جمهورية العراق
وزارة التربية
المديرية العامة للمناهج

الفيزياء

للصف الخامس العلمي

تأليف

أ.د. قاسم عزيز محمد
سعيد مجيد العبيدي
جلال جواد سعيد

د. شفاء مجيد جاسم
محمد حمد العجيلي
انتصار عبد الرزاق العبيدي

عباس ناجي البغدادي

الطبعة الحادية عشرة

١٤٤٦هـ - ٢٠٢٤م

المشرف العلمي على الطبع: م.م. أطياف حسين كاظم

المشرف الفني على الطبع: صلاح سعد محسن

منهاجي
متعة التعليم الهادف

المديرية العامة للمناهج
قسم التحضير الطباعي

الموقع والصفحة الرسمية للمديرية العامة للمناهج

www.manahj.edu.iq
manahjb@yahoo.com
Info@manahj.edu.iq
manahjb
manahj

المقدمة

عزيزي الطالب .....

عزيزتي الطالبة .....

يشكل هذا الكتاب دعامة من دعائم المنهج المطور في الفيزياء والذي يعمل على تحقيق اهداف علمية وعملية تواكب التطور العلمي في تكنولوجيا المعلومات والاتصالات كما يحقق هذا الكتاب ربطا للحقائق والمفاهيم التي يدرسها الطالب بواقع حياته اليومية المجتمعية .

إن هذا المنهج يهدف الى الموضوعات الاتية:

- توضيح العلاقة بين العلم والتكنولوجيا في مجال العلوم وتأثيرها في التنمية وربطها بالحياة العملية.
- اكساب الطالب منهجا للتفكير العلمي والانتقال به من التعليم المعتمد على الحفظ الى التعلم الذاتي الممزوج بالمتعة والتشويق .
- محاولة تدريب الطالب على الاستكشاف من خلال تنمية مهارات الملاحظة والتحليل والاستنتاج والتعليل .
- اكساب الطالب المهارات الحياتية والقدرات العلمية التطبيقية .
- تنمية مفهوم الاتجاهات الحديثة في المحافظة على التوازن البيئي محلياً وعالمياً .

يضم هذا الكتاب عشرة فصول هي (الفصل الاول – المتجهات , الفصل الثاني – الحركة , الفصل الثالث – قوانين الحركة , الفصل الرابع – الاتزان والعزوم , الفصل الخامس الشغل والقدرة والطاقة والزخم , الفصل السادس – الديناميكا الحرارية , الفصل السابع – الحركة الدائرية والدورانية , الفصل الثامن – الحركة الاهتزازية والموجية والصوت , الفصل التاسع – التيار الكهربائي , الفصل العاشر – المغناطيسية) . ويحتوي كل فصل على مفاهيم جديدة مثل (هل تعلم , تذكر , سؤال , فكر) بالاضافة الى مجموعة كبيرة من التدريبات والانشطة المتنوعة ليتعرف الطالب من خلالها على مدى ما تحقق من اهداف ذلك الفصل .

نقدم الشكر والتقدير لكل من الاختصاصي التربوي عقيلة مهدي محمد والاختصاصي التربوي فيء محمد رضا عبد الهادي لمراجعتهم العلمية للكتاب كما نقدم شكرنا الى اعضاء وحدة مناهج الفيزياء والى كل من أ . د . حازم لويس منصور و أ . د . محمد صالح مهدي للجهود العلمية المبذولة .

نسأل الله عز وجل أن تعم الفائدة من خلال هذا الكتاب , وندعوه سبحانه أن يكون ذلك لبنة عمل والذي يصب في حب وطننا والانتماء اليه والله ولي التوفيق .

المؤلفون

المحتويات

1 المتجهات Vectors

1-1 أنظمة الإحداثيات Coordinate systems

نحتاج في حياتنا العملية إلى تحديد موقع جسم ما سواء كان ساكناً أو متحركاً، ولتحديد موقع هذا الجسم فإننا نستعين بما يعرف بالإحداثيات (Coordinates)، وهناك أنواع عدة من الإحداثيات التي نطبقها ، منها الإحداثيات الكارتيزية (Rectangular Coordinates) والإحداثيات القطبية (Polar Coordinates).

a الإحداثيات الكارتيزية (Rectangular coordinates)

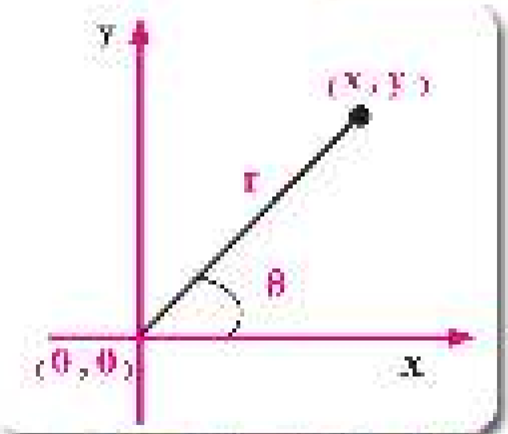
تتكون هذه الإحداثيات من محورين وهما المحور الأفقي x والمحور الشاقولي y وهما متعامدان مع بعضهما ومتقاطعين عند النقطة (0 , 0) التي تسمى نقطة الأصل (Origin point)، ويكتب اسم المحورين بـ (x ,y) لتحديد موقع أية نقطة على هذه الإحداثيات للدلالة على الكمية الفيزيائية ووحدة القياس المستعملة لقياسها

لاحظ الشكل (1).

الشكل (1) : المحاور الكارتيزية

b الإحداثيات القطبية Polar Coordinates

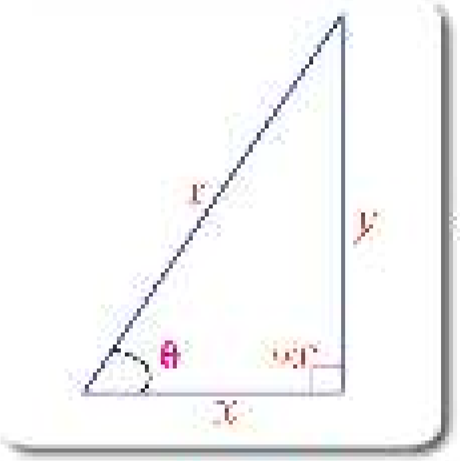
في بعض الأحيان يمكن التعبير عن موقع نقطة في مستوٍ معين بتطبيق نظام محاور آخر يسمى نظام المحاور القطبية (Polar Coordinates)، والذي يحدد بالبعد r والزاوية θ التي يصنعها مع المحور الأفقي. لذلك فالبعد r هو البعد من نقطة الأصل إلى النقطة (x,y) في المحاور الكارتيزية وأن (θ) هي الزاوية بين المستقيم المرسوم من نقطة الأصل إلى تلك النقطة والمحور الأفقي x ، لاحظ الشكل (2).



الشكل (2) : المحاور القطبية

1 - 2 العلاقة بين الإحداثيات الكارتيزية والقطبية

العلاقة بين الإحداثيات الكارتيزية (x , y) والإحداثيات القطبية (r , θ) يمكن ملاحظتها في المثلث الموضح في الشكل (3).



الشكل (3)

$$\sin\theta = \frac{y}{r}$$

$$\cos\theta = \frac{x}{r}$$

لذا يمكن تحويل المحاور القطبية المعطاة لأية نقطة، إلى محاور كارتيزية باستعمال العلاقة الآتية:

$$y = r\sin\theta$$

$$x = r\cos\theta$$

يمكن إيجاد العلاقة الرياضية الآتية: $\tan\theta = \frac{y}{x}$

وبتطبيق نظرية فيثاغورس على المثلث يكون: $r^2 = x^2 + y^2$

ومنها $r = \sqrt{x^2 + y^2}$

مثال 1

إذا كانت المحاور الكارتيزية لنقطة تقع في المستوي (x , y) هي (-3.5 , -2.5) كما موضح في الشكل (4)، عيّن المحاور القطبية لهذه النقطة، علماً أن $\tan 35.53^\circ = 0.714$

الحل/

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

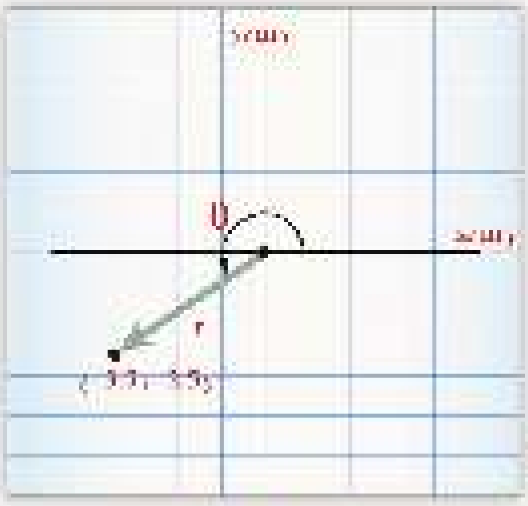
$$r = \sqrt{(-3.5)^2 + (-2.5)^2}$$

$$r = 4.3m$$

ولتعيين الاتجاه نستعمل العلاقة الآتية:

$$\tan\theta = \frac{y}{x} = \frac{-2.5m}{-3.5m} = 0.714$$

$$\tan 35.53^\circ = 0.714$$



الشكل (4)

بما أن θ واقعة في الربع الثالث، لاحظ الشكل (4)، فإن قياس الزاوية $\theta = 215.53^\circ$

لذا المحاور القطبية لها (r, θ) تساوي ($4.3m$, 215.53°)

3 - 1 الكميات القياسية والكميات المتجهة

عند قياسك لكمية ما فأنك تعبر عن النتيجة بدلالة عدد ما ووحدة قياس، فمثلاً قد يكون طولك 165cm، هذه كمية لها قيمة عددية فقط وهي (165)، ووحدة القياس هي (cm) في هذه الحالة. ويلاحظ أن الكمية مثل الطول لها مقدار ووحدة قياس وكميات أخرى كحجم صندوق أو درجة حرارة جسم لا يرتبط مقدارها بأي اتجاه. وتسمى الكميات التي ليس لها اتجاه بالكميات القياسية (المقدارية) (Scalar quantities)، وهناك كميات أخرى تحدد بالاتجاه. ولتوصف هذه الكمية وصفاً كاملاً يجب تحديد اتجاهها بالاضافة الى مقدارها ووحدة قياسها. فنقول على سبيل المثال أن مقدار سرعة السيارة 40km/h باتجاه الشرق.

وتسمى الكميات التي توصف بتحديد اتجاهها ومقدارها بالكميات المتجهة (Vector quantities)، وتمثل الكمية المتجهة برمز يوضع فوقه سهم صغير للدلالة على كونها كمية متجهة.

فنرمز للقوة $\vec{F}$ وللسرعة $\vec{v}$ وللتعجيل $\vec{a}$.

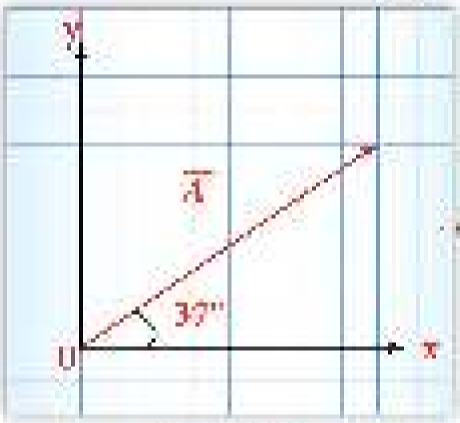
تمثل الكميات المتجهة بيانياً بسهم بحيث :

a. يتناسب طول السهم مع مقدار الكمية المتجهة وذلك باستعمال مقياس معين.

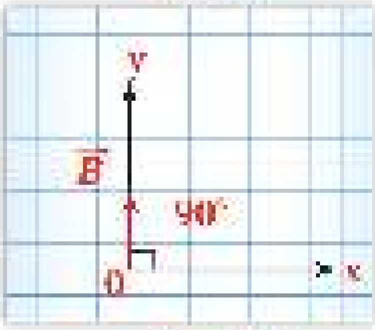
b. يشير اتجاه السهم الى اتجاه الكمية المتجهة.

c. تمثل نقطة الاصل وهي نقطة تأثير المتجه (نقطة البداية).

ويعبر رياضياً عن مقدار اي كمية متجهة بالرمز $|\vec{A}|$ أو A من غير سهم فمثلاً يشير الشكل (5) الى كمية متجهة $\vec{A}$ مقدارها 10 وحدات وزاوية قياسها 37° مع المحور x بالاتجاه الموجب ويؤثر في النقطة (0). ويشير الشكل (6) الى كمية متجهة $\vec{B}$ مقدارها ثلاث وحدات وزاوية قياسها 90° مع المحور x ويؤثر في النقطة (0).



الشكل (5)



الشكل (6)

وبالتعريف /
فان مقدار الكمية المتجهة $|\vec{A}|$ هي كمية قياسية (كمية مقدارية) وتكون دائماً موجبة (ذي قيمة مطلقة).

؟ سؤال

صنف الكميات التالية الى متجهة وقياسية ، معبراً عنها بإستعمال رمز مناسب لها ((المسافة ، القوة ، التيار الكهربائي ، التعجيل ، المجال الكهربائي ، الزمن ، الشحنة الكهربائية)).

مثال2

عبر عن الكميات المتجهة الآتية رياضياً وبيانياً :-

1. القوة $\vec{F}$ مقدارها $3N$ تؤثر في جسم باتجاه الغرب .
2. جسم سرعته $\vec{\upsilon}$ مقدارها $5m/s$ باتجاه يصنع زاوية قياسها $37°$ غرب الشمال.

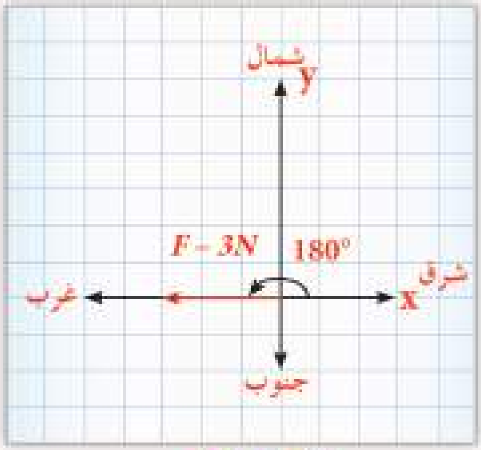
الحل/

1- نكتب مقدار متجه القوة بالصيغة الاتية :

$|\vec{F}| = 3N$ او نكتبها $F = 3N$.

اما اتجاه القوة فهو غرباً، اي بالاتجاه السالب للمحور x .

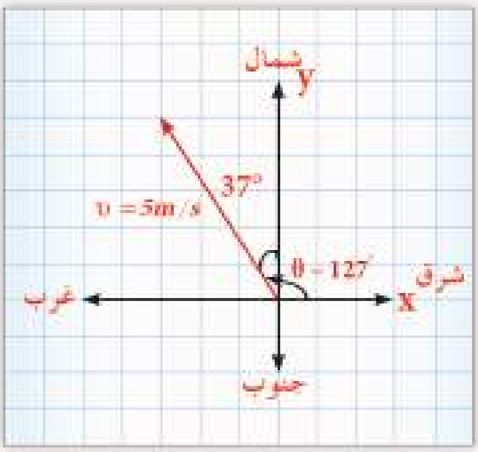
لذلك يصنع متجه القوة زاوية $\theta = 180°$ مع الاتجاه الموجب للمحور x ، لاحظ الشكل (7) .



الشكل (7)

2- مقدار السرعة $\upsilon = 5m/s$ واتجاهها $37°$ غرب الشمال اي: $37°$ مع المحور الشاقولي y بالأتجاه الموجب لذا تكون $\theta = 37° + 90° = 127°$ مع الاتجاه الموجب للمحور x ،

لاحظ الشكل (8) .



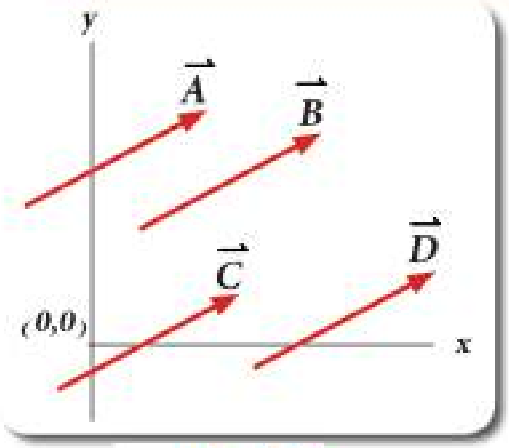
الشكل (8)

4 - 1 بعض خصائص المتجهات
Some properties of Vectors

Equality التساوي

يقال عن متجهين انهما متساويان اذا كان لهما المقدار نفسه والاتجاه نفسه بغض النظر عن نقطة بداية كل منهما ، لاحظ الشكل (9) المتجهات ($\vec{A}$, $\vec{B}$, $\vec{C}$, $\vec{D}$) هي متجهات متساوية وتكتب بالصيغة التالية : -

$$\vec{A} = \vec{B} = \vec{C} = \vec{D}$$

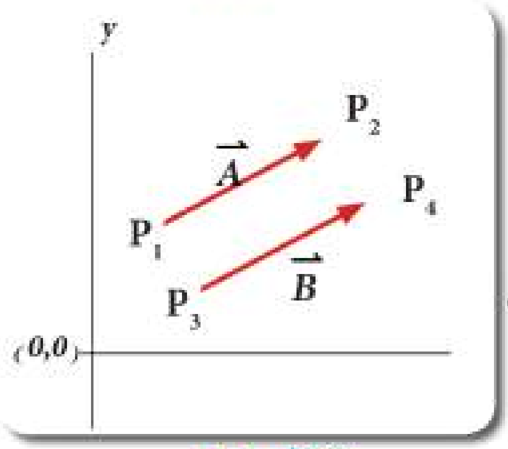


الشكل (9)

ولو لاحظنا الشكل (10) نجد ان المتجه $\vec{A}$ له نقطة بداية P_1 ونقطة نهاية هي P_2 والمتجه $\vec{B}$ له نقطة بداية P_3 ونقطة نهاية هي P_4 ويمكننا القول ان :

$$\vec{A} = \vec{B}$$

لأن المتجه $\vec{A}$ يساوي بالمقدار المتجه $\vec{B}$ وبالاتجاه نفسه .



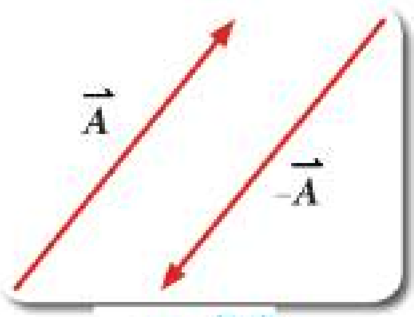
الشكل (10)

Negative of a Vector سالب المتجه

ان سالب المتجه $\vec{A}$ هو متجه يمتلك المقدار نفسه للمتجه $\vec{A}$ ويكون معاكساً له بالاتجاه لاحظ الشكل (11).

ان سالب المتجه $\vec{A}$ يمثل بالمتجه $-\vec{A}$ أي أن :

المتجه وسالب المتجه يكونان متساويين بالمقدار ومتعاكسين بالاتجاه .

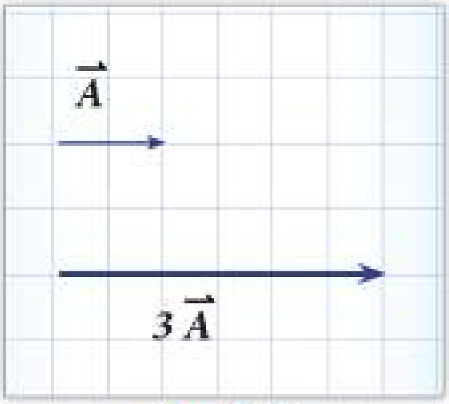


الشكل (11)

ضرب المتجه بكمية قياسية (كمية مقدارية)
Multiplication of a Vector by a Scalar

أن نتيجة ضرب المتجه بكمية قياسية (مقدارية) ينتج عنه متجه آخر يمتلك مقداراً جديداً ولكنه يبقى محافظاً على إتجاهه . فمن ملاحظتنا للشكل (12) عند ضرب المتجه $\vec{A}$ بالرقم (3) فان مقدار المتجه $|\vec{A}|$ سوف يزداد ويصبح $3|\vec{A}|$ ولكنه يبقى بالأتجاه نفسه. ويوجد في الفيزياء أمثلة متعددة على ضرب المتجهات بكميات قياسية منها :القانون الثاني لنيوتن $\vec{F} = m\vec{a}$

وعلاقة القوة الكهربائية بالمجال الكهربائي $\vec{F} = q\vec{E}$



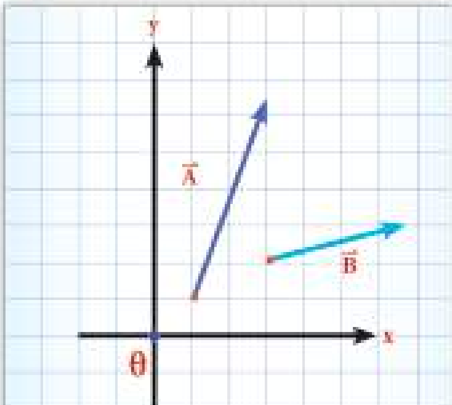
الشكل (12)

5 - 1 جمع المتجهات Vectors Addition

بما ان للكمية المتجهة مقداراً واتجاهاً ، فعملية جمع المتجهات لا تخضع لقاعدة الجمع الجبري كما هو الحال في الكميات القياسية .

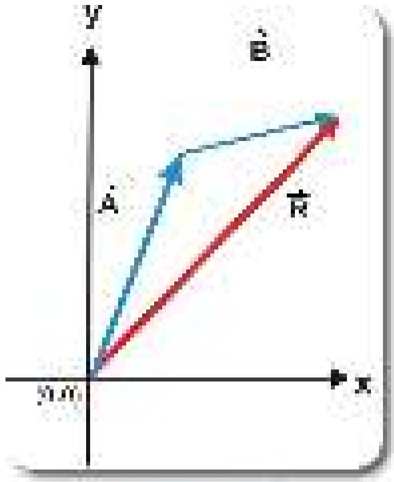
الطريقة البيانية في جمع المتجهات Graphical Method

يمكن جمع المتجهات بيانياً طبقاً لهذه الطريقة لاحظ الشكل (13a) اذ ان المتجهين ($\vec{A}$، $\vec{B}$) يقعان في مستوي واحد هو مستوي الصفحة ، وطول القطعة المستقيمة التي تمثل كلاً من المتجهين تتناسب طردياً مع مقدار المتجه ويشير السهم في نهاية المتجه الى اتجاه المتجه .



الشكل (13-a)

ولإيجاد حاصل جمع المتجهين $(\vec{A}+\vec{B})$
اولاً نرسم المتجه الأول $\vec{A}$ ثم نقوم بوضع ذيل المتجه $\vec{B}$ عند رأس المتجه $\vec{A}$ ثم نصل بخط مستقيم بين ذيل المتجه $\vec{A}$ ورأس المتجه $\vec{B}$ لاحظ الشكل (13b) ويمثل هذا الخط المستقيم متجه حاصل الجمع .
ويسمى $\vec{R}$ المتجه المحصل **Resultant Vector** :



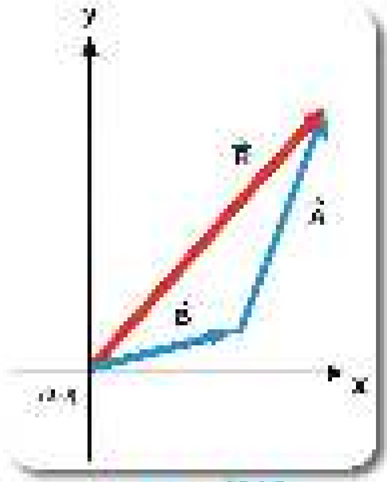
الشكل (13b)

$$\boxed{\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}}$$

ويبين الشكل (13c) طريقة اخرى لعملية جمع المتجهين ($\vec{B}+\vec{A}$) وفيها نرسم المتجه الثاني $\vec{B}$ اولاً ثم نضع ذيل المتجه $\vec{A}$ عند رأس المتجه $\vec{B}$ لاحظ ان المتجه المحصل في هذه الحالة هو المتجه $\vec{R}$ نفسه مما يعني ان :

$$\boxed{\vec{A} + \vec{B} = \vec{B} + \vec{A}}$$

أي ان جمع المتجهات يمتاز بخاصية الإبدال (Commutative)

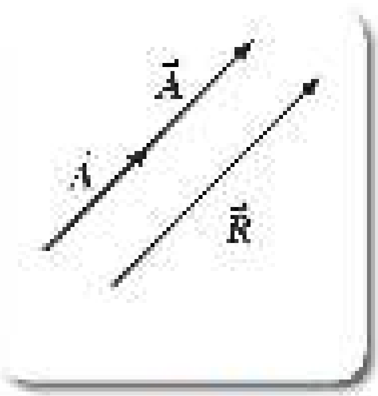


الشكل (13c)

ومن الجدير بالذكر انه يمكن جمع المتجه $\vec{A}$ مع نفسه لاحظ الشكل (14) ، بطريقة الرسم ، فإن متجه المحصلة في هذه الحالة هو:

$$\vec{R} = \vec{A} + \vec{A} = 2\vec{A}$$

وهنا $\vec{R}$ هو المتجه المحصل مقداره يساوي ضعف مقدار المتجه $\vec{A}$ وله اتجاه $\vec{A}$ نفسه.

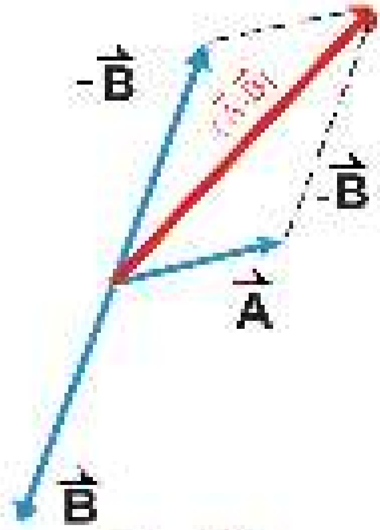


الشكل (14)

كما نستطيع أن نعرف حاصل طرح المتجهين ($\vec{A}-\vec{B}$) على أنه حاصل جمع المتجهين ($\vec{A}$ ، $-\vec{B}$) أي أن :

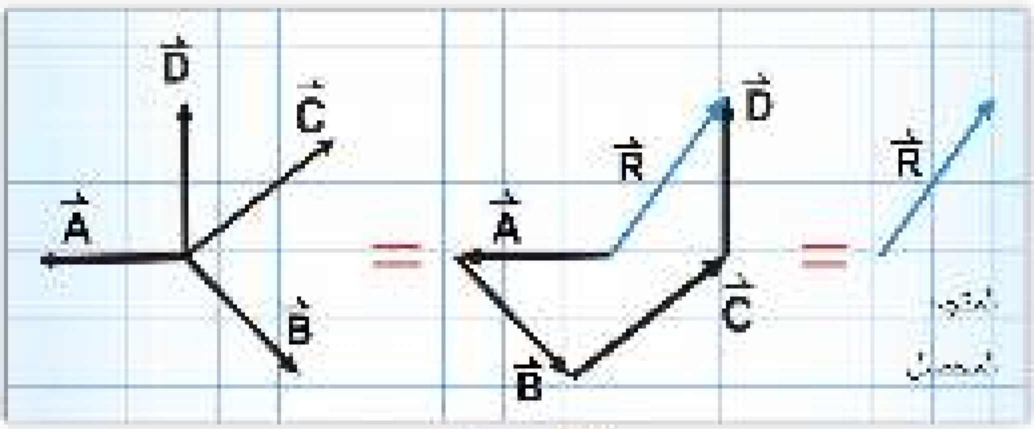
$$\vec{A}+(-\vec{B})=\vec{A}-\vec{B}$$

والشكل (15) يوضح ذلك .



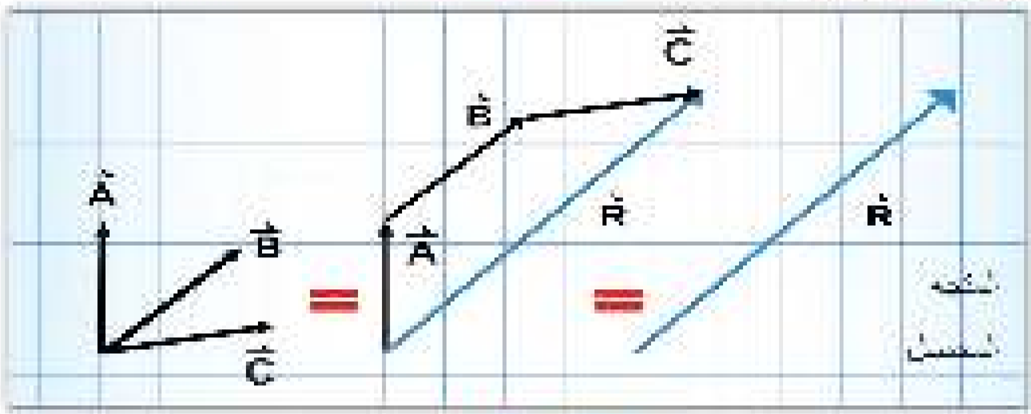
الشكل (15)

كما يمكن إيجاد المتجه المحصل لثلاثة متجهات أو أكثر والتي تبدأ من نقطة التأثير نفسها ويتم جمع هذه المتجهات بوضع ذيل المتجه الثاني عند رأس المتجه الأول ثم ذيل المتجه الثالث عند رأس المتجه الثاني وهكذا ثم نرسم المتجه المحصل $\vec{R}$ بحيث يكون ذيل المتجه $\vec{R}$ عند ذيل المتجه الأول ورأسه ينطبق على رأس المتجه الأخير كما موضح في الشكل (16) (a , b).



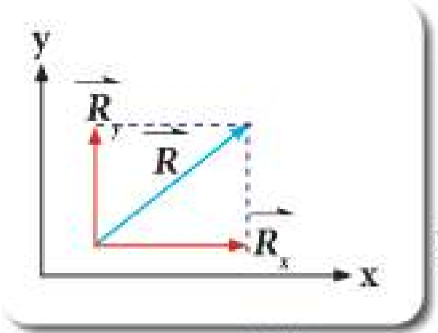
الشكل (16a)

طريقة أخرى لجمع المتجهات



الشكل (16b)

تحليل المتجه Vector Analysis

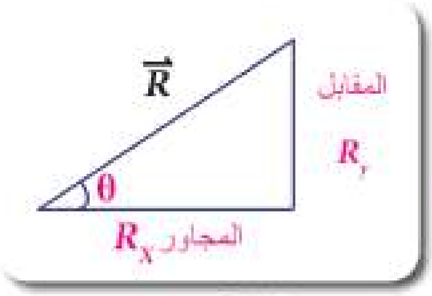


الشكل (17)

يبين الشكل (17) المتجه $\vec{R}$ وقد تم تحليله الى مركبتين تمثلان متجهين متعامدين احدهما يوازي المحور x (ويسمى المركبة الافقية) ويمثلها المتجه $\vec{R}_x$ والاخر يوازي المحور y (ويسمى المركبة الشاقولية) ويمثلها المتجه $\vec{R}_y$ وهذه تسمى عملية تحليل المتجه الى مركباته.

وحيث أن ($\vec{R}_x$, $\vec{R}_y$) يمثلان ضلعان قائمان في مثلث قائم الزاوية والمتجه المحصل $\vec{R}$ يمثل الوتر في المثلث لاحظ الشكل (18) ، ويحسب مقداره طبقاً لنظرية فيثاغورس (Pythagorean Theorem) كما يأتي :

$$R = \sqrt{R_x^{\ 2} + R_y^{\ 2}}$$



الشكل (18)

اما اتجاه $\vec{R}$ يحدد بالزاوية θ، حيث ان: $\tan\theta = \dfrac{R_y}{R_x}$

وعندها تمكنّا من معرفة مقدار واتجاه المتجه المحصل ،وعندما نريد ان نعرف مقدار مركبتيه الشاقولية والافقية ، فنحسب تلك المركبتين باستعمال المعادلتين المبينة ادناه :

مقدار المركبة الافقية تكون :-

$$\cos\theta = \frac{R_x}{R} \Rightarrow \boxed{R_x = R\cos\theta}$$

مقدار المركبةالشاقولية تكون :-

$$\sin\theta = \frac{R_y}{R} \Rightarrow \boxed{R_y = R\sin\theta}$$

مثال 3 اذا كان مقدار المتجه $\vec{A}$ يساوي 175m ويميل بزاوية 50° عن المحور X جد مركبتي المتجه $\vec{A}$.

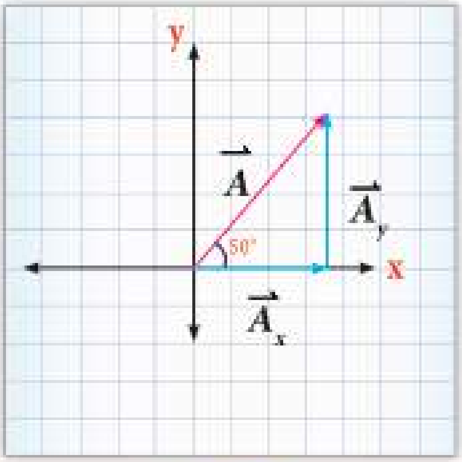
الحل/ نمثل المتجه $\vec{A}$ فتحسب مركبتيه بيانياً كما في الشكل(19)

المركبة الافقية هي : - $A_x = A\cos\theta$

ويحسب مقدارها :- $A_x = (175m)\times\cos 50^\circ$

$$A_x = (175m)\times(0.643)$$

$$A_x = 112.53m$$



الشكل (19)

المركبة الشاقولية هي :-

$$A_y = A\sin\theta$$

ويحسب مقدارها :-

$$A_y = (175m)\times\sin 50^\circ$$

$$A_y = (175m)\times(0.766)$$

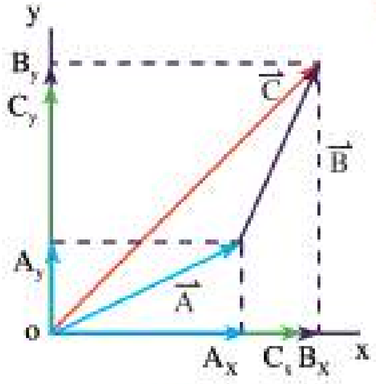
$$A_y = 134m$$

فكر اي زوج من متجهات الازاحة المبينة في الجدول ادناه تكون متساوية :

المتجه vector	مقداره magnitude	اتجاهه Direction
$\vec{A}$	100m	30° شمال الشرق
$\vec{B}$	100m	30°جنوب الغرب
$\vec{C}$	100m	30°جنوب الشرق
$\vec{D}$	100m	60° شرق الشمال
$\vec{E}$	100m	60° غرب الجنوب

ايجاد محصلة متجهين أو اكثر بطريقة التحليل المتعامد

ان عملية تحليل المتجه الى مركبتيه الافقية على المحور x والشاقولية على المحور y يسهل عملية جمع المتجهات من الناحية الحسابية . فيمكن جمع متجهين او اكثر مثل $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}$ ..... الخ ، وذلك بتحليل كل متجه الى مركبتيه الافقية والشاقولية اولاً لاحظ الشكل (20) ، ثم تجمع المركبات الافقية لكل المتجهات فتكون المركبة الافقية المحصلة على المحور x هي :



الشكل (20)

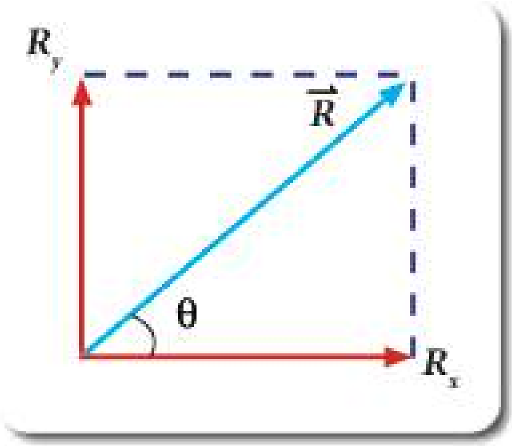
$$\vec{R_x} = \vec{A_x} + \vec{B_x} + \vec{C_x}$$

وبالمثل تجمع المركبات الشاقولية (المركبات على المحور y) للمتجهات لتكون المركبة الشاقولية المحصلة على المحور y :

$$\vec{R_y} = \vec{A_y} + \vec{B_y} + \vec{C_y}$$

وهذه العملية موضحة بيانياً في الشكل (21).

ولأن R_x ، R_y متعامدان ، لذا يمكن حساب مقدار المتجه المحصل باستعمال نظرية فيثاغورس.



الشكل (21)

$$\boxed{R^2 = R_x^2 + R_y^2}$$

ونجد الزاوية التي يصنعها المتجه المحصل $\vec{R}$ مع المحور x من العلاقة الاتية :

$$\tan\theta = \frac{R_y}{R_x} \quad \text{او} \quad \left[\theta = \tan^{-1}\frac{R_y}{R_x}\right]$$

زاوية المتجه المحصل تساوي الظل العكسي لناتج قسمة المركبة y مقسومة على المركبة x للمتجه المحصل

وهذا يعني ان الزاوية θ : هي الزاوية التي ظلها يساوي $\frac{R_y}{R_x}$

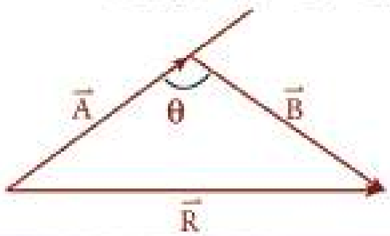
فكر :

لايجاد مقدار المتجه المحصل للمتجهين $\vec{A}$، $\vec{B}$ يمكننا تطبيق نظرية فيثاغورس اذا كانت الزاوية بين المتجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ تساوي 90° (قائمة).

اما اذا كانت الزاوية بين المتجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ لا تساوي 90° يمكننا استعمال قانون جيب التمام (cosine) او قانون الجيب (sine) كالآتي :

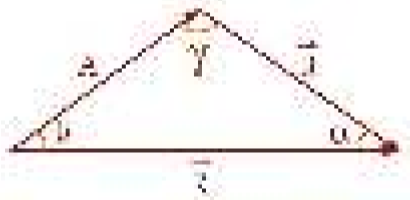
قانون cosine (جيب التمام) :

مربع مقدار المتجه المحصل يساوي مجموع مربعي مقداري المتجهين مطروحاً منه ضعف حاصل ضرب مقداري المتجهين مضروباً في cosine الزاوية التي بينهما والمقابلة الى $\vec{R}$.



$$R^2 = A^2 + B^2 - 2AB\cos\theta$$

قانون sine (الجيوب) :
مقدار المتجه المحصل مقسوما على sine الزاوية التي تقابله يساوي مقدار احد المتجهين مقسوما على sine الزاوية التي تقابله .



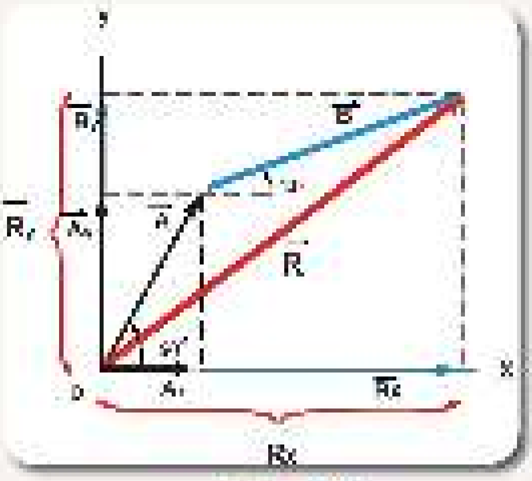
$$\frac{R}{\sin\gamma}=\frac{A}{\sin\alpha}=\frac{B}{\sin\beta}$$

مثال 4

المتجه $\vec{A}$ مقداره 14cm ويصنع زاوية قياسها $60°$ مع الاتجاه الموجب للمحور x ، و المتجه $\vec{B}$ مقداره 20cm ويصنع زاوية قياسها 20 مع الاتجاه الموجب للمحور x .
حلل المتجهين $\vec{A}$ ، $\vec{B}$ الى مركبتيهما ثم احسب مقدار واتجاه المتجه المحصل $\vec{R}$.

الحل/

من ملاحظتنا الشكل (22) فان مقادير المركبات الافقية والشاقولية للمتجهات هي :



الشكل (22)

مقدار المركبة الافقية $A_x = A\cos\theta$

$= 14cm \times \cos 60°$

$= 14 \times 0.5$

$= 7cm$

مقدار المركبة الشاقولية $A_y = A\sin\theta$

$= 14cm \times \sin 60°$

$= 14 \times 0.866$

$= 12.12cm$

مقدار المركبة الشاقولية $B_y = B\sin\theta$

$= 20cm \times \sin 20°$

$= 20 \times 0.342$

$= 6.84\ cm$

مقدار المركبة الافقية $B_x = B\cos\theta$

$= 20cm \times \cos 20°$

$= 20 \times 0.939$

$= 18.79\ cm$

نحسب مقدار محصلة المركبتين الشاقوليتين ($\vec{R}_y$)

$$R_y = A_y + B_y$$

$$R_y = 12.12 + 6.84$$

$$= 18.96\,cm$$

نحسب مقدار محصلة المركبتين الأفقيتين ($\vec{R}_x$)

$$R_x = A_x - B_x$$

$$= 7 + 18.79$$

$$= 25.79\,cm$$

ومقدار المتجه المحصل $\vec{R}$ يتم ايجاده بتطبيق نظرية فيثاغورس

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

$$R = \sqrt{(25.79)^2 + (18.96)^2}$$

$$R = 32\,cm$$

ويمكن ايجاد اتجاه المتجه المحصل $\vec{R}$ بالنسبة الى المحور x من العلاقة الآتية

$$\tan\theta = \frac{R_y}{R_x}$$

$$\tan\theta = \frac{18.96}{25.79} = 0.735$$

تمثل زاوية θ مع الاتجاه الموجب للمحور x

$$\therefore \theta = 36^\circ$$

1 – 6 ضرب المتجهات Multiplication of vectors

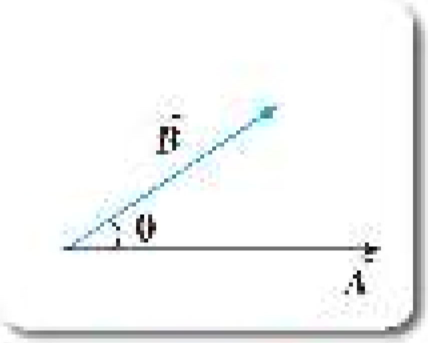
في بعض الأحيان نحتاج في علم الفيزياء أن نضرب كمية متجهة بكمية متجهة أخرى قد يكون ناتج الضرب كمية قياسية ، وأحيانا نضرب كميتين متجهتين فيكون الناتج كمية متجهة لذا نعرض طريقتين لضرب المتجهات وهما :

أولاً : الضرب القياسي (النقطي) Scalar product , dot product

يسمى الضرب القياسي بهذا الاسم ، لأن ناتج الضرب هو كمية قياسية ، ويسمى كذلك ضرباً نقطياً ؛ لأن أداة الضرب فيه هي النقطة.

ويعرف الضرب القياسي (النقطي) للمتجهين $\vec{A}$ ، $\vec{B}$ كما يلي :

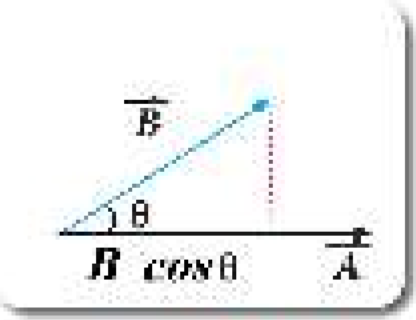
$$\vec{A}\cdot\vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}|\cos\theta$$



الشكل (23)

حيث θ : تمثل الزاوية المحصورة بين $\vec{A}$ ، $\vec{B}$ كما في الشكل (23) وقياسها بين الصفر و 180°.

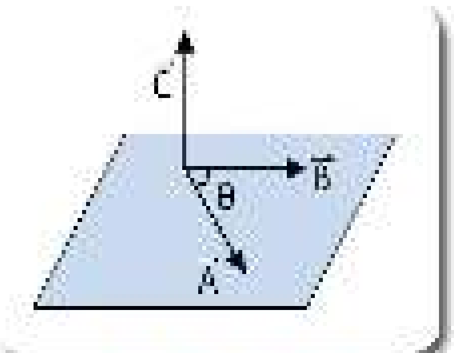
ويوضح الشكل (24) مسقط المتجه $\vec{B}$ على المتجه $\vec{A}$ والذي يساوي ($B\cos\theta$) وهذا المسقط يمثل مركبة المتجه $\vec{B}$ على اتجاه المتجه $\vec{A}$.



الشكل (24)

ثانياً : الضرب الاتجاهي (vector product ، cross product)

يسمى هذا النوع من ضرب المتجهات بالضرب الاتجاهي ، لأن ناتج الضرب الاتجاهي هو كمية متجهة حيث ينتج من حاصل ضرب المتجهين متجهاً ثالثاً يكون اتجاهه عمودي على المستوي الذي يحوي المتجهين $\vec{A},\vec{B}$. لاحظ الشكل (25).



الشكل (25)

يعرف الضرب الاتجاهي رياضياً كما يلي :

$$\vec{C} = \vec{A}\times\vec{B}$$

اما مقدار المتجه $\vec{C}$ هو :

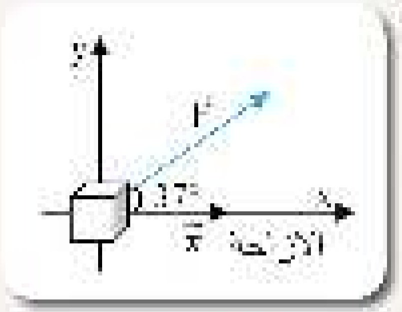
$$|\vec{C}| = |\vec{A}||\vec{B}|\sin\theta$$

تطبق قاعدة الكف اليمنى لتعيين اتجاه المتجه المحصل للضرب الاتجاهي للمتجهين $\vec{A},\vec{B}$. تدور أصابع الكف اليمنى من اتجاه المتجه الأول (مثلاً $\vec{A}$) نحو المتجه الثاني (مثلاً $\vec{B}$) فيشير الإبهام الى اتجاه المتجه المحصل $\vec{C}$.

مثال 5

أثرت قوة مقدارها 40N باتجاه 37° فوق الأفق في جسم فحركته إزاحة 10m بالاتجاه الأفقي. احسب مقدار الشغل الذي تبذله تلك القوة.

الحل /



الشكل (26)

$$W(\text{work}) = \vec{F}(\text{Force}) \cdot \vec{x}(\text{displacement})$$

$$W = |\vec{F}|\,|\vec{x}|\cos\theta$$

$$W = 40 \times 10 \times \cos 37^\circ$$

$$W = 40 \times 10 \times \frac{4}{5} = 320\,\text{Joule}$$

مثال 6

أثرت القوة $\vec{F}$ مقدارها 150N في العتلة ab عند النقطة (a) والتي تبعد عن محور الدوران b مسافة 5m لاحظ الشكل (27). جد مقدار واتجاه المتجه المحصل

الحل /

الشكل (27)

$$|\vec{F} \times \vec{X}| = |\vec{X}|\,|\vec{F}|\sin\theta$$

$$|\vec{F} \times \vec{X}| = 5 \times 150 \sin 30^\circ$$

$$|\vec{F} \times \vec{X}| = 5 \times 150 \times \frac{1}{2}$$

$$|\vec{F} \times \vec{X}| = 375\ \text{N.m}$$

باتجاه القارئ خارج الصفحة ⊙

طبقاً لقاعدة الكف اليمنى

تذكر

1- $\vec{A} \cdot \vec{A} = |\vec{A}|\,|\vec{A}|\cos 0 = A^2$

2- $|\vec{A} \times \vec{A}| = |\vec{A}|\,|\vec{A}|\sin 0 = 0$

3- $\{\vec{A}\cdot\vec{B} = \vec{B}\cdot\vec{A}\}$ وجود خاصية الإبدال بطريقة الضرب القياسي

$\{\vec{A}\times\vec{B} = -\vec{B}\times\vec{A}\}$ وعدم تحققها بطريقة الضرب الاتجاهي

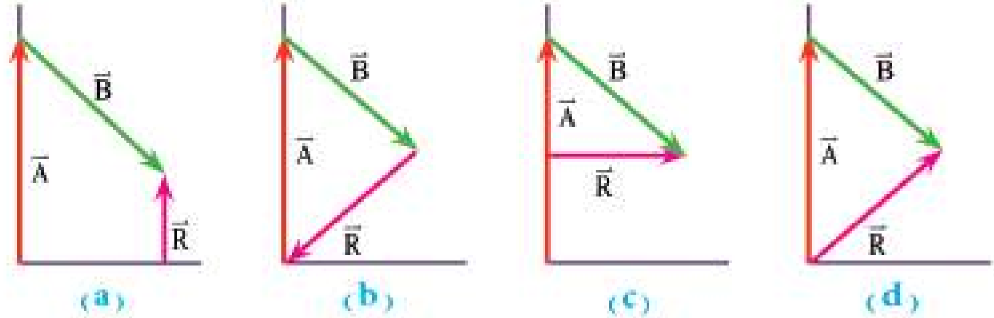
4- $\vec{A}\cdot\vec{B} = 0$ إذا كان المتجه $\vec{A}$ عمودي على المتجه $\vec{B}$ فإن

$\cos 90^\circ = 0$ ، $\sin 90^\circ = 1$ ، $\cos 0 = 1$ ، $\sin 0 = 0$

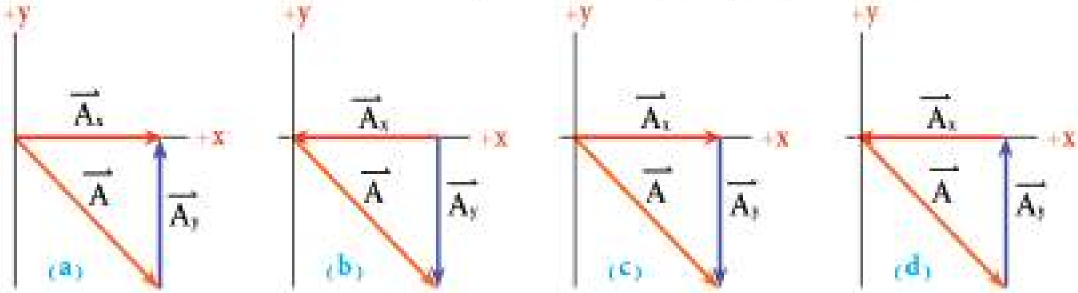
أسئلة الفصل الأول

س1 / اختر العبارة الصحيحة لكل مما يأتي :

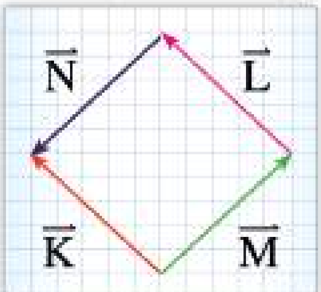
1 - متجهي الازاحة $(\vec{B}, \vec{A})$ جُمعا سويًة للحصول على مقدار المتجه المحصل $\vec{R}$ أي من الاشكال الأتية يوضح بصورة صحيحة المتجه المحصل لهما .



2 - قطع شخص ازاحة $\vec{A}$ باتجاه الجنوب الشرقي أياً من الأشكال الأتية يوضح بصورة صحيحة المركبتين $\vec{A}_x$, $\vec{A}_y$ للمتجه $\vec{A}$



3 - اي زوج من المتجهات $(\vec{K}, \vec{L}, \vec{M}, \vec{N})$ الموضحة في الشكل المجاور متساويان :



a) $\vec{K}$ و $\vec{L}$

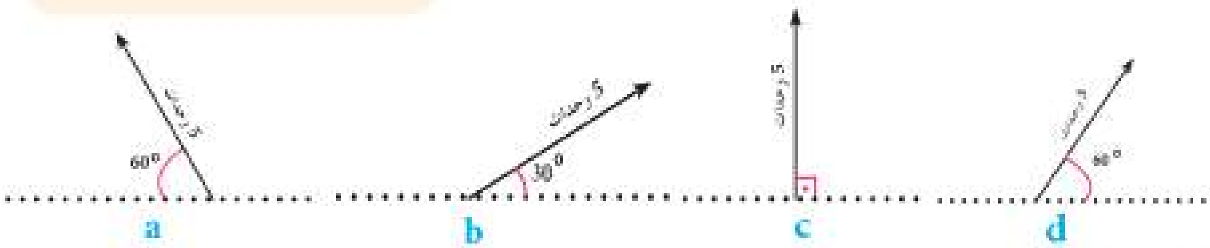
b) $\vec{M}$ و $\vec{K}$

c) $\vec{M}$ و $\vec{L}$

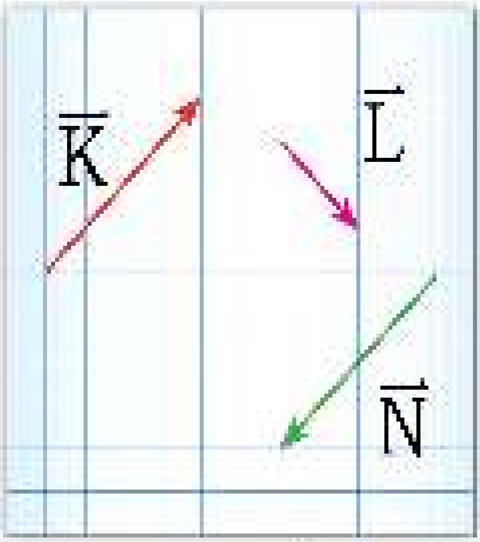
d) $\vec{L}$ و $\vec{N}$

4 - في الشكل المجاور المتجهان $(\vec{L}، \vec{K})$ متساويان في المقدار .

اي المتجهات الأتية يمثل محصلتهما ؟



5 المتجهات $(\vec{K}, \vec{L}, \vec{N})$ كما هي موضحة في الشكل المجاور أي من المعادلات الآتية غير صحيحة:



$1 \ldots\ldots\ldots\ \vec{K} = \vec{N}$

$2 \ldots\ldots\ldots\ \vec{K}\ \vec{L}$ ، $\vec{N} = \vec{L}$

$3 \ldots\ldots\ldots\ \vec{K}\ \vec{N} = 0$

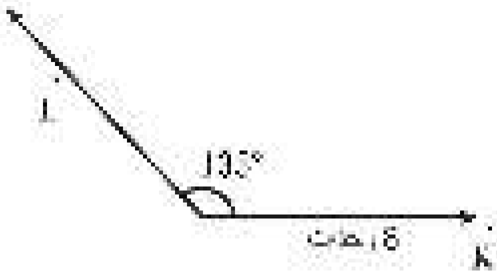
a) المعادلة 1 .

b) المعادلة 2 .

c) المعادلتين 3 ، 2 .

d) المعادلات 3 ، 2 ، 1 .

6 إذا كان المتجه المحصل للمتجهين $\vec{L}, \vec{K}$ عموديا على المتجه $\vec{K}$ ولاحظ الشكل المجاور، فإن مقدار المتجه $\vec{L}$ يساوي:



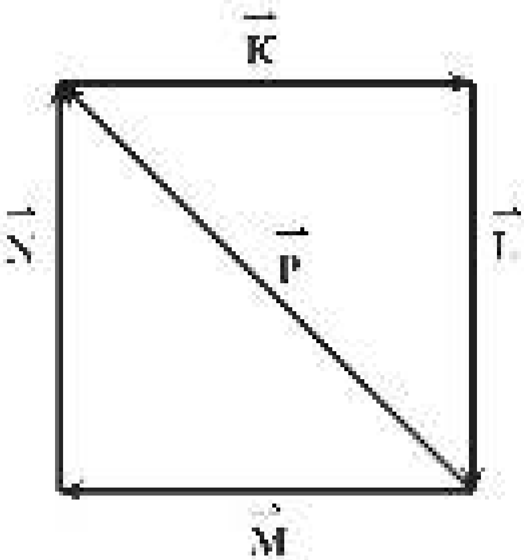
a) 8 وحدات .

b) $4\sqrt{3}$ وحدات .

c) $4\sqrt{2}$ وحدات .

d) $8\sqrt{2}$ وحدات .

7 أي من المعادلات الآتية للمتجهات $\vec{K}, \vec{L}, \vec{M}, \vec{N}, \vec{P}$ في الشكل المجاور تكون غير صحيحة



$1 \ldots\ldots\ \vec{K} - \vec{L} - \vec{M} - \vec{N}\ \ -2\vec{P}$

$2 \ldots\ldots\ \vec{K}\ \ \vec{L}\ \ \vec{M}\ \ \vec{N} - 0$

$3 \ldots\ldots\ \vec{N}\ \ \vec{M} - \vec{P}$

$4 \ldots\ldots - (\vec{K} - \vec{L})\ \ -\vec{P}$

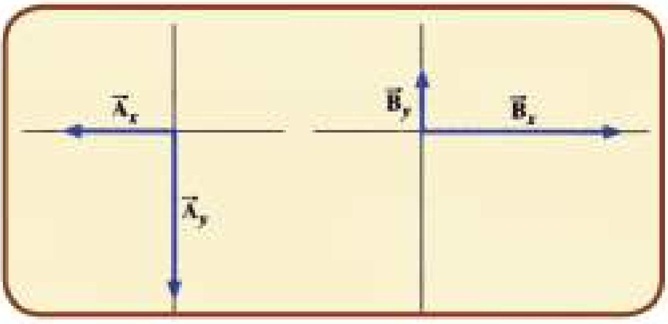
a) المعادلة 1 .

b) المعادلتان 1 ، 2 .

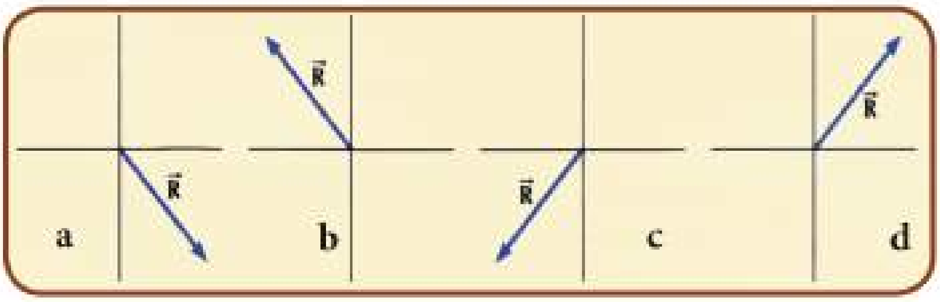
c) المعادلات 1 ، 2 ، 3 .

d) المعادلة 4 .

8 - الشكل المجاور يبين مركبتي المتجهين $\vec{B}, \vec{A}$ والمتجه المحصل هو $\vec{R}$.



أيًا من الاشكال (a) و (b) و (c) و (d) المعبر عن حاصل جمع المتجهين $\vec{A}+\vec{B}$.



س2 / هل يمكن لمركبة متجه ان تساوي صفراً ؟ على الرغم من ان مقدار المتجه لا يساوي صفراً ؟ وضح ذلك .

س3 / هل يمكن لمتجه ما ان يمتلك مقداراً سالباً ؟ وضح ذلك .

س4 / اذا كان $\vec{A} + \vec{B} = 0$ ما يمكنك ان تقول عن المتجهين .

س5 / تحت اية ظروف يمكن لمتجه ان يمتلك مركبتين متساويتين بالمقدار؟

س6 / هل يمكن اضافة كمية متجهة الى كمية قياسية ؟ وضح ذلك .

س7 / اذا كان مقدار المتجه $\left|\vec{A}\right| = 12\ m$ ومقدار المتجه $\left|\vec{B}\right| = 9\ m$ ومقدار المتجه المحصل لهما $\left|\vec{R}\right| = 3\ m$ وضح ذلك مع الرسم.

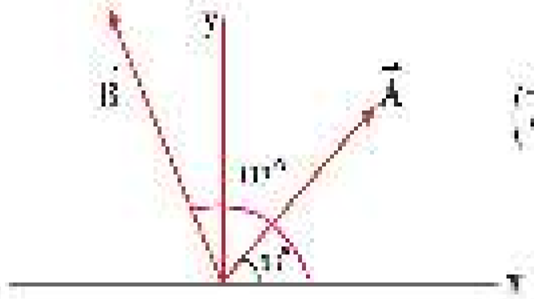
س8 / اذا كانت مركبة المتجه $\vec{A}$ التي تقع باتجاه المتجه $\vec{B}$ تساوي صفراً ماذا يمكنك ان تقول عن المتجهين $\left(\vec{B}, \vec{A}\right)$ ؟

المسائل

س1 :

النقطة A تقع في المستوي ($\vec{x}$, $\vec{y}$) احداثياتها (2 , −3) ، اكتب تعبيراً عن موقع المتجه r_A لهذه النقطة بصيغة اتجاهية ، ارسم مخططاً يوضح اتجاه هذا المتجه ؟

س2 :

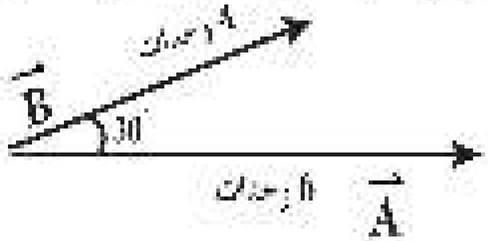


احسب مقدار الضرب النقطي ($A . B$) للمتجهين ($\vec{A}$, $\vec{B}$) الموضحين في الشكل المجاور اذا كان :

$|A| = 4units , |B| = 5units$

س3 :

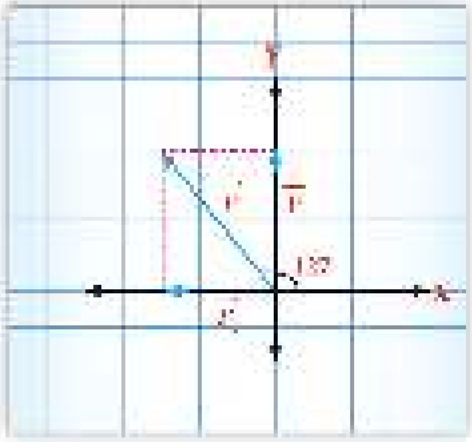
اذا كان مقدار المتجه $\vec{A}$ يساوي (**6units**) وبالاتجاه الموجب للمحور **x**، مقدار المتجه $\vec{B}$ يساوي (**4units**) باتجاه $30°$ مع المحور **x**، ويقع في المستوي (x , y) احسب مقدار حاصل الضرب الاتجاهي للمتجهين $\vec{A} \times \vec{B}$.



س4 :

جد مركبتي القوة (25N) والتي تميل بزاوية 127° عن المحور x علماً ان : $\cos 37 = 0.8$

$\sin 37 = 0.6$



2 الحركة Motion

2 – 1 وصف الحركة Motion Description

إن موضوع الميكانيك (Mechanics) هو أحد فروع علم الفيزياء الذي يدرس الحركة ، وهو ينقسم إلى فرعين رئيسين هما :

1) الكاينماتك (kinematics) ، وهو علم يعنى بوصف حركة الأجسام من غير النظر إلى مسبباتها .

2) الداينمك (Dynamics) ، وهو علم يهتم بمسببات الحركة مثل القوة والطاقة .

سندرس في هذا الفصل أنماطاً أساسية من الحركة، إذ نتعرف أولاً إلى مفاهيم الموقع ، والإزاحة، والسرعة، والتعجيل للأجسام في حالة حركتها ببعد واحد (Motion in one dimension) ثم نتطرق إلى الحديث عن حركة الأجسام في بعدين (Motion in two dimensions) مع بعض التطبيقات .

2 – 2 أطر الإسناد Frame of Reference

قد درست عزيزي الطالب في المراحل السابقة ، أن الحركة هي تغيُّر مستمر في موقع الجسم بالنسبة إلى نقطة تُعد ثابتة . فإذا تنقل الجسم من موقع إلى آخر ، فهذا يعني أنه تحرك . وللحركة أنواع مختلفة فمثلاً حركة السيارة على طريق أفقية تسمى حركة انتقالية وحركة الأرض حول محورها تسمى حركة دورانية ، وحركة البندول هي حركة اهتزازية . في حياتنا المألوفة تكون لنا الأرض وكل ما عليها (كالأشجار والطُرق والمنازل) أطر إسناد (على فرض أن الأرض ساكنة) لاحظ الشكل (1) ، ولا يمكن أن نتخذ الأجسام المتحركة بسرعة غير ثابتة نقطة إسناد مثل السحب أو طائرة متحركة أو سيارة متحركة . وعند النظر إلى الشكل (2) نقول إن الأطفال ليسوا في حالة حركة ، لأنهم لم يغيروا مواقعهم، فهم جالسون على زورق ساكن .

