وزارة التربية

الفيزياء

الجزء الأول
للصف الحادي عشر

المرحلة الثانوية

الطبعة الثالثة

وزارة التربية

الفيزياء

للصف الحادي عشر (علمي)

الجزء الأول

تأليف

د. أحمد عبدالغني عوض (مشرفاً)

أ. عبد السلام علي بيومي أ. السعيد محمد أبو الذهب

أ. سوسن عبدالمنعم

الرسوم والأشكال تنفيذ أ. السعيد محمد أبو الذهب

الطبعة الثالثة

١٤٢٩ هـ

٢٠٠٨ - ٢٠٠٩ م

الطبعة الأولى 2000 – 2001م
الطبعة الثانية 2007 – 2008م
الطبعة الثالثة 2008 – 2009م

لجنة المواءمة

– تمت المواءمة من مقرر (53) فيزياء

أ. مريم فراج الوتيد (مشرف عام)

أ. مصطفى محمد مصطفى

أ. عادل إبراهيم عاكف

أ. محسن محمد أمين

أ. نواف فهيد المطيري

بسم الله الرحمن الرحيم

المحتوى

الفصل الأول

القوى واتزان الجسم الصلب

الفصل الثاني

حركات الأجسام والقوى

الفصل الثالث

الشغل والطاقة الميكانيكية

الفصل الرابع

كمية الحركة والتصادم

المقدمة

الحمد لله رب العالمين ، والصلاة والسلام على أشرف المرسلين ، وعلى آله وصحبه أجمعين وبعد :

عزيزي الطالب :

إن الكتاب الذي بين يديك يختص بدراسة مبسطة عن الحركة والقوة والعلاقة بينهما ، فيعرض عليك من خلال فصوله أنواعاً متعددة من حركة الأجسام وعناصرها ، والقوانين الفيزيائية التي تحكمها . كما يستعرض مفهوم القوة وأنواعها وتأثيرها على الأجسام ، ومفهوم الطاقة والشغل والموجات . وهذا هو الكتاب الثاني في دراستك علم الفيزياء ، نقدمه إليك ، ونعرض عليك موضوعاته بطريقة نأمل أن تفيدك في هذا المجال المهم من العلوم الحديثة ، والذي يقود التقدم التقني للبشر ، فنظرة سريعة لما يتم حولنا من إنجازات في مجالات ارتياد الفضاء وثورة المعلومات ونظم الاتصالات وغيرها ، كفيلة بإلقاء الضوء على الدور المهم الذي يضطلع به علم الفيزياء كأحد الأفرع المهمة للعلوم ، ولقد حرصنا على عرض موضوعات الفصول المختلفة من خلال أمثلة حياتية ، حيث نبدأ بمناقشة الموضوعات من خلال عرض تمهيدي يعمل على ربطها بواقع الحياة من خلال أمثلة وظيفية ، ويلي ذلك وضع المبادئ العامة للموضوع وينتهي بتطبيقات تعمق مفهوم المادة العلمية المعروضة .

ونسأل الله العلي القدير أن يجعل هذا العمل نافعاً لأبنائنا .

والله ولي التوفيق

المؤلفون

الفصل الأول

القوى واتزان الجسم الصلب

يهدف هذا الفصل إلى دراسة مفاهيم المتجهات من خلال التعرف إلى متجه القوة والخواص العامة للمتجهات (نقل المتجهات - جمع المتجهات - تحليل المتجهات) . كما يهدف إلى تحديد شروط الاتزان بالنسبة لجسم صلب خاضع لعدة قوى متلاقية ، وإلى تحديد مفهوم العزم والازدواج ثم القانون العام لاتزان الجسم الصلب .

1 - 1 تمهيد

تبنى الفيزياء من الكميات والعلاقات الرياضية . ويرتبط بكل كمية فيزيائية وحدة قياس مميزة لها . وعند إجراء العمليات الجبرية (الجمع – الطرح – الضرب) على تلك الكميات نجد أن هناك كميات تجري عليها العمليات الجبرية كالأعداد المألوفة في الجبر ، وهناك كميات أخرى لابد لها من طرق مناسبة لإجراء العمليات الجبرية عليها . لذلك كان لابد لنا أن نفرق بين هذين النوعين من الكميات .

1 - 2 الكميات العددية والكميات المتجهة

1 - الكميات العددية (القياسية) : Scalar Quantities

وهي كميات يكفي لتحديدها المقدار فقط (علاوة على وحدة قياس) ومن أمثلتها الكتلة التي تقاس في نظام الوحدات الدولي بوحدة الكيلوجرام والطول الذي يقاس بالمتر والزمن الذي يقاس بالثانية . وتخضع تلك الكميات بشكل عام ، للعمليات الجبرية الحسابية الخاصة بالأعداد .

2 - الكميات المتجهة : Vector Quantities

وهي كميات يلزم لتحديدها معرفة مقدارها وكذلك اتجاهها ومن أمثلتها الإزاحة ، والقوة ، وشدة المجال الكهربائي والعزم ، وتخضع تلك الكميات للعمليات الرياضية الخاصة بجبر المتجهات .

ودراسة المتجهات تخدم كثيراً من العلوم مثل الفيزياء ، والهندسة الميكانيكية ، وحسابات الملاحة البحرية والجوية .

ملاحظات

أ- هناك متجهات حرة مثل الإزاحة تحدد بمقدار واتجاه فقط . وهناك متجهات مقيدة بنقطة تأثيرها وخط عملها مثل القوة .

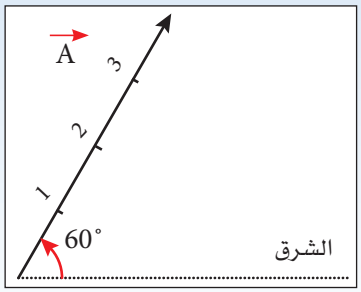
ب- هناك كميات لها مقدار ولها اتجاه ولاتعتبر كميات متجهة لأنها لاتنطبق عليها العمليات الرياضية الخاصة بجبر المتجهات . وتسمى الكميات الممتدة مثل الإجهاد Stress .

ومن أهم خواص الكميات المتجهة :

1 – إمكانية تمثيلها (هندسياً) وذلك برسم قطعة مستقيمة تنتهي بسهم ، طول هذه القطعة يتناسب مع مقدار الكمية المتجهة بمقياس رسم مناسب ، والسهم يدل على اتجاهها . ويسمى الخط الذي يمثل القطعة (المتجهة) Vector ، ويرمز له بحرف يعلوه سهم مثل $\vec{F}$ ، $\vec{a}$ ، $\vec{\tau}$.

مثال 1

ارسم المتجه $(\vec{A})$ الذي طوله 12 m باتجاه 60° شمال الشرق .



شكل (1 - 1)

الحل

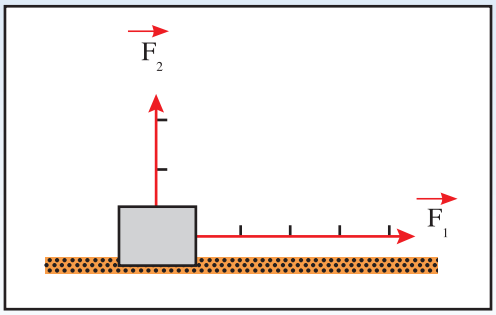
نأخذ مقياس رسم مناسباً مثل 1 cm مقابل 3 m

∴ طول المتجه = 4 cm

واتجاه المتجه 60° شمال الشرق .

مثال 2

أثرت قوتان $\vec{F_2}$ ، $\vec{F_1}$ في جسم فإذا كانت $\vec{F_1}$ = 45 N باتجاه الشرق ، $\vec{F_2}$ = 25 N باتجاه الشمال . مثّل ذلك بيانياً (هندسياً) .



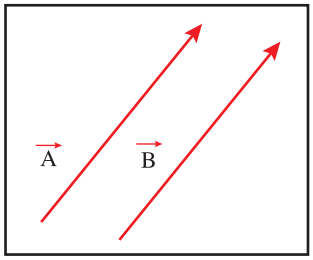
شكل (1 - 2)

الحل

نأخذ مقياس رسم مناسباً مثل 1 cm لكل 10 N

لذلك سيكون طول متجه $\vec{F_1}$ هو 4.5 cm وطول متجه $\vec{F_2}$ هو 2.5 cm شكل (1 - 2) .

2 – يكون المتجهان متساويين عندما يشتركان في الاتجاه ويكون لهما المقدار نفسه . فالمتجهان $\vec{B}$ ، $\vec{A}$ في شكل (1 - 3) متساويان . وتبين لنا هذه الخاصية أنه يمكن نقل متجه من مكان إلى آخر دون أن تتغير قيمته بشرط المحافظة على مقداره واتجاهه . ومثل هذه المتجهات تسمى المتجهات الحرة (Free Vectors) أو المتجهات المنزلقة (Sliding Vectors) .



شكل (1 - 3)

1-2-1 جمع المتجهات Vector Addition

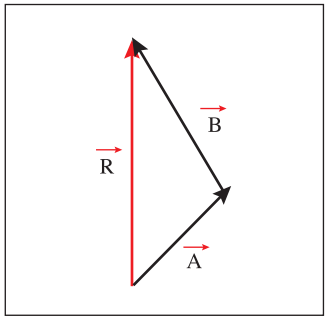
لإجراء العمليات الرياضية على المتجهات ، استُعيرت لهذا الغرض بعض العلامات الجبرية المألوفة مثل الإشارة (+) والإشارة (–) والإشارة (x) مع تغيير في مدلولها ، فالإشارة (+) مثلاً لا تدل على جمع عادي وإنما على عملية تركيب .

فعندما تؤثر قوتان في لحظة واحدة على جسم ويتحرك بتأثيرهما فإنه يتحرك كما لو كانت هناك قوة واحدة تؤثر فيه ، تسمى محصلة القوتين . وفي شكل (1 - 4) يكون :

$$\vec{A} + \vec{B} = \vec{R} \qquad \text{.....(1 - 1)}$$

ولا تدل الإشارة (+) في المعادلة (1 - 1) على جمع جبري وإنما على عملية تركيب المتجه $(\vec{A})$ إلى المتجه $(\vec{B})$ والاستعاضة عنهما بمتجه واحد هو $(\vec{R})$ ويسمى محصلتهما .

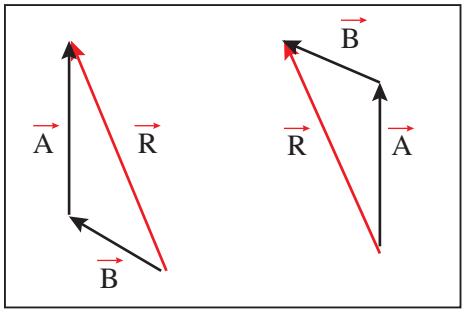
وتعرف المحصلة بأنها «المتجه المفرد الواحد الذي يكافئ باقي المتجهات مقداراً واتجاهاً» .



شكل (1 - 4)

ويسمى المثلث في شكل (1 - 4) مثلث المتجهات ، والمعادلة (1 - 1) لا تعني أن مجموع طولي ضلعين في مثلث يساوي طول الضلع الثالث .

ولتركيب متجهين نرسم المتجه الأول ثم نرسم المتجه الثاني بحيث يبدأ ذيله عند رأس المتجه الأول . فالمتجهان $\vec{A}$ ، $\vec{B}$ يمكن تركيبهما كما في شكل (1 - 5) ويكون المتجه الوحيد $\vec{R}$ الذي ذيله عند ذيل المتجه الأول ورأسه عند رأس المتجه الثاني هو المجموع الاتجاهي للمتجه $\vec{A}$ والمتجه $\vec{B}$ (محصلة المتجهين) .

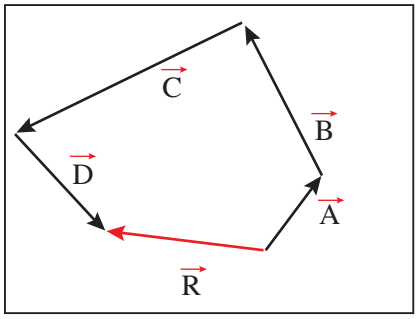


شكل (1 - 5)

نلاحظ من شكل (1 - 5) أنه بناءً على إمكانية نقل متجه من مكان إلى آخر بشرط المحافظة على مقداره واتجاهه فإن :

$$\vec{A} + \vec{B} = \vec{B} + \vec{A} \qquad \text{.....(2 - 1)}$$

وتدل المعادلة (1 - 2) على خاصية مهمة من الخواص المميزة للمتجهات وهي خاصية تبديل الترتيب عند تركيب متجهين بمعنى أن جمع (تركيب المتجهات) عملية إبدالية . يمكن تعميم الجمع الاتجاهي لمتجهين على عدة متجهات فإذا اتصلت عدة متجهات على التتابع رأساً بذيل كما في شكل (1 - 6) فإن محصلتها هو المتجه $\vec{R}$ والذي يُعْتَبَرُ ذيله نقطة البداية ورأسه نقطة النهاية ويسمى الشكل الناتج بمضلع المتجهات .

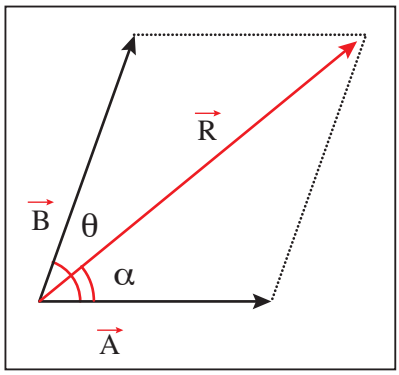


شكل (1 - 6)

حساب محصلة متجهين :

أ- بيانياً (هندسياً) بطريقة متوازي الأضلاع

يمكن إيجاد محصلة متجهين بالاعتماد على طريقة بسيطة تسمى قاعدة متوازي الأضلاع . لإيجاد محصلة المتجهين $\vec{B}$ ، $\vec{A}$ يحصران بينهما زاوية (θ) نرسم هذين المتجهين ، بمقياس رسم مناسب ، عند النقطة نفسها بحيث تكون الزاوية بين اتجاهيهما هي θ ، ثم نكمل متوازي الأضلاع بحيث يكون المتجهان $\vec{B}$ ، $\vec{A}$ ضلعين متجاورين شكل (1 - 7) . عندئذ يكون قطر متوازي الأضلاع ممثلاً لمحصلة المتجهين مقداراً واتجاهاً . حيث يكون طول هذا القطر ممثلاً لمقدار المحصلة وزاوية ميله (α) مع المتجه A ممثلة لاتجاه المحصلة .



شكل (1 - 7)

ب – الطريقة الحسابية

ولإيجاد مقدار محصلة المتجهين السابقين حسابياً نستخدم القانون العام المشتق من حساب المثلثات .

$$R = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB\cos\theta} \qquad \text{.....(3 - 1)}$$

ونعين اتجاه المحصلة $\vec{R}$ بحساب الزاوية α (زاوية ميل متجه المحصلة $\vec{R}$ على المتجه $\vec{A}$) من العلاقة :

$$\sin\alpha = \frac{B\sin\theta}{R} \qquad \text{.....(4 - 1)}$$

ملاحظة مهمة :

لايمكن إيجاد محصلة متجهين إلا إذا كانا يعملان على جسم واحد ، فمثلاً لايمكن إيجاد محصلة قوتين إذا كانت إحداهما تؤثر في جسم غير الذي تؤثر فيه الثانية .

مثال 3

قوتان مقدارهما $\vec{F_1} = 16\ N$ ، $\vec{F_2} = 12\ N$ تؤثران في جسم صلب ، احسب مقدار واتجاه القوة المحصلة إذا كانت الزاوية بين القوتين تساوي صفراً ، أو (60°) ، أو (90°) ، أو (120°) أو (180°) .

الحل

1 – إذا كانت $\theta = 0^\circ$ فإن : $\cos\theta = 1$

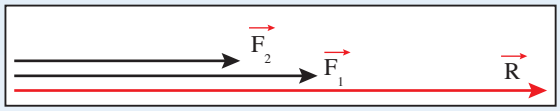
$$\therefore R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \times 1}$$

$$= \sqrt{(F_1 + F_2)^2}$$

$$R = F_1 + F_2$$

$$= 16 + 12 = 28\ N$$

واتجاهها هو نفس اتجاه $\vec{F_2}$ ، $\vec{F_1}$



شكل (1 - 8)

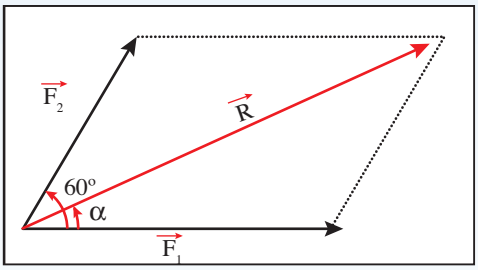
2 – إذا كانت $\theta = 60^\circ$ فإن :

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

$$= \sqrt{(16)^2 + (12)^2 + 2 \times 16 \times 12 \cos\theta}$$

$$= \sqrt{256 + 144 + 384 \times \frac{1}{2}} = \sqrt{592}$$

$$= 24.33\ N$$



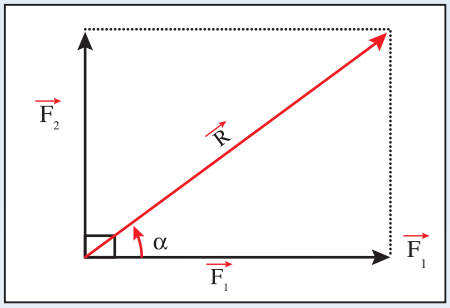
شكل (1 - 9)

أما بالنسبة للاتجاه فإن المحصلة $\vec{R}$ تعمل مع القوة $\vec{F_1}$ زاوية α

$$\sin\alpha = \frac{F_2 \sin\theta}{R} = \frac{12 \sin 60}{24.33} = 0.427$$

$$\therefore \quad \alpha = 25^\circ\ 17'$$

3 - إذا كانت $\theta = 90^\circ$ فإن :



شكل (1 - 10)

$$\cos 90^\circ = 0$$

$$\therefore R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

$$= \sqrt{(16)^2 + (12)^2}$$

$$= \sqrt{256 + 144} = \sqrt{400}$$

$$= 20\ N$$

وتصنع المحصلة $\vec{R}$ زاوية α مع القوة $\vec{F_1}$ حيث

$$\sin\alpha = \frac{F_2 \sin\theta}{R} = \qquad \sin 90^\circ = 1$$

$$\sin\alpha = \frac{F_2}{R}$$

$$= \frac{12}{20} \qquad = 0.6$$

$$\therefore \alpha = 36^\circ\ 52'$$

4 - إذا كانت $\theta = 120^\circ$ فإن :

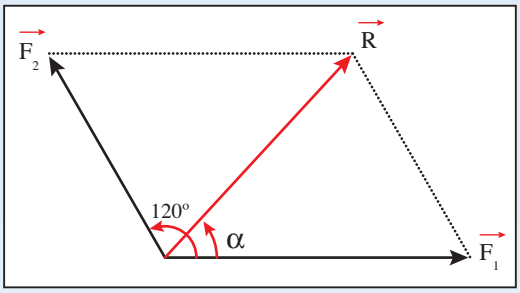
$$R = \sqrt{(16)^2 + (12)^2 + 2 \times 16 \times 12 \cos 120}$$

$$= \sqrt{256 + 144 + 384 \times -\frac{1}{2}}$$

$$= \sqrt{400 - 192} = \sqrt{208}$$

$$= 14.42\ N$$

وتصنع المحصلة $\vec{R}$ زاوية α مع القوة $(\vec{F_1})$



شكل (1 - 11)

$$\sin\alpha = \frac{F_2 \sin\theta}{R}$$

$$= \frac{12 \sin 120}{14.42} = 0.72$$

$$\therefore \alpha = 46^\circ\, 6'$$

5 – إذا كانت $\theta = 180^\circ$ فإن :

$$\cos 180 = -1$$

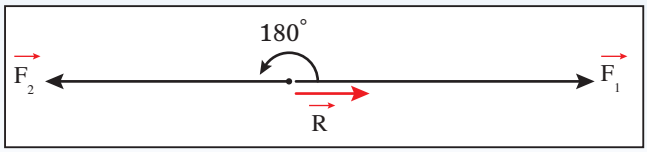
$$\therefore R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1 F_2}$$

$$= \sqrt{(F_1 - F_2)^2}$$

$$F_1 - F_2$$

$$= 16 - 12 = 4\ N$$

في اتجاه $\vec{F_1}$



شكل (1 - 12)

ويلاحظ من المثال أن :

1 – مقدار القوة المحصلة للقوتين $\vec{F_2}$ ، $\vec{F_1}$ يتغير بتغير الزاوية (θ) بين القوتين .

2 – يكون للمحصلة أكبر قيمة عندما $\theta = 0$ أي عندما تكون القوتان على استقامة واحدة وفي اتجاه واحد وهنا تكون $\vec{R} = \vec{F_1} + \vec{F_2}$

3 – بزيادة الزاوية (θ) يقل مقدار المحصلة إلى أن تبلغ أصغر قيمة لها عندما تصبح $\theta = 180°$ ، أي عندما تكون القوتان على استقامة واحد ومتعاكستان في الاتجاه ويكون مقدار المحصلة يساوي الفرق بين مقداري القوتين .

تمريـــن

إذا كان المتجهان مُتَساويين بالمقدار

فكم يكون مقدار محصلتهما إذا كانت الزاوية بينهما : $\theta = 180°$ ؟

وكم يكون مقدار محصلتهما إذا كانت الزاوية بينهما : $\theta = 120°$ ؟

وكم تكون زاوية α ؟

مثال 4

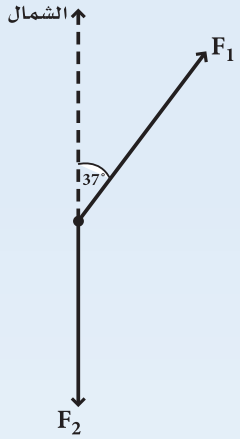
قارب صيد يتم سحبه من قناة مائية بوساطة حبلين فإذا كانت قوة الشد في الحبل الأول $F_1 = 15 \times 10^3$ N باتجاه يميل بزاوية (37°) شرق الشمال ، وقوة الشد في الحبل الثاني $F_2 = 12 \times 10^3$ N باتجاه الجنوب . كما في الشكل (1-13) أ

فاحسب مقدار واتجاه محصلة القوتين :

1- بطريقة المضلع المقفل .

2 - هندسياً (بطريقة متوازي الأضلاع)

3- حسابياً .



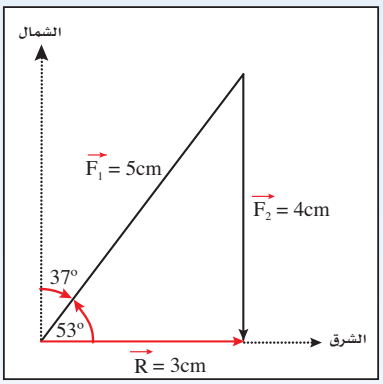
شكل (1 - 13) أ

الحل

1 - بطريقة المضلع المقفل :

نأخذ مقياس رسم مناسباً فيه كل (1) cm يمثل 3×10^3 N .

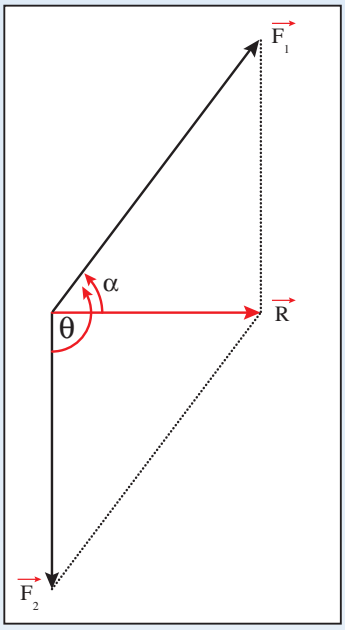
نرسم قطعة مستقيمة طولها (5) cm باتجاه (37°) شرق الشمال لتمثل القوة (F_1) ، ثم من نهاية هذه القطعة نرسم قطعة مستقيمة أخرى طولها (4) cm باتجاه الجنوب لتمثل القوة (F_2) ، نقيس بعد ذلك القطعة المستقيمة من بداية القطعة المستقيمة الأولى إلى نهاية القطعة المستقيمة الثانية فيكون طولها ممثلاً لمحصلة القوتين F_2 ، F_1 نضرب الناتج بالعدد (3×10^3) لنحصل على مقدار المحصلة بوحدة النيوتن ، نحدد اتجاه المحصلة بقياس الزاوية بين المحصلة والقطعة المستقيمة الممثلة لـ F_1 . من شكل (1 – 13) ب نجد أن طول القطعة المستقيمة ، الممثل للمحصلة يساوي (3) cm ، فيكون مقدار المحصلة N(9×10^3) ، كما نجد من الشكل أن الزاوية المطلوبة هي (53°) ، أي أن محصلة القوتين باتجاه الشرق .



شكل (1 - 13) ب

2 – هندسياً (بإكمال متوازي الأضلاع) شكل (1 – 14) نلاحظ (F_1) ممثلة بمتجه طوله cm

(5) ، و(F_2) ممثلة بمتجه طوله (4) cm ، والمتجهان يحصران بينهما زاوية مقدارها : $\theta = 180^o - 37^o = 143^o$ نقوم الآن برسم هذين المتجهين بحيث يلتقي ذيلاهما عند نقطة واحدة ويحصران بينهما زاوية $\theta = 143^o$ ، ثم نكمل متوازي الأضلاع كما في شكل (1 – 14) لنحصل على مقدار المحصلة للقوتين ، نحدد بعد ذلك زاوية ميل قطر المضلع مع المتجه F_1 فيكون ممثلاً لاتجاه المحصلة . ومن الشكل نجد أن طول قطر متوازي الأضلاع ، الممثل للمحصلة يساوي 3 cm فيكون مقدار المحصلة 9×10^3 N . ومن الشكل نجد أن زاوية ميل قطر متوازي الأضلاع مع المتجه (F_1) هي 53° كما سبق .



شكل (1 - 14)

3 – حسابياً :

نلاحظ هنا أن الزاوية بين القوتين

$$\theta = 180^o - 37^o = 143^o$$

$$F_1 = 15 \times 10^3 \text{ N} \qquad F_2 = 12 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\because R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 F_2 \cos\theta}$$

$$\therefore R = \sqrt{(15 \times 10^3)^2 + (12 \times 10^3)^2 + 2 \times 15 \times 10^3 \times 12 \times 10^3 \cos 143^o}$$

$$= \sqrt{2.25 \times 10^8 + 1.44 \times 10^8 + 3.6 \times 10^8 \times (-0.799)}$$

$$= \sqrt{3.69 \times 10^8 - 2.88 \times 10^8} = \sqrt{0.18 \times 10^8}$$

$$= 9 \times 10^3 \text{ N}$$

وتحسب الزاوية (α) مع المتجه F_1

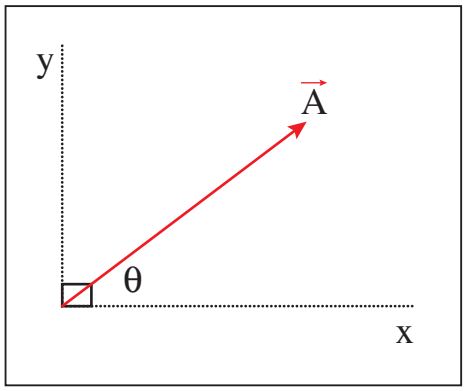
$$\sin\alpha = \frac{F_2 \sin\theta}{R}$$

$$\sin\alpha = \frac{12 \times 10^3 \sin 143^o}{9 \times 10^3} = 0.8$$

$$\therefore \alpha = 53^\circ \; 21' \; 42''$$

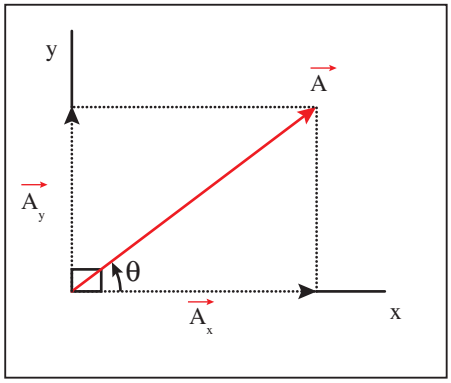
1-2-2 تحليل المتجهات Vector Resolution

رأينا أن عملية جمع متجهين أو أكثر هي عملية تركيب يتم فيها الاستعاضة عن عدد من المتجهات بمتجه واحد له نفس التأثير . تسمى هذه العملية **تركيب المتجهات** (Vector Composition) . وبشكل خاص في حالة تركيب متجهين ، يمكن الحصول على محصلتهما برسم متوازي أضلاع يكون فيه المتجهان ضلعين متجاورين ، ويكون قطر متوازي الأضلاع المار بنقطة تلاقي هذين الضلعين ممثلاً لمحصلتهما (انظر شكل (1 – 7) . وفي المقابل فإن العملية المعاكسة لتركيب المتجهات هي عملية يستعاض فيها عن متجه ما بمتجهين أو أكثر ، وتسمى عملية **تحليل المتجهات** . وأبسط الطرق وأكثرها شيوعاً في التطبيقات الفيزيائية ، هي استبدال متجه ما بمتجهين متعامدين بحيث يكون المتجه المراد تحليله ممثلاً لمحصلة هذين المتجهين ومتحداً معهما في نقطة البداية . تسمى هذه العملية بعملية التحليل المتعامد Orthogonal Resolution . ويسمى المتجهان المتعامدان اللذان محصلتهما المتجه المعطى بالمركبتين المتعامدتين للمتجه (Orthogonal Components) .



شكل (1 - 15)

لذلك عند تحليل متجه أو عدة متجهات مستوية نختار محورين متعامدين ثم نوجد مسقطي المتجه على هذين المحورين ولتوضيح ذلك نفرض أن $\vec{A}$ متجه ما ، ننشئ عند بداية $\vec{A}$ محورين متعامدين أحدهما المحور (x) والآخر المحور (y) كما في شكل (1 – 15) ، بحيث يكون $\vec{A}$ في مستوى هذين المحورين ، لنفرض أن (θ) هي الزاوية التي يميل بها المتجه $\vec{A}$ على المحور (x) ، نرسم عند بداية $\vec{A}$ مستطيلاً قطره $\vec{A}$ فيكون ضلعا المستطيل الموجهان باتجاه المحور (x) والمحور (y) المركبتين الاتجاهيتين للمتجه $(\vec{A})$ شكل (1 – 16) أي يكون $\vec{A}$ مساوياً لمجموعة هذين المتجهين المتعامدين :



شكل (1 - 16)

$$\vec{A} = \vec{A}_x + \vec{A}_y \qquad \text{.....(5 - 1)}$$

ومن الشكل (1 – 16) يتضح أن :

$$\cos\theta = \frac{A_x}{A}$$

$$\sin\theta = \frac{A_y}{A}$$

أي أن :

$$\boxed{\begin{aligned} A_x &= A \cos\theta \\ A_y &= A \sin\theta \end{aligned}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6-1)$$

وكذلك فإن :

$$\tan\theta = \frac{A_y}{A_x}$$

وتتميز الطريقة الجبرية المعبر عنها بالمعادلات السابقة بالدقة الحسابية مقارنة بالطريقة الهندسية ،كما أن الطريقة الجبرية لاتتطلب استخدام مقياس رسم عند استخدامها ويكتفي برسم شكل تمثيلي للمتجهات المعنية .

رأينا سابقاً أنه يمكن إيجاد محصلة متجهات بطريقة مضلع المتجهات حيث تمثل المحصلة بالمتجه الذي يبدأ من ذيل المتجه الأول وينتهي عند رأس المتجه الأخير . وفي الحالة الخاصة عندما تُكون المتجهات مضلعاً مُغلقاً على نفسه فإن محصلة تلك المتجهات تكون صفراً – العكس صحيح فلو كانت محصلة عدة متجهات صفراً فإن تلك المتجهات تُكوّن مضلعاً مغلقاً – وهذا يكافئ أن يكون مجموع المركبات في اتجاه المحور (x) صفراً ، وكذلك يكون مجموع المركبات في اتجاه المحور (y) صفراً .

وكذلك عند أخذ محورين متعامدين عند نقطة تأثير عدة قوى ، وتحليل هذه القوى . فإذا كان المجموع الجبري لمركباتها في اتجاه محور (x) صفراً وكذلك المجموع الجبري لمركباتها في اتجاه محور (y) صفراً . فإن هذه القوى تكون متزنة وبالعكس .

فالقوى المتزنة هي قوى محصلتها صفر .

نشاط (1)

خذ قالباً خشبياً وثبّت في وسط أحد أوجهه حلقة صغيرة ، وكذلك على الوجه المقابل لهذا الوجه . خُذ أربعة حبال واربط اثنين منهما في كل حلقة . حدد بالرسم شرط توازن القوى المؤثرة في القالب .

3-2-1 ضرب المتجهات : Vector Multiplication

من خلال دراستك لتصنيف الكميات الفيزيائية (عددية ومتجهة) فإن احتمالات عمليات الضرب ستكون على النحو التالي :

1 – ضرب كمية عددية في كمية عددية :

وهذه هي عملية الضرب الحسابي الذي سبق لك دراستها في المرحلة الابتدائية (جدول الضرب) .

2 – ضرب كمية عددية بكمية متجهة :

وناتج هذه العملية (متجه جديد) مقداره يساوي حاصل ضرب الكمية العددية في مقدار الكمية المتجهة ، أما اتجاهه فيكون موافقاً (في نفس اتجاه) المتجه الأصلي إذا كانت الكمية العددية موجبة ، ويكون (عكس اتجاه المتجه الأصلي) إذا كانت الكمية العددية سالبة .

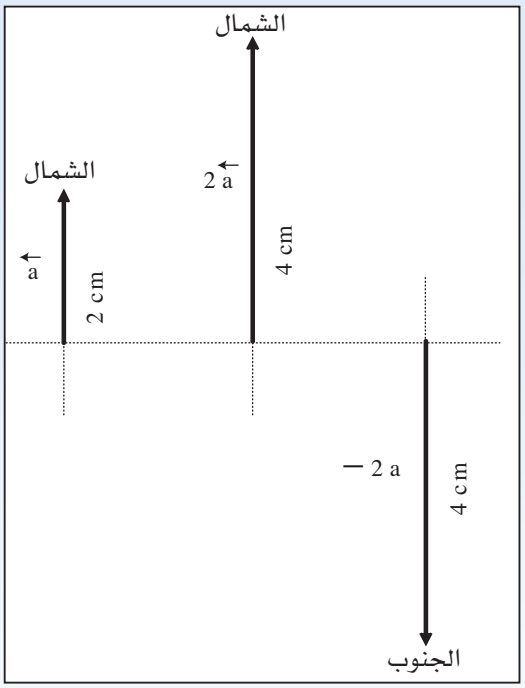
مثال 5

إذا علمت أن $\vec{a} = 20$ cm شمالاً : شكل (1 – 17)

1 – ارسم المتجه $\vec{a}$.

2 – ارسم المتجه $2\vec{a}$.

3 – ارسم المتجه $-2\vec{a}$.



شكل (1 – 17)

الحل

1 – نأخذ مقياس رسم مناسباً ليكن 1 cm لكل 10 cm

2 – طول المتجه $\vec{a}$ يساوي 2 cm واتجاهه نحو الشمال .

3 – المتجه $2\vec{a}$ طوله مثلا طول المتجه $\vec{a}$ وله نفس الاتجاه (نحو الشمال) .

3 – المتجه $-2\vec{a}$ طوله مساو لطول المتجه $2\vec{a}$ ومثلا طول المتجه $\vec{a}$ أما اتجاهه فعكس اتجاههما (نحو الجنوب) .

هذا النوع من الضرب يستفاد منه في تعرف خواص بعض الكميات الفيزيائية فمثلاً القوة هي حاصل ضرب مقدار الكتلة المتحركة في عجلة تحركها ($\vec{F} = m\vec{a}$) ولما كانت الكتلة كمية عددية موجبة دائماً والعجلة كمية متجهة فإن القوة تكون كمية متجهة ولها دائماً نفس اتجاه العجلة .

