q_0)، فتكون شدة المجال:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_o} \qquad (9\text{-}1)$$

نلاحظ أنّ شدة المجال مرتبطة بالقوة فهي لذلك كمية متّجهة، ويكون اتّجاهها في نقطة ما باتّجاه القوة المؤثّرة في شحنة الاختبار الموجبة الموضوعة في تلك النقطة. وبالرجوع إلى المعادلة أعلاه فإنّ وحدة شدة المجال الكهربائي E هي N/C.

مثال (1): وضعت شحنة كهربائية مقدارها ($4\ \mu C$) في مجال كهربائي شدته ($6 \times 10^4\ N/C$). احسب القوة التي يؤثّر فيها المجال في الشحنة.

الحل:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \longrightarrow \vec{F} = q_0\,\vec{E} = 4 \times 10^{-6} \times 6 \times 10^4 = 0.24\ N$$ باتجاه المجال

إنّ هذه العلاقة تمكنّنا من معرفة شدة المجال الكهربائي دون معرفة الشحنة أو الشحنات المولّدة له. فإذا كان المجال ناتجاً عن شحنة نقطية (q)، فإنّ مقدار القوة الكهربائية المتبادلة بين الشحنتين (q, q_0) يكون:

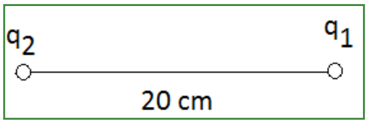
$$F = k\,\frac{q \times q_0}{r^2} \longrightarrow E = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{k\,\frac{q \times q_0}{r^2}}{q_0} = k\,\frac{q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{r^2} \qquad (9\text{-}2)$$

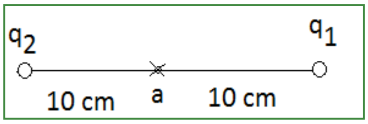
حيث r: بُعد النقطة المطلوب حساب شدة المجال عندها عن الشحنة (q). ويكون اتّجاه المجال باتّجاه القوة المؤثّرة في شحنة الاختبار الموجبة (q_0)؛ أي مبتعداً عن الشحنة الموجبة، ومقترباً من الشحنة السالبة.

ولحساب شدة المجال الكهربائي الناشئ عن عدد من الشحنات الكهربائيّة عند نقطة في مجالها المشترك نفترض أولاً وجود وحدة الشحنات الموجبة عند هذه النقطة، ثم نحسب شدة المجال الكهربائي عند النقطة لكلّ شحنة، فتكون شدة المجال الكلي الناتج تساوي محصّلة مجالات الشحنات عند تلك النقطة؛ لأنّ المجال الكهربائي كمية متجهة؛ أي أنّ:

$$\vec{E_1} = \vec{E_{21}} + \vec{E_{31}} + \vec{E_{41}} + \ldots \qquad (9\text{-}3)$$

مثال (2): شحنتان كهربائيّتان موجبتان مقداراهما (1 μC)، (4 μC)، موضوعتان في الهواء والمسافة بينهما (20 cm)، احسب:





1- شدة المجال الكهربائي عند منتصف المسافة بينهما.

2- القوة المؤثّرة في شحنة مقدارها (1×10^{-9} C) موضوعة في منتصف المسافة بينهما .

الحل:

1) $\overrightarrow{E_a} = \overrightarrow{E_{1a}} + \overrightarrow{E_{2a}}$

$E_{1a} = 9 \times 10^9 \times \frac{q_1}{r_1^2} = 9 \times 10^9 \times 1 \times 10^{-6}/(0.1)^2 = 9 \times 10^5$ N/C باتجاه (-x)

$E_{2a} = 9 \times 10^9 \times \frac{q_2}{r_2^2} = 9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6}/(0.1)^2 = 36 \times 10^5$ N/C باتجاه (+x)

$E_a = 36 \times 10^5 - 9 \times 10^5 = 27 \times 10^5$ N/C باتجاه (+x)

2) $\vec{F} = q_0 \vec{E} = 1 \times 10^{-9} \times 27 \times 10^5 = 27 \times 10^{-4}$ N باتجاه المجال (+x)

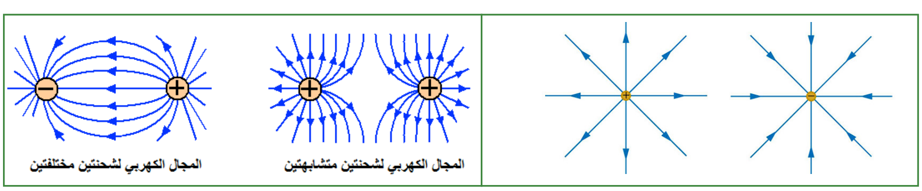
2-7 خطوط المجال الكهربائي Electric Field Lines:

يمكن تمثيل المجال الكهربائي بخطوط تُسمّى خطوط المجال الكهربائي، وتدل على المسار الذي تسلكه شحنة الاختبار الموجبة عند تحركها في المجال بتأثير قوة المجال، ولخطوط المجال الكهربائي الخصائص الآتية:

يدل اتّجاه المماس لخط المجال الكهربائي عند أيّة نقطة على اتّجاه المجال الكهربائي عند تلك النقطة، وتكون خارجة من الشحنة الموجبة وداخلة إلى السالبة، ويتناسب عددها مع مقدار الشحنة.

تتناسب كثافة خطوط المجال الكهربائي طرديّاً مع شدة المجال الكهربائي (كثافة الخطوط: عدد خطوط المجال الكهربائي التي يقطع وحدة المساحة العمودية على اتّجاهها).

ويبيّن الشكل (9-1) خطوط المجال الكهربائي لبعض الشحنات الكهربائيّة.



الشكل (9-1)

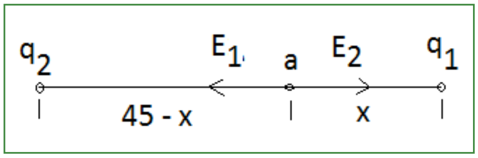
أناقش

- لا تتقاطع خطوط المجال الكهربائي.

مثال (4): شحنتان كهربائيتان نقطيتان موجبتان مقداراهما(3×10^{-6} C)، (12×10^{-6} C)، والمسافة بينهما (45 cm) في الهواء. ما بُعد النقطة التي تنعدم عندها شدة المجال الكهربائي عن الشحنة الأولى؟

الحل:

بما أنّ الشحنتين متماثلتان، فإنّ النقطة التي تنعدم فيها شدة المجال الكهربائي تقع بين الشحنتين وعلى الخط الواصل بينهما، كما في الشكل.



$$\vec{E_a} = \vec{E_1} + \vec{E_2} = 0 \rightarrow \vec{E_1} = -\vec{E_2}$$

$$9 \times 10^9 \times \frac{3\times10^{-6}}{x^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{12\times10^{-6}}{(45-x)^2} \Rightarrow \frac{1}{x^2} = \frac{4}{(45-x)^2}$$

وبأخذ جذريّ الطرفين، فإنّ:

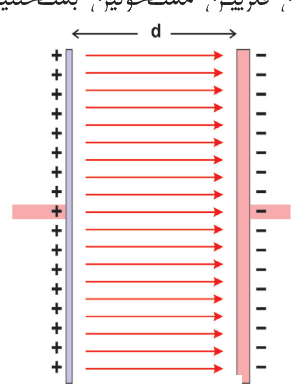
$$\frac{1}{x} = \frac{2}{(45-x)} \Rightarrow x = 15 \text{ cm}$$

أناقش

- ما شكل خطوط المجال الكهربائي؟
- على ماذا يدل شكلها؟
- هل يختلف اتّجاه المجال الكهربائي من نقطة إلى أخرى؟
- هل تختلف كثافة خطوط المجال الكهربائي من نقطة إلى أخرى؟

3-7 حركة جسيم مشحون في مجال كهربائي منتظم Motion In Uniform E.Field:

لعلك لاحظت في النشاط السابق أنّ المجال الكهربائي منتظم في الحيز بين لوحين، فلزيّين، مشحونيْن، بشحنتين متساويتين ومختلفتين في النوع.