الشكل (1)

الشكل (2)

الشكل (3)

ولكننا اذا نظرنا الى الشكل (3) نجد ان العدائين في حالة حركة ، فهم يركضون جنبا الى جنب مع بعضهم ، أي أنهم قد غيّروا مواقعهم نسبة الى أي جسم آخر على الطريق كالأشجار مثلا (مثل الأعمدة أو الخطوط المثبتة في الطريق) .

لذا فالحكم على جسم ما ، هل هو ساكن أم متحرك؟ فإن ذلك يعتمد على حدوث تغير في موقع الجسم أو عدم حدوثه نسبة الى نقطة معينة تسمى نقطة إسناد reference point وتعد نقطة ثابتة مناسبة لاطار اسناد قصوري .

3-2 الموقع والازاحة والمسافة
Position, Displacement and Distance

افرض انك التقيت صديقك ، وسألته اين أوقف سيارته ؟

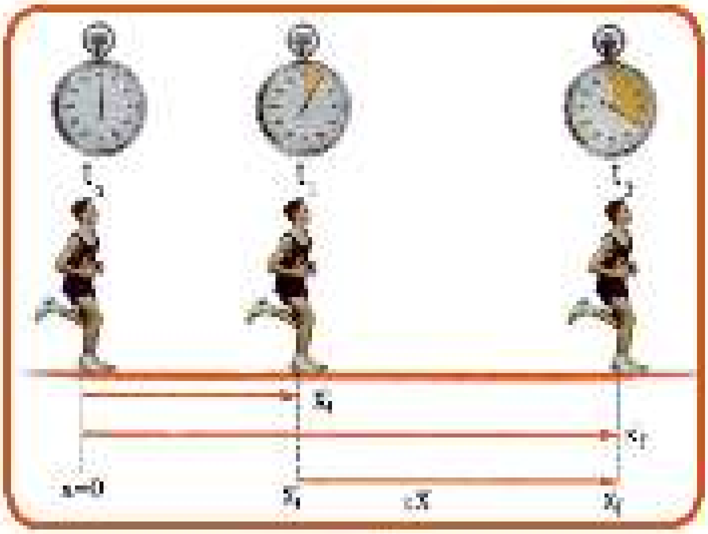
فأجاب أنها تقع على بعد (20m) عن باب المدرسة باتجاه الشرق . ستعرف من هذه الجملة ان صديقك قد وصف موقع سيارته وصفاً يدل على ان الموقع هو كمية متجهة؛ فهو حدد ثلاث عبارات وهي :-

* 20m بعدها عن باب المدرسة (وهي تمثل مقدار المتجه) .
* باتجاه الشرق (والتي تمثل اتجاه المتجه) .
* باب المدرسة (التي تمثل نقطة الاسناد التي اختارها صديقك) .

نستدل من ذلك :

ان الموقع هو كمية متجهة ، لها مقدار واتجاه معين نسبة الى نقطة الأصل على احد المحاور الثلاثة للاحداثيات الكارتيزية (x , y, z) يقال عن الجسم انه في حالة حركة عندما يحدث تغيراً في موقعه نسبة الى نقطة اسناد ثابتة .

لاحظ الشكل (4) .



الشكل (4)

نجد ان العداء في حالة حركة على خط مستقيم على المحور (x)مبتعداً عن نقطة الأصل (O) فقد غير موقعه وان متجهات موقعه الابتدائي ($\vec{x}_{initial}$) وموقعه النهائي ($\vec{x}_{final}$) .

قد رسمت وكان مقدار موقعه الابتدائي ($x_i = +5m$) ومقدار موقعه النهائي ($x_f = +12m$)

[الإشارة الموجبة أمام مقدار متجه الموقع تعني أن ازاحة الجسم نحو يمين المحور x] .

ان التغير في متجه موقع الجسم يسمى بالازاحة , وعليه فان إزاحة العداء هي الفرق بين موقعه النهائي وموقعه الابتدائي ويرمز لها ($\Delta\vec{x}$) فتكون :-

$$\Delta\vec{x} = \vec{x}_f - \vec{x}_i \Rightarrow \Delta x = 12 - 5 = +7m$$

الرمز (Δ) يعني التغير او الفرق وهو حرف لاتيني يلفظ دلتا .

أفرض أن العداء تحرك من موقعه الابتدائي ($x_i = +5m$) باتجاه معاكس الى موقعه النهائي ($x_f = +1m$) . فان ازاحة العداء في هذه الحالة تكون :-

$$\Delta\vec{x} = \vec{x}_f - \vec{x}_i \Rightarrow \Delta x = 1 - 5 = -4m$$

[الاشارة السالبة للإزاحة تعني ان ازاحة الجسم نحو اليسار على المحور x] .

اما اذا تحرك العداء من موقعه الابتدائي ($x_i = +5m$) الى الموقع ($20m$) ثم رجع الى موقع نهائي ($x_f = +5m$) . فأن ازاحة العداء ($\Delta\vec{x}$) تساوي صفراً في هذه الحالة أي أن : -

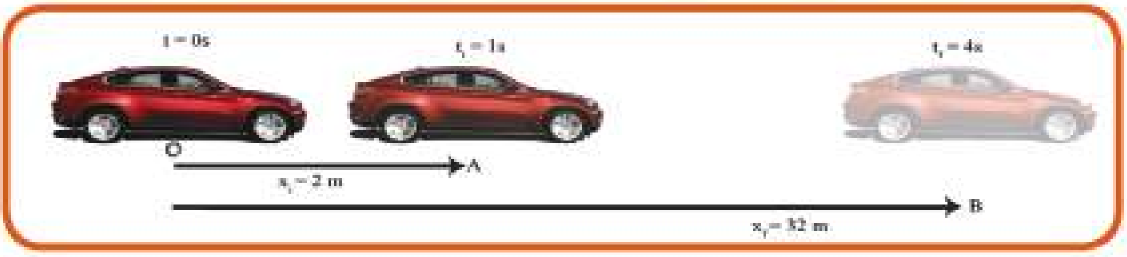
$$\Delta\vec{x} = \vec{x}_f - \vec{x}_i \Rightarrow \Delta x = 15 - 15 = 0$$

بينما تكون المسافة الكلية التي قطعها العداء في هذه الحالة هي ($30m$).

لانه قطع في ذهابه ($d_1 = 20 - 5 = 15\ m$) وقطع في رجوعه الى موقعه الابتدائي مسافة ($15m$) ايضاً فتكون المسافة الكلية ($d = 15 + 15 = 30m$).

4 – 2 السرعة المتوسطة Average velocity

يمكن لسيارة سباق أن تقطع المسافة نفسها التي تقطعها عربة صغيرة ، الا اننا نلاحظ أن حركتيهما مختلفتان ، فكيف يمكن تقييم حركة جسم متحرك على مساره ؟ . لنفرض أن حركة السيارة الموضحة في الشكل (5)تكون بخط مستقيم تبدأ من نقطة الاصل (O).



الشكل (5)

عند الزمن ($t = 0$) . وليكن أتجاه حركة السيارة بالاتجاه الموجب للمحور (x) . وبعد مرور فترة زمنية ($t_i = 1s$) تصل السيارة النقطة (A) والتي تبعد (2m) عن نقطة الاصل فيكون موقعها الابتدائي ($x_i = 2m$) . وبعد مرور زمناً قدره ($t_f = 4s$) من بدء الحركة (من نقطة الاصل 0) تصل السيارة النقطة B والتي تبعد بالبعد (32m) عن نقطة الاصل فيكون موقعها النهائي ($x_f = 32m$) . فأن الازاحة الكلية التي قطعتها السيارة هي :-

$$\Delta \vec{x} = \vec{x}_f - \vec{x}_i$$

والزمن المستغرق :-

$$\Delta t = t_f - t_i$$

لذا تحسب السرعة المتوسطة من المعادلة التالية :

$$|\vec{\upsilon}_{avg}| = \frac{|\vec{x}_f| - |\vec{x}_i|}{t_f - t_i} = \frac{32 - 2}{4 - 1} = \frac{30}{3} = 10 m/s$$

فكر :

اشارة السرعة المتوسطة تتخذ اشارة الإزاحة نفسها ,فإذا كانت الإزاحة بالاتجاه الموجب للمحور (x) فان السرعة المتوسطة موجبة , إما إذا كانت الإزاحة بالاتجاه السالب للمحور (x) فان السرعة المتوسطة سالبة.

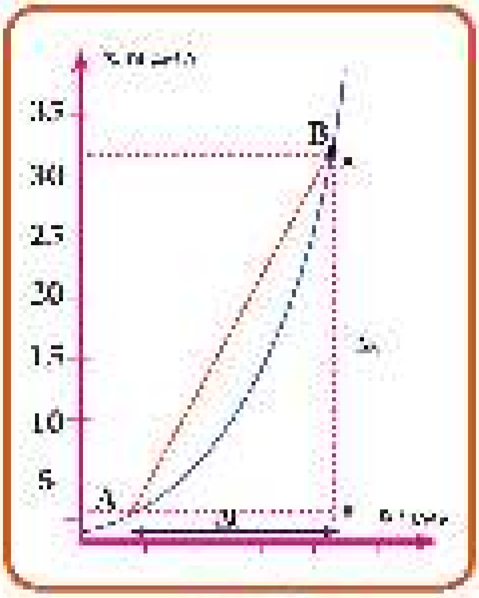
السرعة المتوسطة (معدل السرعة) $\bar{\upsilon}$ يكتب بالصيغة الآتية :-

$$\bar{\upsilon} = \frac{\upsilon_i + \upsilon_f}{2}$$

المخطط البياني (الإزاحة –الزمن) كما موضح في الشكل (6) يبين كيفية التغير الحاصل في موقع الجسم خلال فترات زمنية مختلفة . إن ميل (slope) الخط المستقيم الواصل بين النقطتين (A و B) هو :-

$$\tan\theta = slope = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$$

وبما أن السرعة المتوسطة $\overrightarrow{v}_{avg} = \frac{\Delta\vec{x}}{\Delta t}$



الشكل (6)

لذا فإن :-
ميل الخط المستقيم في مخطط (الإزاحة – الزمن) يمثل السرعة المتوسطة :

$$\overrightarrow{v}_{avg} = slope = \frac{\Delta\vec{x}}{\Delta t}$$

5-2 الانطلاق المتوسط Average speed :

إن نسبة المسافة الكلية المقطوعة إلى الزمن المستغرق تسمى (الانطلاق المتوسط) .
ويكتب بالصيغة التالية :

$$\text{Average Speed}(v_{avg}) = \frac{\text{Distance traveled}}{\text{time interval}}$$

تذكر :
المسافة المقطوعة هي كمية قياسية (كمية عددية أو مقدارية) لذا فإن الانطلاق المتوسط هو كمية قياسية أيضاً .

لندرس الآن الفرق بين السرعة المتوسطة والانطلاق المتوسط خلال حركة الشخصين (M , K) لاحظ الشكل (7) إذ يسير الشخصان جنباً إلى جنب حتى يصلان النقطة A في آن واحد وهو الموقع الابتدائي ، وبعد ذلك يسلكان مسارين مختلفين للوصول إلى النقطة B الموقع النهائي. فالشخص K يسلك المسار المستقيم (AB) للوصول إلى النقطة B ، بينما الشخص M يسلك المسار الثاني ، وهو المسار المنحني للوصول إلى النقطة نفسها B .
وللمدة الزمنية نفسها (10s) التي استغرقها الشخص K . وبما أن المسافة المقطوعة من قبل الشخصين مختلفة فالمسافة التي قطعها الشخص K على الطريق المستقيمة تساوي (100m) والمسافة التي قطعها الشخص M على الطريق المنحنية تساوي (130m) .

الشكل (7)

فإن الانطلاق المتوسط لكل منهما يحسب من العلاقة الآتية:

الانطلاق المتوسط للشاحنة (K):

$$\underset{\text{للشاحنة (K)}}{\text{Average speed}} = \frac{\text{Distance traveled}}{\text{Time interval (s)}} = \frac{100(m)}{10(s)} = 10m/s$$

$$\underset{\text{للشاحنة (M)}}{\text{Average speed}} = \frac{\text{Distance traveled}}{\text{Time interval}} = \frac{130(m)}{10(s)} = 13m/s$$

وبما أن مسار الشاحنتين مختلف على الرغم من أن موقعيهما الابتدائي والنهائي هما نفسهما وبمدتين زمنيتين متساويتين، فإن مقدار السرعة المتوسطة لكل منهما يكون متساوياً:

$$\underset{\text{للشاحنة (K)}}{\text{Average velocity}} \left|(\vec{v}_{avg})\right| = \frac{\text{displacement traveled}}{\text{Time interval}(\Delta t)} = \frac{100(m)}{10(s)} = 10m/s$$

$$\underset{\text{للشاحنة (M)}}{\text{Average velocity}} \left|(\vec{v}_{avg})\right| = \frac{\text{displacement traveled}}{\text{Time interval}(\Delta t)} = \frac{100(m)}{10(s)} = 10m/s$$

تذكر:

إذا انتقل جسم ما على مسار مستقيم فإن مقدار سرعته المتوسطة يساوي انطلاقه المتوسط أي أن الانطلاق يعبر عن المقدار العددي للسرعة.

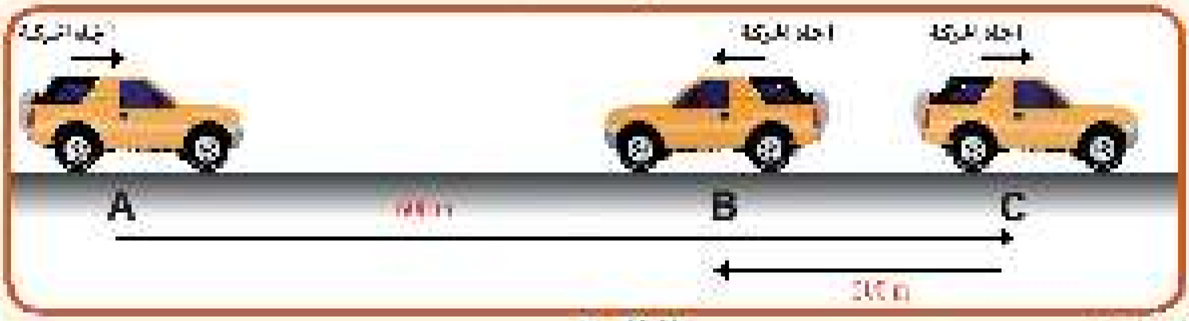
مثال 1/ السيارة في الشكل (8) بدأت بالحركة من السكون عند النقطة (A) وبالاتجاه الموجب للمحور (x) فوصلت النقطة C بعد مضي (80s) ثم استدارت وتحركت بالاتجاه معاكس حتى توقفت عند النقطة (B) خلال (20s). احسب:

1 الانطلاق المتوسط خلال الفترة الأولى (80s).

2 السرعة المتوسطة خلال الفترة الأولى (80s).

3 الانطلاق المتوسط خلال الفترة الكلية (100s).

4 السرعة المتوسطة خلال الفترة الكلية (100s).



الشكل (8)

الحل /

1- عند حركة السيارة من نقطة (A) الى نقطة (C):

$$\text{Average speed} = \frac{\text{distance traveled}}{\text{time interval}} = \frac{600\,(m)}{80\,(s)} = 7.5\ m/s$$

2- عند حركة السيارة من نقطة (A) الى نقطة (C):

فإن المسافة التي قطعتها السيارة تساوي الازاحة المقطوعة لذا فإن السرعة المتوسطة للسيارة تساوي انطلاقها المتوسط كون الحركة بالاتجاه الموجب للمحور (+x) فإن:

$$\underset{v_{avg}}{\text{Average velocity}} = \frac{\text{displacement traveled}}{\text{time interval}} = \frac{600(m)}{80(s)} = 7.5m/s$$

ولذا نجد أن الانطلاق يعبر عن المقدار العددي للسرعة لكون الحركة على خط مستقيم وبالاتجاه نفسه.

3- الانطلاق المتوسط للسيارة أثناء حركتها من نقطة (A) الى نقطة (B) يحسب من العلاقة:

$$\text{Average speed} = \frac{\text{distance traveled}}{\text{time interval}} = \frac{600+200}{80+20} = 8m/s$$

4- عند أخذ الحركة الكلية للسيارة من موقعها الابتدائي (A) الى موقعها النهائي (B)
فان مقدار ازاحتها $\Delta x = x_f - x_i = 600 - 200 = 400\ m$ والزمن المستغرق خلال هذه الحركة
هو $t = 80 + 20 = 100\ s$ فتكون سرعتها المتوسطة :

$$\underset{\upsilon_{avg}}{\text{Average velocity}} = \frac{\text{displacement traveled}}{\text{time interval}} = \frac{400(m)}{100(s)} = 4 m/s$$

6 - 2 السرعة الآنية والانطلاق الآني : Instantaneous velocity and Instantaneous speed

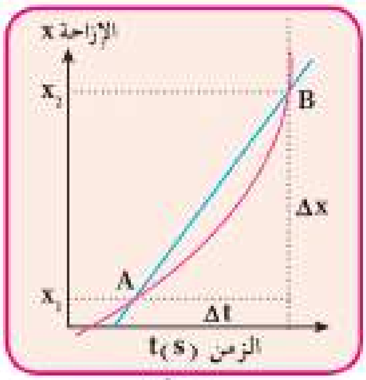
لدراسة الحركة بالتفصيل يتطلب معرفة مقدار سرعة الجسم عند اية لحظة زمنية . وسرعة الجسم المتحرك عند أية لحظة زمنية تسمى بالسرعة الانية .

دعنا نعود الى السيارة في الشكل (8) لحساب السرعة المتوسطة من المخطط (الإزاحة - الزمن) في الشكل (9-a)ومن ميل المستقيم (Slope)

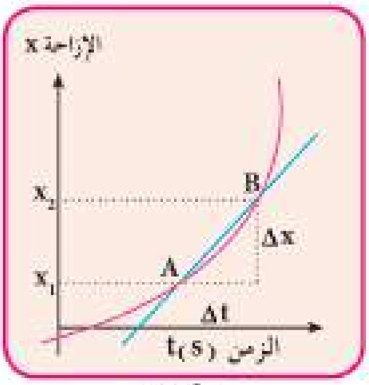
$$\vec{\upsilon}_{avg}\,(m/s) = slope = \frac{\Delta\vec{x}}{\Delta t}$$

وعند تقريب النقطة (B) من النقطة (A) بقيم اصغر لكل من (Δx و Δt) . لاحظ الشكل (9-b) سنحصل على قيم اصغر لميل المستقيم وكذلك قيم اصغر لسرعتها المتوسطة .

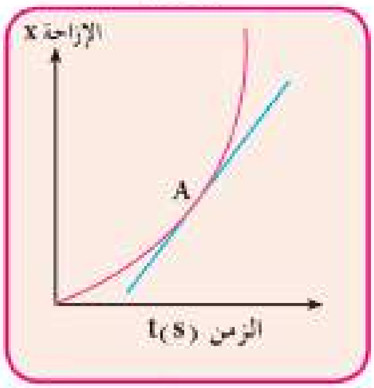
واذا استمرينا بتقريب الموقع (B) اقرب بكثير من الموقع (A) فان مقادير كل من (Δx و Δt) تقترب من الصفر حتى يصبح الخط المستقيم مماساً للمنحنى عند النقطة (A) لاحظ الشكل (9-c) وان ميل هذا المستقيم يعطي مقدار السرعة الآنية للسيارة عند النقطة (A) .



(9-a)



(9-b)



(9-c)

الشكل (9)

فكر :

ان مقدار سرعة الجسم المتحرك عند اية لحظة في منحني (الإزاحة – الزمن) هو مقدار السرعة الانية للجسم في تلك اللحظة.

هل تعلم ؟

ان الرقم الذي نقرأه على اللوحة الموضوعة في السيارة امام السائق يشير الى الانطلاق الاني للسيارة الشكل (10) ولا يعين اتجاه السيارة .

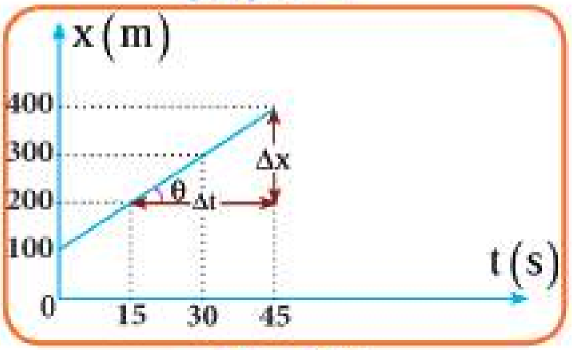
الشكل (10)

7-2 الحركة بسرعة ثابتة (Motion with constant velocity)

اذا تحرك جسم ما على خط مستقيم وقطع ازاحات متساوية خلال فترات زمنية متساوية يقال عندئذ ان حركة الجسم ثابتة وتدعى سرعته بالسرعة الثابتة .

الشكل (11)

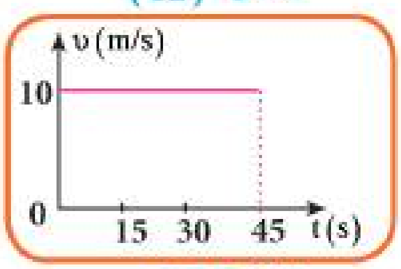
عند ملاحظة الشكل (11) نجد ان السيارة تتحرك بخط مستقيم فهي تقطع **150m** في كل (**15s**) اي انها تتحرك بسرعة ثابتة **10m/s** وعندما نرسم مخططا بيانيا (الإزاحة – الزمن) أي (**x-t**) الشكل (**12**) نحصل على خط مستقيم وميل هذا المستقيم يساوي السرعة المتوسطة :-



الشكل (12)

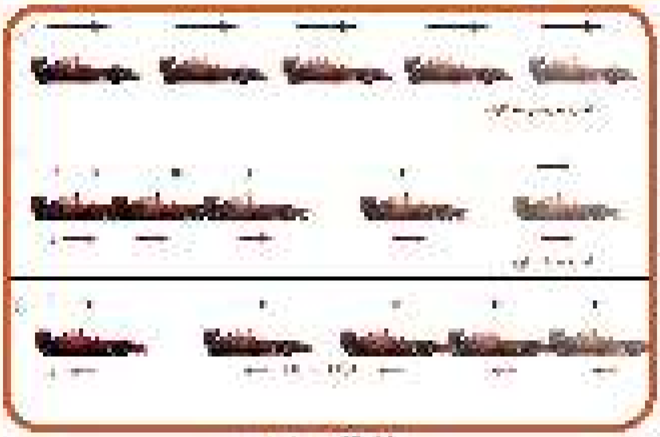
$$\vec{\upsilon}_{avg} = slope = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

واذا رسمنا مخطط بيانيا بين (السرعة - الزمن) نحصل على خط مستقيم افقي لان سرعة السيارة ثابتة المقدار والاتجاه لاحظ الشكل (**13**).



الشكل (13)

8-2 التعجيل Acceleration



الشكل (14)

الشكل (15)

يمكن أن تتحرك مركبة أو شاحنة أو دراجة بسرعة ثابتة المقدار والاتجاه لفترة معينة كما يوضحه الشكل (14) ويمكن أن يزداد مقدار سرعتها خلال فترة زمنية معينة فتكون حركتها عندئذ بتسارع وقد تتباطأ خلال مدة أخرى فتكون حركتها عندئذ بتباطؤ وقد ينتج التعجيل من حصول تغير في اتجاه سرعة المركبة مع ثبوت انطلاقها عندما تسير المركبة على منعطف دائري (بمسار دائري) بانطلاق ثابت فيسمى هذا التعجيل بالتعجيل المركزي ويرمز له بـ (a_c) الشكل (15) فالمعدل الزمني للتغير في مقدار سرعة الجسم يسمى بتعجيل الجسم ويرمز له بـ ($\vec{a}$)

وهو كمية متجهة أي أن $\vec{a} = \dfrac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ وعندما تكون السرعة ثابتة المقدار والاتجاه يكون تعجيلها يساوي صفراً ($a = 0$).

9-2 معادلات الحركة الخطية بتعجيل منتظم:

a- اشتقاق معادلة الازاحة بدلالة كل من السرعة النهائية والسرعة الابتدائية والزمن:

لدينا:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

وان:

$$v_{av} = \frac{v_f + v_i}{2}$$

وعند تساوي المعادلتين نحصل على:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{v_i + v_f}{2}$$

بضرب طرفي المعادلة في Δt

نحصل على:

$$\Delta x = \left(\frac{v_i + v_f}{2}\right) \cdot \Delta t$$

b – معادلة السرعة النهائية بدلالة كل من السرعة الابتدائية والتعجيل والزمن :

لدينا من تعريف التعجيل

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{\Delta t}$$

ونضرب طرفي المعادلة في Δt

$$a\Delta t = v_f - v_i$$

نحصل على :

$$v_f = v_i + a\Delta t$$

c – معادلة الإزاحة بدلالة كل من السرعة الابتدائية والتعجيل والزمن

لدينا معادلة الإزاحة بدلالة السرعة الابتدائية والسرعة النهائية والزمن :

$$\Delta x = \left(\frac{v_i + v_f}{2}\right)\Delta t$$

وبالتعويض عن السرعة النهائية من المعادلة $v_f = v_i + a\Delta t$ في المعادلة أعلاه نحصل على:

$$\Delta x = \left(\frac{v_i + (v_i + a\Delta t)}{2}\right)\Delta t$$

$$\Delta x = \left(\frac{2v_i\Delta t + a(\Delta t)^2}{2}\right)$$

$$\Delta x = v_i\Delta t + ½\, a\, (\Delta t)^2$$

d – معادلة السرعة النهائية بدلالة التعجيل والإزاحة والسرعة الابتدائية:

لدينا معادلة الإزاحة بدلالة كل من السرعة الابتدائية والسرعة النهائية والزمن

$$[\Delta x = ½\,(v_i + v_f)\,\Delta t]$$

وبضرب طرفي المعادلة في (2) نحصل على :

$$2\Delta x = (v_i + v_f)\,\Delta t$$

وبقسمة طرفي المعادلة على $(v_i + v_f)$ نحصل على

$$2\Delta x / (v_i + v_f) = \Delta t$$

نعوض عن Δt في المعادلة : $v_f = v_i + a\,\Delta t$

فنحصل على : $v_f = v_i + a \times 2\,\Delta x / (v_i + v_f)$

$$v_f - v_i = a \times 2\,\Delta x / (v_i + v_f)$$

$$v_f^2 - v_i^2 = a \times 2\,\Delta x$$

$$v_f^2 = v_i^2 + 2\,a\,\Delta x$$

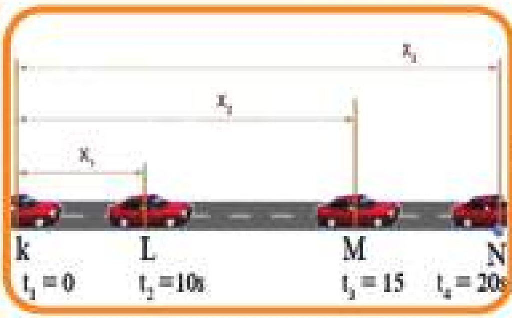
وعندما يبدأ الجسم بالحركة من السكون أي $(v_i = 0)$ فتكون المعادلة الأخيرة :

$$v_f = \sqrt{2a\Delta x}$$

مثال 2

احسب مقدار التعجيل بين نقطتين والمثبتة على الرسم للسيارة في الشكل (16) علماً ان $\upsilon_K = 20\ m/s$ ، $\upsilon_L = 30\ m/s$ ، $\upsilon_M = 30\ m/s$ ، $\upsilon_N = 25\ m/s$

خلال الفترات الزمنية الاتية :

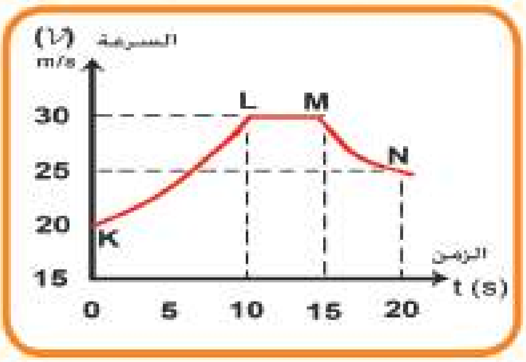


(1) ($t_1 = 0s$) و ($t_2 = 10s$) بين النقطتين (K, L) .

(2) ($t_2 = 10s$) و ($t_3 = 15s$) بين النقطتين (L , M) .

(3) ($t_3 = 15s$) و ($t_4 = 20s$) بين النقطتين (M, N)

(4) ($t_1 = 0s$) و ($t_4 = 20s$) بين النقطتين (K, N)



الشكل (16)

الحل /

بما ان ميل المستقيم في البياني (السرعة- الزمن) أي ($\upsilon - t$) الشكل (16) يساوي تعجيل الجسم

(a) فيكون التعجيل بين النقطتين :

(1)

$$a_{(KL)} = \frac{\Delta\upsilon}{\Delta t} = \frac{\upsilon_L - \upsilon_K}{t_L - t_K}$$

$$= \frac{30 - 20}{10 - 0} = 1 m/s^2$$

(يكون التعجيل موجباً عند التسارع)

(2)

$$a_{(LM)} = \frac{\Delta\upsilon}{\Delta t} = \frac{\upsilon_M - \upsilon_L}{t_M - t_L}$$

$$= \frac{30 - 30}{15 - 10} = 0 m/s^2$$

(يكون التعجيل صفراً لان السرعة ثابتة)

(3)

$$a_{(MN)} = \frac{\Delta\upsilon}{\Delta t} = \frac{\upsilon_N - \upsilon_M}{t_N - t_M}$$

$$= \frac{25 - 30}{20 - 15} = -1 m/s^2$$

(يكون التعجيل سالباً لانه تباطؤ)

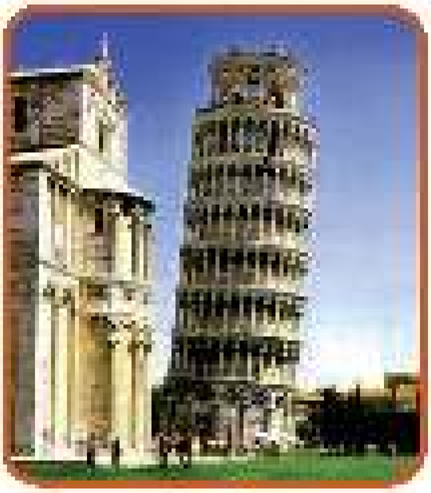
(4)

$$a_{(KN)} = \frac{\Delta\upsilon}{\Delta t} = \frac{\upsilon_N - \upsilon_K}{t_N - t_K}$$

$$= \frac{25 - 20}{20 - 0} = 0.25 m/s^2$$

(يكون التعجيل موجباً لانه تسارع)

2-10 تعجيل الجاذبية Acceleration of gravity



الشكل (17)

أي الكرتين تسقط في الهواء أسرع ؟

الكرة الثقيلة أم الكرة الخفيفة ، التفاحة أم الريشة؟

قد يبدو معقولاً أن تسقط الكرة الثقيلة أسرع من الكرة الخفيفة . أليس كذلك ؟ في الحقيقة كانت إجابة العالم أرسطو (قبل الميلاد) الإجابة نفسها .

وبعد ستة عشر قرناً أجرى العالم غاليلو اختبارات تجريبية بسيطة . فقد أسقط حجراً وريشة طائر من قمة برج بيزا المائل لاحظ الشكل (17) وبسبب التأثير الكبير لاحتكاك الهواء ودفعه للريشة أثناء سقوطها فإن الحجر وصل الأرض قبل الريشة .

الشكل (18)

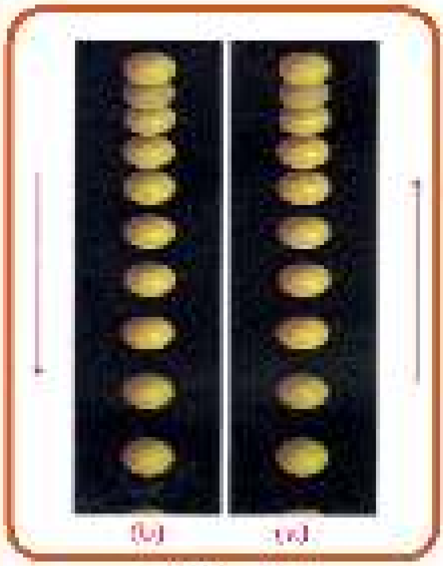
لذا أجريت تجارب عدة باستعمال أجسام ثقيلة نسبياً متساوية في الحجم ومختلفة في الوزن وساقطة من الارتفاع نفسه فنحصل على النتائج المعروفة وهي سقوط جميع الأجسام من الارتفاع نفسه على الأرض بالطريقة نفسها وبتعجيل ثابت وبمدة زمنية نفسها بغض النظر عن وزنها .

وبغياب تأثير مقاومة الهواء في الأجسام الساقطة (مثل تجربة التفاحة والريشة) الشكل (18) لقد وجد عملياً أن التفاحة والريشة تسقطان معاً وبالسرعة نفسها (بغياب مقاومة الهواء).

السقوط الحر :

الشكل (19)

الكثير من العلماء التجريبيين كرروا تجارب العالم غاليلو بإتباع أساليب تقنية متطورة للغاية فمن الحقائق المسلم بها الآن أن أي جسم يسقط سقوطاً حراً فإنه ينزل نحو الأسفل بتعجيل ثابت الشكل (19) . وهو التعجيل الناتج من قوة جذب الأرض على الجسم . وبالرغم من أن مقدار جاذبية الأرض يختلف من مكان إلى مكان بالقرب من سطح الأرض فهو تقريباً يساوي ($9.81\ m/s^2$) أو ($981\ cm/s^2$)



الشكل (20)

ويرمز لتعجيل الجاذبية الارضية عند سطح الارض بالمتجه ($\vec{g}$) ويفترض الحصول على هذا المقدار هو العناية الكبيرة المبذولة لتقليل تأثير الهواء على الاجسام الساقطة الى ادنى حد ممكن .

لذا فان جميع الاجسام القريبة من سطح الارض و بغياب تأثير الهواء في تلك الاجسام فانها تسقط بالتعجيل نفسه هو تعجيل الجاذبية الارضية ، $g = 9.8 m/s^2$ ويساوي تقريباً $(-10 m/s^2)$ ويكون بإشارة سالبة دائماً لأنه يتجه نحو الأسفل ، تسمى هذه الحركة (السقوط الحر **Free fall**) الشكل (20) .

11-2 معادلات الحركة في السقوط الحر :

للاجسام الساقطة سقوطاً حراً وبالتعويض عن $(v_i = 0)$ في المعادلات الحركة الخطية نحصل على :

$$v_f = g\,t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$\Delta y = \frac{1}{2} g\,t^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

$$v_f = \sqrt{2gy} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

فكر

* عند قذف كرة شاقولياً نحو الاعلى فان سرعتها تساوي صفراً لحظة وصولها الى اعلى نقطة من مسارها . فهل يعني بالضرورة ان تعجيلها يساوي صفراً ؟

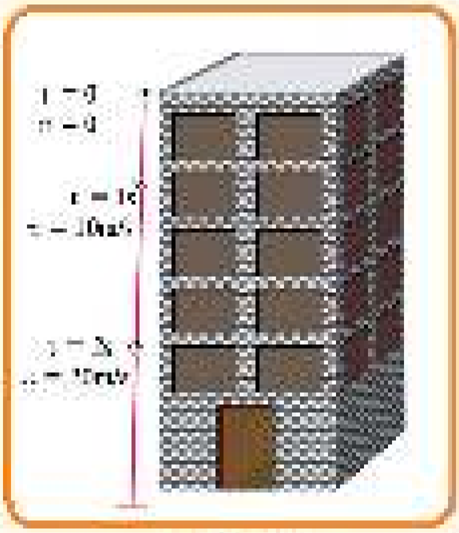
* سيارة تسير بخط مستقيم (باتجاه $-x$) وبتعجيل (باتجاه $+x$) هل يعني ان حركة السيارة بتسارع ام تباطؤ ؟

مثال 3

من سطح بناية سقطت كرة سقوطاً حراً الشكل (21) فوصلت سطح الأرض بعد مدة زمنية (3s) . احسب مقدار :

1. ارتفاع سطح البناية.
2. سرعة الكرة لحظة اصطدامها بسطح الأرض وبين اتجاهها؟
3. سرعة وارتفاع الكرة فوق سطح الأرض بعد مرور (1s) من سقوطها.

أفرض ان مقدار التعجيل الأرضي ($g = -10\ m/s^2$)



الشكل (21)

الحل /

1- تكون السرعة الابتدائية في السقوط الحر دائماً = صفراً
نطبق معادلة الإزاحة والتعجيل والزمن.

$$y = ½\, g (t)^2$$

$$y = ½ (-10) \times (3)^2$$

$$y = -45\ m$$

* الإشارة السالبة تعني ان سرعة الكرة تتجه نحو الأسفل فيكون ارتفاع سطح البناية فوق سطح الأرض ($h = 45\ m$) .

2- لحساب سرعة الكرة لحظة اصطدامها بسطح الأرض. نطبق معادلة السرعة والتعجيل والزمن :

$$v_f = v_i - g \times t$$

$$v_f = 0 + (-10) \times 3 = -30 m/s$$

* الإشارة السالبة تعني ان سرعة الكرة تتجه نحو الأسفل .

3- لحساب سرعة الكرة بعد مرور (1s) من لحظة سقوطها نطبق معادلة السرعة والتعجيل والزمن :

$$v_f = v_i - g t$$

$$v_f = 0 + (-10) \times 1 = -10 m/s$$

* الإشارة السالبة تعني ان سرعة الكرة تتجه نحو الأسفل ولحساب ارتفاع الكرة فوق سطح الأرض بعد مرور (1s) ، يجب حساب الإزاحة من لحظة سقوطها ؛

$$y = ½\, g \times (t)^2$$

$$y = ½ (-10) \times (1)^2 = -5 m$$

فيكون ارتفاع الكرة فوق سطح الأرض ($h = 45 - 5 = 40\ m$)

مثال4

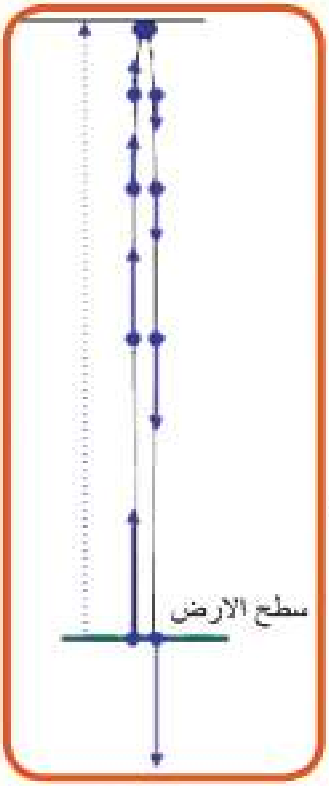
من نقطة عند سطح الارض قذفت كرة صغيرة بانطلاق ($40m/s$) شاقوليا نحو الاعلى ، لشكل (22) (اهمل تاثير الهواء في الكرة) . احسب مقدار :

1 - اعلى ارتفاع ممكن ان تصله الكرة فوق سطح الارض .

2 - الزمن الذي تستغرقه الكرة من لحظة قذفها لحين وصولها الى اعلى ارتفاع لها .

3 - سرعتها وارتفاعها فوق سطح الارض عند اللحظة ($t = 2s$) .

4- سرعتها لحظة اصطدامها بسطح الارض .



الشكل (22)

الحل/

1 - لحظة وصول الكرة الى اعلى ارتفاع فوق سطح الارض تكون سرعتها النهائية ($\upsilon_f = 0$)

فتكون :

$$\upsilon_f^2 = \upsilon_i^2 + 2 \times g\, \Delta y$$

$$0 = (40)^2 + 2 \times (-10) \times h$$

اعلى ارتفاع تصله الكرة فوق سطح الارض $h = 80m$

-2

$$\upsilon_f = \upsilon_i + g \times t$$

$$0 = 40 + (-10) \times t_1$$

للزمن الذي تستغرقه الكرة من لحظة قذفها لحين وصولها الى اعلى ارتفاع لها $t_1 = 4s$

3- لحساب سرعة الكرة بعد مرور ($t = 2s$) من لحظة قذفها لدينا

$$\upsilon_f = \upsilon_i + g \times t$$

$$\upsilon_f = 40 + (-10) \times 2 = 20\ m/s$$

لحساب ارتفاع الكرة بعد مرور ($t = 2s$) من لحظة قذفها لدينا

$$\Delta y = \upsilon \times t + \tfrac{1}{2}\, g \times (t)^2$$

$$\Delta y = 40 \times 2 + \tfrac{1}{2}(-10) \times (2)^2$$

$y = 60\ m$ فيكون ارتفاع الكرة $h = 60\ m$

4 - بما ان زمن صعود الكرة الى اعلى ارتفاع لها $t_1 = 4s$

نحسب زمن نزول الكرة من اعلى ارتفاع بلغته وصولها الى سطح الارض . فتكون ($v_i = 0$)، نعرض ان الكرة تسقط سقوطا حرا من ذلك الارتفاع :

$$\Delta y = \frac{1}{2} g t_2^2$$

$$80 = \frac{1}{2}(\ 10)\, t_2^2$$

$$t_2^2 = \frac{80}{-5} = 16$$

$$t_2 = 4\ s$$

كما يمكن ايجاد سرعة الكرة لحظة اصطدامها بالارض من العلاقة الآتية:

$$v_f = v_i + g t$$

اذ ان t هو الزمن الكلي الذي تستغرقه الكرة في صعودها ونزولها = 8s

$$v_f = 40 + (-10) \times 8$$

$$v_f = -40\ m/s$$

2-12 الحركة في بعدين (الحركة في مستوي) Motion in a Plane

من الامثلة المعروفة عن حركة الاجسام في بعدين هي حركة جسم مقذوف بزاوية في مجال الجاذبية الارضية مثل حركة جزيئات الماء المتدفقة من الشلال ، وحركة الشرارات الكهربائية ، لاحظ الشكلان (23 و 24) .

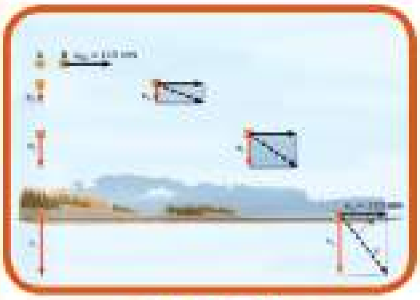
والفكرة في وصف حركة الاجسام في بعدين تعتمد على تمثيل هذه الحركة في المحورين الافقي (x-axis) والشاقولي (y-axis) ، ودراسة الحركة في كل بعد بشكل مستقل عن البعد الآخر .

بما ان الحركتين الافقية والشاقولية لاتؤثر احداهما على الاخرى لذا نطبق معادلات الحركة ببعد واحد على كل من المحورين x و y ، ونطلق عليهما تسمية الحركة الافقية والحركة الشاقولية .

الشكل (23)

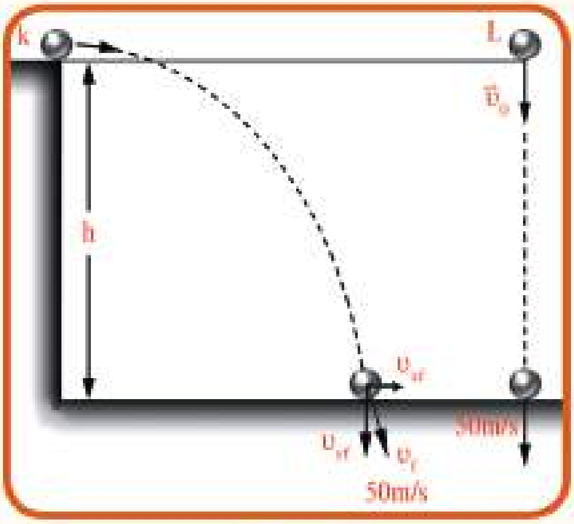
الشكل (24)

الحركة الافقية للمقذوفات :


الشكل (25)

حركة المقذوفات الافقية هي نتيجة محصلة نوعين من الحركة ، النوع الاول حركة شاقولية تكون سرعة المقذوف $(\vec{\upsilon}_y)$ متغيرة بالمقدار والإتجاه بسبب تأثير قوة الجاذبية الأرضية فيها والنوع الثاني حركة أفقية تكون سرعة المقذوف $(\vec{\upsilon}_x)$ ثابتة بالمقدار والإتجاه بسبب عدم تأثير قوة الجاذبية الأرضية فيها (فهي عمودية على مركبة متجه السرعة $(\vec{\upsilon}_y)$ لاحظ الشكل 25 لذا فأن السرعة المحصلة لهاتين السرعتين (υ_f) تعطى بالمعادلة : $\upsilon_f^2 = \upsilon_x^2 + \upsilon_y^2$.

مثال5 قذفت الكرة **k** بسرعة افقية مقدارها (40m/s) من ارتفاع شاقولي **h** فضربت الارض بسرعة مقدارها (50m/s) ومن الارتفاع نفسه قذفت الكرة **L** شاقوليا نحو الاسفل الشكل (26) بسرعة ابتدائية υ_0 فضربت سطح الارض بسرعة مقدارها (50m/s) ايضا احسب مقدار : السرعة υ_0 للكرة **L**.



الشكل (26)

الحل / نرسم اولا المركبتين الافقية والشاقولية للسرعة النهائية للكرة **k** (السرعة التي ضربت سطح الارض) .

بما ان مقدار المركبة الافقية لسرعة القذيفة يبقى ثابتا طيلة مسارها فأن :

$$\upsilon_{xf} = \upsilon_{xi} = 40m/s$$

$$\upsilon^2_f = \upsilon^2_{xf} + \upsilon^2_{yf}$$

$$(50)^2 = (40)^2 + \upsilon^2_{yf}$$

$\upsilon_{yf} = -30\ m/s$ وهي المركبة الشاقولية للسرعة النهائية للكرة **k** الاشارة السالبة امام مقدار السرعة υ_{yf} تدل على انها تتجه نحو الاسفل .

ثم نحسب الارتفاع الشاقولي **h** بتطبيق المعادلة :

$$\upsilon^2_{yf} = \upsilon^2_{yi} + 2g\Delta y \implies (-30)^2 = 0 + 2 \times (-10)\Delta y$$

$h = 45\ m$ الاشارة السالبة تدل على ان الازاحة نحو الاسفل فيكون الارتفاع ، $y = -45m$

لحساب السرعة الابتدائية (υ_{yi}) للكرة L نطبق المعادلة الاتية :

$$\upsilon^2_{yf} = \upsilon^2_{yi} + 2\,g\,\Delta y \implies (50)^2 = \upsilon^2_{yi} + 2\,(-10)(-45)$$

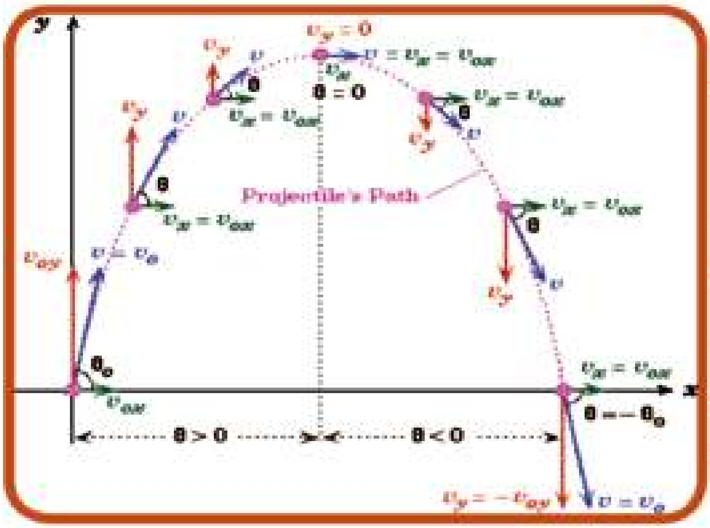
$$2500 = \upsilon^2_{yi} + 900$$

$$\upsilon^2_{yi} = 1600$$

تؤخذ الاشارة السالبة لان اتجاه السرعة نحو الاسفل $\upsilon_{yi} = -40m/s$

المقذوفات بزاوية معينة :

كل مقذوف بزاوية فوق الافق يتخذ مساراً بشكل القطع المكافئ الموضح في الشكل (27) فـان حركته تكون ببعدين (افقي وشاقولي) وبتعبير اخر انه يتحرك بمستوٍ معين ومن ملاحظة الشكل نجد ان للقذيفة حركة افقية ثابتة المقدار والاتجاه بسبب ان المركبة الافقية للسرعة الابتدائية (υ_{ix}) هي نفسها عند اية نقطة من مسارها .



الشكل (27)

$$\upsilon_x = \upsilon_{ix} = \upsilon_i \cos\theta$$

بينما حركتها الشاقولية تكون حركة ذات تعجيل ثابت وهو تعجيل الجاذبية الارضية ,فتكون الحركة بتباطؤ منتظم في اثناء صعودها (لان قوة الجاذبية الارضية تكون باتجاه معاكس لاتجاه حركتها) بينما تكون حركتها بتسارع منتظم في اثناء نزولها (لان قوة الجاذبية الارضية تكون باتجاه حركة القذيفة) .

$$\boxed{\upsilon_{fy} = \upsilon_{iy} + gt}$$

$$\upsilon_{fy} = \upsilon_i \sin\theta + gt$$

سرعة المقذوف $\vec{\upsilon}_f$ عند اية لحظة من الزمن تساوي محصلة المركبة الافقية $\vec{\upsilon}_x$ والمركبة الشاقولية $\vec{\upsilon}_y$

$$\vec{\upsilon}_f = \vec{\upsilon}_x + \vec{\upsilon}_y$$

وبما ان υ_x عمودية على اتجاه υ_y لذا فان مقدار محصلتهما تحسب من:

$$\upsilon = \sqrt{\upsilon_x^2 + \upsilon_y^2}$$

معادلات المقذوفات بزاوية فوق الأفق :

a معادلة لحساب الزمن الكلي المستغرق في طيران المقذوف :-

نحسب الزمن الذي يستغرقه المقذوف للوصول الى اعلى ارتفاع له (t_{up}) (نعوض عن g بإشارة سالبة لان اتجاهه نحو الأسفل)

نطبق المعادلة

$$v_{fy} = v_i \sin\theta - g\, t_{up}$$

فنحصل على :

$$\boxed{t_{up} = \frac{v_{iy}}{g} = \frac{v_i \sin\theta}{g}}$$

وعند نزول المقذوف من قمة مساره ووصوله الى المستوي الاول الذي قذف منه فان الزمن الذي يستغرقه في نزوله يساوي زمن صعوده من نقطة قذفه حتى وصوله الى قمة مساره . لذا فان الزمن الكلي الذي يستغرقه المقذوف من لحظة قذفه الى لحظة وصوله الى المستوي الاول الذي قذف منه يساوي ضعف زمن صعوده الى اعلى نقطة من مساره. وبهذا تكون معادلة الزمن الكلي t_{total} للمقذوف هي:

$$\boxed{t_{total} = \frac{2v_i \sin\theta}{g}}$$

b معادلة لحساب اعلى ارتفاع (h_{max}) يصله الجسم المقذوف :

بما ان المركبة الشاقولية لسرعة المقذوف بزاوية فوق الافق عند اعلى نقطة من مساره تساوي صفراً

$v_{fy} = 0$

نطبق المعادلة :

$$v^2_{fy} = v^2_{iy} - 2g\,\Delta y$$

$$0 = v_i^2 \sin^2\theta - 2gh$$

$$2gh = v_i^2 \sin^2\theta$$

$$h_{max} = \frac{v_i^2 \sin^2\theta}{2g}$$

c معادلة حساب المدى الافقي :

المدى الافقي هو الازاحة الافقية التي يقطعها الجسم المقذوف خلال الزمن الكلي للطيران ويرمز له بـ (R) وبما ان السرعة الافقية للمقذوف ثابتة المقدار والاتجاه فان:

$$R = v_x t$$

$$R = (v_i \cos\theta_i)\, t$$

$$\Delta y = v_{iy} t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$0 = (v_i \sin\theta_i)\, t - \frac{1}{2} g t^2 \Rightarrow t = \frac{2v_i \sin\theta_i}{g}$$

$\because R = (\upsilon_i \cos\theta_i)\, t$

بما ان : $2\sin\theta\cos\theta = \sin2\theta$

فان :

$$R = \frac{2\upsilon_i^2}{g}\sin\theta_i\cos\theta_i \Rightarrow \boxed{R = \frac{\upsilon_i^2}{g}\sin2\theta_i}$$

نستنتج من هذا القانون أن أكبر مدى تقطعه القذيفة هو عندما تكون زاوية إطلاقها (θ_i) تساوي 45^o وعندها يكون أعظم مدى أفقي للقذيفة :

$$\boxed{R_{max} = \frac{\upsilon_i^2}{g}}$$

مثال6 لاعب كرة القدم ركل بقدمه الكرة الموضوعة على سطح الارض الشكل (28) فكانت سرعتها الابتدائية $(\upsilon_{initial} = 20m/s)$ بزاوية $(\theta = 37^o)$ فوق الافق .

احسب مقدار :-

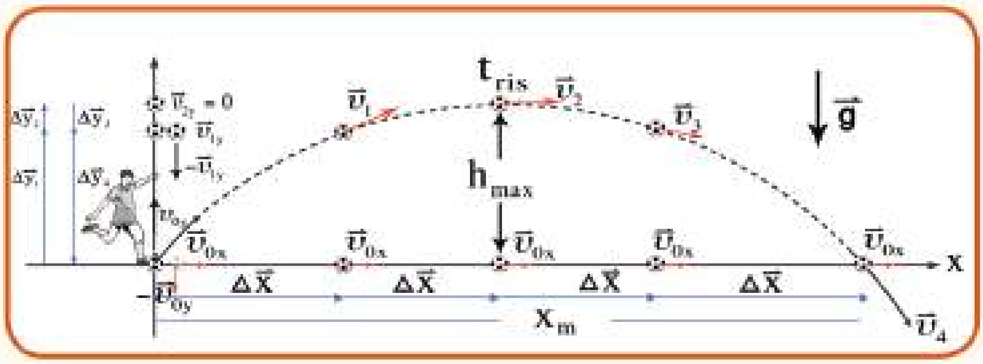
1 - اعلى ارتفاع فوق سطح الارض تصله الكرة .

2 - الزمن الذي تستغرقه الكرة من لحظة ضربها حتى وصولها الى قمة مسارها ثم احسب الزمن الكلي من لحظة ضربها حتى لحظة إصطدامها بسطح الارض .

3 - المدى الافقي للكرة خلال حركتها من نقطة ضربها حتى لحظة اصطدامها بالارض

4 - سرعتها قبيل لحظة اصطدامها بسطح الارض وباي اتجاه ؟

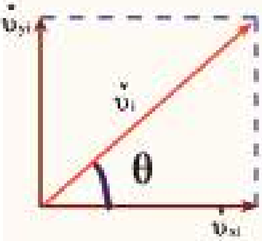
5 - أعظم مدى افقي لهذا المقذوف ؟



الشكل (28)

الحل/

1 - نحسب اولاً المركبة الافقية للسرعة الابتدائية للكرة :



$$\upsilon_{xi} = \upsilon_{initial} \times \cos\theta$$

$$\upsilon_{xi} = 20\cos37^o = 20 \times 0.8 = 16m/s$$

نحسب ثانياً المركبة الشاقولية لسرعة الكرة :

$$\upsilon_{yi} = \upsilon_{initial} \times \sin\theta$$

$$\upsilon_{yi} = 20\sin37^o = 20 \times 0.6 = 12m/s$$

وبما ان سرعة الكرة وهي في قمة مسارها ($v_y = 0$) ، نطبق المعادلة

$$v_{yf}^2 = v_{yi}^2 + 2g\Delta y$$

$$0 = (12)^2 + 2(-10)\Delta y$$

$$\Delta y = 144 / 20$$

$$\Delta y = 7.2m$$

فيكون اعلى ارتفاع للكرة فوق سطح الارض ($h = 7.2m$)

2- نحسب الزمن الكلي لطيران الكرة يتطلب حساب اولا الزمن المستغرق من لحظة ركلها حتى لحظة وصولها الى قمة مسارها :

$$v_{yf} = v_{yi} + g \times t$$

$$0 = 12 + (-10) \times t_1$$

$$t_1 = 1.2s$$

ثم نحسب الزمن الذي تستغرقه الكرة في اثناء نزولها من قمة مسارها حتى لحظة اصطدامها بسطح الارض [تسقط سقوطاً حراً من ارتفاع ($h = 7.2m$)] .

بما انه تتجه نحو الاسفل يكون $\Delta y = -7.2m$

فتكون $\Delta y = \frac{1}{2} g \times (t)^2$

$$-7.2 = \frac{1}{2}(-10) \times (t_2)^2$$

$$-7.2 = -5 \times (t_2)^2$$

$$t_2 = 1.2\,s$$

فيكون الزمن الكلي = زمن الصعود + زمن النزول

او الزمن الكلي = زمن الصعود الى اعلى نقطة × 2

$$2.4\,s = 1.2s + 1.2\,s$$

$$t_{total} = 2.4\,s$$

3- المدى الافقي = المركبة الافقية للسرعة الابتدائية $v_x = v_i \times \cos\theta$ مضروبا في الزمن الكلي

$$\boxed{R = v_x t_{total}}$$

$$R = 16 \times 2.4 = 38.4m$$

4- نحسب سرعة الكرة لحظة اصطدامها بسطح الارض v_f ، يتطلب حساب المركبتين الافقية والشاقولية لهذه السرعة ، وبما ان المركبة الافقية لسرعة الكرة ثابتة طيلة مسارها ($v_x = 16m/s$) لذا يتطلب حساب مركبتها الشاقولية (v_{yf})

$$v_{yf} = v_{yi} - g \times t_2$$

$$v_{yf} = 0 + (-10) \times 1.2 = -12\, m/s$$

[الإشارة السالبة تدل على أن اتجاه المركبة العمودية للسرعة النهائية نحو الأسفل]

بما أن المركبتين الأفقية والشاقولية متعامدتين (الشكل 27)

فيكون $\vec{v}_f = \vec{v}_{xf} + \vec{v}_{yf}$

$$v_f^2 = (16)^2 + (-12)^2$$

$$v_f^2 = 256 + 144 \Rightarrow v_f = 20\, m/s$$

لتعين اتجاه هذه السرعة نطبق النسبة المثلثية :

$$\tan\theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{-12}{16} = \frac{-3}{4}$$

$$\theta = -37^\circ$$

(الإشارة السالبة تعني أن الزاوية θ تقع تحت الأفق)

5 - لحساب أعظم مدى أفقي لهذا المقذوف يتحقق عندما تكون زاوية قذفه 45° فوق الأفق

، عندئذ نطبق المعادلة :

$$\boxed{R_{max} = \frac{v_i^2}{g}}$$

$$R_{max} = \frac{(20)^2}{10} = 40\, m$$

اسئلةالفصل الثاني

س1\

اختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات الاتية:

1- الحركة تعبير يعود الى التغير في موقع الجسم نسبة الى:

a) اطار اسناد معين .
b) احد النجوم
c) السحب .
d) الشمس .

2- جسمان متماثلان في الشكل والحجم ولكن وزن أحدهما ضعف وزن الاخر ، سقطا سويةً من قمة برج (بإهمال مقاومة الهواء) ، فان :

a) الجسم الاثقل سيضرب سطح الارض اولاً ويمتلكان التعجيل نفسه .
b) الجسمان يصلان سطح الارض باللحظة نفسها ولكن الجسم الاثقل يمتلك انطلاقا أكبر
c) الجسمان يصلان سطح الارض باللحظة نفسها وبالانطلاق نفسه ويمتلكان التعجيل نفسه .
d) الجسمان يصلان سطح الارض باللحظة نفسها ولكن الجسم الاثقل يمتلك تعجيلا أكبر

3- تعجيل الجسم المقذوف شاقوليا نحو الاعلى (باهمال مقاومة الهواء) :-

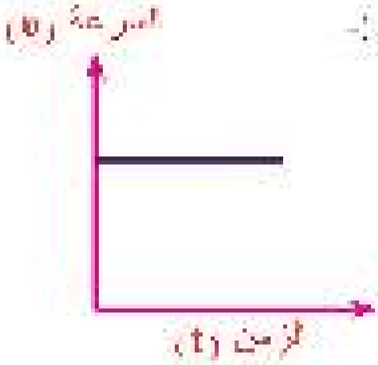
a) أكبر من تعجيل الجسم المقذوف شاقوليا نحو الاسفل .
b) اقل من تعجيل الجسم المقذوف شاقوليا نحو الاسفل .
c) يساوي تعجيل الجسم المقذوف شاقوليا نحو الاسفل .
d) أكبر من تعجيل الجسم الساقط سقوطا حرا نحو الاسفل .

4- تصور انك راكب دراجة وتتحرك بانطلاق ثابت بخط مستقيم ، وبيدك كرة صغيرة، فاذا قذفت الكرة شاقوليا نحو الاعلى (اهمل مقاومة الهواء) ، فان الكرة ستسقط :

a) أمامك .
b) خلفك .
c) بيدك .
d) أي من الاحتمالات السابقة ويعتمد ذلك على مقدار انطلاق الكرة .

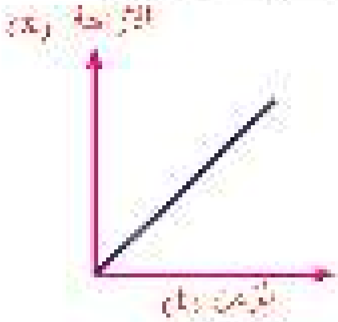
5 - في كل من الأمثلة الآتية السيارة متحركة ، في أي منها لا تمتلك تعجيلاً ؟
a) السيارة متحركة على منعطف دائري بانطلاق ثابت (50km/h).
b) السيارة متحركة على طريق مستقيمة بانطلاق ثابت (70km/h).
c) تناقصت سرعة السيارة من (70km/h) إلى (30km/h) خلال (20s).
d) انطلقت سيارة من السكون فبلغت سرعتها 40m/s بعد مرور (60s).

6 - عند رسمك للمخطط البياني (السرعة – الزمن) (v - t) يكون الخط المستقيم الأفقي المرسوم في المخطط يعبر عن حركة جسم إذا كانت :



a) سرعته تساوي صفر .
b) سرعته ثابتة في المقدار والاتجاه .
c) سرعته متزايدة في المقدار بانتظام .
d) سرعته متناقصة في المقدار بانتظام .

7 - في المخطط البياني (الإزاحة – الزمن) أي (x-t) يكون الخط المستقيم المائل إلى الأعلى نحو اليمين المرسوم في المخطط يعبر عن حركة جسم عندما تكون :



a) سرعته تساوي صفر .
b) سرعته ثابتة في المقدار والاتجاه .
c) سرعته متزايدة في المقدار بانتظام .
d) سرعته متناقصة في المقدار بانتظام .

8 - دراجة تتحرك في شارع مستقيم بتباطؤ منتظم يكون الرسم البياني (السرعة – الزمن) لحركتها عبارة عن :
a) خط مستقيم يميل إلى الأعلى نحو اليسار .
b) خط مستقيم يميل إلى الأسفل نحو اليمين .
c) خط مستقيم أفقي .
d) خط منحني يميل إلى الأعلى يزداد مع الزمن .

9 قذف حجر شاقولياً نحو الاعلى فوصل اعلى ارتفاع له (y) ثم سقط سقوطاً حراً من ذلك الارتفاع راجعاً الى النقطة التي قذف منها، فإن سرعته المتوسطة تساوي :-

a) صفراً b) $2\frac{y}{t}$ c) $\frac{y}{t}$ d) $\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{y}{t}\right)$

10 - يقف شخص على سطح بناية ويحمل في كلتا يديه كرتان صغيرتان متماثلتان في الكتلة والحجم (حمراء وخضراء) فاذا قذف الكرة الحمراء بسرعة افقية وترك الكرة الخضراء تسقط سقوطاً حراً من الارتفاع نفسه فان :

a) الكرتان تصطدمان سطح الارض في آن واحد ولكن انطلاق الكرة الحمراء اكبر من انطلاق الكرة الخضراء لحظة وصولهما سطح الارض.

b) الكرة الحمراء تصل سطح الارض قبل الكرة الخضراء وبانطلاق اكبر منها.

c) الكرة الخضراء تصل سطح الارض قبل الكرة الحمراء وبانطلاق اكبر منها.

d) الكرتان تصطدمان سطح الارض في آن واحد وبانطلاق متساو .