3 – ضرب كمية متجهة بكمية متجهة :

ينقسم هذا النوع من الضرب إلى قسمين هما

أ – الضرب العددي (الداخلي) Scalar Product

ب – الضرب الاتجاهي (الخارجي) Vector Product

الضرب العددي (الداخلي) Scalar Product

هو الكمية العددية الناتجة من حاصل ضرب مقدار أحد المتجهين في مسقط الآخر عليه .

ويشار لعملية الضرب بنقطة (•) توضع بين المتجهين وحسب التعريف يكون الناتج كمية عددية وهذه العملية إبدالية بمعنى أن :

$$\vec{a}.\vec{b} = \vec{b}.\vec{a}$$

● ويعبر عنه بالمعادلة $\vec{a}.\vec{b} = ab\cos\theta$

حيث $(ab\cos\theta)$ القيمة العددية لحاصل الضرب .

ولهذا النوع من الضرب تطبيقات واسعة في علم الفيزياء ، حيث يُمكننا من التعرف إلى صفات بعض الكميات .

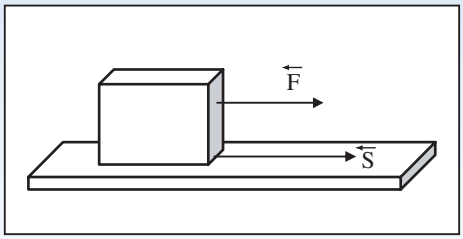
مثال 6

من دراستك علمت أن :

الشغل = القوة x الإزاحة ($W = \vec{F} . \vec{S}$) شكل (1–18)

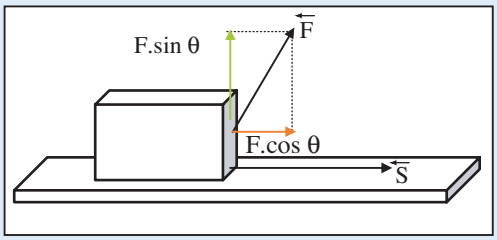
فإذا كانت الإزاحة ليست باتجاه تأثير القوة فإننا نحلل متجه القوة إلى مركبتيه وتكون القوة الباذلة للشغل هي المركبة باتجاه الحركة (الإزاحة)

$$W = FS\cos\theta$$



شكل (1 – 18)

والمركبة $F \cos\theta$ تمثل مسقط متجه القوة $\vec{F}$ على متجه الإزاحة $\vec{S}$



شكل (1 – 19)

ويمكننا القول بأن الشغل كمية عددية لأنه حاصل الضرب العددي (الداخلي) لمتجه القوة في متجه الإزاحة ويكون دائماً

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = ab \cos\theta$$

حيث b ، a مقدار كل من المتجهين ، θ الزاوية بينهما .

ويكون ناتج حاصل الضرب العددي لمتجهين :-

1 – أكبر ما يمكن عندما تكون الزاوية بينهما θ تساوي صفراً (أي يكونا في نفس الاتجاه)

$\cos\theta = \cos 0 = 1$ $\qquad$ $\vec{a} \cdot \vec{b} = ab \cos\theta$

$\vec{a} \cdot \vec{b} = ab$

2 – يساوي صفراً عندما تكون الزاوية بينهما θ تساوي 90 { أي يكونا متعامدين }

$\cos\theta = \cos 90 = 0$ $\qquad$ $\vec{a} \cdot \vec{b} = ab \cos\theta$

$\vec{a} \cdot \vec{b} = 0$

س : ما ناتج الضرب العددي لمتجهين متعاكسين في الاتجاه ؟

س : ما هي وحدات الكمية الناتجة من ضرب المتجهين ؟

مثال 7

$\vec{a}$ و $\vec{b}$ متجهان مقدارهما 4 cm ، 6 cm على الترتيب ويحصران بينهما زاوية مقدارها 60°

والمطلوب حساب :

- $\vec{a} \cdot \vec{b}$
- $\vec{b} \cdot \vec{a}$

ماذا تلاحظ ؟ ماذا تستنتج ؟

الحـــل

1- $\vec{a} \cdot \vec{b} = ab \cos\theta = 4 \times 6 \cos 60^\circ = 4 \times 6 \times \frac{1}{2} = 12cm^2$

2- $\vec{b} \cdot \vec{a} = ba \cos\theta = 6 \times 4 \cos 60^\circ = 6 \times 4 \times \frac{1}{2} = 12cm^2$

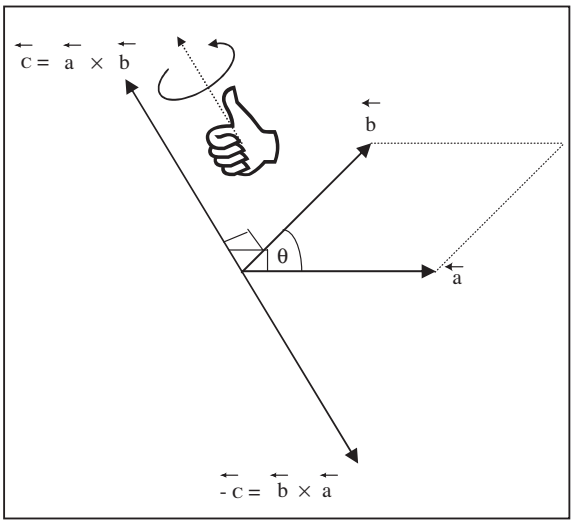
ونلاحظ أن :

$\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{a}$ ولهما نفس الوحدات

ونستنتج أن الضرب العددي (الداخلي) لمتجهين عملية إبدالية .

ب – الضرب الاتجاهي (الخارجي) Vector Product

حاصل الضرب الاتجاهي لمتجهين $\vec{a}$ ، $\vec{b}$ مثلاً هو متجه جديد $\vec{c}$ مقداره يساوي مساحة متوازي الأضلاع المنشأ على المتجهين ، واتجاهه عمودي على المستوى الذي يجمعهما ويتحدد اتجاهه بقاعدة اليد اليمنى(R . H . R) حيث تتحرك أصابع قبضة اليد اليمنى من المتجه الأول إلى المتجه الثاني عبر الزاوية الصغرى بينهما ، فيكون إبهام اليد مشيراً إلى اتجاه المتجه الناتج من حاصل ضربهما اتجاهياً . (انظر شكل 1 – 20)



شكل (1 – 20)

● ويشار لهذا النوع من الضرب بعلامة (x) بين المتجهين ، ويكون :

$$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b} = ab \sin\theta$$

حيث ($ab \sin\theta$) القيمة العددية لحاصل الضرب .

ومن الجدير بالذكر أن الضرب الاتجاهي لمتجهين ليس عملية إبدالية كالضرب العددي حيث إن تبديل ترتيب المتجهين يعكس اتجاه المتجه الناتج من عملية الضرب بمعنى أن :-

$$\vec{a} \times \vec{b} = -\vec{b} \times \vec{a}$$

ويكون ناتج الضرب الاتجاهي لمتجهين أكبر ما يمكن عندما يكونا متعامدين ($\theta = 90^\circ$) حيث

$$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b} = ab \sin\theta = ab \quad ، \quad (\sin 90^\circ = 1)$$

ويكون ناتج الضرب الاتجاهي لهما يساوي (صفراً) عندما يكونا على استقامة واحدة حيث

$(\theta = 0^\circ)$ أو $(\theta = 180^\circ)$

مثال 8

المتجهان $\vec{a}$ ، $\vec{b}$ مقدارهما 3 units ، 4 units على الترتيب . ما مقدار الزاوية المحصورة بينها إذا علمت أن حاصل ضربهما الاتجاهي يساوي :

(1) صفراً (2) 12 units

الحل

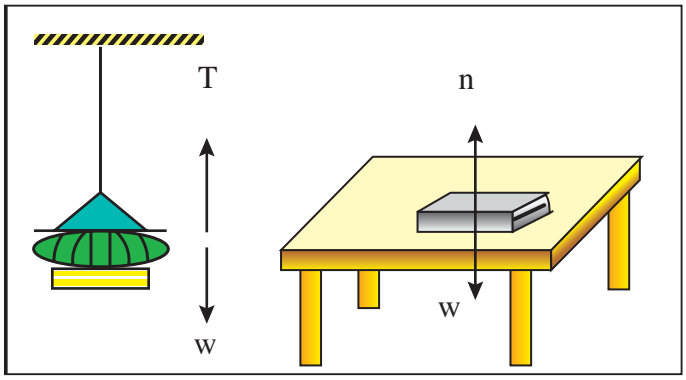
$$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b} = ab \sin\theta$$

1- $\therefore$ zero $= 3 \times 4 \times \sin\theta \Rightarrow \sin\theta = 0 \Rightarrow \theta = 0^\circ$ Or 180°

2- $\therefore$ $12 = 3 \times 4 \times \sin\theta \Rightarrow \sin\theta = 1 \Rightarrow \theta = 90^\circ$

3 - 1 الجسم الصلب المتماسك : Rigid Body

المقصود **بالجسم الصلب هو الجسم المتماسك الذي تكون أجزاؤه مثبتة بعضها ببعض ، بحيث يحتفظ بشكل ثابت عند التأثير فيه بقوى خارجية ، ونتيجة لتماسك الجسم الصلب ، إذا أثرت قوة خارجية** عند نقطة منه فإن تأثيرها ينتقل بالتساوي إلى كل أجزائه .



شكل (1 – 21)

ويقال عن الجسم الصلب إنه متزن إذا كان ساكناً ، أو يتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم ، ومن الأمثلة على الأجسام المتزنة : الكتاب الموضوع فوق منضدة أفقية ، والمصباح المعلق بحبل في سقف الغرفة شكل (1–21) .

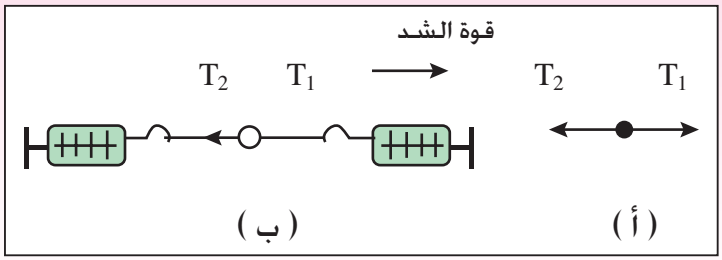
1 - 4 القوى المتزنة

إذا أثرت قوتان أو أكثر في جسم صلب غير مثبت من إحدى نقاطه (حر الحركة) وبقي الجسم متزناً ، يقال إن القوى المؤثرة عليه متزنة .

1-4-1 اتزان الجسم الصلب تحت تأثير قوتين متلاقيتين

نشاط (2)

اربط حلقة معدنية صغيرة بخيطين كما في شكل (1-25ب) ثم صل نهايتي الخيطين بميزانين زنبركيين ، يثبت أحدهما ، والآخر يمكنك التأثير فيه بقوة شد . أثر في الميزان الحر بقوة شد وعندما تكون الحلقة متزنة ضع ورقة بيضاء تحت الخيطين والحلقة وارسم عليها خطاً تحت كل من الخيطين ، وسجل قراءة الميزانين الزنبركيين . . . ماذا تلاحظ؟ وماذا تستنتج؟



شكل (1 - 22)

سنجد من نشاط (2) أنه عندما تكون الحلقة متزنة فإن قراءتي الميزانين ستكونان متساويتين وأن قوتي الشد لهما خط عمل واحد .

ومن هذا نستنتج أنه :

إذا اتزن جسم تحت تأثير قوتين متلاقيتين فإن هاتين القوتين تكونان متساويتين بالمقدار ومتضادتين بالاتجاه ولهما خط عمل واحد شكل (1-23) والآن حدد القوى المؤثرة في كل من الكتاب والمصباح في شكل (1-24) وما العلاقة بين تلك القوى في كل شكل؟

1-4-2 اتزان الجسم الصلب تحت تأثير ثلاث قوى مستوية ومتلاقية

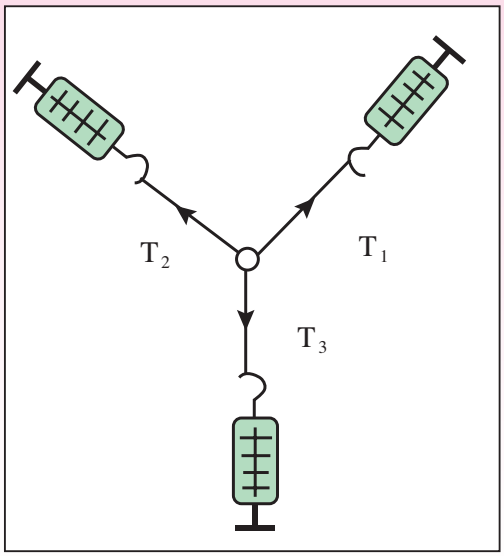
نشاط (3)

اربط حلقة معدنية بثلاثة خيوط كما في شكل (1-23 أ) ثم صل نهايات الخيوط الثلاثة بموازين زنبركية وثبت هذه الموازين على مستوى أفقي بعد شدها بشكل مناسب بحيث تكون الحلقة متزنة .

ضع ورقة بيضاء تحت الخيوط وارسم عليها خطاً تحت كل خيط ، وسجل قراءة كل ميزان زنبركي .

مثّل قوى الشد الثلاث $\vec{T}_3$ ، $\vec{T}_2$ ، $\vec{T}_1$ هندسياً .

واحسب محصلة أي قوتين منها وحددها على الرسم شكل (1 – 23ب) ماذا تلاحظ؟ وماذا تستنتج؟

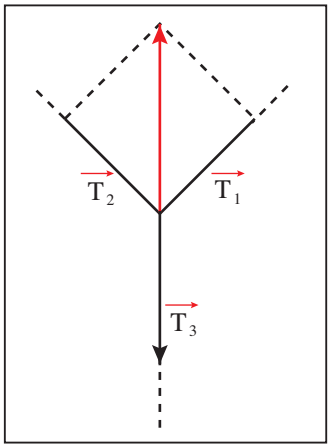


شكل (1 – 23أ)

ستلاحظ أن قيمة محصلة أي قوتين تساوي القوة الثالثة بالمقدار ولها خط عملها نفسه وتعاكسها بالاتجاه .

ومن ذلك نستنتج أن :

لكي يكون الجسم الصلب الخاضع لثلاث قوى مستوية ومتلاقية متزناً يكفي أن تكون محصلة كل قوتين مساوية للقوة الثالثة مقداراً ومضادة لها بالاتجاه ولهما نفس خط العمل .



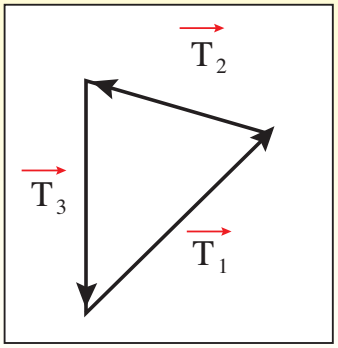
شكل (1 – 23ب)

ملاحظة :

مما سبق يمكن أن نكتب :

$$\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{T}_3 = 0$$

وإذا رسمنا متجهات بمقياس رسم مناسب لتمثل القوى $\vec{T}_1$ ، $\vec{T}_2$ ، $\vec{T}_3$ بحيث تتصل رأساً بذيل فإننا نحصل على مضلع قوى مغلق كما في شكل (1 – 24) .



شكل (1 – 24)

1-4-3 اتزان الجسم الصلب تحت تأثير عدة قوى مستوية ومتلاقية

أعد نشاط (3) باستعمال أكثر من ثلاثة موازين ، (أربعة مثلاً) سوف تستنتج أنه :

لكي يتزن جسم صلب خاضع لعدة قوى مستوية ومتلاقية في نقطة يجب أن تكون محصلة هذه القوى صفراً أي :

$$\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{T}_3 + \vec{T}_4 + ... = 0$$

$$\Sigma \vec{T} = 0$$

ملاحظة :

لو حللنا القوى المتلاقية المؤثرة – في جسم صلب متزن – في اتجاهين متعامدين ، وليكن باتجاهي المحورين y ، x ، فإننا سنجد أن :

$$\Sigma \vec{F}_x = 0$$

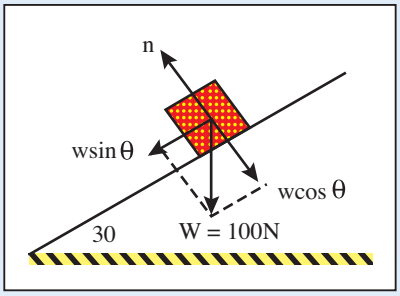
$$\Sigma \vec{F}_y = 0$$

مثال 9

جسم وزنه 100 N موضوع على سطح مستو أملس يميل بزاوية 30° على الأفقي . احسب :

1- مقدار القوة التي تحاول تحريك الجسم على المستوى المائل .

2 - قوة رد فعل المستوى على الجسم .



شكل (1 - 25)

الحل

عند تحليل الوزن w في اتجاهين متعامدين أحدهما يوازي المستوى المائل والآخر عمودي عليه شكل (1 – 25) فإن:

1- القوة F التي تحاول تحريك الجسم على المستوى المائل هي مركبة الوزن الموازية للمستوى المائل

$$F = w \sin 30 = 100 \times \frac{1}{2} = 50 \text{ N}$$

2- رد فعل المستوى على الجسم (n)

$$\because \quad \Sigma \vec{F}_y = 0$$

$$\therefore \quad n - w \cos 30^\circ = 0$$

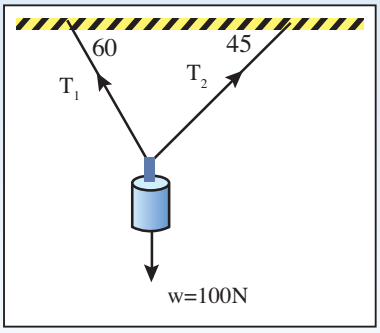
$$\therefore \quad n = w \cos 30^\circ$$

$$= 100 \times 0.866$$

$$= 86.6 \text{ N}$$

مثال 10

علق وزناً قدره 100 N بوساطة خيطين كما في الشكل (1 – 26) . احسب قوتي الشد في الخيطين T_2 ، T_1 لتكون هذه القوى متزنة .

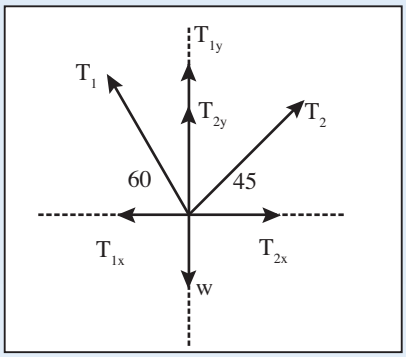


شكل (1 - 26)

الحل

هنا في هذا المثال ثلاث قوى متلاقية ومستوية ومتوازنة هي W. T_2 ، T_1 لذلك نختار محورين متعامدين ، أحدهما منطبق على

خط عمل الوزن يمثل محور (y) والآخر عمودي عليه عند نقطة تلاقي القوى ، شكل (1 – 27) . ثم نقوم بتحليل الشد ثم نطبق شرط توازن عدة قوى متلاقية على كل من المحور x والمحور y .



شكل (1 - 27)

مركبات T_1

$$T_{1x} = -T_1 \cos 60$$
$$= -0.5\, T_1$$
$$T_{1y} = T_1 \sin 60^o$$
$$= 0.866\, T_1$$

مركبات T_2

$$T_{2x} = T_2 \cos 45^o$$
$$= 0.707\, T_2$$
$$T_{2y} = T_2 \sin 45^o$$
$$T_{2y} = 0.707\, T_2$$

مركبات الوزن W

$$W_x = 0$$
$$W_y = -100\ N$$

الآن بما أن القوى متزنة :

$$\because\ \Sigma F_x = 0$$
$$-0.5\, T_1 + 0.707\, T_2 = 0 \quad \text{.....} (1)$$
$$\because\ \Sigma F_y = 0$$
$$0.866\, T_1 + 0.707\, T_2 - 100 = 0 \quad \text{.....} (2)$$

وبحل المعادلتين (1) ، (2)

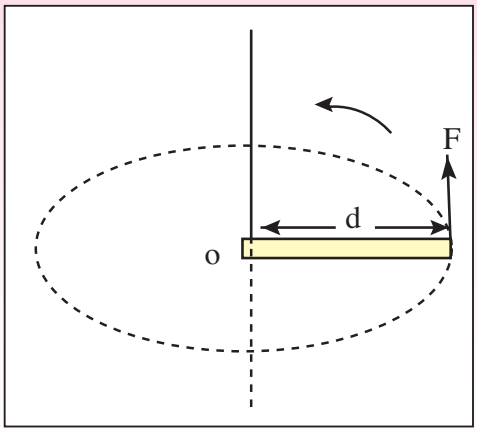
$$T_1 = 73.2 \quad N$$
$$T_2 = 51.77 \quad N$$

5-1 الأثر الدوراني للقوة – عزم القوة Moment of Force

نشاط (4)

ثبت ساقاً خشبية أو معدنية بطريقة تجعلها قابلة للدوران في مستوى عمودي على محور دوران يمر بالنقطة 0 كما في شكل (1 – 28) ، أثر في الساق بقوة خارجية F عمودية على محور الدوران (في مستوى الساق نفسه) وعلى بعد عمودي d من محور الدوران . ماذا تلاحظ؟

ستلاحظ أن الساق تدور حول محور الدوران المار بالنقطة 0

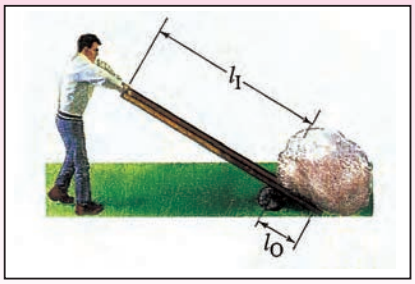


شكل (1 – 28)

ويسمى الأثر الدوراني للقوة الخارجية المؤثرة في الجسم ، القابل للدوران حول محور ، **عزم القوة** ، ويرمز له بالرمز τ .

نشاط (5)

للتغلب على صعوبة تحريك صخرة كبيرة لا تستطيع رفعها بيديك استخدم عصا طويلة شكل (1 – 29) بوضع إحدى نهايتي العصا تحت الصخرة المراد رفعها ، ووضع قطعة حجر صغيرة (كمحور ارتكاز يمثل مركز الدوران) تحت العصا بالقرب من الصخرة . فعندما تدفع الطرف الآخر للعصا بقوة عضلاتك ستلاحظ أن الصخرة الكبيرة ترتفع . استخدم عصا أطول من الأولى . ستلاحظ أنك تحصل على تأثير أكبر . (أي عزم أكبر) .



شكل (1 – 29)

من النشاطين السابقين نجد أن مقدار الأثر الدوراني للقوة (أي العزم) يتوقف على عاملين هما :

1 – مقدار القوة المؤثرة في الجسم F .

2 – البعد بين نقطة تأثير القوة ومحور الدوران ، ويكون التأثير أكبر ما يمكن عندما يكون البعد بين نقطة تأثير القوة ومحور الدوران عمودياً على اتجاه القوة ويُسمى هذا البعد **ذراع العزم d** .

وعزم القوة يساوي عددياً حاصل ضرب القوة F المؤثرة في الجسم في ذراع العزم **d** .

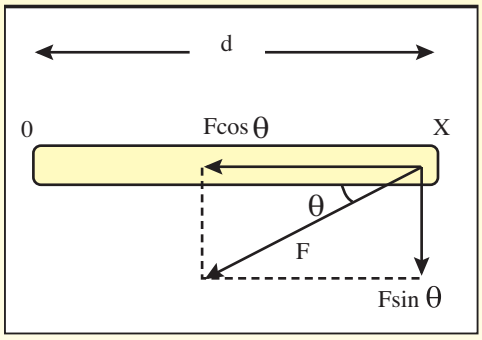
$$\vec{\tau} = \vec{F} \times \vec{d} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (7 - 1)$$

ووحدة العزم هي : (N.m) .

مما سبق يتضح أنه لو أثّرنا في جسم بقوة عزمها لايساوي الصفر فإن الجسم سيدور . ويكون اتجاه الدوران باتجاه دوران عقارب الساعة ، أو بعكسه بالنسبة للناظر ، وقد اصطلح على أن يكون العزم موجباً إذا كان دوران الجسم بعكس اتجاه دوران عقارب الساعة ، وسالباً إذا كان اتجاه دوران الجسم باتجاه عقارب الساعة ، وبذلك نرى أن للعزم مقداراً واتجاهاً .

ملاحظة :

في نشاط (4) إذا كان اتجاه القوة يميل بزاوية θ على الخط الواصل بين محور الدوران O ونقطة تأثير القوة ، يمكن حساب عزم القوة بالطريقة التالية :



شكل (1 – 30)

في شكل (1 – 30) نحلل القوة $\vec{F}$ إلى مركبتين تكون إحداهما F cos θ منطبقة على الخط O x ، والأخرى F sin θ عمودية عليه ، القوة F cos θ خط عملها يمر بمحور الدوران ، لذلك يكون عزمها مساوياً الصفر (لأن ذراع العزم لها يساوي الصفر) ، أما ذراع العزم للمركبة F sin θ فإنه يساوي البعد العمودي بين نقطة تأثيرها ومحور الدوران المار بنقطة O ، أي أن ذراع العزم لهذه المركبة d = O x .

$$\therefore \tau = F d \sin\theta \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (8 - 1)$$

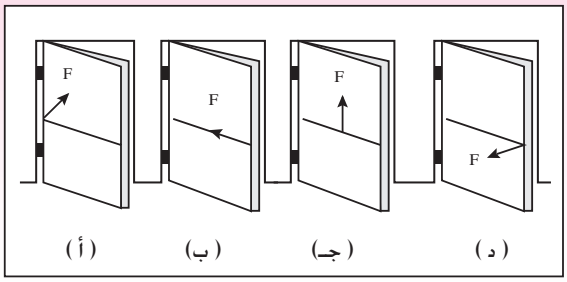
مما سبق يمكن القول إن القوة المؤثرة في الجسم القابل للدوران حول محور لايكون لها أثر دوراني (لاتستطيع تدوير الجسم) في إحدى حالتين :

1 – إذا كان خط عمل القوة يمر بمحور الدوران (طول ذراع العزم يساوي الصفر) .

2 – إذا كان خط عمل القوة يوازي محور الدوران (الزاوية بين القوة والمحور تساوي الصفر) .

نشاط (6)

أثّر في باب الفصل بقوة تعمل في الاتجاهات المبينة في الشكل(1 – 31) .
متى يدور الباب ، ومتى لايدور؟ وضّح السبب في كل حالة؟



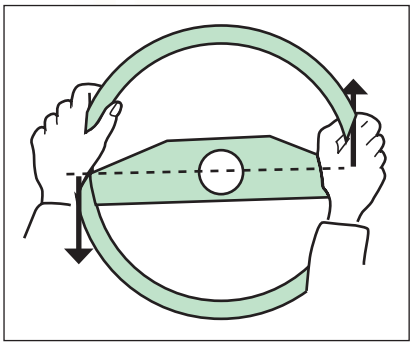
شكل (1 – 31)

1-6 اتزان الجسم الصلب عندما يكون خاضعاً لعدة قوى متوازية :

درست سابقاً أن الجسم الصلب يتزن تحت تأثير عدة قوى إذا كانت هذه القوى مستوية ومتلاقية ومحصلتها تساوي الصفر .

ولكن هل يتزن الجسم الصلب ، القابل للدوران حول محور ، إذا كانت القوى المؤثرة مستوية ومتوازية ومحصلتها تساوي الصفر؟

من مشاهدتك اليومية تلاحظ :



شكل (1 – 32)

1 – أنك عندما تفتح صنبور الماء تؤثر بإصبعيك في طرفي قطعة معدنية قابلة للدوران حول محور بقوتين متساويتين (تقريباً) ومتوازيتين وفي اتجاهين متضادين ، فتدور القطعة المعدنية ولا تبقى متزنة .

2 – عندما تريد إدارة مقود السيارة حول محوره شكل (1 – 32) . فإنك تؤثر فيه بكلتا يديك بقوتين

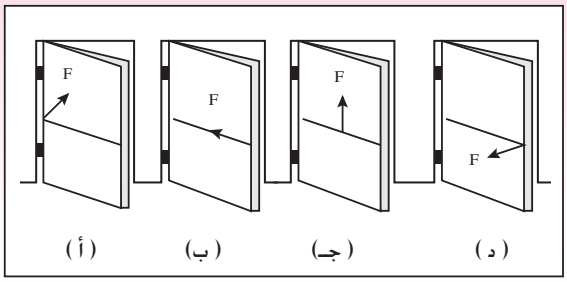
مما سبق يمكن القول إن القوة المؤثرة في الجسم القابل للدوران حول محور لايكون لها أثر دوراني (لاتستطيع تدوير الجسم) في إحدى حالتين :

1 – إذا كان خط عمل القوة يمر بمحور الدوران (طول ذراع العزم يساوي الصفر) .

2 – إذا كان خط عمل القوة يوازي محور الدوران (الزاوية بين القوة والمحور تساوي الصفر) .

نشاط (6)

أثّر في باب الفصل بقوة تعمل في الاتجاهات المبينة في الشكل(1 – 31) .
متى يدور الباب ، ومتى لايدور؟ وضّح السبب في كل حالة؟



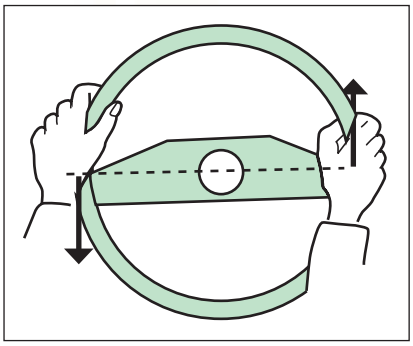
شكل (1 – 31)

1-6 اتزان الجسم الصلب عندما يكون خاضعاً لعدة قوى متوازية :

درست سابقاً أن الجسم الصلب يتزن تحت تأثير عدة قوى إذا كانت هذه القوى مستوية ومتلاقية ومحصلتها تساوي الصفر .

ولكن هل يتزن الجسم الصلب ، القابل للدوران حول محور ، إذا كانت القوى المؤثرة مستوية ومتوازية ومحصلتها تساوي الصفر؟

من مشاهدتك اليومية تلاحظ :



شكل (1 – 32)

1 – أنك عندما تفتح صنبور الماء تؤثر بإصبعيك في طرفي قطعة معدنية قابلة للدوران حول محور بقوتين متساويتين (تقريباً) ومتوازيتين وفي اتجاهين متضادين ، فتدور القطعة المعدنية ولا تبقى متزنة .

2 – عندما تريد إدارة مقود السيارة حول محوره شكل (1 – 32) . فإنك تؤثر فيه بكلتا يديك بقوتين

متساويتين تقريباً في اتجاهين مماسين له ويكون التأثير أكبر ما يمكن عندما تكون القوتان متوازيتين ومتضادتين ومتعامدتين على الخط الواصل بينهما وماراً بمحور الدوران .

من تلك المشاهدات نستنتج أنه إذا كانت القوتان المؤثرتان في الجسم متوازيتين ومتساويتين ومتضادتين بالاتجاه ، فإن الجسم لايتزن بل يدور مع أن محصلة القوتين تكون صفراً .

ومن خلال دراسة البندين التاليين سيتضح لك الشرط اللازم تحققه لاتزان جسم قابل للدوران حول محور وخاضع لتأثير قوى متوازية .

1-6-1 اتزان جسم صلب قابل للدوران حول محور تحت تأثير قوتين متوازيتين :

نشاط (7)

جهز قرصاً خشبياً قابلاً للدوران بدون احتكاك حول محور أفقي يمر بمركزه O ، كما في الشكل (1 – 33) .

وباستعمال دبابيس تثبيت ، علق ثقلاً W_1 في النقطة Q من القرص بوساطة خيط يربط بالثقل وبنقطة التعليق .

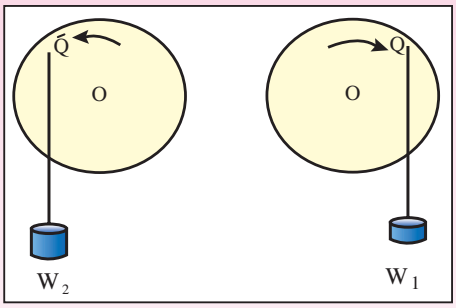
ستشاهد أن القرص يدور ثم ينزل عندما تصبح نقطة التعليق Q ونقطة O على خط رأسي واحد .

ارفع الثقل الأول ، وعلق ثقلاً آخر W_2 في النقطة Q´ من القرص ستشاهد أن القرص يدور ولكن جهة دورانه هذه المرة تختلف عنها في المرة الأولى .

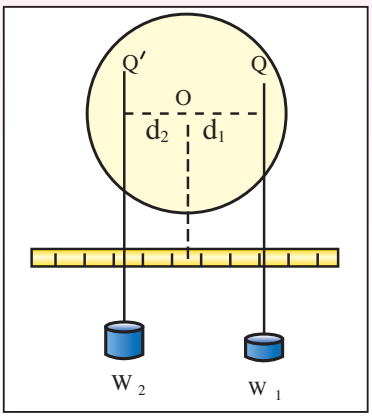
حاول تعليق الثقلين معاً كما في شكل (1 – 34) بحيث يكون القرص في حالة اتزان .

احسب عزم كل قوة (حاصل ضرب القوة في بعدها العمودي عن محور الدوران) ماذا تلاحظ؟

وماذا تستنتج؟



شكل (1 – 33)



شكل (1 – 34)

سنلاحظ من النشاط السابق أن :

$$W_1 \times d_1 = w_2 \times d_2$$

$$\therefore \vec{\tau}_1 = -\vec{\tau}_2$$

$$\therefore \Sigma \vec{\tau} = 0$$

ونستنتج من ذلك أن :

الشرط اللازم تحققه لاتزان جسم قابل للدوران حول محور ، وخاضع لتأثير قوتين متوازيتين ، هو أن تكون محصلة عزمي القوتين المؤثرتين صفراً ، أو أن يكون المجموع الجبري لعزمي القوتين صفراً .

ولحساب محصلة قوتين متوازيتين باتجاه واحد أو باتجاهين متعاكسين فإنك بعد إجراء الدرس العملي رقم (2) . ستستنتج أن :

1 – محصلة قوتين متوازيتين ومتفقتين بالاتجاه هي قوة جديدة تتفق معهما في الاتجاه ، ومقدارها يساوي مجموع مقداريهما ، أما نقطة تأثيرها فتقع على الخط الواصل بين نقطتي تأثيريهما ، وتقسمه داخلياً بنسبة عكسية لمقداريهما .

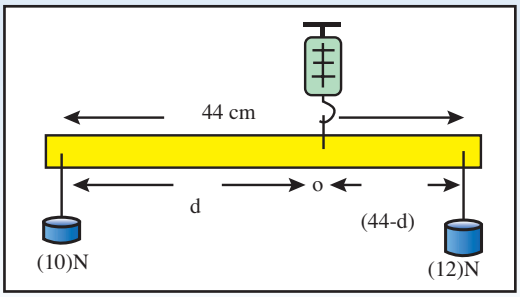
2 – محصلة قوتين متوازيتين ومختلفتين بالاتجاه هي قوة جديدة تتفق مع القوة الكبرى في الاتجاه ومقدارها يساوي الفرق بين مقداريهما ، أما نقطة تأثيرها فتقع على امتداد الخط الواصل بين نقطتي تأثيريهما ، وتقسمه خارجياً بنسبة عكسية .

ملاحظة :

إذا أثرت في جسم صلب عدة قوى متوازية فإننا نستطيع إيجاد محصلة هذه القوى ، بإيجاد محصلة قوتين منها ، ثم إيجاد محصلة هذه المحصلة مع القوة الثالثة ، . . . وهكذا . . حتى نصل إلى المحصلة النهائية .