عند وضع جُسيم مشحون كتلته (m) وشحنته q في مجال كهربائي منتظم (E)، فإنّه حسب القانون الثاني لنيوتن، يكتسب تسارعاً ثابتاً (α)، حيث:

$$\vec{F} = q\vec{E} = m\,\vec{\alpha} \rightarrow \vec{\alpha} = \frac{q\,\vec{E}}{m} \qquad (9\text{-}4)$$

وبالتالي يمكن وصف حركة الجُسيم وحسابها باستخدام معادلات الحركة بتسارع ثابت.

مثال (5): يتحرك إلكترون بين لوحين فلزيّين مشحونين بشحنتين متساويتين مقداراً، ومختلفتين نوعاً من السكون بين نقطتين المسافة بينهما ($1\ cm$)، إذا كانت شدة المجال الكهربائي بينهما ($1\times10^4\ N/C$)، فاحسب:

١) القوة التي يؤثّر فيها المجال الكهربائي في الإلكترون، علماً بأنّ كتلة الإلكترون تساوي ($9.11 \times 10^{-31}\ kg$)، وشحنته ($1.6 \times 10^{-19}\ C$).

٢) السرعة النهائية للإلكترون بعد قطعه تلك المسافة.

الحل:

$$1:\ \vec{F} = q_0 E = 1.6 \times 10^{-19} \times 1 \times 10^{4} = 1.6 \times 10^{-15}\ N$$ (بعكس اتجاه المجال)

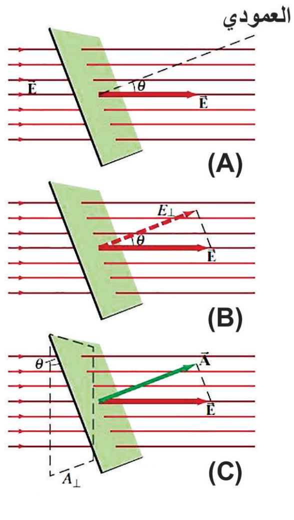
$$2:\ \vec{a} = \frac{F}{m} = 1.6 \times 10^{-15} / (9.11 \times 10^{-31}) = 1.8 \times 10^{15}\ m/s^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2\ a\ x = 0 + 2\ (1.8 \times 10^{15})\ (0.01) = 36 \times 10^{12} \longrightarrow v = 6 \times 10^{6}\ m/s$$

(5-7) التدفّق الكهربائي وقانون جاوس Electric Flux & Gauss's Law:

تعرفت سابقا إلى كيفية حساب شدة المجال الكهربائي عند نقطة معينة في مجال شحنات نقطية، ولكن كيف يمكن حسابها في مجال موصل مشحون؟ لقد توصل (جاوس) إلى قانون يُعرف باسمه، يصف العلاقة بين توزيع الشحنة الكهربائيّة على الأجسام والمجال الكهربائي الناتج عنها. ويتضمّن هذا القانون مفهوم التدفق الكهربائي الذي يشير إلى عدد خطوط المجال الكهربائي المارة بشكل عمودي خلال مساحةٍ ما. ويُحسب التدفق الكهربائي (ϕ) لمجال كهربائي منتظم شدته (E) يمر خلال مساحة (A) كما في الشكل ($9-\ 2\ -\ A$) رياضيّاً بالعلاقة:

$$\phi = \vec{E} \cdot \vec{A} = E\ A \cos\theta \qquad (9\text{-}5)$$



الشكل (9– 2)

حيث:

E: شدة المجال الكهربائي.

A: متجه المساحة، وهو متجه مقداره يساوي مساحة السطح واتّجاهه عمودي على السطح للخارج خصوصا إذا كان السطح مغلقاً.

θ: الزاوية المحصورة بين اتجاه شدة المجال الكهربائي والعمودي على المساحة.

ويمكن للتدفّق أنْ يُكتب بطريقة مكافئة:

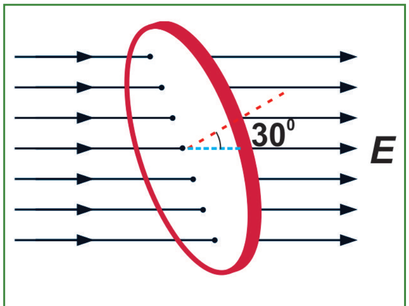
$$\phi = E_{\perp}\ A = E\ A_{\perp}$$

حيث:

$E_{\perp}$: مركبة شدة المجال الكهربائي باتجاه العمودي على المساحة ($E \cos\theta$) كما في الشكل (9– 2 – B)

$A_{\perp}$: مركبة متّجه المساحة باتّجاه شدة المجال الكهربائي ($A \cos\theta$) شكل (9 – 2 – C)

ومن العلاقة السابقة (9-5) يمكن ملاحظة أنّ التدفق يكون موجباً إذا كانت خطوط المجال خارجة من السطح، وسالباً إذا كانت خطوط المجال داخلة فيه، وصفراً إذا كانت خطوط المجال موازية للسطح.



مثال (6): يبيّن الشكل المجاور قرصاً دائريّاً نصف قطره (10 cm)، موضوع في مجال كهربائي منتظم شدته (2×10^3 N/C) ، بحيث تصنع خطوط المجال الكهربائي زاوية مقدارها (30°) مع متجه المساحة ($\vec{A}$). احسب:

1: التدفّق الكهربائي عبر القرص الدائري.

2: التدفّق الكهربائي عبر القرص الدائري عندما يدور القرص؛ بحيث تصبح خطوط المجال موازية لمستوى لقرص.

3: التدفّق الكهربائي عبر القرص الدائري؛ بحيث تصبح خطوط المجال عموديّة على مستوى القرص.