س2 : في أي نوع من الحركة يكون مقدار السرعة المتوسطة يساوي مقدار السرعة الآنية ؟

س3 : ما مقدار سرعة وتعجيل الجسم المقذوف نحو الاعلى وهو في قمة مساره ؟

س4 : اذا كان العداد الموضوع امام السائق في السيارة يشير الى (70km/h) خلال مدة زمنية معينة هل يعني ذلك هذه السيارة تتحرك خلال تلك المدة بانطلاق ثابت ؟ او بسرعة ثابتة ؟ او بتعجيل ثابت ؟ وضح ذلك .

س5 : وضح فيما اذا كانت الدراجة في الامثلة الآتية تمتلك تعجيلاً خطياً او مركزياً او كليهما:

a) دراجة تسير بانطلاق ثابت على طريق مستقيم .

b) دراجة تسير بانطلاق ثابت على منعطف افقي .

c) دراجة تسير بانطلاق ثابت على احد جانبي طريق مستقيم ثم تنعطف وتعود لتسير باتجاه معاكس وبانطلاق ثابت على الجانب الآخر من الطريق .

مسائل

س1 / سيارة تتحرك بسرعة ($30m/s$) ، فاذا ضغط سائقها على الكوابح تحركت السيارة بتباطؤ ($6m/s^2$) احسب مقدار :

1) سرعة السيارة بعد ($2s$) من تطبيق الكوابح .

2) الزمن الذي تستغرقه السيارة حتى تتوقف عن الحركة .

3) الازاحة التي تقطعها السيارة حتى تتوقف عن الحركة .

س2 / سقط حجر سقوطاً حراً من جسر فاصطدم بسطح الماء بعد ($2s$) من لحظة سقوطه. احسب مقدار :

1) ارتفاع الجسر فوق سطح الماء.

2) ارتفاع الحجر فوق سطح الماء بعد ($1s$) من سقوطه .

3) سرعة الحجر لحظة اصطدامه بسطح الماء .

س3 / طائرة تحلق في الجو بسرعة افقية ($150m/s$) وعلى ارتفاع ($2000m$) فوق سطح الارض. فاذا سقطت منها حقيبة احسب :

1) البعد الافقي للنقطة التي تصطدم بها الحقيبة على سطح الارض عن الخط الشاقولي لنقطة سقوطها من الطائرة .

2) مقدار واتجاه سرعة اصطدام الحقيبة بسطح الارض .

س4 / من نقطة على سطح الارض قذف حجر شاقولياً نحو الاعلى فوصل قمة مساره بعد ($3s$) من لحظة قذفه . احسب :

1) مقدار السرعة التي قذف بها الحجر .

2) اعلى ارتفاع يصله الحجر فوق سطح الارض .

3) الازاحة الكلية والزمن الكلي خلال حركته .

قوانين الحركة The Laws of Motion

3 - 1 مفهوم القوة وانواعها : -

القوة هي: المؤثر الذي يغير أو يحاول تغيير الحالة الحركية للجسم أو شكل الجسم، وسلوك الاجسام يعتمد على محصلة القوى المؤثرة فيها ، مثلاً عندما تركل كرة القدم بقدمك لاحظ الشكل (1) يمكنك ان تتحكم بانطلاق الكرة او اتجاهها وهذا يعني ان القوة كمية متجهة تماماً مثل السرعة و التعجيل .

واذا سحبت الطرف السفلي لنابض محلزن مثبت من طرفه العلوي في نقطة فان النابض سيستطيل لاحظ الشكل (2).

الشكل (1)

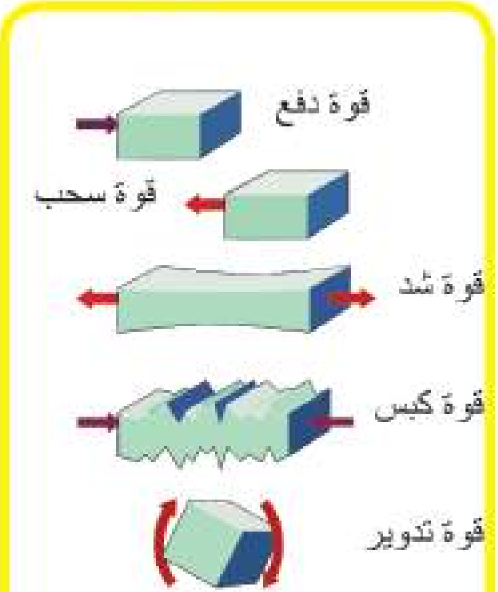
الشكل (2)

وكذلك عندما يسحب حصان الزلاجة في الشكل (3) فان الزلاجة ستتحرك باتجاه قوة السحب .

الشكل (3)

للقوى انواع عدة وتأثيرات كثيرة تتضمن الدفع والسحب والشد والكبس والتدوير و(اللي) لاحظ الشكل (4) . وحدة قياس القوة في النظام الدولي للوحدات **SI** هي **Newton** .

$$1N = 1kg \frac{m}{s^2}$$



الشكل (4)

الشكل (5)

تقاس القوة بوساطة قبان حلزوني لاحظ الشكل (5) جميع تلك القوى المذكورة تؤثر في جسمين بينهما تماس مباشر فتسمى بقوى التماس (**contact forces**)
زيادة على تلك القوى المنظورة والمعروفة في الطبيعة يوجد نوع أخر من القوى ينعدم فيها التماس المباشر بين الاجسام .

من المعروف للفيزيائيين حتى وقت قريب وجود قوى اساسيه في الطبيعة هي قوة الجاذبية ،والقوة الكهربائية والقوة المغناطيسية ،والقوة النووية .

الشكل (6)

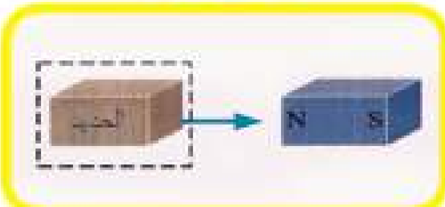
a- قوة الجاذبية :-

هي قوة التجاذب المتبادلة بين اي كتلتين في الكون وهذه القوة يمكن ان تكون قوية جداً بين الاجسام المنظورة مثل قوة الجاذبية التي تؤثر فيها الشمس على الارض لاحظ الشكل (6) والتي تبقى الارض تدور في مدارها حول الشمس على الرغم من البعد الكبير بينها وبالرغم من وجود كواكب اخرى بينهما ،والارض بدورها تسلط قوة جاذبية على الاجسام فوق سطحها او بالقرب من سطحها . (وتسمى قوة الجذب التي يسلطها الكوكب او القمر على الاجسام القريبة منه بوزن الجسم).

الشكل (7)

b- القوة الكهربائية والقوة المغناطيسية :-

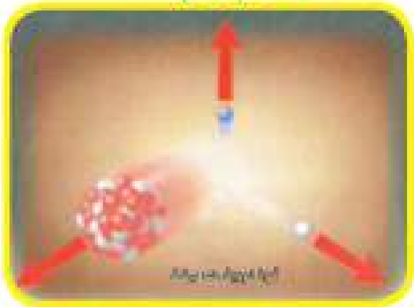
ومن امثلتها القوة الكهربائية بين شحنتين كهربائيتين مثل انجذاب قصاصات الورق نحو المشط المدلوك بقطعة صوف لاحظ الشكل (7) والقوة المغناطيسية التي تظهر بين قطبين مغناطيسيين او انجذاب قطعة الحديد نحو مغناطيس لاحظ الشكل (8).



الشكل (8)

c- القوة النووية :-


الشكل (9a)


الشكل (9b)

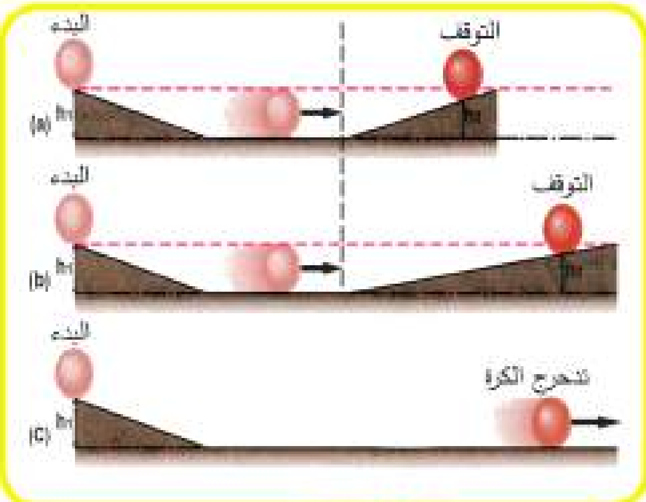
واحدة من القوى الأساسيه الموجودة في الطبيعة وتكون على نوعين لاحظ الشكل (9) .

النوع الاول : قوة نووية قوية :- وهي التي تربط مكونات النواة (نيوكلونات) مع بعضها لاحظ الشكل (9a) .

النوع الثاني : قوة نووية ضعيفة :- وهي المسؤولة عن انحلال جسيمات بيتا التي تحدث داخل النواة لاحظ الشكل (9b).

3–2 القصور الذاتي والكتلة :-

لقد اجرى العالم غاليلو سلسلة من التجارب اذ استعمل مستويين مصقولين مائلين متقابلين لاحظ الشكل (10) . و ترك كرة تتدحرج من قمة السطح الاول فان مقدار سرعتها يزداد في اثناء نزولها وتبلغ مقدارها الاعظم عند اسفل السطح الأول وعندما تصعد هذه الكرة على السطح الثاني تقل سرعتها حتى تتوقف عند ارتفاع تقريباً يساوي ارتفاعها الاول .



الشكل (10)

الشكل (10-a) . وعند جعل ميل السطح الثاني اقل مما كان عليه سابقاً وجد ان الكرة في هذه الحالة تستمر على الحركة وتتوقف بعد ان تقطع مسافة اكبر من الحالة الاولى الشكل (10-b) .

وعند جعل السطح الثاني افقياً وجد أن الكرة تستمر في حركتها على السطح الافقي دون توقف (في حالة انعدام الاحتكاك) الشكل (10-c) .

من هذه المشاهدات يمكن تعريف القصور الذاتي لجسم بانه: خاصية الجسم في مقاومة التغير الحاصل في حالته الحركية، فلا تتغير سرعة الجسم اذا كان صافي القوة المؤثرة فيه تساوي صفراً ولفهم علاقة القصور الذاتي بكتلة الجسم تصور انك في ملعب رياضي والقيت اليك كرتان على انفراد كانت الاولى كرة منضدة والثانية كرة البيسبول .

فاذا حاولت مسك كل منهما بيدك ماذا تتوقع ان تكون القوة التي تبذلها لاجل منع كل منهما عن حركتها؟ لاحظ الشكل (11)، ستجد حتماً ان كرة البيسبول تحتاج الى قوة اكبر لايقافها من القوة اللازمة لايقاف كرة المضرب، لان كرة البيسبول كتلتها اكبر فهي تبدي مقاومة اكبر على تغير حالتها الحركية.

الشكل (11)

نستنتج من ذلك :

القصور الذاتي للجسم يعتمد على كتلة الجسم

اي ان القصور الذاتي هي تلك الخاصية التي يمتلكها الجسم والتي تحدد مقدار المقاومة التي يبديها الجسم لاي تغير في حالته الحركية.

3 - 3 قوانين نيوتن في الحركة :-

بنى العالم الانكليزي اسحاق نيوتن نظريته في الحركة من خلال القوانين الثلاثة التي عرفت باسم قوانين نيوتن في الحركة، والتي وصف من خلالها تأثير القوى في حركة الاجسام.

القانون الاول لنيوتن :-

يسمى هذا القانون بقانون القصور الذاتي، وقد توصل الى هذا القانون بالاعتماد على افكار غاليلو وينص على ان:

((في حالة انعدام محصلة القوى الخارجية المؤثرة في جسم فالجسم الساكن يبقى ساكناً واذا كان متحركاً بسرعة منتظمة فانه يبقى متحركاً بسرعته المنتظمة))

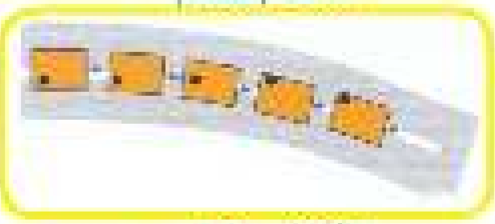
لو كنت جالساً في سيارة واقفة، ماذا تشعر عندما تتحرك السيارة بصورة مفاجئة متعجلة نحو الامام لاحظ الشكل (12) ؟ تجد ان جسمك يندفع الى الخلف وهذا يعني ان جسمك قاوم التغير الحاصل في حالته الحركية التي كان عليها فهو يحاول البقاء ساكناً.

الشكل (12)

وعندما تتوقف السيارة بصورة مفاجئة بعد حركتها بخط مستقيم بانطلاق ثابت تجد أن جسمك يندفع إلى الأمام وهذا يعني أن جسمك يقاوم التغير الحاصل في مقدار سرعته. لاحظ الشكل (12b).

الشكل (12b)

وإذا تحركت السيارة التي أنت جالس فيها على منعطف أفقي وبانطلاق ثابت، تجد أن جسمك يحاول أن يستمر في حركته المستقيمة باتجاه المماس فهو يقاوم التغير الحاصل في اتجاه سرعته. لاحظ الشكل (12c).



الشكل (12c)

من المشاهدات الثلاث السابقة نفهم أن الجسم الساكن يحاول إبقاء سكونه الشكل (12a) والجسم المتحرك بسرعة ثابتة المقدار وبخط مستقيم يحاول أن يقاوم التغير في مقدار سرعته لاحظ الشكل (12b) أو يقاوم التغير في اتجاه سرعته الشكل (12c) هذا ما نص عليه القانون الأول لنيوتن.

نشاط / القصور الذاتي:

أدوات النشاط: قلم، حلقة ملساء خفيفة من معدن، قنينة مفتوحة الفوهة.

الخطوات:

- ضع القنينة بوضع شاقولي على سطح منضدة أفقية.
- ضع الحلقة المعدنية بمستوى شاقولي فوق فوهة القنينة.
- ضع القلم بوضع شاقولي وبتوازن فوق الحلقة الشكل (13a).
- اضرب بيدك الحلقة بسرعة بقوة أفقية من منتصفها الشكل (13b).
- تجد أن الحلقة تزاح جانباً ويسقط القلم داخل القنينة الشكل (13c).

الشكل (13)

نستنتج من النشاط:

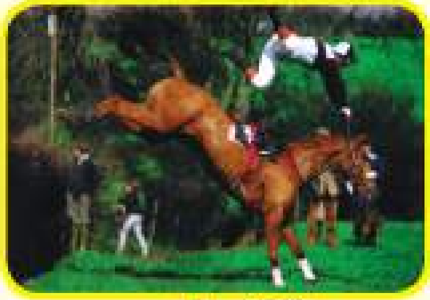
1 أن الحلقة عندما أثرت فيها القوة الأفقية تحركت بمفردها مع بقاء القلم ساكناً لحظياً في موضعه لعدم وجود قوة احتكاك.

2- ولعدم وجود قوة تؤثر في القلم فأنه يستمر في سكونه ويسقط داخل القنينة بتأثير قوة الجاذبية الارضية .

فكر

1- لايمكن تحريك الباخرة الكبيرة من السكون بوساطة زورق صغير يؤثر فيها بقوة لاحظ الشكل (14).

2- يندفع الراكب على حصان الى الامام (عندما يتوقف الحصان بصورة مفاجئة) ما تفسير ذلك ؟



الشكل (14)

القانون الثاني لنيوتن :-

لقد فهمنا من القانون الاول لنيوتن، ماحدث للجسم في حالة انعدام محصلة القوى الخارجية المؤثرة فيه، (الجسم الساكن يبقى ساكناً، واذا كان متحركاً فانه يستمر في حركته بخط مستقيم وبانطلاق ثابت) .اما القانون الثاني لنيوتن فهو يجيب عن سؤال قد يطرح، وهو ماذا يحصل للجسم عندما تؤثر فيه محصلة قوى خارجية؟

للأجابة عن هذا السؤال نقوم بعمل النشاط الآتي:

نشاط (1)

العلاقة بين تعجيل الجسم ومقدار القوة المؤثرة فيه بثبوت الكتلة .

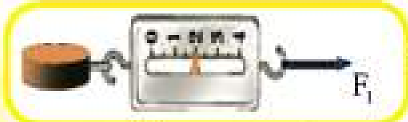
ادوات النشاط: قبان حلزوني، قرص معدني ، سطح افقي املس.

خطوات العمل:

- ثبت احد طرفي القبان بحافة القرص وامسك طرفه الاخر بيدك.
- اسحب القرص بقوة افقية مقدارها $(\vec{F_1})$

تجد ان القرص يتحرك على السطح الافقي

(a)



التعجيل يساوي (a)

(b)

التعجيل يساوي (2a)

(c)

التعجيل يساوي $\left(\frac{1}{2}a\right)$

الشكل (15)

بتعجيل مقداره a لاحظ الشكل (15a) .

- اسحب القرص بقوة افقية أكبر على فرض $\sum F = (2\vec{F}_1)$

تجد ان القرص يتحرك على السطح الافقي بتعجيل اكبر يفترض انه (2a) أي يتضاعف تعجيل الجسم عند مضاعفة صافي القوة المؤثرة في الجسم لاحظ الشكل (15b).

- اسحب القرص بقوة افقية أصغر على فرض $\sum F = \left(\frac{1}{2} F_1\right)$ لاحظ الشكل (15c)

تجد ان القرص يتحرك على السطح الافقي بتعجيل أصغر يفترض انه = $\left(\frac{1}{2} a\right)$.

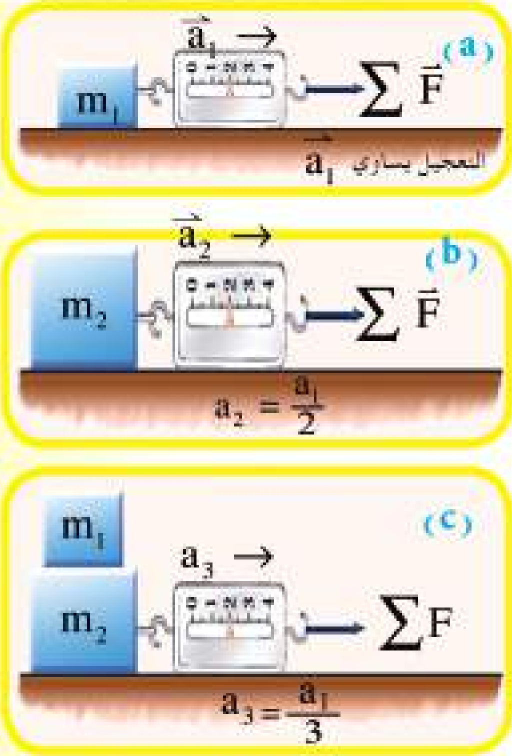
نستنتج من النشاط:

أن تعجيل الجسم يتناسب طردياً مع صافي محصلة القوى المؤثرة في الجسم ويتجه دوماً باتجاهها ، اي ان: $\vec{a} \propto \sum \vec{F}$ بثبوت كتلة الجسم.

نشاط (2)

العلاقة بين تعجيل الجسم وكتلته بثبوت القوة .

ادوات النشاط : قبان حلزوني ، مكعبان من الثلج ، سطح افقي أملس .



الشكل (16)

خطوات النشاط :

- ضع مكعب الثلج (كتلته m_1) على السطح الافقي الاملس .
- ثبت أحد طرفي القبان بالمكعب وامسك طرفه الاخر بيدك .
- اسحب المكعب الاول بقوة افقية مقدارها $\sum \vec{F}$ تجد ان المكعب يتحرك بتعجيل معين $\vec{a}_1$ لاحظ الشكل (16a) .
- ضع المكعب الثاني من الثلج الذي كتلته m_2 وهي ضعف كتلة المكعب الاول ، على السطح الافقي الاملس .
- اسحب المكعب الثاني والذي كتلته ($m_2 = 2m_1$) بالقوة الافقية نفسها المسلطة على المكعب الاول $\sum \vec{F}$ لاحظ الشكل (16b) تجد ان المكعب سيتحرك بتعجيل يساوي ($\vec{a}_2$) يفترض انه يساوي نصف مقدار التعجيل (a_1) . $\vec{a}_2 = \frac{\vec{a}_1}{2}$

- ضع المكعب الأول ذو الكتلة (m_1) فوق المكعب الثاني ذو الكتلة (m_2) لاحظ الشكل (16c) .
- اسحب المجموعة بالقوة الأفقية نفسها المسلطة على المكعب الأول $\sum \vec{F}$ تجد أن المجموعة ستتحرك بتعجيل يساوي a_2 مقداره يفترض انه يساوي :

$$a_2 = \frac{a_1}{3}$$

نستنتج :

أن تعجيل الجسم يتناسب عكسياً مع كتلة الجسم بثبوت صافي القوة المؤثرة ، اي أن: $a \propto \frac{1}{m}$

من الاستنتاجين نجد أن: $$a \propto \frac{\sum \vec{F}}{m}$$

وعندما يكون مقدار القوة المؤثرة في الجسم $\sum F = 1N$ وكتلة الجسم $(m = 1\,kg)$ فان الجسم سيتحرك بتعجيل مقداره $(a = 1\,m/s^2)$.

Force = mass × acceleration

وهذا يعني أن $\vec{F} = m\vec{a}$ وهي الصيغة الرياضية للقانون الثاني لنيوتن .

الوزن و الكتلة :-

من الواضح لدينا أن جميع الأجسام على سطح الأرض تتأثر بقوة جذب نحو مركز الأرض، فالقوة التي تؤثر بها الأرض على الأجسام هي قوة الجاذبية (F_g) وأن مقدار قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في الجسم تسمى وزن الجسم (w) ، أي أن :

الشكل (17)

Weight = mass × acceleration of gravity

$$\vec{w} = m\vec{g}$$

وطبقاً للقانون الثاني لنيوتن فان: $\vec{F} = m\vec{a}$

وعندئذ يكون $\vec{a}=\vec{g}$ ولجميع الاجسام الساقطة سقوطاً حراً (كما مر في الفصل الثاني) تسقط بتعجيل الجاذبية الارضية ($\vec{g}$) يتجه نحو مركز الارض (فتوضع إشارة سالبة دائماً أمام مقداره). ويتغير وزن الجسم عندما يتغير بعد الجسم عن مركز الارض طبقاً لقانون الجذب العام لنيوتن الذي ينص:

«كل كتلتين في الكون تجذب احداهما الاخرى بقوة تتناسب طردياً مع حاصل ضرب الكتلتين وعكسياً مع مربع البعد بين مركزي الكتلتين»

$$\sum \vec{F} \,\alpha\, \frac{m_1\, m_2}{d^2}$$

$$\text{Gravitational forse} = \text{Constant} \times \frac{\text{First mass} \times \text{second mass}}{\text{Displacemant square}}$$

اذ ان :

$$\sum \vec{F} = G\,\frac{m_1\, m_2}{d^2}$$

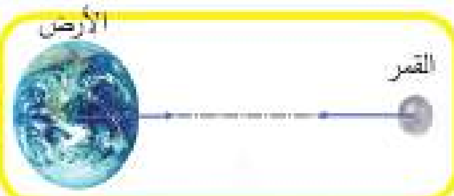
$\sum \vec{F}$ تمثل صافي القوة وهي قوة الجاذبية الارضية .

G ثابت الجذب العام ومقداره ($6.67 \times 10^{-11}\ \frac{N.m^2}{(kg^2)}$) .

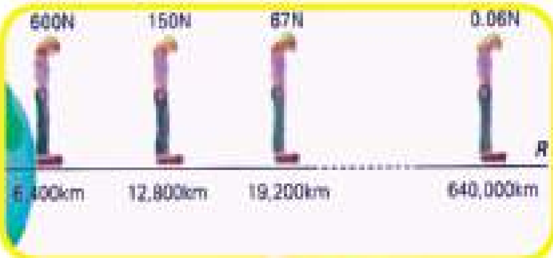
m_1 الكتلة الاولى.

m_2 الكتلة الثانية.

d البعد بين مركزي الكتلتين.



الشكل (18)



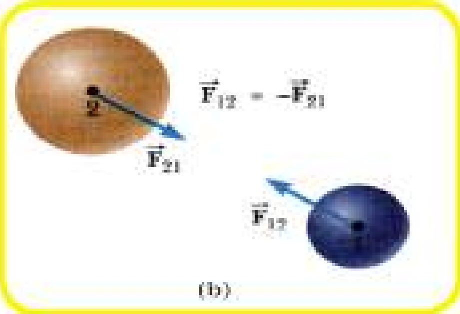
الشكل (19)

بما ان مقدار الجاذبية الارضية يتغير بتغير بعد الجسم عن مركز الارض فيزداد عند اقتراب الجسم من مركز الارض. لاحظ الشكل (19).

فكر

افرض انك تمتلك قطعة من الذهب وزنها (1N) وانت على سطح الارض ويمتلك رائد الفضاء ايضاً قطعة من الذهب وزنها (1N) وهو على سطح القمر . هل انت ورائد الفضاء تمتلكان الكتلة نفسها من الذهب؟ (واي منكما يمتلك ذهباً أكبر كتلة) .

القانون الثالث لنيوتن :-



الشكل (20)

لقد تناول نيوتن في قانونه الثالث طبيعة القوى التي تؤثر في الاجسام ، واوضح ان القوى دائماً تكون مزدوجة. لاحظ الشكل (20) , فاذا أثر الجسم الاول (m_1) بقوة ($\vec{F}_{12}$) على الجسم الثاني فان الجسم الثاني (m_2) سيؤثر بقوة ($\vec{F}_{21}$) على الجسم الاول وتكون هاتان القوتان متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه اي ان:

$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ وتقعان على خط فعل واحد وتؤثران في جسمين مختلفين.

ومن الجدير بالذكر انه لا يحصل الاتزان بتأثير هاتين القوتين فهما تؤثران في جسمين مختلفين وليس بجسم واحد .

تسمى القوة ($\vec{F}_{12}$) بقوة الفعل ، بينما القوة ($\vec{F}_{21}$) بقوة رد الفعل.

الشكل (21)

لاحظ الشكل (21) ، نجد ان المطرقة (hammer) تؤثر بقوة ($\vec{F}_{12}$) على المسمار (nail) التي تمثل الفعل ، فيكون رد فعل المسمار على المطرقة ($\vec{F}_{21}$) .

لقد صاغ نيوتن قانونه الثالث بالصيغة الاتية:

«لكل قوة فعل هناك قوة رد فعل تساويها بالمقدار وتعاكسها بالاتجاه ولها خط التأثير نفسه وتؤثران في جسمين مختلفين ».

تذكر : ان قوة الفعل ورد الفعل هما قوتان
* متساويتان بالمقدار ومتعاكستان بالاتجاه .
* تؤثران في جسمين مختلفين .
* تقعان على خط فعل مشترك.

في حياتنا اليومية توجد مشاهدات تمكننا من فهم القانون الثالث لنيوتن.

- عند السير على الارض ، فإن قدم الشخص تدفع الارض بقوة لها مركبة افقية تتجه نحو الخلف وفي الوقت نفسه فأن الارض تدفع قدم الشخص بقوة لها مركبة افقية تتجه الى الامام وهذه المركبة تتسبب في حركة الشخص لاحظ الشكل (22) .

الشكل (22)

❖ في رياضة التجذيف ، فإن الجالسين في القارب يدفعون الماء بقوة الى الخلف بوساطة المجذاف (وهي قوة فعل) وفي الوقت نفسه فإن الماء يدفع المجداف بقوة الى الامام (قوة رد الفعل) لذا يندفع القارب الى الامام لا حظ الشكل (23) .

الشكل (23)

❖ السابح عندما يقفز على لوحة القفز لكي يغطس في الماء ، نجد ان السابح يدفع اللوحة بقوة الى الاسفل (تسمى بقوة الفعل) فنجد ان لوحة القفز ترتد عكسياً في الوقت نفسه فتدفع السابح بقوة نحو الاعلى (تسمى قوة رد الفعل) لاحظ الشكل (24).

الشكل (24)

واندفاع الصاروخ الى الأعلى هو نتيجة لقوة رد فعل الغازات الخارجة من مؤخرته اما قوة الفعل فهي القوة التي يدفع بها الصاروخ الغازات الخارجة منه. لاحظ الشكل (25).

الشكل (25)

فكر

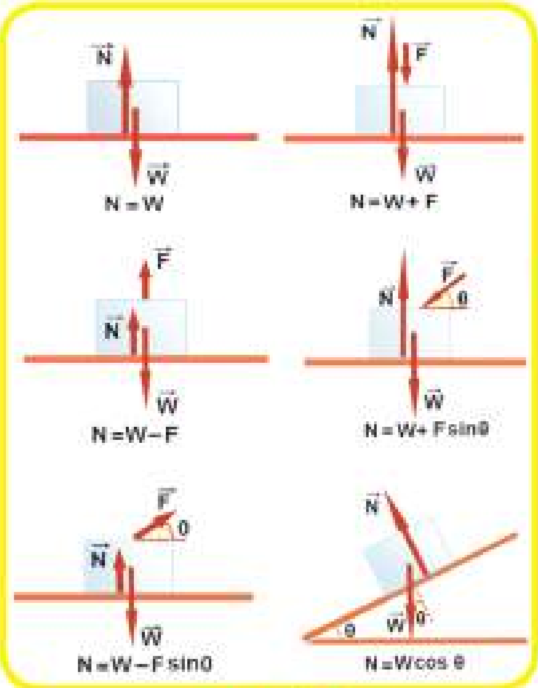
تعرف جميعاً ان الارض تجذب القمر نحوها ، هل القمر يجذب الارض نحوه ، واذا كان جوابك بنعم، فايهما اكبر قوة جذب؟ ام هما متساويتان ؟ وضح ذلك.

3 - 4 تطبيقات على قوانين نيوتن في الحركة : -

سنناقش العلاقة بين القوة والتعجيل لجسم او لمجموعة من الاجسام (يطلق على مجموعة الاجسام بالنظام) .

فعندما يتحرك جسم ما بتعجيل منتظم ($\vec{a}$) نتيجة لتأثير قوة ثابتة ($\vec{F}$) لا نتطرق الى الظروف التي يكون فيها تعجيل الجسم (او النظام) يساوي صفراً ، لانها تعني حالة إتزان سندرسها في الفصل القادم لندرس الان القوى الاساس المؤثرة في جسم او نظام .

a القوة العمودية :-

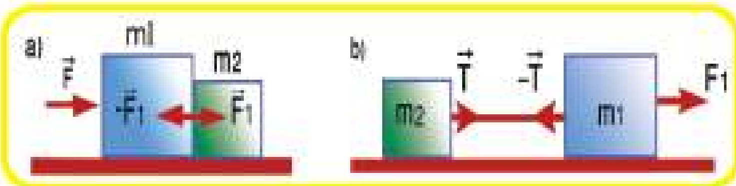


الشكل (26)

بالاعتماد على القانون الثالث لنيوتن ، عندما يوضع جسم على سطح فان ذلك السطح سيؤثر بقوة في الجسم الموضوع عليه ، الشكل (26) . (في حالة الجسم الساكن او المتحرك على السطح) وعند انعدام مثل هذه القوة فان الجسم سيغوص داخل ذلك السطح او ينزل للاسفل بتعجيل لاحظ الشكل(26) . وتسمى القوة العمودية التي يؤثر بها السطح على الجسم بالقوة العمودية ويرمز لها بـ ($\vec{N}$) وهذه القوة $\vec{N}$ تمتاز بانها:

- عمودية دائماً على السطح وتتجه بعيداً عن السطح .
- هي قوة رد فعل السطح على الجسم و مقدارها غير ثابت فهو يساوي مقدار القوة المحصلة المؤثرة عمودياً على السطح باتجاه معاكس لتلك المحصلة والشكل (26) يوضح بعض من هذه القوى العمودية .

b قوة الشد :-



الشكل (27)

في حياتنا اليومية عندما نريد ان نحرك الاجسام نضطر الى سحبها بخيط او حبل او سلك وعندما يسحب الجسم بحبل فالحبل يؤثر بقوة في الجسم. لاحظ الشكل (27) .القوة التي يؤثر بها الحبل في الجسم تسمى بقوة الشد ويرمز لها ($\vec{T}$) . وفي أغلب التمارين نفرض ان الحبل (او الخيط او السلك) مهمل

الوزن وعديم الاحتكاك لذا تكون قوة الشد فيه هي نفسها في نقاط الحبل .

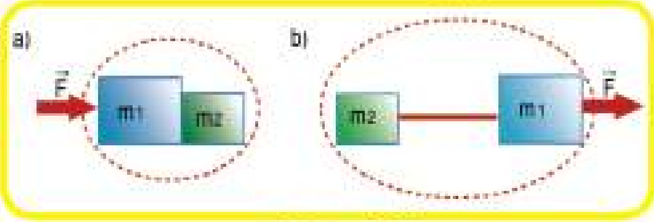
ويمكن تغيير اتجاه قوة الشد باستعمال البكرات

وفي هذه الحالة لا يتغير مقدار الشد

على فرض ان البكرات المستعملة

مهملة الوزن وعديمة الاحتكاك .

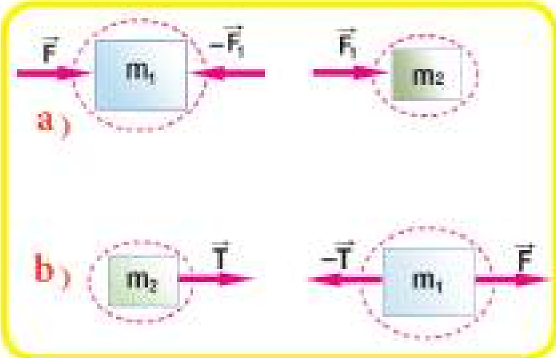
لاحظ الشكل (28) .



الشكل (28)

c القوى الداخلية والقوى الخارجية :-

عندما نفرض ان النظام (مجموعة الاجسام) معزولاً فان القوى المؤثرة فيه تسمى بالقوى الخارجية $\left(\vec{F}_{ext}\right)$. لاحظ الشكل (29) السطح أفقي أملس (عديم الاحتكاك)



الشكل (29)

لذا لا تظهر فيه قوة الإحتكاك وتكون محصلة القوى الشاقولية يساوي صفراً (لأن $N = w$)

وعندئذ تكون القوة $\vec{F}$ هي القوةالخارجية الوحيدة المؤثرة في النظام اما القوى الداخلية فهي الناتجة عن التفاعل بين مكونات النظام وهي عادة توجد بشكل قوى مزدوجة مثل القوى $(-\vec{T}, \vec{T}, -\vec{F}_1, \vec{F}_1)$ فتكون :

$\vec{F}$ هي القوة الخارجية المؤثرة في النظام .

$\vec{F}_1$ هي القوة التي تؤثر بها الكتلة m_1 في الكتلة m_2 .

$-\vec{F}_1$ هي القوة التي تؤثر بها الكتلة m_2 في الكتلة m_1 .

$\vec{T}$ قوة الشد في الحبل والمؤثرة في الكتلة m_2 .

$-\vec{T}$ قوة الشد في الحبل والمؤثرة في الكتلة m_1 .

وعند تطبيق القانون الثاني على النظام كله فان: -

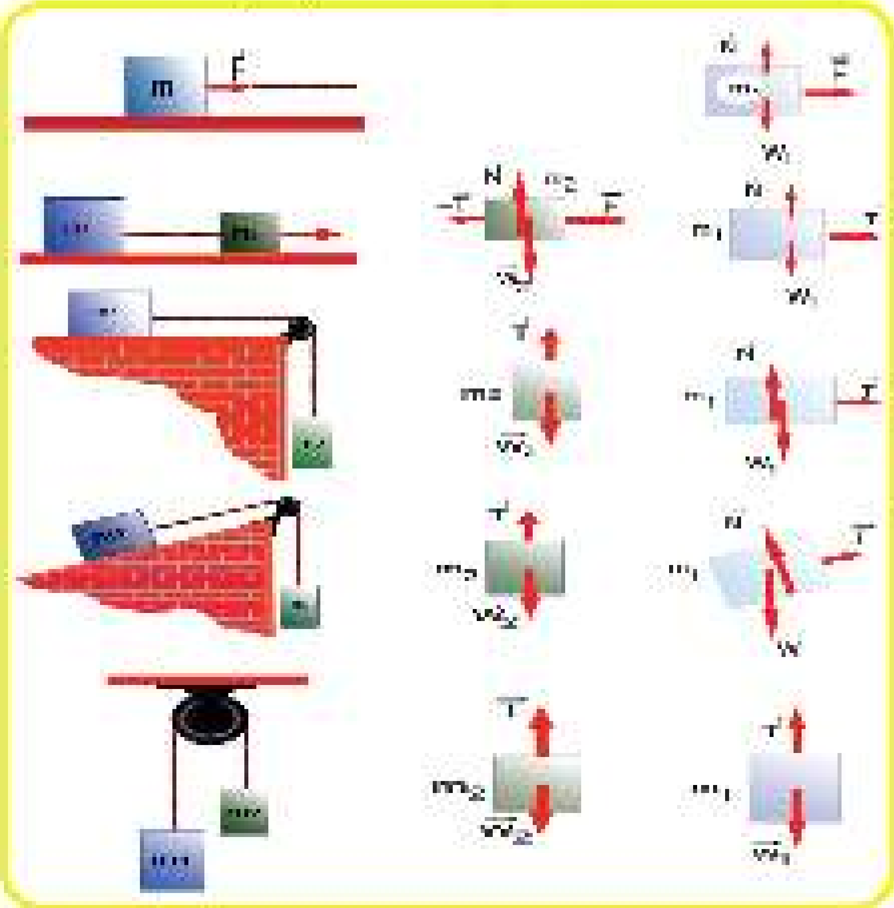
القوى الخارجية فقط تؤخذ في الحساب من غير الاعتماد على القوى الداخلية.

اما عندما ناخذ النظام بصورة مجزئة الى مكوناته فان القوى الداخلية التي كانت تؤثر فيه تعد قوى خارجية مؤثرة في كل جسم مكون له .

3 - 5 مخطط الجسم الحر Free body diagram

عند حل التمارين في علم الحركة (dynamic) يكون من المهم :-

ان نحلل القوى المؤثرة في الجسم او في النظام بصورة صحيحة ، اذ يعزل الجسم (الساكن او المتحرك) عن محيطه، ثم توضيح كل قوة من القوى المؤثرة فيه. وتسمى هذه الطريقة بمخطط الجسم الحر. وفيما يأتي أشكال للقوى المطبقة على الاجسام لاحظ الشكل (30) :-



الشكل (30)

فكر في الشكل (31a) حصان يسحب زلاجة على الجليد بقوة افقية ، جاعلاً تعجيل الزلاجة وضح على الشكل (31b) القوى المؤثرة في الزلاجة. وضح على الشكل (31c) القوى المؤثرة في الحصان.

الشكل (31)

مثال 1

جسمان كتلة احدهما (2kg) وكتلة الاخر (3kg) معلقين شاقولياً بطرفي حبل خفيف يمر فوق بكرة مهملة الوزن والاحتكاك لاحظ الشكل (32).

احسب مقدار تعجيل الجسمين، الشد في الحبل اعتبر $g = 10\frac{m}{s^2}$

الحل/

الشكل (32a) جسمان موصولان بواسطة حبل خفيف يمر فوق بكرة مهملة الاحتكاك.

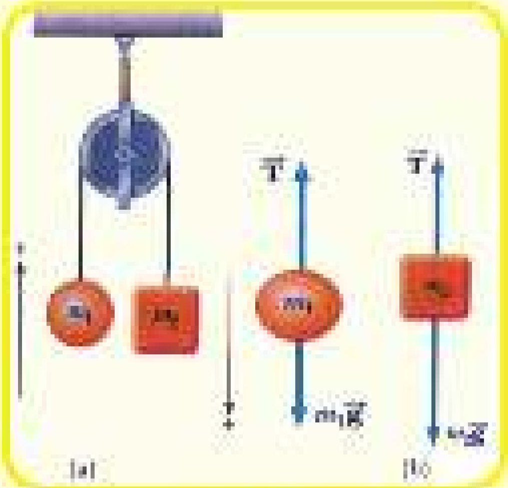
الشكل (32b) الشكل التخطيطي للجسمين (m_1, m_2) وتكون قوة الشد في الحبل على جانبي البكرة متساوية لان البكرة مهملة الوزن والاحتكاك.

صافي القوة المؤثرة في الجسم الصاعد 2kg هي:

$$T - m_1 g = m_1 a$$

$$T = 2 \times 10 + 2 \times a$$

$$T = 20 + 2a \quad ...(1)$$



الشكل (32)

اما بالنسبة للجسم الثاني النازل بتعجيل:

$$m_2 g - T = m_2 a$$

$$3g - T = 3a$$

$$T = 3g - 3a$$

$$T = 30 - 3a \quad ...(2)$$

الطرف الأيسر للمعادلة (1) يساوي الطرف الأيسر للمعادلة (2)

$$20 - 2a = 30 - 3a$$

$$5a = 10$$

تعجيل الجسمين $a = 2\frac{m}{s^2}$

نعوض عن a في احدى المعادلتين ولتكن المعادلة (1) فينتج:

مقدار قوة الشد في الحبل:

$$T = 20 + 2 \times 2$$

$$T = 20 + 4 = 24N$$

سؤال

في المثال السابق ماذا تتوقع لو كانت: $m_1 = m_2$

3 – 6 الاحتكاك Friction

عندما يتحرك جسم على سطح او خلال وسط كالهواء او الماء ، توجد عندئذ مقاومة للحركة نتيجة تفاعل الجسم مع محيطه تسمى هذه المقاومة بقوة الاحتكاك. ان قوة الاحتكاك مهمة جدا في حياتنا اليومية فهي تسمح لنا بالمشي او الركض كما انها ضرورية لحركة الدواب والمركبات ذوات الدواليب وقد تكون ضارة كما في الاحتكاك الذي يظهر بين العجلة والمحور للدراجة او السيارة .

قوة الاحتكاك Friction force

حينما تؤثر محصلة قوى خارجية في جسم ما موضوع على سطح افقي خشن وتحاول تحريكه وبسبب حصول التلامس بين سطح الجسم والسطح الموضوع عليه تتداخل النتوءات الموجودة بين السطحين، مسببة قوة معيقة للحركة تسمى قوة الاحتكاك .

لاحظ الشكل (33) .

الشكل (33)

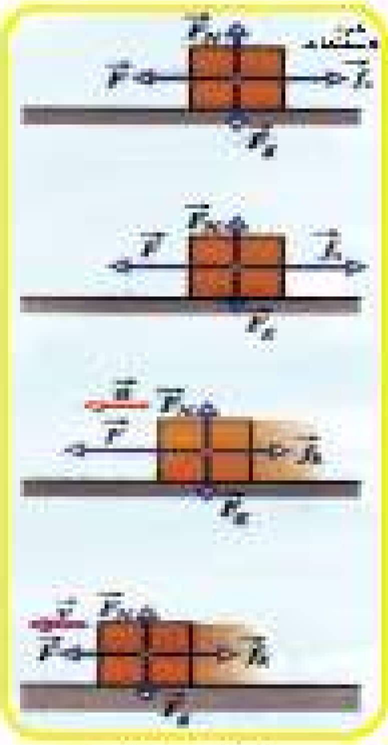
ويكون اتجاه تاثير قوى الاحتكاك مماسياً للسطحين ومعاكساً لاتجاه الحركة دوماً . وان القوى الضاغطة بين السطحين تمثل القوة العمودية على السطح ويرمز لها بالرمز $\vec{N}$ وقد اظهرت النتائج التجريبية ان قوة الاحتكاك تظهر حتى لو كان الجسم في حالة سكون.

فاذا اثرت محصلة قوى في جسم ولم تستطيع تحريكه ، فلابدّ من وجود قوة احتكاك تمنع الجسم من الحركة. وحيث ان الجسم لا يزال في حالة سكون، فاننا نسمي قوة الاحتكاك في هذه الحالة، قوة الاحتكاك السكوني (static friction force) ونرمز لها بالرمز $\vec{f}_s$.

ويزداد مقدارها بزيادة القوة المؤثرة في الجسم ، حتى يصل مقدارها الاعظم (maximum) حينما يوشك الجسم على الحركة . وقد وجد تجريبياً ان المقدار الاعظم لقوة الاحتكاك السكوني (f_s) تتناسب مع القوة العمودية N ، حسب العلاقة التالية :

$$\vec{f}_{s\ max} = \mu_s \vec{N}$$

حيث ان μ_s يمثل معامل الاحتكاك السكوني.



الشكل (34)

وحينما تزداد القوة المؤثرة في الجسم بشرط تتغلب على قوة الاحتكاك السكوني، يبدأ الجسم بالحركة فتقل قوة الاحتكاك بشكل كبير، وتسمى حينها قوة الاحتكاك الانزلاقي (الحركي) kinetic frictional force ويرمز لها بالرمز f_k لاحظ الشكل (34).

وقوة الاحتكاك الانزلاقي قوة ثابتة ضمن حدود السرع المحدودة ، وتتناسب طردياً مع القوة العمودية حسب العلاقة الآتية :

$$f_k = \mu_k N$$

حيث أن : μ_k يمثل معامل الاحتكاك الانزلاقي coefficient of kinetic friction ومن الجدير بالذكر أن معامل الاحتكاك يعتمد على طبيعة الجسمين المتلامسين ولا يعتمد على مساحة السطحين المتلامسين .

مثال 2

وضع صندوق كتلته 400kg على سطح أفقي خشن : أمسك السطح من أحد طرفيه وجعل يميل عن الأفق ثم زيد ميله تدريجياً عن المستوى الأفقي وعندما صارت زاوية ميل السطح $30°$ فوق الأفق كان الصندوق على وشك الانزلاق احسب:

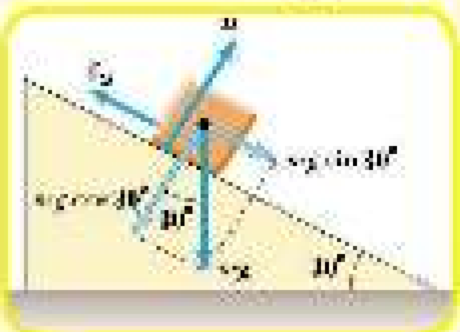
1- قوة الاحتكاك السكوني حينما يوشك الصندوق على الحركة .

2- تعجيل الصندوق إذا كان معامل الاحتكاك الانزلاقي $\mu_k = 0.1$.

الحل /

1- ∵ الجسم أصبح على وشك الحركة ∴

$$f_s = m\,g \sin 30°$$
$$= 400 \times 10 \times 0.5$$
$$= 2000N$$



2- هنا يخضع الصندوق الى القانون الثاني لنيوتن الصيغة الرياضية للقانون الثاني
$$\therefore \sum F = ma$$

$$\therefore mg\sin\theta - f_k = ma$$
$$mg\sin\theta - \mu_k mg\cos\theta = ma$$
$$400 \times 10 \times 0.5 - \mu_k\,(mg\cos 30^\circ) = 400a$$
$$2000 - 0.1\left(400 \times 10 \times \frac{\sqrt{3}}{2}\right) = 400a$$
$$2000 - 340 = 400a$$
$$a = \frac{1660}{400}$$
$a = 4.15\ m/s^2$ مقدار تعجيل الصندوق

مثال 3

وضع جسم كتلته (150kg) على سطح أفقي كما موضح في الشكل (a) أثرت فيه قوة ساحبة (300N) تصنع زاوية °37 فوق الأفق جعلته على وشك الحركة احسب:

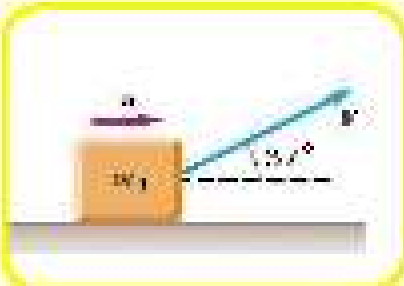
1- معامل الاحتكاك السكوني بين الجسم والسطح الأفقي.

2- تعجيل الجسم لو تضاعفت القوة المؤثرة فيه ومعامل الاحتكاك الانزلاقي (الحركي) يكون مقداره ($\mu_k = 0.1$).

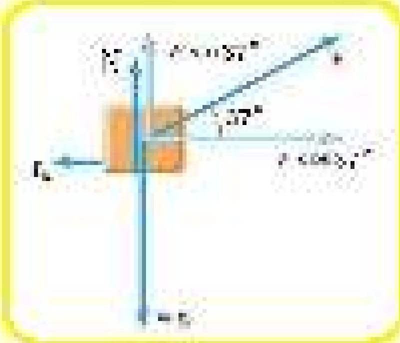
الحل /

1- عندما يكون الجسم على وشك الحركة تكون قوة الاحتكاك السكوني تعادل المركبة الأفقية للقوة.

$$\sum F_x = 0$$
$$f_s = F_x$$
$$f_s = F\cos\theta$$
$$f_s = 300 \times \frac{4}{5} = 240N$$



$$N = w - F_y$$
$$= 1500 - 300\sin\theta$$
$$= 1500 - 300 \times \frac{3}{5}$$
$$= 1500 - 180 = 1320N$$
$$\mu_s = \frac{f_s}{N} = \frac{240}{1320}$$
$$= 0.18$$



2-

عندما تتضاعف القوة فإن

$$F = 600N$$

مركبتها الأفقية تساوي

$$F\cos37^\circ = 600 \times 0.8 = 480N$$

ومركبتها العمودية تساوي

$$F\sin37^\circ = 600 \times 0.6 = 360N$$

وبما أن :-

$$\sum F_y = 0$$
$$N = w - F\sin37^\circ$$
$$= 1500 - 360 = 1140N$$

نحسب قوة الاحتكاك الانزلاقي (الحركي)

$$f_k = \mu_k N$$
$$= 0.1 \times 1140 = 114N$$

وتبعاً للقانون الثاني لنيوتن فإن

$$\sum F_x = ma$$
$$F\cos37^\circ - f_k = ma$$
$$480 - 114 = 150a$$
$$366 = 150a \Rightarrow a = 2.44 m/s^2$$

أسئلة الفصل الثالث

س1/ اختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات التالية:

1. أثرت محصلة قوى خارجية في جسم فحركته من السكون ، فاذا كان مقدار واتجاه تلك المحصلة معلوماً وكتلته معلومة عندها يمكن تطبيق القانون الثاني لنيوتن لإيجاد:

a) وزن الجسم . b) انطلاق الجسم .

c) إزاحة الجسم . d) تعجيل الجسم .

2. عندما يسحب حصان عربة فان القوة التي تتسبب في حركة الحصان الى الامام هي:

a) القوة التي تسحب العربة.

b) القوة التي تؤثر فيها العربة على الحصان.

c) القوة التي يؤثر فيها الحصان على الارض.

d) القوة التي تؤثر فيها الارض على الحصان.

3. قوة الاحتكاك بين سطحين متماسين لا تعتمد على:

a) القوة الضاغطة عمودياً على السطحين المتماسين .

b) مساحة السطحين المتماسين .

c) الحركة النسبية بين السطحين المتماسين .

d) وجود زيت بين السطحين أو عدم وجوده .

4. اذا رغبت أن تمشي على ارض جليدية من غير انزلاق فمن الافضل أن تكون حركتك :

a) بخطوات طويلة .

b) بخطوات قصيرة .

c) على مسار دائري .

d) على مسار متعرج كثيراً .

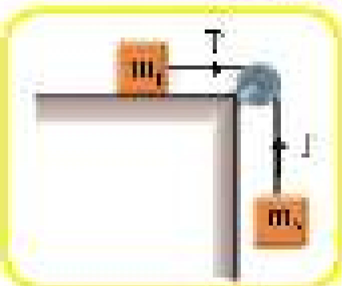
5. الكتلتان (m_1 ، m_2) مربوطتان بسلك مهمل الوزن كما في الشكل المجاور، وكانت الكتلة m_1 تتحرك على سطح افقي أملس في حين m_2 معلقة شاقولياً بطرف السلك .

فان الشد في السلك (T) :

a) $T=0$

b) $T< m_2 g$

c) $T=m_2 g$



6 - في الشكل المجاور الكتلتان (m_1 , m_2) تتصلان بطرفي حبل مهمل الوزن يمر على بكرة مهملةالوزن وعديمة الاحتكاك فاذا فرضنا $m_1 = m_2$ فأن تعجيل المجموعة:

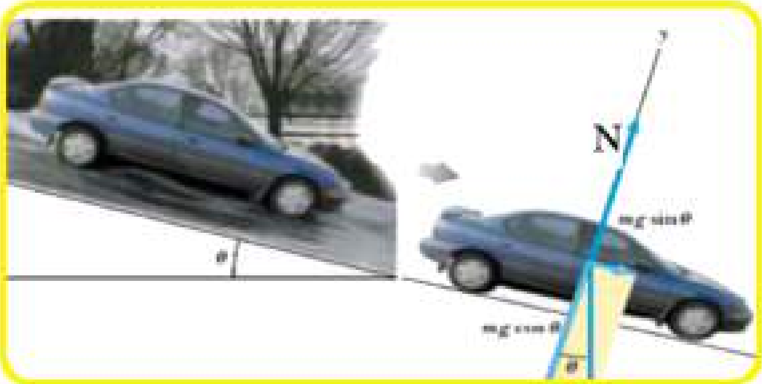
a) يساوي g .

b) اكبر من g .

c) صفراً .

d) اقل من g .

7 - سيارة كتلتها (m) تنزلق على سطح مغطى بالجليد عديم الاحتكاك مائل بزاوية θ كما مبين في الشكل المجاور ، فان تعجيل السيارة يساوي:



a) $g \sin\theta$

b) $\sin\theta / g$

c) $2g \sin\theta$

d) $\frac{1}{2} g \sin\theta$

8 - القوة الأفقية 40 N تلزم لجعل صندوق من الفولاذ كتلته 10kg على وشك الشروع بالحركة فوق ارضية أفقية من الخشب عندئذ يكون مقدار معامل الاحتكاك السكوني (μ_s) يساوي:

a) 0.08 b) 0.25

c) 0.4 d) 2.5

9 - القوة 10N تكسب جسماً تعجيلاً مقداره $2m/s^2$ في حين القوة التي مقدارها 40N تكسب الجسم نفسه تعجيلاً مقداره يساوي:

a) $4m/s^2$ b) $8m/s^2$

c) $12m/s^2$ d) $16m/s^2$

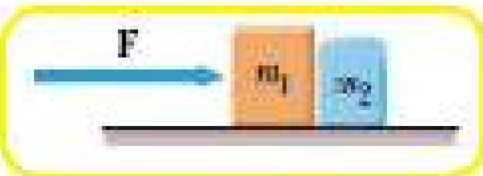
10 - جسم كتلته (m) معلق بحبل في سقف مصعد فإذا كان المصعد يتحرك إلى الأعلى بسرعة ثابتة فإن الشد في الحبل:

a) يكون مساوياً (mg) .　　b) أقل من (mg) .

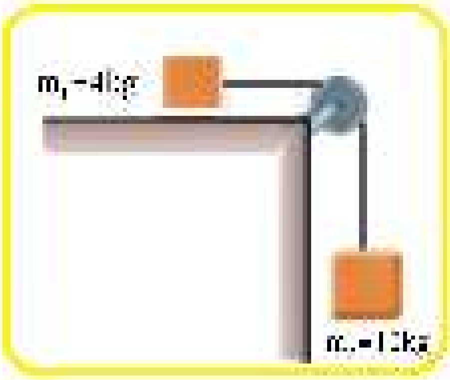
c) أكبر من (mg) .　　d) تتحدد قيمته بناءً على مقدار السرعة .

مسائل

س1/ يبين الشكل المجاور الجسمان (m_1 ,m_2) في حالة تماس موضوعان على سطح أفقي أملس، كتلة الجسم الأول $m_1 = 4kg$ وكتلة الجسم الثاني $m_2 = 2kg$ فإذا أثرت قوة أفقية F مقدارها 12N تدفع الكتلة m_1 كما في الشكل. جد مقدار تعجيل المجموعة المؤلفة من الجسمين؟



س2/ جسم كتلته 4kg موضوع على سطح أفقي خشن ويتصل بطرف حبل يمر على بكرة ملساء ومهملة الوزن ومعلق بالطرف الآخر للحبل جسم كتلته 10kg ويوضع شاقولياً كما مبين في الشكل المجاور. احسب معامل الاحتكاك بين الجسم (m_1) والسطح الأفقي حينما تتحرك المجموعة من السكون بتعجيل مقداره $6m/s^2$.

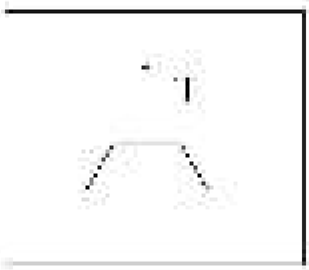


س3/ جسم كتلته 1kg معلق بسقف مصعد بوساطة سلك مهمل الوزن لاحظ الشكل المجاور.

احسب مقدار الشد (T) في السلك عندما يتحرك المصعد:

a) نحو الأعلى بتعجيل $2m/s^2$

b) نحو الأسفل بتعجيل $2m/s^2$



(مصعد)

س4: قوة أفقية ثابتة مقدارها (20N) أثرت في جسم ساكن كتلته (2kg) موضوع على سطح أفقي أملس , احسب:

a) انطلاق الجسم في نهاية الثانية الأولى من حركته.

b) الإزاحة التي تقطعها الجسم خلال 3s من بدء حركته.

س5: في الشكل أدناه شخص يدفع بنته وهي جالسة على لوح التزحلق على الجليد ,أي من الطريقتين التاليتين أفضل أن يحرك الشخص بنته لكي تسير على الجليد بسهولة :

a) يدفعها من خلال التأثير بقوة (F) في كتفها بزاوية 30° تحت الأفق .

b) يسحبها بالقوة (F) نفسها بوساطة حبل يميل بزاوية 30° فوق الأفق .

4 الاتزان و العزوم Torque and Equilibrium

4-1 مفهوم الاتزان Concept of Equilibrium

نلاحظ حولنا أن بعض الأجسام ساكناً والبعض الآخر متحركاً وحركته هذه إما أن تكون حركة بتعجيل وإما أن تكون حركة بانطلاق ثابت وبخط مستقيم .

إن الجسم الجاسئ (الجسم الجاسئ هو منظومة من الجسيمات يبقى البعد بينها ثابتاً لا يتغير بتأثير القوى والعزوم الخارجية) فلو أثرت في الجسم الجاسئ محصلة قوى خارجية ، سيتحرك بتعجيل، وذلك طبقاً للقانون الثاني لنيوتن في الحركة $\vec{a}=\frac{\vec{F}}{m}$ ، وعندما يكون مقدار محصلة القوى الخارجية المؤثرة في الجسم يساوي صفراً ($\sum \vec{F}=0$) ، فإن هذا الجسم سيخضع للقانون الأول لنيوتن (قانون الاستمرارية) ففي هذه الحالة إما أن يكون الجسم ساكناً فيقال إن الجسم في حالة اتزان سكوني (static equilibrium) أو قد يكون متحركاً بانطلاق ثابت وبخط مستقيم ، فيقال عندئذ إنه في حالة اتزان حركي (dynamic equilibrium) .

4 - 2 شرط الاتزان الانتقالي

لكي يكون الجسم متزناً ، يجب أن يتحقق شرطان لاتزانه ، الشرط الأول (شرط الاتزان الانتقالي) يتحقق عندما يكون صافي القوى الخارجية (محصلة القوى الخارجية) المؤثرة في الجسم يساوي صفراً

أي أن: $\sum \vec{F}=0$

(وعلامة $\sum$ تعني مجموع أو صافي أي كمية وتلفظ سيكما)
وهذا يعني أن محصلة القوى الخارجية المؤثرة في الجسم على أي محور من المحاور الأفقية والشاقولية (x , y) تساوي صفراً أي أن :

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

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

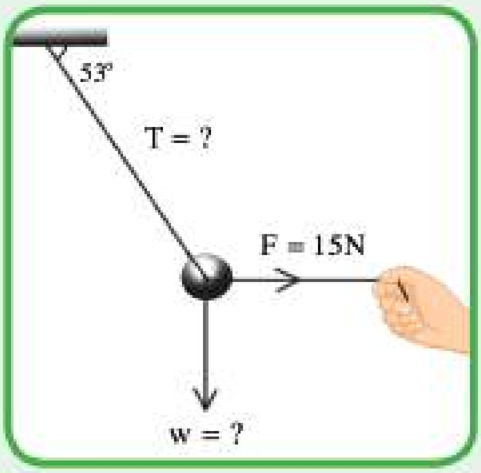
مثال 1

في الشكل (1) كرة معلقة بطرف خيط ، سحبت جانباً بقوة أفقية مقدارها (15N) . احسب مقدار :

1- قوة الشد في الخيط

2- وزن الكرة.

علماً أن $\sin 53^\circ = 0.8$ ، $\cos 53^\circ = 0.6$



الشكل (1)

الحل/

1- نرسم مخطط الجسم الحر ونؤشر عليه القوى الثلاث المؤثرة فيه لاحظ الشكل (2).

وهي : وزن الجسم $\vec{w}$.

القوة الافقية المؤثرة في الجسم $\vec{F}$.

وقوة الشد في الخيط $\vec{T}$.

بما ان الجسم في حالة اتزان سكوني ،نحلل القوة المائلة $\vec{T}$ الى مركبتيها الافقية و الشاقولية كما في الشكل (2) ثم نطبق شرط الاتزان الانتقالي :

$$\sum \vec{F}=0$$

فيكون صافي القوة على المحور x = صفراً

وان صافي القوى على المحور X يعطى بـ:

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

$$\vec{F}-\vec{T}_X=0$$

$$T_X=F$$

$$T\cos53^\circ=15$$

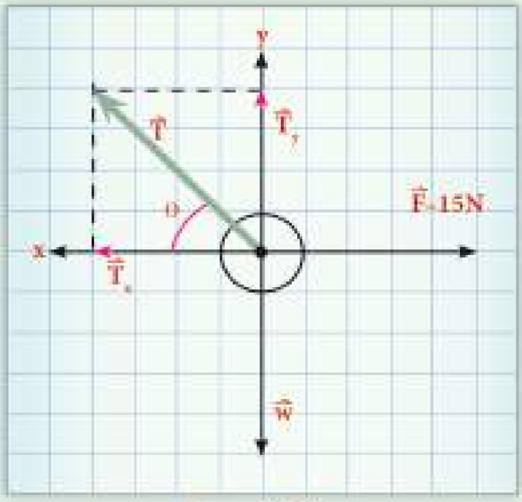
$$T\times0.6=15$$

مقدار الشد في الخيط $T=25\ N$

وكذلك صافي القوة على المحور y تساوي صفراً:

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

$$\vec{T}_y-\vec{w}=0$$

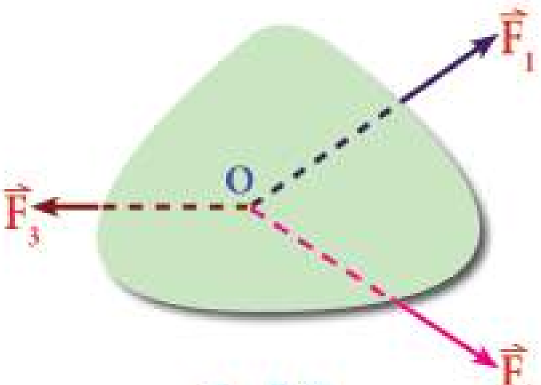


الشكل (2)

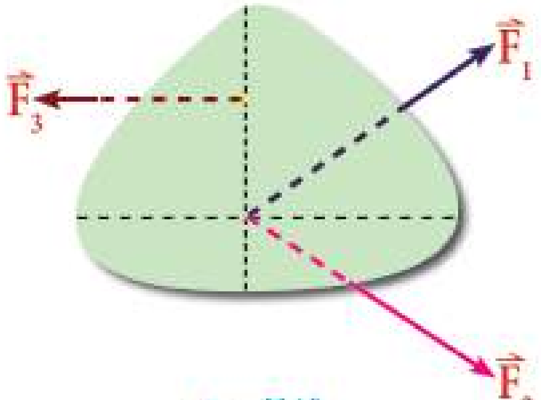
$$T_y = w$$
$$T \sin 53^0 = w$$
$$(25) \times (0.8) = w$$

مقدار وزن الجسم $w = 20N$

4 - 3 شرط الاتزان الدوراني Rotational equilibrium



الشكل (3)



الشكل (4)

اذا كان الجسم في حالة اتزان انتقالي قد لايكون بالضرورة في حالة اتزان دوراني ، ولهذا السبب قد يبقى الجسم يدور حتى لو كانت محصلة القوى الخارجية المؤثرة فيه صفراً .