مثال 11

مسطرة خفيفة (يمكن إهمال وزنها) عَلَّقْنا بها ثقلين مقدارهما 12 N ، 10 N : والمسافة بين نقطتي تأثيريهما 44 cm . احسب بعد النقطة – عن الثقل الأول – والتي يجب تعليق ميزان زنبركي عندها لكي تتزن المسطرة أفقياً واحسب كم تكون قراءة الميزان الزنبركي؟



شكل (1 – 35)

الحل

المسطرة متزنة فإنه بافتراض أن بعد نقطة تعليق الميزان الزنبركي عن الثقل الأول هي d وبعدها عن الثقل الثاني (44 - d) cm .

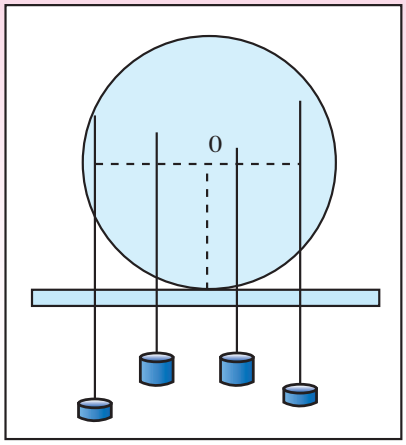
$$W_1 \times d_1 = W_2 \times d_2$$
$$10 \times d = 12\,(44-d)$$
$$10d = 528 - 12d$$
$$\therefore\ 22d = 528$$
$$\therefore\ d = 24\ \text{cm}$$

وتكون قراءة الميزان هي محصلة القوتين وتساوي $12 + 10 = 22\ N$

1-6-2 اتزان جسم صلب قابل للدوران حول محور تحت تأثير عدة قوى متوازية :

نشاط (8)

جهز القرص السابق [في نشاط (7)] للدوران . بدون احتكاك حول المحور المار بنقطة O وعلق من عدة نقاط فيه أثقالاً مختلفة بحيث يبقى القرص متزناً كما في شكل (1 – 36) احسب عزوم الأثقال حول محور الدوران .



شكل (1 – 36)

من النشاط السابق نستنتج أن :

$$\vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2 + \vec{\tau}_3 + \ldots\ldots = 0$$
$$\Sigma\,\vec{\tau} = 0 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (9 - 1)$$

أي عندما يكون الجسم الصلب ، القابل للدوران حول محور ، خاضعاً لعدة قوى متوازية فإنه يتزن إذا كانت محصلة عزوم القوى (بالنسبة لمحور الدوران) معدومة ، أي تساوي الصفر .

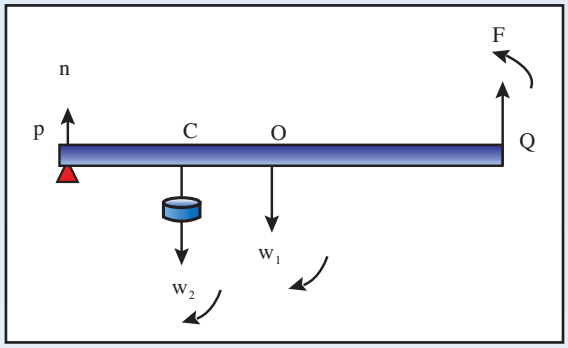
3-6-1 القانون العام لاتزان الجسم الصلب :

درست سابقاً أنه ليتزن الجسم الصلب يجب أن تكون محصلة القوى المؤثرة فيه مساوية للصفر ، ولكن هذا الشرط لايكفي لمنع الجسم الصلب من الدوران ولهذا يجب إضافة شرط آخر إذا أردنا للجسم الصلب أن يتزن تماماً هو أن تكون محصلة عزوم القوى بالنسبة لمحور الدوران صفراً وبذلك تصبح شروط الاتزان هي :

$$\Sigma \vec{F}_x = 0$$
$$\Sigma \vec{F}_y = 0$$
$$\Sigma \vec{\tau} = 0$$

مثال 12

ساق معدنية منتظمة المقطع وزنها 20 N وطولها 1 m . ترتكز عند طرفها P على حافة معدنية كما في شكل (1-37) ، علق ثقلاً مقداره 40 N عند نقطة C التي تبعد عن الطرف P بمقدار 30 cm ، وأثرت قوة F بالاتجاه المبين على الشكل عند الطرف الحر للساق ، بحيث جعلت الساق والثقل في حالة اتزان . احسب مقدار القوة F ورد فعل الحاجز المعدني n .



شكل (1 - 37)

الحل

وزن الساق 20 N ويعمل رأسياً إلى أسفل عند منتصف الساق لأن الساق متجانس ومنتظم المقطع عند تطبيق شروط الاتزان :

$$\Sigma F_x = 0$$
$$\because \quad \Sigma F_y = 0$$
$$\therefore \quad F + n - W_1 - W_2 = 0$$
$$F + n - 20 - 40 = 0 \quad ..... \quad (1)$$

بأخذ العزوم حول نقطة P نجد أن :

$$(F \times PQ) + (n \times 0) - (W_1 \times OP) - (W_2 \times CP) = 0$$

$$(F \times 1) + 0 - (20 \times 0.5) - (40 \times 0.3) = 0$$

$$\therefore \quad F - 22 = 0 \qquad \therefore \quad F = 22\ N$$

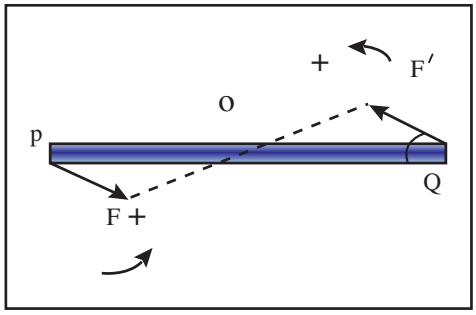
بالتعويض في المعادلة (1) عن قيمة F :

$$22 + n - 20 - 40 = 0$$

$$\therefore \quad n = 38\ N$$

حاول إعادة الحل بأخذ العزوم حول نقطة أخرى من الساق . ماذا تستنتج؟

7-1 الازدواج Couple



شكل (1 – 38)

الازدواج يتكون من قوتين متوازيتين متساويتين مقداراً ومتعاكستين اتجاهاً .

لذلك فإنك عندما تحاول فتح صنبور الماء أو تدوير عجلة القيادة في السيارة فإنك تطبق قوتين متساويتين متوازيتين باتجاهين متضادين ، نقول عندئذ إنك تطبق ازدواجاً .

في شكل (1–38) PQ جسم صلب يخضع لازدواج ، بحيث تؤثر القوتان (F , F') في النقطتين (P ، Q) من الجسم باتجاهين متوازيين ويميل كل منهما بزاوية (θ) على الخط (PQ) الواصل بين نقطتي تأثيرهما .

نحسب عزم القوتين بافتراض أن الجسم قابل للدوران حول نقطة (O) وهي اختيارية .

من الشكل يتضح أن :

$$\tau = F \times OP \times \sin\theta$$

$$\tau' = F' \times OQ \times \sin\theta$$

$$\because \quad F = F'$$

وهما تعملان على إدارة الجسم في اتجاه واحد يعاكس دوران عقارب الساعة ، يكون كل من العزمين موجباً ويصبح :

$$\tau_t = \tau + \tau'$$

$$\because \quad \tau_t = F \times OP \times \sin\theta + F' \times OQ \times \sin\theta$$

$$= F\,(OP + OQ)\sin\theta$$

$$= F \times QP \times \sin\theta$$

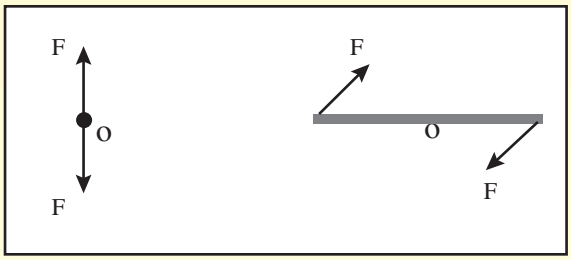
ولما كان المقدار $(QP \times \sin\theta)$ يمثل البعد العمودي بين القوتين نستنتج أن :

(1 - 10) ..... عزم الازدواج = إحدى القوتين x ذراع الازدواج

ووحدة عزم الازدواج هي N. m

ملاحظات مهمة :

1 – إذا كانت النقطة O في شكل (1–38) لا تقع بين النقطتين (P. Q) على الخط الواصل بينهما ، ولكنها تقع على امتداده . فإن قيمة عزم الازدواج لاتتغير ولكن الاتجاه قد يتغير .

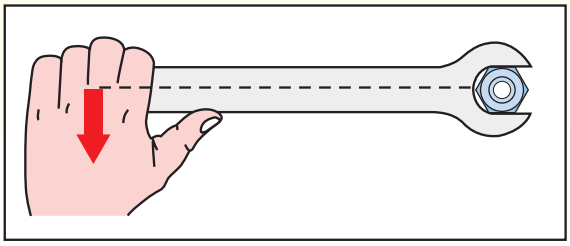


شكل (1 – 39)

2 – إذا حافظت قوتا الازدواج على اتجاهيهما في أثناء الدوران فإن الجسم يتزن حينما ينطبق خط عمل القوتين أحدهما على الآخر وتصبح القوتان متضادتين مباشرة . شكل (1–39) .

3 – عندما يخضع جسم صلب لتأثير ازدواجين متساويين مقداراً ويتضادان اتجاهاً فإن الازدواجين يكونان متزنين .

4 – كل جسم يدور حول محور لابد أن يكون خاضعاً لازدواج يقوم بإدارته . وكثيراً مانشاهد أن قوة واحدة تقوم بإدارة الجسم ، كما في حالة فتح أو غلق الباب ، أو فك الصواميل وفي الحقيقة أن سبب ذلك وجود قوة أخرى هي قوة رد الفعل عند محور الدوران وهي تشكل ازدواجاً مع القوة المؤثرة . شكل (1–40) .

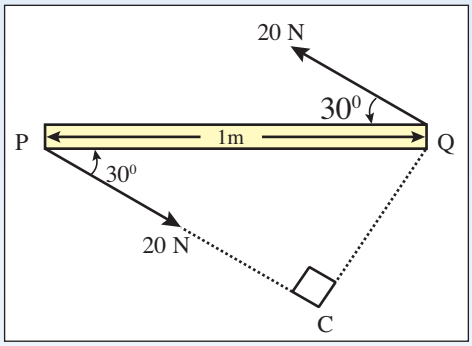


شكل (1 – 40)

مثال 13

مسطرة خشبية PQ قابلة للدوران حول محور ارتكاز في منتصفها ، فإذا كان طولها 1 m . وأثر فيها ازدواج قيمة كل من قوتيه 20 N ، وتميل كل منهما على المسطرة بزاوية 30° . أوجد عزم هذا الازدواج؟ وما أثره في المسطرة؟ ثم بيّن كيف يمكن إبقاء المسطرة متزنة .

الحل



شكل (1 – 41)

من الشكل (1–41) فإن ذراع الازدواج QC

$$QC = PQ \times \sin 30^\circ$$

$$= 1 \times \frac{1}{2}$$

$$= 0.5 \text{ m}$$

∵ عزم الازدواج = إحدى القوتين x ذراع الازدواج

$$\tau = 20 \times 0.5 = 10 \text{ N.m}$$

ويسبب هذا الازدواج دوران المسطرة الخشبية باتجاه عكس دوران عقارب الساعة .

ولجعل المسطرة متزنة نؤثر فيها بازدواج آخر عزمه يساوي 10 N.m ، يعمل بعكس اتجاه عزم الازدواج الأول أي في اتجاه دوران عقارب الساعة .

تذكر أن

1. الكميات العددية هي كميات يكفي لتحديدها معرفة المقدار ووحدة القياس .
2. الكميات المتجهة هي كميات يلزم لتحديدها معرفة المقدار والاتجاه ووحدة القياس .
3. الكميتان المتجهتان اللتان لهما المقدار نفسه ليستا متساويتين إذا كان لهما اتجاهان مختلفان .
4. القوة هي المؤثر الذي يحاول تغيير شكل الجسم أو حالته من حيث السكون أو الحركة ، ولها مظاهر مختلفة على الأجسام .
5. مقدار القوة المحصلة لمتجهين يتغير بتغير الزاوية بين اتجاهي المتجهين .
6. أكبر قيمة لمحصلة متجهين هي عندما تكون الزاوية بينهما $\theta = 0^\circ$ ، وأصغر قيمة للمحصلة عندما تكون الزاوية $\theta = 180^\circ$.
7. تحليل المتجه عملية معاكسة لعملية تركيب متجهين متعامدين ، ويسمى المتجهان الناتجان من التحليل (بالمركبتان) .
8. الجسم الصلب المتماسك هو الذي يحتفظ بشكله ثابتاً ، وتكون أجزاؤه مثبتة بعضها ببعض عند التأثير فيه بقوة خارجية .
9. يقال إن القوى المؤثرة في جسم متزنة عندما تكون محصلتها مساوية للصفر .
10. الجسم المتزن هو جسم تؤثر فيه قوى متزنة .
11. إذا اتزن جسم تحت تأثير قوتين متلاقيتين عند نقطة فإن هاتين القوتين تكونان متساويتين بالمقدار ومتعاكستين بالاتجاه ، ولهما خط عمل واحد .
12. لكي يكون الجسم الصلب المتماسك الخاضع لثلاث قوى مستوية ومتلاقية عند نقطة متزناً يكفي أن تكون محصلة أي قوتين مساوية للقوة الثالثة مقداراً ومعاكسة لها اتجاهاً .

13 عزم القوة هو الأثر الدوراني للقوة الخارجية المؤثرة في الجسم الصلب المتماسك القابل للدوران حول محور .

14 عندما تؤثر في جسم صلب ومتماسك قوتان متوازيتان ومتساويتان بالمقدار ومتعاكستان بالاتجاه فإن الجسم لايقوم بحركة انتقالية ولايكون متزناً ، بل يدور حول محور .

15 لكي يتزن الجسم الصلب المتماسك القابل للدوران حول محور ، وخاضع لتأثير قوتين متوازيتين ، أو أكثر ، لابد أن تكون محصلة عزوم القوى المؤثرة فيه مساوية للصفر .

16 لكي يتزن الجسم الصلب المتماسك القابل للدوران حول محور والخاضع لعدة قوى مستوية لابد أن تكون محصلة عزوم القوى المؤثرة (بالنسبة لمحور الدوران) مساوية للصفر .

17 يتكون الازدواج من قوتين متوازيتين ومتساويتين مقداراً ومتعاكستين اتجاهاً وتؤثران في جسم واحد .

18 عندما يخضع الجسم الصلب المتماسك لتأثير ازدواجين متساويين مقداراً ومتعاكسين اتجاهاً ، فإن الازدواجين يكونان متزنين .

19 كل جسم صلب متماسك وقابل للدوران حول محور ، لابد أن يكون خاضعاً لازدواج يقوم بإدارته .

التقويم

المجموعة الأولى : الأسئلة الموضوعية

السؤال الأول :

أ – اكتب بين القوسين الاسم أو المصطلح العلمي الذي يدل عليه كل من العبارات التالية :

1. المتجه المفرد الذي يقوم بعمل باقي المتجهات . (.....)
2. كميات فيزيائية يكفي لتحديدها المقدار فقط . (.....)
3. كميات فيزيائية يلزم لتحديدها معرفة مقدارها واتجاهها . (.....)
4. نوع من المتجهات مقيد بنقطة تأثير وخط عمل . (.....)
5. نوع من المتجهات لها مقدار ولها اتجاه ولا تعتبر كميات متجهة . (.....)
6. المتجهات التي يمكن نقلها من مكان لآخر دون أن تتغير قيمتها بشرط المحافظة على مقدارها واتجاهها . (.....)
7. المتجه المفرد (الواحد) الذي يكافئ عدة متجهات مقداراً واتجاهاً . (.....)
8. العملية التي يتم فيها الاستعاضة عن عدد من المتجهات بمتجه واحد . (.....)
9. العملية التي يتم فيها الاستعاضة عن متجه واحد بمتجهين متعامدين . (.....)
10. قوى محصلتها (صفر) . (.....)
11. الكمية العددية الناتجة من حاصل ضرب مقدار أحد المتجهين في مسقط الآخر عليه . (.....)
12. متجه مقداره يساوي مساحة متوازي الأضلاع المنشأ على المتجهين ، واتجاهه عمودي على المستوى الذي يجمعهما . (.....)

13 الجسم الذي تكون أجزاءه مثبتة ببعضها البعض ، ويحتفظ بشكل ثابت عند التأثير عليه بقوى خارجية . (.....)

14 الأثر الدوراني للقوة الخارجية المؤثرة في جسم قابل للدوران حول محور . (.....)

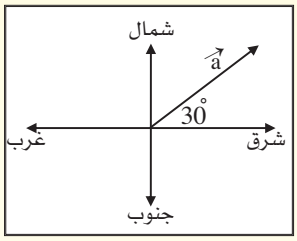
15 البعد العمودي بين نقطة تأثير القوة ومحور الدوران . (.....)

السؤال الثاني :

ضع بين القوسين علامة (✓) أمام العبارة الصحيحة و علامة (×) أمام العبارة غير الصحيحة فيما يلي :

1 الإزاحة من المتجهات المقيدة بينما القوة متجه حر يمكن نقله . ( )

2 المتجه $(\vec{a})$ الموضح بالشكل المقابل يميل بزاوية (30°) شمال الشرق . ( )



3 جمع المتجهات عملية إبدالية حيث $[\vec{a} + \vec{b} = \vec{b} + \vec{a}]$. ( )

4 يمكن لمحصلة متجهين متساويين مقداراً أن تساوي مقدار أحدهما وذلك إذا كانت الزاوية بينهما (120°) . ( )

5 متجهان $[\vec{a} = (4)\ units\ ,\ \vec{b} = (6)\ units]$ يمكن أن تكون محصلتهما $(24)\ units$ ( )

6 مقدار القوة المحصلة لأي قوتين لا يتغير بتغير مقدار الزاوية بينهما . ( )

7 يتساوى المجموع العددي والمجموع الاتجاهي لأي متجهين عندما يكونا في اتجاه واحد . ( )

8 طرح المتجهات هي العملية العكسية لجمع (تركيب) المتجهات . ( )

9 عند إتزان جسم تحت تأثير ثلاث قوى مستوية ومتلاقية فإن محصلة كل قوتين تساوي مقداراً وتعاكس اتجاهاً القوة الثالثة . ( )

10 القوى المتزنة تمثل بمضلع مقفل . ( )

11 إذا كان خـط عمـل القوة المؤثرة على جسـم قابل للـدوران حول محور يمر بمحـور الدوران فإن عزم القوة يكون أكبر ما يمكن . ( )

12 عزم الازدواج الذي يخضع له جسـم قابل للدوران حول محور يمر بمنتصفه مِثْلا عزم إحدى القوتين المحدثتين له . ( )

13 كل جسم يدور حول محور لابد وأن يخضع لازدواج يقوم بإدارته . ( )

السؤال الثالث :

أكمل العبارات التالية بما يناسبها علمياً :

1 الكتلة والزمن والطول من الكميات الفيزيائية ..... بينما القوة والإزاحة من الكميات الفيزيائية .....

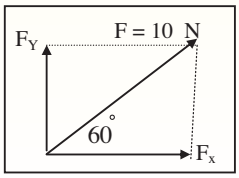
2 محصلة متجهين متتاليين هي المتجه الواصل من ..... المتجه الأول إلى .... المتجه الثاني .

3 تكون محصلة متجهين أكبر ما يمكن عندما تكون الزاوية بينهما .....

4 كلما زادت الزاوية بين متجهين فإن مقدار محصلتهما .....

5 العملية المعاكسة لجمع (تركيب) المتجهات هي .....

6 مركبة المتجه $[\vec{F} = 10N]$ باتجاه محور السينات $(\vec{F_x})$ تساوي .... نيوتن .



7 يشترط لاتزان جسم صلب تحت تأثير قوتين متلاقيتين أن يكونا .... مقداراً ، ..... اتجاها ، ولهما ..... .

8 يكون عزم القوة (τ) موجباً إذا كان اتجاه دوران الجسم ..... اتجاه دوران الساعة .

9 إذا كان خط عمل القوة المؤثرة على جسم قابل للدوران حول محور موازٍ لمحور الدوران فإن عزم هذه القوة يكون ..... .

10 يتكون الازدواج من ..... متوازيتين ، و..... مقداراً ، و..... اتجاهاً .

السؤال الرابع :

اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يلي ، وضع علامة (✓) في المربع المقابل لها :

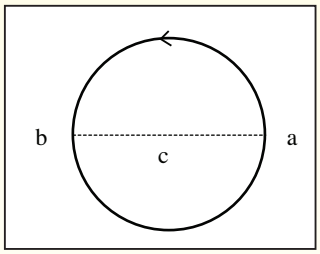
1 واحداً فقط من الكميات التالية كمية ممتدة وهو :

☐ القوة ☐ الإزاحة ☐ الإجهاد ☐ العجلة

2 تصنف القوة ككمية فيزيائية على أنها كمية :

☐ ممتدة ☐ عددية ☐ متجهة حرة ☐ متجهة مقيدة

3 إذا تحرك جسيم من نقطة (a) إلى نقطة (b) حسب المسار الموضح بالشكل المقابل ، فإن مقدار :



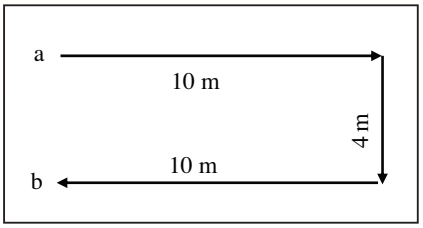
☐ إزاحته تساوي نصف محيط الدائرة

☐ المسافة التي قطعها تساوي قطر الدائرة

☐ إزاحته تساوي نصف قطر الدائرة

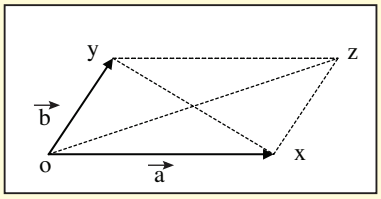
☐ إزاحته تساوي قطر الدائرة

4 إذا تحرك جسيم من نقطة (a) إلى نقطة (b) حسب المسار الموضح بالشكل المقابل ، فإن مقدار :



	المسافة المقطوعة (بالمتر)	الإزاحة الحادثة (بالمتر)
☐	24	4
☐	24	24
☐	4	24
☐	4	صفر

5 الشكل المقابل يوضح متجهان $\vec{a}$ ، $\vec{b}$ غير متساويين ويحصران بينهما زاوية θ ، والمتجه الذي يمثل محصلتها مقداراً واتجاهاً :



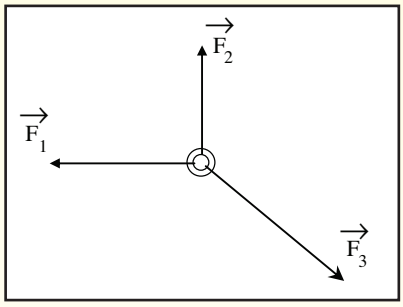
☐ XZ ☐ OZ

☐ XY ☐ ZY

6 متجهان متساويان مقداراً ، مقدار كل منهما UNITS 20 ويحصران بينهما زاوية مقدارها 120° فإن مقدار محصلتهما يساوي بالوحدة UNITS :

☐ صفر ☐ 10 ☐ 20 ☐ 40

7 الشكل المقابل يوضح حلقة معدنية متزنة تحت تأثير ثلاث قوى مستوية ومتلاقية فإذا كان $(\vec{F}_1 = 16N , \vec{F}_2 = 12N)$ وهما متعامدان فإن القوة $\vec{F}_3$ بوحدة النيوتن تساوي :-



☐ 28 N تصنع زاوية 135° مع كل من $\vec{F}_2$ ، $\vec{F}_1$.

☐ 20 N وتصنع زاوية 36.66° مع $\vec{F}_1$.

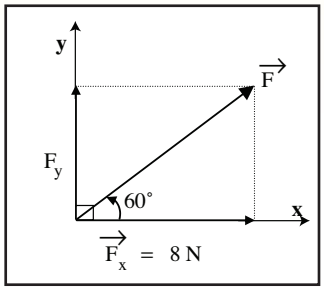
☐ 20 N وتصنع زاوية 143.34° مع $\vec{F}_2$.

☐ 20 N وتصنع زاوية 143.34° مع $\vec{F}_1$.

8 متجهان $(\vec{A} , \vec{B})$ مقدارهما cm (10 , 15) على الترتيب ، فإن محصلتهما لا يمكن أن تساوي بوحدة (cm) :

☐ صفر ☐ 25 ☐ 5 ☐ 13

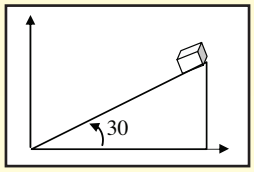
9 الشكل يوضح مقدار إحدى مَرْكَبَتَي المتجه $\vec{F}$ ويكون مقدار المتجه F بوحدة النيوتن (يساوي) :



☐ 4 ☐ 8

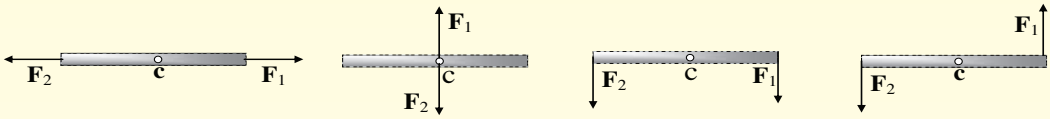
☐ 16 ☐ 6.928

10 الشكل المقابل يوضح مكعب كتلته 5 Kg فإذا وضع ساكناً عند قمة مستوى أملس يميل على الأفقي بزاوية 30° فإن مقدار القوة المسئولة عن حركة المكعب بوحدة النيوتن يساوي :



☐ 5 ☐ 25 ☐ 50 ☐ 34.3

11 الأشكال التالية تمثل عصا خشبية قابلة للدوران حول محور عند النقطة C فإذا أثرت عليها قوتان (F_2 ، F_1) فإن مجموع عزمي القوتين τ يكون أكبر ما يمكن في الشكل :

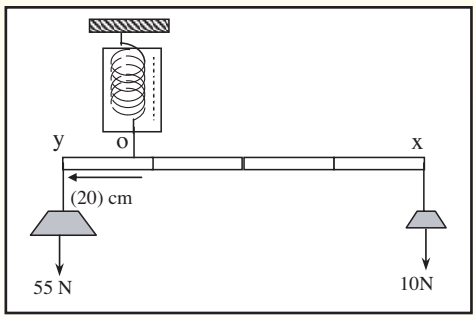


☐ ☐ ☐ ☐

12 قضيب معدني متجانس طوله 8m ووزنه 40N ، يستند بإحدى نقاطه على رأس مدبب ، علق في إحدى نهايته ثِقَلٌ قدره 40N ، فإذا اتزن القضيب أفقياً فإن بعد نقطة الإسناد عن الثقل المعلق بوحدة المتر يساوي :

☐ صفر ☐ 2 ☐ 4 ☐ 6

13 الشكل المقابل يوضح ساقاً معدنية منتظمة المقطع طولها 1 m ووزنها 10 N ، معلقة من نقطة O في ميزان زنبركي فإذا علق في الطرف X ثِقَلٌ قدره 10 N ، وفي الطرف Y ثِقَلٌ قدرة 55 N فإن :



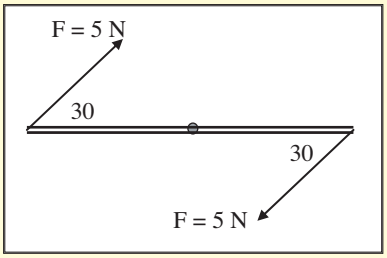
☐ الساق تتزن أفقياً وقراءة الميزان 75 N.

☐ الساق تتزن أفقياً وقراءة الميزان 55 N .

☐ الساق تدور باتجاه حركة عقارب الساعة وقراءة الميزان 75 N .

☐ الساق تدور عكس حركة عقارب الساعة وقراءة الميزان 75 N .

14 الشكل المقابل يوضح قوتين متساويتين كل منهما 5 N تؤثران على ساق معدنية طولها 2 m فإن عزم الازدواج المطبق على الساق بوحدة N.m يساوي :



- ☐ 2.5
- ☐ 5
- ☐ 10
- ☐ 6.20

المجموعة الثانية : الأسئلة المقالية

السؤال الخامس :

أ – مستعيناً بمقياس رسم مناسب وأدواتك الهندسية ارسم المتجهات التالية :

(1) إزاحة مقدارها 600 Km باتجاه يصنع زاوية مقدارها 40° جنوب الغرب .

(2) قوة مقدارها 70 N تؤثر على جسم باتجاه 60° غرب الشمال .

ب – اذكر العوامل التي يتوقف عليها مقدار محصلة متجهين متلاقيين .

حـ – ما هي شروط حدوث اتزان تام لجسم صلب ؟

السؤال السادس :

علل لكل مما يلي تعليلاً علمياً دقيقاً :

1 – يمكن نقل متجه الإزاحة ولا يمكن نقل متجه القوة .

2 – يمكن الحصول على عدة قيم لمحصلة نفس المتجهين .

3 – لا يمكنك فتح باب غرفة مقفل بالتأثير بقوة تمر بمحور الدوران مهما كانت القوة .

4 – نستخدم مفتاحاً ذا ذراع طويلة عند فتح صواميل إطار السيارة .

السؤال السابع :

حل المسائل التالية :

1 حيثما لزم الأمر اعتبر $g = 10\ m/s^2$

لديك متجهان [$\vec{A} = 9$ units ، $\vec{B} = 6$ units] يؤثران في جسم واحـد .

والمطلوب حساب محصلتهما (مقداراً واتجاهاً) عندما تكون الزاوية بينهما :

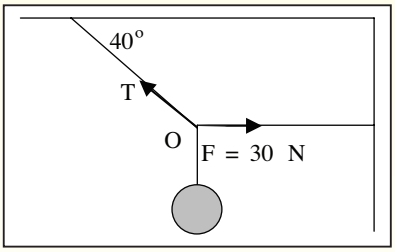
أ- صفر . ب - 30° حـ 90°

د- 120° هـ - 180°

2 أثرت قوتان $\vec{F_1} = 6N$ ، $\vec{F_2} = 8N$ متلاقيتان على جسم وكانت الزاوية بين القوتين $\Theta = 40^\circ$ والمطلوب حساب محصلة القوتين مقداراً واتجاهاً .

أ - بطريقة متوازي أضلاع القوى ب - بالطريقة الحسابية

3 الشكل المقابل يوضح جسماً معلقاً بوساطة ثلاثة خيوط عديمة المرونة متصلة معاً عند النقطة O فإذا كان الجسم متزناً .

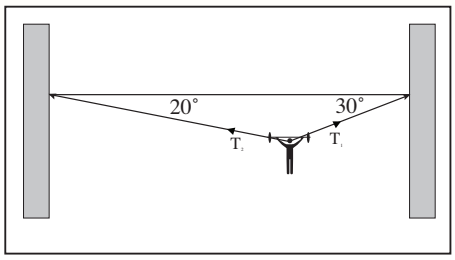


احسب :

أ - قوة الشد في الخيط T .

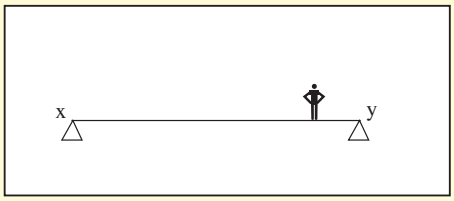
ب - وزن الجسم .

4 الشكل المقابل يوضح حبلاً مشدوداً بين وتدين رأسيين ويتعلق به طفل كتلته 15 Kg فإذا كان الطفـل متزناً في هذا الوضع احسـب :



قوة الشد في كل من الحبلين .

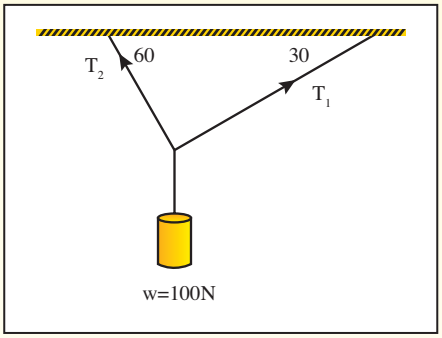
5 الشكل المقابل يوضح لوحاً خشبياً X y طوله 2 m منتظم المقطع ووزنه 100 N يستند على طرفين مدببين عند x , y ويقف طفل يزن 250 N على بعد 40 cm من طرفه y احسب رد الفعل عند كل من الطرفين X , y .



6 قارب مشدود بحبلين ، بينهما زاوية 30° ، فإذا كانت قوتا الشد في كل من الحبلين 200 N ، 300 N ، فاحسب مقدار القوة المحصلة التي تؤثر في القارب ، وحدد اتجاهها .

7 جسم معلق بحبلين متساويين في الطول بينهما زاوية 120° وضح بالرسم القوى المؤثرة في الجسم ، وإذا كانت قوة الشد في كل من الحبلين 24 N ، فاحسب وزن الجسم .

8 استعن بالبيانات على الشكل (1 – 38) واحسب قوة الشد في كل من الخيطين T_2 ، T_1 .



شكل (1 – 38)

9 قضيب معدني متجانس AB طوله 50 cm قابل للدوران حول محور أفقي يمر بمنتصفه O ، يعلق عند النقطة C التي تقع في منتصف المسافة OA جسم وزنه 2000 N ، احسب وزن الجسم اللازم تعليقه عند B ليبقى القضيب متزناً .

10 قوتان متوازيتان متفقتان بالاتجاه ، والبعد بين نقطتي تأثيريهما 76 cm فإذا كانت القوة التي تتزن معهما 38 N ، وتبعد عن نقطة تأثير الكبرى منهما 20 cm ، فاحسب مقدار كل من القوتين .

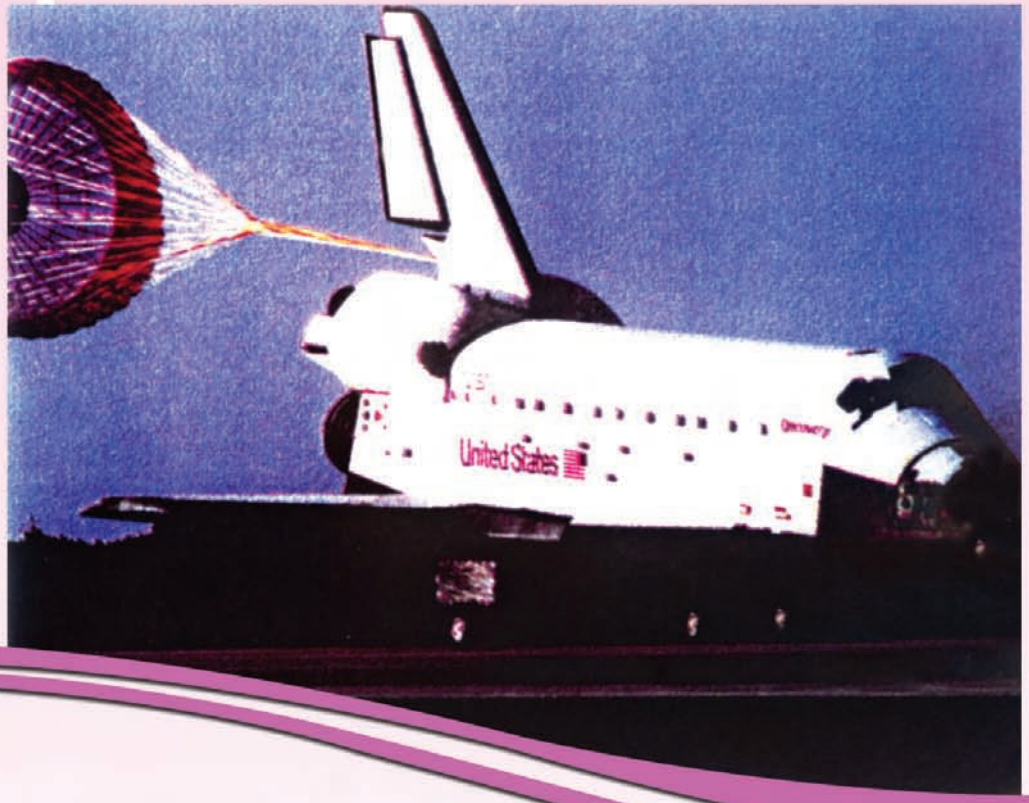
11 تؤثر القوتان المتوازيتان 90 N , 60 N في جسم صلب ، بحيث كان البعد بين نقطة تأثيرهما 120 cm . احسب محصلتهما مقداراً واتجاهاً . وموضع نقطة تأثيرها عندما تكون :

أ – القوتان باتجاه واحد .