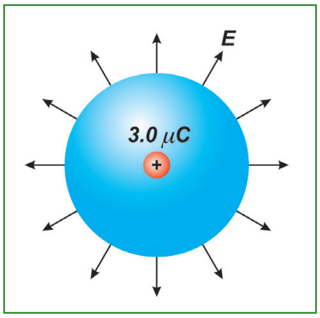
الحل:

$1:\ \phi = E\ A \cos\theta = 2 \times 10^3 \times (0.1)^2 \times 3.14 \times \cos 30° = 54\ N\ m^2/\ C$

$2:\ \phi = E\ A \cos\theta = 2 \times 10^3 \times (0.1)^2 \times 3.14 \times \cos 90° = 0$

$3:\ \phi = E\ A \cos\theta = 2 \times 10^3 \times (0.1)^2 \times 3.14 \times \cos 0° = 63\ N\ m^2/\ C$

مثال (7): يبيّن الشكل المجاور شحنة نقطية موجبة مقدارها $(3\ \mu C)$، موضوعة في مركز كرة نصف قطرها $(20\ cm)$ في الهواء. ما التدفّق الكهربائي عبر سطح الكرة؟



الحل:

لإيجاد شدة المجال الناتج عن الشحنة النقطية عند سطح الكرة، فإنّ:

$$E = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 3 \times 10^{-6} / (0.2)^2 = 6.75 \times 10^5\ N/C$$

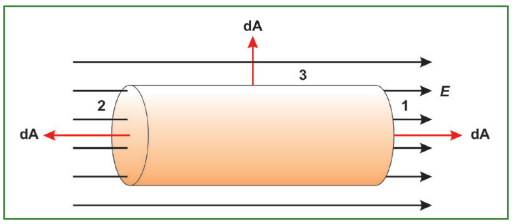
وبما أنّ خطوط مجال الشحنة النقطية تكون عمودية على السطح، فإنّ (θ = صفرا):

$$\phi = E\ A \cos\theta = 6.75 \times 10^5 \times 4 \times 3.14 \times (0.2)^2 \cos 0 = 3.4 \times 10^5\ N\ m^2/C$$

سؤال

هل يتغيّر التدفق الكهربائي إذا كان نصف قطر الكرة $(10\ cm)$؟ فسّر ذلك.

مثال (8): يبيّن الشكل المجاور أسطوانة طولها (L)، ونصف قطر قاعدتها (r)، موضوعة في مجال كهربائي منتظم شدته (E) في اتّجاه يوازي محور الأسطوانة. ما التدفق الكلي خلال سطح الأسطوانة؟



الحل:

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 = E\ A_1 \cos 0 + E\ A_2 \cos 180^\circ + E\ A_3 \cos 90^\circ$$

$$= E\ A - E\ A + 0 = 0$$

لاحظ أنّ التدفّق الكلي عبر هذا السطح المغلق يساوي صفراً؛ لأنّ عدد خطوط المجال التي دخلت إليه يساوي عدد خطوط المجال التي خرجت منه. وتلاحظ في هذا المثال، أنّه لا توجد شحنات داخل السطح المغلق، فهل لذلك علاقة بالنتيجة التي حصلت عليها؟ وهل تتغيّر نتيجة المثال لو وجدت شحنات سالبة، أو موجبة داخل هذا السطح المغلق؟

بشكلٍ عام، إذا وجدت مجموعة من الشحنات النقطية داخل السطح المغلق في الفراغ أو الهواء، يكون

$$\phi_T = \frac{\sum Q}{\varepsilon_0}$$

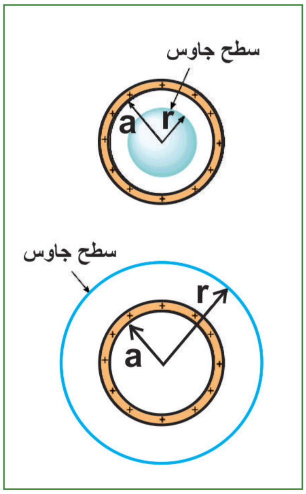
حيث:

ϕ_T: التدفّق الكهربائي الكلي عبر سطح مغلق.

$\sum Q$: المجموع الجبري للشحنات الكهربائية الموجودة داخل السطح المغلق.

وتُعرف هذه النتيجة بقانون جاوس، وينصّ على أنّ التدفق الكهربائي عبر أيّ سطحٍ مغلق يساوي مقدار الشحنة الكليّة المحصورة داخل ذلك السطح مقسوماً على السماحية الكهربائيّة للوسط.

من السهل استخدام هذا القانون لحساب المجال الكهربائي لحالات يكون فيها توزيع الشحنات الكهربائيّة على درجةٍ عالية من التماثل، مثل كرات مشحونة بشحنة منتظمة التوزيع، أو أسطوانات طويلة، أو سطوح مستوية ذات أبعادٍ كبيرة جداً. وفي كلّ الحالات يتم اختيار سطح جاوسي افتراضي بحيث يكون له التماثل نفسه لتوزيع الشحنات الكهربائية، وتكون شدة المجال (E) ثابتة على السطح كلّه، أو أجزاء منه، ويحتوي على شحنة داخله، ثم نطبّق قانون جاوس في الحل.



مثال (9): موصل كروي نصف قطره (a) يحمل شحنة كهربائية q، احسب شدة المجال الكهربائي على بعد (r) عن مركز الموصل، إذا كانت:

1) $r < a$ 2) $r = a$ 3) $r > a$

الحل:

إن أنسب سطح جاوس مغلق هو سطح كرة نصف قطرها (r)، ومركزها مركز الموصل.

1) $r < a$، وعلى اعتبار أن (A_2) هي سطح جاوس، فإنّ:

$$\phi_T = \vec{E}\,.\,\vec{A} = \sum Q/\,\varepsilon_0 = 0\,/\,\varepsilon_0 = 0$$

$$\vec{E} = 0$$

2) $r = a$، الكرة نفسها سطح جاوس، فإنّ:

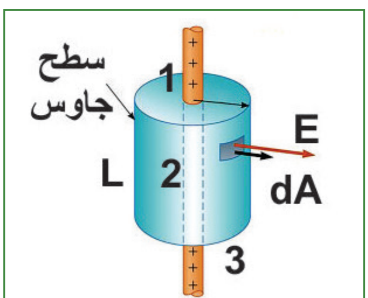
$$\phi_T = \vec{E}.\,\vec{A} = \sum Q/\varepsilon_0 \rightarrow E\ A\ \cos 0 = q/\varepsilon_0 \rightarrow E\,(4\,\pi)\,a^2 = q/\varepsilon_0$$

$$E = q\,/\,(4\,\pi\varepsilon_0)\,a^2$$

3) $r > a$، وعلى اعتبار أنّ (A_1) هي سطح جاوس، فإنّ:

$$\phi_T = \vec{E}.\,\vec{A} = \sum Q/\varepsilon_0 \rightarrow E\ A\ \cos 0 = q/\varepsilon_0 \rightarrow E\,(4\,\pi)\,r^2 = q/\varepsilon_0$$

$$E = q\,/\,(4\,\pi\varepsilon_0)\,r^2$$



الشكل (9-3)

مثال(10): سلك مستقيم لا نهائي الطول، ومشحون بشحنة موجبة موزّعة بانتظام على طوله وبكثافة طولية (λ)، علماً بأنّ (λ) هي الشحنة لوحدة الأطوال. جد شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد عن محور السلك مسافة (r).

الحل:

نختار سطح (جاوس) أسطوانة نصف قطرها (r) وطولها (L)، بحيث ينطبق محورها على محور السلك، كما في الشكل (9-3).