ومن ملاحظتك الشكل (3) تجد ان هناك ثلاث قوى ($\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$) تؤثر في صفيحة وامتدادات هذه القوى الثلاث تلتقي في نقطة واحدة هي (O) في الجسم. وبما ان محصلة القوى تساوي صفراً $\left(\sum \vec{F} = 0\right)$

فان الصفيحة تكون في حالة اتزان انتقالي في حين نلاحظ في الشكل (4) ان القوى الثلاث ذوات المقادير نفسها لاتلتقي امتدادها في نقطة واحدة في هذه الحالة ، لذا فإن الصفيحة ستدور لذا فان شرط الاتزان الدوراني يتحقق عندما يكون صافي العزوم الخارجية المؤثرة في الجسم حول محور معين يساوي صفراً : اي ان $\left(\sum \vec{\tau} = 0\right)$

حيث ان $(\vec{\tau})$ يمثل رمز العزم .

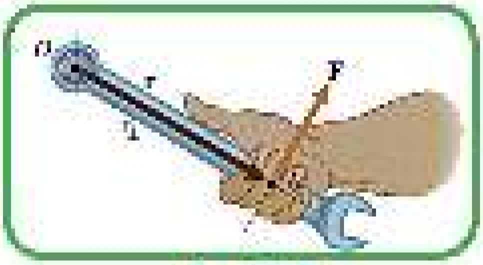
ومن ذلك نستنتج ان اي جسم في حالة اتزان سكوني يجب ان يكون في حالة اتزان انتقالي و اتزان دوراني في الوقت نفسه .

4 - 4 العزم Torque

عندما نفتح كتاباً او باباً او شباكاً او نثبت انابيب المياه الشكل (5) نستعمل قوة لها تأثير مدور (تأثير دوراني) والتأثير الدوراني للقوة يسمى بالعزم ويرمز له τ .

الشكل (5)

كما أننا نجد صعوبة في تدوير برغي بوساطة اليد؛ لذا نستعمل مفتاح ربط (spanner) لتدوير البرغي لاحظ الشكل (6).



الشكل (6)

ومفتاح الربط يولد تأثيراً دورانياً كبيراً أي انه يولد عزماً أكبر من عزم اليد بمفردها، أما النقطة التي تحاول القوة تدوير الجسم حولها فتسمى بالمحور (ونقطة الدوران).

نشاط لبيان العوامل التي يعتمد عليها مقدار عزم القوة.

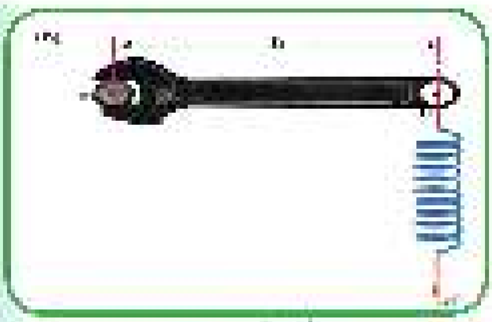
الأدوات: مفتاح ربط، برغي، قبان حلزوني.

خطوات النشاط:

- ندخل رأس البرغي في فوهة مفتاح الربط وبوساطة القبان الحلزوني نسلط قوة صغيرة $\vec{F_1}$ عمودية على ذراع المفتاح بحيث تؤثر في طرف المفتاح وعلى بعد (r_1) من البرغي لاحظ الشكل (7a).

الشكل (7a)

- نحاول تدوير البرغي بوساطة مفتاح الربط نجد صعوبة في التدوير.



الشكل (7b)

- إعمل على مضاعفة القوة الأولى (أي تصبح 2F) وعلى البعد نفسه عن محور الدوران ستجد عندئذ سهولة في تدوير البرغي.

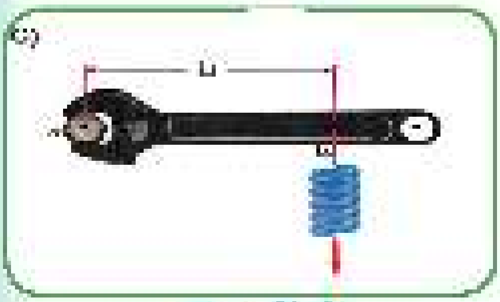
لاحظ الشكل (7b).

نستنتج من ذلك :

أن عزم القوة يتناسب طردياً مع مقدار القوة أي أن : $\tau \propto F$

- حاول أن تستعمل مقدار القوة F نفسها (واستعمل الثقل الحلزوني) واجعل نقطة تأثيرها على بعد (ℓ_2) بحيث تكون أقرب إلى البرغي عندها تجد صعوبة أكثر في تدوير البرغي.

أي أن : $\ell_2 < \ell_1$ ......لاحظ الشكل (7c)



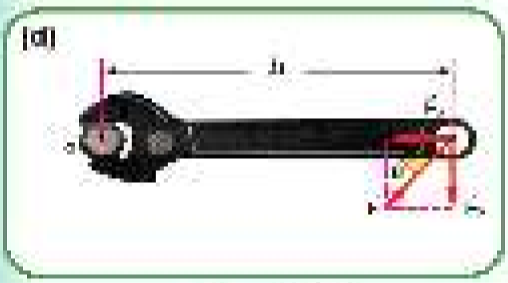
الشكل (7c)

- حاول تكرار العملية مرات متعددة، وفي كل مرة قرب نقطة تأثير القوة من البرغي تجد زيادة في صعوبة تدوير البرغي.

نستنتج من ذلك أن :

مقدار عزم القوة يتناسب طردياً مع البعد العمودي عن محور الدوران،

أي أن : $\tau \propto \ell$ بثبوت F



الشكل (7d)

- سلط القوة نفسها ($\vec{F}$) ومن نقطة التأثير (ℓ) في طرف الذراع كما موضح في الشكل (7d) ولكن اجعل هذه المرة القوة غير عمودية على ذراع المفتاح (أي تصنع زاوية θ مع ذراع المفتاح)، عندها يعطى العزم المدور بالصيغة الآتية:

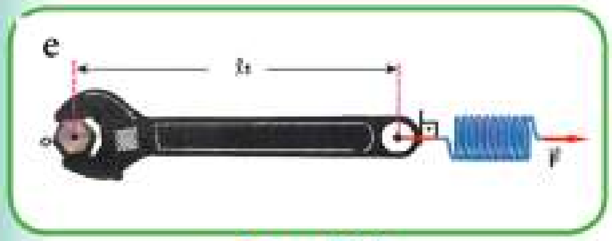
$$\tau = F\ell \sin\theta$$

حاول مرة أخرى تدوير البرغي، تجد صعوبة في تدويره كلما قلت الزاوية (θ) بين خط فعل القوة وذراع المفتاح.

◈ اجعل خط فعل القوة بموازاة ذراع المفتاح في هذه الحالة يكون امتداد القوة ($\vec{F}$) يمر في مركز الدوران لاحظ الشكل (7e) .

عندها ينعدم التأثير الدوراني للقوة .

نستنتج من ذلك :



الشكل (7e)

ان عزم القوة ينعدم اذا كانت القوة او امتدادها يمر في مركز الدوران ،لان تأثير ذراع القوة يصبح صفراً في هذه الحالة.

لقد تبين من النشاط السابق ان عزم القوة يتناسب طردياً مع كل من :

1- مقدار القوة المؤثرة .

2- البعد العمودي (ℓ) من نقطة تأثير القوة الى محور الدوران.

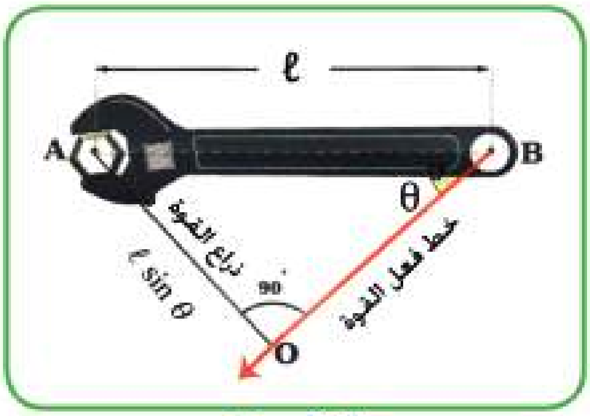
3- الزاوية (θ) بين خط فعل القوة والخط الواصل بين نقطة الدوران ونقطة تأثير القوة

اي ان : $\tau = F\ell \sin\theta$

لحساب ذراع القوة (ذراع العزم) نرسم خط مستقيما يربط خط فعل القوة مع البعد العمودي عليه من نقطة الدوران (المحور) فنحصل على مثلث قائم الزاوية ABO..

لاحظ الشكل (8) فيكون ذراع القوة هو الضلع القائم AO يساوي $\ell \sin\theta$

وعندئذ عزم القوة :



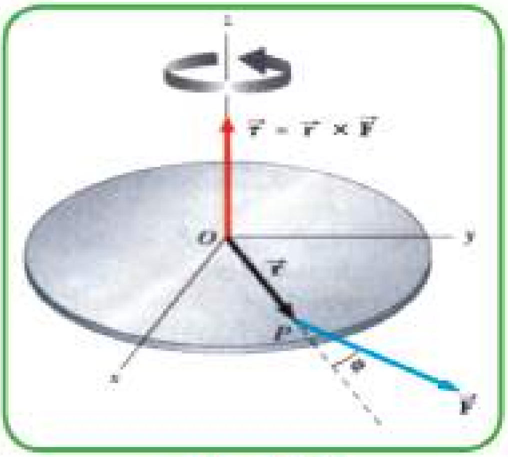
الشكل (8)

$$\tau = F\ell \sin\theta$$

4 – 5 العزم كمية متجهة :-

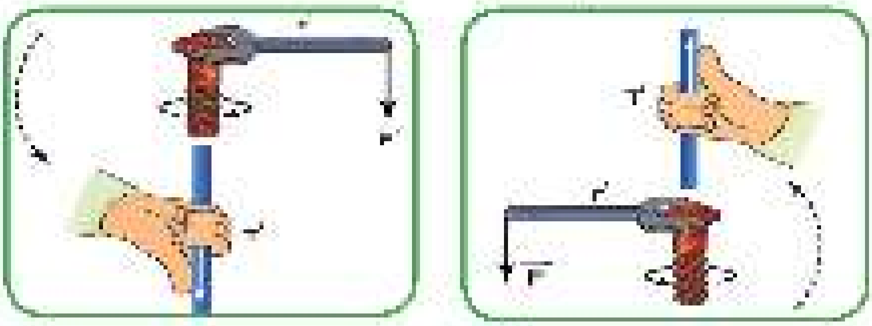
من دراستنا للمتجهات في الفصل الاول عرفنا ان حاصل ضرب متجهين يكون اما كمية قياسية مثل الضرب النقطي ($c = \vec{F} \cdot \vec{d}$) وإمّا كمية متجهة مثل الضرب الاتجاهي ($\vec{A} = \vec{F} \times \vec{d}$) وبما ان متجه العزم هو حاصل الضرب الاتجاهي لمتجه الموقع $\vec{r}$ ومتجه القوة $\vec{F}$ لاحظ الشكل (9) فيكتب كما في المعادلة الآتية :-

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$



الشكل (9)

فيكون متجه العزم عمودياً على المستوى الذي يحتوي $(\vec{r}, \vec{F})$ كما في الشكل (9) وتطبق قاعدة الكف اليمنى لتعيين اتجاه العزم شكل (10) .



الشكل (10)

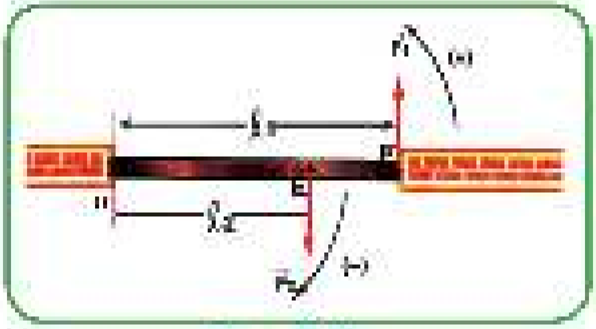
من الجدير بالذكر أن عزم القوة يكون دائماً نسبة الى نقطة أو محور معين ، فإذا حدث تغير في موقع تلك النقطة يتغير عزم القوة تبعاً لها كما في الشكل (11).

الشكل (11)

مثلاً يكون عزم القوة $\vec{F}$ صفراً نسبة لنقطة الدوران (O) ولكن عزم هذه القوة لا يساوي صفراً اذا اتخذت النقطة A نقطة للدوران فيكون :

$$\vec{\tau} = \vec{OA} \times \vec{F} .$$

ومن هنا نفهم انه لا يكفي القول فقط عبارة (عزم القوة $\vec{F}$) ولكن يجب ان نقول عزم القوة $\vec{F}$ نسبة للنقطة (O) أو حول النقطة (O) أو أية نقطة أخرى .



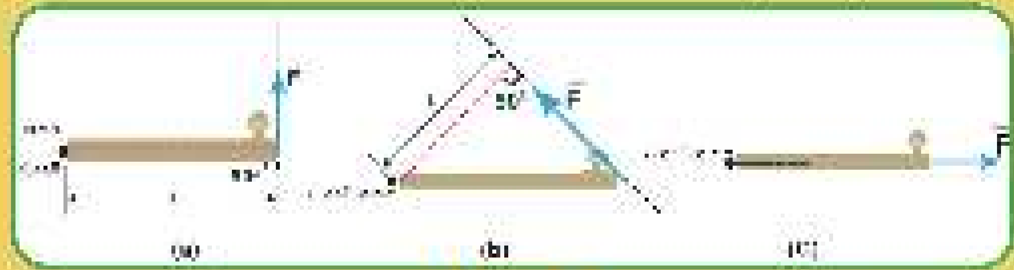
الشكل (12)

ومن ملاحظتك للشكل (12) تجد ان القوة $\vec{F_1}$ تحاول تدوير العتلة حول النقطة (O) باتجاه معاكس لدوران عقرب الساعة بينما القوة $\vec{F_2}$ تحاول تدوير الجسم حول النقطة (O) باتجاه دوران عقارب الساعة .

وللتمييز بين الاحتمالين نختار العزوم التي تدور الجسم باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة بإشارة موجبة والعزوم التي تدور الجسم باتجاه دوران عقارب الساعة بإشارة سالبة .

تذكر :

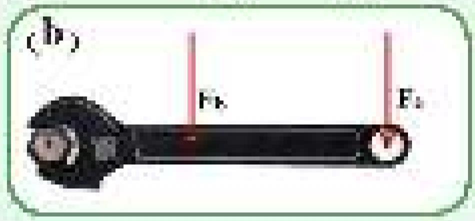
- العزم الناتج عن تأثير القوة في تدوير جسم يكون بمقداره الأعظم τ_{max} عندما يكون خط فعل القوة عمودياً على الخط الواصل بين نقطة تأثير القوة ومحور الدوران الشكل (13a) أي أن: $\tau_{max} = F_{\perp} \cdot \ell$ ويقل مقدار العزم عندما يكون خط فعل القوة مائلاً الشكل (13b)



الشكل (13)

- ينعدم العزم ($\tau = 0$) عندما يمر خط فعل القوة في نقطة او محور الدوران الشكل (13C) أي أن: $\tau = F_{\parallel} \cdot \ell = 0$

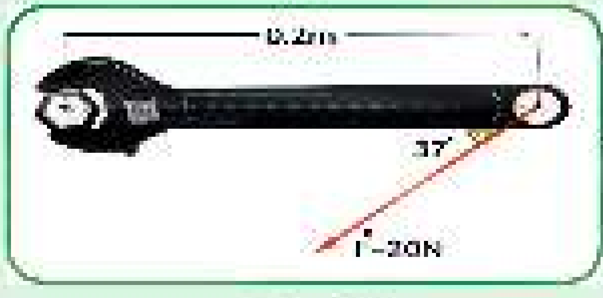
فكر اي القوى المبينة في الشكل (b , a) تسبب عزماً أقل لمفتاح الربط في تدوير البرغي علماً أن مقادير القوى المؤثرة متساوية .



مثال 2 اذا كان مقدار القوة المسلطة على مفتاح ربط طوله (0.20m) يساوي (20N) الشكل (14) احسب مقدار العزم الناتج عن هذه القوة .

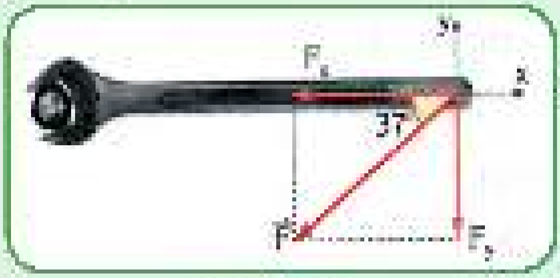
الحل/

نحلل القوة $\vec{F}$ الى مركبتيها (F_x) المركبة الموازية للذراع وباتجاهه (F_y) وهي المركبة العمودية على الذراع ويمر خط المركبة الافقية (F_x) في نقطة الدوران (في محور الدوران) فيكون :



الشكل (14)

عزمها = صفر لأن ذراع العزم = صفر أي أن: $\tau = F_x \times 0 = 0$



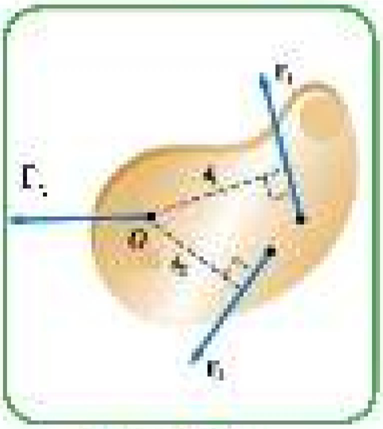
الشكل (15)

بينما المركبة العمودية للقوة (F_y) تولد عزماً يحاول تدوير المفتاح باتجاه دوران عقارب الساعة أي أن:

$$\tau = F_y \cdot \ell = (F \sin \theta) \cdot \ell$$

$$\tau = 20 \times 0.6 \times 0.2 = 2.4\ N.m$$

4 - 6 صافي العزوم واتجاه الدوران :-



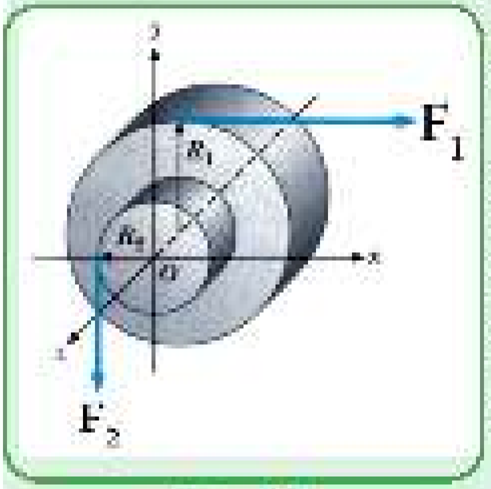
الشكل (16)

عندما تؤثر قوى متعددة في جسم واحد وتحاول تدويره فإن عزم كل قوة يحسب حول نقطة الدوران نفسها ويكون المجموع الاتجاهي للعزوم المنفردة يساوي صافي العزوم (محصلة العزوم) ($\vec{\tau}_{net}$) لاحظ الشكل (16) أي أن:-

$$\vec{\tau}_{net} = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2 - \vec{\tau}_3 + \ldots$$

مثال 3

اسطوانة صلدة جاسئة يمكنها الدوران حول محور أفقي (مهمل الاحتكاك) لف حبل حول محيطها الخارجي ذو نصف القطر (R_1) لاحظ الشكل (17) فإذا سلطت القوة الأفقية (F_1) التي تتجه نحو اليمين، ولف حبل آخر حول المحيط الأصغر ذو نصف القطر R_2 وسلطت القوة (F_2) نحو الأسفل في طرف الحبل الثاني. احسب صافي العزوم المؤثرة في الاسطوانة حول المحور (Z) إذا كانت $R_2=0.5m, F_2=6N, R_1=1m,$ $F_1=5N$.



الشكل (17)

الحل / عزم القوة (F_1) والذي هو τ_1 يكون سالباً لأنه يحاول تدوير الاسطوانة باتجاه دوران عقارب الساعة (↻) أي أن:

$$\tau_1 = -R_1 F_1 \Rightarrow \tau_1 = -1 \times 5 = -5\ N.m$$

بينما العزم الناتج عن القوة (F_2) والذي هو τ_2 يكون موجباً لأنه يحاول تدوير

الاسطوانة باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة (ن) أي أن :-

$$\tau_2 = R_2 F_2 = 0.5 \times 6 = 3\ N.m$$

وان صافي محصلة العزوم :-

$$\vec{\tau}_{net} = \vec{\tau}_2 + \vec{\tau}_1$$

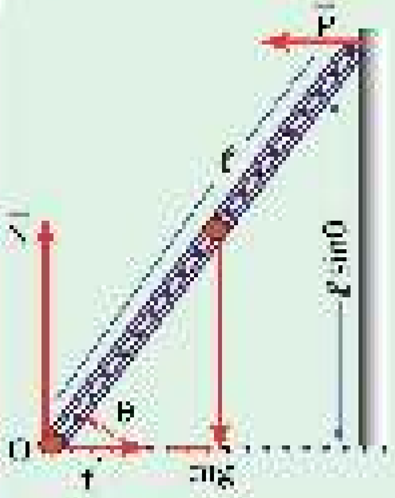
$$\sum \tau = R_2F_2 - R_1F_1$$

$$= 0.5 \times 6 - 1 \times 5$$

$$\sum \tau = -2\ N.m$$

بما أن اشارة صافي العزوم سالبة فهذا يعني أن الاسطوانة تدور باتجاه دوران عقارب الساعة.

مثال 4 سلم منتظم طوله (ℓ) وكتلته (m) يستند على جدار شاقولي أملس لاحظ الشكل (18) وكان معامل الاحتكاك السكوني بين السلم والأرض ($\mu_s = 0.4$). جد أصغر زاوية θ بحيث لا يحصل انزلاق للسلم.



الشكل (18)

الحل /

من ملاحظة الشكل (18) سلم في حالة سكون يستند على جدار شاقولي أملس . فهو في حالة اتزان تحت تأثير أربع قوى هي:

$\vec{P}$ = رد فعل الجدار على السلم

$\vec{N}$ = رد فعل الأرض على السلم

$\vec{f}_s$ = قوة الاحتكاك بين الأرض والطرف السفلي للسلم.

mg = وزن السلم .

بما أن السلم في حالة اتزان سكوني نطبق الشرط الأول للاتزان.

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow f_s - P = 0$$

$$\therefore P = f_s \quad , \quad f_s = \mu_s N$$

$p = \mu_s N \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$

$\sum F_y = 0 \Rightarrow N - mg = 0$

$mg = N \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$

بقسمة طرفي المعادلة (1) على المعادلة (2):

$$\frac{p}{mg} = \frac{\mu_s N}{N} \Rightarrow \frac{p}{mg} = \mu_s$$

بما أن السلم في حالة اتزان دوراني نطبق الشرط الثاني للاتزان ونعتمد النقطة (O) مركزاً للعزوم فيكون :

$$\sum \tau = 0 \Rightarrow P\,\ell \sin\theta - mg\left(\frac{\ell}{2}\cos\theta\right) = 0$$

$$\frac{\sin\theta}{\cos\theta} = \frac{mg}{2p}$$

وبالتعويض عن مقدار $\frac{p}{mg}$ نحصل على:

$$\tan\theta = \frac{1}{2\mu_s} \qquad \tan\theta = \frac{1}{2\times 0.4}$$

$$= 1.25$$

$\therefore \theta = 51^\circ$ قياس زاوية ميل السلم عن الأرض وهي أصغر قياس للزاوية من غير أن ينزلق السلم.

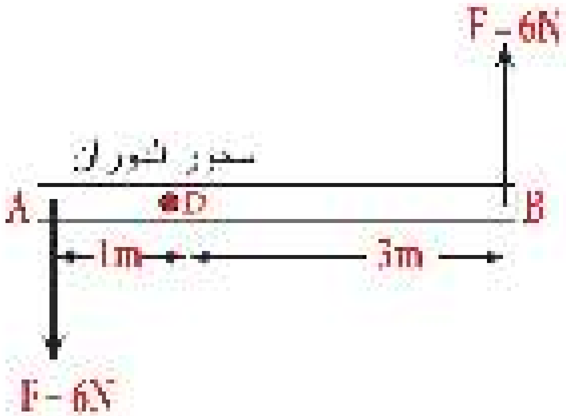
7-4 المزدوج Couple

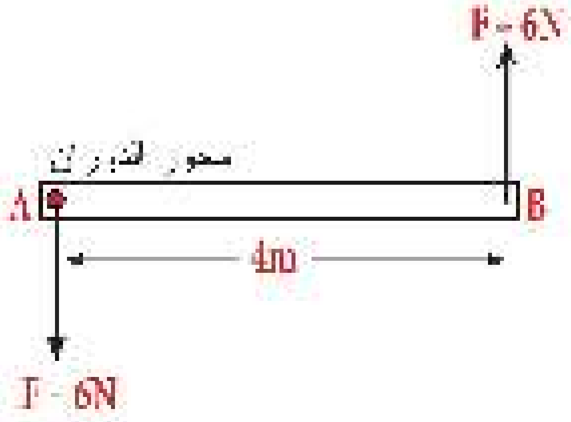
الشكل (19)

عند تدوير مقود السيارة أو مقود الدراجة وحنفية الماء فإنك تسلط قوتين متساويتين بالمقدار ومتعاكستين بالاتجاه ومتوازيتين وليس لهما خط فعل مشترك و تشكل هاتان القوتان ما يسمى بالمزدوج لاحظ الشكل (19) وهناك العديد من التطبيقات الأخرى في الحياة العملية فمثلا حينما تدير مفتاح الباب أو تستعمل مفتاح تغيير الاطارات .

ولحساب عزم المزدوج فإن عزوم القوى تؤخذ حول أية نقطة تقع بين القوتين ثم يجمع عزميهما لأنهما يعملان على تدوير الذراع بالاتجاه نفسه . وأبسط طريقة لحساب عزم المزدوج هي أن نضرب إحدى القوتين في البعد العمودي بينهما.

من ملاحظتك للشكل (20) نستطيع أن نفهم منه كيفية اختيار النقطة التي تمثل محور الدوران، إذ لا يؤثر موقعها في مقدار عزم المزدوج.





الشكل (20)

ويمكننا حساب عزم المزدوج للشكل (20) كما يأتي :

$\tau_{net} = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2$

فيكون عزم المزدوج = إحدى القوتين في البعد العمودي بينهما

$$\tau_{net} = F(AC + CB) = F(AD + DB) = F \times AB$$

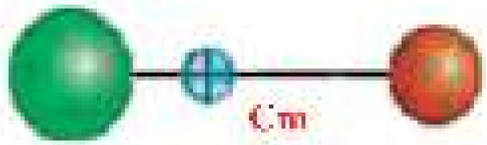
$$\tau_{net} = 6 \times (2+2) = 6 \times (1+3) = 6 \times 4$$

$$\tau_{net} = 24Nm$$

4 - 8 مركز الكتلة :

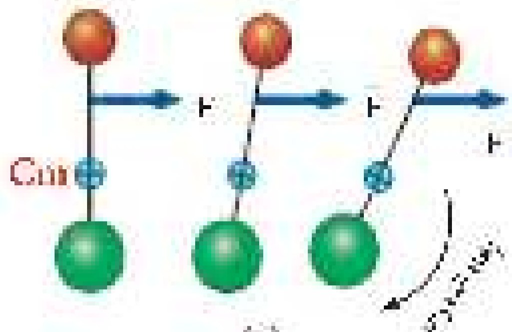
كل جسم جاسئ ذو أبعاد هو منظومة من الجسيمات توصف حركته بدلالة نقطة مهمة تسمى مركز الكتلة للجسم وهي النقطة التي يفترض أن يكون مجموع كل الجسيمات الموثقة له (m) متمركزة فيها ويرمز لها بـ (Cm) .

افرض أن منظومة من الجسيمات تتألف من زوج من الجسيمات موصولة مع بعضها بوساطة ساق خفيفة (مهملة الوزن) ومركز كتلة المنظومة يقع على الخط الواصل بين الجسيمين وهو أقرب الى الكتلة الأكبر مقداراً . لاحظ الشكل (21) .



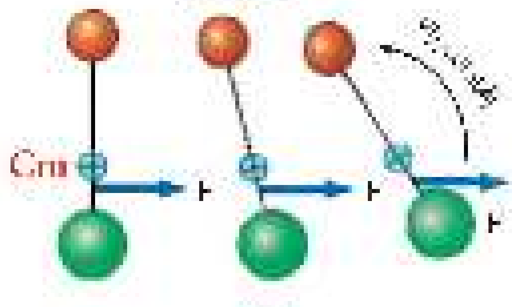
الشكل (21)

فلو أثرت القوة ($\vec{F}$) في الساق عند نقطة تقع أقرب الى الكتلة الأصغر مقداراً ؛ فإن المنظومة ستدور باتجاه دوران عقارب الساعة بتأثير عزم تلك القوة لاحظ الشكل (21a) .



(a)
الشكل (21a)

وإذا كان تأثير تلك القوة ($\vec{F}$) في نقطة هي أقرب الى الكتلة الأكبر مقداراً (شكل 21b) فإن المنظومة ستدور باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة .

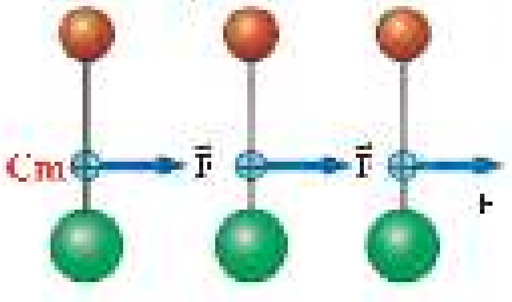


(b)
الشكل (21b)

أما إذا أثرت القوة ($\vec{F}$) في مركز الكتلة للمنظومة (Cm) ففي هذه الحالة ستتحرك المنظومة بتعجيل :-

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

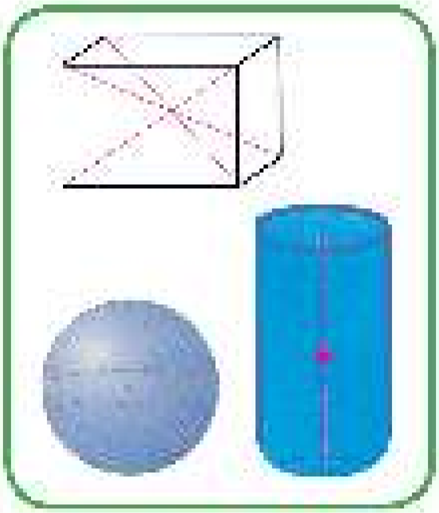
كما في الشكل (21c) وهذا يماثل كما لو أن محصلة القوة الخارجية تؤثر في جسم منفرد كتلته (m) متمركزة في تلك النقطة وهي مركز كتلة المنظومة



(c)
الشكل (21c)

ومن الجدير بالذكر ان مركز كتلة الاجسام المتجانسة والمتناظرة يقع على محور التناظر وهو المركز الهندسي للجسم مثل (كرة او مكعب او اسطوانة......) لاحظ الشكل (22).

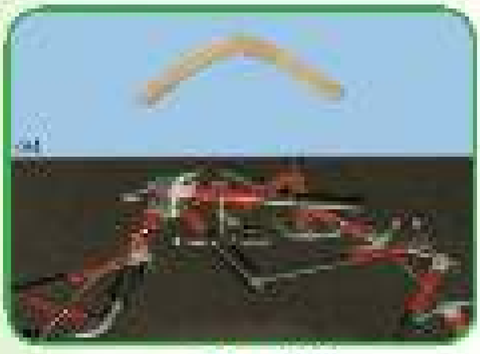
وإذا كان الجسم غير متجانس وغير متناظر فإن مركز كتلته يقع عند نقطة هي أقرب إلى الجزء الأكثر كتلة.



الشكل (22)

هل تعلم ؟

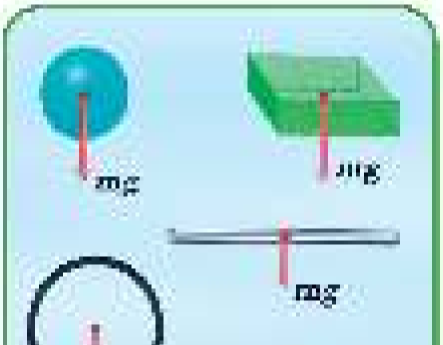
إذا قذفت مطرقة في الهواء فإنك تلاحظ أن المطرقة تدور في مسارها حول نقطة معينة هي مركز كتلتها (Cm) ويكون مسار تلك النقطة بشكل قطع مكافئ وهو مسار الجسم المقذوف نفسه لاحظ الشكل (23).



الشكل (23)

4 - 9 مركز الثقل Center of gravity

في معظم مسائل الأجسام الجاسئة المتزنة تكون احدى القوى المؤثرة في الجسم هي قوة الجاذبية المؤثرة فيه وهي وزن الجسم وتمثل بسهم يتجه شاقولياً نحو الأسفل (نحو مركز الأرض) ولحساب عزم قوة الجاذبية تلك نفرض ان الوزن الكلي للجسيمات المؤلفة للجسم تتجمع في نقطة واحدة تسمى مركز الثقل (Center of gravity) ويرمز لها بـ (C_g) لاحظ الشكل (24).



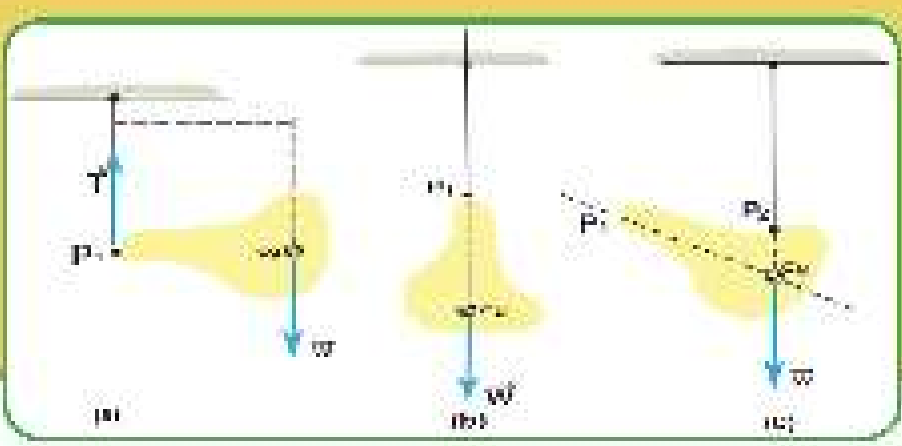
الشكل (24)

يُعرف مركز ثقل الجسم بأنه تلك النقطة التي إذا علق منها الجسم في أي وضع كان فإن الجسم لا يحاول الدوران لأن مجموع العزوم المؤثرة في الجسم حول تلك النقطة يساوي صفراً وهذه النقطة هي مركز ثقل الجسم.

وان مركز ثقل الاجسام المتجانسة والمتناظرة يقع في مركزها الهندسي.

تذكر :

- مركز ثقل الجسم هو نقطة في الجسم يظهر فيها ان كل وزن الجسم متجمع فيها.
- مركز كتلة الجسم هو نقطة في الجسم التي لو كان خط فعل القوة المؤثرة في الجسم مار من خلالها فإن تلك القوة لا تسبب دوران الجسم.



س1 / أختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات التالية :

1 - يقاس العزم بوحدات :

a) N . m   b) N / m

c) kg. m   d) kg / m

2 - لكي يكون الجسم متزناً ويتحقق شرطا الاتزان فان :

a) $\sum \vec{F} < 0 , \sum \vec{\tau} > 0$

b) $\sum \vec{F} > 1 , \sum \vec{\tau} = 0$

c) $\sum \vec{F} = 0 , \sum \vec{\tau} = 0$

d) $\sum \vec{F} > 0 , \sum \vec{\tau} = 0$

3 - يدفع شخص باباً بقوة مقدارها (10N) تؤثر عمودياً عند نقطة تبعد (80cm) من مفاصل الباب ، فان عزم هذه القوة (بوحدات N.m) يساوي :

a) 0.08   b) 8

c) 80   d) 800

4 - يستقر ساق متجانس من منتصفه فوق دعامة ، فإذا أثرت قوتان متساويتان مقداراً ومتعاكستان اتجاهاً ومقدار كل منهما ($\vec{F}$) في طرفيه، فان محصلة القوى تساوي:

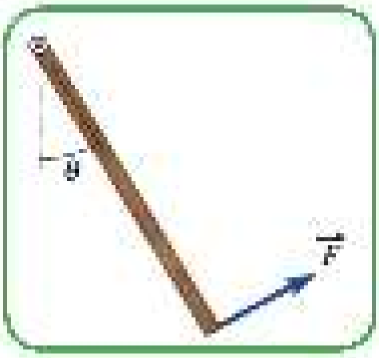
a) $2\vec{F}$ نحو الأعلى .   b) $2\vec{F}$ للأسفل .

c) ($\vec{F}/2$) للأسفل .   d) صفراً .

5 - في السؤال السابق، نتيجة تاثير هاتين القوتين في الساق فانه سوف:

a) يدور .   b) يبقى ساكناً.

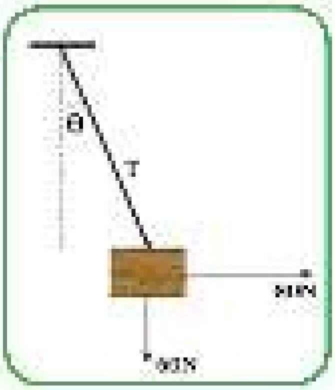
c) يتحرك انتقالياً .   d) يتحرك حركة اهتزازية .



6 - عتلة متجانسة كتلتها (m) (لاحظ الشكل المجاور) معلقة من الأعلى عند النقطة (o) وتتحرك هذه العتلة بحرية كالبندول. إذا أثرت فيها قوة $\vec{F}$ عمودياً على العتلة ومن طرفها السائب، فإن أعظم قوة مقدارها F تجعل العتلة متزنة بزاوية مع الشاقول تساوي:

a) $2mg$ b) $2mg\sin\theta$

c) $2mg\cos\theta$ d) $\left(\frac{mg}{2}\right)\sin\theta$

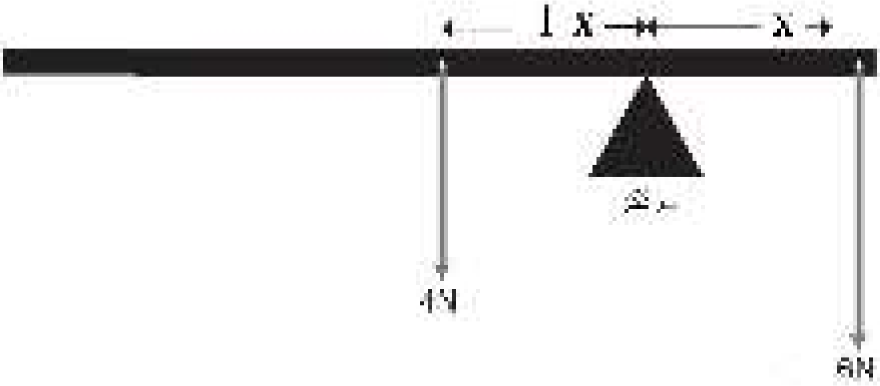


7 - صندوق يزن (60N) معلق بواسطة حبل في مسند رأسي (لاحظ الشكل المجاور)، فإذا أثرت عليه قوة أفقية مقدارها (80N) فسوف يصنع الحبل مع الشاقول زاوية قياسها:

a) $37°$ b) $45°$

c) $60°$ d) $53°$

8 - لوح متجانس وزنه (4N) وطوله (2m) معلق في أحد طرفيه جسم وزنه (6N) (لاحظ الشكل المجاور)، يتزن أفقياً عند نقطة ارتكاز عليها تبعد عن الطرف المعلق به الجسم مسافة:



a) 0.2m

b) 0.4m

c) 0.6m

d) 0.8m

س1: ما مقدار القوة $\vec{F}$ التي يجب أن يؤثر فيها العامل في العتلة كي يستطيع رفع ثقل كتلته (20kg) المبين في الشكل المجاور.

س2: صباغ دور يقف فوق لوح منتظم يتزن أفقيا كما مبين في الشكل المجاور، وهو معلق من طرفيه بحبلين قوة الشد فيهما $\vec{F}_L$ و $\vec{F}_R$ ومقدار كتلة الصباغ (75kg) وكتلة اللوح (20kg)، فإذا كانت المسافة من الطرف الأيسر للوح إلى موضع وقوف الصباغ هي (d = 2m) وان الطول الكلي للوح (5m) أوجد:

a) مقدار القوة $\vec{F}_L$ المؤثرة بوساطة الحبل الأيسر في اللوح

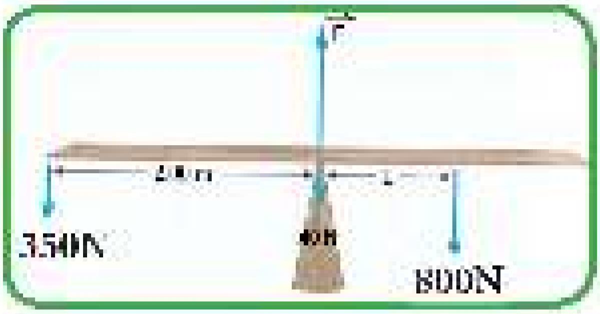
b) مقدار القوة $\vec{F}_R$ المؤثرة بوساطة الحبل الأيمن في اللوح.

س3: يقف صباغ على ارتفاع (3m) من الأرض فوق سلم منتظم طوله (5m) يستند طرفه الأعلى على جدار شاقولي عند نقطة تبعد (4.7m) عن سطح الأرض. لاحظ الشكل المجاور، فإذا كان وزن الصباغ (680N) ووزن السلم (120N)، وعلى فرض عدم وجود احتكاك بين السلم والجدار. أوجد قوة الاحتكاك (f_s) بين الأرض والطرف الآخر للسلم.

س4: يجلس ولدان على لوح متجانس مثبت من منتصفه بدعامة كما مبين في الشكل المجاور. فإذا كان وزن اللوح (40N) يؤثر في منتصفه، وكان وزن الولد الأول (350N) ووزن الولد الثاني (800N)، فأوجد ما يلي:

a) القوة العمودية $F_{\perp}$ التي تؤثر بها الدعامة في اللوح.

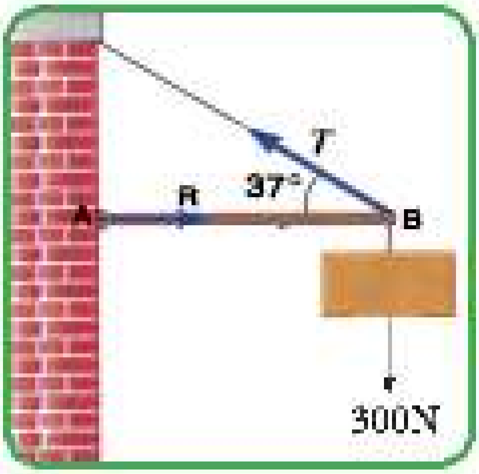
b) البعد L المبين في الشكل، كي يتزن اللوح أفقياً.



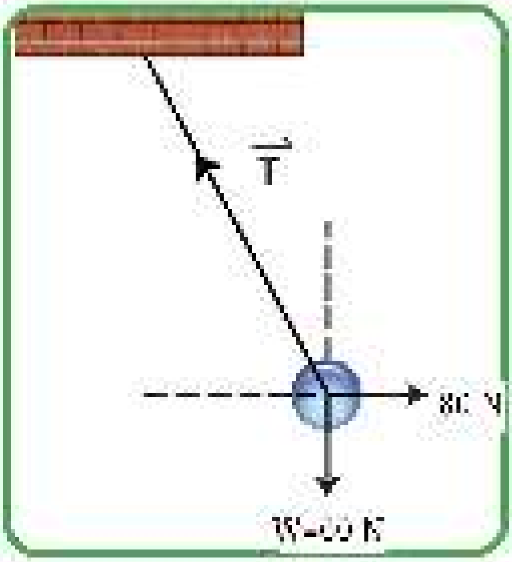
س5: لوح أفقي مهمل الوزن طوله (6m) يبرز من جدار بناية، طرفه السائب مربوط بحبل إلى جدار ويصنع زاوية (37°) مع الأفق، كما مبين في الشكل المجاور. علق في طرفه السائب ثقل مقداره (300N).

ما مقدار: a) الشد T في حبل الربط.

b) رد فعل الجدار R على امتداد اللوح.



س6: أثرت قوة أفقية مقدارها (80N) في جسم كتلته (6kg) معلق بواسطة حبل، لاحظ الشكل المجاور: ما مقدار واتجاه قوة الشد (T) التي يؤثر بها الحبل على الجسم المعلق لتبقيه في حالة اتزان سكوني؟ افرض ($g = 10N/kg$).

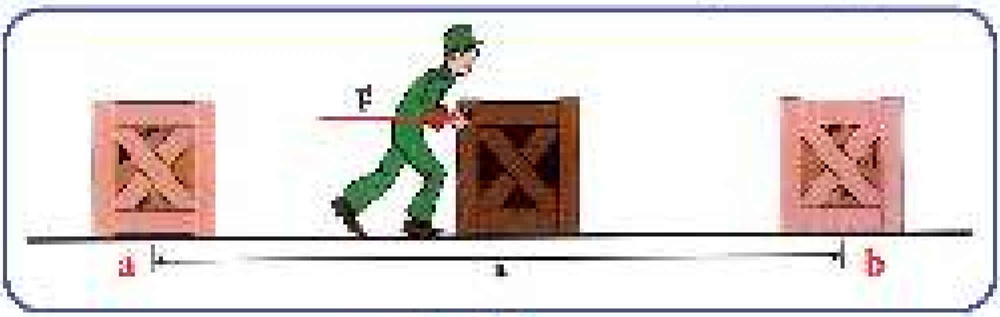


الشغل والقدرة والطاقة والزخم
Work,Power,Energy and momentum

5 1 مفهوم الشغل :

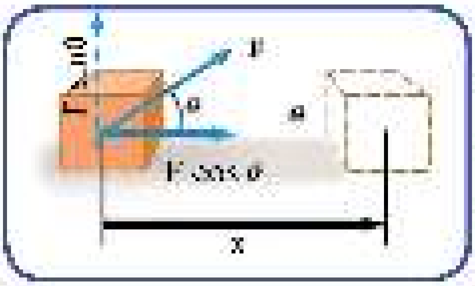
كثيرا ما نستعمل كلمة الشغل ، ولكن هل نعرف بالضبط ماذا تعني ؟

حيث تطلق كلمة الشغل بالمعنى العام على كل مجهود عقلي او عضلي يقوم به الانسان ، اما بالمعنى الفيزيائي فلابد من وجود قوة تؤثر في جسم ويقطع هذا الجسم ازاحة باتجاه موازٍ لتلك القوة او لاحدى مركبتيها مثلاً لنفرض ان القوة $\vec{F}$ أثرت في صندوق واستطاعت تحريكه من **a** الى **b** ازاحة مقدارها $\vec{x}$ كما مبين في الشكل (1) فانها تكون قد بذلت شغلا عليه .



الشكل (1)

لكن اذا اثرت القوة في الصندوق باتجاه يصنع زاوية θ مع اتجاه الازاحة $\vec{x}$ ، فاننا نقوم بتحليل متجه القوة الى مركبتين ، كما في الشكل مركبة افقية $F\cos\theta$ ، ومركبة شاقولية ($F\sin\theta$) . لو سألنا اي المركبتين حركت الجسم؟ وايهما انجزت شغلا ؟ للاجابة على هذا السؤال لاحظ الشكل (2) لانجد ان مركبة القوة باتجاه ازاحة الجسم هي وحدها التي انجزت شغلا ، وبذلك يصبح تعريف الشغل (W) على النحو الآتي :



الشكل (2)

$$\text{Work done}(W) = \text{Force}(\vec{F}) \cdot \text{Displacement}(\vec{x})$$

$$W = (F\cos\theta) \cdot x$$

$$W = F\,x\cos\theta$$

فالشغل يعرف رياضياً بالضرب القياسي (النقطي) لمتجهي القوة والازاحة :

$\vec{F}$: متجه القوة الثابتة المؤثرة في الجسم .

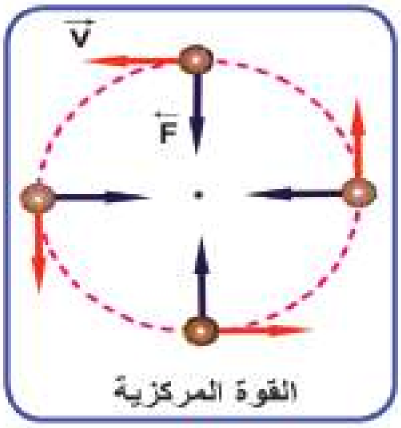
$\vec{x}$: متجه الازاحة .

θ : الزاوية المحصورة بين المتجهين $\vec{F}$, $\vec{x}$.

ان وحدات الشغل تعتمد على وحدات القوة والازاحة فالقوة في النظام الدولي تقاس بالنيوتن والازاحة بالمتر لذا يقدر الشغل بوحدات (Newton. meter) وتسمى **Joule** والشغل كمية قياسية (عددية) ويكون موجبا او سالبا او صفرا.

وتعتمد اشارة الشغل على الزاوية θ بين متجهي القوة والازاحة فقط وذلك لان مقدار كل من $(\vec{F})$ ، $(\vec{x})$ موجب دائما .

ومن الامثلة على القوى التي لا تبذل شغلا (الشغل = صفر)، القوة المركزية وذلك لانها تعامد الازاحة دوما ، لاحظ شكل (3)، كذلك الشكل (4) .



الشكل (3)

إذ ان $\vec{F}$ لاتبذل شغلا على الدلو لان ليس لها مركبة مع اتجاه الازاحة .

الشكل (4)

فكر

1) شخص يمشي افقياً ويحمل صندوقاً بيديه . ما مقدار الشغل الذي يبذله الشخص ؟

لاحظ الشكل(5).

الشكل (5)

2) ما مقدار الشغل الذي ينجزه طالب يدفع جدارا لاحظ الشكل(6) ؟

الشكل (6)

مثال 1

الشكل (7)

رجل يسحب مكنسة كهربائية بقوة تساوي $F = 50\,N$ بزاوية 30^0 مع الافق لاحظ شكل (7) احسب الشغل المنجز من قبل القوة على المكنسة الكهربائية عند تحريكها ازاحة مقدارها 3m باتجاه اليمين.

الحل /

$$\text{Work done (W)} = \text{Force (F)} \times \text{displacement (x)} \times \cos\theta$$

$$W = F\,x\cos\theta$$

$$W = [\,(50N)\,(3m)\,\cos(30^0)\,]$$

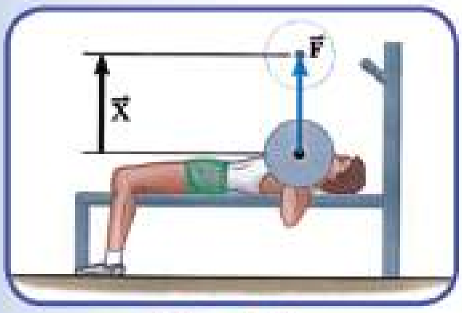
$$W = 130\ \text{Joule}$$

؟ سؤال

لو ان القوة المؤثرة في جسم معين لم تستطع تحريكه . فما مقدار الشغل الذي تكون قد بذلته تلك القوة في هذه الحالة ؟

مثال 2

الشكل (8a)



الشكل (8b)

يبين الشكل (8a) رافع الاثقال الـذي يحمل الاثقال التي مقدارها 710N . وفي الشكل (8b) يبين انه يرفع الاثقال لازاحة مقدارها 0.65m الى الاعلى وفي الشكل (8c) يخفض الثقل الى الاسفل بالازاحة نفسها .

فاذا كانت عملية رفع وخفض الاثقال تمت بسرعة ثابتة فاوجد الشغل المنجز على الاثقال من قبل رافع الاثقال في حالة : a) رفع الاثقال . b) خفض الاثقال .

الحل/

a) في حالة رفع الاثقال الشكل (8b) ، فان الشغل المنجز بوساطة القوة $\vec{F}$ يعطى بـالعلاقة :

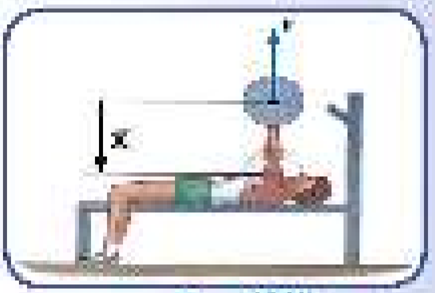
$$W = F\,x \cos\theta$$

$$W = (710N)(0.65)\cos 0^\circ$$

$$\cos 0^\circ = 1$$

$$W = 460 \text{ Joule}$$

b) في حالة خفض الاثقال الشكل (8c) ، فان الشغل بواسطة القوة F يعطى بـ :



الشكل (8c)

$$W = F\,x \cos\theta$$

$$W = (710N)(0.65)\cos 180^\circ$$

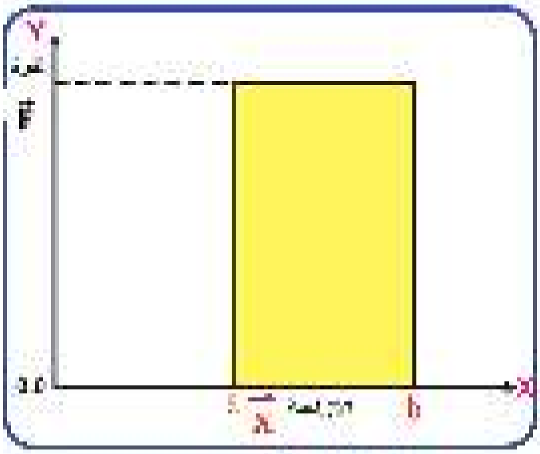
$$\cos 180^\circ = -1$$

$$W = -460 \text{ J}$$

وبهذا نجد ان الشغل سالب في هذه الحالة لان متجه القوة معاكس لاتجاه الازاحة
في حين كان الشغل في حالة رفع الاثقال موجباً لان متجه القوة بنفس اتجاه الازاحة .

5 - 2 التمثيل البياني للشغل :-

اذا تم ازاحة جسم افقياً بتأثير قوة ثابتة ، فانه يمكن تمثيل العلاقة بين القوة والازاحة بيانياً ، كما في الشكل (9) إذ يمثل المحور الافقي (x) الازاحة الافقية ($\vec{x}$) والمحور العمودي (Y) يمثل القوة ($\vec{F}$) حيث تبقى القوة ثابتة ولم تتغير .



الشكل (9)

أن المساحة المظللة تحت المنحني = مساحة المستطيل الذي طوله (ab) وعرضه (OF) أي

أن : المساحة تحت المنحني = الشغل

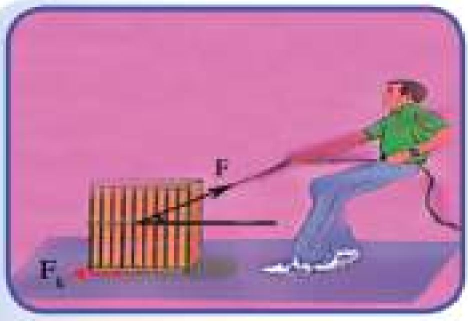
$$W = \vec{F} \cdot \vec{x}$$

فيما تقدم ، درسنا تعريف الشغل الذي تبذله قوة ثابتة واحدة في جسم ، ماذا لو اثرت في الجسم قوى عدة ؟

في مثل هذه الحالة نقوم بتحليل كل قوة الى مركبتيها ثم نحسب الشغل لمركبة كل قوة على حدة، ثم نحسب الشغل الكلي الذي يمثل شغل القوة المحصلة .

مثال 3

يسحب شخص صندوقاً على سطح افقي خشن بسرعة ثابتة بتاثير قوة الشد $\vec{F}$ والتي تصنع زاوية قياسها 37^0 مع المحور الافقي (X) وتحركه ازاحة مقدارها 5m لاحظ الشكل (10a). فاذا كانت قوة الاحتكاك الانزلاقي f_k بين الصندوق والسطح تساوي 20N . ما مقدار قوة الشد $\vec{F}$ وما مقدار الشغل المنجز بوساطة قوة الشد ؟



الشكل (10a)

الحل /

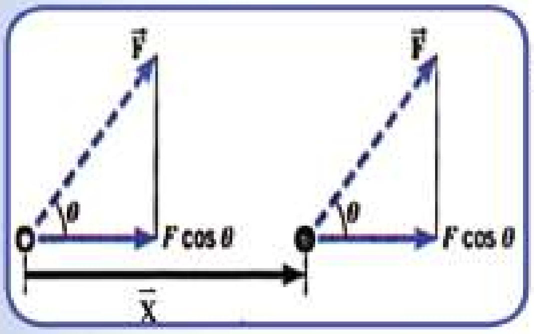
من الشكل (10a) نلاحظ ان قوة الاحتكاك f_k تساوي 20N والمركبة الافقية لقوة الشد تساوي $F\cos37^0$.

وبما ان الصندوق يتحرك بسرعة ثابتة

فان محصلة القوى الافقية المؤثرة فيه تساوي صفرا

$\sum \vec{F}_x = 0$ (حسب القانون الاول لنيوتن) وبالتالي

فان الشغل الكلي المبذول يساوي صفرا ، اي ان :



الشكل (10b)

فالشغل الكلي= القوة المحصلة × الازاحة = صفرا ، أي أن :

الشغل الذي تنجزه قوة الشد (W_1) + الشغل الذي تنجزه قوة الاحتكاك الانزلاقي (W_2)

= صفرا

$$W_1 = -W_2$$

وان قوة الشد الافقية $F\cos\theta$ تساوي وتعاكس قوة الاحتكاك الانزلاقي f_k ومنها

$$F\cos\theta = f_k = 20N$$

$$F\cos37^o = 20N$$

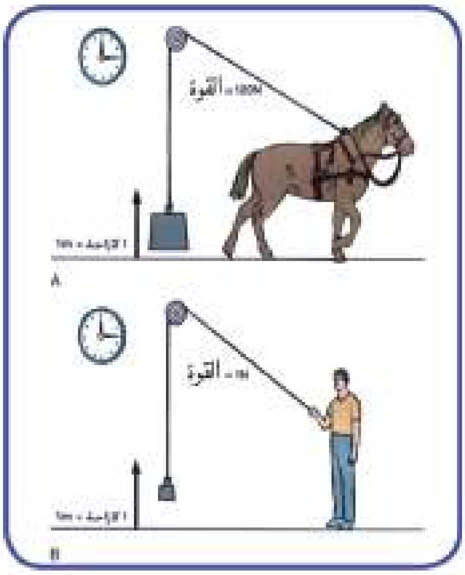
$$F \times 0.8 = 20N$$

$$F = (20/0.8) = 25N$$

الشغل المبذول بوساطة قوة الشد F هو W_1 :

$$W_1 = F\cos37^o \times 5 = 100\,J$$

5 - 3 القدرة Power


الشكل (11)

يوضح الشكل (11) شخص وحصان يرفعان ثقلين مختلفين لازاحة مقدارها 1m بالزمن نفسه . تامل الشكل (11) واجب عن الاسئلة الاتية :-

1- ما الشغل الذي انجزه كل واحد على حدة .
2- هل انجز الحصان والرجل الشغل نفسه .
3- جد ناتج قسمة الشغل على الزمن لكل واحد منهما ماذا تلاحظ.

يمثل ناتج قسمة الشغل المنجز على الزمن قدرة كل منهما، إذ تعرف القدرة بانها المعدل الزمني لانجاز الشغل أي أن :

Power (Watt) = Work(Joule) / Time(s)

$$P = W / t$$

ومن المعادلة اعلاه نلاحظ ان القدرة تقاس بوحدة **Joule / Second** وتعرف بالواط **(Watt)**

ومن الوحدات الشائعة لقياس القدرة هي القدرة الحصانية **(horse power)**.

1horse power (hp) = 746 watt

هناك علاقة اخرى للقدرة تسمى القدرة اللحظية **Instantaneous Power**

وهي القدرة المتوسطة حينما تؤول الفترة الزمنية الى الصفر . فاذا كانت القوة التي تنجز الشغل ثابته (لاتتغير مع الزمن) ، فان القدرة اللحظية (P_i) تعطى بالعلاقة الاتية :

$$\text{Instantaneous Power } (P_{inst}) = \frac{\text{work done (w)}}{\text{Time (t)}} = \frac{\vec{F} \cdot \vec{x}}{t}$$

وبما أن $\upsilon_i = x/t$ وهي السرعة اللحظية ، ومنها نحصل على :-

$$P_{inst.} = \vec{F} \cdot \vec{\upsilon}_{inst.}$$

$$P_{inst.} = F\upsilon\cos\theta$$

وان θ هي الزاوية بين متجه السرعة اللحظية $\vec{\upsilon_i}$ ومتجه القوة $\vec{F}$.

مثال 4

مصعد كهربائي محمل بعدد من الاشخاص، يرتفع الى الاعلى بسرعة ثابتة $0.7m/s$. فاذا كانت القدرة التي ينجزها السلك الفولاذي الحامل للمصعد **20300Watt** . احسب قوة الشد في السلك لاحظ الشكل (12) .

الشكل (12)

الحل /

ان تاثير السلك في المصعد يكون بقوة شد باتجاه الاعلى في اثناء صعوده ، وبذلك تكون القوة والسرعة بالاتجاه نفسه اي ان: الزاوية بينهما تساوي صفرا $(\theta = 0)$ ومن قانون القدرة اللحظية نحصل على :-

$$P_i = F \cdot \upsilon_i \cos\theta$$

$$20300 = (F) \times (0.7) \times (\cos 0^{\circ})$$

قوة الشد $F = 20300 / 0.7 = 29000\,N$

5 - 4 الطاقة Energy

ان الجسم الذي يمتلك القابلية على انجاز شغل يمتلك طاقة . وتقاس الطاقة بوحدة قياس الشغل وهي الجول (**Joule**) . هناك صور مختلفة للطاقة و ممكن تحويل بعضها الى بعض، و من انواعها:

1- الطاقة الميكانيكية .

a- الطاقة الحركية .

b- الطاقة الكامنة بنوعيها : الطاقة الكامنة التثاقلية ، والطاقة الكامنة للمرونة.

2- الطاقة الحرارية .

3- الطاقة الكيميائية .

4- الطاقة المغناطيسية .

5- الطاقة النووية .

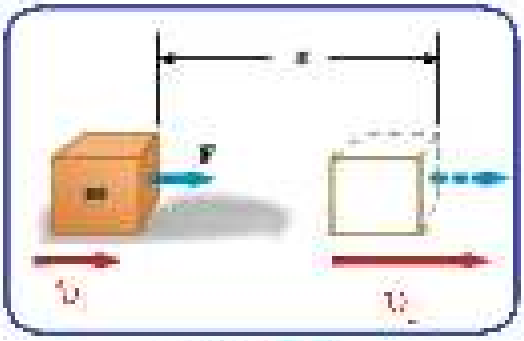
6- الطاقة الكهربائية .

7- الطاقة الضوئية .

8- الطاقة الصوتية .

الطاقة الحركية Kinetic Energy

تمتلك الأجسام المتحركة القابلية على انجاز شغل ، أي انها تمتلك طاقة ، وتسمى الطاقة التي يمتلكها جسم متحرك بالطاقة الحركية ، والأمثلة عليها كثيرة منها : كرة تسقط باتجاه الأرض وسيارة متحركة ، الرياح المتحركة ، وشخص يركض ...... الخ .



الشكل (13)

ولكن الأجسام تتفاوت في طاقتها الحركية .

ما المقصود بالشغل والطاقة ؟ وما العلاقة بينهما ؟

للاجابة على ذلك ، سنقوم باشتقاق علاقة مهمة تربط بين الشغل والطاقة كما يأتي :

لو ان جسما كتلته (m) يسير في خط افقي مستقيم ، اثرت فيه محصلة قوة خارجية $\vec{F}$ فتغيرت سرعته من $\vec{v}_i$ الى السرعة v_f وتحرك بالازاحة $\vec{x}$ لاحظ الشكل (13).