ب – القوتان مُتعاكِسَتا الاتجاه .

الفصل الثاني

حركات الأجسام والقوى



يهدف هذا الفصل إلى دراسة الزمن وقياسه ، وكذلك دراسة الحركة في خط مستقيم من خلال تعرف مفهوم الإزاحة ومفهوم كل من السرعة والعجلة المنتظمة ثم تطبيق معادلات الحركة المعجلة بانتظام على خط مستقيم كما يهدف إلى تعميق مفاهيم مسببات الحركة من خلال دراسة قوانين نيوتن الثلاثة .

1-2 السرعة

عندما يتغير موضع جسم خلال فترة من الزمن ، يكون الجسم قد تحرك خلال هذه الفترة ومسارحركة الجسم يمكن أن يكون مساراً منحنياً أو مساراً مستقيماً أو يجمع بينهما . فإذا كان مسار الحركة مساراً مستقيماً سُميت الحركة عندئذ بالحركة في خط مستقيم وهي أبسط أنواع الحركة .

وتوصف حركة بعض الأجسام حولنا بالسريعة بينما توصف حركة بعضها الآخر بالبطيئة . وهذا الوصف لا أساس كمياً له يسمح لنا بمقارنة حركة الأجسام .

ففي حياتنا اليومية لو تحركت سيارتان على المسار نفسه فإن حركة إحداهما تكون أسرع من الأخرى إذا قطعت المسار نفسه في فترة زمنية أقل من الأخرى . كذلك لو تحركت سيارتان في مسارين مختلفين في الطول في الفترة الزمنية نفسها . فإن السيارة على الطريق الأطول تكون هي الأسرع من الأخرى .

على ذلك فلكي نصف حركة الأجسام وصفاً كمياً لابد من عاملين أساسيين :

أ – طول المسار .

ب – الزمن اللازم لقطع المسار .

واعتماداً على ذلك يمكن تعريف السرعة (Speed) على أنها.

المسافة المقطوعة خلال وحدة الزمن

فإذا قطع جسم مسافة (Δx) خلال فترة زمنية (Δt) فإن السرعة (v) لحركة الجسم :

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

وتلك السرعة المعبر عنها بالعلاقة السابقة هي كمية عددية لأنها ليست محددة الاتجاه ووحدة قياسيها (m/s) لو كانت المسافة مقاسة بالمتر والزمن بالثانية .

السرعة المنتظمة :

ولو كان الجسم يقطع مسافات متساوية خلال فترات زمنية متساوية يقال أن الجسم يتحرك بسرعة

منتظمة (ثابتة) وهنا :

$$v = \frac{x}{t}$$

السرعة المتغيرة :

عندما يقطع الجسم مسافات متساوية في أزمنة غير متساوية ، أو يقطع مسافات غير متساوية في أزمنة متساوية ، يقال إن سرعته متغيرة (غير ثابتة) .

السرعة المتجهة :

عندما يتحرك جسم في خط مستقيم ، يتطابق عندئذ مفهوم الإزاحة مع مفهوم المسافة فقط عندما تكون الحركة باتجاه ثابت .

أما عندما تكون حركة الجسم ليست في خط مستقيم فلابد من التعرف إلى كمية فيزيائية أخرى لها وحدات السرعة نفسها ولكنها تأخذ اتجاه الحركة أساساً لتحديدها وتسمى السرعة المتجهة .

وتعرف السرعة المتجهة v بأنها التغير في الموضع $(\overrightarrow{\Delta x})$ خلال وحدة الزمن .

والتغير في الموضع هو الإزاحة $(\overrightarrow{r})$ وعلى ذلك فإن :

$$\overrightarrow{v} = \frac{\overrightarrow{r}}{t}$$

وهي كمية متجهة لها اتجاه الإزاحة نفسه أما مقدارها فيحسب من حاصل قسمة مقدار الإزاحة على الزمن المستغرق للحركة .

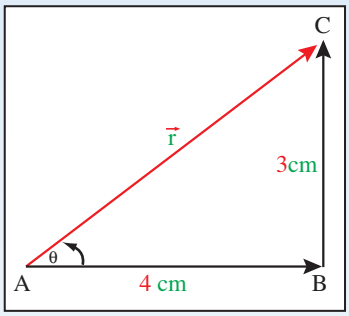
السرعة المتجهة المنتظمة Uniform Velocity :

إذا قطع جسم إزاحات متساوية ومتفقة الاتجاه في فترات زمنية متساوية فإن السرعة المتجهة لحركة الجسم تكون سرعة متجهة منتظمة .

مثال 1

تحركت سيارة باتجاه الشرق فقطعت مسافة 8 km خلال 6 min ثم غيرت اتجاهها لجهة الشمال وقطعت مسافة 6 km خلال 4 min احسب الإزاحة المحصلة للسيارة ، وسرعتها المتجهة .

الحل



شكل (1-2)

1- نرسم الإزاحات بمقياس رسم مناسب كل 1cm يمثل 2km

2- نوجد الإزاحة المحصلة مقداراً واتجاهاً .

3- من الرسم $r = 5\ cm$

الإزاحة المحصلة $\therefore\ \vec{r} = 5 \times 2$

$= 10\ km$

وباتجاه يصنع زاوية 36.86° مع $\vec{AB}$ أو شمال الشرق

$$\vec{v} = \frac{\vec{r}}{t}$$

$$= \frac{10}{(4+6)\ min} = 1\ km / min$$

باتجاه يصنع زاوية 36.86° شمال الشرق

2-2 العجلة

إذا راقبت حركة السيارة على الطريق ، تلاحظ من النظر إلى عدّاد السرعة واتجاه البوصلة أن مقدار سرعتها واتجاه حركتها يتغيران بحسب أحوال الطريق بعبارة أخرى تتغير السرعة المتجهة للسيارة إما بالزيادة أو بالنقصان .

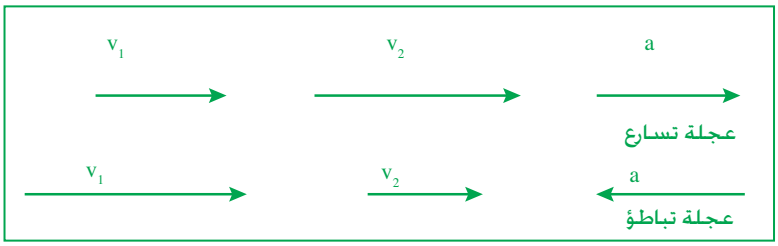
وتُسمى الحركة التي تتغير فيها سرعة الجسم المتحرك بمرور الزمن بالحركة المعجلة ، أي أن السيارة تتحرك بعجلة ويرمز للعجلة بالرمز $(\vec{a})$.

العجلة : هي المتجه الناتج من التغير في متجه السرعة خلال وحدة الزمن .

$$\text{العجلة (a)} = \frac{\text{التغير في السرعة المتجهة } (\overrightarrow{\Delta v})}{\text{الفترة الزمنية } (\Delta t) \text{ التي حدث فيها التغير}}$$

$$\vec{a} = \frac{\overrightarrow{\Delta v}}{\Delta t}$$

واتجاه العجلة هو اتجاه التغير نفسه في السرعة المتجهة أما وحدة قياسها فهي (m/s^2) ، وتكون العجلة عجلة تسارع (Acceleration) إذا كان اتجاهها في اتجاه الحركة ، وتكون عجلة تباطؤ (Deceleration) إذا كان اتجاهها في اتجاه معاكس لاتجاه ا لحركة . شكل (2-2) .



شكل (2-2)

العجلة المنتظمة Uniform Acceleration :

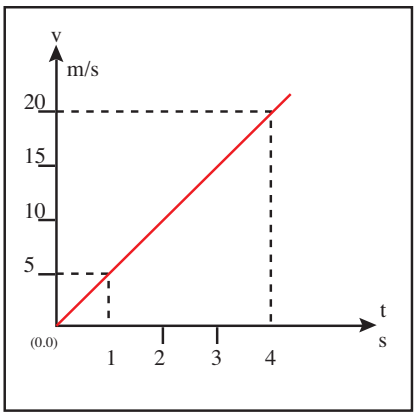
إذا فرضنا أن سيارة بدأت حركتها من السكون وتغيرت سرعتها مع الزمن وفق الجدول التالي :

الزمن t(s)	0	1	2	3	4	5
السرعة v(m /s)	0	5	10	15	20	25

يلاحظ أن سرعة السيارة تتزايد بانتظام في أثناء حركتها بمعدل 5 m/s في كل ثانية . أي أن سرعتها تزيد في كل ثانية بمقدار 5 m/s عن سرعتها في الثانية السابقة لها .

هنا يقال إن السيارة تتحرك بعجلة منتظمة (a) مقدارها $5\ m/s^2$

∴ العجلة المنتظمة لجسم يتحرك في خط مستقيم : تعني حدوث تغيرات متساوية في سرعته خلال فترات زمنية متساوية .



شكل (2-3)

ويلاحظ من تمثيل القراءات السابقة بيانياً أننا نحصل على خط مستقيم يميل على محور الزمن . ماذا يمثل ميل هذا الخط المستقيم؟ وما وحدة قياسه؟

يلاحظ أن ميل الخط المستقيم يساوي قيمة العجلة المنتظمة ووحدة قياسه هي m/s^2

3-2 معادلات الحركة المعجلة بانتظام في خط مستقيم :

أ – افرض أن جسماً بدأ حركته بسرعة ثابتة $V_0 m/s$ على خط مستقيم ، ثم أخذت سرعته تتزايد بانتظام بمعدل زمني ثابت يمثل العجلة $(a) m/s^2$ وواصل الجسم حركته بهذا المعدل لفترة زمنية (t) ، فإن مقدار الزيادة في السرعة يكون (at) ، ويمكن حساب سرعته عند نهاية الفترة الزمنية (t) من العلاقة :

$$v = v_0 + at$$

ملاحظات

عندما يبدأ الجسم حركته من السكون فإن :

$$v_0 = 0$$

$$v = at$$

مثال 2

سيارة تتحرك بسرعة 10m/s . فإذا زاد سائقها من سرعتها بانتظام لتصبح 30 m/s خلال 4s . فاحسب عجلة حركة السيارة .

الحل

$$V = V_0 + at$$

$$30 = 10 + 4a$$

$$\therefore \quad a = \frac{30-10}{4} = \frac{20}{4} = 5 m/s^2$$

ب – أما إذا تحرك الجسم على خط مستقيم بعجلة منتظمة (a) وكانت سرعته الابتدائية (V_0) ، وبلغت بعد (t) ثانية (V_t) ، وقطع مسافة (x) خلال تلك الفترة الزمنية فإنه يمكن إيجاد علاقة تربط بين المقادير السابقة وهي :

$$X = V_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

مثال 3

جسم يتحرك بسرعة ابتدائية مقدارها 12 m/s . وتعجل بانتظام بعجلة مقدارها $2\ m/s^2$. احسب المسافة التي يقطعها خلال 4 s .

الحل

$$\because \quad X = V_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$\because \quad x = 12 \times 4 + \frac{1}{2} \times 2 \times (4)^2$$

$$= 64\ m$$

حـ – ويمكن إيجاد علاقة السرعة النهائية والمسافة والعجلة كما يلي :

$$V^2 = V_0^2 + 2ax$$

مثال 4

احسب أقل مسافة تقطعها سيارة حتى تتوقف تماماً إذا كانت سرعتها الابتدائية 20 m/s . ومقدار عجلة التباطؤ هو $5\ m/s^2$.

الحل

$$\because \quad V^2 = V_0^2 + 2ax$$

$$0 = 20^2 - 2 \times 5 \times x$$

$$10x = 400$$

$$\because \quad x = \frac{400}{10} = 40\ m$$

ويلاحظ من تمثيل القراءات السابقة بيانياً أننا نحصل على خط مستقيم يميل على محور الزمن . ماذا يمثل ميل هذا الخط المستقيم؟ وما وحدة قياسه؟

يلاحظ أن ميل الخط المستقيم يساوي قيمة العجلة المنتظمة ووحدة قياسه هي m/s^2

3-2 معادلات الحركة المعجلة بانتظام في خط مستقيم :

أ – افرض أن جسماً بدأ حركته بسرعة ثابتة $V_0 m/s$ على خط مستقيم ، ثم أخذت سرعته تتزايد بانتظام بمعدل زمني ثابت يمثل العجلة $(a) m/s^2$ وواصل الجسم حركته بهذا المعدل لفترة زمنية (t) ، فإن مقدار الزيادة في السرعة يكون (at) ، ويمكن حساب سرعته عند نهاية الفترة الزمنية (t) من العلاقة :

$$v = v_0 + at$$

ملاحظات

عندما يبدأ الجسم حركته من السكون فإن :

$$v_0 = 0$$

$$v = at$$

مثال 2

سيارة تتحرك بسرعة 10m/s . فإذا زاد سائقها من سرعتها بانتظام لتصبح 30 m/s خلال 4s . فاحسب عجلة حركة السيارة .

الحل

$$V = V_0 + at$$

$$30 = 10 + 4a$$

$$\therefore \quad a = \frac{30-10}{4} = \frac{20}{4} = 5 m/s^2$$

ب – أما إذا تحرك الجسم على خط مستقيم بعجلة منتظمة (a) وكانت سرعته الابتدائية (V_0) ، وبلغت بعد (t) ثانية (V_t) ، وقطع مسافة (x) خلال تلك الفترة الزمنية فإنه يمكن إيجاد علاقة تربط بين المقادير السابقة وهي :

$$X = V_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

مثال 3

جسم يتحرك بسرعة ابتدائية مقدارها 12 m/s . وتعجل بانتظام بعجلة مقدارها $2\ m/s^2$. احسب المسافة التي يقطعها خلال 4 s .

الحل

$$\because \quad X = V_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$\because \quad x = 12 \times 4 + \frac{1}{2} \times 2 \times (4)^2$$

$$= 64\ m$$

حـ – ويمكن إيجاد علاقة السرعة النهائية والمسافة والعجلة كما يلي :

$$V^2 = V_0^2 + 2ax$$

مثال 4

احسب أقل مسافة تقطعها سيارة حتى تتوقف تماماً إذا كانت سرعتها الابتدائية 20 m/s . ومقدار عجلة التباطؤ هو $5\ m/s^2$.

الحل

$$\because \quad V^2 = V_0^2 + 2ax$$

$$0 = 20^2 - 2 \times 5 \times x$$

$$10x = 400$$

$$\because \quad x = \frac{400}{10} = 40\ m$$

4-2 السقوط الحر للأجسام تحت تأثير الجاذبية الأرضية
Freely Falling Bodies

نشاط (1)

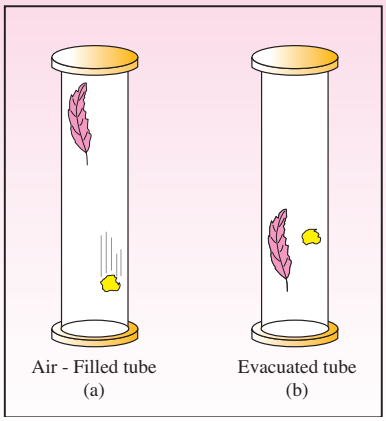
- قف على كرسي حاملاً في إحدى يديك ورقة كراسة ، وفي اليد الأخرى كرة من الصلب أو (قطعة نقود) ثم أسقطهما نحو الأرض من ارتفاع واحد في اللحظة نفسها .
لاحظ أيهما يصل إلى الأرض أولاً .
- لف الورقة على شكل كرة متماسكة ، وأَعِد التجربة مرة أخرى . أيهما يصل إلى الأرض أولاً ؟
ستلاحظ أن كرة الصلب والورقة يصلان إلى الأرض معاً في اللحظة نفسها في الحالة الثانية .
بينما تسبق كرة الصلب الورقة في الحالة الأولى .
إن الاختلاف الوحيد بين الحالتين السابقتين هو أنه عند لف الورقة على شكل كرة أصبحت مساحة سطحها أقل من ذي قبل ، مما قلل من مقاومة الهواء لها في أثناء السقوط .
ماذا يحدث إذا لم يكن هناك هواء يقلل من سرعة الورقة الساقطة !

نشاط (2)

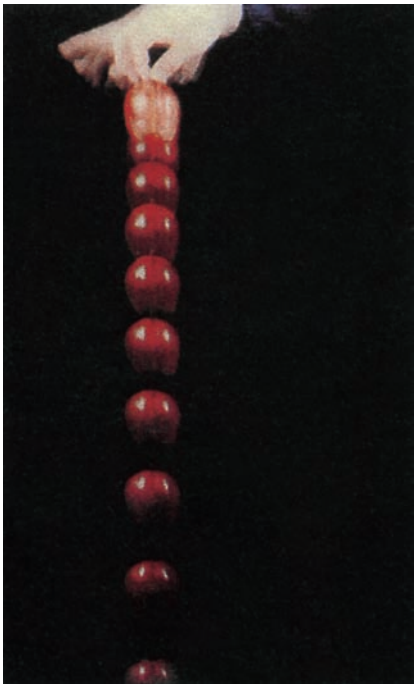
خذ أنبوباً ينتهي بفتحة تتصل بمخلخلة هواء شكل (4-2) أدخل ريشة وقطعة نقود معدنية ، وعندما يستقران في قاع الأنبوبة قم بقلب الأنبوبة رأساً على عقب سجل ملاحظاتك .

ثم أعد التجربة بعد خلخلة الهواء من الأنبوبة . ثم سجل ملاحظاتك .

من النشاطين السابقين نستنتج أنه عند سقوط الأجسام المختلفة من ارتفاع واحد فإنها تصل إلى الأرض في لحظة واحدة (عند إهمال مقاومة الهواء) . وهنا يكون سقوطها سقوطاً حراً .



شكل (4-2)



شكل (5-2)

يتبين مما سبق أن الأجسام الساقطة نحو الأرض سقوطاً حراً تتحرك بعجلة تسارع منتظمة تساوي عجلة الجاذبية الأرضية وهي عجلة ثابتة المقدار في المكان الواحد . وتبلغ قيمتها عند مستوى سطح البحر نحو $9.8\ m/s^2$ ويرمز لها بالرمز (g) .

ويلاحظ أنها تكون عجلة تباطؤ عندما يقذف الجسم رأسياً إلى أعلى . وتنطبق معادلات الحركة المعجلة بانتظام في خط مستقيم على الحركة الرأسية بعجلة الجاذبية الأرضية ، مع استبدال العجلة (a) بالعجلة (g) في حالة السقوط ، وبالعجلة (-g) في حالة القذف رأسياً إلى أعلى .

وبذلك تصبح معادلات الحركة في حالة السقوط الحر تحت تأثير عجلة الجاذبية الأرضية كما يلي :

$$1 - \quad V = V_0 + gt$$

$$2 - \quad y = V_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$3 - \quad V^2 = V_0^2 + 2gy$$

حيث (y) الارتفاع الرأسي

مع ملاحظة أنه :

عندما يسقط الجسم من السكون فإن : $V_0 = 0$

وعندما يقذف رأسياً إلى الأعلى فإن : $V = 0$ عند اقصى ارتفاع يصل إليه الجسم

مثال 5

سقط جسم من ارتفاع ما . فاستغرق 5s . ليصل سطح الأرض ، احسب :

أ – الارتفاع الذي سقط منه .

ب – سرعة الجسم لحظة تصادمه مع سطح الأرض .

الحل

(أ)

$$y = V_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$= 0 + \frac{1}{2} \times 9.8 \times (5)^2$$

$$= 122.5 \text{ m}$$

(ب)

$$V = V_0 + g t$$

$$V = 0 + 9.8 \times 5 = 49\text{m}$$

مثال 6

قذف حجر رأسياً لأسفل بسرعة ابتدائية 20 m/s نحو الأرض من ارتفاع 100 m احسب :

أ - سرعة وصول الحجر إلى الأرض .

ب - زمن وصول الحجر إلى الأرض .

الحل

(أ)

$$V^2 = V_0^2 + 2g\,y$$

$$= 20^2 + 2 \times 9.8 \times 100 = 400 + 1960$$

$$= 2360 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\therefore V \simeq 48.6 \text{ m/s}$$

(ب)

$$V = V_0 + g t$$

$$48.6 = 20 + 9.8t$$

$$\therefore t = \frac{48.60 - 20}{9.8} = \frac{28.6}{9.8}$$

$$\simeq 2.9 \text{ s}$$

مثال 7

قذفت كرة رأسياً إلى الأعلى بسرعة ابتدائية 98 m/s . احسب أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة والزمن اللازم لوصولها إلى هذا الارتفاع .

الحـــل

$$V = V_0 + gt$$

$$0 = 98 - 9.8t$$

$$t = \frac{98}{9.8} = 10\ s$$

$$y = V_0 t + \frac{1}{2} gt^2$$

$$= 98 \times 10 - \frac{1}{2} \times 9.8 \times 10^2$$

$$= 490\ m$$

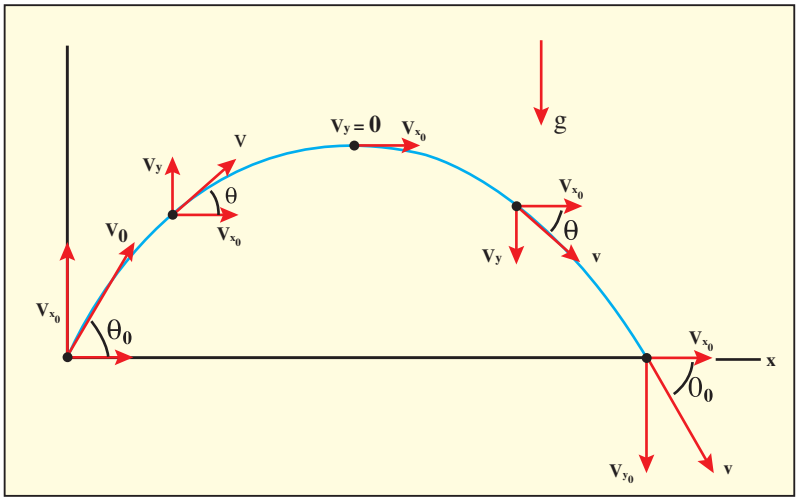
مـلاحظة :

بعد وصول الكرة إلى أقصى ارتفاع تبدأ الكرة في السقوط إلى أسفل وتستغرق الزمن نفسه للعودة إلى نقطة قذفها .

حاول التحقق من ذلك حسابياً .

5-2 حركة الأجسام المقذوفة في مجال الجاذبية الأرضية :

عند قذف كرة باتجاه رأسي إلى الأعلى ، فإن القوة الوحيدة التي تؤثر فيها هي وزنها فقط (بإهمال مقاومة الهواء) وتكون باتجاه معاكس لاتجاه حركة الكرة ، لذلك تتحرك الكرة بعجلة تباطؤ منتظمة (g) وتتناقص سرعتها حتى تصبح صفراً عند أقصى ارتفاع تصل إليه . ثم تعود الكرة نحو الأسفل بفعل جذب الأرض لها ، لذلك تكون حركتها بعجلة تسارع منتظمة (g).



شكل (6-2)

الحـــل

$$V = V_0 + gt$$

$$0 = 98 - 9.8t$$

$$t = \frac{98}{9.8} = 10\ s$$

$$y = V_0 t + \frac{1}{2} gt^2$$

$$= 98 \times 10 - \frac{1}{2} \times 9.8 \times 10^2$$

$$= 490\ m$$

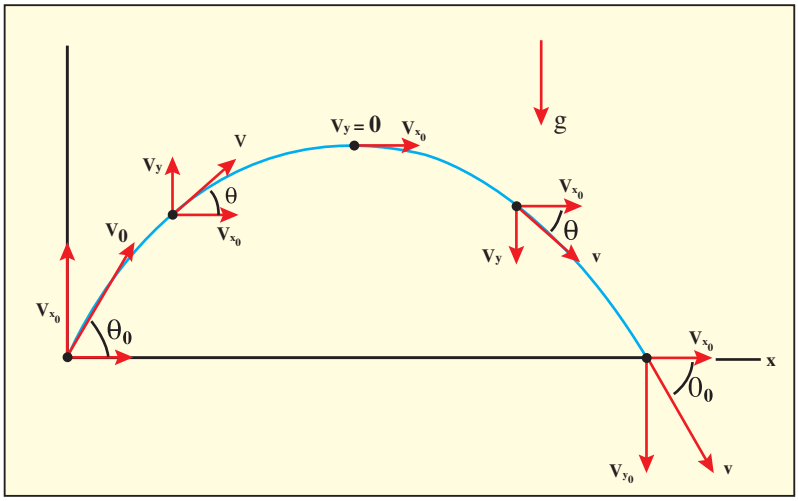
مـلاحظة :

بعد وصول الكرة إلى أقصى ارتفاع تبدأ الكرة في السقوط إلى أسفل وتستغرق الزمن نفسه للعودة إلى نقطة قذفها .

حاول التحقق من ذلك حسابياً .

5-2 حركة الأجسام المقذوفة في مجال الجاذبية الأرضية :

عند قذف كرة باتجاه رأسي إلى الأعلى ، فإن القوة الوحيدة التي تؤثر فيها هي وزنها فقط (بإهمال مقاومة الهواء) وتكون باتجاه معاكس لاتجاه حركة الكرة ، لذلك تتحرك الكرة بعجلة تباطؤ منتظمة (g) وتتناقص سرعتها حتى تصبح صفراً عند أقصى ارتفاع تصل إليه . ثم تعود الكرة نحو الأسفل بفعل جذب الأرض لها ، لذلك تكون حركتها بعجلة تسارع منتظمة (g).



شكل (6-2)

وبشكل عام إذا قذف جسم في أي اتجاه ، فإن القوة الوحيدة التي تؤثر فيه هي قوة جذب الأرض له (بإهمال مقاومة الهواء) .

ولدراسة حركة المقذوفات نختار محورين متعامدين أحدهما مواز للقوة المؤثرة فيه واتجاهه إلى الأعلى وهو المحور (y) . والآخر عمودي عليه وهو المحور (x) بحيث تكون النقطة (0 ، 0) هي النقطة التي قذف منها الجسم . شكل (6-2) .

والزاوية (θ) التي يصنعها اتجاه السرعة الابتدائية (v_0) مع الاتجاه الموجب لمحور x تسمى زاوية القذف .

عند تحليل متجه السرعة الابتدائية (v_0) إلى مركبتين على المحورين x ، y سنجد أن :

المركبة الأفقية $V_{x_0} = V_0 \cos\theta$

المركبة الرأسية $V_{y_0} = V_0 \sin\theta$

ولذلك تعتبر حركة المقذوف محصلة حركتين بآنٍ واحد :

1 – حركة بالاتجاه الأفقي توازي محور (x)

مركبة القوة في هذا الاتجاه = صفراً

لذلك فإن عجلة الحركة في هذا الاتجاه $a = 0$

ولذلك يتحرك المقذوف في الاتجاه الأفقي حركة مستقيمة بسرعة ثابتة هي ($V_0 \cos\theta$) ولذلك يمكن حساب (المدى الأفقي) المسافة الأفقية (x) التي يقطعها المقذوف خلال فترة زمنية (t) من العلاقة :

$$x = V_0 \cos\theta \times t$$

2 – حركة بالاتجاه الرأسي توازي محور (y)

وهي حركة معجلة بانتظام ، عجلة حركتها هي (-g) وسرعتها الابتدائية ($V_0 \sin\theta$) لذلك تنطبق عليها معادلات الحركة المعجلة بانتظام في خط مستقيم بحيث :

$$y = (V_0 \sin\theta)\ t - \frac{1}{2} gt^2$$

$$v_y = (V_0 \sin\theta) - gt$$

$$v_y^2 = (V_0 \sin\theta)^2 - 2gy$$

مثال 8

أَطْلَق مدفع يصنع مع الأفق زاوية 30° قذيفة بسرعة ابتدائية $400\ m/s$. بإهمال مقاومة الهواء ، احسب الزمن اللازم لتصل القذيفة إلى أقصى ارتفاع لها (ذروة مسارها) .

الحل

(اعتبر أن : $g = 10m/s^2$)

$$V_y = (V_0 \sin\theta) - gt$$

$$0 = 400 \sin 30^\circ - 10t$$

$$10t = 400 \times \frac{1}{2}$$

$$\therefore\ t = 20s$$

مثال 9

باستخدام الأرقام نفسها المذكورة في المثال السابق احسب زمن وصول القذيفة إلى الهدف .

الحل

$$\because\ y = (V_0 \sin\theta)\, t - \frac{1}{2} gt^2$$

وعندما تصل القذيفة إلى الهدف فإن : $y = 0$

$$\therefore\ 0 = (400 \sin 30^\circ)t - \frac{1}{2} \times 10t^2$$

$$0 = 200t - 5t^2$$

$$\therefore\ t = \frac{200}{5} = 40\ s$$

قارن بين زمن وصول القذيفة إلى ذروة مسارها وزمن وصولها إلى الهدف .

مثال 10

باستخدام الأرقام نفسها المذكورة في المثالين السابقين احسب المدى الأفقي للقذيفة .

الحل

$$\because\ x = (V_0 \cos\theta)\, t$$

$$\therefore\ x = (400 \cos 30^\circ) \times 40$$

$$\simeq 13856.4m$$

مثال 11

باستخدام الأرقام السابقة في الأمثلة السابقة احسب أقصى ارتفاع يصل إليه المقذوف (ارتفاع الذروة) .

الحل

$$\because \quad V_y^2 = (V_0 \sin\theta)^2 - 2gy$$

$$0 = (400 \sin 30)^2 - 2 \times 10y$$

$$20y = (400 \times \frac{1}{2})^2$$

$$y = 2000m$$

6-2 القوة والحركة :

ارتبطت القوة بالحركة على مدى تاريخ طويل ، فمنذ عصر أرسطو كان العلماء يعرفون أن القوة ضرورية لتحريك جسم ما ، وكانوا يعتقدون أنه لابد من بقاء القوة مؤثرة في الجسم لكي يظل متحركاً ، فإذا رفعت القوة زال تأثيرها وتوقف الجسم عن الحركة ، حتى جاء العالم الإيطالي ، جاليلو جاليلي ، في القرن السابع عشر الميلادي ، وأكد أهمية إجراء التجارب واستخدام المعادلات الرياضية في وصف الظواهر الطبيعية ، وأجرى العديد من التجارب أرسى بها قواعد علم حركة الأجسام ، واستكملها بعده إسحاق نيوتن .

ومن خلال حياتنا اليومية تلاحظ أنك لتحرك مقعدك من مكان إلى آخر في الفصل فإنك إما أن تدفعه أمامك ، أو تسحبه خلفك ، وعندما تحرك مسماراً ليدخل في قطعة من الخشب ، أو ليخرج منه ، فإنك إما أن تدفعه بالمطرقة ، أو تسحبه بها .

كذلك إذا حركت سيارة صغيرة تعمل ببطارية واعترضت مسار حركتها بيدك فإنها ستتوقف . من ذلك نستنتج أن الجسم الساكن يجب أن تؤثر فيه قوة لكي تحركه ، وكذلك الجسم المتحرك يجب أن تؤثر فيه قوة لكي توقفه ، فإذا لم تؤثر فيه قوة (تعيق حركته مثل قوة الاحتكاك) استمر في حركته في الاتجاه نفسه .

القوة هي المؤثر الذي يغير أو يحاول أن يغير من حالة سكون الجسم أو حركته المنتظمة في خط مستقيم .

وتصنف القوى ، عادة ، وفقاً لمصادرها ولقد تعرفت إلى بعض أصنافها من خلال دراستك السابقة مثل القوة العضلية للإنسان – والقوة المغناطيسية والقوة الكهربائية – وكذلك سوف تتعرف مستقبلاً إلى أنواع أخرى من القوى مثل قوى التجاذب الكتلي والقوى الكهرومغناطيسية – القوى النووية .

قوة الاحتكاك :

وتنشأ عند تلامس سطحين مع بعضهما وعملها هو إعاقة الحركة أي أن اتجاهها دائماً في عكس اتجاه الحركة .

وعلى الرغم من أننا نعتبر الاحتكاك معيقاً لحركة الأجسام ونحاول دائماً تقليل تأثيره إلا أنه يلعب دوراً هاماً في حياتنا اليومية فنحن نتذكر أهمية الاحتكاك في كل مرة تنزلق فيها قدمنا على سطح زلق أو نشاهد حادث تصادم لسيارة في يوم مطير . والواقع أنه بدون وجود الاحتكاك لما استطاع الإنسان أن يمشي على سطح الأرض ولكان من الضروري وجود بروزات في قاع الحذاء وثقوب تقابلها على سطح الأرض وإلا لانزلق الإنسان وما استطاع قائد السيارة إيقافها إذا أراد . هذه الممارسات كلها لم تكن لتُؤدّى بدون وجود قوة الاحتكاك .

7-2 قوانين الحركة (قوانين نيوتن) :

القانون الأول للحركة :

من خلال خبرتنا اليومية فإننا نمر أمام سيارة ساكنة دون خوف ، لأننا ندرك أنها لن تتحرك فجأة من تلقاء نفسها ! ! وإذا وضعنا كتاباً في مكان ما ، نتوقع أن نجده في مكانه نفسه فيما بعد . إلا إذا كانت هناك قوة خارجية قد أثرت فيه ونقلته إلى مكان آخر .

وتدلنا مشاهداتنا اليومية على أن الأجسام المتحركة تتوقف بعد رفع القوة المؤثرة فيها ، فأنت عندما تدفع كرة على أرض مستوية وتتركها ، فإنها سرعان ما تتباطأ في حركتها ، وفي النهاية تتوقف عن الحركة (تسكن) .

ولكن من خلال التجارب التي أجراها العالم جاليلو على حركة الأجسام توصل إلى حقيقة مهمة وهي أن الحركة مثل السكون ، خاصية طبيعية للجسم ، أي أن الجسم لايتحرك من تلقاء نفسه إذا كان ساكناً ، ولايسكن من تلقاء نفسه إذا كان متحركاً . وأطلق على هذه الخاصية اسم «القصور الذاتي» للأجسام .

ويمكنك التحقق من صحة ذلك في المختبر باستخدام أجهزة قليلة الاحتكاك جداً ، مثل المنضدة الهوائية ، أو المضمار الهوائي .

واعتماداً على تجارب جاليلو وآرائه ، تمكن نيوتن (1642-1727) من صياغة القانون الأول للحركة بالشكل التالي :

قوة الاحتكاك :

وتنشأ عند تلامس سطحين مع بعضهما وعملها هو إعاقة الحركة أي أن اتجاهها دائماً في عكس اتجاه الحركة .

وعلى الرغم من أننا نعتبر الاحتكاك معيقاً لحركة الأجسام ونحاول دائماً تقليل تأثيره إلا أنه يلعب دوراً هاماً في حياتنا اليومية فنحن نتذكر أهمية الاحتكاك في كل مرة تنزلق فيها قدمنا على سطح زلق أو نشاهد حادث تصادم لسيارة في يوم مطير . والواقع أنه بدون وجود الاحتكاك لما استطاع الإنسان أن يمشي على سطح الأرض ولكان من الضروري وجود بروزات في قاع الحذاء وثقوب تقابلها على سطح الأرض وإلا لانزلق الإنسان وما استطاع قائد السيارة إيقافها إذا أراد . هذه الممارسات كلها لم تكن لتُؤدّى بدون وجود قوة الاحتكاك .