إنّ شدة المجال الكهربائي عند أيّة نقطة على السطح الجانبي لسطح جاوس تكون ثابتة في المقدار، واتّجاهها يكون عموديّاً على المساحة (موازية لمتجه المساحة). وبتطبيق قانون جاوس:

$$\phi_T = \vec{E} \cdot \vec{A} = \sum Q/\varepsilon_0$$

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 = E\,A_1 \cos 90^\circ + E\,A_2 \cos 0^\circ + E\,A_3 \cos 90^\circ$$

$$= 0 + E\,(2\,\pi\,r\,L) + 0 = \sum Q/\varepsilon_0$$

$$\rightarrow E\,(2\,\pi\,r\,L) = \lambda\,L/\,\varepsilon_0 \Rightarrow E = \lambda/(2\,\pi\,\varepsilon_0\,r)$$

مثال (11): صفيحة رقيقة من مادة عازلة مستوية وواسعة جداً، مشحونة بشحنة موجبة موزّعة بانتظام على مساحة الصفيحة، وبكثافة سطحيّة (σ)، حيث σ: الشحنة لكل وحدة مساحة. جد شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد عن الصفيحة مسافة (r).

الحل:

نرسم سطح جاوس على شكل أسطوانة تخترق الصفيحة ومحورها يتعامد معها، وتقع النقطة المراد حساب شدة المجال عندها على قاعدتها؛ أي أنّ ارتفاع الأسطوانة ($2r$)، كما في الشكل المجاور.

وتلاحظ أن سطح الأسطوانة الجانبي لا يسهم في التدفق؛ إذ إنّ خطوط المجال لا تخترقه، بل تعامد متجه المساحة عنده. غير أنّ خطوط المجال تخترق قاعدتي الأسطوانة بشكل عمودي على كلٍّ منهما، وبتطبيق قانون جاوس، نجد أنّ:

$$\phi = \vec{E} \cdot \vec{A} = \sum Q/\varepsilon_0$$

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 = E\,A_1 \cos 0 + E\,A_2 \cos 0 + E\,A_3 \cos 90 = Q/\varepsilon_0$$

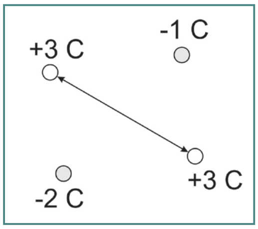
$$E\,A + E\,A + 0 = Q/\varepsilon_0 \Rightarrow 2\,E\,A = Q/\varepsilon_0 \Rightarrow E = \frac{Q}{2\,A\,\varepsilon_0} = \frac{\sigma\,A}{2\,A\,\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{2\,\varepsilon_0}$$

سؤال

هل تعتمد شدة المجال عند أيّة نقطة بالقرب من الصفيحة على بُعد النقطة عن الصفيحة؟ فسّر إجابتك.

أختبر نفسي:

1 اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:



١) يبيّن الشكل المجاور أربع شحنات نقطيّة، موضوعة على رؤوس مربع طول ضلعه ($\sqrt{2}$ m). إنّ شدة المجال في مركز المربع هي:

أ) (9×10^9 N/C) باتجاه يصنع زاوية (45)° فوق المحور السيني الموجب(x+).

ب) (9×10^9 N/C) باتجاه يصنع زاوية (45)° أسفل المحور السيني السالب (x-).

جـ) (27×10^9 N/C) باتجاه يصنع زاوية (45)° فوق المحور السيني السالب(x-).

د) (27×10^9 N/C) باتجاه يصنع زاوية (45)° أسفل المحور السيني الموجب(x+).

2) نستنتج من قانون جاوس أنّه:

أ) إذا كانت الشحنة الكلية داخل سطح كروي تساوي صفراً، فإن شدة المجال الكهربائي داخل السطح الكروي لا تساوي صفراً.

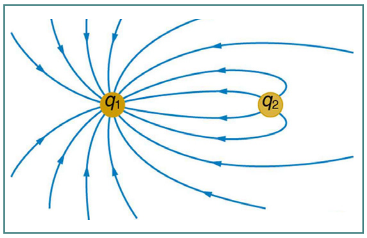
ب) إذا كان التدفق الكهربائي خلال سطح كروي يساوي صفراً، فإن السطح الكروي لا يحتوي في داخله أيّة شحنة كهربائية.

جـ) إذا كان التدفق الكهربائي خلال سطح كروي يساوي صفراً، فإن الشحنة الكلية داخل السطح الكروي تساوي صفراً.

د) لا توجد قوة بين الشحنات.

3) كرةٌ فلزّيّة سميكة وجوفاء، نصف قطرها الداخلي (9 cm)، ونصف قطرها الخارجي (10 cm) ومشحونة بشحنة موجبة مقدارها (10×10^{-6} C). إذا احتوت في مركزها على شحنة نقطيّة موجبة مقدارها (5×10^{-6} C)، فإنّ مقدار شدة المجال الكهربائي في نقطة تبعد عن المركز (20 cm) بوحدة N/C يساوي :

أ) 11.11×10^6 ب) 1.125×10^6 جـ) 3.375×10^6 د) 2.25×10^6



4) يبيّن الشكل المجاور خطوط المجال الكهربائي لشحنتين نقطيتين. العبارة الصحيحة التي تبيّن اتّجاه خطوط المجال، ومقدار الشحنات، ونوعها هي:

أ) q_1 سالبة، q_2 موجبة.

ب) q_1 أقل من q_2 من حيث المقدار.

جـ) مقدار شدة المجال الكهربائي متساوٍ في جميع النقاط المحيطة بالشحنتيْن.

د) إنّ أكبر مقدار لشدة المجال الكهربائي عند منتصف المسافة بين الشحنتيْن.

5) يتحرك جُسيم كتلته (6.7×10^{-27} kg)، وشحنته (3.2×10^{-19} C) بسرعة مقدارها (4.8×10^{5} m/s) باتّجاه المحور السيني الموجب. إذا دخل منطقة مجال كهربائي منتظم اتّجاهه بموازاة المحور السيني، فتوقف الجُسيم بعد قطعه مسافة (2 m) في المجال. ما مقدار شدة المجال الكهربائي بوحدة N/C؟

أ) $2x10^3$ ب) $1.5x10^3$ جـ) $1.2x10^3$ د) $3.5x 10^3$

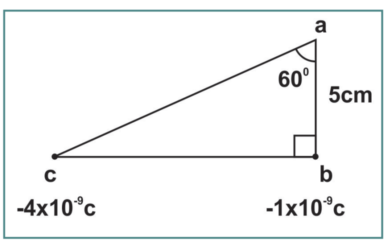
2 شحنتان نقطيتان مقدارهما (1×10^{-9} C ، -4×10^{-9} C) كولوم، والمسافة بينهما (12 cm) . احسب:

أ) شدة المجال الكهربائي عند منتصف المسافة بينهما.

ب) القوة الكهربائيّة المؤثّرة في شحنة نقطية سالبة مقدارها (1×10^{-12} C) موضوعة عند منتصف المسافة بينهما.