فان الشغل المبذول على الجسم يكون $W = \vec{F} \cdot \vec{x}$

وطبقا للقانون الثاني لنيوتن فان :

$$\vec{F} = m\,\vec{a} \qquad W = (ma)\,x$$

ومن معادلة الحركة بتعجيل ثابت فان :

$$v_f^2 = v_i^2 + 2ax \rightarrow x = \left(v_f^2 - v_i^2\right)/2a$$

واذا عوضت في المعادلة $W = \vec{F} \cdot \vec{x}$ نحصل على

$$W = ma\left(v_f^2 - v_i^2\right)/2a$$

$$W = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$W = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$\boxed{W = KE_f - KE_i = \Delta KE}$$

وهذا يعني ان الشغل الذي تنجزه محصلة قوى خارجية تؤثر في الجسم يساوي التغير في طاقته الحركية ΔKE ، مع ملاحظة ان محصلة القوى تكون موجبة اذا كانت باتجاه الحركة وسالبة اذا كانت معاكسة لاتجاه الحركة .

لذا نستطيع القول ان الجسم الذي كتلته m ويتحرك بسرعة v فانه يمتلك طاقة حركية (KE) تعطى بالعلاقة الآتية :

$$\text{Kinetic Energy (KE)} = (1/2)\ \text{mass (m)}\ (\text{velocity}\ (\upsilon))^2$$

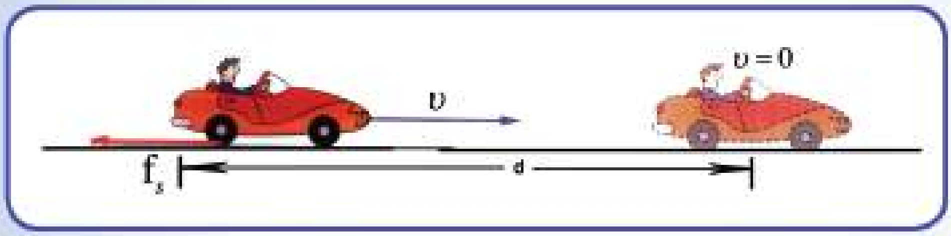
$$KE = (1/2)\, m\upsilon^2$$

وان وحدات الطاقة الحركية (KE) هي نفس وحدات الشغل وهي **Joule** .

مثال 5 سيارة كتلتها **2000Kg** تتحرك على ارض افقية . ضغط سائق السيارة على الكوابح حينما كانت تسير بسرعة **20m / s** فتوقفت بعد ان قطعت مسافة (**100m**) ، كما في الشكل (14) . جد ماياتي :

1) التغير في الطاقة الحركية . 2) الشغل الذي بذلته قوة الاحتكاك في ايقاف السيارة .

3) ما مقدار قوة الاحتكاك بين عجلات السيارة و الطريق على فرض انها بقيت ثابتة .



الشكل (14)

الحل/

1- التغير في الطاقة الحركية (ΔKE) = الطاقة الحركية النهائية $(KE)_f$

– الطاقة الحركية الابتدائية $(KE)_i$

$$\Delta KE = (KE)_f - (KE)_i$$

$$\Delta KE = 1/2\, m\upsilon_f^2 - 1/2\, m\upsilon_i^2$$

$$= (1/2)\, 2000 \times (0)^2 - (1/2)\, 2000\, (20)^2$$

$$= 0 - 1000 \times 400$$

$\Delta KE = -400\,000\ J$ مقدار التغير في الطاقة الحركية

2- الشغل الذي بذلته قوة الاحتكاك (W) = التغير في الطاقة الحركية (ΔKE)

$$W = -400\,000\ J$$

3- الشغل الذي بذلته قوة الاحتكاك ($f_s x\cos\Theta$) = التغير في الطاقة الحركية (ΔKE)

$$\Delta KE = f_s x\cos\Theta$$

$$\Theta = 180^o,\ \cos(180)^o = -1$$

$$KE = f_s x\cos 180$$

$$400000 = f_s \times 100 \times (-1)$$

$$f_s = -400000 / -100$$

$= 4000\ N$ (قوة الاحتكاك)

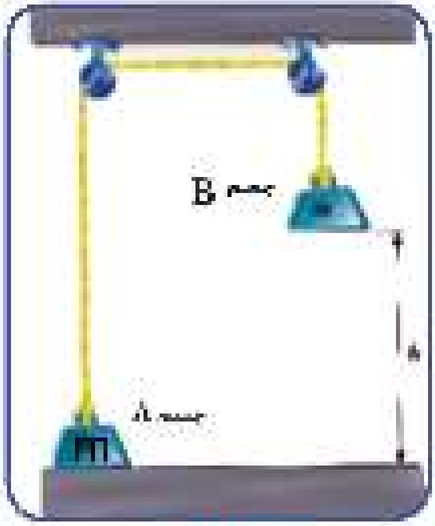
b- الطاقة الكامنة Potential Energy

عند دراستنا السابقة لاحظنا بعض الاجسام يمكن ان تبذل شغلاً بفضل حركتها لكن هناك اجسام اخرى تستطيع ان تبذل شغلاً بسبب كمية الطاقة المخزونة في الجسم , فما المقصود بالطاقة الكامنة (المخزونة)؟ الطاقة الكامنة هي كمية الطاقة المخزونة في الجسم التي يمكن ان تنجز شغلاً متى ما اريد لها ذلك , وتقسم على النحو التالي :

الطاقة الكامنة
Potential Energy

- الطاقة الكامنة التثاقلية (الوضعية)
Gravitational Potential Energy
- الطاقة الكامنة المرونية
Elastic Potential Energy

الطاقة الكامنة التثاقلية Gravitational Potential Energy



الشكل (15)

وهي الطاقة التي يكتسبها الجسم بسبب قوى الجاذبية مثلاً النظام المبين في الشكل (15) يمثل بكرتين مهملتين الاحتكاك والوزن تحملان جسمين متساويين بالكتلة , نفرض مثلاً ان وزن كلا منهما mg فاذا دفع الجسم B دفعة صغيرة الى الاسفل فانه سوف يبدأ بالسقوط بخط مستقيم باتجاه الارض بسرعة ثابتة المقدار , سوف يبدأ الجسم A في الارتفاع الى الاعلى في الوقت نفسه الذي ينزل فيه الجسم B الى الاسفل, فاذا كان الجسم B مثلاً قد هبط مسافة h الى الاسفل فان الجسم A قد ارتفع المسافة نفسها h عن الارض , فما مقدار الشغل المبذول بوساطة الحبل على الجسم A عند رفعه من سطح الارض بسرعة ثابتة المقدار ؟ بما ان الشد في الحبل يساوي وزن الجسم A وهو mg فان الشغل المبذول بوساطة الحبل حسب تعريف الشغل :

$$W = mg \cdot h$$

ان الجسم B يشد الجسم A الى الاعلى لذا فهو يبذل شغلاً مقداره mg . h , اذ ان h هي المسافة التي يسقط منها الجسم B , لذا فان الجسم A يكتسب مقداراً من الطاقة يساوي الشغل المبذول عليه, اي ان الجسم A في موضعه الجديد يختزن طاقة , لان الجسم اكتسب هذه الطاقة عندما رفع الى

أعلى ضد الجاذبية، فإن الطاقة التي يختزنها تسمى (الطاقة الكامنة التثاقلية) (طاقة الوضع) وتساوي الشغل الذي بذل على الجسم ضد الجاذبية. أي أن الطاقة الكامنة التثاقلية (GPE) تعطى بالعلاقة الآتية:

Gravitational Potential Energy (GPE) =

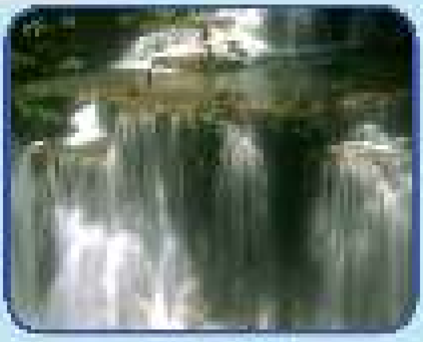
mass (m) × gravity acceleration (g) × vertical hight (h)

$$GPE = m \times g \times h$$

وتقاس الطاقة الكامنة التثاقلية في النظام الدولي بوحدات الشغل نفسها وهي الجول Joule، إذ تقدر الطاقة الكامنة التثاقلية بالنسبة لمستوى معين بحاصل ضرب وزن الجسم بالارتفاع الشاقولي.

هل تعلم ؟

إن مياه الشلالات تمتلك طاقة كامنة من جراء وضعها المرتفع لذا عند سقوطها إلى مستواها الأصلي تستطيع انجاز شغل بسبب وزنها فتدور التوربينات وتشغل المولدات.



الشكل (16)

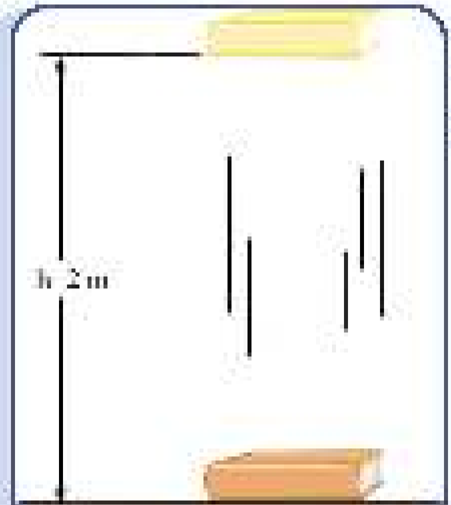
مثال 6

احسب التغير في الطاقة الكامنة التثاقلية في مجال الجاذبية الأرضية لكتاب كتلته 3kg عند سطح الأرض وعلى ارتفاع 2m عن سطح الأرض.

اعتبر أن $g = 10 m/s^2$

الحل/

نختار المستوى الإسناد الذي تعد الطاقة الكامنة التثاقلية عنده تساوي صفراً وليكن سطح الأرض أي عند $h = 0$ ثم نحسب الطاقة الكامنة في الموقعين المشار إليهما؟



الشكل (17)

الطاقة الكامنة عند مستوى الأرض (المستوى القياسي) (GPE_1) تعطى بـ :-

$$GPE_1 = mgh$$
$$GPE_1 = 3 \times 10 \times 0$$
$$GPE_1 = 0$$

أما الطاقة الكامنة (GPE_2) على ارتفاع 2m عن المستوى القياسي تعطى بـ :-

$$GPE_2 = mgh$$
$$GPE_2 = 3 \times 10 \times 2$$
$$GPE_2 = 60J$$

ثم نحسب التغير في الطاقة الكامنة للجسم ΔGPE عن المستوى الأفقي كالآتي:

$$\Delta GPE = GPE_2 - GPE_1$$
$$= 60 - 0$$
$$= 60J$$

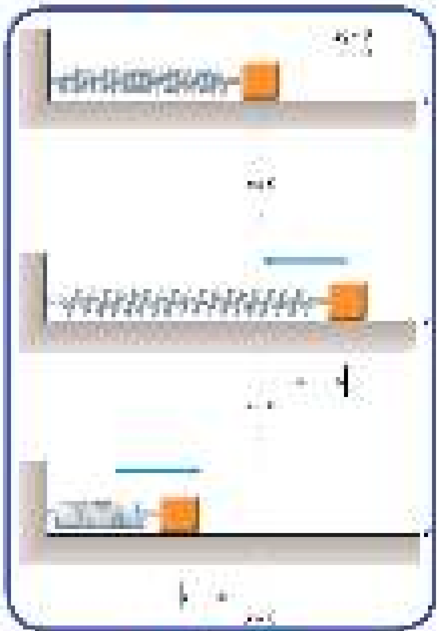
؟ سؤال

أعد حل المثال السابق على افتراض أن مستوى الإسناد على ارتفاع 2m وأثبت أن التغير في الطاقة الكامنة التثاقلية يساوي القيمة نفسها 60J وبذلك تحقق من أن التغير في الطاقة الكامنة لا يعتمد على اختيار مستوى الإسناد.

الطاقة الكامنة للمرونة Elastic Potential Energy

من الأمثلة المهمة على شغل تنجزه قوى متغيرة المقدار الشغل الذي تنجزه قوة النابض. ويبين الشكل نابضاً مهمل الكتلة موضوعاً على سطح أفقي أملس (مهمل الاحتكاك)، ربطت من طرفه بحائط شاقولي ومربوط من الطرف الآخر بكتلة (m)، فعند التأثير فيه بقوة تحدث له إزاحة على شكل استطالة أو انضغاط مقدارها (x)، فإن قوة تنشأ من النابض تساوي القوة الخارجية مقداراً وتعاكسها اتجاهاً.

وأن الطاقة الكامنة للمرونة (EPE) في هذه الحالة تعرف بالعلاقة الآتية:



الشكل (18)

Elastic potential Energy (EPE) = 1/2 [spring constant (K)] × (change in spring's length)(x^2)
$$EPE = \frac{1}{2}Kx^2$$

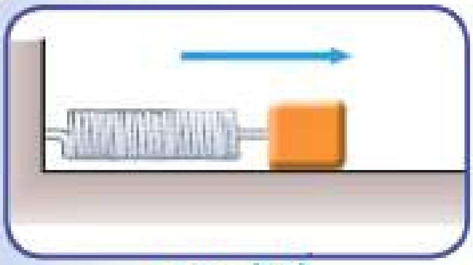
اذ ان :

K ثابت النابض ويقاس بوحدات N/m .

x مقدار التغير في طول النابض .

وان وحدات الطاقة الكامنة للمرونة هي الجول (Joule) .

مثال 7



الشكل (19)

نابض معدني ثابت القوة فيه 200N/m

ثبت احد طرفيه بجدار شاقولي و وصل طرفه الاخر بجسم كتلته 2kg موضوع على سطح افقي املس

لاحظ الشكل (19) كبس النابض ازاحة مقدارها 0.2m ما اقصى انطلاق يكتسبه الجسم عند ازالة القوة الكابسة عنه ؟

الحل/

Elastic Potential Energy (EPE) = Kinetic Energy (KE)

$$\Delta EPE = \Delta KE$$

$$\frac{1}{2}Kx^2 = \frac{1}{2}m\upsilon^2$$

$$\frac{1}{2}(200)(0.2)^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times \upsilon^2$$

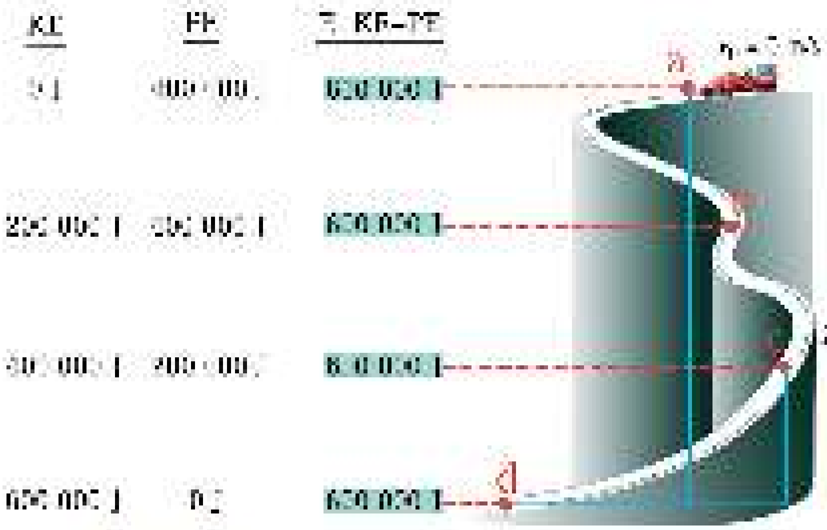
$$\upsilon^2 = 4$$

$\upsilon = 2m/s$ انطلاق الجسم

5 5 حفظ الطاقة الميكانيكية Conservation of Mechanical Energy

لقد تبين لنا أن الأجسام قد تمتلك طاقة كامنة أو طاقة حركية ، وقد تتساءل : هل يمكن للجسم أن يمتلك طاقة كامنة وطاقة حركية في الوقت نفسه ؟ وهل يمكن أن تتحول الطاقة الكامنة إلى طاقة حركية، أو بالعكس ؟ .

كي تتوصل إلى الإجابة تأمل الشكل (20) الذي يبين الطاقة التي يمتلكها جسم عند نقاط مختلفة في أثناء نزوله (بإهمال مقاومة الهواء والاحتكاك) ثم أجب عن الأسئلة التالية :



الشكل (20)

1 عند أي نقطة تكون للطاقة الكامنة قيمة عظمى ؟ ولماذا ؟

2 عند أي نقطة تكون للطاقة الحركية قيمة عظمى ؟ ولماذا ؟

3 كيف تصف التغير في الطاقة الكامنة والطاقة الحركية في أثناء حركة الجسم؟

4 جد حاصل جمع الطاقة الكامنة والطاقة الحركية عند كل نقطة ؟ ماذا تلاحظ؟ ماذا تمثل الإجابة ؟

تعد الحالة التي يبينها الشكل (20) مثالاً على حفظ الطاقة الميكانيكية (E_{mech}) ، أي أن الطاقة يمكن أن تتحول من شكل إلى آخر ، ولكن في أي عملية من عمليات تحول الطاقة يكون ما يتحول من أحد أشكال الطاقة مساوياً لما ينتج عن الأشكال الأخرى ، بحيث يبقى المقدار الكلي للطاقة ثابتاً ، أي أن :

Mechanical Energy (E_{mech}) = Potential Energy (PE) + Kinetic Energy (KE)

$$E_{mech} = PE + KE$$

ويسمى مجموع الطاقة الكامنة والطاقة الحركية لنظام محافظ في موقع ما ، بالطاقة الميكانيكية E_{mech} أي أن :

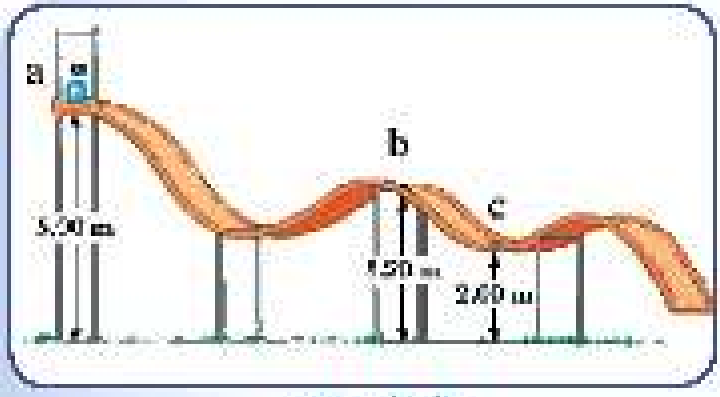
الطاقة الميكانيكية في الموقع الابتدائي = الطاقة الميكانيكية في الموقع النهائي

$(KE_i + PE_i)$ $\qquad\qquad$ $(KE_f + PE_f)$

وتسمى المعادلة أعلاه (قانون حفظ الطاقة الميكانيكية).

مثال 8

انزلقت كرة كتلتها 5kg من السكون من نقطة (a) على ممر منحني عديم الاحتكاك كما في الشكل (21). احسب سرعة الكرة عند النقطتين b و c علماً أن التعجيل الأرضي يساوي $10m/s^2$:



الشكل (21)

الحل/

نتخذ أولاً مستوى مرجعياً للارض عنده الطاقة الكامنة في مجال الجاذبية تساوي صفراً وهو مستوى سطح الارض. ولحساب سرعة الكرة عند النقطة b نطبق قانون حفظ الطاقة الميكانيكية بين الموقعين a و b .

الطاقة الميكانيكية في الموقع الابتدائي = الطاقة الميكانيكية في الموقع النهائي

$$KE_f + PE_f = KE_i + PE_i$$

$$(1/2)\, m\upsilon_b^2 + (m\, g\, h)_b = (1/2)\, m\upsilon_a^2 + (m\, g\, h)_a$$

$$(1/2) \times 5 \times \upsilon_b^2 + 5 \times 10 \times 3.2 = 0 + 5 \times 10 \times 5$$

$$2.5\upsilon_b^2 + 160 = 250 \Rightarrow \upsilon_b^2 = 36 \Rightarrow \upsilon_b = 6\ m/s$$

سرعة الكرة عند الموقع b تساوي 6 m/s أما السرعة عند النقطة C فنحسبها بتطبيق قانون حفظ الطاقة بين الموقعين b و C

$$KE_c + PE_c = KE_b + PE_b$$

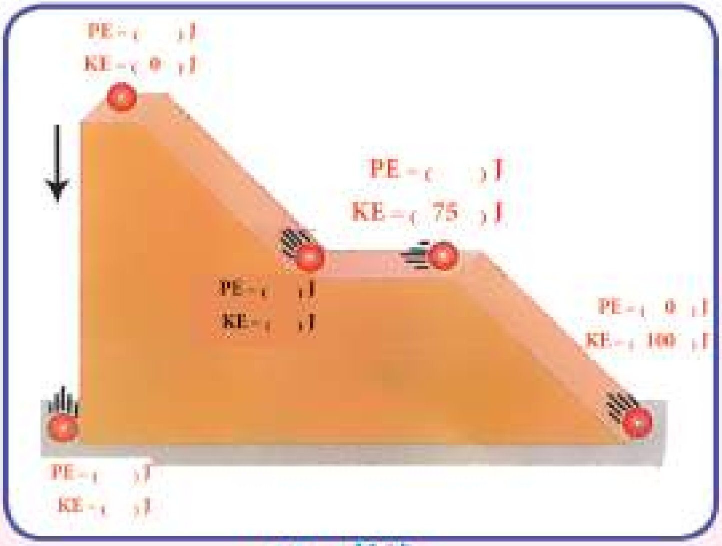
$$(1/2)\, m\upsilon_c^2 + (m\, g\, h)_c = (1/2)\, m\upsilon_b^2 + (m\, g\, h)_b$$

$$(1/2) \times 5 \times \upsilon_c^2 + 5 \times 10 \times 2 = (1/2) \times 5 \times (6)^2 + 5 \times 10 \times 3.2$$

سرعة الكرة عند النقطة C $\qquad$ $\upsilon_c = 7.746\ m/s$

؟ سؤال

يوضح الشكل (22) كرة موضوعة في اعلى سطح مائل (باهمال مقاومة الهواء والاحتكاك) املأ الفراغات في الشكل في الحالات الاتية :-
1- سقوط الكرة سقوطا حرا .
2- حركة الكرة على المستوي المائل .



الشكل (22)

5 - 6 الشغل المبذول بوساطة القوى غير المحافظة
Work done by Non conservative Forces

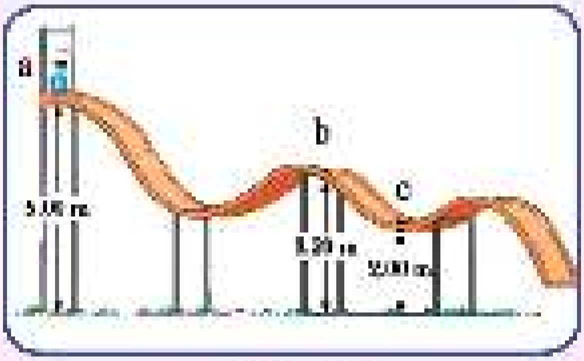
ان وجود قوى غير محافظة في نظام خاضع للجاذبية يسبب تغيرا في الطاقة الميكانيكية للنظام . وعلى هذا الاساس فان شغل القوى غير المحافظة يساوي التغير في الطاقة الميكانيكية للنظام وذلك على النحو الآتي :

Work done by $(W)_{nc}$ Nonconserative forces	=	Change in the $(E_f - E_i)$ Mechanical energy of the system

$$W_{nc} = E_f - E_i$$

إذ أن (W_{nc}) هي شغل القوى غير المحافظة فاذا كان شغل القوى غير المحافظة سالبا، كما هو الحال في قوى الاحتكاك ومقاومة الهواء، فان ذلك يسبب نقصانا في الطاقة الميكانيكية للنظام اما اذا كانت القوى غير المحافظة تبذل شغلا موجبا، كما هو الحال عند استعمال المحركات والالات تحصل زيادة في الطاقة الميكانيكية للنظام .

؟ سؤال



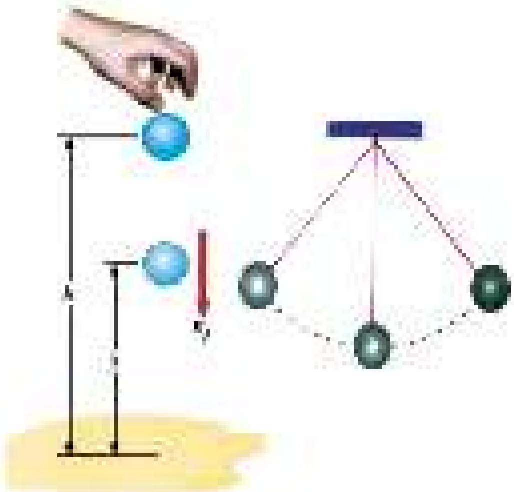
الشكل (23)

انزلقت كرة كتلتها 5kg من السكون عند النقطة (a) على المسار المنحني كما مبين في الشكل (23) . إذا علمت أن المسار مهمل الاحتكاك في الجزء من (a) إلى (b) وخشن من (b) إلى (c) جد ما يلي :-

1 - سرعة الكرة عند النقطة (b) .

2 - قوة الاحتكاك التي تتعرض لها الكرة في الجزء من (b) إلى (c) ، إذا علمت أنها توقفت عند النقطة (c) بعد قطعها مسافة 10m من النقطة (b) .

5 – 7 قانون حفظ الطاقة :-


الشكل (24)

تشكل الطاقة عنصراً مهماً في الحياة ، ونعرف أن الطاقة صوراً متعددة فمثلاً عند سقوط جسم باتجاه الأرض وحجراً مثلاً ، فإنه يملك طاقة كامنة موضوعة على الأرض طاقة حركية لاحظ الشكل (24) ولكن من الملاحظ أن الجسم يسكن بعد اصطدامه بالأرض ، أي تصبح طاقته الحركية صفراً فضلاً عن طاقته الكامنة

وفي حالة اختيار مستوى الإسناد هو الأرض ، فأين ذهبت الطاقة ؟ لكننا لو لاحظنا ، تولد صوتاً ونلاحظ حركة لعدة ثوانٍ . فنلاحظ أن الأرض قد سخنت قليلاً وفي النهاية سيتوقف . فأين ذهبت طاقته؟

وعلى هذا الأساس فإن ما يتحول أي شكل من أشكال الطاقة يكون مساوياً لما ينتج عن الأشكال الأخرى ، بمعنى أن الطاقة تكون دائماً محفوظة ، وهذه العملية تستند على واحد من أهم القوانين في الطبيعة ألا وهو قانون حفظ الطاقة الذي ينص :-

> الطاقة لا تفنى ولا تستحدث ولكن يمكن تحويلها من صورة إلى أخرى
> أي أن المجموع الكلي للطاقة في الكون يبقى ثابتاً .

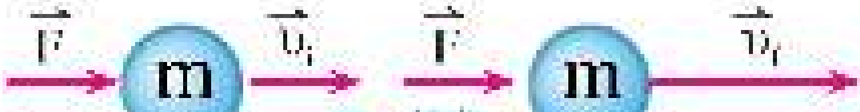
5 – 8 الزخم الخطي والدفع Linear Momentum and Impulse

تسمى الكمية الناتجة عن حاصل ضرب كتلة الجسم و سرعته ، الزخم الخطي و يمثل له بالعلاقة الآتية:

Linear Momentum (P) = Mass (m) × Velocity ($\vec{v}$)
$\vec{P} = m\vec{v}$

و الزخم: هو كمية متجهة تكون دوماً باتجاه سرعة الجسم، وقد أطلق عليها العالم نيوتن اسم كمية الحركة (Quantity of motion) .

ويتوقف مقدار الزخم على كتلة الجسم وسرعته ، فلو ان سيارتين متساويتين في الكتلة وسرعة احداهما ضعف سرعة الاخرى ، فمن السهولة ايقاف السيارة ذات السرعة القليلة لان زخمها صغير وتكون من الصعب جدا ايقاف السيارة ذات السرعة الاكبر لان زخمها كبير ، ومن الجدير بالذكر ان زخم الجسم يتضاعف عندما تتضاعف كتلته ، ان وحدة قياس الزخم هي kg . m/sec . تصور جسماً متحركا كتلته m وتؤثر فيه قوة F لمدة زمنية معينة فتتغير سرعته من $\vec{v}_i$ الى $\vec{v}_f$ كما في الشكل (25).



الشكل (25)

وبما ان :-

$$\vec{a} = (\vec{v}_f - \vec{v}_i)/t$$
$$\vec{F} = m\vec{a}$$
$$\vec{F} = m(\vec{v}_f - \vec{v}_i)/t$$
$$\vec{F}t = m\vec{v}_f - m\vec{v}_i$$

($\vec{F} \times t$) يمثل كمية فيزيائية تسمى دفع القوة، ويعد الدفع مقياساً للقوة المؤثرة في جسم مضروبة بالمدة الزمنية التي تؤثر بها القوة في الجسم.

ومن الجدير بالذكر ان القوة $\vec{F}$ هي القوة المحصلة المؤثرة في جسم او نظام يتكون من جسيمات متعددة، ومنه نلاحظ ان الجسم اذا اثرت فيه قوة لمدة زمنية معينة، فان ذلك يؤدي الى تغير زخمه.

مثال 9

سيارة كتلتها (1200kg) احسب :

a) زخمها حينما تتحرك بسرعة (20m / s) شمالاً .

b) زخمها اذا توقفت عن الحركة ثم تحركت نحو الجنوب بسرعة (40m / s) .

c) التغير في زخم السيارة في الحالتين السابقتين .

الحل/

$$\text{Linear Momentum }(\vec{P}) = \text{Mass }(m) \times \text{Velocity }(\upsilon)$$

$$\vec{P} = m\vec{\upsilon}$$

الزخم شمالاً

$$a)\ P_i = m\,\upsilon_i = 1200 \times 20 = 24 \times 10^3\ kg.m/s$$

الزخم جنوباً

$$b)\ P_f = m\,\upsilon_f = 1200 \times 40 = 48 \times 10^3\ kg.m/s$$

$$c)\ \text{change in Momentum } P = \text{Final Momentum } p_f - \text{intial Momentum } P_i$$

$$\Delta\vec{P} = \vec{P}_f - \vec{P}_i$$

$$\Delta P = 48 \times 10^3 - 24 \times 10^3$$

$$\Delta P = 24 \times 10^3\ kg.m/s$$ التغير في الزخم جنوباً

مثال 10

اصطدمت سيارة كتلتها 1200kg و مقدار سرعتها 20m / s بشجرة وتوقفت بعد ان قطعت مسافة 1.5mبزمن قدره 0.15s جد مقدار القوة المتوسطة في إيقاف الشجرة للسيارة ؟

الشكل (25)

الحل/

$$\text{impulse }(\vec{F}t) = \text{change in momentum}(\vec{P})$$

$$\vec{F}.\,t = m\ (\vec{\upsilon}_f - \vec{\upsilon}_i)$$

$\upsilon_i = 20\ m/s$ لانها توقفت عن الحركة $\upsilon_f = 0\ m/s$

$$F \times 0.15 = 1200\ (0 - 20)$$

$$F = -24000\ /\ 0.15$$

$$F = -16 \times 10^4 N$$

وتمثل $\vec{F}$ القوة المتوسطة لإيقاف الشجرة للسيارة. وتدل الاشارة السالبة على ان القوة تؤثر باتجاه معاكس لإتجاه الحركة.

هل تعلم ؟

الشكل (26)

يلجأ مصممو السيارات الى التقليل من آثار الحوادث على راكبيها وذلك بجعل مدة تأثير القوة المؤثرة في الأجسام الموجودة فيها طويلة نسبياً. وتعمل الوسادة الهوائية (airbag) لاحظ الشكل (26) على تقليل تأثير القوة في الأجسام اثناء التصادم فتزداد المدة الزمنية اللازمة لإيقاف جسم السائق والركاب عن الحركة.

5 – 9 حفظ الزخم الخطي Conservation of linear Momentum

لقد عرفنا ان التغير في زخم نظام ما يساوي الدفع الذي يتلقاه بفعل محصلة القوى الخارجية في مدة تأثيرها . فاذا كانت محصلة القوى الخارجية تساوي صفراً ، بمعنى ان النظام معزول ميكانيكياً فيمكننا كتابة معادلة الزخم الخطي والدفع كما يأتي :

$$\text{impulse } \sum \vec{F}t = \text{change in momentum } (\vec{P})$$

أي ان الزخم قبل التصادم $(m\vec{v}_i)$ = الزخم بعد التصادم $(m'\vec{v}_f)$

اذ ان :

m' = الكتلة بعد التصادم

m = الكتلة قبل التصادم

$$\sum \vec{F}t = m'\vec{v}_f - m\vec{v}_i$$

$$\sum \vec{F} = 0$$

$$0 = m'\vec{v}_f - m\vec{v}_i$$

$$m'\vec{v}_f = m\vec{v}_i$$

تسمى المعادلة اعلاه قانون (حفظ الزخم الخطي) وينص على :-

اذا كانت محصلة القوى المؤثرة في النظام تساوي صفراً
فان الزخم الخطي الكلي للنظام يبقى محفوظاً .

مثال 11

شاحنة كتلتها $3 \times 10^4 kg$ متحركة بسرعة $10 m/s$ تصادمت مع سيارة كتلتها $1200 kg$ تتحرك في الاتجاه المضاد بسرعة $25 m/s$ فاذا التصقت السيارتان بعد التصادم بأية سرعة تتحرك المجموعة ؟

الحل/ نفرض ان سرعة المجموعة بعد التصادم = $\vec{v}_{total}$

وان كتلة المجموعة = $m_1 + m_2$

الزخم الكلي قبل التصادم = الزخم الكلي بعد التصادم

كتلة الشاحنة (m_1) × سرعة الشاحنة (v_1) + كتلة السيارة (m_2) × سرعة السيارة (v_2)

= كتلة المجموعة $(m_1 + m_2)$ × سرعة المجموعة (v_{total})

$$m_1 \times v_1 + m_2 \times v_2 = (m_1 + m_2) \times v_{total}$$

$$3 \times 10^4 (10) + 1200(-25) = (30000 + 1200) \times v_{total}$$

ان سرعة السيارة بالسالب لانها بعكس اتجاه حركة الشاحنة

$$v_{total} = (300000 - 30000) / 31200$$

$$= 270000 / 31200 = 8.65 m/s$$

مقدار سرعة المجموعة بعد التصادم مباشرة

Types of Collisions انواع التصادمات

هناك ثلاثة انواع من التصادمات هي :-

1- التصادم المرن التام Perfectly Elastic Collision

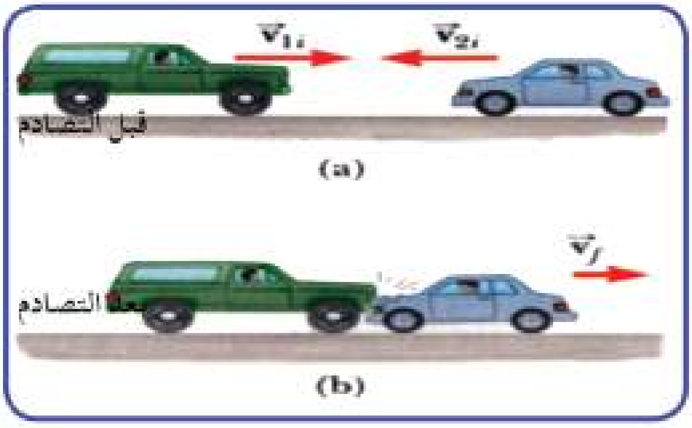
وهو التصادم الذي يتميز بان طاقته الحركية قبل التصادم تساوي الطاقة الحركية له بعد التصادم اي ان :

الطاقة الحركية قبل التصادم = الطاقة الحركية بعد التصادم

هذا النوع من التصادمات لا يصاحبه فقدان في الطاقة الحركية للنظام .

b- التصادم عديم المرونة (غير مرن كليا) Perfectly Inelastic Collision

ويمتاز هذا النوع من التصادمات بكون الطاقة الحركية للنظام غير محفوظة اذ يصاحبه نقص كبير في الطاقة الحركية ،ويمتاز بأن الجسمين المتصادمين يلتحمان دوماً بعد التصادم ، لاحظ الشكل(29) .



الشكل (29)

c- التصادم غير المرن Inelastic Collision

وفيه لاتلتحم الاجسام معا، بل تبقى منفصلة ويكون مصحوبا بنقص في الطاقة الحركية مثل تصادم كرات البولنك لاحظ شكل (30) .

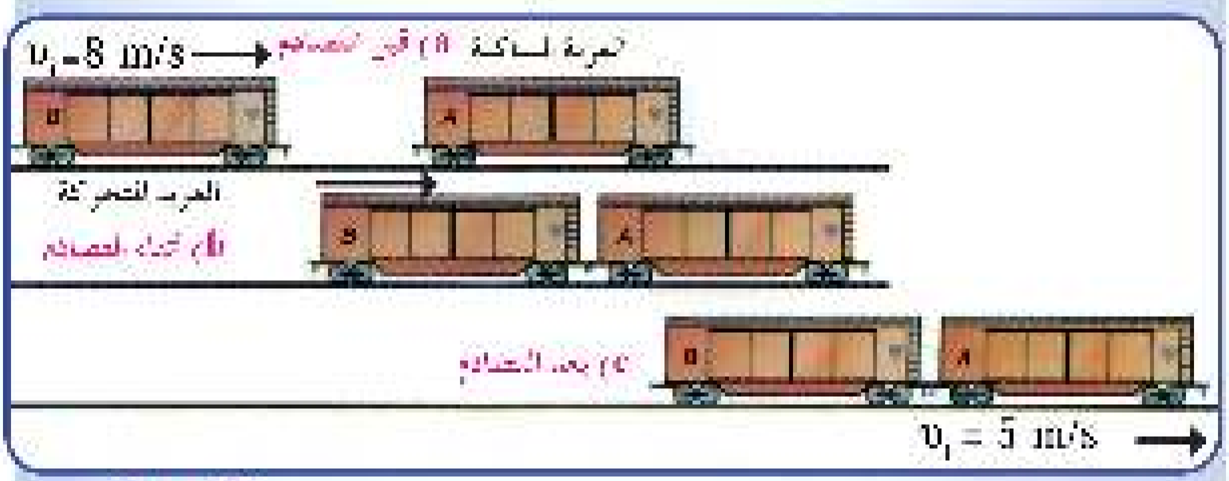
الشكل (30)

تذكر :

- الزخم الخطي للنظام محفوظا مهما كان نوع التصادم .
- تصنف التصادمات تبعا للتغير الحادث في الطاقة الحركية للنظام .

مثال 12

إذا كانت سكة قطار كتلتها $2.5\times10^4\ kg$ تتحرك بسرعة $8m/s$ كما في الشكل (31) اصطدمت بعربة ساكنة كتلتها $1.5\times10^4\ kg$ ، وتحركتا معاً بالاتجاه نفسه بسرعة $5m/s$ ، احسب التغير في الطاقة الحركية للنظام .



الشكل (31)

الحل /

$KE_f =$ الطاقة الحركية بعد التصادم

$KE_i =$ الطاقة الحركية قبل التصادم

التغير في الطاقة الحركية = الطاقة الحركية بعد التصادم − الطاقة الحركية قبل التصادم

(ΔKE) (KE_f) (KE_i)

$KE_i = 1/2\ m_1 v_i^2 + 1/2\ m_2 \times v_i^2$

$KE_i = 1/2 \times 2.5\times10^4 \times 8^2 + 0$

$KE_i = 80\times10^4\ J$ الطاقة الحركية قبل التصادم

$KE_f = 1/2\,(m_1 + m_2)\,v^2_{final}$ تعني السرعة النهائية المشتركة للقطارين v_{final}

$KE_f = 1/2\,(2.5\times10^4 + 1.5\times10^4)(5)^2$

$KE_f = 1/2\,(4\times10^4)\times5^2$

$KE_f = 50\times10^4\ J$ الطاقة الحركية بعد التصادم

$\Delta KE = KE_f - KE_i$ التغير في الطاقة الحركية للنظام

$= 50\times10^4 - 80\times10^4$

$\Delta KE = -30\times10^4\ J$ من ذلك نستنتج أن التصادم هنا غير مرن

أسئلة الفصل الخامس

س1/ اختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات التالية :

اعتبر $g = 10\ m/s^2$

1) صبي كتلته (40kg) يصعد سلماً إرتفاعه الشاقولي 5m في زمن 10s فان قدرته :-

a) 20 W .　　b) 200 W .

c) 0.8 W .　　d) 2×10^4 W .

2) تطبيقاً لقانون حفظ الطاقة فان الطاقة:

a) تستحدث ولا تفنى .　　b) تفنى ولا تستحدث

c) تفنى وتستحدث .　　d) لا تفنى ولا تستحدث

3) انجز جسم قدرة (1hp) عند الانطلاق الاني 3m/s فان مقدار اقصى قوة هي :

a) 248.7 N .　　b) 2238 N .

c) 2613 N .　　d) 3600 N .

4) إحدى الوحدات التالية ليست وحدة للقدرة

a) Joule-second .　　b) Watt .

c) N.m/s .　　d) hp .

5) لحفظ مركبة متحركة بانطلاق υ يتطلب قوة F ضد الاحتكاك فالقدرة التي تحتاجها

a) $F.\upsilon$.　　b) $\frac{1}{2} F\upsilon^2$

c) F/υ　　d) F/υ^2

6) جسم كتلته (1kg) يملك طاقة كامنة تثاقلية (1J) نسبة الى الارض عندما يكون ارتفاعه الشاقولي

a) 0.012 m　　b) 0.1m

c) 9.8 m　　d) 32 m

7) جسم وزنه (10N) يسقط من السكون من موضع ارتفاعه الشاقولي (2m) فوق سطح الارض فان مقدار سرعته لحظة اصطدامه بسطح الارض تكون : -

a) $400\ m/s$ b) $20\ m/s$
c) $10\ m/s$ d) $\sqrt{40}\ m/s$

8) الذي لا يتغير عندما يصطدم جسمان او اكثر هو

a) الزخم الخطي لكل منهم. b) الطاقة الحركية لكل منهم.
c) الزخم الخطي الكلي للاجسام. d) الطاقة الحركية الكلية للاجسام .

9) عندما يصطدم جسمان متساويان بالكتلة فالتغير بالزخم الكلي:

a) يعتمد على سرعتي الجسمين المتصادمين.
b) يعتمد على الزاوية التي يصطدم بها الجسمان.
c) يساوي صفر .
d) يعتمد على الدفع المعطى لكل جسم متصادم.

مسائل الفصل الخامس

س1 /

سقط جسم كتلته **2kg** من ارتفاع قدره **10m** على ارض رملية و استقر فيها بعد ان قطع **3cm** شاقوليا داخل الرمل ، ما متوسط القوة التي يؤثر بها الرمل على الجسم ؟ على فرض اهمال تاثير الهواء .

س2 /

انزلقت سيارة كتلتها **1250kg** فوصلت الى حالة السكون بعد ان قطعت مسافة **36m** ما مقدار قوة الاحتكاك بين اطاراتها المنزلقة الاربع و سطح الطريق اذا كان معامل الاحتكاك الانزلاقي **0.7** ؟ ما مقدار الشغل الذي بذلته قوة الاحتكاك على السيارة ؟

س3:

دفع صندوق شحن كتلته 80kg مسافة 3.5m الى أعلى سطح مائل، ويفترض انه مهمل الاحتكاك، يميل بزاوية قدرها 37° بالنسبة للأفق. ما مقدار الشغل المبذول في دفع صندوق الشحن؟ افرض ان صندوق الشحن يدفع بسرعة ثابتة المقدار.

س4:

ما مقدار القدرة بالواط اللازمة لدفع عربة تسوق محملة بقوة افقية قدرها 50N مسافة افقية مقدارها 20m خلال 5s ؟

س5:

قوة احتكاك مقدارها 20N تؤثر في صندوق كتلته 6kg ينزلق على ارضية افقية. ما مقدار القدرة اللازمة لسحب الصندوق على الارضية بسرعة ثابتة قدرها 0.6m/s ؟

س6:

يستطيع جرار سحب مقطورة بقوة ثابتة مقدارها 12000N عندما تكون سرعته 2.5m/s . ما قيمة قدرة الجرار بالواط (القدرة المصروفة) تحت هذه الشروط؟

س7:

بينما كان احد لاعبي كرة القدم كتلته 90kg يجري بسرعة قدرها 6m/s قام لاعب من الفريق الاخر بشده من الخلف فتوقف بعد ان قطع مسافة قدرها 1.8m .

(a) ما مقدار متوسط القوة التي سببت إيقاف اللاعب؟

(b) ما الزمن الذي استغرقه اللاعب ليتوقف تماما ؟

الديناميكا الحرارية (التحرك الحراري)

Thermodynamic

لقد درست سابقاً أن الحرارة صورة من صور الطاقة وأن هذه الطاقة تنتقل من جسم لآخر عندما يكون هناك اختلاف في درجتي حرارتي الجسمين. كما علمت أيضاً أن هناك طاقة أخرى يمكن أن تنتقل من جسم لآخر عندما يكون الجسمان في درجة حرارة واحدة، وهذه الطاقة هي الشغل وانت تصادف في حياتك كثيراً من التحولات التي توجد فيها طاقة متبادلة على صورة حرارة منسابة أو شغل منجز، وقد توجد الطاقة المتبادلة على الصورتين معاً.

فمثلاً عند تشغيلك جهاز تكييف السيارة أو البيت أو عند طهو وجبات الطعام، أن الحرارة المتولدة في محرك السيارة نتيجة تفاعل بين الأوكسجين وبخار البنزين في اسطوانات المحرك والغازات الساخنة الناتجة من الاحتراق التي تدفع المكابس مولدةً بذلك شغلاً ميكانيكياً يُستفاد منه في تحريك السيارة.

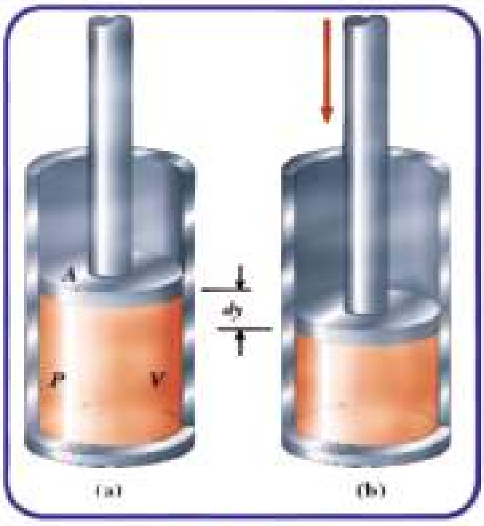
ودراسة مثل هذه التحولات التي تشتمل على حرارة وشغل هي موضوع مهم من فروع الفيزياء يسمى الديناميك الحرارية (التحرك الحراري) **Thermodynamic**.

6 - 1 النظام والوسط المحيط به

إن دراسة أي ظاهرة في فرع من فروع الفيزياء، يتطلب عزل منطقة محددة أو جزء من تلك المجموعة المادية عن الاوساط المحيطة بها، والجزء الذي يعزل هو ما يسمى بالنظام (**system**) أما الوسط المحيط به فانه يشمل كل الاجسام والعناصر التي لاتكون جزءاً من النظام. ففي المثال السابق يعتبر خليط بخار البنزين والهواء الموجود في محرك السيارة قبل حدوث الاحتراق نظام، أما الوسط المحيط به فيشمل الاسطوانة ويمكن للوسط المحيط أن يؤثر على النظام بطرائق عدة مثل القوى الميكانيكية والمصادر الحرارية والمجالات الكهربائية ... الخ. والشكل (1) يوضح حبات الذرة في قدر موضوعة على مصدر حراري، وهذا يمثل نظام ديناميكي حراري (**Thermodynamic System**) والعملية الديناميكية الحرارية الموضحة هنا تبين أن الحرارة قد أضيفت الى النظام، وإن النظام بدوره قد انجز شغلاً على محيطه الخارجي من خلال رفع غطاء الوعاء.

الشكل (1)

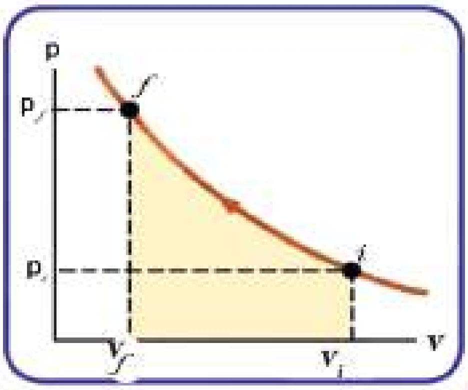
6 – 2 الشغل والحرارة



شكل (2)

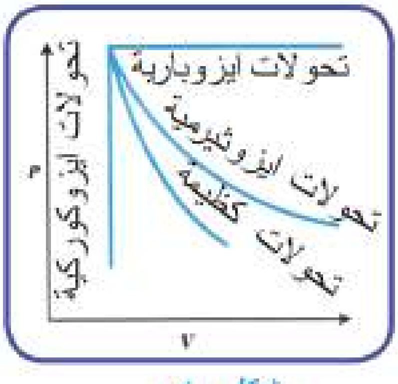
لنفرض ان لدينا كمية من الغاز المحصور (نظام ديناميكي حراري) ، وان هذا النظام نتيجة لعمليات حرارية مختلفة تنتقل من حالة لاخرى . لاحظ الشكل (2) .

اذا رسمنا العلاقة البيانية بين الضغط والحجم لهذا النظام لاحظ الشكل (3) ، فان المساحة المحصورة بين المنحني البياني ومحور الحجم (V) تساوي الشغل المبذول لانجاز هذا التغير .



شكل (3)

ومن الجدير بالذكر ان عملية انتقال نظام معين من حالة الى اخرى قد تتم وفق عمليات (اجراءات) **Processes** عدة منها : ..... لاحظ الشكل (4)



شكل (4)

1- عملية ثبوت الضغط (تسمى تحولات ايزوبارية **Isobaric**) :- وهي العملية التي ينتقل بها النظام من حالة لأخرى مع الاحتفاظ على ضغطه ثابتاً .

2- عملية ثبوت الحجم (تسمى تحولات ايزوكوركية **Isochoric**) : - وهي العملية التي ينتقل بها النظام من حالة لأخرى مع بقاء الحجم ثابت .

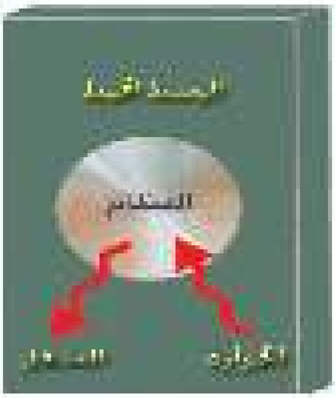
3- عملية ثبوت درجة الحرارة (تسمى تحولات ايزوثيرمية **Isothermal**) :- وهي العملية التي ينتقل بها النظام من حالة لاخرى مع الأبقاء على درجة حرارته ثابتة .

4- عملية عدم انتقال طاقة حرارية من و الى النظام (تسمى تحولات كظيمة **Adiabatic**) :- وهي العملية التي لا يصاحبها إنتقال حرارة من أو الى النظام (اي من غير تبادل حراري) .

3 - 6 القانون الأول للداينميكا الحرارية First Law of Thermodynamics

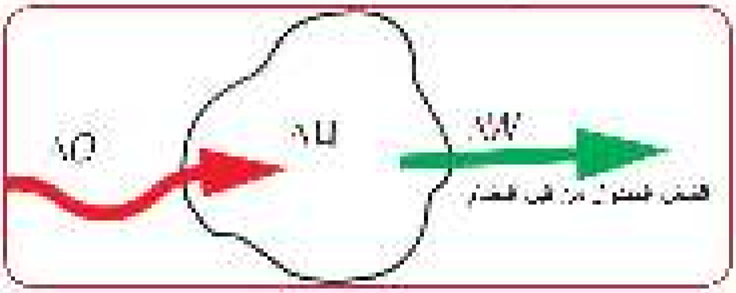
يعبّر هذا القانون عن العلاقة بين الشغل والحرارة . إذ أن المعلوم تجريبياً أنه كلّما تحول الشغل إلى حرارة أو تحولت الحرارة إلى شغل ، فإن هناك تناسب بسيط بين الشغل والحرارة، ويسمى ثابت التناسب بالمكافئ الميكانيكي الحراري ومقداره يساوي 4.2 Joule / Cal وقد كان العالم جول هو أول من وجد هذا الثابت . وحسب قانون حفظ الطاقة فإن مجموع الطاقة في أي نظام معزول يبقى ثابتاً مهما كانت التحولات في أشكال الطاقة . وفي عملية تحول الشغل إلى حرارة فإن قانون حفظ الطاقة هو ما يعرف بالقانون الأول للداينميكا الحرارية .

فإذا امتص نظام ما كمية من الحرارة ΔQ لاحظ الشكل (5a) وكان الشغل المنجز بوساطة هذا النظام هو ΔW لذا فإن قانون حفظ الطاقة ينص على أن الفرق بين كمية الحرارة الممتصة بوساطة النظام والشغل المنجز بوساطته يساوي مقدار الزيادة في الطاقة الداخلية للنظام.



شكل (5a)

$$\boxed{\Delta u = \Delta Q - \Delta W}$$



ويمكن كتابة هذا القانون بالصيغة الآتية :-

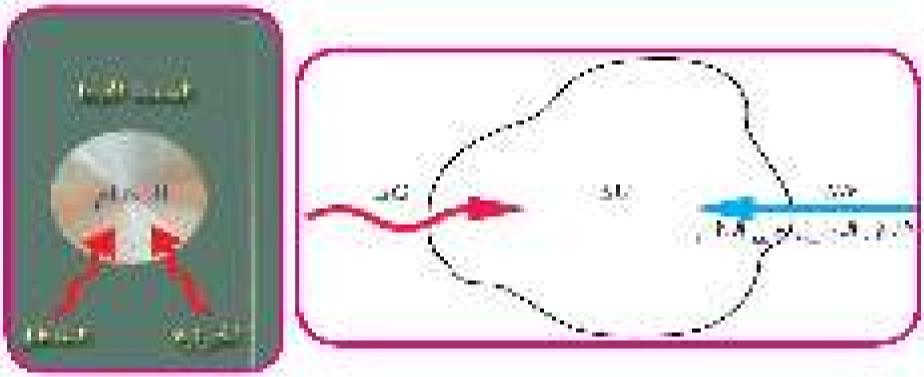
عندما ينجز شغل على نظام من محيطه عند درجة حرارة مختلفة فإن الطاقة المنتقلة تساوي الفرق بين تغير الطاقة الداخلية والشغل المنجز وتسمى هذه الطاقة المنتقلة بالحرارة ويرمز لها بالرمز ΔQ .

لذلك يكون :

القانون الأول للداينميكا الحرارية $\Delta Q = \Delta W + \Delta U$ حيث ΔU تمثل الزيادة في الطاقة الكلية للنظام (الطاقة الداخلية للنظام) والتي تساوي مجموع كل من الطاقات الحركية والكامنة للنظام . وعند استخدام هذا القانون يجب أن نتذكر أن :

1- ΔQ تعتبر موجبة إذا ما أضيفت حرارة إلى النظام لاحظ الشكل (5) وتعتبر ΔQ سالبة عند انتقال الحرارة إلى خارج النظام .

2- ΔW يعتبر موجباً عندما يتم إنجاز شغل بوساطة النظام على الوسط المحيط به (مثل الشغل المنجز عند تمدد الغاز ، المتمثل بالطاقة التي تركت النظام)، ويعتبر ΔW سالباً عندما ينجز شغلاً على النظام من قبل محيطه ممثلاً بالطاقة الداخلة للنظام لاحظ الشكل (5b).



$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

شكل (5b)

6-1 تطبيقات قانون الديناميكا الحرارية الأول

شكل (6)

افترض نظام حراري عبارة عن غاز محصور يفصله عن محيطه الخارجي اسطوانة مزودة بمكبس قابل للحركة لاحظ الشكل (6) ولحساب شغل هذا النظام نجري الآتي :

القوة المسلطة على المكبس تعطى بـ : $F = P \times A$

وان الشغل المنجز يساوي :

$$W = (\text{force}) \times (\text{displacement})$$

$$W = F\,\Delta x = PA\,\Delta x$$

$A\Delta x$ تمثل الزيادة في حجم الغاز وتساوي ΔV ، أي أن :

الشغل المبذول من قبل الغاز:

$$\Delta W = P\,\Delta V$$

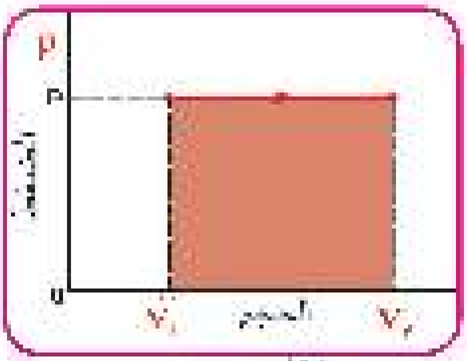
الشغل المبذول على الغاز:

$$\Delta W = -P\,\Delta V$$

ولحساب شغل النظام في العمليات الآتية :

1- الشغل المبذول عند ضغط ثابت (العملية الايزوبارية). لاحظ الشكل (7a) في هذه الحالة فإن:

$$\Delta W = P\,\Delta V$$



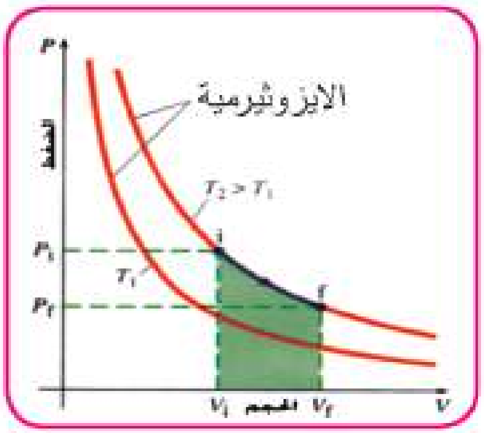
شكل (7a)

2- الشغل المبذول عند درجة حرارة ثابتة (العملية الايزوثيرمية) شكل (7b) في هذه الحالة فان :

$$W = P_i V_i \ln (V_f / V_i)$$

ومن قانون بويل $P_i V_i = P_f V_f$

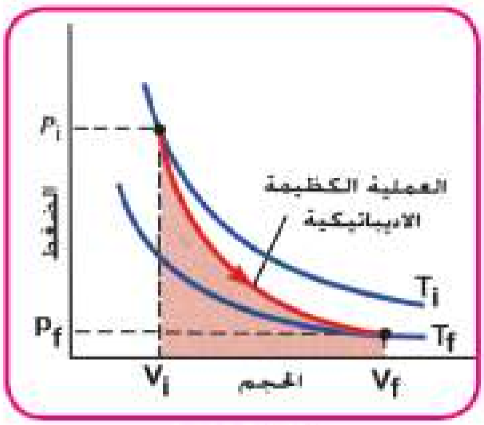
$$W = P_i V_i \ln (P_i / P_f)$$



شكل (7b)

3- الشغل المبذول في العملية الكظيمة الاديباتيكية (لا يوجد تبادل حراري بين الغاز و الوسط المحيط به) حيث تتم العملية بسرعة كبيرة نسبياً وفي هذه الحالة تكون: $\Delta W = -\Delta U$

لاحظ الشكل (7c) .



شكل (7c)

مثال 1

اذا افترضنا ان حجم رئتي الانسان يزداد بمقدار $500 cm^3$ عند عملية الشهيق الواحدة . احسب الشغل المبذول على الرئتين خلال تلك العملية معتبرا الضغط داخل الرئتين يبقى ثابتا ويساوي الضغط الجوي $10^5 N/m^2$

الحل /

بما أن الشغل المبذول عند ضغط ثابت (عملية أيزوبارية) فأن

$$\Delta W = P \, \Delta V$$

$$\Delta W = P (V_f - V_i)$$

$$= 10^5 \times 500 \times 10^{-6}$$

الشغل المبذول $\Delta W = 50 J$

مثال 2

تمدد هواء محصور في اسطوانة ذات مكبس حجمه $0.2m^3$ وضغطه $10^6\ N/m^2$ بحيث اصبح حجمه ($0.6m^3$)، فاذا ثبتت درجة حرارته خلال هذه العملية عند ($T = 300K$)، فاحسب الشغل المبذول مع العلم أن $Ln\ x = 2.303 \log x$.

الحل/

العملية تمت عند درجة حرارة ثابتة وهذا يعني انها عملية ايزوثيرمية .

وبذلك سنطبق العلاقة الآتية :

$$\Delta W = P_1 V_1 \ln (V_2 / V_1)$$

$$= 10^6 \times 0.2 \times \ln (0.6/0.2)$$

$$= 0.2 \times 10^6 \times 2.303 \log \left(\frac{0.6}{0.2}\right)$$

$$\Delta W = 0.4606 \times 10^6 \log_{10} 3 \Rightarrow W = 0.46062 \times 10^6 \times 0.47$$

$$\Delta W = 2.19722 \times 10^3\ J$$

مثال 3

الشكل (8) يوضح نظام مع الوسط المحيط به في الشكل (a)، وقد زود النظام بمقدار $1500J$ من الحرارة من الوسط المحيط به وكان الشغل المبذول بوساطة النظام يساوي $2200J$. وفي الشكل (b) فان النظام قد حصل على $1500J$ وكان الشغل المبذول على النظام بوساطة محيطه يساوي $2200J$. احسب التغير في الطاقة الداخلية للنظام ΔU في كل حالة .

شكل (8a)

شكل (8b)

الحل /

في حالة الشكل (a) فان الطاقة الداخلية للنظام (ΔU) تعطى بالعلاقة الآتية :

$$\Delta u = \Delta Q - \Delta W$$

الشغل المنجز ΔW موجباً لأنه تم إنجاز الشغل بوساطة النظام على الوسط المحيط به

$$\Delta u = 1500J - (2200J)$$

الطاقة الداخلية للنظام $\Delta u = -700J$

في حالة الشكل (b) فإن الطاقة الداخلية للنظام (ΔU) تعطى بالعلاقة الآتية :

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W$$

الشغل المنجز ΔW يعتبر سالباً لأنه تم إنجاز شغل على النظام .

$$\therefore \Delta U = (1500J) - (-2200J)$$

$$\Delta U = +3700J$$

سؤال ؟

املأ الفراغات الموجودة في الجدول أدناه بكتابة (− , + , 0) لكل حالة مثبتة وأيضاً لكل نظام مؤشر

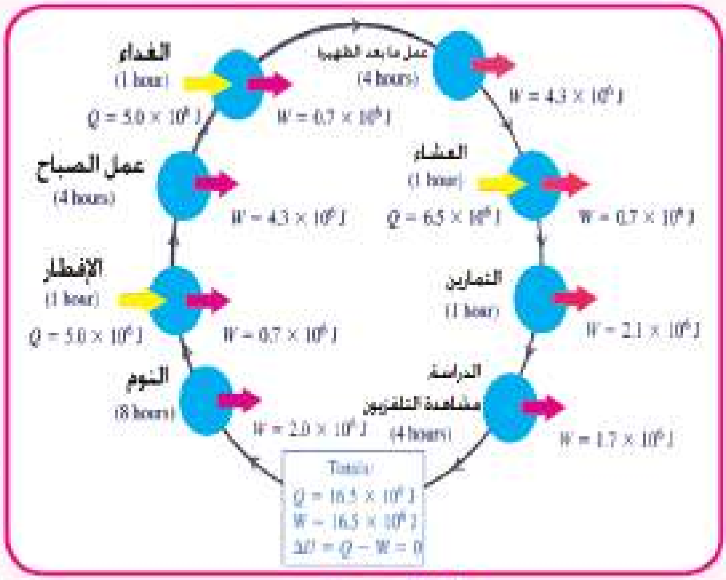
	الحالة (Situation)	النظام (System)	الطاقة الحرارية ΔQ	الشغل المبذول ΔW	الطاقة الداخلية ΔU
a	نفخ سريع لإطار دراجة هوائية	هواء موجود في المضخة			
b	ماء بدرجة حرارة الغرفة موضوع على موقد ساخن	ماء موضوع في قدر			
c	هواء يتسرب بسرعة خارج بالونة	هواء موجود داخل بالونة			

هل تعلم ؟

في كل يوم ، فان جسمك عبارة عن نظام ديناميكي حراري ، حيث تضاف الحرارة ΔQ من خلال اخذ الطعام وجسمك يقوم بالشغل من خلال التنفس والمشي وكل الفعاليات الاخرى .

لاحظ الشكل (9) وعند نهاية اليوم فان : $\Delta Q = \Delta W$

وبهذا يكون مجموع الطاقة الداخلية تساوي صفراً $(\Delta U = 0)$.