7-2 قوانين الحركة (قوانين نيوتن) :

القانون الأول للحركة :

من خلال خبرتنا اليومية فإننا نمر أمام سيارة ساكنة دون خوف ، لأننا ندرك أنها لن تتحرك فجأة من تلقاء نفسها ! ! وإذا وضعنا كتاباً في مكان ما ، نتوقع أن نجده في مكانه نفسه فيما بعد . إلا إذا كانت هناك قوة خارجية قد أثرت فيه ونقلته إلى مكان آخر .

وتدلنا مشاهداتنا اليومية على أن الأجسام المتحركة تتوقف بعد رفع القوة المؤثرة فيها ، فأنت عندما تدفع كرة على أرض مستوية وتتركها ، فإنها سرعان ما تتباطأ في حركتها ، وفي النهاية تتوقف عن الحركة (تسكن) .

ولكن من خلال التجارب التي أجراها العالم جاليلو على حركة الأجسام توصل إلى حقيقة مهمة وهي أن الحركة مثل السكون ، خاصية طبيعية للجسم ، أي أن الجسم لايتحرك من تلقاء نفسه إذا كان ساكناً ، ولايسكن من تلقاء نفسه إذا كان متحركاً . وأطلق على هذه الخاصية اسم «القصور الذاتي» للأجسام .

ويمكنك التحقق من صحة ذلك في المختبر باستخدام أجهزة قليلة الاحتكاك جداً ، مثل المنضدة الهوائية ، أو المضمار الهوائي .

واعتماداً على تجارب جاليلو وآرائه ، تمكن نيوتن (1642-1727) من صياغة القانون الأول للحركة بالشكل التالي :

الجسم الساكن يبقى ساكناً ، والجسم المتحرك يستمر في حركته بسرعة ثابتة في خط مستقيم ، ما لم تؤثر فيه قوة خارجية تجبره على تغيير ذلك .

ظواهر وتطبيقات :

1 – يراعي سائقو الشاحنات ربط الأمتعة التي تحملها شاحناتهم جيداً وذلك لتفادي اندفاعها إلى الخلف عند الحركة المفاجئة أو اندفاعها إلى الأمام عند التوقف المفاجئ .

2 – ينصح رجال المرور سائقي السيارات بضرورة ربط أحزمة الأمان في مقاعد السيارات .

3 – يطلب منا ربط أحزمة المقاعد عند إقلاع الطائرة وهبوطها .

القانون الثاني للحركة :

إن القانون الأول للحركة قد قدم لنا وصفاً لحالة الجسم عند عدم التأثير فيه بقوة . أما القانون الثاني للحركة فإنه يستكمل العلاقة بين القوة والحركة ، ويصف لنا ما الذي يحدث ، عندما تؤثر قوة في جسم ما . وللتعرف إلى علاقة القوة التي تؤثر في جسم بما تسببه له من تغيير في حالته الحركية يلزم :

أ – إجراء الدرس العملي رقم (3) للتوصل إلى العلاقة بين القوة المؤثرة في جسم والعجلة التي يكتسبها .

ب – إجراء الدرس العملي رقم (4) للتوصل إلى العلاقة بين العجلة التي يكتسبها جسم وكتلته عند التأثير فيه بقوة ثابتة .

في التجربة الأولى أثرنا بقوة معينة ، في جسم يتحرك أفقياً ، ولاحظنا أن الجسم يكتسب عجلة ، وتوصلنا إلى أن مقدار العجلة يتغير بتغير مقدار القوة (عند ثبات كتلة الجسم) وفق العلاقة :

$$\vec{a} \propto \vec{F} \qquad \text{.....} (1)$$

وفي التجربة الثانية ، أثَّرْنا بقوة ثابتة في جسم ما وتوصلنا إلى أن مقدار العجلة التي يتحرك بها الجسم تتغير بتغير كتلته (عند ثبات مقدار القوة المؤثرة فيه) وفق العلاقة :

$$\vec{a} \propto \frac{1}{m} \qquad \text{.....} (2)$$

من المعادلة (1) ، (2) ينتج أن :

$$\vec{a} \propto \frac{\vec{F}}{m}$$

$$\therefore \quad \vec{a} = (\text{con})\,\frac{\vec{F}}{m} \qquad \text{.....} (3)$$

العلاقة رقم 3 تعتبر الصيغة الرياضية للقانون الثاني للحركة وينص على أن «العجلة التي يتحرك بها جسم ما ، تتناسب طردياً مع مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الجسم ، وعكسياً مع كتلته» .

وباستخدام الوحدات الدولية لكل من القوة وهي النيوتن N والكتلة وهي الكيلوجرام kg يصبح مقدار الثابت في المعادلة 3 = 1 .

النيوتن هو «القوة التي إذا أثرت في جسم كتلته 1kg اكسبته عجلة مقدارها $1\ m/s^2$ » لذلك تؤول المعادلة 3 إلى :

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

$$\left(m/s^2 = \frac{N}{Kg} \right)$$

مثال 12

احسب مقدار القوة اللازمة للتأثير في جسم كتلته 0.25 kg حتى تكسبه عجلة مقدارها $8\ m/s^2$

الحل

$$\vec{F} = m.\vec{a}$$

$$= 0.25 \times 8 = 2N$$

الوزن :

نعلم أن الأرض تجذب الأجسام القريبة منها أو المستقرة على سطحها ، بقوة تسمى قوة الجاذبية الأرضية .

ويُعرف **وزن الجسم بأنه القوة التي تجذب بها الأرض هذا الجسم** وهو كمية متجهة لأنه قوة وباستخدام القانون الثاني للحركة يمكن حساب وزن جسم كتلته (m) من العلاقة :

الوزن (W) = كتلة الجسم x عجلة الجاذبية الأرضية

$$W = m\,g$$

ونظراً لأن قيمة عجلة الجاذبية الأرضية تتغير قيمتها بتغير المكان والارتفاع فإن وزن الجسم كذلك يتغير تبعاً لتغير قيمة عجلة الجاذبية الأرضية .

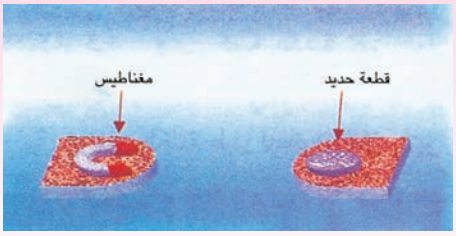
القانون الثالث للحركة :

تناول نيوتن في القانون الثالث للحركة ، طبيعة القوى التي تؤثر في الأجسام ، فأوضح أن القوى تكون دائماً مزدوجة ، فإذا أثر جسم في آخر بقوة ، فإن الأخير يؤثر كذلك في الأول ، أي أن التأثير متبادل بين الجسمين . فمن خلال مشاهدتنا للعبة شد الحبل نلاحظ أن فريقي اللعبة يبدآن الشد في وقت واحد ، وإذا تراخى أحد الفريقين تساقط الفريق الآخر إلى الخلف ، وتنعدم قوة الشد في الحبل .

نشاط (3)

أحضر قطعتين من الفلين ، وثبت على إحداهما قطعة صغيرة من الحديد ، وعلى الأخرى مغناطيساً صغيراً ، واترك القطعتين ليتحركا بحرية فوق سطح الماء في حوض صغير – لاحظ حركة القطعتين مرة عند تثبيت القطعة التي تحمل المغناطيس ، ومرة عند تثبيت القطعة التي تحمل قطعة الحديد .

لاحظ أنه كما أن المغناطيس يجذب قطعة الحديد ، فإن قطعة الحديد أيضاً تجذب المغناطيس ، بالقوة نفسها (مقداراً) .



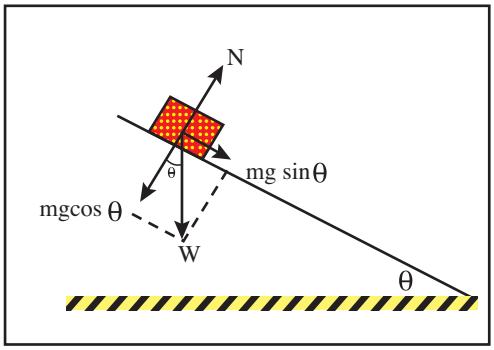
شكل (7-2)

من خلال التجارب والمشاهدات صاغ نيوتن **القانون الثالث للحركة وينص على أن «لكل فعل رد فعل مساوٍ له في المقدار ، ومضاد له في الاتجاه»** .

ومعنى هذا أنه إذا أثر جسم (A) بقوة $\vec{F}$ في جسم (B) ، فإن الجسم (B) سيؤثر في الجسم (A) بقوة تماثلها في المقدار وتعاكسها في الاتجاه وتسمى رد الفعل . أي أن القوة المفردة لا وجود لها في الطبيعة .

ويجب أن نفهم من هذا أن القوة ورد فعلها هما قوتان تؤثران في جسمين مختلفين . وبذلك فهما ليستا قوتين متزنتين ولايمكن أن نوجد محصلة لهما .

8-2 حركة جسم على مستوى مائل :



شكل (8-2)

إذا وضع جسم كتلته (m) على مستوى أملس يميل على الأفق بزاوية (θ) وترك لينزلق على المستوى المائل كما في شكل (8-2) فإن القوى المؤثرة في الجسم هي :

1 – (w) وزن الجسم ويؤثر رأسياً إلى أسفل ويحلل إلى مركبتين هما :

2 – w cos θ : القوة التي يؤثر بها الجسم في المستوى المائل (عمودية على المستوى) .

3 – w sin θ: وهي مركبة وزن الجسم في الاتجاه الموازي للمستوى المائل وهي القوة التي تسبب حركة الجسم إلى أسفل المستوى المائل .

4 – N : رد فعل القوة w cos θ وهي القوة التي يؤثر بها المستوى المائل في الجسم . وهي لاتؤثر في حركة الجسم .

وبتطبيق القانون الثاني لنيوتن على حركة الجسم على المستوى المائل فإن :

$$w \sin\theta = ma$$

$$m.g \sin\theta = ma$$

$$\therefore \quad a = g \sin\theta$$

ويتضح من العلاقة السابقة أن عجلة حركة الجسم على المستوى المائل لاتتوقف على كتلة الجسم ولكنها تتغير بتغير جيب زاوية ميل المستوى المائل حيث :

$$a \propto \sin\theta$$

مثال 13

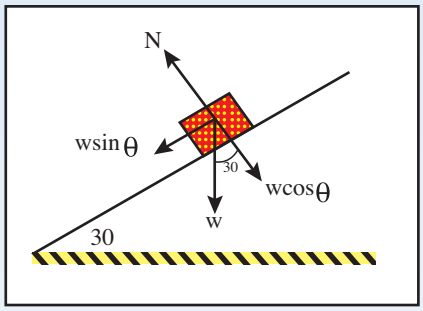
مكعب من الخشب كتلته 0.5 kg وضع فوق مستوٍ أملس يميل على الأفق بزاوية 30° . فإذا ترك لينزلق على المستوى المائل :

أ – احسب العجلة التي يتحرك بها المكعب .

ب – احسب العجلة التي يتحرك بها المكعب إذا أصبحت زاوية ميل المستوى 45° .

حـ – وإذا استبدل المكعب بآخر كتلته 1 kg هل تتغير عجلة حركته؟ (اعتبر عجلة الجاذبية الأرضية $(g = 10\ m / s^2)$.

الحـل



شكل (2-9)

أ –

$$a = g \sin \theta$$
$$= 10 \sin 30$$
$$= 10 \times \frac{1}{2} = 5\ m / s^2$$

ب –

$$a = g \sin \theta$$
$$= 10 \sin 45^o$$
$$= 10 \times 0.707$$
$$= 7.07\ m/s^2$$

تتغير عجلة حركة المكعب بتغير زاوية ميل المستوى على الأفقي

حـ -

$$a = g \sin \theta$$
$$= 10 \sin 45$$
$$= 7.07\ m/s^2$$

لن تتغير عجلة المكعب لأنها لاتتوقف على كتلة الجسم .

تذكر أن

1 المسافة هي طول المسار الفعلي الذي يسلكه الجسم المتحرك من نقطة بداية الحركة إلى نقطة نهايةا لحركة .

2 السرعة هي المسافة المقطوعة خلال وحدة الزمن .

3 يقال إن الجسم يتحرك بسرعة منتظمة عندما يقطع مسافات متساوية خلال فترات زمنية متساوية .

4 تعرف السرعة المتجهة بأنها التغير في الموضع خلال وحدة الزمن .

5 تعرف العجلة بأنها المتجه الناتج من التغير في متجه السرعة خلال وحدة الزمن .

6 الأجسام الساقطة نحو الأرض سقوطاً حراً تتحرك بعجلة تسارع منتظمة تساوي عجلة الجاذبية الأرضية .

7 تعتبر حركة المقذوف محصلة حركتين بآن واحد :

أ – حركة بالاتجاه الأفقي بسرعة ثابتة .

ب – حركة بالاتجاه الرأسي بعجلة ثابتة هي عجلة الجاذبية الأرضية .

8 تعرف القوة بأنها المؤثر الذي يغير أو يحاول أن يغير من حالة سكون الجسم أو حركته المنتظمة في خط مستقيم .

9 يكون اتجاه قوة الاحتكاك دائماً في عكس اتجاه الحركة .

10 ينص القانون الأول للحركة على أن : الجسم الساكن يبقى ساكناً ، والجسم المتحرك يستمر في حركته بسرعة ثابتة في خط مستقيم ، ما لم تؤثر فيه قوة خارجية تجبره على تغيير ذلك .

11 ينص القانون الثاني للحركة على أن : العجلة التي يتحرك بها جسم ما ، تتناسب طردياً مع مقدار

القوة المحصلة المؤثرة في الجسم ، وعكسياً مع كتلته .

12 النيوتن : هو القوة التي إذا أثرت في جسم كتلته 1kg اكسبته عجلة مقدارها $1m/s^2$.

13 ينص القانون الثالث للحركة على أن : لكل فعل رد فعل مساوٍ له في المقدار ومضاد له في الاتجاه .

14 عجلة حركة جسم على مستوى مائل لاتتوقف على كتلة الجسم .

15 عجلة حركة جسم على مستوى مائل تتوقف على زاوية ميل المستوى على الأفقي .

التقويم

المجموعة الأولى : الأسئلة الموضوعية

السؤال الأول :

اكتب بين القوسين الاسم أو المصطلح العلمي الذي تدل عليه كل عبارة من العبارات التالية :

1 المسافة المقطوعة خلال وحدة الزمن . (.....)

2 سرعة جسم يقطع مسافات متساوية خلال فترات زمنية متساوية . (.....)

3 سرعة جسم يقطع مسافات متساوية خلال أزمنة غير متساوية . (.....)

4 التغير في الموضع $(\overrightarrow{\Delta x})$ خلال وحدة الزمن . (.....)

5 المتجه الناتج من التغير في متجه السرعة خلال وحدة الزمن . (.....)

6 المؤثر الذي يغير أو يحاول أن يغير من حالة سكون الجسم أو حركته المنتظمة في خط مستقيم . (.....)

7 الجسم الساكن يبقي ساكناً ، و الجسم المتحرك يستمر في حركته بسرعة ثابتة في خط مستقيم ، ما لم تؤثر فيه قوة خارجية تجبره على تغيير ذلك . (.....)

8 العجلة التي يتحرك بها جسم ما ، تتناسب طردياً مع مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الجسم ، وعكسياً مع كتلته . (.....)

9 القوة التي إذا أثرت على جسم كتلته Kg (1) اكسبته عجلة مقدارها $(1)\ m/s^2$ (.....)

10 القوة التي تجذب بها الأرض الجسم . (.....)

11 لكل فعل رد فعل مساوٍ له بالمقدار ، و مضاد له في الاتجاه . (.....)

السؤال الثاني :

ضع بين القوسين علامة (✓) أمام العبارة الصحيحة و علامة (✗) أمام العبارة غير الصحيحة فيما يلي :

1. عندما يقطع جسم متحرك مسافات متساوية خلال أزمنة متناقصة فإن سرعته تكون متناقصة . ( )
2. تتساوى السرعة ، و السرعة المتجهة لجسم إذا تحرك في مسار مستقيم ثابت الاتجاه . ( )
3. الجسم الذي تتغير سرعته بمقادير متساوية خلال أزمنة متساوية تكون سرعته ثابتة . ( )
4. السرعة التي يبلغها جسم بدأ الحركة من السكون بعجلة منتظمة تتناسب طردياً مع زمن الحركة . ( )
5. إذا سقط جسمان مختلفان في الكتلة في آن واحد من ارتفاع واحد خلال أنبوب مخلخل الهواء فإنهما يصلان لنهاية الأنبوب في نفس اللحظة . ( )
6. زمن وصول مقذوف رأسي لارتفاع معين في مجال الجاذبية أكبر من زمن سقوطه من ذلك الارتفاع للمستوى الذي قذف منه . ( )
7. المركبة الأفقية لمتجه سرعة مقذوف باتجاه مائل على الأفق بزاوية (θ) حيث $(0 < \theta < 90°)$ متناقصة بمعدل منتظم . ( )
8. القوة التي تعمل عكس اتجاه الحركة (دائماً) وتؤدي إلى إبطاء سرعة الجسم هي قوة الاحتكاك . ( )
9. القصور الذاتي هو محافظة الجسم على حالته الحركية عند انعدام محصلة القوى المؤثرة عليه . ( )
10. وزن الجسم يختلف من مكان لآخر على سطح الأرض لاختلاف قيمة عجلة الجاذبية الأرضية . ( )
11. الفعل ورد الفعل قوتان متماثلتان تماماً وتؤثران في جسمين مختلفين في آن واحد . ( )
12. العجلة التي يتحرك بها جسم على مستوى مائل أملس تزداد بزيادة كتلة الجسم المتحرك . ( )

السؤال الثالث :

أكمل العبارات التالية بما تراه مناسباً :-

1. السرعة التي يتحرك بها جسم تتوقف على ..... و ..... .
2. عندما يقطع جسم مسافات متزايدة خلال أزمنة متساوية تكون سرعته ..... .
3. اتجاه عجلة تحرك جسم هو نفسه اتجاه التغير في ..... للجسم .
4. حدوث تغيرات متساوية في سرعة الجسم المتحرك خلال فترات زمنية متساوية تدل على أنه يتحرك ..... .
5. المسافة التي يقطعها جسم متحرك من السكون بعجلة ثابتة في خط مستقيم تتناسب ..... مع ..... .
6. زمن وصول مقذوف مائل على الأفق بزاوية (θ) إلى أقصى ارتفاع رأسي ..... زمن وصوله لمداه الأفقي .
7. وزن الجسم كمية ..... بينما كتلته كمية ..... .
8. العجلة التي يتحرك بها جسم على مستوى مائل أملس تتناسب ..... مع ..... .

السؤال الرابع :

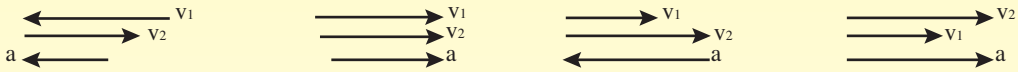
ضع علامة (✓) في المربع المقابل لأنسب إجابة لكل من العبارات التالية :

1. **عندما تتحرك سيارة بسرعة 20 m /s فإن هذا يعني أن السيارة :**

   ☐ تقطع مسافة مقدارها 20 m كل 1 s

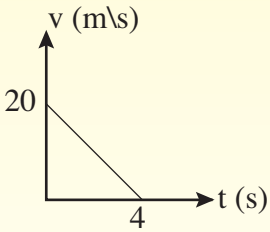
- ☐ تتزايد المسافة التي تقطعها بمقدار 20 m كل 1s
- ☐ تتزايد سرعتها بمقدار 20m/s كل 1s
- ☐ تتناقص سرعتها بمقدار 20m/s كل 1s

2 **أفضل مخطط اتجاهي يمثل حركة جسم بعجلة تباطؤ (سالبة) هو**



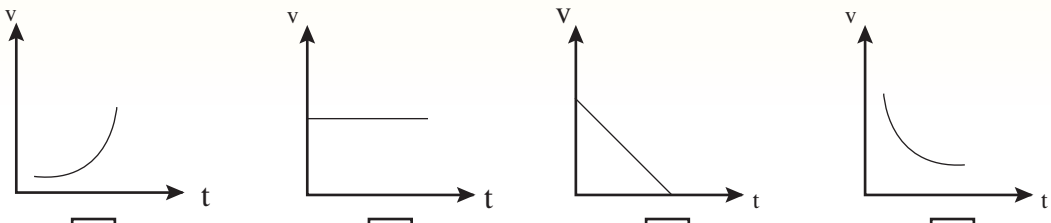
☐ ☐ ☐ ☐

3 **إذا كان الشكل المقابل يمثل منحنى (السرعة – الزمن) لجسم متحرك ، فإن عجلة تحرك الجسم بوحدة (m/s^2) تساوي :**



- ☐ 5 و نوعها تباطؤ
- ☐ 5 و نوعها تسارع
- ☐ 40 و نوعها تباطؤ
- ☐ 40 و نوعها تسارع

4 **أفضل خط بياني يعبر عن حركة جسم بسرعة متزايدة هو :**

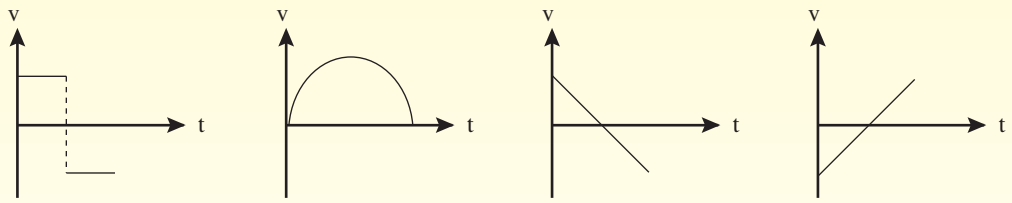


☐ ☐ ☐ ☐

5 إذا سقط حجر سقوطاً حراً في مجال الجاذبية الأرضية من شرفة بناية فاستغرق وصوله لسطح الأرض 3 s فإن ارتفاع الشرفة بوحدة m و سرعة وصول الحجر للأرض بوحدة m/s يساوي :

ارتفاع الشرفة بالمتر	سرعة وصول الحجر للأرض m/s
30	45
15	30
45	30
30	30

6 أفضل منحنى بياني يعبر عن تغير سرعة مقذوف رأسي من لحظة قذفه حتى لحظة عودته لمستوى قذفه مرة ثانية بتغير الزمن هو المنحنى



7 إذا قذف جسم في مجال الجاذبية الأرضية في اتجاه يميل على الأفق بزاوية (θ) فإنه يتحرك بسرعة :

- ثابتة في الاتجاه الأفقي للحركة
- متناقصة بانتظام في الاتجاه الأفقي للحركة
- متزايدة بانتظام في الاتجاه الرأسي للحركة
- ثابتة في الاتجاه الرأسي للحركة

8 النيوتن وحدة قياس القوة و تكافئ :

- $Kg . m.s^2$
- $Kg / m.s^2$
- $Kg . m/s^2$
- $Kg . m/s$

9 عجلة حركة جسم على مستوى أملس يميل على الأفق بزاوية (θ) :

☐ تزيد بزيادة كتلة الجسم ☐ تتناسب طردياً مع زاوية ميل المستوى

☐ تقل بزيادة كتلة الجسم ☐ تتناسب طردياً مع جيب زاوية ميل المستوى

10 قذف جسم بزاوية 60° على الأفق فإذا كانت مركبة سرعته في الاتجاه الأفقي لحظة قذفه 20 m/s فإن قيمتها لحظة وصوله إلى ذروة ارتفاعه الرأسي تساوي بوحدة (m/s) :

☐ 40 ☐ 20 ☐ 10 ☐ صفر

المجموعة الثانية : الأسئلة المقالية

حيثما لزم الأمر اعتبر ($g = 10\ m/s^2$)

السؤال الخامس :

أثبت أن العجلة التي يتحرك بها جسم على مستوى مائل لا تتوقف على كتلة الجسم .

السؤال السادس :

حل المسائل التالية :

1 سارت سيارة بسرعة 40 km/h في اتجاه الغرب لمدة 30 min ، ثم بسرعة 30 km/h في اتجاه الجنوب لمدة 30 min . احسب :

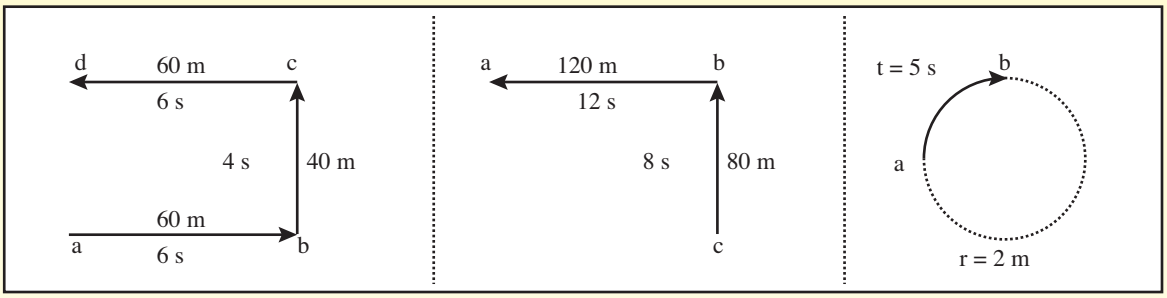
أ- المسافة التي قطعتها السيارة .

ب- إزاحة السيارة .

جـ - السرعة المتجهة للسيارة .

2 الأشكال التالية تمثل المسارات التي تحركها جسم والزمن المستغرق لقطع كل منها والمطلوب :- حساب مقدار

أ- السرعة المنتظمة للجسم ب- السرعة المتجهة للجسم

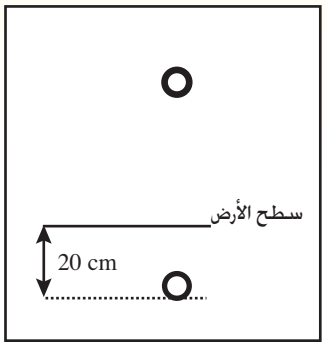


شكل (1) شكل (2) شكل (3)

3 سيارة بدأت الحركة من السكون وتسارعت بانتظام حتى بلغت سرعتها 30 m/s خلال 10 s احسب

أ- عجلة حركة السيارة ب- المسافة التي قطعتها السيارة خلال هذا الزمن

4 سقطت كرة من الفولاذ سقوطاً حراً من ارتفاع 7.2 m عن سطح الأرض وعندما اصطدمت بالأرض غاصت بها 20 cm قبل أن تتوقف . احسب :



أ- سرعة الكرة لحظة ملامسة سطح الأرض .

ب- زمن وصول الكرة لسطح الأرض .

ج - متوسط عجلة التباطؤ للكرة أثناء نفاذها في الأرض .

د - زمن حركة الكرة داخل الأرض .

5 بدأت سيارة تتحرك متسارعة بانتظام (من السكون) في خط مستقيم ، فأصبحت سرعتها 20 m/s بعد مرور نصف دقيقة على بدء الحركة ، احسب :

أ- عجلة التسارع للسيارة .

ب- المسافة التي قطعتها السيارة خلال هذه الفترة الزمنية .

6 طلق ناري سرعته 50 m/s اصطدم بقطعة خشب فقطع داخلها مسافة 5 cm قبل أن يتوقف . احسب :

أ - عجلة التباطؤ للطلق الناري في أثناء نفاذه في الخشب .

ب- الزمن الذي استغرقه الطلق الناري حتى توقف .

7 سقط حجر في بئر ماء ، و شوهد وهو يرتطم بسطح الماء في قاع البئر بعد 3s ، بإهمال مقاومة الهواء . احسب :

أ - السرعة التي ارتطم بها الحجر بالماء .

ب- عمق البئر .

8 يقذف حجر رأسياً إلى أعلى بسرعة مقدارها 25 m/s . احسب :

أ- سرعة الحجر بعد مرور نصف ثانية من لحظة القذف .

ب- أقصى ارتفاع يصل إليه الحجر .

ج- الزمن المستغرق ليعود الحجر إلى النقطة التي قذف منها .

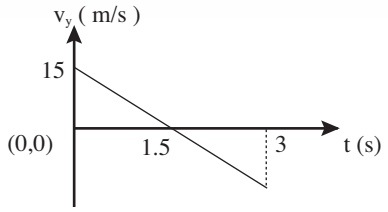
د- سرعة الحجر بعد مرور أربع ثوان من لحظة قذفه .

9 الشكل المقابل يمثل منحنى (السرعة – الزمن) لجسم مقذوف بزاوية 60° على الأفق والمطلوب :

أ - حساب السرعة التي قذف بها الجسم v_o

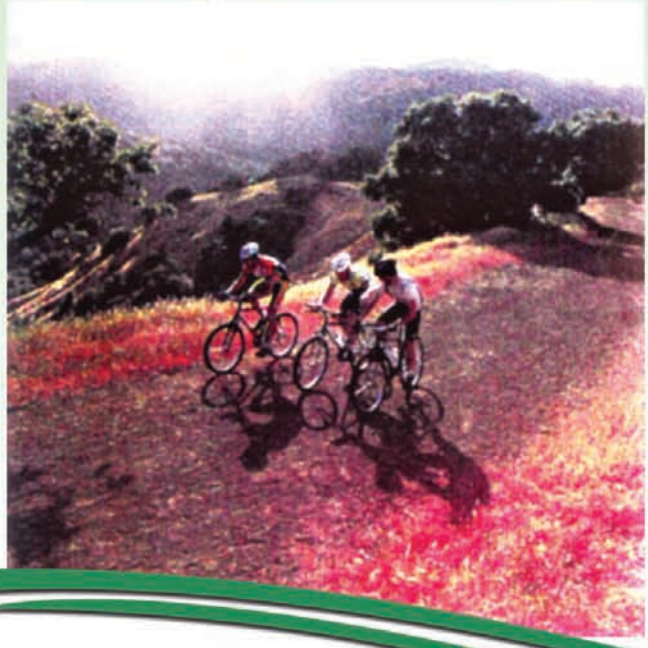
ب- بعد الهدف عن نقطة القذف x

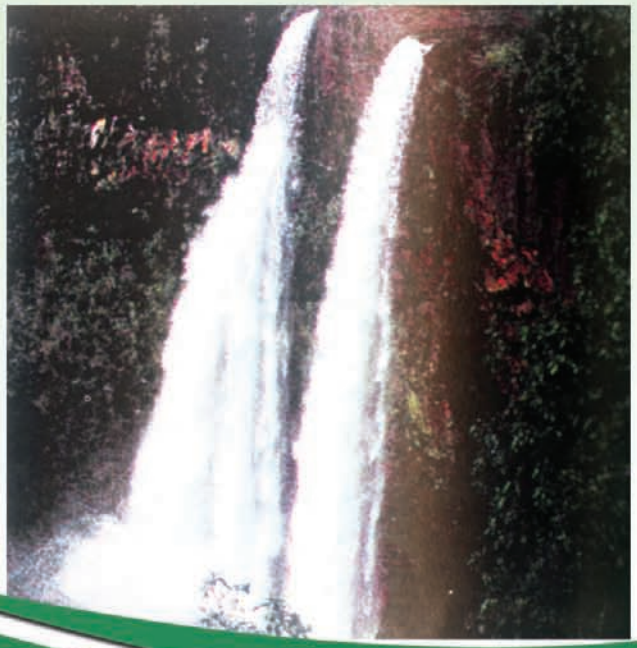
حـ - أقصى ارتفاع يبلغه المقذوف .



الفصل الثالث

الشغل والطاقة الميكانيكية





يهدف هذا الفصل إلى دراسة طاقة الحركة ثم تعريف الشغل من خلال التغير في طاقة الحركة ، واستنتاج الصيغة الرياضية للشغل بدلالة القوة والإزاحة .

ويعالج هذا الفصل أيضاً مفهومي طاقة الوضع والطاقة الميكانيكية وأثر قوة الاحتكاك في الطاقة الميكانيكية للوصول إلى مبدأ حفظ الطاقة .

1-3 ما مفهوم الشغل؟

غالباً نستخدم تعبير (شغل) في حياتنا اليومية بمعنى يختلف تماماً عن المفهوم الفيزيائي للشغل . فأنت قد تنهك نفسك في محاولة دفع سيارة واقفة ، لكنك إذا فشلت في تحريكها (إزاحتها من مكانها) ، لاتكون قد بذلت شغلاً ، مهما كانت قوة دفعك لها ومهما استغرقت من زمن في ذلك .

إذن القوة لاتقوم بشغل ما لم تؤد إلى تحريك الجسم الذي تؤثر فيه ، فيجب أن نميز بين مجرد تأثير القوة على جسم ما وبين القيام بشغل . فالشغل من وجهة النظر العلمية عبارة عن عملية تقوم فيها القوة بتحريك جسم في الاتجاه الذي تؤثر فيه .

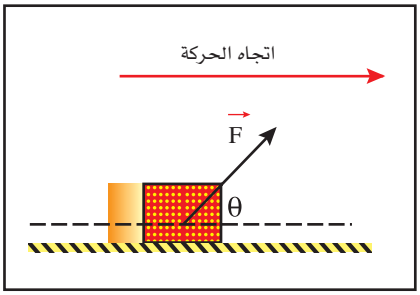
الشغل والقوة :

قد سبق أن درست أنه إذا أثرت قوة $(\vec{F})$ في جسم فحركته إزاحة $(\vec{S})$ فإنه يمكن حساب الشغل (w) من خلال ضربهما .

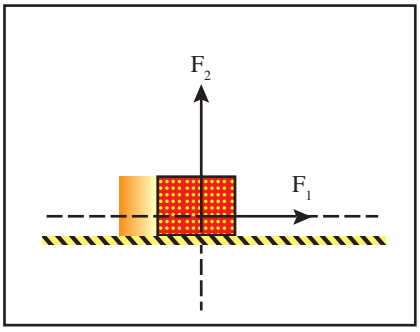
$$W = \vec{F} \cdot \vec{S}$$

والشغل هنا كمية عددية . لماذا ؟

ولكن إذا كانت القوة والإزاحة ليستا على استقامة واحدة شكل (1-3) فإنه لحساب الشغل الذي تبذله القوة $(\vec{F})$ لإزاحة الجسم إزاحة (S) فإننا نحلل القوة إلى مركبتين متعامدتين $(\vec{F}_1 , \vec{F}_2)$ شكل (2-3) .



شكل (1-3)



شكل (2-3)

$$F_1 = F \cos\theta \quad ، \quad F_2 = F \sin\theta$$

$$W_{F_1} = F_1 . S$$

$$= F . S \cos\theta$$

$$\therefore \quad W_{F_2} = F_2 . S \cos 90^\circ = 0$$

حيث $(S \cos 90)$ هي الإزاحة في اتجاه القوة (F_2)

$$\therefore \quad W_F = F S \cos\theta$$

إذا أثرت قوة ثابتة $(\vec{F})$ وتميل على الأفقي بزاوية (θ) في جسم ما فأزاحته أفقياً على خط مستقيم إزاحة $(\vec{S})$ فإن :

$$W = F S \cos \theta$$

ويمكنك الآن تعريف الشغل في ضوء دراستك ضرب المتجهات حيث يعتبر الشغل هو حاصل الضرب العددي (الداخلي) لمتجهي القوة والإزاحة .

ووحدة الشغل هي الجول (J)

تعريف الجول : «الشغل الذي تنجزه قوة مقدارها نيوتن واحد ، عندما تزيح جسماً باتجاهها مسافة مقدارها متر واحد» .

ملاحظات

1 – القوة العمودية على اتجاه حركة الجسم يكون شغلها صفراً لأن :

$\cos 90^\circ = 0$ ، $\theta = 90^\circ$

2 – تعتمد إشارة الشغل على اتجاه القوة بالنسبة للإزاحة ، فيكون الشغل موجباً عندما يكون اتجاه مركبة القوة $(F \cos \theta)$ في اتجاه الإزاحة نفسه ويكون الشغل سالباً عندما يكون اتجاه مركبة القوة $(F \cos \theta)$ عكس اتجاه الإزاحة .

3 – مقدار الشغل الذي تبذله قوة على جسم ما يتوقف على الزاوية (θ) بين اتجاه القوة والإزاحة .