جـ) شدة المجال الكهربائي في نقطة تبعد (12 cm) عن الشحنة الأولى، و (24 cm) عن الشحنة الثانية، وعلى امتداد الخط الواصل بينهما.

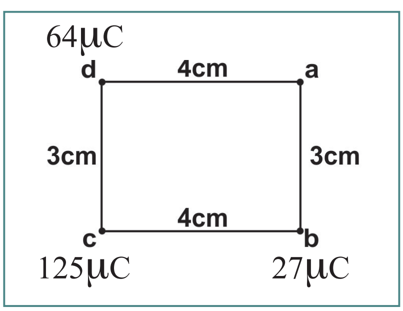
3 معتمداً على القيم المبيّنة في الشكل المجاور، أوجد شدة المجال الكهربائي في النقطة (a) .



4 معتمداً على القيم المبيّنة في الشكل المجاور، جد:

أ) شدة المجال الكهربائي في النقطة (a).

ب) مقدار واتّجاه القوة المؤثّرة في شحنة نقطية موجبة مقدارها (30×10^{-6} C) عند وضعها في النقطة (a).

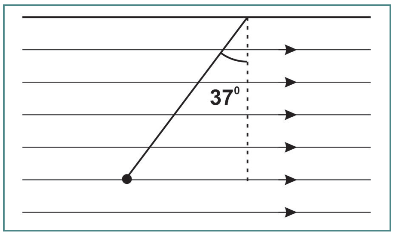


5 شحنتان نقطيتان موضوعتان في الهواء عند نقطتين المسافة بينهما (10 cm)، جد موضع نقطة التعادل في الحالات الآتية:

أ) $q_1 = -9\ \mu C$، $q_2 = +4\ \mu C$.

ب) $q_1 = +9\ \mu C$، $q_2 = +4\ \mu C$.

6 علقت كرة مشحونة كتلتها (10 mg) في مجال كهربائي منتظم شدّته (3×10^3 N/C)، فانحرف الخيط عن الوضع الرأسي بزاوية (37°) كما في الشكل المجاور . ما مقدار شحنة الكرة؟ وما نوعها؟



7 موصل أسطواني أجوف لا نهائي نصف قطرة (5 cm)، مشحون بشحنة موزّعه عليه بانتظام، فإذا كانت كثافة الشحنة الطوليّة عليه (λ) تساوي (5×10^{-10} C/m). احسب:

أ) شدة المجال الكهربائي على بُعد (2 cm) عن محور الأسطوانة.

ب) شدة المجال الكهربائي على سطح الأسطوانة.

جـ) شدة المجال الكهربائي على بُعد (10 cm) عن محور الأسطوانة.

الفصل الثامن: الجهد الكهربائي (Electric Potential)

تعرفتَ في الوحدة السابق إلى أنّ الشحنات الكهربائيّة تولّد مجالاً كهربائياً في الحيز المحيط بها، يُعبَّر عنه من خلال القوة المؤثّرة في شحنة اختبار موضوعة في هذا الحيز. وتعلمتَ سابقاً أنّ القوى تبذل شغلاً ميكانيكيّاً فتغيّر طاقة الجسم. ولكن، كيف يتولّد عن المجال الكهربائي جهدٌ كهربائيٌّ وطاقة وضْع كهربائيّة؟ وما المقصود بالجهد الكهربائيّ؟ وعلى ماذا يعتمد الجهد الكهربائيّ لموصلٍ مشحون؟ وما العلاقة بين الجهد الكهربائي في نقطةٍ ما والمجال الكهربائي في تلك النقطة؟ وما الشغل اللازم لتحريك شحنة كهربائية بين نقطتين في المجال الكهربائي؟

هذه الأسئلة وغيرها سوف تستطيع الإجابة عنها بعد دراستك هذة الوحدة المتمازجة، ويُتوقَّع منك أن تكون قادراً على أن:

- توضّح المقصود بكلٍّ من: طاقة الوضع الكهربائية، والجهد الكهربائي.
- تحسب الجهد الكهربائي الناشئ عن شحنات نقطيّة وعن كراتٍ فلزيّة مشحونة.
- تحسب فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في مجالٍ كهربائيّ منتظم.
- ترسم سطوح تساوي الجهد لتوزيع من الشحنات.

(1-8) طاقة الوضع وفرق الجهد الكهربائيّين E.Potential Energy & E.Potential:

ويُسمّى التغيّرُ في طاقة الوضع الكهربائيّة لوحدة الشحنات الموجبة عند انتقالها بين نقطتين في المجال الكهربائي فرقَ الجهد الكهربائي بين النقطتين، ويساوي التغيّر في طاقة الوضع الكهربائيّة للشحنة مقسوماً على مقدار الشحنة؛ أي أنّ:

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} \qquad (10\text{-}1)$$

ومن العلاقة (1) نجد أنّ الجهد الكهربائي كميّة قياسيّة؛ لأنّه ناتج عن قسمة كميّتين غير متجهتين هما: طاقة الوضع (الشغل) والشحنة. ويقاس في النظام العالمي للوحدات بوحدة (جول/كولوم)، وتُدعى هذه الوحدة بالفولت. ويعرّف الفولت بفرق الجهد بين نقطتين، تكون المقاومة الكهربائية بينهما 1 اوم، ويسري تيار كهربائي مقداره 1 امبير.

سؤال

عرّف الفولت من المعادلة (10-1).

وبما أنّ شغل القوة الخارجيّة (W_{ext}) يساوي التغيّر في طاقة الوضع في الأنظمة المحافظة؛ فإنّ:

$$W_{ext\, a\rightarrow b} = +\Delta U = U_b - U_a \qquad (10\text{-}2)$$

$$\frac{W_{ext\, a\rightarrow b}}{q_0} = \frac{U_b - U_a}{q_0} = \frac{U_b}{q_0} - \frac{U_a}{q_0} \Rightarrow V_{ba} = V_b - V_a = \Delta V$$

وبالتالي فإنّ:

$$W_{ext\, a\rightarrow b} = q\ V_{ba} \qquad (10\text{-}3)$$

حيث (V_b) الجهد الكهربائي للنقطة b، و (V_a) الجهد الكهربائي للنقطة a. فإذا تحرّرت الشحنة من القوة الخارجية تعود إلى موقعها عند النقطة (a) بفعل القوة الكهربائية؛ إذ تتحرّر طاقة الوضع الكهربائيّة المخزّنة فيها على شكل طاقة حركيّة، تماماً كما تسقط الكرة من ارتفاعٍ معيّن نحو الأرض بفعل الجاذبيّة.

وعلى نحو عام، فالجهد الكهربائيّ عند نقطة مقيساً بالنسبة إلى جهد يساوي صفراً في الما لانهاية، يُعرف بأنّه الشغل المبذول من قبل قوة خارجية لنقل وحدة الشحنات الموجبة من ما لانهاية إلى تلك النقطة بسرعةٍ ثابتة.