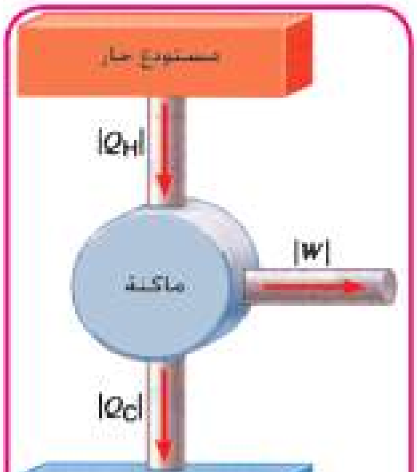


الشكل (9)

5 - 6 ماكنة حرارية Heat Engine

جهاز يقوم بتحويل جزء من الطاقة الحرارية الى شغل ميكانيكي وذلك نتيجة إنتقال الحرارة الى هذا الجهاز من مصدر حراري (مستودع حراري) ذي درجة حرارة عالية (T_H) ونقله الحرارة المتبقية الى مستودع حراري ذي درجة حرارة منخفضة (T_C) لاحظ الشكل (10) .

وان كفاءة الماكنة الحرارية تعطى كنسبة مئوية بالعلاقة الاتية :



الشكل (10)

$$\text{Efficiency } (\eta) = \frac{\text{The work done by the engine}}{\text{The Energy supplied to the engine}} \times 100\%$$

$$\eta = (W / Q_H) \times 100\%$$

وبما أن :-

$$W = Q_H - Q_C$$

$$\therefore \ \eta = \frac{Q_H - Q_C}{Q_H} \times 100\%$$

مثال 4

ماكنة حرارية تستمد 1200 J من الحرارة من مصدر حراري درجة حرارته أعلى (Q_H) في كل دورة وتنجز شغلاً مقداره 400 J في كل دورة :

a) إحسب كفاءة الماكنة .

b) إحسب كمية الحرارة التي تنفذ الى الخارج (Q_L) في كل دورة .

الحل/

a)

$Q_H = 1200\ J$

$W = 400\ J$

$$\eta = \frac{W}{Q_H} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{400\ J}{1200\ J} \times 100\% = 33\%$$

b)

$W = Q_H - Q_L$

$Q_L = Q_H - W$

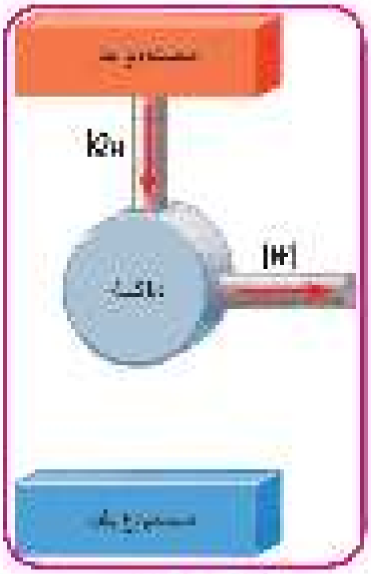
$= 1200\ J - 400\ J$

$Q_L = 800\ J$

6 - 6 القانون الثاني في الثرموداينمك الحرارية - Second Law of Thermodynamic

لعلك لاحظت عزيزي الطالب أن القانون الأول في الثرموداينمك الحرارية يعتبر أحد أشكال قانون حفظ الطاقة ولكنه لا يحدد إتجاه إنتقال الطاقة، فمثلاً لو تركت كوباً من الآيس كريم أو قنينة باردة من العصير لفترة زمنية في الجو الحار فإنهما لا يصبحان أكثر برودة .... وهذا أمر طبيعي ولعلك تعلل ذلك لماذا لايحدث الإجراء المعاكس وهو أنهما يصبحان أكثر برودة ولا يتعارض هذا الإجراء المعاكس مع قانون حفظ الطاقة .

وللتوضيح ما جاء أعلاه فإن القانون الثاني للثرموداينمك الحرارية يحدد إتجاه عمليات إنتقال الطاقة (الحرارة) وهناك صيغتان لهذا القانون وجميعها متكافئة .

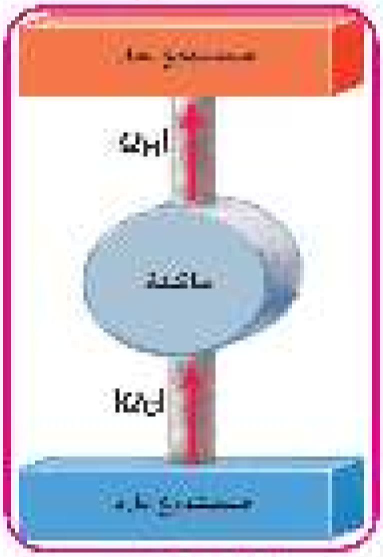


الشكل (11)

1- صيغة كلفن – بلانك :-

من المستحيل بناء مكنة حرارية تعمل بحيث تمتص طاقة حرارية من مستودع حراري واحد وتحولها كلياً الى شغل ميكانيكي .

لاحظ الشكل (11) أي أنه لكي تنتج المكنة الحرارية شغلاً يجب أن تكون مستودعان حراريان مختلفان في درجة الحرارة .



الشكل (12)

2- صيغة كلاوزيوس :-

من المستحيل بناء مكنة حرارية تعمل بحيث تمتص الحرارة من مستودع حراري ذي درجة حرارة منخفضة ، وتنقلها الى مستودع آخر ذي درجة حرارة أعلى دون الحاجة الى بذل شغلاً ميكانيكياً.

لاحظ الشكل (12) .

أسئلة الفصل الخامس

س1/ أختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات التالية :-

1 - ماكنة حرارية تعمل وسطاً كمية من الحرارة داخلة اليها عند درجة حرارة معينة وتعمل على:

a) تحويلها جميعاً الى شغل .

b) تحول قسماً منها الى شغل وتطرح المتبقي عند درجة حرارة أوطأ .

c) تحول قسماً منها الى شغل وتطرح المتبقي عند درجة الحرارة نفسها .

d) تحول جزءاً منها الى شغل وتطرح الباقي عند درجة حرارة أعلى .

2 - الاتجاه الطبيعي لسريان الحراري المنقول من والى النظام يكون من الخزان الحراري ذو درجة الحرارة الاعلى (T_H) الى الخزان الحراري ذو درجة الحرارة الاوطأ (T_L) دون الأخذ بنظر الاعتبار كمية الحرارة التي يحتويها كل خزان. هذه الحقيقة تمثل :-

a) القانون الاول للثرموداينمك الحرارية b) القانون الثاني للثرموداينمك الحرارية

c) قانون حفظ الطاقة d) قانون حفظ الزخم الخطي

3 - العملية الاديباتيكية (الكظيمة) في النظام هي واحدة من العمليات التي تكون فيها:

a) الحرارة لا تدخل ولا تخرج من النظام.

b) النظام لا ينجز شغلاً على الوسط ولا شغل ينجز عليه .

c) درجة حرارة النظام تبقى ثابتة .

d) حجم النظام يبقى ثابتاً .

4. ماكنة حرارية عديمة الاحتكاك يمكن ان تكون كفاءتها 100% فقط عندما تكون درجة حرارة الخروج (T_L) .

a) مساوية الى درجة حرارة الدخول (T_H) .

b) اقل من درجة حرارة الدخول (T_H) .

c) تساوي $0°C$.

d) تساوي $0\ K$.

مسائل

س1/ تمدد نظام مكون من غاز محصور في اسطوانة مكبس من حجم قدره $0.02m^3$ وضغطه $5 \times 10^5 Pa$ الى حجم قدره $0.022m^3$ عند الضغط نفسه ، جد الشغل الذي ينجزه النظام ؟

س2/ إناء معزول به غاز محصور فاذا كان الشغل الخارجي المبذول على الغاز يساوي $135\ J$ جد مقدار التغير الحاصل في الطاقة الداخلية للنظام .

س3/ ماكنة حرارية تأخذ $2 \times 10^3\ J$ من الحرارة من المستودع الأعلى درجة حرارة وتعطي $1.5 \times 10^3\ J$ من الحرارة الى المستودع الأقل درجة حرارة ، اوجد كفاءة الماكنة .

س4/ ماكنة حرارية تستقبل كمية من الحرارة تساوي $3000KJ$ من مصدر حراري درجة حرارته عالية وتطرد (تلفظ) كمية من الحرارة تبلغ $900KJ$ الى مستودع حراري درجة حرارته واطئة.

a) ما مقدار الشغل الناتج عن الماكنة ؟

b) ما كفاءة الماكنة الحرارية ؟

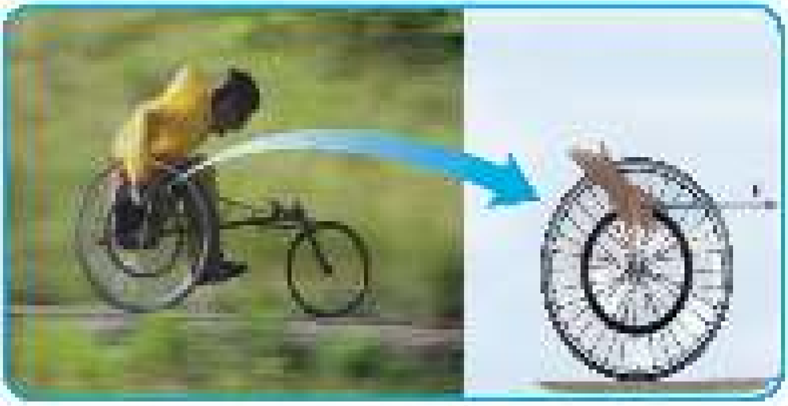
س5/ اثناء إشتغال ماكنة حرارية معينة كانت الطاقة الداخلية تنقص بمقدار $400\ J$ في حين تنجز شغلاً مقداره $250\ J$. احسب صافي الحرارة ΔQ .

الفصل 7

الحركة الدائرية والدورانية
Circular and Rotational Motion

7 - 1 الحركة الدائرية :-

عند دوران جسم جاسئ (وهو جسم غير قابل للتشوه والتشكل بتأثير القوى والعزوم الخارجية) حول محور ثابت فإن أي جزء فيه يبعد بعد معين عن محور الدوران ينتقل من حركة هذا الجسم أما حركة دائرية مثل حركة فوهة إطار الهواء في عجلة الدراجة لاحظ الشكل (1) .

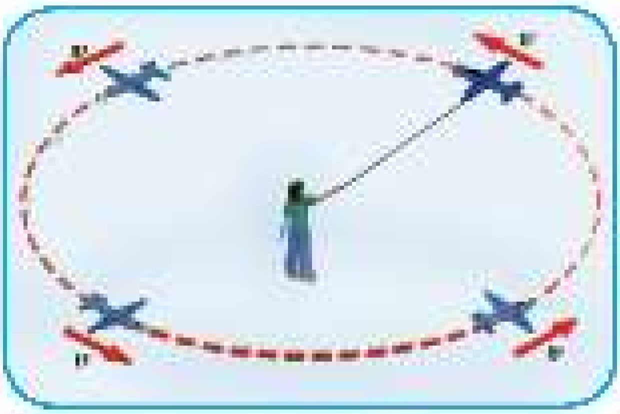


الشكل (1)

وحركة الشخص الجالس في دولاب الهواء الذي يدور بمستوى شاقولي الشكل (2) .

الشكل (2)

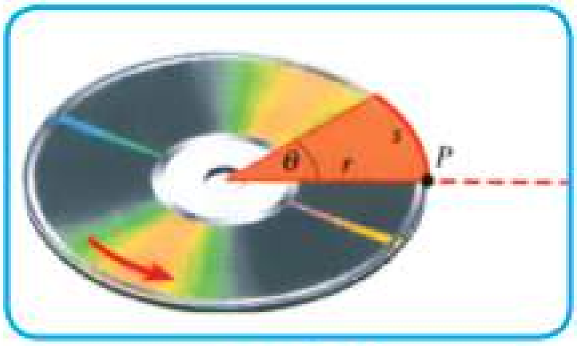
في حين الشكل (3) يوضح حركة الطائرة على مسار دائري بمستوى أفقي .



الشكل (3)

2 - 7 الإزاحة الزاوية والسرعة الزاوية
Angular displacement and Angular Velocity

نجد صعوبة في وصف الحركة الدائرية بالاعتماد فقط على الكميات الخطية التي وردت في الفصل الثاني من هذا الكتاب ، لأن اتجاه حركة الجسم في الحركة الدائرية يتغير باستمرار لذلك يتم وصف الحركة الدائرية بدلالة زاوية دوران الجسيم (الإزاحة الزاوية) وهذا يعني ان كل نقطة من نقاط الجسم الجاسئ الذي يدور حول محور ثابت (باستثناء النقاط الواقعة على محور الدوران) . تدور بالزوايا نفسها في المدة الزمنية نفسها فالكميات الثلاث المهمة التي مرت بنا في الحركة الخطية [الازاحة الخطية $\Delta\vec{x}$، السرعة الخطية $(\vec{\upsilon})$ والتعجيل الخطي $(\vec{a})$] تناظرها في الحركة الزاوية كميات ثلاث [الازاحة الزاوية $(\Delta\vec{\theta})$ ، السرعة الزاوية $(\vec{\omega})$ والتعجيل الزاوي $\vec{\alpha}$] .



الشكل (4)

ولتحليل هذه الحركة يتطلب اختيار خط إسناد ثابت **reference line** لاحظ الشكل (4) فأذا فرضنا ان موقع الجسيم هو النقطة التي يمثلها الخط الاحمر عند اللحظة $(t = 0)$ وبعد مدة زمنية Δt ينتقل الخط الأحمر إلى موقع اخر وفي هذه المدة يدور الخط الاحمر بإزاحة زاوية θ بالنسبة الى خط الاسناد بينما يقطع الجسيم مسافة مقدارها (S) على قوس الدائرة التي تمثل طول القوس المقطوع هذا الشكل أن الزاوية θ هي ازاحة زاوية وان (S) تمثل طول قوس الدائرة التي نصف قطرها (r) فيكون :

فتكون الإزاحة الزاوية = طول القوس \ نصف القطر

اي ان
$$\theta = \frac{S}{r}$$

عندما يدور الجسيم دورة كاملة فان طول المسار (S) يساوي محيط الدائرة $(2\pi r)$ والازاحة الزاوية :

$$\boxed{\theta = \frac{S}{r} \quad , \quad \theta = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi\,(\text{rad})}$$

أي ان قياس θ خلال دورة كاملة تساوي $2\pi\,(\text{radian})$.

7 - 3 العلاقة بين الانطلاق الخطي والانطلاق الزاوي

بما ان الانطلاق الخطي المتوسط هو المعدل الزمني للتغير في المسافة الخطية وان :

$$\upsilon_{avg} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

بما ان: $\Delta S = r\,\Delta\theta$

$$\upsilon_{avg} = r\left|\frac{\Delta\theta}{\Delta t}\right|$$

بما ان الانطلاق الزاوي المتوسط هو المعدل الزمني للتغير في مقدار الإزاحة الزاوية

إي ان :-

$$\omega_{avg} = \left|\frac{\Delta\theta}{\Delta t}\right|$$

فتحصل على

$$\upsilon_{avg} = r \times \omega_{avg}$$

او

$$\boxed{\upsilon = r \times \omega}$$

إي أن :

الانطلاق الخطي للجسيم = بعد الجسيم عن مركز الدوران × الانطلاق الزاوي للجسيم

وعندما يدور الجسيم دورة كاملة فان الانطلاق الخطي يساوي محيط الدائرة مقسوماً على زمن الدورة الواحدة (T) اي ان :-

$$\upsilon = \frac{2\pi r}{T}$$

فيكون :-

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

وعندئذ نحصل على

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

وبما ان التردد f يساوي (1\ الزمن الدوري T) أي ان :- $f = \frac{1}{T}$

$$\therefore \omega = 2\pi f$$

تذكر

1 - اذا كانت السرعة الزاوية ω مقدرة بـ rev/s فتسمى بتردد الدوران (f)

2 - اذا كانت السرعة الزاوية ω مقدرة بـ rad/s فتسمى بالتردد الزاوي ω .

مثال 1 قرص يدور بسرعة زاوية (5400 rpm) احسب :

a/ التردد الزاوي وزمن الدورة الواحدة للقرص .

b/ اذاكان نصف قطر القرص(28cm) فماهو الانطلاق الخطي لجسيم يقع على محيط القرص

الحل /

عبارة (rpm): هي مختصر **revolution per minute** تعني (دورة /دقيقة).

a- نحول السرعة الزاوية من (rpm)الى (rev/s)

$$\omega = \frac{5400\ \text{revolution}}{\text{minute}} \times \frac{1\text{minute}}{60\text{second}}$$

$$\omega = \frac{5400\ \text{revolution}}{60\text{second}} = 90\,\frac{\text{rev}}{\text{s}}$$

(تردد الدوران (f) يقدر بوحدة (هرتز Hz) أي ($\frac{\text{rev}}{\text{s}}$)

وان زمن الدورة الواحدة (T) يعطى بـ :-

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

$$90=\frac{1}{T}$$

$$\therefore\ T=\frac{1}{90}\,\text{s}$$

b- لحساب الانطلاق الخطي للجسيم عند الحافة لدينا اولاً الانطلاق الزاوي (ω) :-

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = 2\pi \times 90$$

$$\omega = 180\pi \ \ \text{rad/s}$$

وبما ان :-

$$\upsilon = \omega r$$

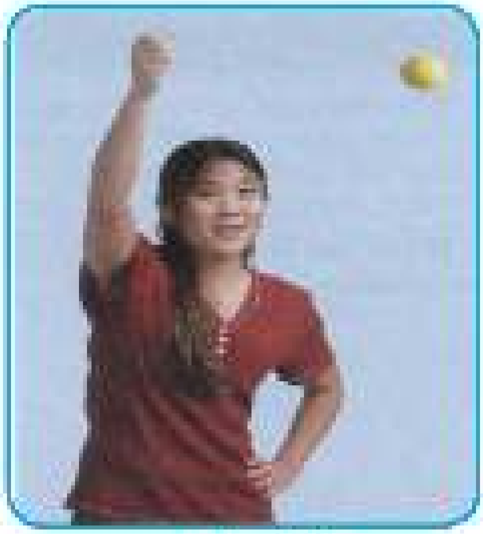
$$\upsilon=180\pi \times 0.28$$

$$\upsilon=180 \times \frac{22}{7} \times 0.28$$

$$\upsilon = 180 \times 0.88$$

$$\upsilon=158.4\ \text{m/s}$$ مقدار الإنطلاق

7 - 4 التعجيل المركزي والقوة المركزية :-

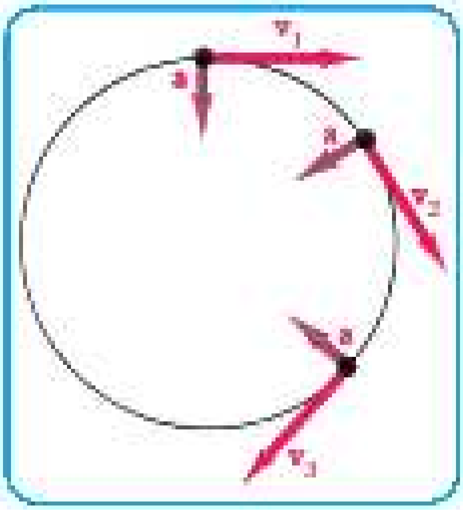


الشكل (5)

لو دورت كرة صغيرة مربوطة بأحد طرفي خيط عبر خلال أنبوبة بمسار دائري بانطلاق ثابت وبمستوى أفقي (يهمل تأثير الجاذبية الأرضية في الكرة لكي يقع الخيط في مستوى الدائرة) لاحظ الشكل (5).

نلاحظ إن اتجاه السرعة المماسية الآنية للكرة يتغير باستمرار في أثناء حركتها ونتيجة لهذا التغير في اتجاه السرعة المماسية بمعدل زمني لذا فهي تتحرك بتعجيل يسمى بالتعجيل المركزي ويرمز له (a_c) وعليه فإن التعجيل المركزي هو المعدل الزمني لتغير السرعة المماسية يكون مقداره ثابت ويتجه نحو مركز الدائرة وعمودياً على متجه السرعة المماسية الآنية. لاحظ الشكل (6a) فيكون :

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$



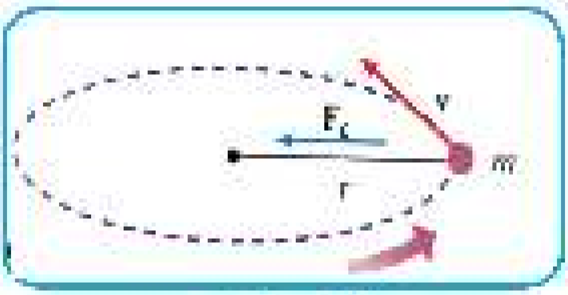
الشكل (6a)

وبما أن كل جسم متحرك يمتلك قصوراً ذاتياً يحاول أن يحافظ على حركته بخط مستقيم ، ولكي يتحرك الجسم على مسار دائري بانطلاق ثابت لابد من تأثير محصلة قوى خارجية عمودية على متجه سرعته الآنية لكي تغير اتجاه سرعته المماسية ، ففي هذه الحالة تكون قوة الشد في الخيط (T) هي القوة التي تعمل على تغير اتجاه السرعة المماسية للكرة فتبقيها في مسارها الدائري وطبقاً للقانون الثاني لنيوتن فإن القوة المركزية F_c تعطى بالعلاقة :

$$F_c = m a_c$$

$$F_c = \frac{m v^2}{r} \quad \text{و} \quad v = r\omega$$

$$F_c = m r \omega^2$$



الشكل (6b)

ومن الجدير بالذكر ان القوة المركزية (F_c) لاتختلف عن أية قوة تمت دراستها من قبل ، فمثلاً تكون قوة الاحتكاك الشروعي بين إطارات السيارة وأرضية المنعطف هي القوة المركزية اللازمة لإبقاء السيارة في مسارها الدائري، وقوة الجذب بين الأرض والقمر هي القوة المركزية اللازمة لإبقاء القمر في مساره الدائري وقوة التجاذب الكهربائي بين النواة والإلكترون هي القوة المركزية اللازمة لإبقاء الإلكترون في مساره الدائري وغيرها .

فكر :

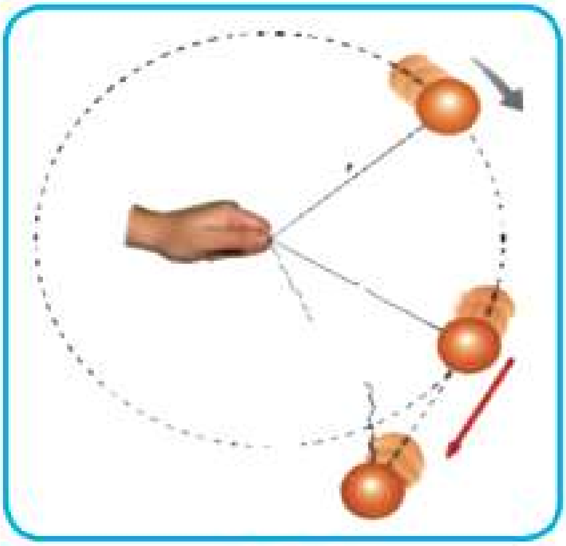
عندما يقضي جسم ما حركة دائرية منتظمة فان اتجاه سرعته المماسية الآنية يتغير باستمرار مع ثبوت انطلاقه لذا فأن هذا الجسم يمتلك تعجيلا مركزياً عمودياً على متجه سرعته المماسية الآنية ومقداره ثابت .

زوال القوة المركزية :-

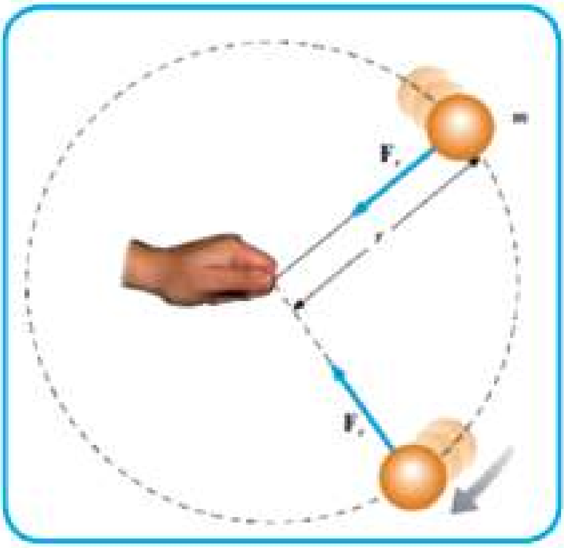
لو سأل سائل ماذا يعني زوال القوة المركزية المؤثرة في جسم يتحرك على مسار دائري بانطلاق ثابت ؟

للاجابة عن هذا التساؤل .... تأمل الآتي :

بما ان القوة المركزية (F_c) المؤثرة عمودياً على متجه السرعة المماسية الآنية للجسم هي التي تولد الحركة الدائرية المنتظمة فهي تعمل على تغيير اتجاه سرعته المماسية الآنية . وزوال القوة المركزية يعني توقفها عن التأثير ، لذا سينطلق الجسم بخط مستقيم باتجاه المماس لمساره الدائري من تلك النقطة و بالانطلاق الذي يمتلكه الجسم في تلك اللحظة ، وعندئذٍ يخضع الجسم للقانون الأول لنيوتن لاحظ الشكل (7) .



الشكل (7b)



الشكل (7a)

7 – 5 الحركة الدائرية غير المنتظمة :-

في الحالة التي يتحرك فيها جسم على مسار دائري بانطلاق متغير مع الزمن تسمى حركته بالحركة الدائرية غير المنتظمة والتي لا يكون فيها متجه التعجيل عمودياً على متجه السرعة المماسية الآنية للجسم ، وهذا يعني تعجيل الجسم (a) لا يتجه نحو مركز الدائرة في هذه الحالة وعندئذٍ يحلل متجه هذا التعجيل الى مركبتين متعامدتين احداهما مركبة عمودية على متجه السرعة المماسية الآنية تسمى بالتعجيل المركزي (a_c) والذي ينتج من حدوث تغير في اتجاه سرعة الجسم المماسية الآنية والأخرى موازية لمتجه السرعة المماسية الانية تسمى بالتعجيل المماسي (a_T) والذي ينتج عن حدوث تغييراً في مقدار سرعة الجسم لاحظ الشكل (8) .

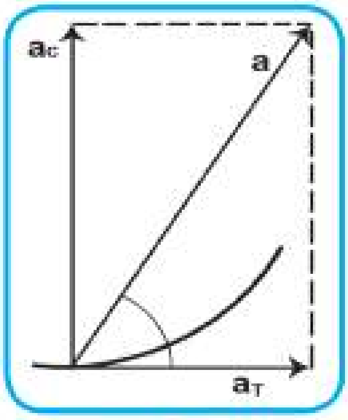
وبما أن متجه a_c عمودي على متجه a_T فان محصلتهما تحسب بتطبيق نظرية فيثاغورس كما يأتي:

$$a=\sqrt{a_c^2 + a_T^2}$$

ولتعين اتجاه التعجيل المحصل نطبق الآتي :

$$\tan\theta = \frac{a_c}{a_T}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{a_c}{a_T}\right)$$



الشكل (8)

7 – 6 حركة المركبات على المنعطفات الأفقية :-

عندما تتحرك مركبة على منعطف أفقي تكون القوة المركزية (F_c) المناسبة للاستدارة هي قوة الاحتكاك الشروعي (f_s) بين اطارتها وأرضية المنعطف لاحظ الشكل (9) كما يأتي :-

الشكل (9)

$$f_S = F_c$$

$$f_s = \frac{m\upsilon^2}{r}$$

وان قوة الاحتكاك التي يوفرها الطريق يجب ان لاتزيد عن ($\mu_s N$)،(μ_s) هو معامل الإحتكاك الشروعي ، اي ان :

$$\boxed{f_s \le \mu_s N}$$

إذ (**N**) هي قوة رد فعل ارضية المنعطف الافقي و العمودية على المركبة وتساوي وزن المركبة ($\mathbf{N = mg}$) وهذا يعني :

$$\frac{m\upsilon^2}{r} \le \mu_s mg$$

فتكون :

$$\frac{\upsilon^2}{r} \le \mu_s g$$

$$a_c \le \mu_s g$$

وهذا يعني ان التعجيل المركزي ($\mathbf{a_c}$) لايمكن ان يزيد عن ($\mu_s g$) .

وتكون سرعة الامان القصوى للسيارة في المنعطف من غير ان تجنح عن الطريق :-

$$\upsilon = \sqrt{\mu_s g r}$$

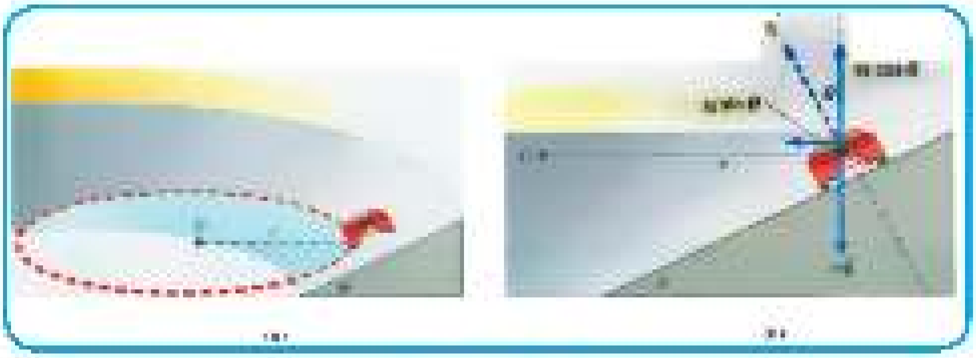
فكر :

ان كتلة المركبة لا تظهر في المعادلة $\upsilon \le \sqrt{\mu_s g r}$ فهذا يعني أن السيارة الصغيرة والشاحنة والدراجة كلاً منها يمكن أن يتحرك بالانطلاق نفسه على المنعطف نفسه بأمان .

7 - 7 حركة المركبات على المنعطفات المائلة :-

تنشأ الطرق مائلة عند المنعطفات (بحيث يكون ارتفاع الحافة الخارجية للطريق اكبر من ارتفاع حافته الداخلية) لتوليد القوة المركزية (F_C) المناسبة للاستدارة دون الاعتماد على قوة الاحتكاك ولحساب زاوية ميل المنعطف عن الافق نحلل قوة رد فعل أرضية الطريق (**N**) الى مركبتين فتعمل المركبة الافقية لرد فعل الطريق ($\mathbf{N\sin\theta}$) على تغير اتجاه السرعة المماسية الآتية

المركبة لاحظ الشكل (10) وهي القوة المركزية المناسبة للاستدارة وتتجه نحو مركز الدائرة :



الشكل (10)

بينما المركبة الشاقولية (Ncosθ) تعادل وزن السيارة أي أن :

$$N\sin\theta = F_c \;\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$N\cos\theta = w \;\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

بالقسمة ينتج

$$\frac{N\sin\theta}{N\cos\theta} = \frac{mv^2/r}{mg}$$

فنحصل على :-

$$\boxed{\tan\theta = \frac{v^2}{rg}}$$

أو :-

$$\boxed{\theta = \tan^{-1}\frac{v^2}{rg}}$$

7-8 الوزن الحقيقي والوزن الظاهري :-

لقد بينا في أعلاه أن الوزن الحقيقي (w_{real}) للجسم عبارة عن قوة جذب الأرض للجسم كتلته (m) ويقاس الوزن الحقيقي بمقدار استطالة النابض في القبان الحلزوني .

ومقدار تعجيل الجاذبية عند سطح الأرض يكون : $g = 9.8N/kg$

$$\boxed{w_{real} = mg}$$

أما الوزن الظاهري ($w_{apparent}$) والمؤثر بالجسم فهو القوة التي يسلطها سطح الجسم على الجسم , ولتوضيح ذلك :-

الشكل (11a)

لاحظ الشكل (11) إذ يبين شخص كتلته (m) واقف على ميزان لقياس الوزن في مصعد .

من ملاحظة الشكل (11) نجد أن هناك قوتين فقط تؤثران في الشخص . القوة الأولى هي قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في الجسم (mg) باتجاه الأسفل (باتجاه مركز الأرض) والقوة الأخرى هي ($\vec{N}$) . وتمثل القوة رد فعل أرضية المصعد في الجسم واتجاهها نحو الأعلى

فإن كان المصعد ساكناً أو صاعداً أو نازلاً شاقولياً بسرعة ثابتة فإن تعجيل المصعد (وهو تعجيل الشخص) في الحالات الثلاث يساوي صفراً (a = 0) .

وبتطبيق القانون الثاني لنيوتن لمصعد متحرك بسرعة ثابتة فإن محصلة القوة المؤثرة في الشخص يعطى بـ :-

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

$$\sum \vec{F} = \vec{N} - \vec{w}$$

$$\vec{N} - \vec{w} = m\vec{a}$$

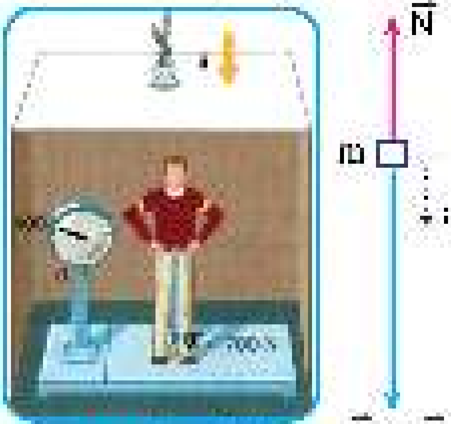
وبما أن تعجيل الشخص صفراً (a = 0) .

فإن :- $\vec{N} - \vec{w} = 0$

$$\boxed{\vec{w}_{app} = \vec{w}_{real}}$$

أي أن الوزن الظاهري ($\vec{w}_{app}$) (قراءة الميزان) = الوزن الحقيقي للشخص ($\vec{w}_{real}$)

■ أما إذا كان المصعد نازلاً شاقولياً بتعجيل ثابت (a) كما في الشكل (11b) ، فإن علاقة محصلة القوة مع التعجيل تعطى بالشكل الآتي :-



الشكل (11b)

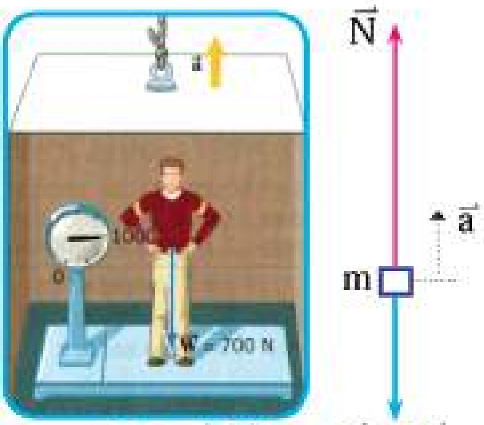
$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

$$\vec{w} - \vec{N} = m\vec{a}$$

$$\boxed{\vec{w}_{app} = \vec{w}_{real} - m\vec{a}}$$

وهذا يعني ان الوزن الظاهري للشخص $(\vec{W}_{app})$ اقل من وزنه الحقيقي $(\vec{W}_{real})$ بالمقدار (ma) .

- أما اذا كان المصعد صاعداً شاقولياً نحو الاعلى بتعجيل ثابت (a) كما في الشكل $(11c)$ فان علاقة صافي القوة مع التعجيل تعطى بـ :

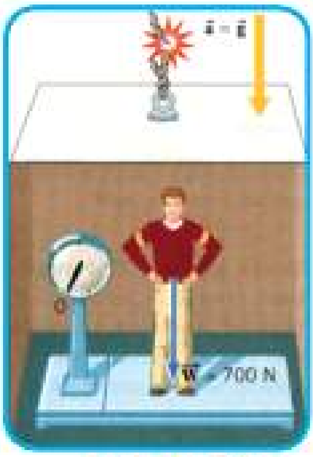


الشكل $(11c)$

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$
$$\vec{N} - \vec{w}_{real} = m\vec{a}$$
$$\vec{w}_{app.} = \vec{w}_{real} + m\vec{a}$$

أي ان الوزن الظاهري للشخص $(\vec{W}_{app.})$ في هذه الحالة أكبر من وزنه الحقيقي $(\vec{W}_{real})$ بالمقدار (ma) .

- أما إذا كان المصعد ساقطاً سقوطاً حراً (افرض انقطاع أسلاك المصعد) فأن تعجيل المصعد يساوي التعجيل الأرضي $(a = g)$ فيكون صافي القوة :-



الشكل $(11d)$

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$
$$\sum \vec{F} = m\vec{g}$$
$$\vec{w}_{real} - \vec{N} = m\vec{g}$$
$$\vec{w}_{app.} = \vec{w}_{real} - m\vec{g}$$
$$\vec{w}_{app.} = m\vec{g} - m\vec{g}$$
$$\boxed{\vec{w}_{app.} = 0}$$

وهذه العلاقة تبين انعدام الوزن الظاهري للجسم في حالة السقوط الحر .

مثال 2

يقف شخص كتلته (60kg) على ميزان (قبان الوزن) في مصعد، ما مقدار قراءة الميزان (الوزن الظاهري) عندما يكون المصعد:

a- يتحرك شاقولياً بسرعة ثابتة.

b- نازلاً شاقولياً بتعجيل $2m/s^2$.

c- صاعداً شاقولياً بتعجيل $2m/s^2$.

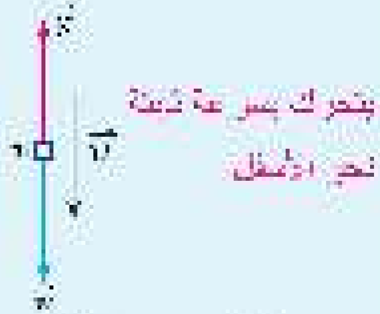
على افتراض أن التعجيل الأرضي المنتظم الحر ($g = 10\,m/s^2$)

الشكل (12)

الحل /

بتطبيق القانون الثاني لنيوتن على المحور (y) نرسم المخطط الحر للجسم لبيان القوى المؤثرة فيه كما في الشكل (12).

a- حينما يتحرك المصعد شاقولياً بسرعة ثابتة في اتجاه المحور (y) فإن التعجيل (a) = صفر



$$\sum \vec{F} = m\vec{a} = 0$$

$$N - w = 0 \rightarrow N - mg = 0$$

$$N = mg = 60 \times 10 = 600N$$

b- حينما ينزل المصعد شاقولياً بتعجيل $2m/s^2$ فإن:

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

$$w - \vec{N} = m\vec{a}$$

$$mg - \vec{N} = m\vec{a}$$

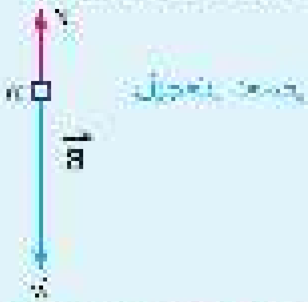
$$60 \times 10 - \vec{N} = 60 \times 2$$

$$N = 600 - 120$$

$$= 480\,Newton$$

أي أن الوزن الظاهري للشخص يساوي 480Newton وهو أقل من وزنه الحقيقي.

c- حينما يصعد المصعد شاقولياً بتعجيل $2m/s^2$ فإن:



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

$$\vec{N} - m\vec{g} = m\vec{a}$$

$$N - 60 \times 10 = 60 \times 2$$

$$N = 720\,Newton$$

أي أن الوزن الظاهري للشخص 720Newton وهو أكبر من وزنه الحقيقي.

س1 / اختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات الاتية:

(1) جسم يتحرك على مسار دائري بانطلاق ثابت يكون اتجاه تعجيله .

a- باتجاه الحركة . b- باتجاه مركز الدوران .

c- بعيداً عن مركز الدائرة . d - اي واحد مما ذكر يعتمد ذلك على موضع الجسم .

(2) سيارة تتحرك على مسار دائري على طريق أفقية فان القوة المركزية المؤثرة في السيارة :

a- القصور الذاتي . b- الجاذبية الارضية .

c- قوة الاحتكاك الشروعي بين اطارات السيارة والطريق.

d - رد فعل الطريق العمودي على السيارة .

(3) القوة المركزية التي تبقي الارض في مسارها حول الشمس تتوافر .

a- بوساطة القصور الذاتي . b- بوساطة دوران الارض حول محورها .

c- جزءاً بوساطة جاذبية سحب . d - بوساطة جاذبية الشمس .

(4) يتحرك جسم على مسار دائري بانطلاق ثابت فاذا تضاعف نصف قطر مساره الدائري فان القوة المركزية اللازمة لبقائه في ذلك المسار تصير :

a- ربع مما كانت عليه . b- نصف مما كانت عليه .

c- مرتين اكبر مما كانت عليه . d - اربع مرات اكبر مما كانت عليه .

(5) سيارة كتلتها (1200kg) وانطلاقها (6m / s) عند مرورها في منعطف دائري افقي نصف قطره (30m) فأن القوة المركزية العاملة على السيارة هي :

a- 48N . b- 147N .

c- 240N . d- 1440N .

(6) عند انتقال شخص من موقعه عند خط الاستواء الى موقع عند احد القطبين الجغرافيين فان الوزن المؤثر للجسم .

a- يصير اصغر من وزنة الحقيقي . b- يصير اكبر من وزنه الحقيقي .

c- يساوي وزنه الحقيقي . d - يساوي صفراً .

(7) قطار الشقلبة في مدينة الألعاب يسير على السطح الداخلي لسكة دائرية بمستوى شاقولي كان الوزن المؤثر للشخص الجالس في عربة القطار لحظة مروره في أوطأ نقطة من مساره يساوي :

a- $w_{app} = w_{real} + F_c$ b- $w_{app} = w_{real}$

c- $w_{app} = F_c - w_{real}$ d- $w_{app} = w_{real} - F_c$

س2

1 اكتب معادلة القوة المركزية ، وأثبت أن وحدة قياسها تقدر بالنيوتن .

2 هل يمكن للجسم أن يتحرك على مسار دائري من غير وجود قوة مركزية مؤثرة فيه ؟ ولماذا ؟

3 هل يمكن أن يتزن الجسم المتحرك حركة دائرية منتظمة ؟ ولماذا ؟

4 تحت أي شرط يمكن للجسم أن يتحرك على مسار دائري فيمتلك تعجيلاً مركزياً ولا يمتلك تعجيلاً مماسياً وضح ذلك .

5 ما سبب انفصال قطرات الماء عن الملابس المبتلة الموضوعة في آلة تجفيف الملابس ذات الحوض الدوار أثناء دورانه ؟

مسائل

س1 / يركب شخص دولاب هواء نصف قطره 10m يدور بمستوى شاقولي كم يكون زمن الدورة الواحدة لكي يصبح وزنه المؤثر الظاهري صفراً في أعلى نقطة ؟

س2 / على فرض لو ازدادت السرعة الزاوية للكرة الأرضية وصار التعجيل المركزي لشخص يقف عند خط الاستواء بقدر تعجيل الجاذبية الأرضية فكم سيكون الوزن الظاهري لهذا الشخص ؟

س3 : احسب التعجيل المركزي لجسم عند نقطة على سطح الارض تبعد عن محور دوران الارض 5000km .

س4 : طريق مقوسة دائرية عرضها 3.75m مائلة عن الأفق ونصف قطر تقوسها الافقي 120m مصممة لسير السيارات بالانطلاق المحدد لها 29.698m/s احسب ارتفاع الحافة الخارجية للطريق عن حافتها الداخلية .

س5 : قمر صناعي يتحرك بانطلاق ثابت في مسار دائري نصف قطر مداره عن مركز الارض 7000km جد :-

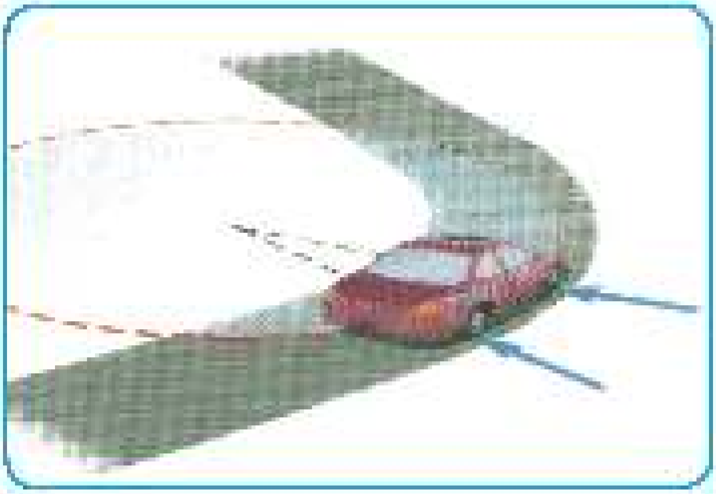
1. انطلاق القمر الصناعي في مداره . 2. زمن الدورة الواحدة عند هذا المدار .

علماً أن ثابت الجذب العام = $6.67 \times 10^{-11} \dfrac{N.m^2}{(kg^2)}$

كتلة الأرض = $M_E = 5.98 \times 10^{24} kg$

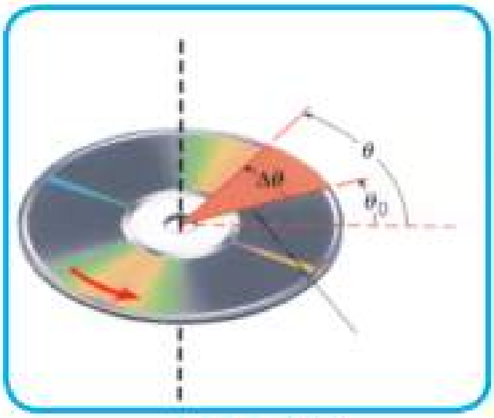
س6 : سيارة تسير على منعطف افقي دائري نصف قطره 200m بانطلاق ثابت 30m/s فاذا كانت كتلة السيارة 1000kg .

1. جد قوة الاحتكاك اللازمة لتوفر القوة المركزية اللازمة .
2. اذا كان معامل الاحتكاك السكوني $\mu_s = 0.8$ فما اكبر انطلاق تسير به السيارة على المسار الدائري من غير انزلاق .



7 - 9 الحركة الدورانية Rotational Motion :-

عندما نتعامل مع جسم دائر يصبح التحليل مبسط جداً على فرض ان ذلك الجسم جاسئاً . وتعرف الحركة الدورانية للجسم الجاسئ بأنها : دوران جسم جاسئ حول محور معين مار منه أو مار من احدى نقاطه لاحظ الشكل (13) الذي يوضح المنظور من أعلى الدوران لقرص مدمج (**Compact disk**) يكون دائراً حول محور ثابت ماراً في النقطة (**O**) وعمودياً على مستوى القرص .



الشكل (13)

7 - 10 التعجيل الزاوي Angular Acceleration :-

إذا تغيرت السرعة الزاوية الانية لجسيم من $(\vec{\omega}_i)$ الى $(\vec{\omega}_f)$ في الفترة الزمنية Δt فالجسيم يمتلك تعجيلا زاوياً . وعليه (يعرف التعجيل الزاوي (α) بأنه المعدل الزمني لتغير السرعة الزاوية) ويعطى بالعلاقة التالية :

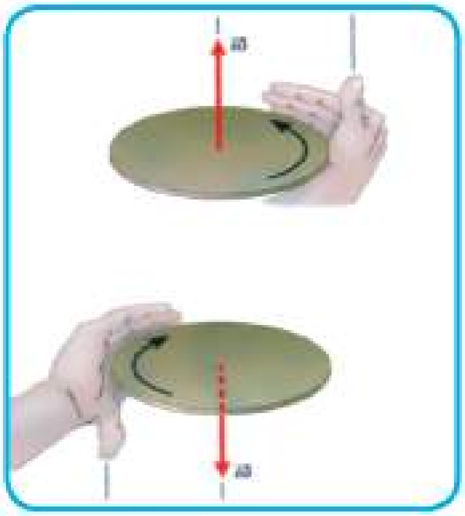
$$\vec{\alpha} = \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{\vec{\omega}_f - \vec{\omega}_i}{t_f - t_i}$$

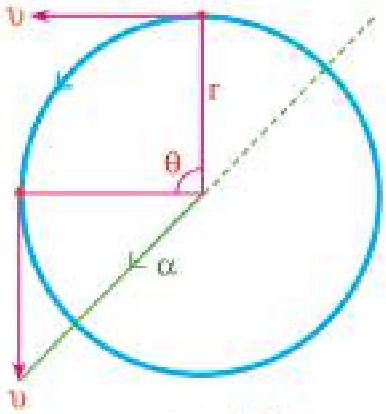
ويقاس التعجيل الزاوي بوحدة rad/s^2 أو $rad.\ s^{-2}$.

عند دوران الجسم الجاسئ حول محور ثابت فكل جسيم من جسيماته تكون ازاحته الزاوية نفسها حول ذلك المحور في الفترة الزمنية نفسها إي له السرعة الزاوية نفسها وله التعجيل الزاوي نفسه .

نطبق قاعدة الكف اليمنى لتعيين اتجاه السرعة الزاوية (فيكون لف الأصابع الأربعة للكف اليمنى باتجاه الدوران . فالإبهام يشير إلى اتجاه السرعة الزاوية) لاحظ الشكل (14) .

اتجاه التعجيل الزاوي $\vec{\alpha}$ لجسم جاسئ حول محور دورانه الثابت يكون باتجاه السرعة الزاوية نفسها $\vec{\omega}$


الشكل (14)



الشكل (15)

عند تزايدها مع الزمن (في حالة التسارع) وباتجاه معاكس لهاعند تناقصها مع الزمن (في حالة تباطؤ) .

لنتصور جسيماً واحداً من الجسم الجاسئ الذي يدور حول محوره بسرعة زاوية منتظمة فانه يتحرك على مسار دائري نصف قطره (r) حول محور الدوران الثابت لاحظ الشكل (15) ولكون الجسيم يتحرك على مسار دائري فأن متجه سرعته المماسية ، ذو مقدار ثابت واتجاهه متغير باستمرار بثبوت (r) .

ومنها :

$$S = r\theta$$

$$\upsilon = r\omega$$

وتكون بذلك السرعة المماسية للجسيم تساوي بعد الجسيم عن محور الدوران مضروباً في السرعة الزاوية للجسم الجاسئ ، يمكن ايجاد العلاقة بين التعجيل الزاوي للجسيم وتعجيله المماسي (a_t) حيث ان مركبة التعجيل المماسية تكون :

$$a_T = \frac{\Delta\upsilon}{\Delta t} \Rightarrow a_T = \frac{\Delta(r\omega)}{\Delta t}$$

$$a_T = r\frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

بما ان :-

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

فيكون :-

$$a_T = r\alpha$$

وهذا يعني ان المركبة المماسية للتعجيل الانتقالي (a_T) للجسيم الذي يقضي حركة دائرية يساوي بعد الجسيم عن محور الدوران (r) مضروباً في التعجيل الزاوي (α) .

7 - 11 معادلات الحركة الزاوية ذات التعجيل الزاوي المنتظم :-

أن معادلات الحركة الزاوية للجسم الجاسئ بتعجيل زاوي منتظم يعبر عنها بالصورة الرياضية نفسها للحركة المستقيمة للجسيم بتعجيل خطي منتظم فهي تعطى كما في الجدول الآتي :

معادلات الحركة الخطية	معادلات الحركة الزاوية
......1 $\upsilon_f = \upsilon_i + at$	......1 $\omega_f = \omega_i + \alpha t$
......2 $\upsilon^2_f = \upsilon^2_i + 2ax$	......2 $\omega_f^2 = \omega^2_i + 2\alpha\theta$
.....3 $x = \upsilon_i t + \frac{1}{2}at^2$	.....3 $\theta = \omega_i t + \frac{1}{2}\alpha t^2$
.....4 $x = \frac{\upsilon_i + \upsilon_f}{2}.\, t$	.....4 $\theta = \frac{\omega_i + \omega_f}{2}.t$

مثال 3

تدور عجلة بتعجيل زاوي منتظم $\alpha = 3.5 rad/s^2$ اذا كانت السرعة الزاوية $2 rad/s$ عند الزمن $t_{in} = 0$ ، ما الازاحة الزاوية التي تدورها العجلة بين الزمن $t = 0$ و $t = 2s$

1- بالزوايا نصف القطرية ،وبالدورات

2- ما مقدار السرعة الزاوية للعجلة عند الزمن $t_f = 2\ sec$

الحل /

-1

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

$$\theta = 2 \times 2 + \frac{1}{2} \times 3.5 \times (2)^2$$

$$\theta = 4 + 7$$

$$\theta = 11\ rad$$ الازاحة الزاوية بـ (radian)

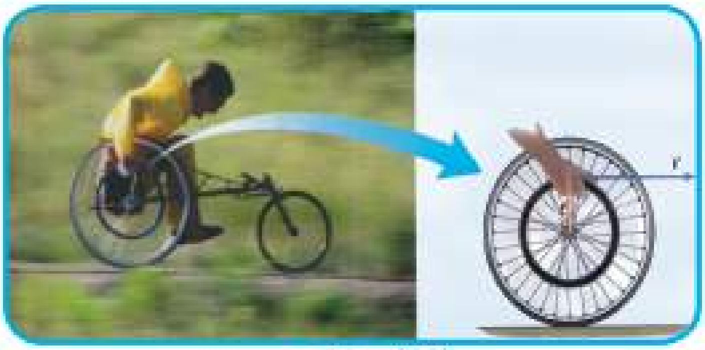
$$\frac{11\ rad}{2\pi\ rad/rev} = 1.75\ rev$$ بالدورات

$$t = 2s$$
$$\omega_f = \omega_i + \alpha t$$
$$\omega_f = 2 + 3.5 \times 2$$
$$\omega_f = 9\ rad / s$$

7 - 12 عزم القصور الذاتي (I) وطاقة الدوران :-

سبق وان درست عزيزي الطالب في موضوع الحركة الخطية ، أن الاجسام تميل الى المحافظة على حالتها الحركية وتكون قاصرة من تلقاء ذاتها عن تغيير حالتها الحركية مالم تؤثر في الجسم محصلة قوى خارجية تغير تلك الحالة ، وقد سميت هذه الخاصية بالقصور الذاتي .

ونجد ما يماثل هذه الخاصية في الحركة الدورانية ، فالعجلة الدوارة الموضحة بالشكل (16) تكون قاصرة ذاتياً عن تغيير حالتها الحركية الدورانية الا بتأثير محصلة عزوم خارجية فيها ، وهذا يدل على وجود قصور ذاتي دوراني لها .



الشكل (16)

أما عزم القصور الذاتي لجسيم كتلته (m) يبعد بالبعد r عن محور الدوران هو :-

$$I = mr^2$$

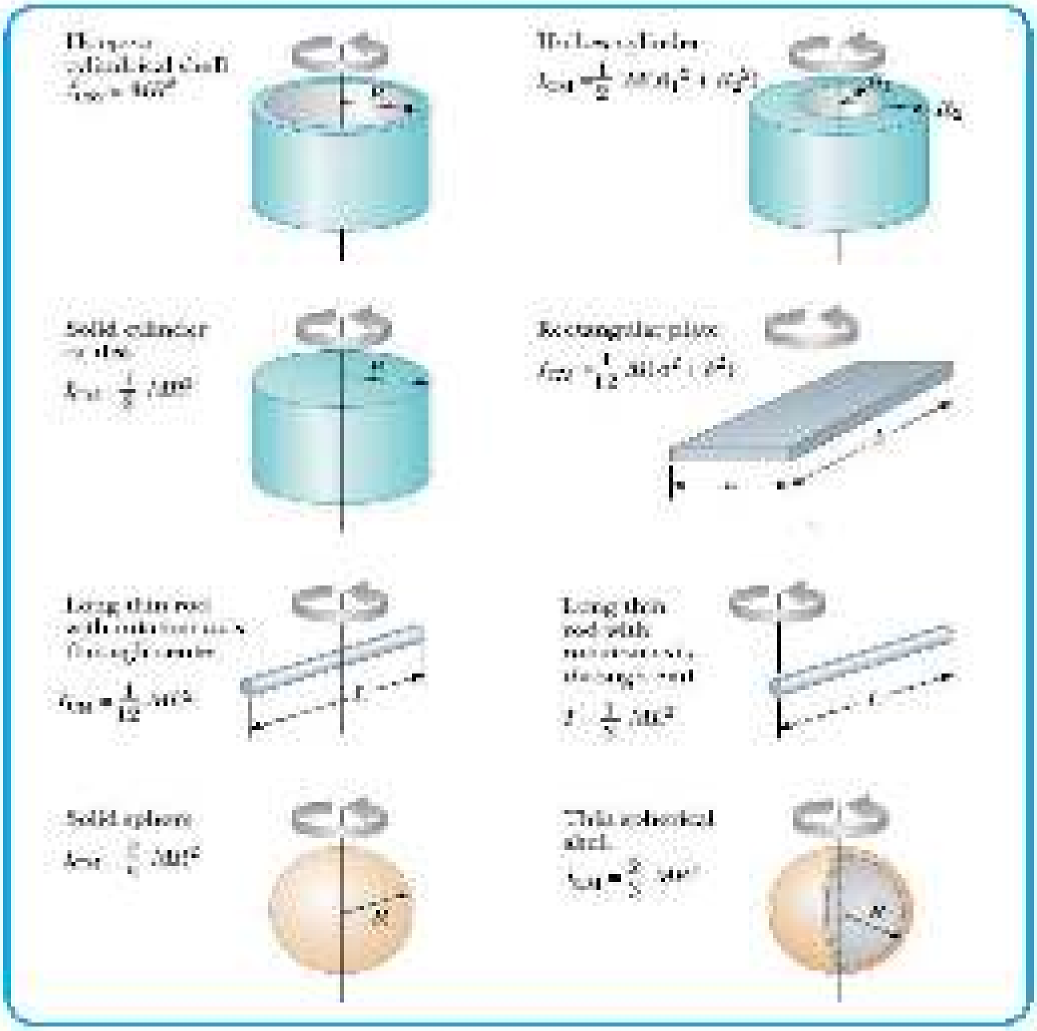
أما عزم القصور الذاتي لجسم جاسئ حول محور معين فأنه يساوي المجموع الجبري لعزوم القصور الذاتية لجميع الجسيمات المكونة له حول المحور نفسه .

$$I_{body} = I_1 + I_2 + I_3 + ...$$

ويقاس عزم القصور الذاتي بوحدات ($kg.m^2$) في النظام الدولي للوحدات (SI) ومن الجدير بالذكر أن عزم القصور الذاتي (I) يعد مقياساً لمقاومة الجسم الجاسئ للتغير في سرعته الزاوية .

وأن عزم القصور الذاتي للجسم يعتمد على :

1. كتلة الجسم
2. شكل الجسم
3. نمط توزيع الكتلة بالنسبة لمحور الدوران .



جدول (1)

الجدول (1) يبين عزوم القصور الذاتية للأجسام الجاسئة المتجانسة لمختلف الأشكال الهندسية:

7-13 الحركة المركبة (حركة انتقالية وحركة دورانية):

قد تتحرك بعض الأجسام حركتين في آن واحد، إحداهما حركة دورانية، والأخرى حركة انتقالية مثل: تدحرج كرة تدحرجاً صرفاً (من غير انزلاق) أو حركة عجلة الدراجة أو عجلة السيارة على سطح أفقي خشن تكون حركة انتقالية وحركة دورانية. على سطح أفقي خشن فإن الطاقة الحركية الكلية للجسم الجاسئ تساوي مجموع طاقتين هما طاقة الحركة الخطية، وطاقة الحركة الدورانية.

أي ان:

$$KE_{Total} = KE_{Translational} + KE_{Rotational}$$

$$KE_{Total} = \frac{1}{2}mu^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

مثال 4

تدحرجت كرة مصمتة على سطح أفقي خشن تدحرجاً صرفاً بانطلاق خطي (1.5m/s) لمركز كتلتها وكان نصف قطرها 0.1m وكتلتها 0.2Kg احسب مقدار :- 1. عزم قصورها الذاتي حول محورها الهندسي المار من مركزها .

2. طاقتها الحركية الكلية علماً بأن $I\,(\text{Solid sphere}) = \frac{2}{5} mr^2$

الحل /

$$I_{sphere} = \frac{2}{5} mr^2$$

$$I = \frac{2}{5} \times 0.2 \times (0.1)^2$$

$$I = 0.0008 kg.m^2$$

$$v = r\omega \Rightarrow 1.5 = 0.1 \times \omega \Rightarrow \omega = 15 rad/s$$

$$KE_{tot} = KE_t + KE_{rot}$$

$$= \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} I\omega^2$$

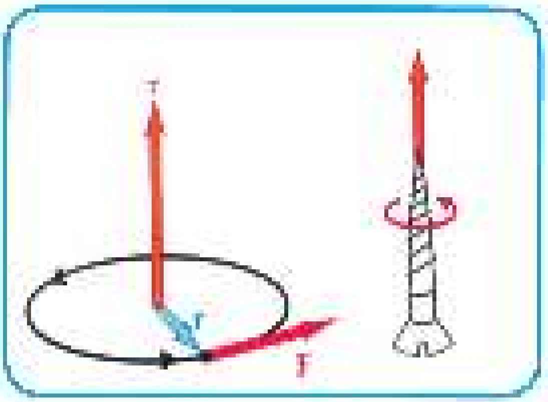
$$= \frac{1}{2} \times 0.2 \times (1.5)^2 + \frac{1}{2} \times 0.0008 kg.m^2 \times (15)^2$$

$= 0.315 Joule$ مقدار طاقتها الحركية الكلية

7-11 العزم المدور لجسم والتعجيل الزاوي :-

لقد تعرفنا دراسة الاتزان التام للجسم الجاسئ عندما يكون مقدار محصلة العزوم الخارجية المؤثرة فيه يساوي صفراً . هنا نسأل ماذا يحصل للجسم الجاسئ اذا كان مقدار محصلة العزوم الخارجية المؤثرة فيه لا يساوي صفراً ؟ في معارفنا بالتشابه مع القانون الثاني لنيوتن في الحركة الانتقالية الخطية يجب ان نتوقع حصول تغير في السرعة الزاوية للجسم الجاسئ .

فلو أثرت محصلة عزوم خارجية في دولاب كان يدور (لاحظ الشكل 17) ، ولاكسبته تعجيلاً زاوياً فان هذا التعجيل الزاوي يتناسب طردياً مع محصلة العزوم المؤثرة فيه ويتجه باتجاهها ، ويتناسب عكسياً مع عزم القصور الذاتي للدولاب . أي ان مقدار محصلة العزوم المؤثرة في الجسم الجاسئ يتناسب طردياً مع تعجيله الزاوي وان ثابت هذا التناسب هو عزم القصور الذاتي .



الشكل (17)

أي ان :

$$\sum \vec{\tau} \propto \vec{\alpha}$$

$$\sum \vec{\tau} = I\vec{\alpha}$$

ويصح تطبيق هذا القانون على الاجسام الجاسئة جميعاً في أثناء دورانها ويقاس العزم المدور بوحدات (N.m) ومن الجدير بالذكر أن العزم المدور والتعجيل الزاوي كميتان متجهتان لهما الاتجاه نفسه هو ينطبق على محور الدوران (طبقاً لقاعدة الكف اليمنى). اما عزم القصور الذاتي (I) فهو كمية قياسية.

مثال 5

اسطوانة صلدة كتلتها 1kg نصف قطر قاعدتها 0.2m شرعت بالدوران من السكون حول محورها الهندسي الطويل المار من مركزي وجهيها عندما أثرت فيها قوة مماسية مقدارها 10N احسب:

1- مقدار سرعتها الزاوية بعد مرور (5s) من بدء الدوران.

2- وما عدد الدورات.