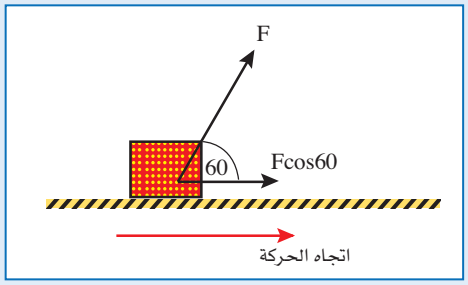
مثال 1

قوة مقدارها 100N تؤثر في جسم ما فتحركه مسافة 10m .
احسب الشغل الذي تنجزه القوة في كل من الحالات التالية :

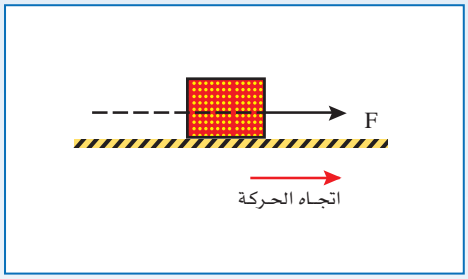
أ – إذا كانت الزاوية التي تصنعها القوة مع الإزاحة 60°

ب – إذا كانت القوة والإزاحة متفقتين في الاتجاه ($\theta = 0$)

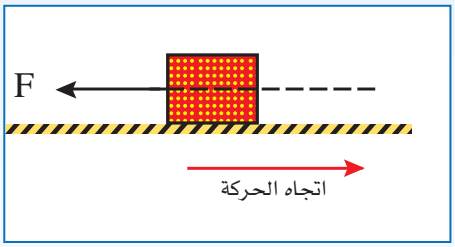
جـ – إذا كانت القوة والإزاحة متعاكستين في الاتجاه $\theta = 180°$



شكل (3-3)



شكل (3-4)



شكل (3-5)

الحل

(أ) $W = F \cdot S \cos\theta$

$W = 100 \times 10 \cos 60°$

$= 100 \times 10 \times \frac{1}{2}$

$= 500\ J$

(ب) $W = 100 \times 10 \cos 0°$

$\cos 0 = 1$

$\therefore\ W = 1000\ J$

(جـ) $\theta = 180°$

$W = 100 \times 10 \cos 180°$

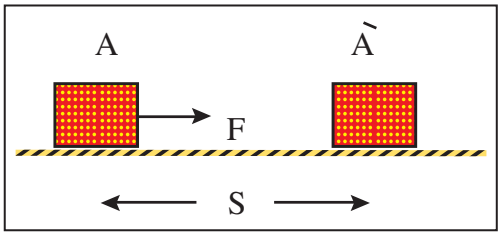
$\cos 180° = -1$

$\therefore\ W = -1000\ J$

حساب الشغل باستخدام التمثيل البياني :

أولاً : عندما تكون القوة المؤثرة في الجسم المتحرك ثابتة المقدار وباتجاه الإزاحة :

إذا أثرت قوة ثابتة ($\vec{F}$) في الجسم فأزاحته باتجاهها أفقياً



شكل (3-6)

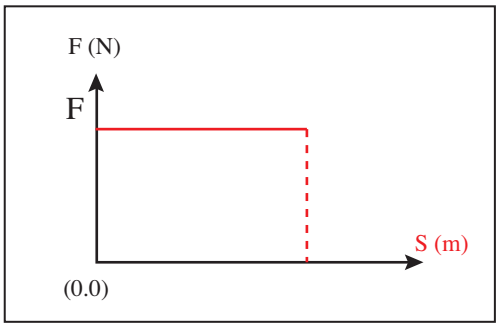
من الموضع A إلى الموضع Á إزاحة $(\vec{S})$ شكل (3-6) . فإنه يمكن التمثيل البياني للعلاقة (F. S) كما في شكل (3-7) .

المساحة تحت المنحنى = مساحة المستطيل

= الطول × العرض

FS =

أي أن المساحة تحت منحنى (F–S) تمثل الشغل المنجز عددياً .

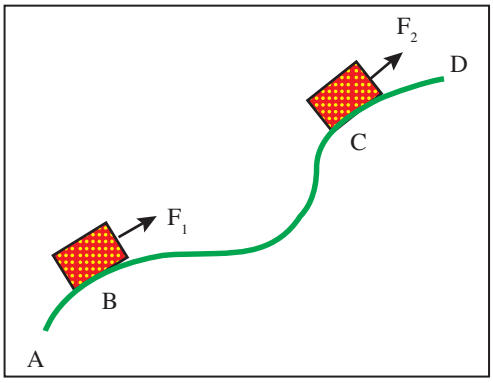


شكل (3-7)

ثانياً : عندما تكون القوة المؤثرة في الجسم المتحرك باتجاه الإزاحة ولكنها متغيرة المقدار :

عند سحب جسم على أرض غير مستوية كما في شكل (3-8) فإن قوة السحب هنا تكون غير ثابتة فهي في الموضع (C) أكبر منها في الموضع (B).

لحساب الشغل الذي تنجزه القوة عندما يتحرك الجسم من الموضع (A) إلى الموضع (D) ، نجزئ المسار إلى عـدد من الإزاحـات الصغيرة (Δ S) كما في شكل (3-8) .



شكل (3-8)

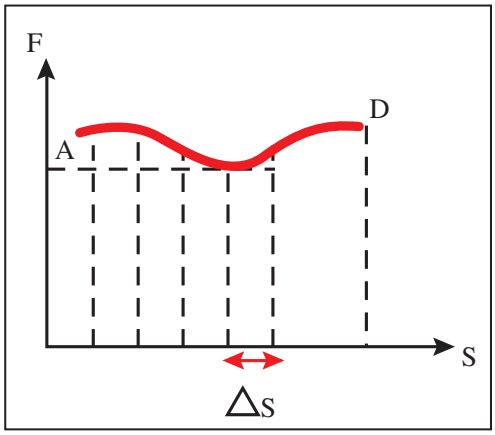
بحيث تبدو كل إزاحة من هذه الإزاحات الصغيرة كقطعة مستقيمة تقريباً وتكون لكل إزاحة (Δ S) قيمة ثابتة للقوة $(\vec{F})$ تقريباً وعند تمثيل القوة والإزاحة بيانياً نحصل على المنحنى البياني شكل (3-9).

لحساب المساحة الكلية تحت المنحنى نجزئ المساحة إلى مستطيلات صغيرة يكون عرض كل منها (Δ S) وطوله (F) وبالتالي فإن مساحته تكون :

$$\Delta W = F \ \Delta S$$

فإذا بدأنا من نقطة (A) تكون :

$$\Delta W_1 = F_1 \ \Delta S$$



شكل (3-9)

$$\Delta W_2 = F_2 \cdot \Delta S$$

$$\Delta W_3 = F_3 \cdot \Delta S$$

وهكذا . . .

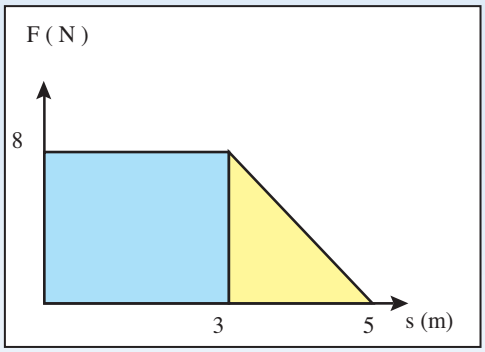
ويكون الشغل الكلي المبذول = مجموع مساحات المستطيلات الصغيرة

$$W = F_1 \Delta S + F_2 \Delta S + F_3 \Delta S + \ldots\ldots\ldots$$

الشغل الكلي المبذول = المساحة الكلية تحت المنحنى من A إلى D

مثال 2

قوة أفقية تؤثر في جسم يتغير مقدارها مع الإزاحة المقطوعة كما في الشكل (3-10) ، احسب الشغل الذي تنجزه القوة إذا تحرك الجسم أفقياً من S = 0m إلى S = 5m



شكل (3-10)

الحل

∵ الشغل المنجز = المساحة تحت المنحنى (F ، S)

= مساحة المستطيل + مساحة المثلث .

$$\therefore \quad W = 8 \times 3 + \frac{1}{2} \times 8 \times 2$$

$$= 32 \text{ J}$$

3-2 الشغل وطاقة الحركة

عندما تؤثر قوة ثابتة $(\vec{F})$ في جسم كتلته (m) فتحركه أفقياً في اتجاهها وتكسبه عجلة ثابتة طبقاً للقانون الثاني للحركة .

$$\therefore \quad \vec{F} = m \times \vec{a} \qquad \ldots\ldots\ldots (1)$$

فإذا تحرك الجسم إزاحة قدرها $(\vec{S})$ فإن الشغل الذي تنجزه القوة :

$$W = \vec{F} \cdot \vec{S} \qquad \ldots\ldots\ldots (2)$$

من المعادلة (1) ، (2)

$$\therefore \quad W = m\,a\,s$$

ولأن العجلة ثابتة يمكننا استخدام معادلات الحركة المعجلة بانتظام في خط مستقيم .

فسرعة الجسم ستزداد من V_1 إلى V_2 خلال قطعه للإزاحة (S)

$$\because \quad V_2^2 = V_1^2 + 2\,a\,s$$

وبضرب طرفي المعادلة في المقدار $\frac{1}{2}$ m

$$\therefore \quad \frac{1}{2} m V_2^2 = \frac{1}{2} m V_1^2 + m\,a\,s$$

$$\therefore \quad m\,a\,s = \frac{1}{2} m V_2^2 - \frac{1}{2} m V_1^2$$

$$\therefore \quad W = \frac{1}{2} m V_2^2 - \frac{1}{2} m V_1^2 \qquad \text{..... (3)}$$

وحاصل ضرب نصف كتلة الجسم في مربع سرعته يساوي **طاقة حركة الجسم (K) وهي الطاقة الناتجة عن حركة الجسم**

$$\therefore \quad K = \frac{1}{2} m V^2$$

لذلك يمكن كتابة المعادلة (3) على الصورة

$$W = K_2 - K_1$$

$$W = \Delta K$$

أي أن الشغل الناتج عن قوة ثابتة تؤثر في جسم متحرك يساوي التغير في طاقة حركة الجسم .

مثال 3

سيارة كتلتها 2000kg تتحرك بسرعة ثابتة 5m/s . وفي لحظة ما ضغط سائقها على الفرامل فانخفضت سرعتها إلى 1m/s احسب :

أ – طاقة حركة السيارة قبل لحظة الضغط على الفرامل مباشرة .

ب – طاقة الحركة النهائية للسيارة .

جـ – مقدار التغير في الطاقة الحركية للسيارة .

ء – أين تذهب الطاقة المفقودة؟ وما مقدارها؟

هـ– الشغل المبذول في أثناء عملية الضغط على الفرامل .

الحـل

(أ)

$$K_1 = \frac{1}{2} m V_1^2$$
$$= \frac{1}{2} \times 2000 \times (5)^2$$
$$= 25000 \text{ J}$$

(ب)

$$K_2 = \frac{1}{2} m V_2^2$$
$$= \frac{1}{2} \times 2000 \times (1)^2$$
$$= 1000 \text{ J}$$

(حـ)

$$\Delta K = K_2 - K_1$$
$$= 1000 - 25000 = -24000 \text{ J}$$

الإشارة (–) تعني حدوث نقص في الطاقة الحركية للسيارة .

(ء) النقص في الطاقة الحركية يتحول إلى طاقة حرارية (ارتفاع درجة حرارة الإطارات والأرض تحتها) وطاقة صوتية .

ومقدار الطاقة المفقودة هو مقدار النقص في الطاقة الحركية (24000)J

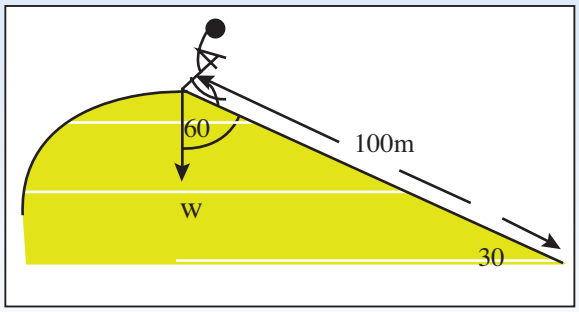
(هـ)

$$W = \Delta K$$
$$= -24000 \text{ J}$$

الشغل (–) لأن قوة الاحتكاك بين العجلات والفرامل تعيق حركة السيارة .

مثـال 4

لاعب تزلج على الجليد كتلته 60kg ، يقف على قمة تل زاوية انحداره 30° شكل (11-3) ، فإذا تحرك اللاعب من السكون ، احسب سرعته لحظة وصوله إلى أسفل التل علماً بأن طول المنحدر 100 m وأن $g = 10 m/s^2$.



شكل (11-3)

الحـل

$$w = mg$$ وزن اللاعب w

$$= 60 \times 10 = (600)\ N$$

$$\because \quad W = F \cdot S \cos\theta$$

$$W = 600 \times 100 \cos 60$$

$$= 600 \times 100 \times \frac{1}{2}$$

$$= 30000\ J$$

$$\because \quad W = \Delta K = \frac{1}{2} mV_2^2 - \frac{1}{2} mV_1^2$$

$$30000 = \frac{1}{2} \times 60 \times V_2^2 - \frac{1}{2} \times 60 \times 0$$

$$30000 = 30\ V_2^2$$

$$V_2^2 = 1000$$

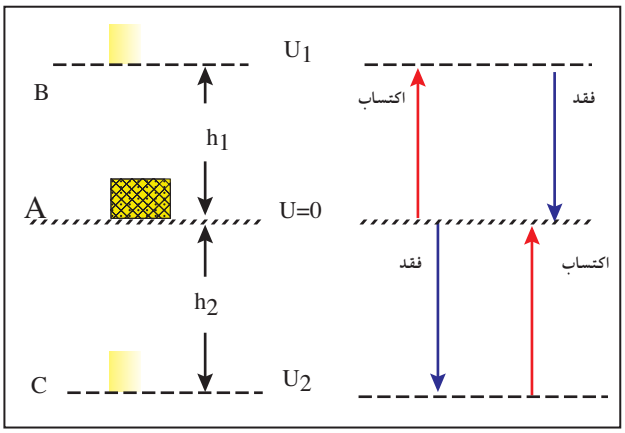
$$\because \quad V_2 = \sqrt{1000} = 10\sqrt{10}\ m/s$$

3-3 الشغل وطاقة الوضع التثاقلية
Work and Gravitational Potential Energy

عندما يوضع جسم كتلته (m) على سطح مستو كما في الشكل (12-3) فإنك لكي ترفعه إلى أعلى من المستوى (A) إلى المستوى (B) مسافة رأسية (h_1) ، فإنك لابد أن تؤثر فيه بقوة (رأسياً إلى أعلى) تساوي على الأقل قوة جذب الأرض له رأسياً إلى أسفل وهي وزنه . وتبذل شغلاً (W) :

$$W = w \times h_1$$

هـذا الشغل يخـتزن فـي الجسـم على شكل طـاقة كـامنة تسـمى طاقة الـوضع التثاقلية (U) (Gravitational Potential)



شكل (12-3)

الحـل

$$w = mg$$ وزن اللاعب w

$$= 60 \times 10 = (600)\ N$$

$$\because \quad W = F \cdot S \cos\theta$$

$$W = 600 \times 100 \cos 60$$

$$= 600 \times 100 \times \frac{1}{2}$$

$$= 30000\ J$$

$$\because \quad W = \Delta K = \frac{1}{2} mV_2^2 - \frac{1}{2} mV_1^2$$

$$30000 = \frac{1}{2} \times 60 \times V_2^2 - \frac{1}{2} \times 60 \times 0$$

$$30000 = 30\ V_2^2$$

$$V_2^2 = 1000$$

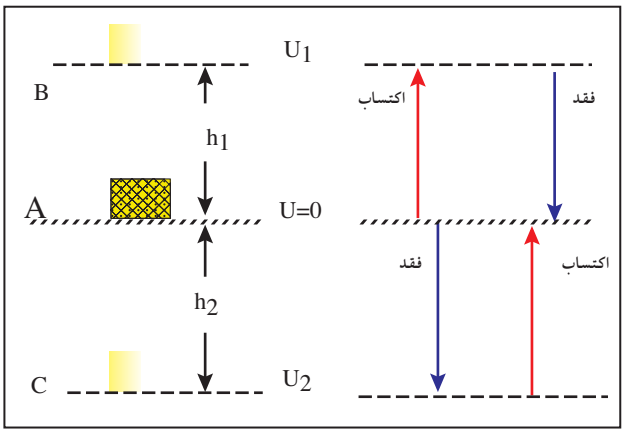
$$\because \quad V_2 = \sqrt{1000} = 10\sqrt{10}\ m/s$$

3-3 الشغل وطاقة الوضع التثاقلية
Work and Gravitational Potential Energy

عندما يوضع جسم كتلته (m) على سطح مستو كما في الشكل (12-3) فإنك لكي ترفعه إلى أعلى من المستوى (A) إلى المستوى (B) مسافة رأسية (h_1) ، فإنك لابد أن تؤثر فيه بقوة (رأسياً إلى أعلى) تساوي على الأقل قوة جذب الأرض له رأسياً إلى أسفل وهي وزنه . وتبذل شغلاً (W) :

$$W = w \times h_1$$

هـذا الشغل يخـتزن فـي الجسـم على شكل طـاقة كـامنة تسـمى طاقة الـوضع التثاقلية (U) (Gravitational Potential)



شكل (12-3)

وتحسب من العلاقة :

طاقة الوضع التثاقلية = الشغل المبذول

$$\therefore \quad U_1 = w \times h_1$$

$$U_1 = m\,g\,h_1$$

وطاقة الوضع عند سطح المستوى الأفقي تعتبر صفراً ، لأن الإزاحة عنده تساوي صفراً .

وعند أي مستوى أعلى من السطح تكون طاقة الوضع التثاقلية موجبة لأن الجسم يكتسب طاقة نتيجة لرفعه . أما إذا ترك الجسم يسقط من السطح الأفقي رأسياً إلى أسفل من (A) إلى (C) مسافة رأسية (h_2) تحت تأثير وزنه فإن الجسم نفسه يبذل شغلاً وتصبح طاقته أقل من الصفر بمقدار $(m\,g\,h_2)$ ، أي أن

$$U_2 = -\,m\,g\,h_2$$

مما سبق يمكن تعريف طاقة الوضع التثاقلية لجسم عند مستوى معين بأنها

الشغل المبذول لإيصال الجسم إلى ذلك المستوى من مستوى اتفق على أن تكون طاقة الوضع فيه تساوي صفراً .

كذلك عند رفع الجسم من المستوى (C) إلى المستوى (A) لابد أن تبذل شغلاً على الجسم مقداره (mgh_2) يعادل ما فقده الجسم في أثناء سقوطه .

ملاحظات

1 – يعتبر سطح الأرض هو المستوى الذي تكون عنده طاقة الوضع التثاقلية صفراً .

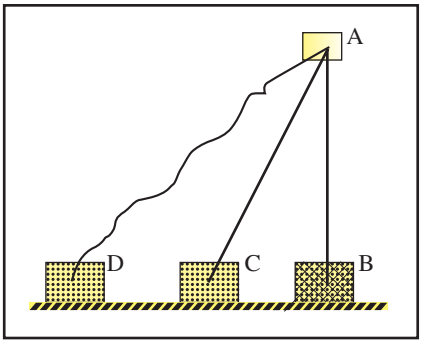
2 – تكون طاقة الوضع التثاقلية موجبة إذا ارتفعنا فوق سطح الأرض كما في الشكل (3-12) عند المستوى (B) .

3 – تكون طاقة الوضع التثاقلية سالبة إذا نزلنا تحت سطح الأرض كـما في الشكل (3-12) عند المستوى (C) .

4-3 الشغل في مجال الجاذبية الأرضية :

يمكن إيصال جسم كتلته (m) من سطح الأرض إلى نقطة (A) بتحريكه على عدة مسارات مختلفة ففي شكل (3-13) مثلاً يمكن إيصال الجسم إلى نقطة (A) على المسارات (BA) ، (CA) ، (DA) .

فهل تختلف قيمة الشغل المبذول على الجسم إذا حركناه على هذه المسارات المختلفة؟

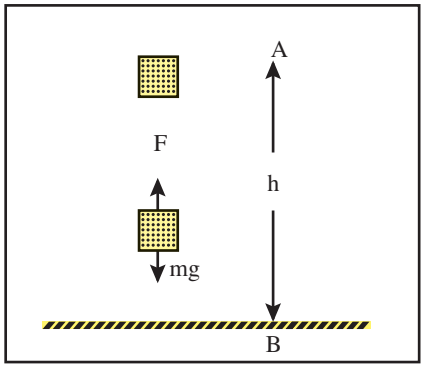


شكل (3-13)

للإجابة على السؤال علينا حساب مقدار الشغل المبذول في كل حالة :

(1) التحرك على المسار (BA) :

لإزاحة الجسم مسافة رأسية (h) بين النقطتين (B) ، (A) كما في الشكل (3-14) فإننا نؤثر في الجسم بقوة تساوي (على الأقل) وزن الجسم .

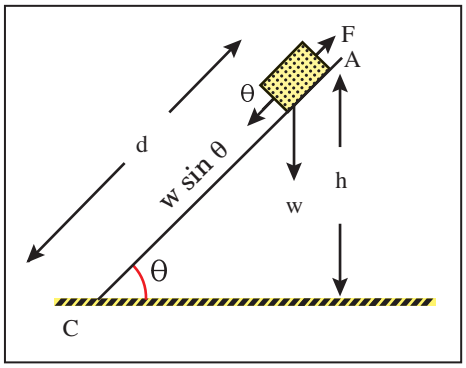


شكل (3-14)

$$W = Fh$$
$$F = w = mg$$
$$W_{B \to A} = m\,g\,h$$

(2) التحرك على المسار (CA) :

على اعتبار أن المستوى المائل (CA) عديم الاحتكاك ويميل على الأفقي بزاوية (θ) ، وطوله (d) كما في الشكل (3-15) . لتحريك الجسم من (C) إلى (A) نؤثر فيه بقوة تساوي على الأقل مركبة وزنه الموازية للمستوى المائل :



شكل (3-15)

$$F = w \sin\theta$$
$$= mg \sin\theta$$
$$\therefore \quad W = FS$$

والمسافة التي يتحركها الجسم من (C) إلى (A) هي d

$$\therefore \quad W_{C \rightarrow A} = mg\sin\theta \times d$$

$$\because \quad \sin\theta = \frac{h}{d}$$

$$\therefore \quad W_{C \rightarrow A} = mg \times \frac{h}{d} \times d$$

$$\therefore \quad W_{C \rightarrow A} = mg\,h$$

(3) التحرك على المسار المتعرج (DA) :

على اعتبار أن المسار المتعرج ، يمكن اعتباره أجزاء صغيرة كل منها يميل على المستوى الأفقي بزاوية تختلف في مقدارها من جزء لآخر ، أي يختلف مقدار القوة اللازمة لتحريك الجسم من جزء لآخر .

لذلك يقسم المسار بين (D) ، (A) إلى أجزاء (مستقيمة تقريباً) صغيرة ومتتالية هي (DA_1) ، $(A_1 A_2)$ ، (A_2A_3) ، . . .

الشغل الكلي المبذول في تحريك الجسم من (D) إلى (A) = مجموع الشغل المبذول لتحريك الجسم على المسارات الصغيرة .

$$\therefore \quad W_{D \rightarrow A} = m\,g\,h$$

من (1) ، (2) ، (3) نتوصل للاستنتاج التالي :

الشغل المبذول ضد قوة جذب الأرض لايعتمد على المسار الذي يسلكه الجسم بل يتوقف على الارتفاع الرأسي الذي نرفع إليه الجسم .

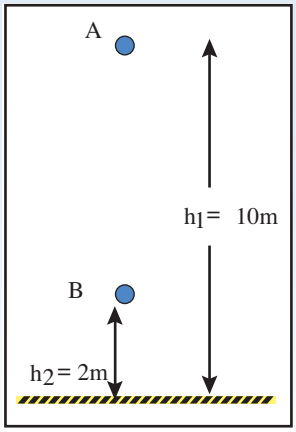
مثال 5

جسم كتلته 5 kg ، يسقط سقوطاً حراً من نقطة (A) على ارتفاع 10 m عن سطح الأرض شكل (3-16) إلى نقطة (B) التي تبعد عن سطح الأرض 2 m احسب :

1 – مقدار التغير في طاقة الوضع للجسم .

2 – الشغل الذي بذله الجسم في أثناء سقوطه بين (A) ، (B) .

3 – ما العلاقة بين الشغل الذي بذله الجسم ومقدار التغير في طاقة الوضع التثاقلية للجسم؟ (اعتبر أن $g = 10\ m/s^2$) .



شكل (3-16)

الحل

-1

$$\Delta U = U_2 - U_1$$
$$= mg\,h_2 - mg\,h_1$$
$$= 5 \times 10 \times 2 - 5 \times 10 \times 10$$
$$= 100 - 500$$

-2

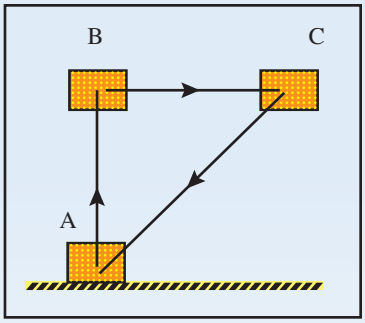
$$\therefore \quad \Delta U = -400\,J$$
$$W = m\,g\,(h_1 - h_2)$$
$$= 5 \times 10\,(10 - 2)$$
$$= 400\,J$$

3 - نستنتج أن الشغل الذي يبذله الجسم في أثناء سقوطه سقوطاً حراً في مجال الجاذبية الأرضية يساوي مقدار النقص في طاقة الوضع لذلك الجسم

$$W = -\Delta U$$

مثال 6

احسب الشغل المبذول ضد قوة جذب الأرض لتحريك جسم كتلته (m) على المسار (A B C A) شكل (17-3) .



شكل (17-3)

الحل

$$\Delta W = m\,g\,h$$

∵ الجسم تحرك من (A) وعاد إليها فتكون إزاحته الرأسية (h) = صفراً

$$\therefore \quad W = m\,g \times 0 = 0$$

ماذا نستنتج؟ . . .

نستنتج من المثال السابق أن :

الشغل المبذول لتحريك جسم على مسار مغلق في مجال الجاذبية الأرضية المنتظم يساوي صفراً .

الحل

-1

$$\Delta U = U_2 - U_1$$
$$= mg\,h_2 - mg\,h_1$$
$$= 5 \times 10 \times 2 - 5 \times 10 \times 10$$
$$= 100 - 500$$

-2

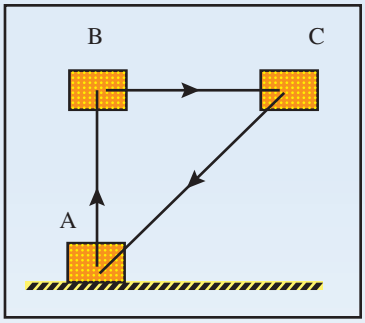
$$\therefore \quad \Delta U = -400\,J$$
$$W = m\,g\,(h_1 - h_2)$$
$$= 5 \times 10\,(10 - 2)$$
$$= 400\,J$$

3 - نستنتج أن الشغل الذي يبذله الجسم في أثناء سقوطه سقوطاً حراً في مجال الجاذبية الأرضية يساوي مقدار النقص في طاقة الوضع لذلك الجسم

$$W = -\Delta U$$

مثال 6

احسب الشغل المبذول ضد قوة جذب الأرض لتحريك جسم كتلته (m) على المسار (A B C A) شكل (17-3) .



شكل (17-3)

الحل

$$\Delta W = m\,g\,h$$

∵ الجسم تحرك من (A) وعاد إليها فتكون إزاحته الرأسية (h) = صفراً

$$\therefore \quad W = m\,g \times 0 = 0$$

ماذا نستنتج؟ . . .

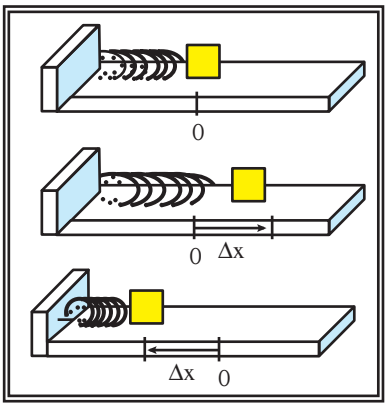
نستنتج من المثال السابق أن :

الشغل المبذول لتحريك جسم على مسار مغلق في مجال الجاذبية الأرضية المنتظم يساوي صفراً .

5-3 طاقة الوضع المرونية : Elastic Potential Energy

قام العالم «روبرت هوك » بدراسة العلاقة بين القوى المؤثرة على المواد المرنة والتغيرات الحادثة في شكلها وقد توصل إلى هذه العلاقة والتي صاغها في القانون المعروف باسمه والذي ينص على أن :

«مقدار التغير الذي يطرأ على شكل الجسم يتناسب طردياً مع مقدار القوة المؤثرة عليه بشرط عدم تعدي الجسم حد مرونته» .



شكل (3-18)

لاحظ شكل (3-18)

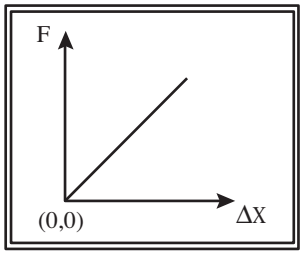
كما يعبر عن هذا القانون رياضياً بالعلاقة : $F = k\,\Delta x$

F القوة المؤثرة على الجسم (النابض مثلاً) والمحدثة لشده أو ضغطه .

Δx مقدار التغير الحادث في طول الجسم (النابض مثلا) عند شده أو ضغطه .

K ثابت هوك أو القوة للجسم ووحدته (N/m) ويتوقف على :

- نوع المادة المصنوع منها الجسم .
- درجة الحرارة .
- طول النابض أو عدد حلقاته .
- نصف قطر حلقاته .



شكل (3-19)

ويعرف ثابت هوك (القوة) بأنه القوة اللازمة لإحداث وحدة الاستطالة .

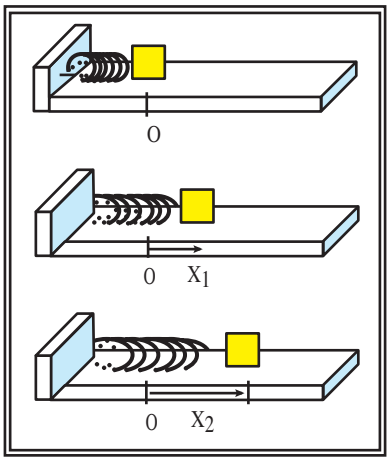
ويمثل الشكل المقابل (3-19) المنحنى البياني المعبر عن العلاقة السابقة .

ووفقاً للقانون الثالث لنيوتن فإن النابض يؤثر على المؤثر المحدث لاستطالته أو ضغطه بقوة مساوية له بالمقدار ومعاكسة له بالاتجاه منشؤها مرونته وتسمى قوة الإرجاع $(\vec{F})$ ويمكن صياغة علاقتها رياضياً كما يلي :

$$\vec{F} = -\vec{F} = -k\,\Delta x$$

والإشارة السالبة تدل على أن قوة الإرجاع الناشئة عن مرونة النابض تعمل في عكس اتجاه القوة المحدثة لاستطالته أو ضغطه (والتي تغير شكله) .

ولما كانت القوة المؤثرة على الجسم والمحدثة لتغير في إزاحته عن موضع اتزانه بمقدار (Δx) حيث $(\Delta x = x_2 - x_1)$ هي متوسط القوى المؤثرة عليه بين الموضعين (F') شكل (3-20)



شكل (3-20)

$$F' = \frac{(F_1+F_2)}{2} = \frac{1}{2}Kx_1 + \frac{1}{2}Kx_2 = \frac{1}{2}K(x_1+x_2)$$

$$(\Delta X = x_2 - x_1 \quad , \quad \theta = 0)$$

حيث $W = F' \Delta x \cos\theta$

$$W = \frac{1}{2}K(x_2+x_1)(x_2-x_1)$$

$$= \frac{1}{2}K(x_2^2 - x_1^2) = \frac{1}{2}Kx_2^2 - \frac{1}{2}Kx_1^2$$

ويختزن هذا الشغل في النابض (الجسم المرن)على هيئة طاقة تسمى طاقة الوضع المرونية (U_s)

$$U = \frac{1}{2}Kx_2^2 - \frac{1}{2}Kx_1^2$$

وهي الطاقة التى يكتسبها الجسم المرن (النابض مثلاً)عند شده أو ضغطه

في حالة $x_1 = 0$

$$U - 0 = \frac{1}{2}Kx_2^2 - 0$$

$$\boxed{U_s = \frac{1}{2}kx^2}$$

حيث (x) هى الازاحة أو الاستطالة الحادثة للجسم بين الموضعين .

6-3 القوى المحافظة والقوى غير المحافظة :

القوى المحافظة هي قوى لايعتمد شغلها على المسار الذي يسلكه الجسم مثل قوة جذب الأرض والقوة الكهربائية والقوة المغناطيسية . . . والشغل الذي تنجزه هذه القوى على جسم في مسار مغلق يساوي صفراً أما القوى التي يعتمد شغلها على المسار فتدعى بالقوى غير المحافظة مثل قوة الاحتكاك .

والشغل الذي تنجزه هذه القوى على جسم في مسار مغلق لايساوي صفراً .

7-3 الطاقة الميكانيكية الكلية :

عندما يتحرك جسم على مستوى يرتفع تدريجياً ، فإنه يكون للجسم عند أية نقطة عبر المسار طاقتان ، الأولى طاقة حركية يكتسبها الجسم نتيجة حركته ، والثانية طاقة وضع تثاقلية يكتسبها الجسم نتيجة لموضعه عند تلك النقطة بالنسبة لسطح الأرض .

والطاقة الميكانيكية الكلية لجسم هي مجموع طاقتي الحركة والوضع .

الطاقة الميكانيكية الكلية = طاقة الحركة + طاقة الوضع

$$E = K + U$$

$$E = \frac{1}{2} m V^2 + m g h$$

8-3 قانون حفظ الطاقة لجسم في مجال منتظم :

مما سبق دراسته يتبين أنه يمكن حساب الشغل المبذول في سقوط جسم سقوطاً حراً بين نقطتين من :

$$W = \Delta K$$

$$W = -\Delta U$$

$$\therefore \quad -\Delta U = \Delta K$$

$$-(U_2 - U_1) = K_2 - K_1$$

$$\therefore \quad K_1 + U_1 = K_2 + U_2 = E$$

$$\therefore \quad E = (cons)$$

أي أنَّ الطاقة الميكانيكية الكلية لجسم في مجال الجاذبية الأرضية (أو أي مجال منتظم) تبقى محفوظة وهذا ما يسمى قانون حفظ الطاقة لجسم في مجال منتظم .

ملاحظة

اقتصرت دراستنا على مفهوم الطاقة الميكانيكية الكلية لجسم وهي مجموع طاقتي الحركة والوضع للجسم .

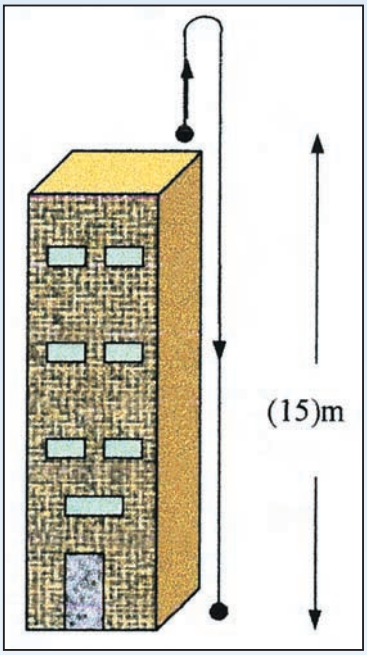
ولكن الطاقة الكلية لجسم هي مفهوم أشمل من الطاقة الميكانيكية فالطاقة الكلية لجسم هي مجموع كل الطاقات التي يمتلكها الجسم من طاقة حركة وطاقة وضع وطاقة حرارية ، . . .