وتُحسب طاقة الوضع الكهربائيّة من العلاقة الآتية:

$$U_b = q\ V_b \qquad (10\text{-}4)$$

مثال(1): شحنة كهربائية نقطية مقدارها (3.2×10^{-19} C)، موضوعة عند النقطة (a) التي جهدها (10 V)، جد ما يأتي:

1- طاقة الوضع الكهربائية للشحنة في النقطة (a).
2- الشغل اللازم لنقل الشحنة من موقعها عند النقطة (a) إلى النقطة (b) التي جهدها (20 V).
3- التغيّر في طاقة وضع الشحنة عند نقلها من (a) إلى (b).

الحل:

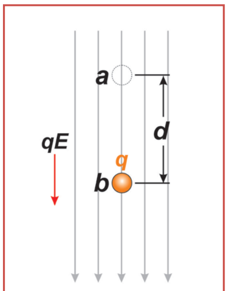
$$1:\ U_a = q\,V_a = 3.2 \times 10^{-19} \times 10 = 32 \times 10^{-19}\ J$$

$$2:\ W_{ext}\ a \longrightarrow b = q\ V_{ba} = q\,(V_b - V_a) = 3.2 \times 10^{-19}\,(20 - 10) = 32 \times 10^{-19}\ J$$

$$3:\ \Delta U = U_b - U_a = q\,V_b - q\,V_a = q\,(V_b - V_a) = q\,V_{ba}$$

$$= 3.2 \times 10^{-19}\,(20 - 10) = 32 \times 10^{-19}\ J$$

(2-8) فرق الجهد بين نقطتين في مجال كهربائيّ منتظم E.Potential & E.Field:



(B)

إذا وُضعت شحنة كهربائية موجبة (q) في مجال كهربائي منتظم، كما في الشكل المجاور، فإنّها تتحرك إزاحة (d) مع اتّجاه المجال بفعل القوة الكهربائيّة التي تنجز شغلاً موجباً؛ لأنّ اتّجاه قوة المجال يكون باتجاه الإزاحة. وبما أنّ قوة المجال الكهربائيّ قوة محافظة، فإنّ:

$$W_{field}\ a \longrightarrow b = -\Delta U = -(U_b - U_a) = U_a - U_b = q\,V_a - q\,V_b = q\,(V_a - V_b)$$

$$\boxed{W_{field}\ a \longrightarrow b = q\,V_{ab} \qquad (10\text{-}5)}$$

وبما أنّ الشحنة موجبة، فإنّ: ($U_a > U_b$) ، والنقص في طاقة الوضع الكهربائيّة يظهر على شكل زيادة في الطاقة الحركيّة للشحنة، أي أنّ:

$$W_{field}\ a \longrightarrow b = +\Delta KE = (KE_b - KE_a)$$

وبما أنّ الشغل موجب، فإنّ: ($KE_b > KE_a$)

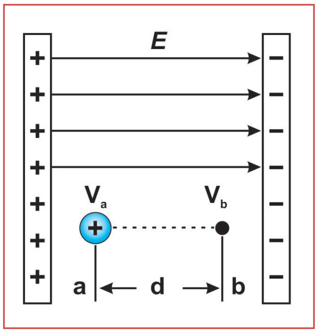
$$W_{field}\ a \longrightarrow b = \vec{F}_{field} \cdot \vec{d} = q\,\vec{E} \cdot \vec{d} = q\,E\,d_{ab}\ \cos\theta_{ab} = q\,V_{ab}$$

ومنها نجد أنّ:

$$\boxed{V_{ab} = E\,d_{ab}\cos\theta_{ab} \qquad (10\text{-}6)}$$

حيث θ_{ab}: الزاوية بين اتّجاه المجال (E) والإزاحة (d_{ab}).

مثال (2): تحرّك بروتون شحنته $(1.6 \times 10^{-19}\ C)$، وكتلته $(1.67 \times 10^{-27}\ kg)$ من السكون من النقطة (a) إلى النقطة (b)، وتفصل بينهما مسافة (50 cm) في مجال كهربائي منتظم شدّته $(8 \times 10^4\ V/m)$ كما في الشكل، جد ما يأتي:



1) فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين b، a (V_{ba}).
2) الشغل الذي تبذله قوة المجال في نقل البروتون من النقطة (a) إلى النقطة (b).
3) التغيّر في طاقة وضع البروتون عند انتقاله من النقطة (a) إلى النقطة (b).
4) سرعة البروتون في النقطة (b).
5) الشغل الذي تبذله قوة خارجيّة في نقل الشحنة من (b) إلى (a) بسرعة ثابتة.

الحل:

$$1:\ V_{ba} = E\ d_{ba} \cos\theta_{ba} = 8 \times 10^4 \times 50 \times 10^{-2} \times \cos 180 = -4 \times 10^4\ V.$$

$$2:\ W_{field}\ a \longrightarrow b = F_{fiald}\ .d = q\ E\ d \cos 0 = 1.6 \times 10^{-19} \times 8 \times 10^4 \times 50 \times 10^{-2} \times 1 = 6.4 \times 10^{-15}\ J$$

ويمكن الحل باستخدام المعادلة (5-10)، بيّن ذلك.

$$3:\ \Delta U = U_b - U_a = q\ V_b - q\ V_a = q\ (V_b - V_a) = q\ V_{ba}$$

$$= 1.6 \times 10^{-19} \times (-4 \times 10^4) = -6.4 \times 10^{-15}\ J$$

بما أنّ قوة المجال قوة محافظة، فإنّه يمكن استخدام مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكيّة؛ أي أنّ:

$$4:\ U_a + KE_a = U_b + KE_b$$

$$U_a + 0 = U_b + KE_b$$

$$KE_b = U_a - U_b = q\ V_a - q\ V_b = q\ (V_a - V_b) = q\ V_{ab}$$

$$= 1.6 \times 10^{-19} \times (4 \times 10^4) = 6.4 \times 10^{-15}\ J$$

$$\frac{1}{2} m\ v_b^2 = 6.4 \times 10^{-15} = \frac{1}{2} \times 1.67 \times 10^{-27}\ v_b^2 \Rightarrow v_b = 2.77 \times 10^6\ m/s$$

استخدم نظرية الشغل والطاقة لحساب سرعة البروتون.

$$5:\ W_{ext}\ b \longrightarrow a = +\Delta U = q\ V_{ab} = 1.6 \times 10^{-19} \times 4 \times 10^4 = 6.4 \times 10^{-15}\ J$$

الإلكترون فولت: الطاقة الحركيّة التي يكتسبها الإلكترون عندما يتسارع بين نقطتين فرق الجهد بينهما فولت واحد.