الحل/

-1

$$\vec{\tau} = I\vec{\alpha}$$

$$r \times F = \frac{1}{2} mr^2 \cdot \alpha$$

$$0.2 \times 10 = \frac{1}{2} \times 1 \times (0.2)^2 \times \alpha$$

$$4 = 0.04\,\alpha$$

$$\alpha = \frac{4}{0.04} = 100\ rad/s^2$$

$$w_f = w_i + \alpha \Delta t$$

$$w_f = 0 + 100 \times 5$$

$$w_f = 500\ rad/s$$ مقدار السرعة الزاوية للاسطوانة

-2

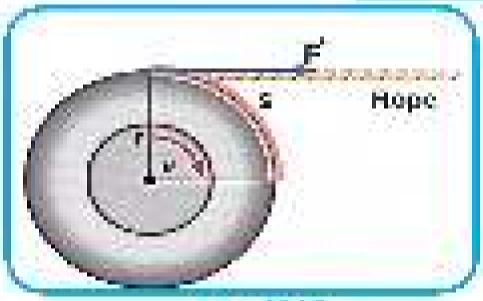
$$\theta = \frac{w_f + w_i}{2} \times \Delta t$$

$$\theta = \frac{500+0}{2} \times 5 = 1250\ rad$$

$$rev = (1250rad) \times \left(\frac{1}{2\pi}\frac{rev}{rad}\right)$$

$$= \frac{625}{\pi} rev = 199 rev$$

7-15 الشغل والقدرة في الحركة الدورانية :-



الشكل (18)

نعتبر قرص نصف قطره (r) يمكنه الدوران حول محور عمودي يمر من مركزه وجهه . أثرت في حافته قوة مماسية ($\vec{F}$) لاحظ الشكل (18) ، بعد مرور مدة زمنية (t) دار القرص بزاوية (θ) وكذا دارت نقطة تأثير القوة (a) فقطعت قوساً طوله (s) ، بذلك انجزت القوة (F) شغلاً مقداره :

$$\text{Work} = \text{force} \, . \, \text{disatance}$$

$$W = F \, . \, S$$

$$S = r\,\theta$$

$$\therefore W = (r \times F)\,\theta$$

$$\tau = r \times \vec{F}$$

$$\therefore W = \vec{\tau} \, . \, \vec{\theta}$$

أي أن الشغل الدوراني المنجز يساوي حاصل ضرب العزم المدور ($\vec{\tau}$) في الإزاحة الزاوية ($\vec{\theta}$) . ويقدر الشغل المنجز بوحدة (Joule) ، بينما يقدر العزم المدور بوحدات (N.m) ، الإزاحة الزاوية تقدر بـ (rad) (الزاوية نصف القطرية) وبما أن مقدار الشغل الدوراني المبذول (W) يكافئ مقدار التغير في الطاقة الحركية الدورانية ΔEK_{Rot} ، أي أن :

$$W = \Delta KE_{rot} = KE_{final} - KE_{initial}$$

$$W = \frac{1}{2} I \omega_f^2 - \frac{1}{2} I \omega_i^2$$

$$W = \frac{1}{2} I (\omega_f^2 - \omega_i^2)$$

بما أن القدرة الدورانية (Rotational Power) (P_{rot}) هي المعدل الزمني للشغل المنجز وعليه فإن :

$$P_{rot} = \frac{W_{rot}}{t} \rightarrow P_{rot} = \frac{\tau\theta}{t}$$

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

$$\bar{\omega}_{avg} = \frac{\omega_f + \omega_i}{2} \rightarrow P_{rot} = \tau \, . \, \bar{\omega}_{avg}$$

أي أن القدرة الدورانية (P_{rot}) تساوي حاصل ضرب العزم المدور في متوسط السرعة الزاوية وتقاس بوحدات Watt

مثال 6 محرك كهربائي قدرته (1.72×10^5 watt) يدور بسرعة زاوية متوسطة مقدارها (500rev / min) ما مقدار العزم المدور العامل على تدويره ؟

الحل /

نحول السرعة الزاوية من (rev / min) الى (rad / s) :-

$$\omega = 500 \times \frac{2\pi}{60} = \frac{50\pi}{3} \text{ rad / s}$$

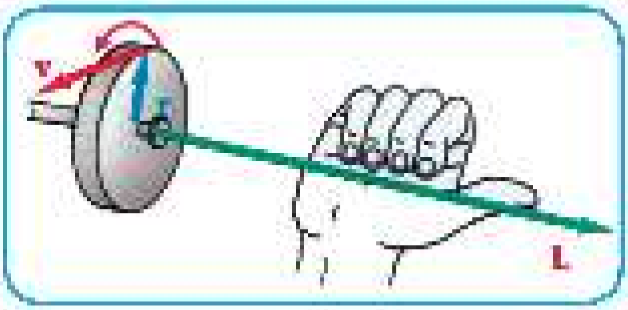
$$P_m = \tau \cdot \omega_{av} \rightarrow P_m = \tau \cdot \frac{50\pi}{3}$$

$$1.72 \times 10^5 = \tau \times \frac{50\pi}{3}$$

$$\tau = \frac{3 \times 1.72 \times 10^5}{50\pi}$$

$$\tau = 3286 \text{ N.m}$$

16 - 7 الزخم الزاوي Angular Momentum



الشكل (19)

الزخم الزاوي (L) للجسم الجاسئ حول محور دورانه هو عزم الزخم الخطي حول محور الدوران وهو كمية متجهة ويعتمد على عزم القصور الذاتي (I) وسرعته الزاوية (ω) . مثلما يعتمد زخمه الخطي (p) على كتلته (m) وسرعته الخطية (υ) . ω ويقدر الزخم الزاوي بوحدات ($kg.m^2 / s$) . ومن ملاحظة الشكل (19) نجد ان الزخم الزاوي يعطى بالعلاقة الآتية :

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$$

$$\vec{L} = \vec{r}\, m\, \vec{\upsilon}$$

$$\because \vec{\omega} = \frac{\upsilon}{r} \Rightarrow \vec{L} = mr^2 \omega$$

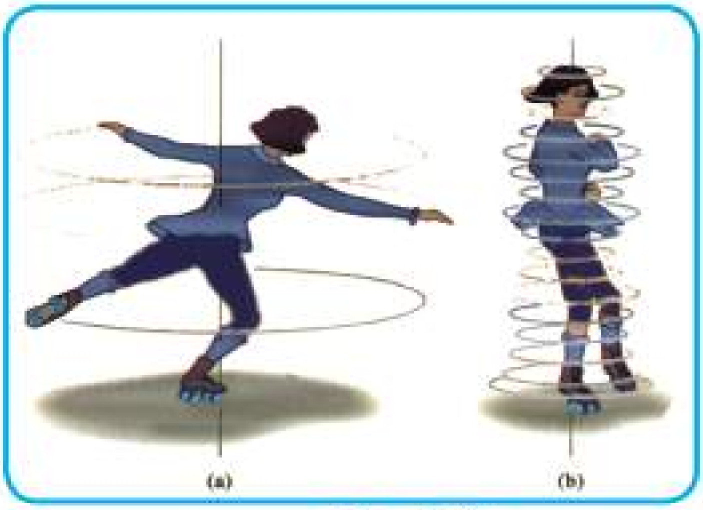
$$\therefore \vec{L} = I \cdot \vec{\omega}$$

7 - 17 قانون حفظ الزخم الزاوي Conservation of angular momentum law

اذا تغير عزم القصور الذاتي للجسم الجاسئ من (I_1) الى (I_2) في اثناء دورانه حول محور ثابت ومن غير تأثير محصلة عزوم خارجية في الجسم فان سرعته الزاوية سوف تتغير من ω_1 الى ω_2 وذلك لان زخمه الزاوي (L) يبقى ثابتاً (في المقدار والاتجاه) في أثناء الدوران اي ان الزخم الزاوي لهذا الجسم يكون محفوظ في اثناء الدوران حول محور ثابت ونص قانون حفظ الزخم الزاوي لجسم او لمجموعة من الاجسام : -

(عندما تكون محصلة العزوم الخارجية المؤثرة في جسم جاسئ او منظومة من الجسيمات جاسئة يساوي صفراً فان الزخم الزاوي الكلي للجسم الجاسئ او منظومة الجسيمات الجاسئة يبقى ثابتاً) .

مثال ذلك المتزلج على الجليد لاحظ الشكل (20) يزيد من سرعته الزاوية عندما يخفض ذراعيه جانباً ويضم قدميه لبعضهما فيقل عزم قصوره الذاتي حول محور الدوران الثابت مع بقاء زخمه الزاوي ثابتاً .



الشكل (20)

اي ان الزخم الزاوي النهائي = الزخم الزاوي الابتدائي

$$\boxed{I_1\omega_1 = I_2\omega_2}$$

ومن التطبيقات العملية لقانون حفظ الزخم الزاوي (راقصة الباليه , السابح يكور جسمه عندما يقفز من على لوحة السباحة (منصة القفز) , لاعب السيرك) وغيرها .

س1 / اختر العبارة الصحيحة من العبارات التالية :

1. اذا دار قرص حول محوره بزخم زاوي منتظم فإن مقدار احدى الكميات الآتية تساوي صفراً :

a) التعجيل الزاوي للقرص .　　b) الشغل الدوراني للقرص.

c) السرعة الزاوية للقرص .　　d) محصلة العزوم الخارجية المؤثرة في القرص.

2. يقف طفل عند حافة منصة دائرية تدور بمستوى افقي حول محور شاقولي ماراً بمركزها فاذا اقترب الطفل بخطى نحو مركز المنصة (من دون تأثير عزم خارجي) فإن مقدار الزخم الزاوي للطفل :

a) يزداد .　　b) يبقى ثابتاً .

c) يقل .　　d) يساوي الزخم الزاوي للمنصة .

3. ان (Joule . second) هي وحدات :

a) القدرة .　　b) عزم الدوران .

c) تعجيل زاوي .　　d) زخم زاوي .

4. ان المعدل الزمني لتغير الزخم الزاوي يمثل :

a) عزم الدوران .　　b) الشغل الدوراني .

c) القوة .　　d) ازاحة زاوية .

5. متزلج يدور على حلبة دائرية بمستوى افقي بانطلاق ثابت فان الذي يتغير لحركة المتزلج هو

a) زخمه الزاوي .　　b) عزم قصوره الذاتي .

c) مقدار سرعته الزاوية .　　d) طاقته الحركية الدورانية .

س2 / علل ما يلي :

1. التوازن على الدراجة المتحركة أسهل من التوازن على دراجة واقفة .
2. يمكن لجسم ان يمتلك زخماً زاوياً على الرغم من ان الدفع الزاوي المؤثر فيه يساوي صفراً ؟
3. يمد الشخص ذراعيه او يحمل بيده ساقاً افقية عندما يمشي على حبل عالي مشدود .

مسائل

س1/ بدأت سيارة الحركة من السكون، وكان قطر كل عجلة من عجلاتها (80cm) وتسارعت بانتظام فبلغت سرعتها (20m/s) خلال (25s) فما :

1. التعجيل الزاوي لكل عجلة ؟
2. عدد الدورات التي تدورها كل عجلة خلال تلك المدة .

س2/ عجلة تدور بسرعة زاوية منتظمة أثر فيها عزم معرقل فتوقفت عن الدوران بعد أن دارت (50rev) خلال (10s) احسب مقدار :

1. سرعتها الزاوية الابتدائية .
2. التعجيل الزاوي .

س3/ قرص نصف قطره (0.6m) وكتلته (80kg) يدور بسرعة (3600rev/min) فما مقدار العزم المؤثر في القرص لإيقافه عن الدوران خلال (20s) ؟

س4/ عجلة قطرها (0.72m) وعزم القصور الذاتي (4.8kg.m²) أثرت في حافتها قوة مماسية مقدارها (10N) فبدأت الحركة من السكون : فما

1. التعجيل الزاوي ؟
2. معدل القدرة الدورانية الناتجة عن الشغل الزاوي المبذول خلال (4s) ؟

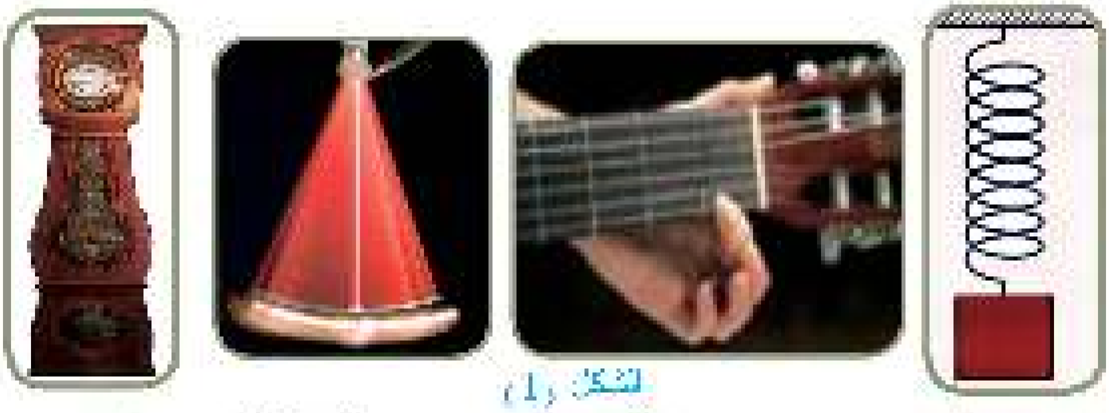
س5/ قرص عزم قصوره الذاتي (1kg.m²) كان يدور بسرعة زاوية منتظمة أثر فيه عزم مماسي معرقل فأوقفه عن الدوران بتعجيل زاوي منتظم بعد (4s) فكان الشغل الدوراني المبذول (200J) فما مقدار العزم المؤثر المعرقل؟

س6/ كرة صلدة كتلتها (0.5kg) ونصف قطرها (0.2m) تدحرجت من السكون من قمة سطح مائل خشن ارتفاعه الشاقولي (7m) تدحرجا صرفا ما مقدار طاقته الحركية الكلية في أسفل السطح المائل علما بأن عزم القصور الذاتي للكرة الصلدة $I_{solid\ sphere} = \frac{2}{5} mr^2$.

الحركة الاهتزازية والموجية والصوت
Wave and Vibration Motion and Sound

8 – 1 الحركة الدورية :-

لابد انك شاهدت حركة بندول الساعة الجدارية وحركة الاوتار في الآلات الموسيقية وحركة أرجوحة الأطفال وحركة البندول البسيط وحركة الثقل المعلق بطرف نابض. لاحظ الشكل (1)



الشكل (1)

الحركات السابقة جميعها تعيد نفسها مراراً وتكراراً بفترات زمنية منتظمة حول موضع استقرارها ومثل هذه الحركة تسمى بالحركة الدورية **Periodic motion** ، ففي الحركة الدورية عندما نزيح الجسم عن موضع استقراره ثم نتركه يتحرك حراً عندئذ تظهر قوة تعيد الجسم الى موضع استقراره تسمى بالقوة المعيدة .

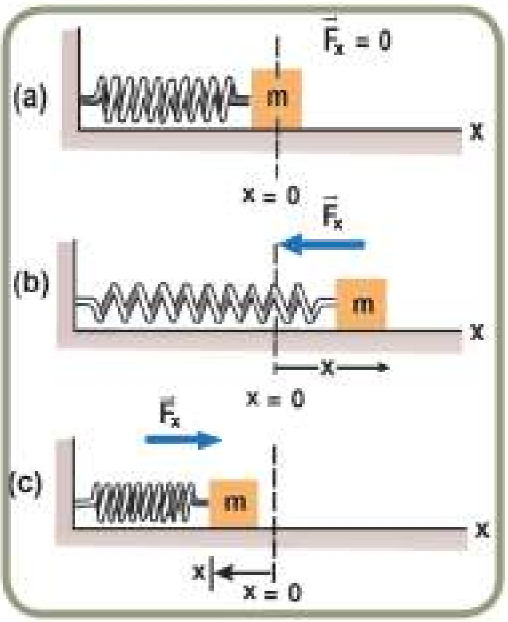
8 – 2 الحركة الاهتزازية :-

ان حركة الجسم ذهاباً واياباً (باتجاهين متعاكسين) على جانبي موقع استقراره تسمى بالحركة الاهتزازية. لاحظ الشكل (2) وتخمد وتتلاشى سعة اهتزازها تدريجيا نتيجة لوجود قوى مبددة للطاقة (مثل قوى الاحتكاك مع الوسط الذي تهتز فيه) ، والحركة الاهتزازية هي حالة خاصة من الحركة الدورية ولتوليد واستمرار الحركة الاهتزازية يشترط وجود :-

الشكل (2)

- القوة المعيدة .
- الاستمرارية .
- مصدر مجهز للطاقة .

8 – 3 الحركة التوافقية البسيطة :-



الشكل (3)

للتعرف على الحركة التوافقية البسيطة وهل ان كل حركة اهتزازية تعد حركة توافقية بسيطة ؟ للاجابة عن هذا السؤال نناقش حركة جسم الموضح في الشكل (3) والموضوع على سطح افقي مهمل الاحتكاك كتلته (m) و مربوط بأحد طرفي نابض محلزن والطرف الأخر للنابض مثبت بجدار و الكتلة في حالة سكون عند موضع الاستقرار ($x = 0$) .

عندما تؤثر قوة السحب ($\vec{F}$) في الكتلة (m) فانها تزيحها عن موضع استقرارها بالازاحة ($\vec{x}$) نحو اليمين الشكل (3b) . وبهذا فقد تم انجاز شغل على النابض و يخزن هذا الشغل بشكل طاقة كامنة للمرونة ، وبالنتيجة فان النابض التي سيؤثر بقوة ($\vec{F}_x$) هي قوة مرونة النابض تحاول ارجاع الكتلة (m) الى موضع استقرارها وقوة مرونة النابض هذه تساوي في المقدار القوة المؤثرة في الجسم ومعاكسة لها بالاتجاه تسمى بالقوة المعيدة .

وعند كبس النابض و بقوة ($\vec{F}$) نحو اليسار فان الكتلة تزاح بازاحة ($\vec{x}$) نحو اليسار وتظهر عندئذ قوة معاكسة لها بالاتجاه ومساوية لها في المقدار هي قوة مرونة النابض ($\vec{F}_{res}$) نحو اليمين لاحظ الشكل (3c) ويعبر عن القوة المعيدة للنابض بقانون هوك وكما يأتي :

$$\text{Spring force}(\vec{F}) = -(\text{spring constant}) \times \text{displacement}$$
$$\vec{F}_{res} = -k\vec{x}$$

حيث تمثل :

$\vec{F}_{res}$ = القوة المعيدة تقاس بـ (Newton) .

k = ثابت النابض يقاس بـ (N / m) .

$\vec{x}$ = الازاحة تقاس بـ (meter) .

و مقدار القوة المعيدة هذه يتناسب طردياً مع مقدار الازاحة وتكون باتجاه معاكس لها (الاشارة السالبة) وعند اهمال قوى الاحتكاك فان الكتلة ستتحرك يميناً ويساراً بالسعة نفسها لذا :

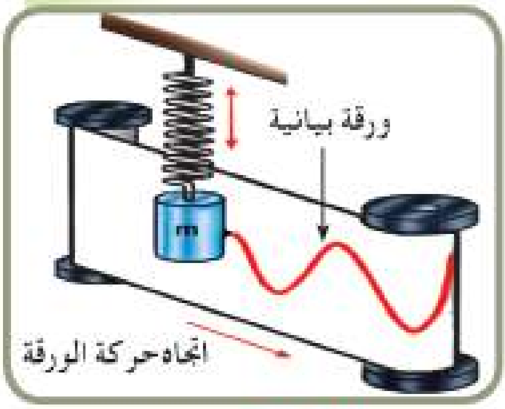
فان الحركة التوافقية البسيطة تعرف بأنها حركة اهتزازية على خط مستقيم تتناسب فيها القوة المعيدة والتعجيل الناتج عنها طردياً مع الإزاحة الحاصلة للجسم المهتز عن موضع استقراره وباتجاه معاكس لها .

$$\vec{F}_{res} \ \alpha \ -\vec{x}$$

$$\vec{a}_T \ \alpha \ -\vec{x}$$

نشاط عملي

تمثيل الحركة التوافقية البسيطة بيانياً .



الشكل (4)

ادوات النشاط :

جسم كتلته (m) ، نابض محلزن قلم يتحرك على شريط ورقي بياني ملفوف حول اسطوانة محورها شاقولي وكما موضح في الشكل (4).

خطوات النشاط :

- نربط الكتلة **m** في الطرف الحر للنابض ثم نثبت قلم رصاص صغير بالكتلة بحيث يلامس رأسه شريطاً بيانياً ورقياً . لاحظ الشكل (4) .
- اسحب الكتلة بقوة صغيرة إلى أسفل واتركها تتحرك بحرية حركة عمودية . ثم دور الاسطوانة لكي ينسحب الشريط البياني افقياً .
- ما شكل الخط الذي سيرسمه قلم الرصاص والذي سنحصل عليه .... ؟
- سيظهر على الورقة التمثيل البياني للحركة التوافقية البسيطة والذي يشبه منحنى **sin θ** أو منحنى **cos θ** والذي درسته سابقا في الرياضيات .

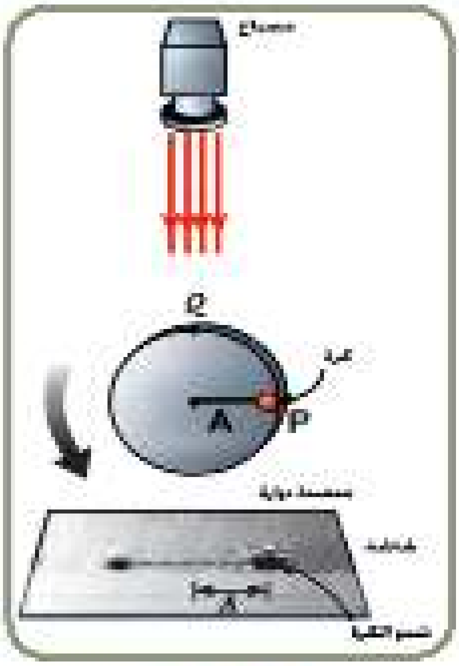
وبالرجوع للشكل (2) يتبين أن الهزة الكاملة هي حركة الجسم المهتز عند مروره بنقطة معينة على مسار حركته مرتين متتاليتين وبالاتجاه نفسه . إما سعة الاهتزاز فهي أعظم إزاحة للجسم المهتز عن موضع استقراره ويسمى الزمن اللازم لاتمام هزة كاملة بالزمن الدوري (**Period**) ويرمز له بالرمز **T** إذ أن :

$$\text{Period(T)} = \frac{\text{Time of many Vibration}}{\text{Number of Vibration}}$$

ويعرف التردد (**frequency**) :- بانه عدد الاهتزازات التي يهتزها الجسم في الثانية الواحدة ويقاس بوحدة تسمى هيرتز (**Hz**) .

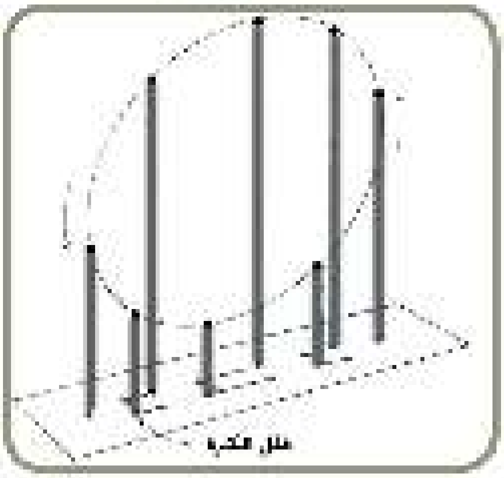
8-4 العلاقة بين الحركة الدورية المنتظمة والحركة التوافقية البسيطة

من الممكن ملاحظة هذه العلاقة في المختبر ، من خلال أنموذج كرة صغيرة موضوعة على قرص يدور بحركة دورانية منتظمة و بسرعة زاوية منتظمة (ω) بحيث يسقط ضوء على الكرة ليسقط ظلها شاقولياً على شاشة أفقية موضوعة تحت القرص لاحظ الشكل (5).



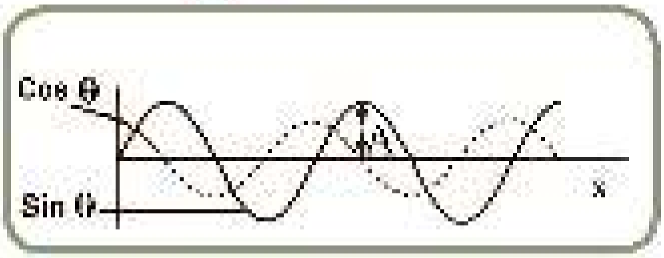
الشكل (5)

لاحظ إنه سيرى ظل الكرة على الشاشة في مواقع مختلفة و انه سيأخذ شكل موجة جيبية أي يتحرك الى الأمام والخلف بحركة توافقية بسيطة لاحظ الشكل (6) .



الشكل (6)

وكل حركة دورية يمكن تمثيلها بالقرار منحني الجيب تمثل حركة توافقية بسيطة لاحظ الشكل (7) وكما يأتي:



الشكل (7)

$$x = A\sin\theta$$

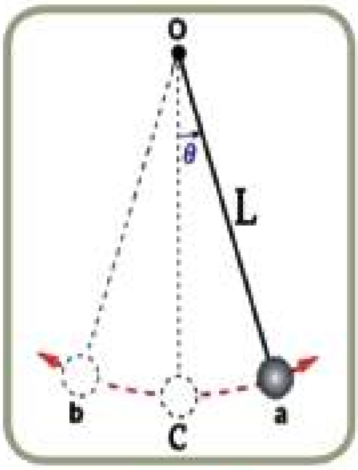
حيث أن : θ = الإزاحة الزاوية .

A = سعة الموجة .

x = الإزاحة .

8-5 البندول البسيط Simple pendulum :-

يتكون البندول البسيط من كرة معلق في نهاية خيط طوله (L) مهمل الوزن و غير قابل للاستطالة ، ومثبت طرفه الأخر بنقطة ثابتة (o) . إذا سحبت الكرة جانباً وتركت تهتز فأنها تتأرجح ذهابا وإيابا حول نقطة معينة تسمى موضع الاستقرار لاحظ الشكل (8) وعند إهمال قوى الاحتكاك ،وبافتراض أن الإزاحة صغيرة والزاوية التي يصنعها الخيط مع الشاقول لا تتعدى 5^0 عندها يمكن أن نعتبر حركة الكرة حركة توافقية بسيطة حيث أن الكرة عندما تنتقل من a إلى c إلى b ثم تعود إلى c ثم a تكون قد أتمت هزة كاملة .



الشكل (8)

تأمل الآن الشكل (9) ثم اجب عن الأسئلة الآتية :

1) ما القوى المؤثرة في الكرة عند أي نقطة من مسارها ؟

2) ما القوة المحركة والمسببة لتعجيل الكرة ؟

تجد أن القوة المعيدة F_{res} (restoring force) تساوي :

$$F_{res} = -mg \sin\theta$$

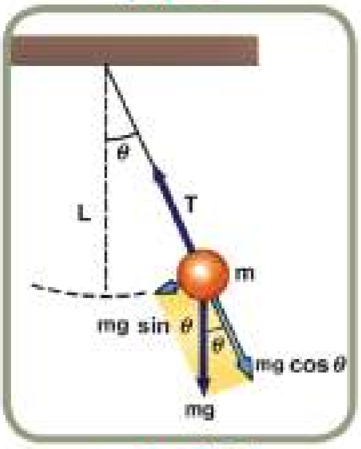
ما معنى الإشارة السالبة ؟

بما ان القوة المعيدة للبندول F_{res} تشبه القوة المحركة لنظام (نابض – جسم) وبالتالي فان $\vec{F}_{res} = -k\vec{x}$

فان: $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$

حيث أن : L طول خيط البندول ، g تعجيل السقوط الحر .

T : الزمن الدوري .



الشكل (9)

مثال 1 ساعة بندولية طول خيطها 1m. أحسب الزمن الدوري لها اذا كان بندولها يتأرجح ذهاباً وإياباً بحركة توافقية بسيطة ،علماً ان $g = 9.8 m/s^2$.

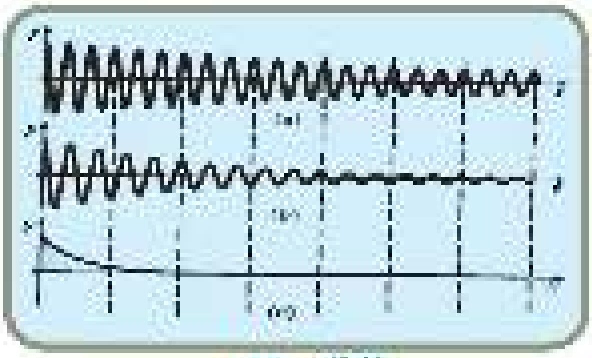
الحل /

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \Longrightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{1m}{9.8m/s^2}}$$

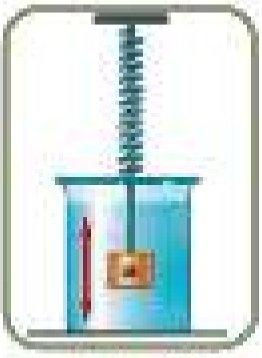
$$T = 2s$$

3-6 الحركة الاهتزازية المضمحلة

لقد عرفنا أن البندول الذي يتحرك حركة توافقية بسيطة ، فإن حركته تستمر مادامت طاقته الميكانيكية محفوظة . ولكن عند وجود قوة معرقلة كقوة الاحتكاك كما هو الحال عند غمر ثقل معلق بنابض مهتز في الماء أو في سائل ذي لزوجة عالية لاحظ الشكل (10) فإن هذه الحركة لا تستمر إذ تتلاشى سعة اهتزازه تدريجياً . هذا النوع من الاهتزاز يسمى الاهتزاز المضمحل أو المتلاشي (**Damping Vibration**) كما هو موضح في الشكل (11) .



الشكل (11)



الشكل (10)

من الواضح أنه لكي يهتز أي نظام لمدة معينة من الزمن لابد من تزويده بالطاقة باستمرار لتعويض الطاقة المفقودة خلال كل ذبذبة وذلك ببذل شغل ضد قوى الاحتكاك كما في حالة دفع أرجوحة الأطفال باستمرار لتزويد النظام بما يخسره من طاقة في كل ذبذبة لاحظ الشكل (12) .

الشكل (12)

والاهتزاز المضمحل له فوائد عملية تطبيقية أيضاً في منظومة امتصاص الصدمات في السيارة (**suspension**) تقوم ممتصات الصدمات (الدبلات) بتخميد الاهتزازات الناتجة عن مرور السيارة على مطبات الطريق لاحظ الشكل (13) .

الشكل (13)

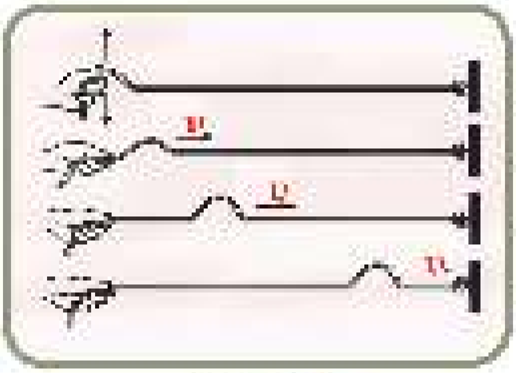
8-7 الحركة الموجية Wave Motion :

الشكل (14)

لو تأملت ما حولك لوجدت الكثير من الظواهر الموجية التي تشاهدها يومياً مثل :
اضطرابات سطح الماء الساكن عند القاء حجر فيه وتكون الموجات الناقلة للطاقة على شكل دوائر متحدة المركز من نقطة سقوط الحجر الى الأطراف وكذلك حركة الموجات الزلزالية في القشرة الأرضية ناقلة الطاقة على سطح الارض وكذلك انتشار صوت أوتار الآلات الموسيقية المهتزة في الهواء عبر اهتزازات جزيئات الهواء . وتعد الموجات وسائل لنقل الطاقة بأشكالها كافة لاحظ الشكل (14) .

فالحركة الموجية هي: اضطراب ناتج عن مصدر طاقة. وسنبدأ دراستنا للموجات بمناقشة نوع يمكن ادراكه وهو الموجة المتولدة في وتر مشدود .

8-8 النبضات في وتر Pulses in a string :



الشكل (15)

لو ثبتت نهاية وتر بشكل محكم وحركت طرفه الآخر بيدك بسرعة كبيرة الى الأعلى أو للأسفل سيتولد اضطراب يسمى نبضة pulse وتنتقل هذه النبضة الى أجزاء الوتر جميعها ناقلة معها الطاقة (كامنة وحركية) من غير ان تنتقل جزيئات الوتر معه ، لاحظ الشكل (15) ان النبضة تنتقل خلال الوتر بسرعة ($\vec{v}$) قاطعة ازاحة ($\vec{x}$) $\left[\vec{x} = \vec{v}t\right]$ وعندما يهتز الوتر فان كل جسيم فيه يهتز بحركة توافقية بسيطة الى الأعلى والأسفل وتسمى أقصى ازاحة للجزيئات عن مواضع استقرارها بالسعة (سعة النبضة) وتنتقل النبضة خلال الوتر بانطلاق v يطلق عليه انطلاق النبضة لذا فان الموجة المتولدة في الوتر هي سلسلة من النبضات .

يعتمد انطلاق الموجة في الوتر على قوة الشد في الوتر (T) وكتلة وحدة الطول من الوتر (الكثافة الطولية) (μ) :

حيث أن :

$$\mu = \frac{m}{L}\,(kg/m)$$

$$\text{Wave speed} = \sqrt{\frac{\textit{Tension} \text{ in the string}}{\textit{Linear} \text{ mass density}}}$$

$$\upsilon = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \rightarrow \upsilon = \sqrt{\frac{T}{m/L}}$$

حيث أن : T تمثل قوة الشد في الخيط .

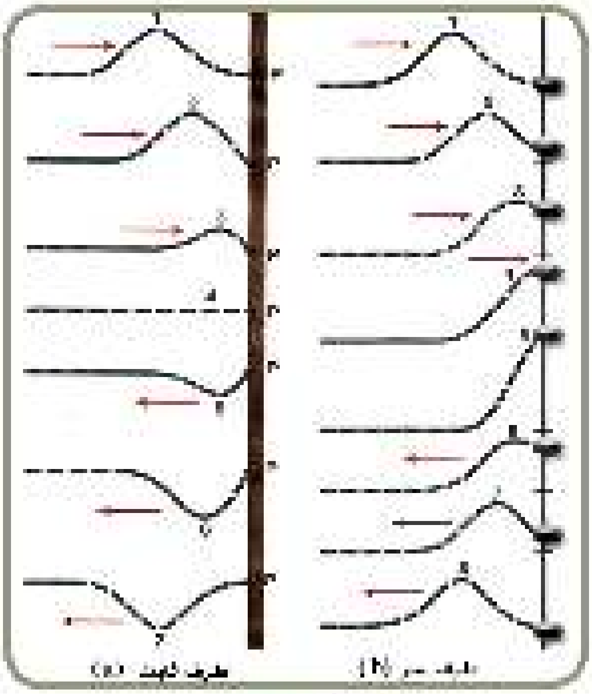
μ : تمثل كتلة وحدة الطول وتقاس بوحدات $\frac{kg}{m}$

ويكون البعد بين كل قمتين متتاليتين أو قعرين متتاليين يساوي طول موجة كاملة (λ) وان زمن الدورة الواحدة T للموجة هو الزمن اللازم لاهتزاز أي نقطة في مسار الموجة (حبل) دورة واحدة وان التردد f هو :

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

$$\upsilon = \frac{\lambda}{T}$$

$$\lambda = \upsilon T$$



الشكل (16)

ومن الجدير بالذكر ان العلاقات الواردة في اعلاه تكون صحيحة لجميع الموجات , كما ان تردد الموجة يعني بتردد المصدر المولد لها وان مقدار سرعة الموجة يتوقف على خواص الوسط الذي تنتقل فيه (مثل المرونة والكثافة) . فعند توليد نبضة في طرف وتر وطرفه الآخر مثبت في حاجز فان النبضة ستنتقل خلال الوتر نحو اليمين وتصل الى الحاجز وتؤثر عليه بقوة الى الأعلى ولكن الحاجز سيؤثر على الوتر بقوة رد الفعل مساوية لها بالمقدار ومعاكسة لها بالاتجاه الى الأسفل وهذه القوة سوف تسبب في حركة الوتر الى أسفل تنخفض عن موضع استقراره فتنعكس النبضة (القمة تنعكس قعراً والقعر ينعكس قمة) ويسمى هذا بالانقلاب ويبدو ان النبضة المنعكسة تختلف بفرق طور ° 180 عن النبضة الساقطة . واذا كان طرف الوتر حراً فانه يتحرك الى اعلى والى أسفل , فالنبضة المنعكسة لا يحصل لها انقلاب في الطور (اي بالطور نفسه) لاحظ الشكل (16) .

مثال 2

وتر مهتز كتلته 20g وطوله 60cm ما مقدار قوة الشد اللازمة في الوتر لكي تكون سرعة الموجة فيه 30m/s ؟

الحل/

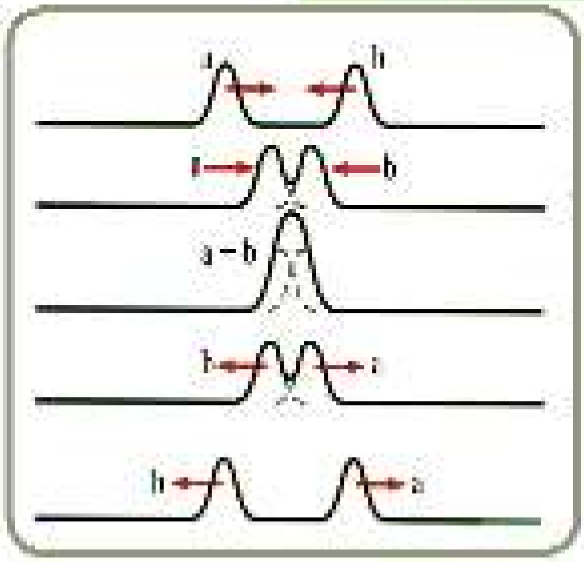
$$u = \sqrt{\frac{T}{m/L}}$$

$$T = \frac{mu^2}{L} \rightarrow = \frac{\frac{20}{1000} \times (30)^2}{\frac{60}{100}}$$

$$= \frac{0.02 \times 900}{0.6}$$

$$T = 30N$$ الشد في الوتر

8-9 مبدأ التراكب: Principle of Superposition

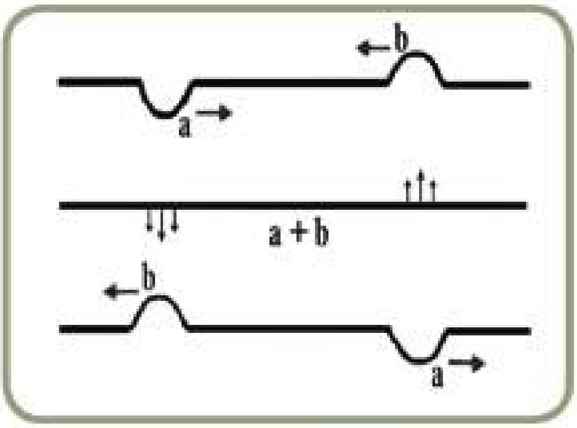


الشكل (17)

معظم الحركات الموجية التي نسمعها او نراها او نحس بها في حياتنا تحتوي على عدد كبير من الموجات مثل ضوء الشمس الذي يتكون من الوان الطيف السبعة والأصوات التي نسمعها التي يمكن ان تنتشر بطريقة مستقلة او تلتقي وتعطي حركة موجية , لهذا نسمي هذه الظاهرة بمبدأ تراكب الموجات ويمكن توضيح مبدأ التراكب كالاتي :

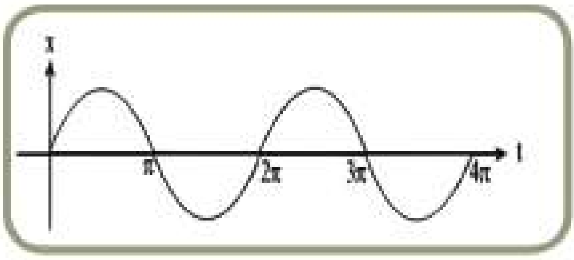
عندما تتحرك نبضتان خلال نقطة في وتر وفي الوقت نفسه ستكون الازاحة المحصلة في نقطة الالتقاء تساوي المجموع الاتجاهي للازاحتين للنبضتين الناتجة كل على انفراد في الوتر نفسه. فلو فرضنا انتقال نبضتين في وتر تتحركان باتجاهين متعاكسين فعند التقاء هاتين النبضتين نحصل على نبضة محصلة، ومن ثم تظهر النبضات مرة اخرى بعد موقع الالتقاء وتستمر في مسارها الاصلي بغض النظر عن وجود النبضة الاخرى لاحظ الشكل (17) هذا السلوك للنبضات عند التقائها يسمى بمبدأ التراكب Principle of Superposition .

وعندما تنتقل نبضتان باتجاهين متعاكسين وبالسعة نفسها (بينهما فرق بالطور 180°) فحسب مبدأ التراكب تكون محصلة إزاحتهما في نقطة الالتقاء مساوية الى الصفر ومن ثم تعود النبضات في مسارها الأصلي بعد نقطة الالتقاء لاحظ شكل (18)



الشكل (18)

8 – 10 الموجات الدورية :-



الشكل (19)

الموجات الدورية هي موجات تعيد نفسها بفترات زمنية منتظمة، وكل أنواع الموجات الدورية لها شكل الموجة الجيبية (sin wave–forms) اي يمكن تمثيلها بمنحني (الجيب) sine curve او منحنى (جيب تمام) cosine curve مثل موجات الماء وموجات الضوء ولمعرفة الموجات الدورية لاحظ الشكل (19) .

بما ان جسيمات المادة المتحركة في الوسط المهتز تتحرك حركة توافقية بسيطة باتجاه عمودي على اتجاه الموجة والتي لها شكل الموجة الجيبية وممكن ان توصف الموجات الدورية بثلاث كميات هي انطلاق الموجة v، وطولها الموجي λ والتردد f . والتي ترتبط مع بعضها بالعلاقة الآتية:

$$\text{wave speed} = \text{frequency} \times \text{wave length}$$

$$v = f\lambda$$

مثال 3

رادار يرسل موجات راديوية بزمن 0.08s وبتردد 9400MHz اذا علمت ان سرعة الموجات الراديوية $c = 3 \times 10^8 m/s$ جد :

a) الطول الموجي . b) عدد الموجات .

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^{8} m/s}{9.4 \times 10^{4} Hz}$$

$$\lambda = 3.19 \times 10^{3} m = 3.19 km$$

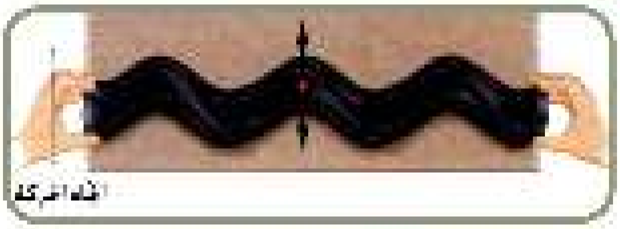
$$n = ft = (9.4 \times 10^{4} Hz)(8 \times 10^{-2} s) = 75.2 \times 10^{2}$$ عدد الموجات

8 - 11 أنواع الموجات Kindes of waves

سبق وإن تعرفت في دراستك السابقة على أنواع الموجات، وعرفت أن الموجات على نوعين:

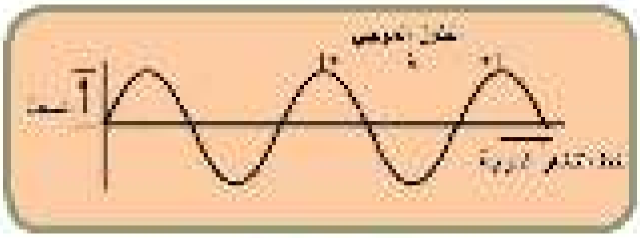
1) الموجات المستعرضة transverse waves

كما في الموجات الحاصلة في الحبل المشدود من طرف واحد والنابض الحلزوني والتي تهتز فيه جسيمات الوسط باتجاه عمودي على خط انتشار الموجة، لاحظ الشكل (20).



الشكل (20)

ويمكن تمثيل الموجة المستعرضة بمنحني sine , cosine حيث يمثل المحور x مواضع الاستقرار لجسيمات الوسط المهتز ويمثل المحور y إزاحات الجسيمات عن موضع استقرارها لاحظ الشكل (21).

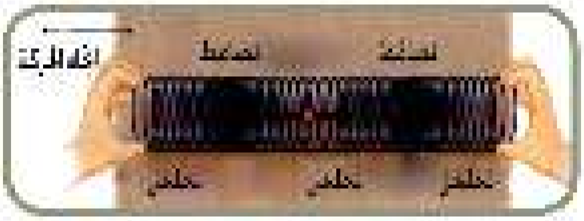


الشكل (21)

الموجات الميكانيكية المستعرضة يمكنها النفاذ فقط في الأوساط المرنة التي تتوافر بين جسيماتها قوى تماسك كافية مثل الأجسام الصلبة والسطوح الحرة للسوائل لا يمكن للجسيم المهتز من تحريك الجسيمات المجاورة له عموديا على اتجاه انتشار الموجة. والموجات المستعرضة التي لا تحتاج إلى وسط مادي لانتقالها هي الموجات الكهرومغناطيسية.

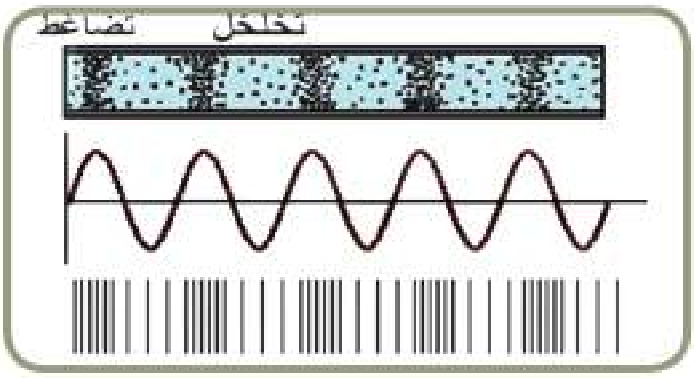
2) الموجات الطولية longitudinal wave

والتي تهتز فيها جسيمات الوسط بموازاة خط انتشار الموجة وكما في الشكل (22) كما في الموجة الحاصلة في النابض الحلزوني والموجات الصوتية إذ إن اهتزاز شوكة رنانة في الهواء تولد سلسلة من التضاغطات والتخلخلات دوريا مع الزمن منتشرة في الهواء.



الشكل (22)

ويمكن تمثيل الموجة الطولية بالرسم اما بخطوط مستقيمة متقاربة تمثل مناطق التضاغط وأخرى متباعدة تمثل مناطق التخلخل او أنها تمثل بيانيا بمنحنى الجيب **sine curve** ويسمى بمنحنى التضاغط والتخلخل للموجة الطولية لاحظ شكل (23).



الشكل (23)

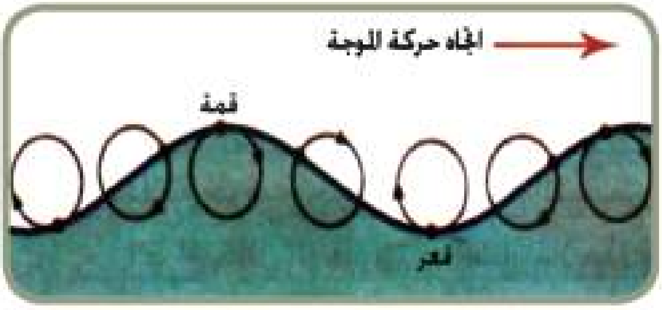
انطلاق الموجة يمثل المسافة التي تبتعد فيها قمة الموجة او قعرها او مركز تضاغطها او مركز تخلخلها عن مركز التموج في الثانية الواحدة ويتوقف على :

1. نوع الموجة .   2. طبيعة الوسط الناقل من حيث مرونته وكثافته .

ان انطلاق الموجة الطولية في الاوساط المختلفة يتوقف على معامل المرونة β والكثافة الكتلية للوسط ρ أي ان :

$$\upsilon = \sqrt{\frac{\beta}{\rho}}$$

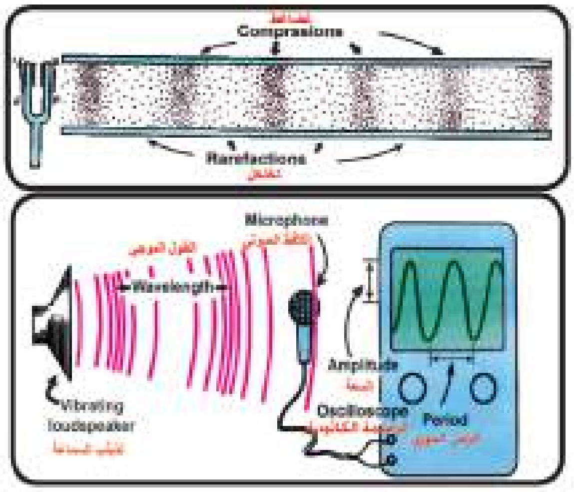
تظهر بعض الموجات في الطبيعة مثل موجات الماء باتحاد نوعين من الموجات: موجات طولية وموجات مستعرضة مثل موجات الماء ، لاحظ الشكل (24) فعندما تنتشر الموجات المائية على سطح ماء عميق تتحرك الجزيئات الموجودة على السطح بمسار دائري . فالإزاحات المستعرضة عبارة عن تغير في الوضع العمودي لجزيئات الماء . والازاحات الطولية تحصل عندما تمر الموجة على سطح الماء ، تتحرك جزيئات الماء عند القمم باتجاه حركة الموجة بينما تتحرك الجزيئات عند القيعان بعكس اتجاه الحركة بحيث ان الجزيء الموجود على القمة سوف يكون على القعر بعد نصف الدورة لذلك سوف تتلاشى حركته باتجاه حركة الموجة نتيجة للحركة في الاتجاه العكسي . وينطبق هذا على جميع الجزيئات المضطربة بوساطة الموجة وبذلك تنتشر الموجات على سطح الماء . كما ان الموجات الثلاثية الابعاد الناتجة عن الزلزال تحت سطح الكرة الارضية متكونة من كلتا نوعي الموجة (الموجةالمستعرضة والموجة الطولية) .



الشكل (24)

8- 12 الصوت sound :-

وكما مر بك عزيزي الطالب عزيزتي الطالبة في المرحلة السابقة من دراستك عن طبيعة الصوت ان الصوت شكل من أشكال الطاقة ينتقل من نقطة الى أخرى كموجة طولية في الاوساط المادية والتي تصل الاذن وتتحسس بها ، ولتوليد الصوت يتطلب وجود مصدر مهتز في وسط مادي ينقل الاهتزاز قد يكون غازاً او سائلاً او جسماً صلباً والموجات الصوتية لا يمكنها الانتقال خلال الفراغ ويبين الشكل (25) مصدرين يرسلان موجات صوتية في الهواء .



الشكل (25)

ان تردد الموجات الصوتية التي تتحسسها الاذن البشرية يتراوح بين (20-20000)Hz (الموجات الصوتية المسموعة) فالصوت المتولد عن اهتزاز غشاء مولدة الصوت **Loud speaker** (تحول الجهد الكهربائي المتغير الى ذبذبة صوتية) يسبب تغيرات في ضغط الهواء المجاور للغشاء ، فتهتز جزيئات الهواء حول موضع استقرارها , وبما ان الضغط غير منتظم فان جزيئات الهواء تكتسب قوة نتيجة لتغير ضغط الهواء ويكون اتجاه القوة دائما بعيداً عن مناطق التضاغط وباتجاه مناطق التخلخل فجزيئات الهواء تتحرك يساراً او يميناً باتجاه مناطق التضاغط وبعيداً عن مناطق التخلخل وانطلاق الصوت يعتمد على طبيعة الوسط الذي ينتقل فيه ، فانطلاقه في الجوامد اكبر من انطلاقه في السوائل وانطلاقه في السوائل اكبر من انطلاقه في الغازات وتستطيع ان تلاحظ من الجدول (1) السرع المختلفة للصوت في الاوساط المختلفة .

الجدول (1)

سرعة الصوت في الاوساط المختلفة $\upsilon (m/s)$	
الغازات	
الهيدروجين (0C)	1286
الهليوم (0C)	972
الهواء (20C)	343
الهواء (0C)	331
الاوكسجين (0C)	317
السوائل عند درجة 25C	
ماء البحر	1533
الماء	1493
الزئبق	1450
الكيروسين	1324
الكحول المثيلي	1143
رباعي كلوريد الكربون	926
الجوامد	
الماس	12000
زجاج البيركس	5640
الحديد	5130
الالمنيوم	5100
النحاس الاصفر Brass	4700
فلز النحاس copper	3560
الرصاص Lead	1322
المطاط	1600

يعتمد انطلاق الصوت في الأجسام الصلبة على مرونة الوسط وعلى كثافته ,فانطلاق الصوت (في درجة $0°C$ وضغط $1atm$) في الالمنيوم مقداره $5100m/s$, بينما انطلاق الصوت في الهواء في الدرجة نفسها مقداره $331m/s$.

وعلى هذا الأساس يمكن صياغة انطلاق الصوت بالعلاقة الآتية :

$$\upsilon_s = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

إذ إن :

υ_s تمثل انطلاق الصوت .

Y تمثل معامل يونك .

ρ تمثل كثافة الوسط .

مثال 4 اذا طرق احد طرفي ساق من الالمنيوم بوساطة مطرقة فانتشرت عبر الساق موجة طولية احسب انطلاق الصوت في ساق الالمنيوم. علما ان معامل يونك للالمنيوم يساوي $7\times10^{10}N/m^2$, وان كثافة الالمنيوم $2.70\times10^3kg/m^3$

الحل/

$$\upsilon_s = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

$$= \sqrt{\frac{7 \times 10^{10}\ N/m^2}{2.7 \times 10^3\ kg/m^3}}$$

انطلاق الصوت في الالمنيوم $= 5091\ m/s$

وهذه النتيجة اكبر بكثير من مقدار سرعة الصوت في الغازات (كما مبين في الجدول 1) ذلك أن جزيئات المواد الصلبة مرتبطة ببعضها بطريقة اكثر تماسكا فتكون الاستجابة للاضطراب اكثر سرعة .

وانطلاق الصوت في الغازات يتوقف على نوع الغاز ودرجة حرارته,فعند ارتفاع درجة الحرارة درجة سيليزية واحدة يزداد انطلاق الصوت في الهواء بمقدار $0.6m/s$ فانطلاق الصوت في الهواء عند درجة حرارة T :

$$\upsilon = 331 - 0.6T$$

يزداد انطلاق الصوت بزيادة الرطوبة في الجو لان كثافة الهواء الرطب اقل من كثافة الهواء الجاف وانطلاق الصوت في السوائل يعطى بالعلاقة :

حيث ان β تمثل معامل مرونة السائل وتقاس N/m^2

$$\upsilon_s = \sqrt{\frac{\beta}{\rho}}$$

مثال 5

احسب انطلاق الصوت في الماء الذي معامل مرونته $2.1 \times 10^9 N/m^2$ وكثافته $1\times10^3 kg/m^3$.

الحل/

$$\upsilon_s = \sqrt{\frac{\beta}{\rho}}$$

انطلاق الصوت في الماء

$$= \sqrt{\frac{2.1 \times 10^9 N/m^2}{1 \times 10^3 kg/m^3}} = 1449 m/s$$

8 – 13 تداخل الموجات Interference of wave :-

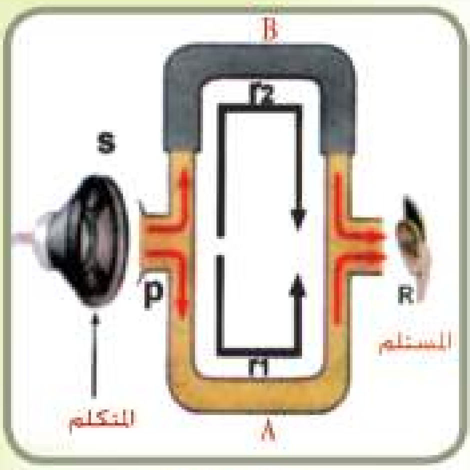
لعلك أحسست انه يمكنك سماع صوت شخص بوضوح على الرغم من أن صوته تقاطع مع أصوات أخرى فهل تساءلت ماذا يحدث حينما تلتقي موجتان أو أكثر في الوسط نفسه ؟ وما التأثير الذي سيحدثه هذا الالتقاء؟ هذه الأسئلة وغيرها يمكننا الإجابة عنها ,بعد إجراء النشاط الآتي:

نشاط

بيان ظاهرة التداخل في الصوت

أدوات النشاط :

أنبوبة كوينك , تتركب من أنبوبة معدنية A ذات فرعين تحتوي على فتحتين جانبيتين R, P وتنزلق هذه الأنبوبة داخل أنبوبة اخرى B يستعمل الأنبوبة (B) لتغيير طول المسار (PBR) لاحظ الشكل (26) .



الشكل (26)

خطوات النشاط :

- اطرق شوكة رنانة او اي مصدر صوتي لخر عند الفتحة P وسيحدث تضاغط .
- حرك الانبوبة B بحيث يصبح المساران PBR – PAR متساويين أي ان التضاغطين سيصلان الفتحة R في اللحظة نفسها ، نسمع الصوت عند الفتحة R بوضوح .
- اسحب الانبوبة B تدريجياً الى الخارج فيزيد طول المسار (PBR) عن المسار PAR وباستمرار سحب الأنبوب ,ينعدم الصوت عند وضع معين وباستمرار السحب تزداد شدة الصوت من جديد .
- عند تساوي طول المسارين (PAR)(PBR) فان الموجات تصل من المسارين من الفتحة

P ويكونان متفقين في الطور فيتقابل تضاغط من المسار الاول مع تضاغط من المسار الثاني وايضاً يتقابل تخلخل من المسار الاول مع تخلخل من المسار الثاني فيحدث تقوية للصوت اي تداخل بناء .

- عند تغير طول احدى الأنبوبتين عن طول الأخرى يكون فرق المسار $\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ عندئذ تداخل تضاغط من المسار الأول مع تخلخل من المسار الثاني فيحدث تداخل إتلافي يؤدي الى خفوت بالصوت اذ تزول طاقة الموجة الناتجة .

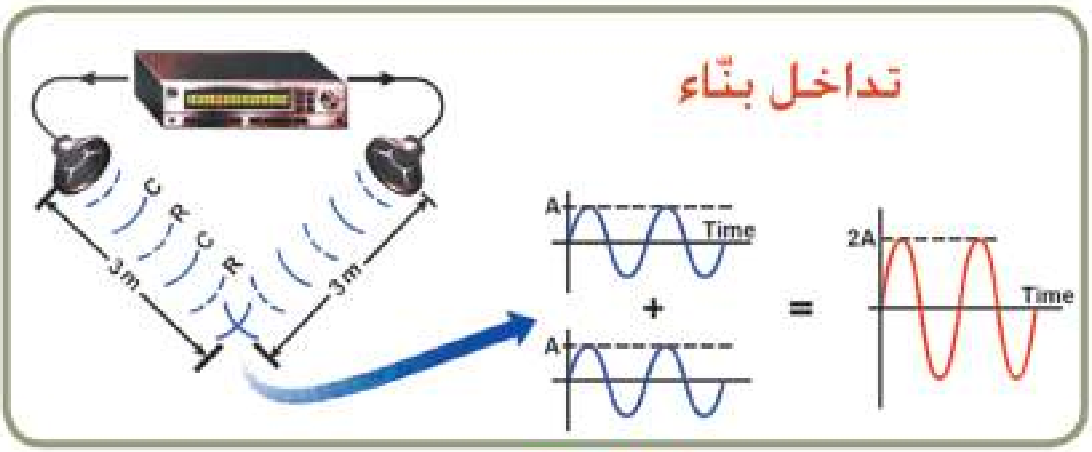
نستنتج ان :

ان عملية التقاء مجموعة من الموجات من نوع واحد في وقت واحد يدعى تداخل الموجات وللحصول على نمط تداخل واضح ومستمر لابد من ان يكون للموجات المتداخلة السعة نفسها والتردد نفسه .

وعند حدوث التقاء الموجات يتشكل نمطان من التداخل هما :

1 تداخل بناء Constructive Interference

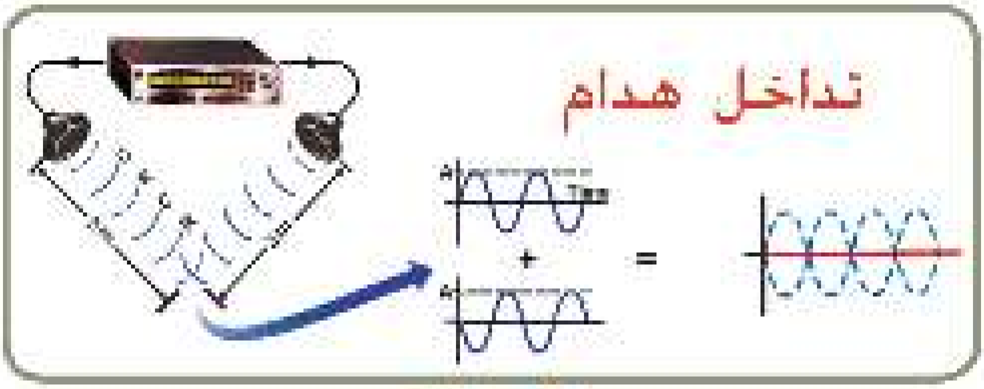
عندما تتداخل الموجات مع بعضها يحدث تقوية في الموجة الناتجة يسمى تداخل بناء عند التقاء قمة الموجة مع قمة موجة أخرى او التقاء قعري الموجتين لاحظ الشكل (**27a**) .



الشكل (**27a**) .

2 تداخل هدام Destructive Interference

حيث تلغي الموجات تأثير بعضها على البعض الاخر ، مثل التقاء قمة موجة مع قعر موجة أخرى.لاحظ الشكل (**27b**).



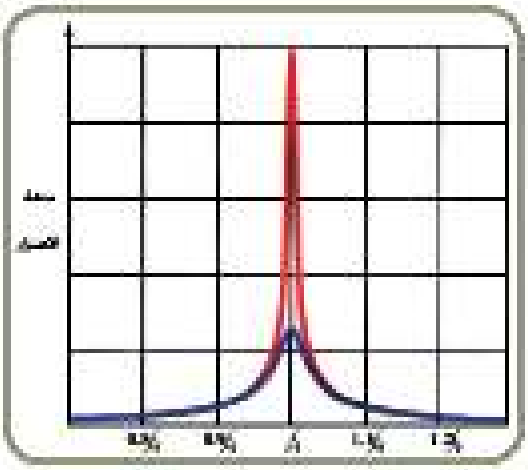
الشكل (27b)

9-14 الرنين Resonance

إذا أثرت قوة خارجية دورية في نظام مهتز وكان تردد القوة المؤثرة f يساوي التردد الطبيعي للنظام f_o ، أي أن :

$$f = f_o$$

فإن سعة اهتزاز النظام تزداد كثيراً ونقول عندئذٍ إن القوة في حالة رنين مع النظام والتردد في هذه الحالة يسمى بالتردد الرنيني وإن النظام عندئذٍ يمتلك أقصى طاقة لاحظ الشكل (28) .



الشكل (28)

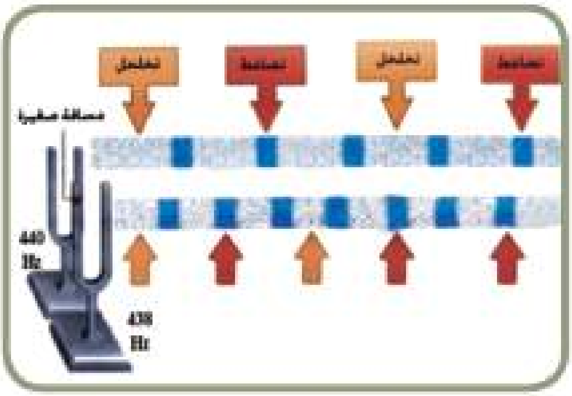
وهذه الحالة يمكن ملاحظتها إذ تزداد سعة اهتزاز الأرجوحة عندما يقوم الشخص الواقف خلفها بدفعها بقوة وبنفس تردد حركتها عند كل دورة والتردد نفسه لاحظ الشكل (29) .

الشكل (29)

فكر
لا يسمح لمجموعة من الجنود السير على جسر بانتظام ؟

8 - 15 الضربات Beats :

اذا طرقت شوكتان رنانتان ترددهما مختلف قليلاً لاحظ الشكل (30) عندها سنسمع صوت متغير الشدة بصورة دورية وتسمى هذه الظاهرة بالضربات وهي التغير الدوري في الشدة عند نقطة نتيجة تراكب موجتين لهما ترددان مختلفان اختلافا صغيراً .