مثال 7

شخص يقف على سطح بناية على ارتفاع 15m عن سطح الأرض ، ويقذف بحجر كتلته 0.2 kg رأسياً إلى أعلى بسرعة 12 m/s . احسب :

1 – سرعة الحجر لحظة وصوله إلى الأرض .

[اعتبر أن $g = 10\ m/s^2$]



شكل (3-21)

الحل

$$E = K_0 + U_0$$
$$= \frac{1}{2} m v_0^2 + m g h$$
$$= \frac{1}{2} (0.2)(12)^2 + (0.2) \times 10 \times 15$$
$$= 14.4 + 30$$
$$= 44.4 J$$

وعندما يصل الحجر إلى سطح الأرض تكون طاقته الكلية كلها على شكل طاقة حركة فقط (U = 0) .

$$E = \frac{1}{2} m v_2^2 + 0$$
$$44.4 = \frac{1}{2} (0.2) V_2^2$$
$$V_2^2 = 444$$
$$V_2 = 21.1\ m/s$$

2 - حاول حساب سرعة الحجر عندما يكون على ارتفاع 10 m من سطح الأرض .

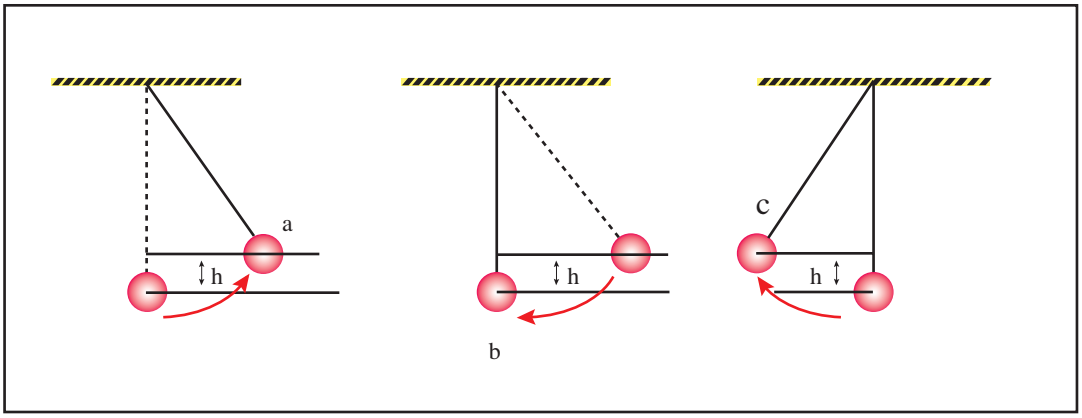
ملاحظة :

في حل المثال (7) اعتبرنا سقوط الحجر سقوطاً حراً وذلك بإهمال مقاومة الهواء وقوى الاحتكاك .

فإذا تم وضع قوى الاحتكاك في الاعتبار فإن تحول الطاقة لن يكون بين طاقة حركة وطاقة وضع فقط . بل سيتم تحول الطاقة بالإضافة للحركة والوضع لصور أخرى من الطاقة كطاقة حرارية وطاقة صوتية . . . وبالتالي فلن تكون الطاقة الميكانيكية الكلية ثابتة .

3-9 بعض تطبيقات قانون بقاء الطاقة :

1 – البندول البسيط :



شكل (3-22)

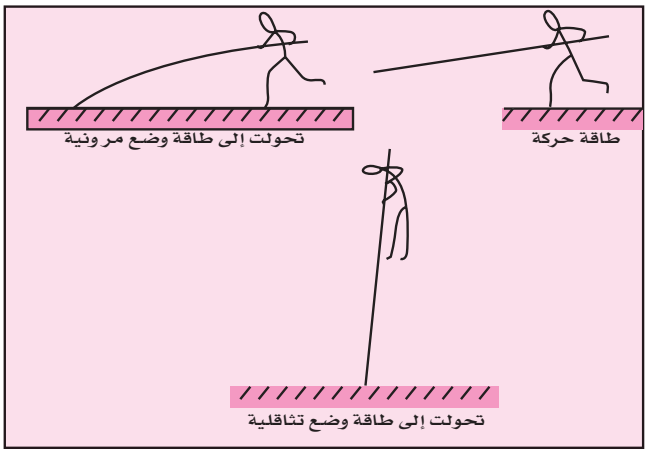
في شكل (3-22) عندما تكون كرة البندول عند أقصى إزاحة في الموضع (a) لها فإنها تمتلك طاقة وضع تثاقلية فقط وطاقة حركتها صفر نظراً لسكونها .

وإذا تركت لتتحرك فإنها عندما تصل للموضع (b) تتحول كل طاقة الوضع التثاقلية لها إلى طاقة حركة ، وعندما تصل إلى الموضع (c) تتحول طاقة الحركة مرة أخرى إلى طاقة وضع تثاقلية ، ثم تعود إلى الموضع (b) مرة أخرى وتتحول طاقة الوضع التثاقلية لطاقة حركة مرة أخرى وهكذا .

وفي أية لحظة يكون مجموع طاقة الحركة وطاقة الوضع ثابتاً (إذا أهمل الاحتكاك ومقاومة الهواء) .

2 - تتحول طاقة الوضع في مياه الشلالات إلى طاقة حركية تدار بها مولدات الطاقة الكهربائية .

3 - في لعبة القفز بالزانة . . . فإنه في أثناء ركض اللاعب وهو يحمل الزانة يكتسب طاقة حركة وعندما يسند رأس الزانة إلى الأرض في اتجاه مائل تنثني الزانة وتتحول طاقة الحركة إلى طاقة وضع مرونية تختزن في الزانة ثم تتحول إلى طاقة وضع تثاقلية لجسم اللاعب عندما يرتفع إلى أعلى ، شكل (3-23) .



شكل (3-23)

من ذلك نستنتج أن الطاقة لاتفنى ولاتستحدث من عدم . فإذا اختفى قدر من الطاقة فإنه يظهر على شكل صورة أو صور أخرى من الطاقة .

10-3 القدرة : Power

عندما تصعد سلماً فإنك تبذل شغلاً لرفع جسمك إلى أعلى السلم ولكن هناك فرق بين صعودك السلم بسرعة وصعودك له ببطء فعلى الرغم من أن الشغل المنجز في الحالتين متساوٍ لأنك ترفع جسمك إلى الارتفاع نفسه إلا أن الإنهاك يصيبك في الحالة الأولى أكثر من الحالة الثانية مما يجعلنا نتجه لمفهوم جديد غير الشغل وهو «القدرة» .

وتعرف القدرة بأنها كمية الشغل المنجز خلال وحدة الزمن «المعدل الزمني لإنجاز الشغل» .

$$\text{القدرة (P)} = \frac{\text{الشغل المنجز}}{\text{الزمن المستغرق في إنجاز الشغل}}$$

$$(P) = \frac{W}{t}$$

وعندما يكون الشغل بوحدة الجول والزمن بالثانية فإن وحدة القدرة تكون الوات W ويعرف الوات بأنه قدرة آلة تنجز شغلاً مقداره (1) جول في كل ثانية .

وينسب الوات إلى العالم جيمس وات (1819 - 1736) المهندس الاسكتلندي الذي اخترع الآلة البخارية .

والكيلو وات = 1000 W وهي وحدة أكثر استعمالاً من الوات ، وتستعمل في الحياة العملية وحدة قدرة شائعة هي الحصان الميكانيكي (أو الحصان البخاري) H.P. (Horse Power) وتساوي W(745.7) .

مثال 8

آلة رفع ترفع ثقلاً كتلته 600 kg لارتفاع 2 m خلال نصف دقيقة ، احسب قدرة الآلة .

الحل

$$W = F\,h$$

$$= m\,g\,h$$

$$= 600 \times 10 \times 2$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{12000}{30} = 400\ W$$

تذكر أن

1. الشغل الذي تبذله قوة في تحريك جسم ما يساوي حاصل الضرب العددي (الداخلي) لمتجهي القوة والإزاحة .

2. الشغل المبذول في تحريك جسم يساوي عددياً المساحة تحت منحنى (القوة – الإزاحة) .

3. يكون الشغل موجباً إذا كانت القوة المؤثرة في الجسم محدثة للإزاحة ويكون سالباً إذاً كانت القوة المؤثرة في الجسم معيقة للحركة .

4. الشغل الذي تبذله القوة في إزاحة جسم من موضع لآخر يساوي مقدار التغير في الطاقة الحركية للجسم بين هذين الموضعين .

5. طاقة الوضع التثاقلية لجسم على ارتفاع ما من سطح الأرض تساوي مقدار الشغل الذي بذل لرفع الجسم إلى هذا الارتفاع (باعتبار الطاقة عند مستوى سطح الأرض مساوية للصفر) .

6. الشغل المبذول لرفع جسم ضد قوة جذب الأرض لايتوقف على المسار الذي يسلكه الجسم ولكنه يتوقف على الارتفاع الرأسي الذي رفع إليه .

7. الشغل المبذول لتحريك جسم في مسار مغلق في مجال الجاذبية الأرضية يساوي صفراً .

8. الطاقة الميكانيكية الكلية لجسم تساوي مجموع طاقتي الحركة والوضع له وهي محفوظة في المجال المنتظم (بإهمال قوى الاحتكاك ومقاومة الهواء) .

9. القدرة هي كمية الشغل المنجز خلال وحدة الزمن .

10. الوات هو قدرة آلة تنجز شغلاً قدره جول واحد في كل ثانية .

التقويم

المجموعة الأولى : الأسئلة الموضوعية

السؤال الأول :

أ – اكتب بين القوسين الاسم أو المصطلح العلمي الذي تدل عليه كل من العبارات التالية :

1 حاصل الضرب (الداخلي) لِمُتَّجهي القوة والإزاحة . (.....)

2 الشغل الذي تنجزه قوة مقدارها نيوتن واحد عندما تزيح جسما باتجاهها مسافة مقدارها متراً واحداً . (.....)

3 قوى لا يعتمد شغلها على المسار الذي يسلكه الجسم . (.....)

4 قوى يعتمد شغلها على المسار . (.....)

5 مجموع كل الطاقات التي يمتلكها الجسم من طاقة وضع وحركة وحرارة . . . الخ . (.....)

6 كمية الشغل المنجز خلال وحدة الزمن . (.....)

7 قدرة آلة تنجز شغلاً مقداره (1)جول في كل ثانية . (.....)

السؤال الثاني :

ضع في الدائرة علامة (✓) أمام العبارة الصحيحة و علامة (X) أمام العبارة غير الصحيحة فيما يلي :

1 كلما قلت الزاوية المحصورة بين اتجاه إزاحة جسم واتجاه القوة المؤثرة عليه زاد الشغل المبذول عليه . ◯

2 الشغل الذي تبذله قوة في إعاقة حركة جسم يكون أكبر ما يمكن عندما تكون القوة عكس اتجاه الحركة . ◯

3 الشغل هو حاصل الضرب الاتجاهي لمتجهي القوة والإزاحة وهو كمية متجهة . ◯

4 عندما يتحرك جسم على مسار مغلق تحت تأثير قوة ثابتة فإن الشغل المبذول يساوي(صفراً) . ◯

5 الشغل الذي يبذل في إزاحة جسم يساوي المساحة تحت منحنى (القوة–الزمن) . ◯

6 إذا أثرت قوة باتجاه عمودي على اتجاه إزاحة جسم فإن شغل القوة يكون أكبر ما يمكن . ◯

7 الشغل الناتج عن قوة ثابتة تؤثر في جسم متحرك يساوي التغير في طاقة حركة الجسم . ◯

8 الشغل المبذول ضد قوة جذب الأرض يتوقف على المسار الذي يسلكه الجسم . ◯

9 القدرة هي المعدل الزمني لإنجاز شغل . ◯

السؤال الثالث :

أكمل العبارات التالية بما تراه مناسباً :

1 العملية التي تقوم فيها القوة بتحريك جسم في الاتجاه الذي تؤثر فيه تسمى ..... .

2 الشغل كمية فيزيائية ..... ووحدة قياسه(الجول) تكافئ ..... .

3 عندما يتحرك جسم بسرعة ثابتة تحت تأثير قوى متزنة فإن الشغل المبذول على الجسم يساوي ..... .

4 الشغل يساوي عدديا مساحة الشكل تحت منحنى(..... – .....) .

5 الشغل المبذول لتحريك جسم على مسار مغلق في مجال الجاذبية المنتظم يساوي ..... .

6 المستوى الذي تكون عنده طاقة الوضع التثاقلية لجسم تساوي (صفراً) هو ..... .

7 الشغل المبذول ضد قوة جذب الأرض على جسم يتوقف على ..... .

8 أثناء السقوط الحر لجسم في مجال الجاذبية الأرضية المنتظم فإن طاقة وضعه التثاقلية .....
وطاقته الحركية..... وطاقته الميكانيكية ..... .

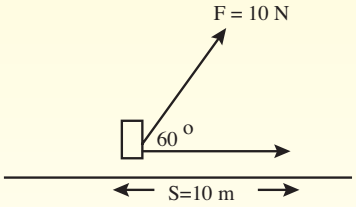
9 نابض مرن ، ثابت القوه له يساوي 100 N/m إذا أزيح عن موضع اتزانه 4 cm فإن الطاقة المرونية المختزنة فيه بوحدة (الجول) تساوي ..... .

10 محرك يرفع جسماً كتلته 1000 kg رأسياً إلى أعلى بسرعة 2 m/s فإن قدرة المحرك (بالوات) تساوي..... .

السؤال الرابع :

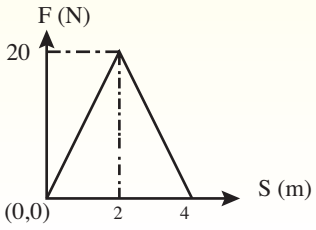
اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يلي وضع علامة (✓) في المربع المجاور لها :

1 الشكل المقابل يوضح قوة مقدارها 10 N إذا أثرت على جسم فأزاحته على المستوى الأفقي مسافة 10 m فإن الشغل المبذول على الجسم بوحدة الجول يساوي :



☐ 1 ☐ 50
☐ 100 ☐ 20

2 إذا كان الشكل المقابل يمثل تغير القوة الأفقية المؤثرة على جسم بتغير إزاحته الأفقية عن موضع بدء الحركة ، فإن الشغل المبذول على الجسم بوحدة الجول يساوي :



☐ صفراً ☐ 40
☐ 10 ☐ 80

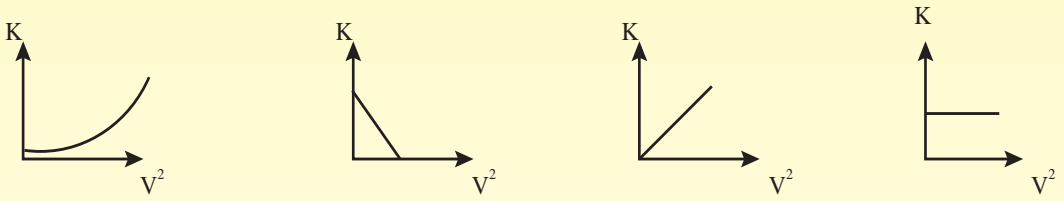
3 جسم كتلته 5 kg يتحرك بسرعة 3 m/s إذا أثرت عليه قوة فأوقفته تماماً عن الحركة فإن شغل هذه القوة بوحدة (الجول) يساوي :

☐ صفر ☐ 15 ☐ 22.5 ☐ 45

4 يحمل طالب حقيبة كتبه التي تزن 30 N ويتحرك بها من ساحة المدرسة إلى الملعب مسافة أفقية قدرها 300 m فإن الشغل الذي يبذله الطالب بوحدة الجول يساوي :

☐ صفر ☐ 10 ☐ 0.1 ☐ 9000

5 أفضل منحنى بياني يمثل العلاقة بين طاقة حركة جسم وسرعته هو :



☐ ☐ ☐ ☐

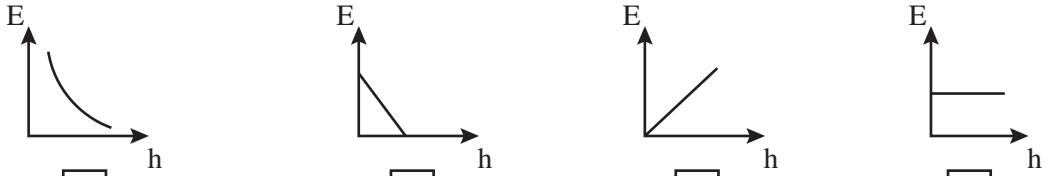
6 إذا سقط جسم سقوطاً حراً فى مجال الجاذبية الأرضية المنتظم فإن :

الإجابة	طاقة حركته	طاقة وضعه	طاقة الميكانيكية
	تزيد	تقل	تقل
	تقل	تزيد	لا تتغير
	تزيد	تقل	لاتتغير
	تقل	تزيد	تزيد

7 (a ، b) جسمان يتحركان على مستوى أفقي أملس فإذا كانت $m_a = 2\ m_b$ ، $V_a = \frac{1}{2} V_b$ فإن :

☐ $k_a = k_b$ ☐ $k_a = 2k_b$ ☐ $k_b = 2k_a$ ☐ $k_b = \frac{1}{2} k_a$

8 أفضل خط بياني يمثل العلاقة بين الطاقة الميكانيكية E لجسم ساقط بحرية في مجال الجاذبية الأرضية والارتفاع الرأسي للجسم عن سطح الأرض هو :



☐ ☐ ☐ ☐

المجموعة الثانية : الأسئلة المقالية

السؤال الخامس :

أثبت أن :

أ- الشغل المبذول لتحريك جسم بين موضعين يساوي مقدار التغير في طاقة حركة الجسم بين هذين الموضعين .

ب- الشغل الذي يبذله جسم في أثناء سقوطه سقوطاً حراً في مجال الجاذبية الأرضية يساوي مقدار النقص في طاقة وضع الجسم .

جـ- الطاقة الميكانيكية الكلية لجسم في مجال الجاذبية الأرضية محفوظة .

السؤال السادس :

علل لكل مما يلي تعليلاً علمياً دقيقاً :

1 - ارتفاع درجة حرارة إطارات السيارة ارتفاعاً ملحوظاً خلال عملية توقيفها .

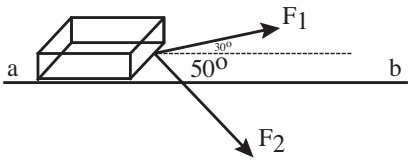
2 - يركض لاعب القفز بالزانة بسرعة وهو يحملها قبل أن يسند رأس الزانة في الأرض .

3 - شغل قوة الاحتكاك على جسم متحرك يكون سالباً .

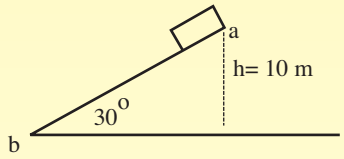
السؤال السابع :

حل المسائل التالية :

1 تؤثر القوتان الأفقيتان $F_1 = 10\ N$ ، $F_2 = 20\ N$ على الجسم في الشكل المقابل ، فتحركاه مسافة S على المستوى الأفقي من a إلى b تساوي 5 m . احسب الشغل الكلي المبذول في سحب الجسم .



2 يتحرك مكعب كتلته 2 kg من نقطة a أعلى مستوى أملس يميل على الأفق بزاوية 30 ويرتفع طرفه a عن الأرض 10 m إلى نهاية المستوى احسب :

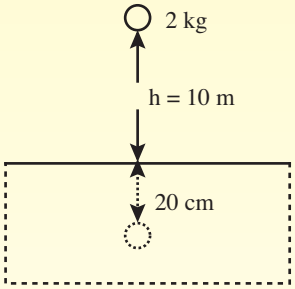


1 – الشغل المبذول من المكعب

2 – سرعة المكعب لحظة وصوله لنقطة (b)

3 سيارة كتلتها 1200 kg تتحرك بسرعة 30 m/s ، ضغط قائدها على المكابح فانزلقت ثم ما لبثت أن توقفت تماماً عن الحركة ، فإذا علمت أن قوة الاحتكاك بين العجلات وسطح الطريق 6000 N احسب المسافة التي انزلقتها السيارة قبل أن تتوقف .

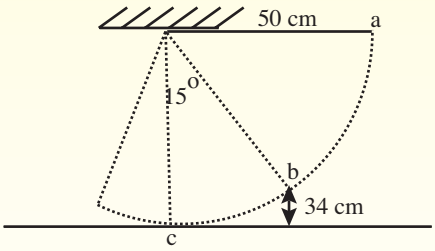
4 كرة من الحديد كتلتها 2 Kg تسقط سقوطاً حراً من ارتفاع 10 m عن سطح تربة رملية ، وتخترق الكرة سطح التربة إلى عمق 20cm قبل أن تسكن . احسب متوسط القوة المؤثرة على الكرة أثناء حركتها في التربة .



5 تحرك ثقل البندول من الموضع a باتجاه موضع الاتزان c مروراً بنقطة b حسب المسار الموضح بالشكل المقابل احسب :

1– سرعة الثقل لحظة مروره بموضع الاتزان c .

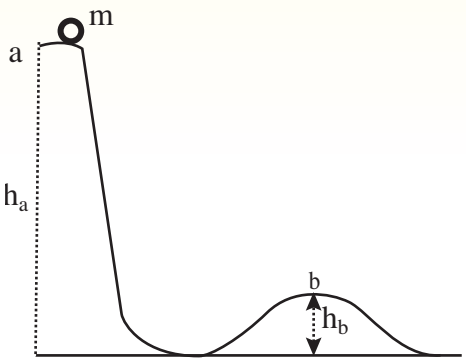
2– سرعة الثقل لحظة مروره بنقطة b .



6 تتحرك كرة كتلتها m على المسار الملتوي الموضح بالشكل المقابل من السكون ، فإذا علمت أن المسار أملس تماماً

أثبت أن :

$$V_b = \sqrt{2\,g\,(h_a - h_b)}$$



الفصل الرابع

كمية الحركة والتصادم
Momentum and Collisions

يهدف هذا الفصل إلى تقديم مفهوم فيزيائي له تطبيقات عديدة هو كمية الحركة ، وإلى التعريف بقانون حفظ كمية الحركة مع عرض بعض الأمثلة التوضيحية والتطبيقات الحياتية .

كما يعرض الفصل فكرة مبسطة عن موضوع التصادم وأنواعه مع عرض بعض الأنشطة والتجارب العملية .

1-4 كمية الحركة الخطية Linear Momentum

نعرف من مشاهداتنا اليومية أن محاولة إيقاف جسم كبير متحرك أصعب من إيقاف جسم أصغر منه ويتحرك بالسرعة نفسها ، بل إن فارق الصعوبة يزيد كلما كانت كتلة الجسم أكبر والتحرك كان بسرعة أكبر .

إن حاصل ضرب كتلة الجسم في متجه سرعته ، هو ما يسمى : كمية الحركة الخطية للجسم . وتكتب بالصيغة الرياضية التالية :

$$\vec{P} = m\vec{v}$$

وهي كمية متجهة ، لها اتجاه السرعة $(\vec{V})$ ووحدتها kg.m/s .

شكل (1-4)

مثال 1

يتحرك جسم كتلته 5 kg بسرعة 2 m/s في خط مستقيم وعندما أثرت فيه قوة ثابتة مقدارها 10 N زادت سرعته إلى 16 m/s . أوجد مقدار كل من :

أ – كمية الحركة الخطية الابتدائية .

ب كمية الحركة الخطية النهائية .

جـ – مقدار التغير في مقدار كمية الحركة الخطية .

الحل

$$\vec{P}_1 = m\vec{v}_1 = 5 \times 2 = 10 \text{ kg. m/s}$$

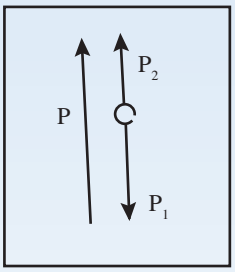
$$\vec{P}_2 = m\vec{v}_2 = 5 \times 16 = 80 \text{ kg. m/s}$$

$$\Delta\vec{P} = (\vec{P}_2 - \vec{P}_1) = 80 - 10 = 70 \text{ kg. m/s}$$

مثال 2

سقطت كرة مطاطية كتلتها 420 g من مكان مرتفع فوصلت سطح الأرض بسرعة 20m/s ثم ارتدت رأسياً إلى أعلى بسرعة 15 m/s . احسب مقدار التغير في كمية الحركة الخطية للكرة .

الحل



شكل (4 - 2)

يجب الانتباه إلى إشارة سرعة الجسم لأنه يتحرك في اتجاهين متعاكسين ، وسوف نختار الاتجاه إلى أسفل ليكون الاتجاه الموجب للسرعة :

$$\vec{P}_1 = m\vec{v}_1 = 0.42 \times 20 = 8.4 \text{ kg. m/s}$$
$$\vec{P}_2 = m\vec{v}_2 = 0.42 \times (-15) = -6.3 \text{ kg. m/s}$$
$$\Delta\vec{P} = \vec{P}_2 - \vec{P}_1 = -6.3 - 8.4 = -14.7 \text{ kg. m/s}$$

ويمكن تمثيل متجهات كمية الحركة الابتدائية والنهائية ومتجه التغير في كمية الحركة كما في الشكل المقابل .

2-4 الدفع : Impulse

عندما يدفع لاعب البلياردو الكرة بالعصا ، فإن طرف العصا يلامس الكرة عند نقطة التأثير لفترة زمنية قصيرة Δt ، فتتحرك الكرة من السكون بتأثير قوة الدفع التي تلقتها من العصا . والمقدار الناتج من **حاصل ضرب القوة المؤثرة في جسم في زمن تأثيرها يسمى الدفع** ، وتكتب العلاقة بالصيغة الرياضية التالية .

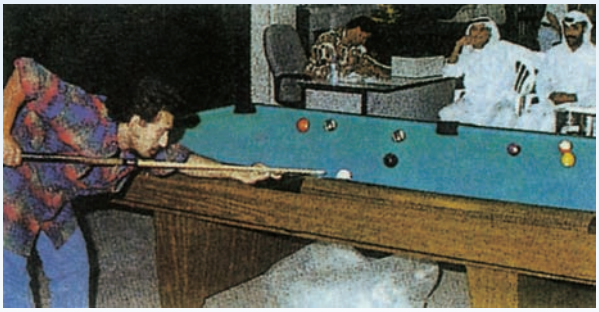
$$\vec{I} = \vec{F}\Delta t$$

والدفع كمية متجهة ، اتجاهها في اتجاه القوة المؤثرة $(\vec{F})$ ووحدته N.S .

مثال 3

دفع لاعب البلياردو طرف عصاه نحو كرة ساكنة كتلتها 150 g فأثرت فيها بقوة 3 N . فإذا كانت السرعة النهائية للكرة تساوي 3 m/s . فاحسب الدفع الذي أثرت به العصا بفرض أن القوة كانت ثابتة في أثناء عملية الدفع .

الحل



شكل (4 - 3)

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{3}{0.15} = 20\ m/s^2$$

$$\Delta t = \frac{(V_2 - V_1)}{a} = \frac{(3-0)}{20}$$

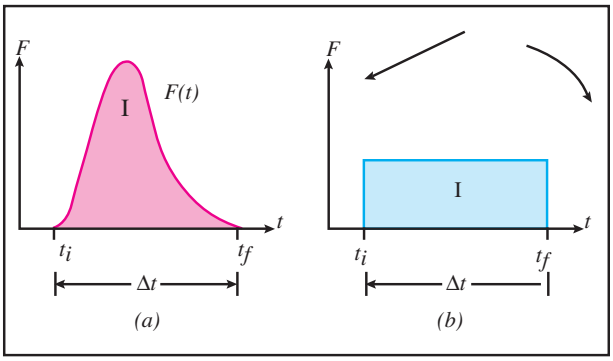
$$= 0.15s$$

$$\vec{I} = \vec{F}.\Delta t = 3 \times 0.15$$

$$= 0.45\ N.S$$

التمثيل البياني للدفع :

I. قوة الدفع التي تؤثر بها عصا اللاعب تتغير من قيمة صغيرة عند بداية الفترة الزمنية إلى قيمة قصوى (عظمى) ثم قيمة صغيرة مرة أخرى لحظة نهاية فترة تلامسها بالكرة . ويكون منحنى (القوة – الزمن) كما هو موضح في الشكل a(4 - 4) . والمساحة تحت المنحنى تمثل الدفع .



شكل (4 - 4)

II. يتركز الاهتمام إلى إيجاد متوسط قوة الدفع خلال الفترة الزمنية Δt فيصبح الشكل البياني لمنحنى القوة والزمن كما هو موضح في الشكل b(4-4) وفي هذا الشكل يمثل ارتفاع المستطيل مقدار متوسط قوة الدفع المؤثرة خلال الفترة الزمنية Δt .

وتكون مساحة المستطيل مساوية للمساحة تحت المنحنى في الشكل a ومساوية لمقدار الدفع $(\vec{I})$ الذي تؤثر به العصا في الكرة .

1-2-4 الدفع والتغير في كمية الحركة الخطية :

عندما تؤثر قوة ثابتة $(\vec{F})$ في جسم كتلته (m) فإنه يتحرك بعجلة $(\vec{a})$ تعطى بالعلاقة :

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \qquad \text{..... (1)}$$

ومن معادلات الحركة المعجلة في خط مستقيم وخلال فترة زمنية قصيرة Δt ، يمكن كتابة معادلة العجلة كالتالي :

$$\vec{a} = (\vec{v}_2 - \vec{v}_1) / \Delta t \qquad \text{..... (2)}$$

بمقارنة المعادلتين (1) ، (2) نجد أن :

$$(\vec{F} / m) = (\vec{v}_2 - \vec{v}_1) / \Delta t$$

$$\vec{F} . \Delta t = m (\vec{v}_2 - \vec{v}_1) = \Delta \vec{P}$$

$$\boxed{\vec{I} = \Delta \vec{P}} \qquad \text{..... (3)}$$

فالدفع $(\vec{I})$ يساوي التغير في كمية الحركة الخطية .

ومن المعادلة (3)

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t}$$

أي أن :

القوة المؤثرة على جسم تساوي المعدل الزمني للتغير في كمية حركة الجسم

مثال 4

ركل لاعب كرة كتلتها 350g تتحرك بسرعة 0.5m/s . فأصبحت سرعتها بعد الركلة مباشرة 4.5m/s في نفس الاتجاه . فإذا كان زمن تلامس قدم اللاعب بالكرة 0.14s ، فما مقدار متوسط قوة دفع قدم اللاعب للكرة؟

شكل (4 - 5)

الحل

$$\vec{P}_1 = m \vec{v}_1 = 0.35 \times 0.5 = 0.175 \text{ kg. m/s}$$

$$\vec{P}_2 = m \vec{v}_2 = 0.35 \times 4.5 = 1.575 \text{ kg. m/s}$$

$$\Delta \vec{P} = 1.575 - 0.175 = 1.4 \text{ kg. m/s}$$

$$\because \vec{I} = \vec{F} . \Delta t = \Delta \vec{P}$$

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t} = \frac{1.4}{0.14} = 10\text{N}$$

مثال 5

كرة كتلتها 1 kg سقطت رأسياً من أعلى برج فوصلت سطح الأرض بسرعة مقدارها 10 m/s ثم ارتدت بسرعة 5 m/s ، احسب مقدار الدفع الذي أثر في الكرة خلال فترة تماسها مع سطح الأرض ، وما مقدار متوسط القوة المؤثرة فيها إذا استغرقت فترة التماس 0.15 s ؟

الحل

اعتبر الاتجاه إلى أسفل هو الاتجاه الموجب للسرعة .

$$\vec{I} = \Delta \vec{P} = m(v_2 - v_2) = 1(-5 - 10)$$

$$= -15 \text{ kg. m/s}$$

$$\vec{I} = \vec{F}.\Delta t$$

$$\vec{F} = \frac{\vec{I}}{\Delta t} = -\frac{15}{0.15} = -100 \text{ N}$$

قارن قيمة هذه القوة بوزن الكرة :

$$mg = 1 \times 10 = 10\text{N}$$

ماذا تستنتج؟

«في أثناء عملية الدفع تكون القوة المؤثرة كبيرة جداً بالنسبة لأية قوة خارجية قد تكون مؤثرة»

3-4 حفظ (بقاء) كمية الحركة الخطية لجملة مادية مكونة من جسمين :
Conservation of linear momentum for a system of two bodies

شكل (4 - 6)

إذا دفع جسم جسماً آخر بقوة ، وتمت دراسة التأثير الناتج ، ورد الفعل دون تدخل أي قوة خارجية ، يقال أن الجسمين يكونان جملة مادية أو نظاماً مادياً معزولاً .

نشاط (1)

1 – ضع ركابين مختلفين بالكتلة في منتصف مضمار هوائي .

2 – زود الصدامين المتقابلين بدعامة مرنة ثم اربطهما معاً بوساطة خيط من القطن . وعند تحرير الدعامة المرنة تنطلق مثل قذيفة تعمل على دفع الركابين في اتجاهين متضادين (انظر الشكل 4-7) .

مثال 5

كرة كتلتها 1 kg سقطت رأسياً من أعلى برج فوصلت سطح الأرض بسرعة مقدارها 10 m/s ثم ارتدت بسرعة 5 m/s ، احسب مقدار الدفع الذي أثر في الكرة خلال فترة تماسها مع سطح الأرض ، وما مقدار متوسط القوة المؤثرة فيها إذا استغرقت فترة التماس 0.15 s ؟

الحل

اعتبر الاتجاه إلى أسفل هو الاتجاه الموجب للسرعة .

$$\vec{I} = \Delta \vec{P} = m(v_2 - v_2) = 1(-5 - 10)$$

$$= -15 \text{ kg. m/s}$$

$$\vec{I} = \vec{F}.\Delta t$$

$$\vec{F} = \frac{\vec{I}}{\Delta t} = -\frac{15}{0.15} = -100 \text{ N}$$

قارن قيمة هذه القوة بوزن الكرة :

$$mg = 1 \times 10 = 10\text{N}$$

ماذا تستنتج؟

«في أثناء عملية الدفع تكون القوة المؤثرة كبيرة جداً بالنسبة لأية قوة خارجية قد تكون مؤثرة»

3-4 حفظ (بقاء) كمية الحركة الخطية لجملة مادية مكونة من جسمين :
Conservation of linear momentum for a system of two bodies

شكل (4 - 6)

إذا دفع جسم جسماً آخر بقوة ، وتمت دراسة التأثير الناتج ، ورد الفعل دون تدخل أي قوة خارجية ، يقال أن الجسمين يكونان جملة مادية أو نظاماً مادياً معزولاً .

نشاط (1)

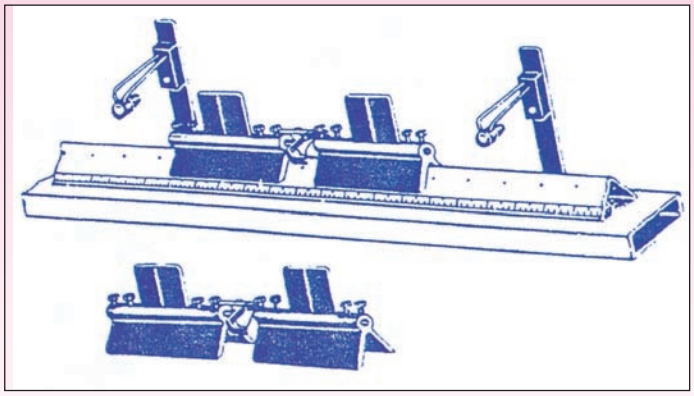
1 – ضع ركابين مختلفين بالكتلة في منتصف مضمار هوائي .

2 – زود الصدامين المتقابلين بدعامة مرنة ثم اربطهما معاً بوساطة خيط من القطن . وعند تحرير الدعامة المرنة تنطلق مثل قذيفة تعمل على دفع الركابين في اتجاهين متضادين (انظر الشكل 4-7) .