(3-8) الجهد الكهربائي الناشئ عن شحنات نقطيّة Electric Potential due to Point charges:

عرفتَ أنّ خطوط المجال الكهربائي للشحنة النقطية تنتشر في الفضاء المحيط بالشحنة، وإذا كان المجال الكهربائي ناشئاً عن شحنة نقطية، فإنّ الجهد الكهربائي عند النقطة (a) والناتج عن الشحنة النقطية (q) الموضوعة في الفراغ أو الهواء يُعطى بالعلاقة الآتية:

$$V_a = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{r} \qquad (10\text{-}7)$$

وكما تعلم فالجهد كميّة قياسيّة؛ لذا نعوّض الشحنة بإشارتها سواء أكانت موجبة أم سالبة عند استخدام هذه العلاقة.
وإذا كانت النقطة (a) المراد حساب الجهد عندها، واقعة بالقرب من شحنات نقطية أخرى، فإنّ جهدها الكهربائي هو المجموع الجبري للجهود الناتجة عن كلٍّ من هذه الشحنات؛ أي أنّ:

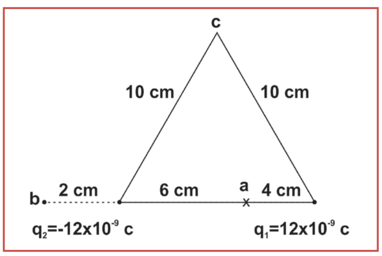
$$V_a = V_{q1} + V_{q2} + V_{q3} + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$V_a = 9 \times 10^9 \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \frac{q_3}{r_3} \right) \qquad (10\text{-}8)$$

مثال (3): يبيّن الشكل المجاور شحنتين نقطيتين (q_1, q_2) موضوعتين في الهواء، والمسافة بينهما(10 cm).

1) ما مقدار الجهد الكهربائي في النقط (a, b, c)؟

2) ما الشغل اللازم لنقل شحنة مقدارها (5 µC) من c إلى a.



الحل:

$$1:\ V_a = 9 \times 10^9 \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) = 9 \times 10^9 \left(\frac{12 \times 10^{-9}}{0.04} + \frac{-12 \times 10^{-9}}{0.06} \right)$$

$$= 9\ (300 - 200) = 900\ V$$

$$V_b = 9 \times 10^9 \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) = 9 \times 10^9 \left(\frac{12 \times 10^{-9}}{0.12} + \frac{-12 \times 10^{-9}}{0.02} \right)$$

$$= 9\ (100 - 600) = -4500\ V$$

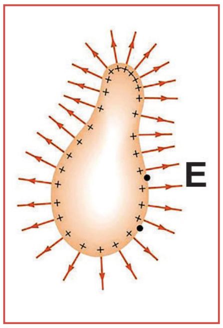
$$V_c = 9 \times 10^9 \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) = 9 \times 10^9 \left(\frac{12 \times 10^{-9}}{0.1} + \frac{-12 \times 10^{-9}}{0.1} \right)$$

$$= 9\ (120 - 120) = 0$$

$$2:\ W_{ext\ c \rightarrow a} = q\,(V_a - V_c) = 5 \times 10^{-6}\,(900 - 0) = 4500 \times 10^{-6}\ J$$

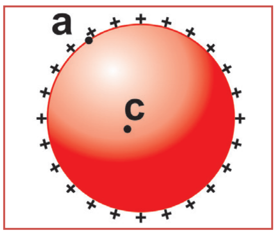
(4-8) الجهد الكهربائي لموصل كروي مشحون E.Potential Of Charged Sphere:

تعرفت سابقاً أنّ شدة المجال الكهربائي داخل الموصل المشحون تساوي صفراً، وأنّ الشحنات تتوزّع على السطح الخارجي وتستقرّ عندما يتساوى الجهد الكهربائي في جميع النقاط على السطح. أمّا عند نقطة خارجه قريبة من سطح الموصل، فتكون شدة المجال $\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ واتّجاهه عموديّاً على سطح الموصل؛ لأنّه لو وجدت لشدة المجال مركّبة أفقية عند سطح الموصل، فإنها ستسبب حركة للشحنات، وهو ما يتعارض مع حقيقة كون الشحنات مستقرة (ساكنة) على السطح.



ويبيّن الشكل أنّ توزيع الشحنات على سطح الموصل غير منتظم؛ لأن السطح غير منتظم، فالشحنات تتباعد عن بعضها قدر المتاح، وتكون الكثافة السطحية للشحنة عند الرؤوس المدبّبة أكبر ما يمكن. ويمكن الحصول على توزيع منتظم من الشحنات إذا قمنا بشحن موصل كروي، فالشحنات تتوزّع على سطحه الخارجي بانتظام؛ إذ إنّ سطحه منتظم.

هذا بالنسبة لشدة المجال، فماذا عن الجهد الكهربائي داخل الموصل الكرويّ المشحون؟ وما فرق الجهد بين النقطتين a، c في الشكل المجاور؟



بما أنّ شدة المجال الكهربائي داخل الموصل المشحون تساوي صفراً، فإنّ:

$$V_{ac} = E\ d_{ac} \cos\theta_{ac} = 0$$

$$V_a - V_c = 0$$

$$V_a = V_c$$

وهذا يعني أنّ الجهد عند أيّة نقطة داخل الموصل ثابت، ويساوي قيمته عند سطح الموصل.

مرّ بك أنّه يمكن النظر إلى الموصل الكروي المشحون كما لو أنّ الشحنة نقطية تتركز في مركزه؛ لذا يكون الجهد في الفراغ أو الهواء، والناتج عن هذه الشحنة داخل الموصل الكروي وعلى سطحه ثابتاً، ويُعطى بالعلاقة:

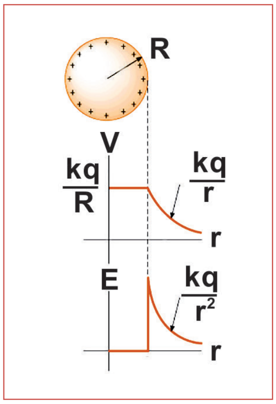
$$V = \frac{1}{4\pi\ \varepsilon_0} \times \frac{q}{R} = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{R} \qquad (10\text{-}9)$$

حيث R : نصف قطر الموصل الكروي.

أمّا على بُعد (r) من مركز الموصل، حيث: $r > R$، فإنّ الجهد الناتج عن الشحنة النقطية المتمركزة في مركز الموصل الكروي تساوي: $V = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{r}$

ويبيّن الشكل المجاور رسماً بيانيّاً للمجال والجهد الناتج عن موصلٍ كرويّ مشحون.

أما إذا وُجد موصل كروي مشحون بالقرب من موصل كروي آخر مشحون، فإنّ المجال الناشئ عن الشحنات الموجودة على سطح أحد الموصلين تؤثّر في الشحنات الموجودة على السطح الآخر، والعكس صحيح؛ لذا يكون الجهد عند نقطة على سطح أحد الموصلين هو جهد مطلق من الشحنات الموجودة على سطحه، وجهد حثي من الشحنات الموجودة على السطح الآخر؛ أي أنّ:



$$V_1 = V_{1\,\text{مطلق}} + V_{2\,\text{حثي}} = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{R} + 9 \times 10^9 \times \frac{q_2}{r_2} \qquad (10\text{-}10)$$

مثال(4): كرتان نصفا قطريْهما $(R_1 = 2\ \text{cm}, R_2 = 3\ \text{cm})$، والمسافة بين مركزيْهما $(30\ \text{cm})$، تحمل الأولى شحنة كهربائية مقدارها $(10 \times 10^{-9}\ \text{C})$، والثانية شحنة $(-3 \times 10^{-9}\ \text{C})$، احسب:

1: جهد نقطة تقع في منتصف المسافة بينهما.
2: الجهد الكلي لكلٍّ منهما.
3: مقدار الشحنة على الكرة الأولى بعد وصلها بالأرض.