3 – واستخدم جهاز توقيت كهربائياً لقياس السرعة ، ولتكن قيمتها (V_1) للركاب الأول ، (V_2) للركاب الثاني .

4 – احسب مقدار كمية الحركة الخطية لكل منهما بعد الدفع باستخدام المعادلة :

$$\vec{P} = m\vec{v}$$



شكل (4 - 7)

5 – احسب التغير في كمية الحركة الخطية لكل من الركابين :

$$\Delta\vec{P}_1 = m\vec{v}_1 - 0 = m_1\vec{v}_1$$

$$\Delta\vec{P}_2 = -m\vec{v}_2 - 0 = -m_2\vec{v}_2$$

لأن كليهما كانا ساكنين قبل الدفع ، والحركة بعد الدفع في اتجاهين متضادين .

6 – قارن بين قيمتيهما العددية وستجد أن مقدار : $m_1 v_1 = m_2 v_2$

الاستنتاج :

1 – إذا تدافع جسمان ، فإن الجسم الأول يؤثر في الجسم الثاني بدفع يساوي الدفع الذي يتلقاه من الجسم الثاني ولكن بعكس الاتجاه :

$$\vec{I}_{1-2} = -\vec{I}_{2-1}$$

2 – التغير في كمية الحركة الخطية للجسم الأول يساوي مقدار التغير في كمية الحركة الخطية للجسم الثاني ويعاكسه بالاتجاه :

$$\Delta\vec{P}_1 = -\Delta\vec{P}_2$$

3 – مجموع التغير في كمية الحركة الخطية لجملة الجسمين بعد التدافع :

$$\boxed{\Delta\vec{P} = \Delta\vec{P}_1 + \Delta\vec{P}_2 = 0}$$

وهذا يعني أنه **«إذا تدافع جسمان فإنه لايحدث تغيير في كمية الحركة الخطية لجملة الجسمين بعد التدافع مباشرة»** .

وهذا هو قانون حفظ كمية الحركة الخطية لجملة مادية معزولة مكونة من جسمين .

مثال 6

تنطلق قذيفة كتلتها 50 g من فوهة بندقية بسرعة 200 m/s . أوجد سرعة ارتداد البندقية إذا كانت كتلتها 8 kg .

شكل (4 - 8)

الحل

باعتبار أن اتجاه سرعة القذيفة هو الاتجاه الموجب :

$$\Delta \vec{P}_1 = -\Delta \vec{P}_1$$

$$m_1 \vec{v}_1 = -m_2 \vec{v}_2$$

$$\therefore \quad v_2 = -\frac{m_1 v_1}{m_2}$$

$$= -\frac{0.05 \times 200}{8}$$

$$= -1.25 \text{ m/s}$$

تطبيقات على التدافع :

1 – انفخ بالونة أطفال ثم اتركها لتتحرك ، ولاحظ اتجاه حركتها وقارنه مع اتجاه الهواء الخارج من فتحتها .

شكل (4 - 9)

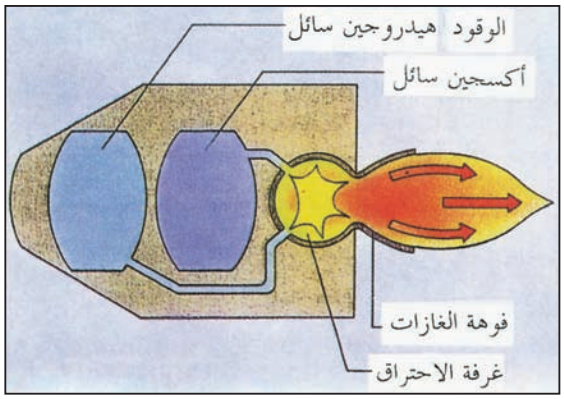
2 – تنطلق الدراجة المائية (جت سكي) إلى الأمام بدفعها الماء نحو الخلف . فعندما يبذل محركها قوة نفث لدفع الماء الملامس لفوهته ، يقوم الماء بدفع الدراجة المائية بالقوة نفسها وبالاتجاه المعاكس مما يسبب حركتها .

3 – يدفع المتزلج على الجليد بقدميه الأرض من تحته ليتحرك إلى الأمام . وفي الواقع فإن الأرض تتلقى من المتزلج مقدار الدفع نفسه ، ولكن لضخامة كتلتها

شكل (4 - 10)

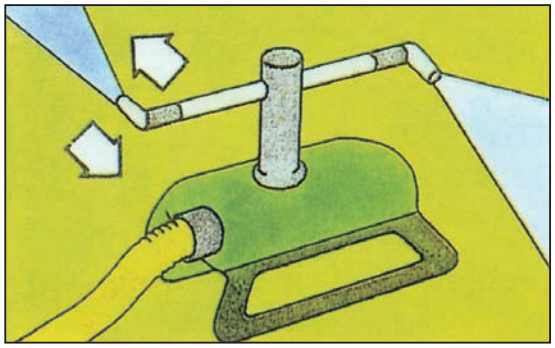
بالنسبة لكتلة المتزلج ، فهي لاتتحرك بالمقدار الذي يمكن ملاحظته .

4 – ينطلق الصاروخ بقوة دفع الغازات المحترقة المنطلقة من فوهته نحو الخلف دافعة جسم الصاروخ نحو الاتجاه المعاكس كرد فعل . ويظهر تأثير التدافع بين الغازات المحترقة وبين الصاروخ عندما يخرج من نطاق الغلاف الغازي للأرض ، حيث تنعدم قوة مقاومة الهواء المعيقة لحركته .



شكل (4 - 11)

5 – رشاش مياه الحديقة يدور ليغطي أكبر مساحة ممكنة بفعل التدافع بين الماء المندفع وبين الجزء المعدني من الرشاش بقوتي ازدواج (سبق دراستها) .



شكل (4 - 12)

4-4 التصادم : Collision

يعرف التصادم بأنه حدث بين جسمين يؤثر خلاله كل جسم في الآخر بقوة كبيرة خلال فترة زمنية قصيرة .

شكل (4 - 13)

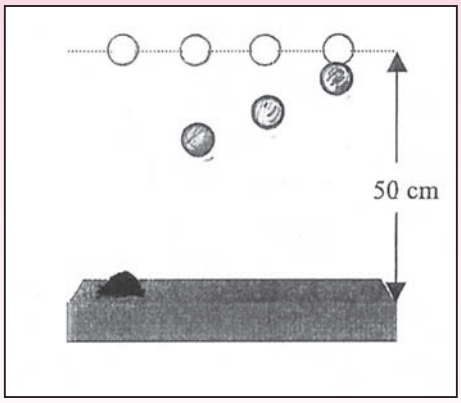
نشاط (2)

1 – أحضر أربع كرات ،يفضل أن تكون متقاربة الحجم ، من المواد التالية : حديد صلب – زجاج – مطاط – طين الصلصال .

2 – حدد ارتفاعاً معيناً (50cm مثلاً) ثم أسقط منه الكرة الأولى على سطح صلب أملس ذي

كتلة كبيرة (سندان) ، ثم قس مقدار الارتفاع الذي تصل إليه في ارتدادها إلى أعلى ، وسجل النتيجة .

3 – كرّر الخطوة السابقة مع الكرات الأخرى وسجل النتائج للمقارنة .



شكل (4 - 14)

سوف تلاحظ من هذا النشاط أن الكرات ترتد إلى ارتفاعات مختلفة ، فمثلاً كرة الصلب ترتد لارتفاع قريب من مكان سقوطها ، بينما كرة الزجاج وكرة المطاط تصل كلّ منهما إلى ارتفاع أقل من الارتفاع الذي أسقطت منه ، أما كرة الصلصال فإنها تلتصق بالسطح ولاترتد ويحدث تشويه في شكلها كما هو موضح في الشكل (4-14) .

ماذا تستنتج من هذا النشاط؟

1 – من معلوماتك السابقة (انظر الفصل الثالث من هذا الكتاب) يمكنك أن تستنتج أن :

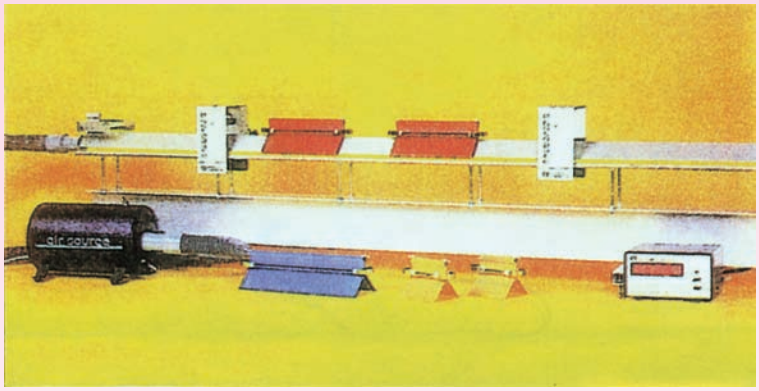
النقص في طاقة وضع أي من الكرات بين الارتفاع الذي أسقطت منه والارتفاع الذي ارتدت إليه ، يمثل مقدار الطاقة الحركية التي فقدتها الكرة نتيجة لتصادمها بالسطح . (قانون حفظ الطاقة الميكانيكية الكلية) .

2 – يقسم التصادم بين جسمين إلى تصادم يشبه تصادم كرة الصلب بالسطح ، ويسمى تصادماً مرناً كلياً ، وتصادم يماثل تصادم كرة الزجاج أو المطاط ويسمى تصادماً لامرناً ، وتصادم يماثل تصادم كرة الصلصال ويسمى تصادماً لامرناً كلياً .

(I) التصادم المرن كلياً Perfect Elastic Collision

خلال هذا التصادم عادة ما يتلامس الجسمان لفترة زمنية قصيرة جداً ثم ينفصلان عن بعضهما بعد التصادم .

نشاط (3)



شكل (4 - 15)

1 – استخدم ميزاناً حساساً لإيجاد كتلة أحد الركابين المتماثلين (m) بعد تزويد كل منهما بدعامة مرنة ثم ضعهما على مضمار هوائي .

2 – ثبت خليتين كهروضوئيتين بالمضمار على بعد معين من بعضهما ثم صلهما بساعتي توقيت كهربائية . بحيث يكون الركاب الأول خارج الخلية الكهروضوئية الأولى والركاب الثاني بينهما وقريباً من الخلية الكهروضوئية الثانية .

3 – ادفع الركاب الأول بحيث يمر في طريقه على ساعة الخلية الكهروضوئية الأولى . احسب سرعة هذا الركاب ولتكن v_1 كما بالشكل (4–15) .

4 – احسب سرعة الركاب الثاني بعد الصدم ولتكن v_2 .

5 – سوف تلاحظ أن مقدار $(v_2 = v_1)$ ، وهذا يعني أنه قد حدث تبادل للسرعة فيما بين الركابين بعد التصادم . فالركاب الساكن تحرك بعد التصادم بسرعة الركاب الصادم نفسها ، بينما ستجد أن الأخير قد توقف عن الحركة ، أي أصبحت سرعته بعد التصادم v_1' تساوي صفراً .

6 – احسب مقدار التغير في كمية الحركة الخطية لكل من الركابين بعد التصادم مباشرة :

الركاب الأول $\Delta \vec{P}_1 = m\vec{v}_1' - m\vec{v}_1 = 0 - m\vec{v}_1 = -m\vec{v}_1$

الركاب الثاني $\Delta \vec{P}_2 = m\vec{v}_2' - m\vec{v}_2 = m\vec{v}_2' - 0 = m\vec{v}_2'$

التغير في كمية الحركة الخطية لجملة الجسمين :

$$\Delta \vec{P} = \Delta \vec{P}_1 + \Delta \vec{P}_2 = -mv_1 + m'v$$

$$= 0$$

نشاط (4)

كرر الخطوات السابقة بجعل الركابين يتحركان باتجاهين متعاكسين قبل التصادم ، ثم احسب مقدار التغير في كمية الحركة الخطية لجملة الجسمين .

نشاط (5)

كرر خطوات النشاط السابق باستخدام ركابين مختلفين بالكتلة ، ثم احسب مقدار التغير في كمية الحركة الخطية لجملة الركابين .

الاستنتاج :

مما سبق ومن نتائج الأنشطة ، نستنتج أن كمية الحركة الخطية لجملة الجسمين المتصادمين تصادماً مرناً كلياً تبقى ثابتة . أي أن :

كمية الحركة الخطية لجملة الجسمين بعد التصادم مباشرة = كمية الحركة الخطية لجملة الجسمين قبل التصادم مباشرة

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2$$

وتعتبر هذه المعادلة هي الصيغة الرياضية لقانون بقاء كمية الحركة الخطية وبالمعادلة التالية يمكن حساب سرعة الركاب الأول بعد التصادم :

$$(\vec{v}'_1) = \frac{2m_2v_2 + (m_1 - m_2)v_1}{(m_1 + m_2)}$$

وبالمعادلة التالية تُحسب سرعة الركاب الثاني بعد التصادم :

$$(\vec{v}'_2) = \frac{2m_1v_1 - (m_1 - m_2)v_2}{(m_1 + m_2)}$$

يتميز هذا النوع من التصادم بأن مجموع طاقة الحركة لجملة الجسمين محفوظة أيضاً :

طاقة الحركة لجملة الجسمين بعد التصادم = طاقة الحركة لجملة الجسمين قبل التصادم

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2$$

ملاحظة :

عند حل التمارين والمسائل أو رسم المتجهات يجب مراعاة الاتجاهات لتحديد إشارة كل كمية متجهة عند التعويض عنها في المعادلة .

مثال 7

يتحرك جسم كتلته 5 kg بسرعة 2 m/s شرقاً ، إذا تصادم مع جسم آخر كتلته 3 kg يتحرك بسرعة 2 m/s غرباً . ما سرعة كل منهما بعد أن يتصادما تصادماً مرناً كلياً؟

الحل

$$v_1' = \frac{2m_2v_2 + (m_1 - m_2)v_1}{(m_1 + m_2)}$$

$$= \frac{2 \times 3 \times (-2) + (5 - 3) \times 2}{(5 + 3)}$$

$$= -1 m/s$$ (سرعة الجسم الأول 1m/s غرباً)

$$v_2' = \frac{2m_1v_1 - (m_1 - m_2)v_2}{(m_1 + m_2)}$$

$$= \frac{2 \times 5 \times 2 - (5 - 3) \times (-2)}{(5 + 3)}$$

$$= 3 m/s$$ (سرعة الجسم الثاني 3m/s شرقاً)

(II) التصادم اللامرن كلياً : Perfect Ineleastic Collision

في هذا التصادم يلتحم الجسمان ليصبحا جسماً واحداً ، ويصبح لهما بعد التصادم سرعة واحدة ، ومع ذلك تبقى كمية الحركة الخطية لجملة الجسمين ثابتة بعد التصادم مباشرة . أما طاقة الحركة للجملة

فلا تبقى ثابتة ، بل تقل بعد التصادم عما كانت عليه قبل التصادم .

والنقص في طاقة الحركة يتحول إلى أشكال أخرى للطاقة (تحقيقاً لقانون حفظ الطاقة الميكانيكية الكلية) مثل طاقة حرارية ، وطاقة صوتية ، وطاقة ضوئية (شرارة) ، وشغل يظهر بشكل تشوه للجسمين ، وجزء يُستهلك في عملية التحام الجسمين ، وهكذا .

وبتطبيق قانون بقاء كمية الحركة لجملة الجسمين يمكن كتابة المعادلة التالية :

مجموع كمية الحركة الخطية للجسمين بعد التصادم مباشرة = مجموع كمية الحركة الخطية للجسمين قبل التصادم مباشرة

أي أن :

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2)\,v'$$

ومن المعادلة يمكن حساب السرعة المشتركة لجملة الجسمين بعد التصادم مباشرة .

مثال 8

يتحرك جسم كتلته 5 kg شمالاً بسرعة 4 m/s تصادم مع جسم آخر كتلته 3 kg ، يتحرك بسرعة 6 m/s جنوباً . فإذا التحم الجسمان وتحركا كجسم واحد ، فما مقدار السرعة المشتركة لهما وما اتجاهها؟ احسب كذلك مقدار طاقة الحركة المبددة .

الحل

$$v' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{(5 \times 4) + (3 \times -6)}{(5 + 3)}$$

$$= 0.25 \text{ m/s}$$

واتجاهها شمالاً باتجاه حركة الجسم الأول .

طاقة الحركة للجسمين قبل التصادم

$$K = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2$$

$$= \left(\frac{1}{2} \times 5 \times 16\right) + \left(\frac{1}{2} \times 3 \times 36\right)$$

$$= 40 + 54 = 94 J$$

طاقة الحركة للجسمين بعد التصادم

$$\acute{K} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)\acute{v}^2$$

$$= \frac{1}{2}(5+3) \times 0.0625 = 0.25\ J$$

مقدار الطاقة المبددة :

$$\Delta K = K - \acute{K}$$

$$= 94 - 0.25 = 93.75\ J$$

تذكر أن

1 تُعرف كمية الحركة الخطية بأنها حاصل ضرب كتلة الجسم في سرعته الخطية ، $\vec{P} = m\vec{v}$ وهي كمية متجهة ووحداتها kg. m/s .

2 يُعرف الدفع بأنه حاصل ضرب القوة المؤثرة في زمن تأثيرها ، $\vec{I} = \vec{F}.\Delta t$ وهو كمية متجهة ووحداتها N.s .

3 الوحدة N.s تكافئ الوحدة kg. m/s .

4 المساحة المحصورة تحت منحنى (القوة الزمن) ويحدها الفترة Δt تساوي مقدار الدفع .

5 الدفع يساوي التغير في كمية الحركة الخطية للجسم $\vec{I} = \vec{F}.\Delta t = \Delta \vec{P}$.

6 الجملة المادية (النظام المادي المعزول) هي التي تتكون من جسمين أو أكثر بحيث يحدث تأثير متبادل للقوى بينهما دون تدخل أو تأثير لأية قوة خارجية .

7 التدافع عملية تبادل الدفع بين جسمين بحيث يؤثر الأول في الثاني بقوة تساوي بالمقدار وتعاكس بالاتجاه القوة التي يؤثر بها الثاني في الأول .

8 تكون كمية الحركة الخطية لجملة مادية مكونة من جسمين ثابتة خلال عملية التدافع $\Delta \vec{P} = 0$.

9 للتدافع تطبيقات كثيرة تظهر في المشي ، وانطلاق الطائرات المروحية والنفاثة ، والقوارب البخارية ، ومرشات الحدائق ، والصواريخ .

10 التصادم هو حدث بين جسمين يؤثر خلاله كل جسم في الآخر بقوة كبيرة في فترة زمنية قصيرة .

11 درجات التصادم تتراوح بين التصادم المرن كلياً والتصادم اللامرن كلياً .

12 التصادم المرن كلياً هو التصادم الذي ينفصل بعده الجسمان عن بعضهما مباشرة ، وتكون كمية الحركة الخطية لجملة الجسمين ، وطاقة حركتيهما محفوظتين .

13 التصادم اللامرن كلياً هو التصادم الذي يلتحم لحظة حدوثه الجسمان ويتحركان معاً كجسم واحد .

14 لاتكون طاقة الحركة لجملة الجسمين في التصادم اللامرن محفوظة ، ولكن كمية الحركة الخطية لهما تكون محفوظة دائماً .

15 يتحول الفقد في طاقة حركة جملة الجسمين في التصادم اللامرن إلى شغل في عملية الالتحام ، وتشويه في الشكل ، وطاقة حرارية ، وطاقة صوتية .

التقويم

المجموعة الأولى : الأسئلة الموضوعية

السؤال الأول :

اكتب بين القوسين الاسم أو المصطلح العلمي الذي تدل عليه كل عبارة من العبارات التالية :

1 حاصل ضرب كتلة الجسم في سرعته . (.....)

2 حاصل ضرب القوة المؤثرة في جسم في زمن تأثيرها . (.....)

3 إذا تدافع جسمان فانه لا يحدث تغير في كمية الحركة الخطية لجملة الجسمين بعد التدافع مباشرة . (.....)

4 حدث بين جسمين يؤثر خلاله كل جسم في الآخر بقوة كبيرة خلال فترة زمنية قصيرة . (.....)

5 نوع من التصادمات يلتحم فيه الجسمان المتصادمان ليصبحا جسماً واحداً ويصبح لهما بعد التصادم سرعة واحدة . (.....)

6 التصادم الذي ينفصل فيه الجسمان المتصادمان بعده عن بعضهما مباشرة وتكون طاقتا حركتيهما محفوظة . (.....)

السؤال الثاني :

ضع بين القوسين علامة (✓) أمام العبارة الصحيحة و علامة (✗) أمام العبارة غير الصحيحة فيما يلي :

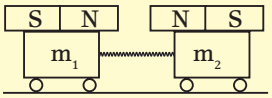
1 كمية الحركة الخطية لجسم متحرك بعجلة منتظمة تكون منتظمة . ( )

2 كمية الحركة الخطية كمية متجهة لها دوماً اتجاه السرعة . ( )

3 الدفع الذي يتلقاه جسم يساوى التغير في طاقة حركة الجسم . ( )

4 (N .s) وحدة لقياس الدفع وتكافئ (Kg .m / s) . ( )

5 الشكل المقابل يوضح جسمين مختلفين في الكتلة موضوعين على مستوى أملس تماماً ويحمل كل منهما مغناطيساً بحيثُ يكونُ قطباهما المتشابهين متقابلين ، فعند حرق الخيط يتحرك الجسمان باتجاهين متعاكسين وبنفس السرعة . ( )



شكل(4-16)

6 يدور رشاش مياه الحديقة بفعل التدافع بين الماء المندفع منه والجزء المعدني من الرشاش . ( )

7 عند حدوث تصادم بين جسمين فإن طاقة الحركة للجسمين بعد التصادم تظل محفوظة مهما كان نوع التصادم . ( )

8 عند حدوث تصادم بين جسمين فإن كمية الحركة للجسمين بعد التصادم تظل محفوظة مهما كان نوع التصادم . ( )

9 عند حدوث تصادم بين جسمين فإن الطاقة الميكانيكية للجسمين بعد التصادم تبقى محفوظة . ( )

10 الدفع الذي يتلقاه جسم يساوي عددياً مساحة الشكل تحت منحنى (السرعة – الزمن) . ( )

11 التصادم نوع من أنواع التدافع . ( )

12 سيارة وشاحنة تقفان على أرضية أفقية ملساء تماماً ، ولكي يتحركا بنفس السرعة يحتاجان لدفع متساوٍ . ( )

السؤال الثالث :

أكمل العبارات التالية بما تراه مناسباً :

1 جسم كتلته 20 Kg يتحرك بسرعة ثابتة مقدارها 5 m/s فإن كمية حركته بوحدة Kg.m/s تساوي ....

2 كمية الحركة الخطية لجسم تتناسب ..... مع سرعة الجسم .

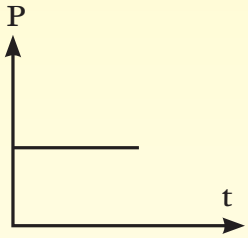
3 الأجسام مختلفة الكتلة المتحركة بنفس السرعة تكون كميات حركتها الخطية ..... .

4 كمية الحركة كمية ..... لأنها حاصل ضرب كمية ..... هي السرعة في كمية ..... هي الكتلة .

5 الدفع الذي يتلقاه جسم تؤثر عليه قوة ثابتة يتناسب ..... مع ..... .

6 القوة المؤثرة على جسم تساوي ..... للتغير في كمية الحركة الخطية للجسم .

7 إذا كان الشكل المقابل (4-17) يمثل العلاقة بين كمية الحركة لجسم متحرك وزمن الحركة فإن الدفع الذي تلقاه الجسم يساوي ..... .



شكل(4-17)

8 الدفع الذي تتلقاه أرضية جليدية من متزلج يقف عليها ..... الدفع الذي يتلقاه المتزلج من الأرض .

9 أثناء انطلاق قذيفة من فوهة مدفع فإن التغير في كمية حركة القذيفة ..... التغير في كمية حركة المدفع ، وتكون سرعة انطلاق القذيفة ..... سرعة ارتداد المدفع .

10 التغير في كمية الحركة الخطية لجملة مكونة من جسمين متدافعين يساوي ..... .

11 التصادم الذي يلتحم لحظة حدوثه الجسمان المتصادمان ويتحركان معاً وبسرعة واحدة هو التصادم ..... .

12 عند حدوث تصادم مرن كلياً بين أي جسمين فإن ..... تكون محفوظة ، وكذلك ..... تكون محفوظة .

السؤال الرابع :

ضع علامة (✓) أمام أنسب إجابة لكل من العبارات التالية :

1 كمية الحركة الخطية لسيارة 28×10^3 kg.m/s فإذا كانت تسير بسرعة ثابتة مقدارها 35 m/s فإن كتلتها تساوي بوحدة kg :

( ) 280 ( ) 350 ( ) 630 ( ) 800

2 دفع لاعب البولينج الكرة بقوة تساوي 25 N ، فإذا كانت كمية حركة الكرة لحظة انفصالها عن يد اللاعب 40 kg. m/s فإن زمن تأثير القوة بوحدة الثانية :

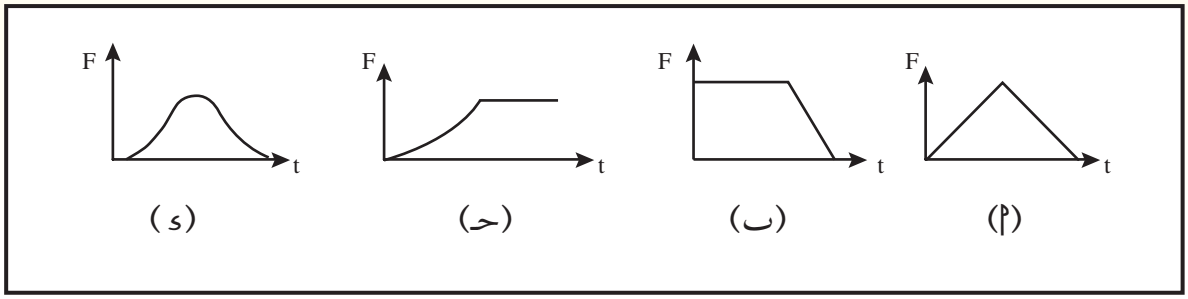
( ) 0.5 ( ) 1.6 ( ) 2.1 ( ) 2.8

شكل (4 - 18)

3 تتحرك سيارة كتلتها 900 kg ، بسرعة 20 m/s فإذا زاد سائقها سرعتها إلى 55 m/s خلال نصف دقيقة ، فإن متوسط قوة المحرك التي سببت التعجيل تساوي (بوحدة نيوتن) :

( ) 900 ( ) 1050 ( ) 1800 ( ) 4950

4 أفضل منحنى بياني يعبر عن ركل اللاعب للكرة بقدمه من لحظة ملامسة القدم للكرة حتى انفصالها عنها هو :



شكل (4 - 19)

5 إذا تصادم جسم كتلته 2kg يتحرك بسرعة 5 m/s مع جسم آخر مساوٍ له بالكتلة وساكن ،

فإن مقدار التغير في كمية حركة الجسم المصدوم تساوي بوحدة kg.m/s :

( ) 10 ( ) 10- ( ) 5 ( ) 5-

6 تدافع صديقان عندما كانا في صالة التزلج بحيث تحركا في اتجاهين متعاكسين . فإذا كانت كتلة أحدهما 55 kg وتحرك بسرعة 3 m/s وكتلة الآخر 50 kg وتحرك بسرعة 3.3 m/s فإن التغير في كمية الحركة للصديقين تساوي (بوحدة kg m/s) :

( ) صفراً ( ) 1050 ( ) 330 ( ) 165

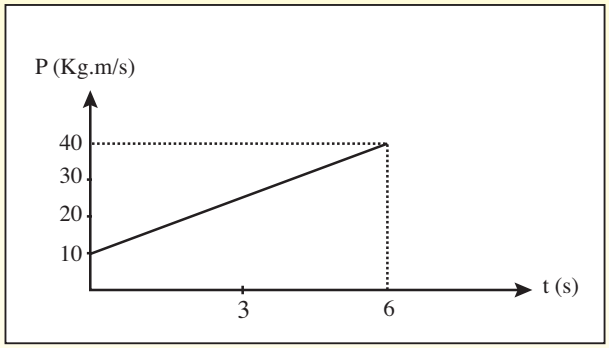
7 سقطت كرة صغيرة من الصلب كتلتها m على سطح أفقي أملس فارتدت إلى الأعلى بمقدار سرعة اصطدامها بالسطح نفسه ، v ، فإن التغير في كمية الحركة الخطية لها يساوي :

( ) صفراً ( ) 2mv ( ) mv ( ) ½mv

8 من المنحنى البياني في الشكل المقابل ، مقدار القوة المؤثرة يساوي (بوحدة النيوتن) :

( ) 60 ( )40

( )10 ( ) 5



شكل (4 - 20)

9 عندما ينزلق الطفل الذي كتلته 30 kg بدءاً من السكون على السطح المائل الذي طوله 1.6 m ويميل بزاوية 30° على الأفقي . فإن الدفع بوحدة kg. m/s يساوي :

( ) 60 ( ) 40

( ) 180 ( ) 120

شكل (4 - 21)

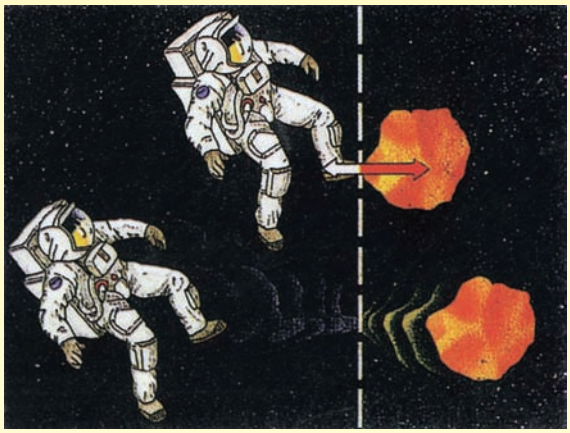
10 ركل رائد فضاء – مجموع كتلته مع معداته 90 kg وهو في الفضاء الخارجي حجراً ساكناً كتلته 120 kg فالمتوقع حدوثه هو :

(أ) لايتحرك رائد الفضاء أو الحجر لأنهما عديما الوزن .

(ب) يتحرك الحجر ورائد الفضاء بسرعة واحدة ولكن باتجاهين متعاكسين .

(حـ) يتحرك رائد الفضاء بسرعة أكبر من سرعة الحجر ولكن باتجاهين متعاكسين .

(ء) يتحرك رائد الفضاء والحجر بسرعتين مختلفتين ولكن بالاتجاه نفسه .



شكل (4 - 22)

المجموعة الثانية : الأسئلة المقالية

السؤال الخامس :

(أ) علل ما يلي تعليلاً علمياً سليماً :

شكل (4 - 23)

1 – يصعب إيقاف شاحنة محملة عن إيقاف سيارة صغيرة تسير بسرعة الشاحنة نفسها .

2 – عندما تسقط كرة مطاطية على أرضية الملعب المستوية فإنها لاترتد إلى المستوى الذي سقطت منه .

3 – الدفع كمية متجهة .

4 – كمية الحركة الخطية لجملة جسمين تدافعا تساوي الصفر قبل وبعد التدافع .

5 – في المشي عملية تدافع بين القدم وسطح الأرض . ولكننا لانشاهد الأرض تتحرك نتيجة لذلك في عكس اتجاه الشخص الماشي .

6 – لاتكون طاقة حركة جملة الجسمين في التصادم اللامرن محفوظة (ثابتة المقدار) .

7 – يتحرك الصاروخ في الفضاء الخارجي بشكل أفضل من حركته وهو في الغلاف الجوي للأرض .

(ب) أجب عن الأسئلة التالية :

1 – الصورة المقابلة توضح تغيراً لحظياً في شكل كرة لحظة ملامسة قدم اللاعب لها . ارسم منحنى (القوة – الزمن) المعبر عن هذه العملية منذ بداية الدفع حتى انفصال الكرة عن قدم اللاعب .

شكل (4 - 24)

2 – اكتب الصيغة الرياضية لقانون حفظ كمية الحركة الخطية لجملة مادية معزولة مكونة من جسمين .

3 – قارن بين التصادم المرن كلياً والتصادم اللامرن كلياً من حيث :

انفصال أو التحام الجسمين بعد التصادم – كمية الحركة لجملة الجسمين قبل وبعد التصادم . طاقة حركة جملة الجسمين قبل وبعد التصادم – أيهما أكثر حدوثاً في حياتنا الاعتيادية .

السؤال السادس :

حل المسائل التالية :

1 – يتحرك جسم كتلته 2 kg بسرعة 4 m/s ، إذا أثرت فيه قوة فازدادت سرعته إلى 6 m/s خلال زمن مقداره 3 s احسب :

أ – كمية الحركة الخطية الابتدائية .

ب – مقدار الدفع الذي تعرض له الجسم بتأثير القوة .

حـ – مقدار متوسط القوة المؤثرة .

2 – تؤثر القوة المرونية للقوس في سهم كتلته 0.2 kg فينطلق بسرعة 60 m/s ، أوجد :

أ – مقدار الدفع الذي تلقاه السهم .

ب – زمن تأثير القوة إذا كان مقدارها 30 N .

شكل (4 – 25)

3 – ما مقدار متوسط القوة التي ترتد بها بندقية آلية تطلق 120 قذيفة في الدقيقة ، إذا كانت كتلة كل قذيفة 12 g ، وسرعتها لحظة خروجها من فوهة البندقية 900 m/s .

4 – تسقط كرة مطاطية كتلتها 0.2 kg سقوطاً حراً من ارتفاع 5 m على أرضية صلبة مستوية ، فترتد رأسياً إلى أعلى لارتفاع 4 m . أوجد مايلي :

أ – مقدار الدفع الذي تؤثر به الكرة في سطح الأرض عند نقطة سقوطها إذا استغرق تماسها بالأرض 0.15 s .

ب – الفقد في طاقة حركة الكرة .

5 – جسم كتلته m_1 غير معلومة اصطدم تصادماً مرناً ومباشراً مع جسم ثانٍ كتلته 5 kg . فإذا كانت سرعة الجسم الأول قبل التصادم 55 m/s وبعد التصادم مباشرة تحرك هذا الجسم في الاتجاه المعاكس بسرعة 20 m/s احسب كتلة الجسم الأول وسرعة الجسم الثاني ، إذا علم أن هذا الجسم كان ساكناً قبل التصادم .

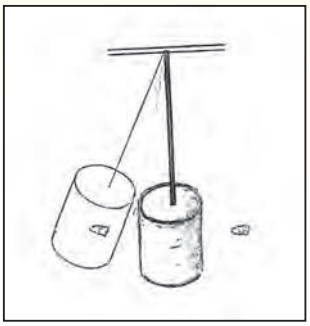
6 – عربة قطار كتلتها 2000 kg تتحرك على قضبان مستقيمة أفقية بسرعة 2 m/s ، اصطدمت بها عربة قطار أخرى كتلتها 3000 kg تسير بالاتجاه نفسه وبسرعة 5 m/s ، فالتحمتا معاً وتحركتا كجسم واحد .

أ – مانوع هذا التصادم؟

ب – ما مقدار سرعة الجملة بعد التصادم؟

حـ – إذا كانت العربة الثانية تتحرك بعكس اتجاه العربة الأولى قبل تصادمها ، فما مقدار واتجاه السرعة بعد التصادم ؟

7 – اصطدمت رصاصة كتلتها 20 g بقطعة خشبية معلقة كتلتها 10 kg ، فاستقرت بها ، ونتيجة للتصادم ارتفعت القطعة الخشبية لإزاحتها من وضع الاتزان ، مسافة مقدارها 10 cm انظر الشكل (4-26) . احسب سرعة الرصاصة قبل اصطدامها بالقطعة الخشبية .



شكل (4 – 26)

أودع بمكتبة الوزارة تحت رقم (١٢٦) بتاريخ ٢٨ / ٥ / ٢٠٠٨ م