الحل:

$$1)\ V = V_1 + V_2$$

$$V = 9 \times 10^9 \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) = 9 \times 10^9 \left(\frac{10 \times 10^{-9}}{0.15} + \frac{-3 \times 10^{-9}}{0.15} \right)$$

$$= 600 - 180 = 420\text{V}$$

$$2)\ V_1 = V_{1\,\text{مطلق}} + V_{1\,\text{حثي}} = 9 \times 10^9 \times \frac{q_1}{R_1} + 9 \times 10^9 \times \frac{q_2}{r_2}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{10 \times 10^{-9}}{0.02} + 9 \times 10^9 \times \frac{-3 \times 10^{-9}}{0.3} = 4500 - 90 = 4410\text{V}$$

$$V_2 = V_{2\,\text{مطلق}} + V_{1\,\text{حثي}} = 9 \times 10^9 \times \frac{q_2}{R_2} + 9 \times 10^9 \times \frac{q_1}{r_1}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{-3 \times 10^{-9}}{0.03} + 9 \times 10^9 \times \frac{10 \times 10^{-9}}{0.3} = -900 + 300 = -600\text{V}$$

$$3)\ V_1 = V_{1\,\text{مطلق}} + V_{2\,\text{حثي}}$$

$$0 = 9 \times 10^9 \times \frac{q_1}{0.02} + 9 \times 10^9 \times \frac{-3 \times 10^{-9}}{0.3}$$

$$0 = 450 \times 10^9\, q_1 - 90$$

$$\Longrightarrow q_1 = 0.2 \times 10^{-9}\ \text{C}$$

أسئلة الفصل:

1 اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1) إذا تحركت شحنة نقطية موجبة حرّة من السكون باتّجاه خطوط المجال الكهربائي، فإنّها تنتقل إلى نقطة:

أ) أقلّ جهداً، وتقلّ طاقة الوضع الكهربائية للشحنة فيها.

ب) أقلّ جهداً، وتزداد طاقة الوضع الكهربائية للشحنة فيها.

جـ) أعلى جهداً، وتقلّ طاقة الوضع الكهربائية للشحنة فيها.

د) أعلى جهداً، وتزداد طاقة الوضع الكهربائيّة للشحنة فيها.

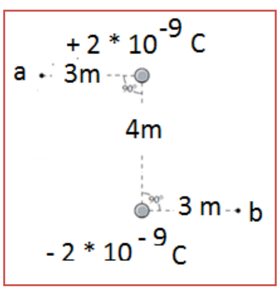
2) إنّ فرق الجهد بين النقطتين a، b (V_{ab}) في الشكل المجاور يساوي (بوحدة فولت):

أ) 4.8 ب) 6

جـ) 7.2 د) 8.4

3) شحنت كرة فلزية نصف قطرها (20 cm) بشحنة موجبة مقدارها ($3\ \mu C$). إنّ مقدار الشغل المبذول في نقل شحنة نقطية موجبة مقدارها ($25\ \mu C$) من مالانهاية إلى مركز الكرة يساوي (بوحدة جول J):

أ) 2.7 ب) 3.4 جـ) 4 .3 د) 5.4



4) كرة فلزّية نصف قطرها (5 cm)، وتحمل شحنة موجبة موزّعة عليها بانتظام مقدارها ($0.25 \times 10^{-9} C$)، النقطة (a) في مركز الكرة، والنقطة (b) تبعد (15 cm) من مركز الكرة. ما مقدار فرق الجهد بين النقطتين a، b (بوحدة فولت V)؟

أ) 15 ب) 23 جـ) 30 د) 45

5) الشغل اللازم لنقل شحنة نقطية موجبة مقدارها($6\ \mu C$) من نقطة ما على سطح تساوي جهد (5 V) إلى نقطة أخرى على سطح تساوي جهد (6V)، ثم إعادتها مرة أخرى إلى النقطة نفسها على سطح تساوي الجهد (5 V) يساوي (بوحدة جول J):

أ) صفراً ب) 3×10^{-5} جـ) 6×10^{-5} د) 6×10^{-6}

2 فسّر ما يأتي:

1- نقطة قريبة من شحنات كهربائيّة عِدّة وجهدها صفر.

2- شدة المجال الكهربائي داخل الموصل تساوي صفراً.

3- لا يعني كون شدة المجال الكهربائي عند نقطة فيه تساوي صفراً أنّ جهد هذه النقطة يساوي صفراً.

3 كرة موصلة نصف قطرها (3 cm)، موضوعة في الهواء، وتحمل شحنة كهربائيّة سالبة مقدارها (5×10^{-8} C). احسب:

أ) جهد الكرة.

ب) فرق الجهد بين نقطتين تبعدان (10 cm)، (15 cm) عن مركز الكرة على الترتيب.

4 وُصل لوحان فلزّيان متوازيان إلى فرق جهد مقداره (6000 V)، والمسافة بينهما (2 cm). أجب عما يأتي:

أ) ما مقدار شدة المجال الكهربائي عند نقطة تقع في الحيّز بينهما؟

ب) ما مقدار الطاقة الحركيّة التي يكتسبها إلكترون يتسارع من السكون في الحيّز بين اللوحين.

جـ) إذا قلّت المسافة بينهما إلى النصف مع بقاء فرق الجهد ثابتاً، فهل تتغير الإجابات في الفرعين السابقين؟ وضّح إجابتك.

5 تحرّك بروتون شحنته (1.6×10^{-19}C)، وكتلته (1.67×10^{-27} kg) من السكون من نقطة (a) عند اللوح الموجب إلى النقطة (b) عند اللوح السالب في الحيّز بين لوحيْن متوازييْن مشحونيْن بشحنتيْن مختلفتيْن، تفصل بينهما مسافة (4 cm). إذا كانت شدة المجال الكهربائي بين اللوحين (625 N/C)، جد:

أ) فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين a، b.

ب) التغيّر في طاقة وضع البروتون عند انتقاله بين اللوحيْن.

جـ) سرعة البروتون بعد قطعه هذه الإزاحة.

6 كرتـان نصفـا قطريْهمـا (1 cm)، (2 cm) علـى الترتيـب، والمسـافة بيـن مركزيْهمـا (36 cm). الأولـى مشـحونة بشـحنة (10×10^{-9} C) ، وتحمـل الثانيـة شـحنة مقدارهـا (-1.67×10^{-9} C)، احسـب:

أ) جهد نقطة تقع في منتصف المسافة بينهما.

ب) الجهد الكلي للكرة الأولى.

جـ) مقدار الشحنة على الكرة الثانية بعد وصلها بالأرض.

7 شحنتان نقطيتان مقداراهما ($2\ \mu C$)، ($4\ \mu C$)، وتفصل بينهما في الهواء مسافة (20 cm). احسب:

أ) الشغل اللازم لجعل المسافة بينهما (10 cm).

ب) الشـغل الـلازم لوضـع شـحنة موجبـة مقدارهـا ($1\ \mu C$) علـى بُعـد (10 cm) مـن كلتيهمـا، بعـد تقريبهمـا مـن بعضهمـا البعـض.