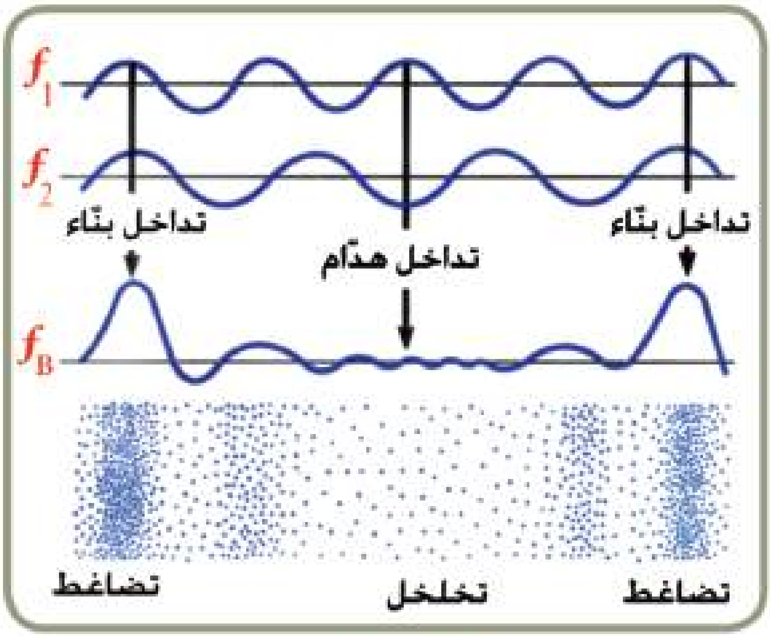


الشكل (30)

ان تردد الضربات f_B يساوي الفرق بين ترددي المصدرين كما يأتي :

$$f_B = f_1 - f_2$$

يمكن إدراك ظاهرة الضربات بسهولة اذا كان الفرق بين ترددي الموجتين المتداخلتين صغيراً لا يتجاوز 10Hz وهذا يتوقف على قدرة الأذن البشرية على تمييز ذلك وعموماً فان الاذن البشرية لا يمكنها ان تميز بين ضربات نغمتين اذا كان فرق التردد بينهما يزيد عن 7Hz .



الشكل (31)

اما تردد الموجة (f) الناتجة من تراكب الموجتين لاحظ الشكل (31) فانه يساوي معدل ترديديهما اي ان :

$$f = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

إذ ان :

f_1 = تردد الموجة الأولى .

f_2 = تردد الموجة الثانية .

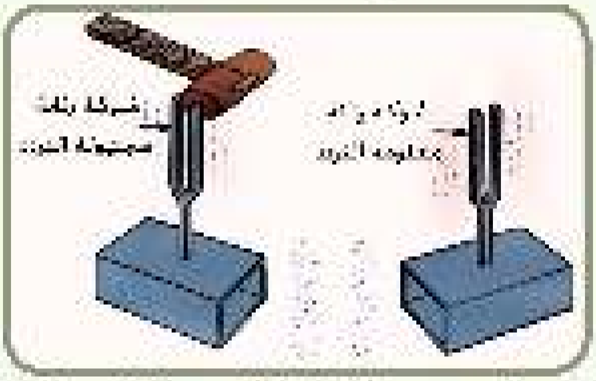
تستثمر ظاهرة الضربات لتعيين :

- تردد وتر ما في آلة موسيقية .
- تردد مجهول لشوكة رنانة بوساطة شوكة رنانة أخرى .

مثال 6

يراد تعيين تردد شوكة رنانة طرقت بالقرب من اخرى مهتزة بتردد 446Hz فسمعت منها 7beats/sec كم هو تردد الشوكة المجهولة ؟

الحل /



$$f_b = f_1 - f_2$$
$$7 = f_1 - 446$$
$$f_1 = 453\ Hz$$
or:-
$$7 = 446 - f_2$$
$$f_2 = 439\ Hz$$

لمعرفة ايهما التردد الصحيح ، نثقل شوكة مجهولة التردد (فيقل ترددها) فاذا :

1 - قل عدد الضربات في الثانية الواحدة فان f_1 هو التردد الصحيح .

2 - ازداد عدد الضربات في الثانية الواحدة فان f_2 هو التردد الصحيح .

فكر كيف يمكنك الحصول على ظاهرة الضربات باستعمال شوكتين رنانتين متساويتين بالتردد .

16-3 الموجات الواقفة Standing waves :

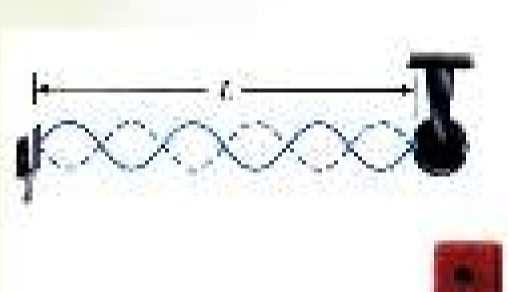
لعلك تتساءل ما هي ظاهرة الموجات الواقفة ؟ وكيف تحدث ؟ وهل تحدث للموجات جميعها وما اهم التطبيقات العملية عليها؟ هذه الاسئلة وغيرها يمكنك الاجابة عنها بعد اجرائك النشاط الاتي :

نشاط الموجات الواقفة في وتر

أدوات النشاط :

شوكة رنانة ، وتر ، ثقل .

خطوات النشاط :

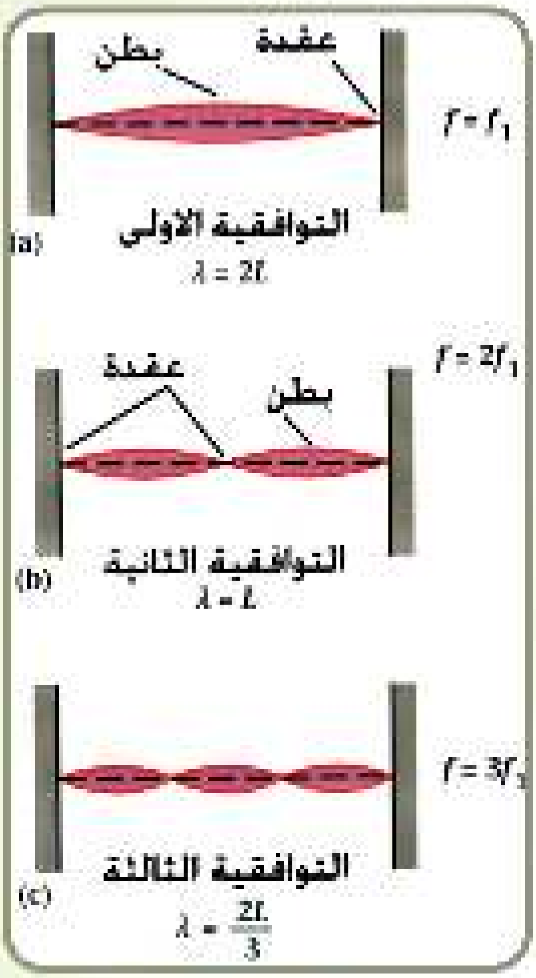


الشكل (32)

- ثبت احد طرفي الوتر بأحد فرعي شوكة رنانة كما في الشكل (32) .
- اجعل طرف الوتر الآخر يمر على بكرة ويتدلى منه ثقل .
- عند اهتزاز الشوكة الرنانة، بعد التحكم بطول الوتر او تغير مقدار الثقل او كليهما لجعل الوتر يهتز بعدد صحيح من انصاف طول الموجة ماذا تلاحظ ؟

سوف تتولد موجات تنعكس عند نهاية الوتر وترتد باتجاه معاكس فتلتقي مع الموجات الساقطة

مكونة ما يسمى بالموجات الواقفة. فينقسم الوتر الى عدة مناطق تتكون من عقد وبطون تنعدم كل من سعة الاهتزاز والطاقة والسرعة لجسيمات الوسط عند العقد بينما تزداد سعة الاهتزاز والطاقة والسرعة لجسيمات الوسط بين كل عقدتين وتبلغ اكبر سعة عند منتصف المسافة بين كل عقدتين متتاليتين والتي تسمى بالبطون وأماكن هذه البطون ونتيجة لذلك تسمى هذه الموجات بالموجات الواقفة او الساكنة (stationary wave أو standing waves) فالموجات الواقفة هي تلك الموجات التي تنشأ من تراكب موجتين من الموجات المتساوية في التردد والسعة تسيران في اتجاهين متعاكسين وبالانطلاق نفسه في وسط واحد محدود .



الشكل (33)

الشكل (33) يمثل موجات واقفة متولدة في وتر مشدود بين نقطتين . ولايجاد العلاقة بين طول الوتر المهتز والطول الموجي للموجة الواقفة لاحظ الشكل (33) .

- ما عدد البطون في كل حالة ؟
- كم تساوي المسافة بين كل عقدتين من الطول الموجي للموجة الواقفة في كل حالة ؟
- ما العلاقة بين طول الموجة وطول الوتر ؟

ووفق إجابتك عن الأسئلة السابقة ، يكون :

طول الوتر (L) = عدد البطون (n) × $\frac{(\lambda)}{2}$

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

حيث ان : $n = 1 , 2 , 3 , \ldots\ldots$

ومن العلاقة : $\upsilon = \lambda f$

فان التردد يعطى بالعلاقة الاتية :

$$f = \frac{\upsilon}{\lambda} = n \cdot \frac{\upsilon}{2L}$$

واذا كانت : $n = 1$

فان : $f_1 = \frac{\upsilon}{2L}$ ، حيث يعرف f_1 بالتردد الاساسي او النغمة التوافقية الاولى (first harmonic) .

واذا كانت : $n = 2$ فان f_2 يعرف بتردد النغمة التوافقية الثانية :

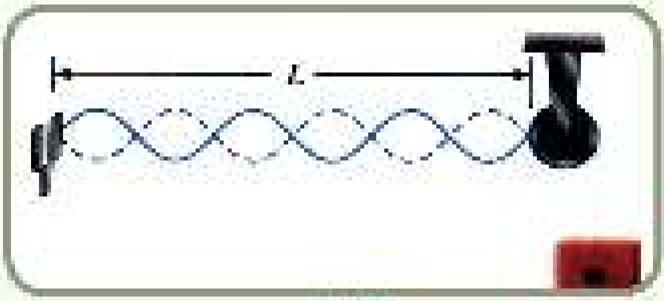
$$f_2 = \frac{\upsilon}{L}$$

وهكذا . . .

مثال 7

في الشكل (34) وتر طوله 42cm تولدت فيه موجة واقفة تتألف من ستة بطون وبانطلاق v = 84m/s جد كلاً من طول الموجة وتردد النغمة التوافقية الأولى والثانية ؟

الحل/



الشكل (34)

بتطبيق العلاقة : $L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$

حيث أن n يمثل عدد البطون

$$0.42 = 6 \cdot \left(\frac{\lambda}{2}\right)$$

طول الموجة الواقفة $\lambda = \frac{0.42}{3} = 0.14m$

أما ترددات النغمة التوافقية الأولى والثانية فنجدها بتطبيق العلاقة $f = n \cdot \frac{v}{2L}$ ومنها نجد أن :

تردد النغمة التوافقية الأولى $f_1 = \frac{1 \times 84}{2 \times 0.42} = 100Hz$

تردد النغمة التوافقية الثانية $f_2 = \frac{2 \times 84}{2 \times 0.42} = 200Hz$

أي أن : $f_2 = 2f_1$

12 – 8 خصائص الصوت المميزة

تختلف الأصوات بعضها عن بعض بخصائص أساسية ثلاثة هي :

1. علو الصوت .
2. درجة الصوت .
3. نوع الصوت .

1 علو الصوت Loudness

يرتبط علو الصوت بشدة الصوت التي لها تأثير في الأذن والتي تعطينا الإحساس بعلو الصوت أو خفوته. فالأصوات التي من حولنا قد تكون عالية كصوت الرعد وقد تكون خافتة كالهمس وتعرف شدة الصوت عند نقطة معينة بأنها :

((المعدل الزمني للطاقة الصوتية لوحدة المساحة العمودية من جبهة الموجة التي مركزها تلك النقطة)) لاحظ الشكل (35) .

أي أن : شدة الصوت = $\frac{\text{القدرة الصوتية}}{\text{المساحة}}$

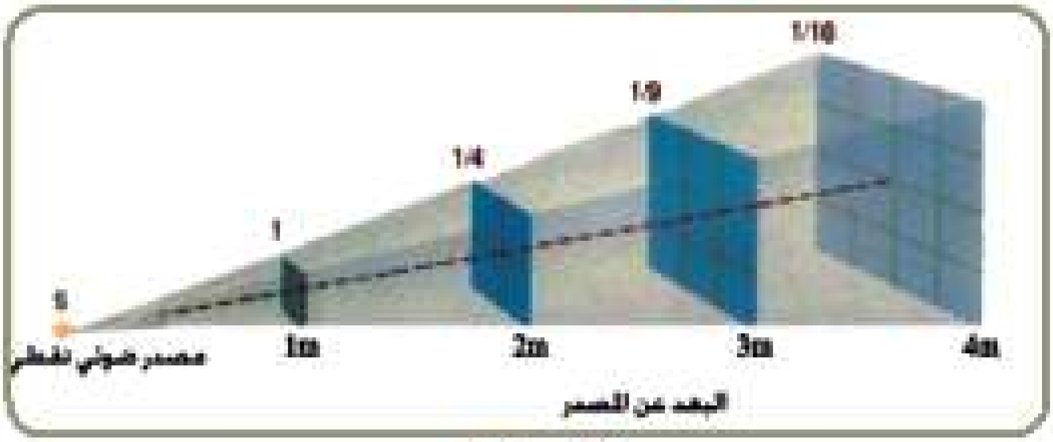
$$I = \frac{P}{A}$$

إذ أن :

P - القدرة الصوتية مقدرة بالواط (Watt) .

A - المساحة مقدرة بـ m^2 .

I - الشدة الصوتية مقدرة $Watt/m^2$.



الشكل (35)

إن شدة الصوت عند نقطة من الوسط تعتمد على :

1) بعد النقطة عن المصدر : تتناسب شدة الصوت في نقطة معينة تناسباً عكسياً مع مربع بعد النقطة عن مصدر الصوت .

2) سعة اهتزاز المصدر وتردده : تتناسب شدة الصوت طردياً مع كل من مربع سعة اهتزاز مصدر الصوت وكذلك مع مربع تردد المصدر .

3) المساحة السطحية للسطح المهتز : إذ تزداد شدة الصوت بزيادة المساحة السطحية للجسم المهتز .

4) كثافة وسط الانتقال : تزداد شدة الصوت بزيادة كثافة الوسط المهتز .

8 – 18 حساب مستويات الصوت Measuring sound levels :-

سبق وان درست عزيزي الطالب ان الترددات الصوتية التي تتحسس بها الأذن البشرية جيداً تقع بين 20Hz - 20000Hz ، ولا يسمع الصوت اذا صار تردده اقل من 20Hz (وهي ترددات الموجات تحت السمعية) او اكبر من 20000Hz (وهي ترددات الموجات فوق السمعية) .

ان العلاقة بين شدة الصوت وعلوه ليست علاقة طردية وإنما هي علاقة لوغارتمية كما ان الاذن البشرية لاتتحس بالتساوي الأصوات ذات الترددات المختلفة والمتساوية في شدتها .

وتتحسس الأذن البشرية شدة صوت تقارب $10^{-12}\ \frac{Watt}{m^2}$ ولغاية $1\ \frac{Watt}{m^2}$ عندما يكون تردد الصوت 1000Hz وقد اعتبرت الشدة $10^{-12}\ \frac{Watt}{m^2}$ بداية للسمع وسميت بعتبة السمع وقد وضع مقياس لوغارتمي لحساب مستوى الشدة intensity level (L_1) لصوت ما شدته (I) هو :

$$L_1\ (\text{decibel}) = 10\ (\log_{10} \frac{I}{I_\circ})$$

وان مستوى الشدة (L_1) يمثل العلاقة اللوغارتمية بين الاحساس بعلو الصوت وشدته عند تردد معين .

حيث ان:

L_O تمثل عتبة السمع ومقدارها $10^{-12}\ \frac{Watt}{m^2}$

L_1 يمثل مستوى الشدة ويقاس بوحدات decibel (dB) .

ومن الجدير بالذكر ان مستوى شدة الصوت عند عتبة السمع يساوي صفراً لان :

$$L_O = 10\log\frac{10^{-12}}{10^{-12}} = 10\log_{10}(1) = 10\times 0 = 0$$

وبما ان أعظم شدة تستطيع الأذن سماعها هي ($1\ \frac{Watt}{m^2}$) فان اعلى مستوى شدة صوتية عند عتبة الألم هي :

$$L_1 = 10\log\frac{1}{10^{-12}} = 10\log_{10}10^{12} = 120dB$$

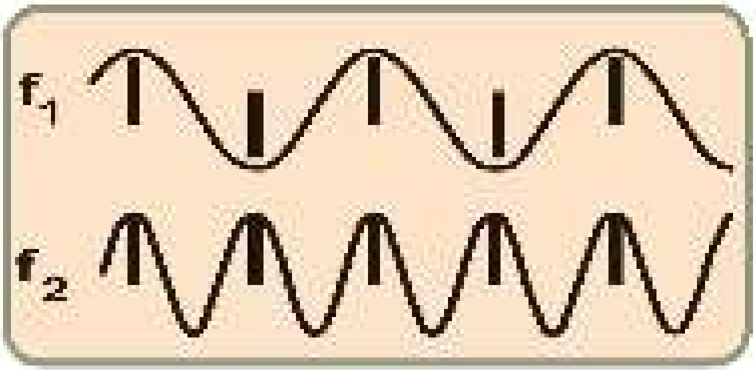
والجدول (2) يبين مستويات الشدة لمصادر صوتية مختلفة .

مستوى الشدة للصوت (dB)		مصدر الصوت
150	Nearby jet airplane	طائرة نفاثة قريبة
120	Siren' rok Concert	صفارة الانذار
100	Subway , power mower	مترو الانفاق وماكنة قص الحشائش
80	Busy traffic	المرور المزدحم
70	Vacuum cleaner	المكنسة الكهربائية
50	Normal conversation	المحادثة الطبيعية
40	Mosquito buzzing	صوت الناموس (الأزيز)
30	Whisper	الهمس
10	Rustling Leaves	حفيف اوراق الشجر
0	Threshold of hearing	حد السمع

جدول (2) مستويات الشدة لمصادر صوتية مختلفة

2 درجة الصوت Pitch of the sound

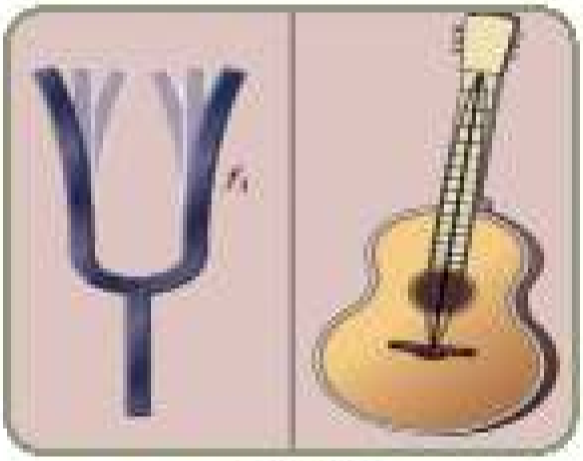
هي خاصية الصوت التي تعتمد على تردد الموجات الصوتية الواصلة للأذن والتي تميز بين الأصوات الحادة كصوت المرأة والأصوات الغليظة كصوت الرجل . فاذا كان تردد النغمة صغيراً قيل ان النغمة منخفضة الدرجة واذا كان تردد النغمة كبيراً قيل ان النغمة عالية الدرجة , لاحظ الشكل (36) .



الشكل (36)

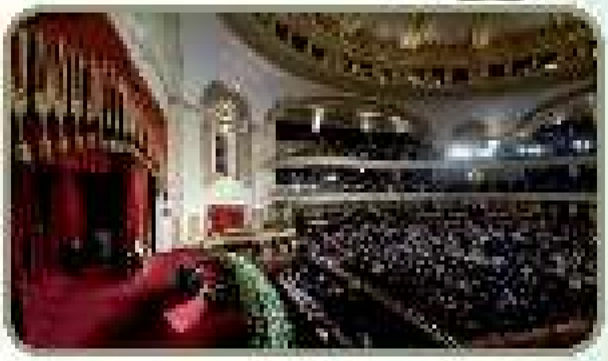
3 نوع الصوت

تلك الخاصية التي بوساطتها تميز الأذن بين النغمات المتماثلة في الدرجة والشدة الصادرة عن الآلات الموسيقية المختلفة فالنغمة الصادرة عن شوكة رنانة ترددها مثلاً 256Hz يمكن تمييزها عن نغمة أخرى لها التردد نفسه صادرة من بيانو أو كمان ، ويتوقف على نوع المصدر وطريقة تولد الصوت لاحظ الشكل (37) .



الشكل (37)

هل تعلم ؟



الشكل (38)

تزين السقوف والجدران تبعاً لهدف استخدام الغرف والقاعات فالسقوف المصممة للترديد عادةً هي عادة مسطحة رصينة أما السقوف والمكتبات والأماكن الهادئة فهي عادةً تكون ناعمة الملمس ومغطاة بمواد ممتصة للصوت لاحظ الشكل (38) .

مثال 8 وضعت آلتان متماثلتان على البعد نفسه من عامل ، شدة الصوت الواصل من كل آلة لموقع العامل هو $2\times10^{-7}\ Watt/m^2$ ، أوجد مستوى الشدة للصوت المسموع من قبل العامل (a) عندما تعمل إحدى الآلتين . (b) عندما تعمل الآلتان معاً .

الحل /

(a) نحسب مستوى الشدة L عند موضع العامل عندما تعمل إحدى الآلتين من المعادلة الآتية :

$$L_1 = 10\log_{10}\frac{I}{I_0}$$

$$L_{11} = 10\log_{10}\frac{2\times10^{-7}\,watt/m^2}{1\times10^{-12}\,watt/m^2} = 53dB$$

b) تتضاعف الشدة الى $4\times10^{-7}\ Watt/m^2$ وبذلك يكون مستوى الشدة في هذه الحالة هو :

$$L_{12} = 10\log_{10}\frac{I}{I_0}$$

$$L_{12} = 10\log_{10}\frac{4\times10^{-7}\ Watt/m^2}{1\times10^{-12}\ Watt/m^2} = 56\ dB$$

أي عندما تتضاعف الشدة يزداد مستوى الشدة بمقدار 3dB فقط.

فكر

يعزف عازف الكمان لحناً منفرداً وبعد ذلك ينضم إليه تسع عازفين والجميع يعزفون الشدة نفسها التي عزف بها العازف الاول .

a) عندما يعزف كل العازفين معاً ما مقدار مستوى شدة الصوت للمجموعة ؟

b) اذا انضم عشرة عازفين آخرين كم يزداد مستوى شدة الصوت عن حالة العازف الواحد ؟

8-19 الموجات فوق السمعية Ultrasonic waves

الموجات فوق السمعية : هي موجات ميكانيكية تنتشر بسرعة الصوت نفسها إلا أنها ذات ترددات عالية تزيد عن $20000H_z$ ومن تطبيقاتها العملية :

✱ تستعمل في تعيين الأبعاد وأعماق البحار إذ يستطيع الخفاش في تجنب الاصطدام بما يعترض طريقه أثناء طيرانه إذ يصدر موجات فوق سمعية تنعكس عند اصطدامها بأي عائق ويستقبل الخفاش الموجات المنعكسة فيستدل على وجود العوائق ويتجنبها كما يستعملها الانسان في حساب أعماق البحار وذلك بإرسال اشارة من الموجات فوق السمعية نحو قاع البحر وتستقبل الاشارة المنعكسة عنه بمستقبل خاص، وبحساب زمن الذهاب والاياب للموجة ومعرفة سرعة الموجات فوق السمعية في ماء البحر ، يمكن معرفة مقدار العمق .

- تستثمر في الفحوص الطبية والجراحية ذلك ان كل عضو من اعضاء جسم الإنسان كالانسجة و العظام والدهون تختلف في قدرتها على عكس هذه الموجات عند سقوطها عليها فعند تسليط حزمة من موجات فوق السمعية على الجزء المراد فحصه واستقبال الموجات المنعكسة على جهاز إلكتروني متصل بشاشة تلفزيونية تظهر عليها صورة المنطقة المراد فحصها و يفضل استخدام الموجات فوق السمعية على استخدام الاشعة السينية وذلك لتلافي التأثير الضار للأشعة السينية (أشعة اكس) على الجسم .
- تستثمر في التصنيع للتأكد من تجانس الآلة المعدنية وكشف العيوب .
- تستثمر في القضاء على بعض انواع البكتريا مثل بكتريا الدفتريا وبكتريا السل . كما انها توقف بعض الفيروسات وتحد من تأثيرها .
- تستثمر في التعقيم والتنقية والصقل : عند مرور موجات فوق سمعية في سائل تزداد سرعة وتعجيل جسيمات الوسط المتذبذبة ونتيجة لذلك تحدث انقطاعات في اتصالات السائل تظهر باستمرار وهذه الانقطاعات تمثل فقاعات وعند اختفاء الانقطاعات يحدث ارتفاع لحظي في الضغط يصل آلاف المرات بقدر الضغط الجوي لذا تقوم بتفتيت ما يوجد في سائل من جزيئات او كائنات حية. كذلك تزال الدهون وطبقات الاوكسيد بهذه الطريقة فضلاً عن استثمارها في تخريم الزجاج والسيراميك .
- تستثمر في الطب للتدليك بإمرارها على الجلد فتسبب اهتزازاتها السريعة تدليك العضلات كما تستخدم في تحطيم الحصى في الكلى .

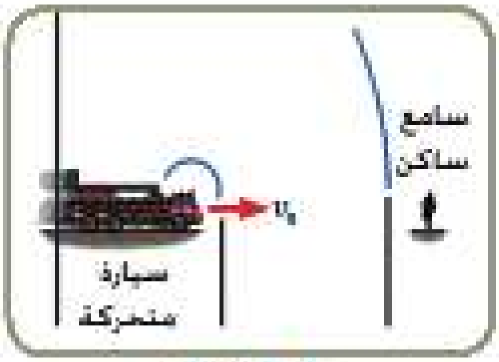
فكر

لماذا تعمل الموجات ذات التردد المرتفع (فوق السمعية) بشكل افضل من الموجات ذات التردد المنخفض عند تحديد موقع عن طريق الصدى عند الدولفين ؟
لاحظ الشكل (39) .

الشكل (39)

9 - 20 تأثير دوبلر Doppler effect :-

ربما لاحظت كيف أن صوت منبه سيارة يتغير عندما تتحرك السيارة مبتعداً عنك فيكون تردد الصوت الذي تسمعه عندما تقترب منك السيارة أعلى من الذي تسمعه عندما تتحرك السيارة بعيداً عنك .



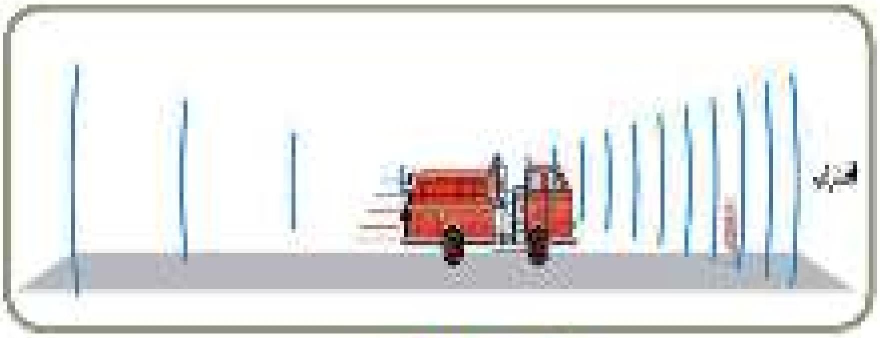
الشكل (40)

إن ظاهرة التغير في التردد المسموع عن تردد المصدر أو تحرك الوسط أو السامع أو المصدر بالنسبة لبعضهما يسمى تأثير دوبلر .

ويحدث تأثير دوبلر في حالة تغير تردد الموجة المسموعة التي يحدثها مصدر صوت في حالة وجود حركة نسبية بين المصدر والسامع عندما يكون الوسط ثابتاً أو متحركاً .

لاحظ الشكل (40) ولتوضيح هذا التأثير نفترض أن الوسط ساكناً وأن مصدر الصوت والسامع في حالتي اقتراب أو ابتعاد عن بعضهما , مثال على ذلك صوت القطار المتحرك إذ تزداد درجة صوت الصفارة باقترابه من السامع الواقف وتقل بابتعاده عنه . ويحدث تأثير دوبلر كالآتي :

(a) عندما يتحرك مصدر الصوت بسرعة منتظمة نحو سامع ساكن .



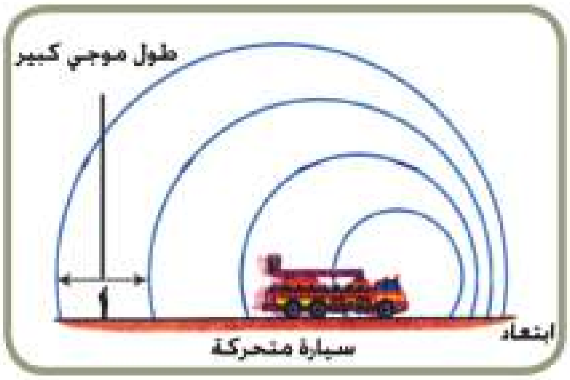
الشكل (41)

من ملاحظتنا للشكل (41) نجد أن مصدر الصوت قد تحرك بسرعة منتظمة مقدارها v_s نحو سامع ساكن . وكان التردد الحقيقي للمصدر f وأن سرعة الصوت في ذلك الوسط v تردد الصوت المسموع يعطى بالعلاقة الآتية :

$$f' = \left(\frac{v}{v - v_s}\right) f$$

حيث :

$$f' > f$$



b) في حالة ابتعاد المصدر عن السامع الساكن :-

الشكل (42)

عندما يكون اتجاه سرعة المصدر (υ_s) بعكس اتجاه سرعة الصوت (υ) نحو السامع لذلك نعوض عن سرعة المصدر عندئذ باشارة سالبة ($-\upsilon_s$) اي ان :

$$f' = \left(\frac{\upsilon}{\upsilon + \upsilon_s}\right) f$$

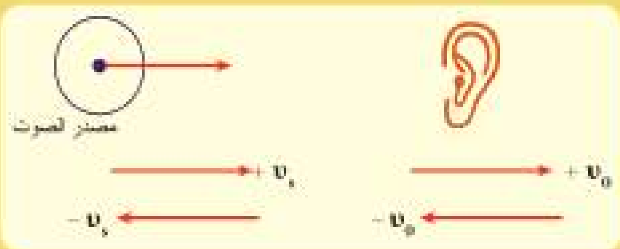
وبصوره عامة : اذا كان المصدر يتحرك بسرعة υ_s والسامع يتحرك بسرعة υ_o وسرعتها على استقامة واحدة ، فهناك صيغة عامة يمكن كتابتها كالاتي :

$$f' = \left(\frac{\upsilon - \upsilon_o}{\upsilon - \upsilon_s}\right) \times f$$

فكر :

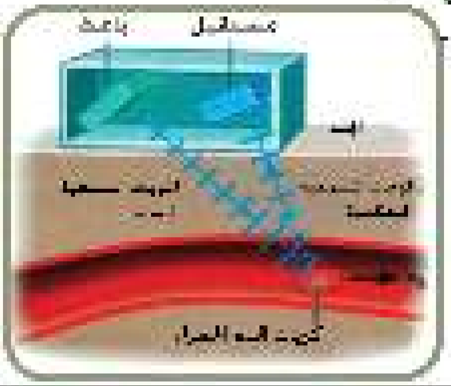
1) اذا كان المصدر يتحرك بسرعة υ_s مقترباً من السامع الساكن فنعوض عن مقدار سرعة المصدر باشارة موجبة . اما اذا كان المصدر يتحرك بسرعة υ_s مبتعداً عن السامع الساكن فنعوض عن سرعة المصدر بالاشارة السالبة .

2) اذا كان السامع يتحرك υ_o باتجاه المصدر الساكن فنعوض عن مقدار سرعة السامع باشارة سالبة . اما اذا كان السامع يتحرك بسرعة υ_o مبتعداً عن المصدر الساكن فنعوض عن سرعة السامع باشارة موجبة وهذا يشترط ان نعوض اشارة السرعة بالاتجاه من المصدر نحو السامع موجبة ونعوضها سالبة اذا كانت بالاتجاه المعاكس وسرعة (المصدر الساكن أو السامع الساكن) فانها صفراً .



هل تعلم ؟

إن إحدى التطبيقات الطبية لتأثير دوبلر هو مقياس جريان الدم (Doppler flow meter) لاحظ الشكل (43) .



الشكل (43)

مثال 9

سيارة تتحرك في خط مستقيم بانطلاق ثابت (72km/h) نسبة الى رجل يقف على الرصيف وكان منبه الصوت في السيارة يصدر صوتاً بتردد (644Hz) وانطلاق الصوت في الهواء حينذاك (342m/s) . احسب مقدار كل من التردد الذي يسمعه الرجل والطول الموجي المسموع عندما تكون السيارة متحركة :

a) نحو الرجل .   b) بعيداً عن الرجل .

الحل /

$$f' = \left(\frac{v - v_o}{v - v_s}\right) \times f$$

a) بما ان المصدر المصوت يقترب من السامع فإن سرعة المصدر تكون بإشارة موجبة (لأنها مع اتجاه انتشار موجة الصوت) .

$$v_s = \frac{72 \times 1000}{3600} = -20m/s$$

$$f' = \frac{342 - 0}{342 - (+20)} \times 644$$

$$= \frac{342}{322} \times 644$$

$$f' = 684\ Hz$$

نفرض ان الطول الموجي المسموع λ'

$$\lambda' = \frac{v}{f'}$$

$$\lambda' = \frac{342}{684} = 0.5m$$

b) بما أن المصدر للصوت يبتعد عن السامع فإن سرعة المصدر تعوض بالإشارة السالبة (لأنها عكس اتجاه انتشار موجة الصوت) $u_s = -20m/s$:

$$f' = \left(\frac{v - u_o}{v - u_s}\right) \times f$$

$$f' = \frac{342 - 0}{342 - (-20)} \times 644$$

$$= \frac{342}{362} \times 644$$

$$f' = 608.42\ Hz$$

$$\lambda' = \frac{v}{f'}$$

$$= \frac{342}{608.42} = 0.5621m$$

مثال 10 راكب دراجة يتحرك بسرعة (5m/s) بخط مستقيم نسبة إلى مصدر صوت ساكن يبعث صوتاً بتردد (1035Hz) وكان انطلاق الصوت في الهواء حينذاك (345m/s). احسب مقدار كل من التردد والطول الموجي الذي يسمعه راكب الدراجة إذا كان متحركاً : a) نحو المصدر. b) مبتعداً عن المصدر.

الحل /

a) بما أن السامع (راكب الدراجة) يتحرك نحو المصدر فتكون سرعة السامع بالإشارة سالبة (لأنها باتجاه معاكس لاتجاه انتشار موجة الصوت). $u_o = (-5m/s)$

$$f' = \left(\frac{v - u_o}{v - u_s}\right) \times f$$

$$f' = \frac{345 - (-5)}{345 - 0} \times 1035$$

$$= \frac{350}{345} \times 1035$$

$$f' = 1050\ Hz$$

عندما يكون المصدر ساكناً فإن الطول الموجي للصوت الذي يبعثه المصدر لايتغير فتكون :

$$v = \lambda' f$$

$$\lambda' = \lambda = \frac{v}{f}$$

$$\lambda' = \frac{345}{1035} = 0.33m$$

ب) بما أن السامع راكب الدراجة يتحرك بعيداً عن المصدر فتكون سرعة السامع $v_o = (+5m/s)$ (بالاشارة موجبة ، لانها باتجاه انتشار موجة الصوت).

$$f' = \frac{345 - (+5)}{345 - 0} \times 1035$$

$$= \frac{340}{345} \times 1035$$

$$f' = 1020\ Hz$$

$$\lambda' = \lambda = \frac{v}{f}$$

$$\lambda' = \frac{345}{1035}$$

$$= 0.33m$$

8 - 11 موجة الرجة (الموجة الصدمية) Shock Wave :

عندما تتحرك طائرة بسرعة أقل من سرعة الصوت فإن جبهات الموجات التي تقع أمام الطائرة تكون متقاربة فتتولد موجات ضغطية بسبب حركة الطائرة والمراقب على يمين الطائرة يتحسس تردداً أعلى من تردد المصدر :
لاحظ الشكل (44a).

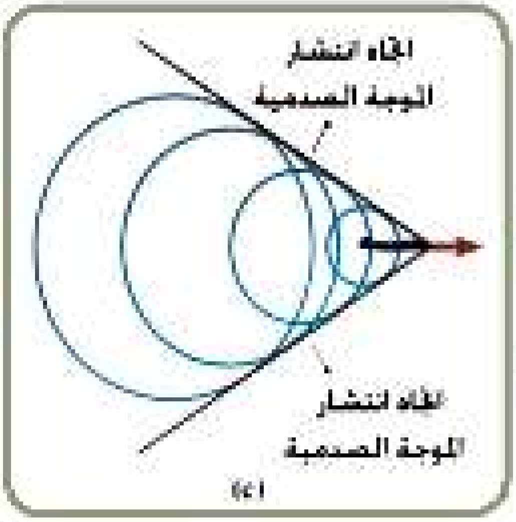
الشكل (44a)

وعندما تزداد سرعة الطائرة فإن جبهات الموجة أمام الطائرة تتقارب أكثر فأكثر وإن المراقب يسجل تردد أعلى . وعندما تتحرك الطائرة بسرعة الصوت فإن جبهات الموجة تزدحم أمام الطائرة وتسير بسرعة الصوت مكونة حاجز من الهواء وبضغط عالي جداً يسمى بحاجز الصوت **sound barrier** لاحظ الشكل (**44b**) .

الشكل (44b)

وعندما تسير الطائرة بسرعة أكبر من سرعة الصوت فإن جبهات الموجة تزدحم واحدة فوق الأخرى مكونة مخروطاً يسمى بموجات الصدم **shock waves** أو موجة ارتجاجية وهي الموجة التي تركز الطاقة بدرجة عالية في منطقة واحدة تكون في مقدمة الطائرة وأخرى في مؤخرة الطائرة وتسمع بشكل صوت مدوي .

لاحظ الشكل (**44c**) .



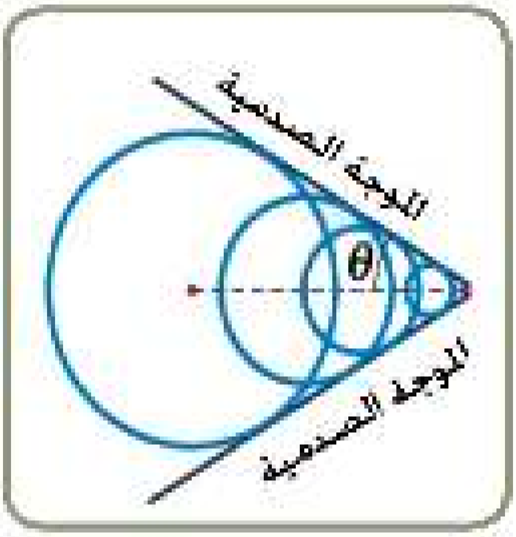
الشكل (44c)

ويكون غلاف الجبهات مخروطي الشكل لاحظ الشكل (45) وتعطى زاوية رأسه بالعلاقة :

$$\sin\theta = \frac{vt}{v_s t} = \frac{v}{v_s}$$

v_s = سرعة المصدر (الطائرة) .

v = سرعة الموجة (الصوت) .



الشكل (45)

ترمز النسبة (v_s / v) الى عدد ماخ (**Mach Number**) وجبهة الموجة المخروطية عندما ($v_s > v$) (بسرعة فوق صوتية) تعرف على انها موجة صدمية كما في حالة حركة الطائرة النفاثة بسرعة فوق الصوتية فتنتج موجات صدمية وهي التي تحدث الصوت العالي المدوي الذي نسمعه .

تحمل الموجات الصدمية مقدار ضخم من الطاقة مركزة وسط المخروط والذي يُحدث تغيراً كبيراً في الضغط . هذه الموجات الصدمية تكون ضارة بالسمع ويمكن ان تسبب اضراراً للمباني عندما تطير الطائرات بسرعة فوق صوتية على ارتفاعات منخفضة .

فكر

طائرة تحلق في الجو بسرعة ثابتة انتقلت من كتلة هوائية باردة الى كتلة هوائية ساخنة ، هل يزداد عدد ماخ أم يقل أم يبقى ثابتاً ؟

أسئلة الفصل التاسع

س1 : اختر العبارة الصحيحة لكل مما يأتي :

1) أي من التالي لا يؤثر في الزمن الدوري لبندول بسيط يهتز في الهواء :

a) طول الخيط . b) كتلة الكرة .

c) التعجيل الأرضي في موقع البندول البسيط . d) قطر الكرة .

2) بندول بسيط طوله 2m والتعجيل الأرضي $10m/s^2$ فإن عدد الاهتزازات الكاملة له خلال 5min هي:

a) 1.76 b) 21.6

c) 106 d) 236

3) تمر ثمان موجات عبر نقطة معينة كل 12s ، وكانت المسافة بين قمتين متتاليتين هي 1.2m ، فإن سرعة الموجة تكون :

a) 0.667m/s b) 0.8m/s

c) 1.8m/s d) 9.6m/s

4) في أي مما يلي لا يحدث تأثير دوبلر :

a) مصدر الصوت يتحرك باتجاه المراقب .

b) مراقب يتحرك باتجاه مصدر الصوت .

c) مراقب ومصدر ساكنين أحدهما بالنسبة للآخر .

d) المراقب والمصدر يسيران باتجاهين متعاكسين .

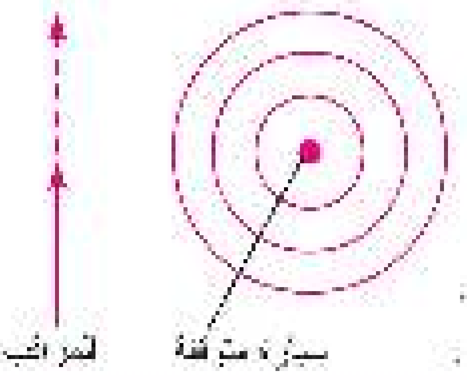
5) راكب حافلة يمر بالقرب من سيارة متوقفة على جانب الطريق وقد أطلق سائق السيارة المتوقفة صوت المنبه ، ما طبيعة الصوت الذي يسمعه راكب الحافلة :

a) الصوت الأصلي للمنبه ترتفع درجته .

b) الصوت الأصلي للمنبه تنخفض درجته .

c) صوت تتغير درجته من مقدار كبير إلى مقدار صغير .

d) صوت تتغير درجته من مقدار صغير إلى مقدار كبير .



6) الزمن الذي يحتاجه الجسم المهتز لإكمال هزة واحدة هو :

a) المهتز .　　b) الزمن الدوري .

c) السعة .　　d) التردد .

7) الموجات الميكانيكية المستعرضة تتحرك فقط خلال :

a) الاجسام الصلبة .　　b) السوائل .

c) الغازات .　　d) كل ما ذكر .

8) عند زيادة شدة الصوت (10) مرات يزداد مستوى شدة الصوت الى :

a) 100dB　　b) 20dB

c) 10dB　　d) 2dB

9) انطلاق الصوت في الهواء هو دالة لـ :

a) الطول الموجي .　　b) التردد .

c) درجة الحرارة .　　d) السعة .

س2 : ما الميزة التي يجب ان تتوافر في حركة جسم لتكون حركة توافقية بسيطة ؟

س3 : كم مرة يتأرجح طفل على أرجوحة مروراً بموقع الاستقرار خلال زمن دورة واحدة .

س4 : ماذا يحصل للزمن الدوري في بندول بسيط توافقي عند :

a) مضاعفة طوله .

b) مضاعفة كتلته .

c) مضاعفة سعة اهتزازه .

س5 : هل يختلف الزمن الدوري للبندول البسيط التوافقي المهتز عند مستوى سطح البحر عن الزمن الدوري لمثيله يهتز على قمة جبل ؟ ولماذا ؟

مسائل

س1: ما الزمن الدوري لبندول بسيط يهتز توافقياً (12 دورة) خلال (2min) ؟

س2: طائرة مروحية على بعد (10m) عن سامع تبعث صوتها بانتظام في جميع الاتجاهات فاذا كان مستوى شدة صوتها (100dB) بالنسبة لهذا السامع جد :

a) مقدار القدرة الصوتية الصادرة عن هذه الطائرة .

b) ما المعدل الزمني للطاقة الصوتية الساقطة على طبلة اذن سامع مساحتها ($8\times10^{-5}m^2$).

س3: احسب التغير في مستوى شدة الصوت المنبعث من مذياع اذا تغيرت قدرة الصوت في المذياع من ($25\times10^{-3}Watt$) الى ($250\times10^{-3}Watt$) .

س4: تبلغ القدرة الصوتية الصادرة من صافرة 3.5π Watt ، على اي مسافة تكون شدة الصوت ($1.2\times10^{-2}Watt/m^2$) .

س5: ما النسبة بين شدتي صوتين بالنسبة لسامع اذا كان الفرق بين مستوى شدتيهما 40dB .

س6: ساعة جدارية تصدر دقاتها صوتاً قدرته ($4.7\times10^{-12}Watt$) ، هل يستطيع شخص اعتيادي سماع هذه الدقات اذا كان يقف على بعد 15m منها ؟

س7: آلة موسيقية وترية كتلة وترها 15g وطوله 50cm ومقدار شد الوتر 25N احسب انطلاق الموجة في هذا الوتر ؟

س8: رادار يرسل موجات راديوية بطول موجي 2cm في مدة زمنية مقدارها 0.1s احسب:

a) مقدار تردد الموجة .

b) عدد الموجات المرسلة خلال هذه الفترة الزمنية .

علماً ان انطلاق الموجات الراديوية ($3\times10^8 m/s$) .

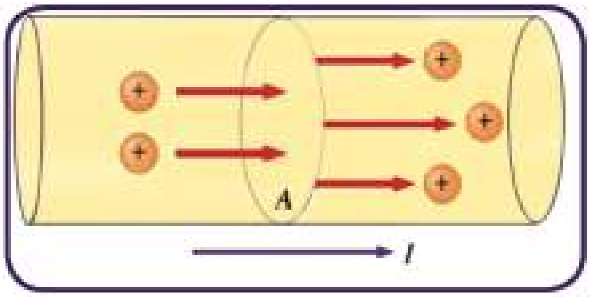
س9: ما انطلاق مصدر صوت اذا كان متحركاً بسرعة منتظمة نحو فتاة واقفة عندما تسمع الفتاة تردد صوت المصدر يزداد بمقدار 5% من تردده الحقيقي وكان انطلاق الصوت في الهواء آنذاك ($340m/s$) .

س10: تحرك صبي بسرعة منتظمة ($5m/s$) مقترباً من مصدر صوت ساكن ، فسمع الصبي تردد المصدر بمقدار ($700Hz$) وكان انطلاق الصوت في الهواء آنذاك ($345m/s$) احسب التردد الحقيقي للمصدر حينذاك ؟

التيار الكهربائي
Electric Current

معظم الاجهزة التي نستعملها في حياتنا العملية تعتمد على وجود الطاقة الكهربائية مثل الراديو والمصباح والتلفاز والثلاجة والحاسوب . ولكي تعمل هذه الاجهزة الكهربائية فلا بد من وجود مصدر يجهزها بالطاقة الكهربائية ، ومن امثلة هذه المصادر : البطارية الجافة والبطارية السائلة والمولد الكهربائي . ومن المعروف جيداً ان الالكترونات الحرة (الضعيفة الارتباط بالذرات) هي المسؤولة عن تكوين التيارات الكهربائية في الموصلات المعدنية . ولكنه يجب ان نتذكر ان التيارات قد تنشأ ايضاً عن حركة الايونات الموجبة والسالبة معاً كما في حالة المحاليل الالكتروليتية .

9 - 1 التيار الكهربائي :-



الشكل (1)

لتعريف التيار الكهربائي، تصور ان الشحنات الكهربائية المتحركة التي تعبر سطحا مساحة مقطعه العرضي (A) كما مبين في الشكل (1) .فاذا كانت (Δq) هي كمية الشحنة الكهربائية المارة خلال مقطع الموصل في وحدة الزمن (Δt) فان :

$$\text{Electric Current} = \frac{\text{Quantity of Charge}}{\text{Time}}$$

$$\boxed{I = \frac{\Delta q}{\Delta t}}$$

ويقاس التيار الكهربائي بوحدات $\frac{\text{coulomb (C)}}{\text{second (s)}}$ ، وتعرف هذه الوحدة باسم امبير .

$$1\text{ampere} = \frac{1\ \text{coulomb}}{1\text{second}}$$

ويمكن تعريف التيار الكهربائي بأنه المعدل الزمني لكمية الشحنة الكهربائية المارة خلال مقطع موصل.

الشكل (2)

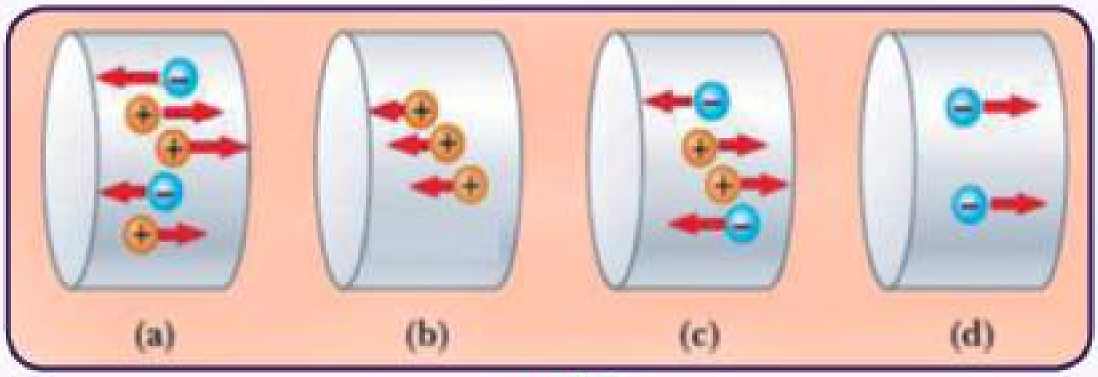
ويكون اتجاه التيار الكهربائي باتجاه حركة الشحنات الموجبة وبعكس اتجاه حركة الشحنات السالبة . والشكل (2) يمثل شحنات كهربائية تتحرك في مقطعين من موصلين ، لاحظ ان التيار الكهربائي المار في الموصل (a) اكبر من التيار المار في الموصل (b) ,كما ان اتجاه التيار الكهربائي في الشكل (a) هو باتجاه اليمين و باتجاه اليسار في الشكل (b) ، لان حركة الشحنات الكهربائية السالبة في اتجاه معين تكافيء حركة كمية مساوية من الشحنات الكهربائية الموجبة في الاتجاه المعاكس .

ان الشحنات الكهربائية المختلفة تسير باتجاهين متعاكسين في المجال الكهربائي (E) .

فقد اصطلح على حركة الشحنات الموجبة في الموصل باتجاه معين بالتيار الاصطلاحي (Conventional Current) وتكون حركة الشحنات السالبة (الالكترونات) في الموصلات الفلزية باتجاه معاكس لاتجاه التيار الاصطلاحي .

فكر

يبين الشكل (3) شحنات كهربائية تتحرك عبر اربع مقاطع من الموصلات اذا علمت ان جميع الشحنات متساوية في المقدار :-



الشكل (3)

1 . حدد اتجاه التيار في كل مقطع .

2 . رتب المقاطع الاربعة حسب مقدار التيار الكهربائي من الاقل الى الاكبر .

ومن الجدير بالذكر ان سرعة التيار الكهربائي هي السرعة التي تنتقل بها الطاقة الكهربائية والتي تقترب من سرعة الضوء في الفراغ $(3\times10^{8}m/s)$ ، في حين ان سرعة انجراف الشحنات الحرة في الموصلات يكون صغيراً. فمثلاً سلك من النحاس قطره (1mm) يمر فيه تيار كهربائي مقداره (1A) ، فان سرعة انجراف الالكترونات تبلغ $(9.4\times10^{-5}m/s)$.

وتعطى سرعة الانجراف بالعلاقة الاتية :-

$$\text{سرعة الانجراف للشحنات} = \frac{\text{التيار}}{\text{مساحة المقطع العرضي} \times \text{عدد الالكترونات في وحدة الحجم} \times \text{شحنة الالكترون}}$$

$\text{Drift velocity } (\upsilon_D) = \dfrac{\text{Current(I)}}{\text{Cross Section Area(A)} \times \text{Number of Electrons per unit volume(N)} \times \text{Electron charge(e)}}$

$$\upsilon_D = \frac{I}{ANe}$$

اذ ان :

υ_D تمثل سرعة انجراف الالكترونات وتقاس بوحدات **m / s** .

N تمثل عدد الالكترونات في وحدة الحجم .

A تمثل مساحة المقطع العرضي .

e شحنة الإلكترون .

مثال 1 عندما تضغط على احد ازرار حاسبة الجيب ، فان بطارية الحاسبة تجهز تياراً مقداره $300 \times 10^{-6}A$ في زمن قدره $10^{-2}s$:

a – ما مقدار الشحنة المنسابة في هذا الزمن ؟

b – كم هو عدد الالكترونات المنساب في هذه الفترة الزمنية ؟

الحل/

a– مقدار الشحنة المنسابة في هذا الزمن

$$\text{Electric Current} = \frac{\text{Quantity of Charge}}{\text{Time}}$$

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

$$\Delta q = I\Delta t$$

$$= (300 \times 10^{-6}\ A) \times (10^{-2}\ s)$$

$$\Delta q = 3 \times 10^{-6}\ C \quad \text{مقدار الشحنة}$$

b. عدد الالكترونات المنساب في هذه الفترة الزمنية

$$\text{عدد الالكترونات } (n) = \frac{(\Delta q) \ \text{الشحنة الكلية}}{(e) \ \text{شحنة الالكترون}}$$

$$n = \frac{\Delta q}{e}$$

$$n = \frac{3 \times 10^{-1} C}{1.6 \times 10^{-19} C} = 1.9 \times 10^{18} \text{ electron}$$

مثال 2

سلك نحاسي مساحة مقطعه العرضي ($2\ mm^2$) يمر فيه تيار ($10A$)، احسب سرعة الانجراف للالكترونات الحرة في هذا السلك، علماً ان عدد الالكترونات الحرة في وحدة الحجم من مادته (N) يساوي $8.5 \times 10^{28}\ \frac{e}{m^3}$

الحل/

$$\text{Drift velocity } (\upsilon_d) = \frac{\text{Current}(I)}{\text{Cross Section Area}(A) \times \text{Number of Electrons per unit volume}(N) \times \text{Electron charge}(e)}$$

$$\upsilon_D = \frac{I}{ANe}$$

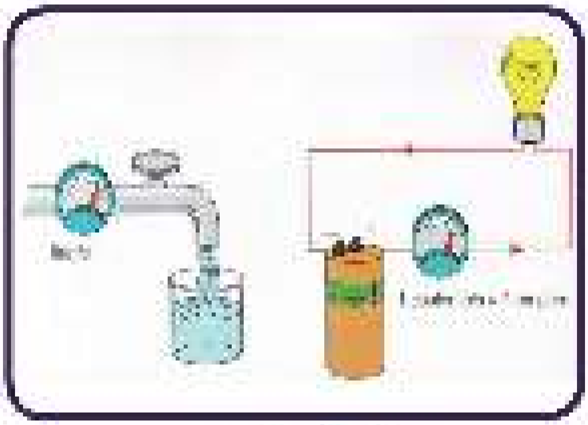
$$\upsilon_D = \frac{10A}{(2 \times 10^{-6} m^2)(8.5 \times 10^{28} e/m^3)(1.6 \times 10^{-19} C)}$$

$$= 0.37 \times 10^{-3} m/s$$

$$= 0.37\ mm/s$$

9-2 المقاومة الكهربائية وقانون أوم Electric Resistance and Ohm's Law

عرفت سابقاً أن التيار الكهربائي يجد مقاومة عند مروره في موصل، سببها تصادم الشحنات الحرة بعضها ببعض وبذرات مادة الموصل. لذلك فإن مفهوم المقاومة الكهربائية تمثل مقاومة الموصل للتيار الكهربائي وتعد مقياساً للإعاقة التي تواجهها الالكترونات الحرة في أثناء انتقالها في الموصل. وقد تعلمت سابقاً حساب مقاومة الموصل بقياس فرق الجهد بين طرفيه وقياس التيار المار فيه. لاحظ الشكل (4).



الشكل (4)

وتعرف مقاومة الموصل بانها:

$$\text{Resistance}(R) = \frac{\text{Voltage (V)}}{\text{Current (I)}}$$

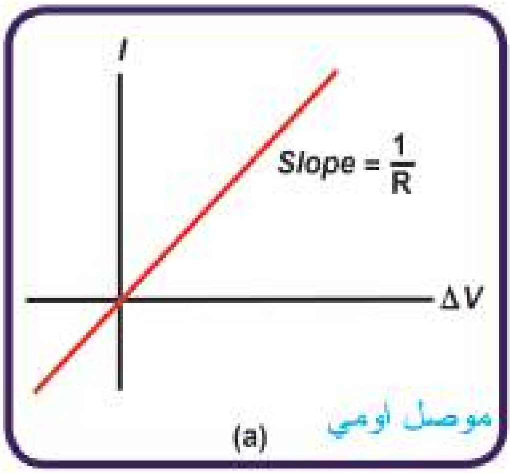
$$R = \frac{V}{I} \Rightarrow V = I\,R$$

و المعادلة المذكورة أنفاً تعرف بقانون اوم (**ohm's law**) الذي ينص :-

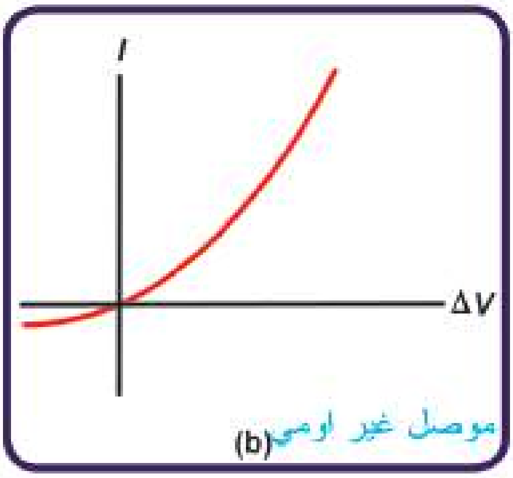
((ان التيار الكهربائي المار في موصل يتناسب طردياً مع فرق الجهد بين طرفيه عند ثبوت درجة حرارته)) .

وتقاس المقاومة بوحدة اوم، ويرمز لها بالرمز (Ω) ويعرف الاوم بانه "مقاومة موصل يمر فيه تيار مقداره (**1A**) عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه (**1V**)" .

تسمى الموصلات التي ينطبق عليها قانون اوم بالموصلات الاومية (**ohmic conductors**) لاحظ الشكل (**5a**) .



وعندما لا تبقى المقاومة ثابتة عند زيادة التيار المار فيها زيادة كبيرة، تصبح العلاقة بين التيار وفرق الجهد غير خطية، ويسمى الموصل في هذه الحالة موصلاً غير أومي. لاحظ الشكل (**5b**) .



الشكل (5)

لقد درست في مراحل سابقة ان مقاومة الموصل تتناسب طرديا مع طول الموصل وعكسياً مع مساحة مقطعه، وعبرنا عن ذلك رياضياً على النحو الاتي:

$$\text{المقاومة} = \text{ثابت} \times \frac{\text{طول الموصل}}{\text{مساحة مقطعه العرضي}}$$

وهذا الثابت يعتمد على نوع مادة الموصل ودرجة الحرارة ويسمى المقاومية (Resistivity) ويرمز لها بالرمز (ρ) وعليه فان:

$$\text{Resistance}(R) = \text{Resistivity}(\rho) \times \frac{\text{Length } (L)}{\text{Cross section Area}(A)}$$

$$R = \rho \times \frac{L}{A}$$

وحدة قياس المقاومية (ρ) هي (Ω.m)

وتختلف المقاومية (ρ) باختلاف نوع المادة وكذلك درجة الحرارة.

الجدول (1) يبين مقاومية بعض المواد عند درجة حرارة 20°C .

	المادة	المقاومية (Ω.m)
الموصلات	الالمنيوم	2.8×10^{-8}
	النحاس	1.72×10^{-8}
	الذهب	2.44×10^{-8}
	النايكدايوم	100×10^{-8}
	الفضة	1.6×10^{-8}
	التنكستن	5.6×10^{-8}
اشباه الموصلات:	السيلكون النقي	3×10^{3}
العوازل:	الزجاج	10^{10}

يبين الجدول اعلاه ان قيمة المقاومية تكون قليلة جداً للمواد جيدة التوصيل مثل الفضة والنحاس في حين ان قيمتها تكون عالية جداً للمواد العازلة مثل الزجاج. اما المواد شبه الموصلة فان مقاوميتها متوسطة .

أن مقلوب المقاومية (ρ) يسمى الموصلية الكهربائية ورمزها (σ) أي أ ن:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

هل تعلم ؟

ان المقاومية هي صفة للمواد (**substances**) في حين ان المقاومة صفة للجسم (**object**) كما ان الكثافة هي صفة للمواد في حين ان الكتلة صفة للجسم.

ومن تطبيقات الدوائر الكهربائية التي تتغير مقاوميتها بتغير درجة الحرارة هو المقاوم الحراري **Thermostat** لاحظ الشكل (**6**).

الشكل (6)

ويستعمل في دوائر الانذار من الحريق الكهربائي , كذلك يستعمل جهاز محرار المقاومية **Aresistive thermometer** لقياس درجة الحرارة من خلال التغير في مقاومة الموصل ويصنع من البلاتين .

مثال 3

قطعة من سلك نحاس مساحة مقطعه ($4mm^2$) وطوله ($2m$) ومقاومته تساوي ($1.72\times10^{-8}\Omega.m$) عند درجة حرارة $20°C$ جد :

a) المقاومة الكهربائية للسلك .

b) فرق الجهد على طرفي السلك عندما ينساب فيه تياراً مقداره **10A** ؟

الحل/

a) المقاومة الكهربائية للسلك عند درجة حرارة $20°C$.

$$R = \rho \times \frac{L}{A}$$

$$= \frac{(1.72 \times 10^{-8}\,\Omega.m)(2m)}{(4 \times 10^{-6}\,m^2)}$$

$$= (8.6 \times 10^{-3}\,\Omega)$$

د) فرق الجهد على طرفي السلك عندما ينساب فيه تيار مقداره 10A ؟

فرق الجهد = التيار × المقاومة

$$V = I\,R$$

$$V = (10A)(8.6 \times 10^{-3}\,\Omega)$$

$$V = 8.6 \times 10^{-2}$$

$$V = 0.086\ \text{Volt}$$

9 – 4 المقاومية ودرجة الحرارة Temperature Coefficient of Resistivity

تتغير مقاومية الموصلات تقريباً تغيراً خطياً مع تغير درجة الحرارة وفق العلاقة الآتية:

$$\rho = \rho_o\,[\,1 + \alpha\,(T - T_o)\,]$$

حيث ان : ρ_o تمثل المقاومية في درجة حرارة ($T_o = 20^\circ C$) , والثابت α يسمى المعامل الحراري للمقاومية (Temperature Coefficient of resistivity) ويعتمد على نوع المادة.

اي ان :

$$\alpha = \frac{1}{\rho_o} \times \frac{\Delta\rho}{\Delta T}$$

حيث $\Delta\rho = \rho - \rho_o$ يمثل تغير المقاومية لدرجات الحرارة $\Delta T = T - T_o$

ان وحدة قياس المعامل الحراري للمقاومية (α) هي $\frac{1}{^\circ C}$.

الجدول (2) يبين المعامل الحراري للمقاومية لبعض المواد بدرجة حرارة الغرفة (20°C).

المادة	الالمنيوم	النحاس	الكاربون	الحديد	الرصاص	الزئبق	الفضة	التنكستن
$\times 10^{-4}\ (^\circ C^{-1})$	39	39.3	5	50	43	8.8	38	45

ومما تجدر الإشارة اليه ان المقاومية للموصلات تزداد بزيادة درجة الحرارة كما ذكرنا , الا انه يجب ان نتذكر ان هناك مواد أخرى مثل أشباه الموصلات والمحاليل الالكتروليتية تشذ عن هذه القاعدة حيث تقل مقاوميتها بزيادة درجة الحرارة .

وهذا يعني ان قيمة المعامل الحراري للمقاومية لهذه المواد تكون سالبة .

هل تعلم ؟

ان مقاومية خويط المصباح الكهربائي المتوهج تزداد لاكثر من عشرة امثال عندما تتغير درجة الحرارة من درجة حرارة الغرفة الى ان يصير الخويط ساخناً الى درجة البياض .

ويمكن التعبير عن التغير في مقاومة الموصل بشكل خطي مع درجة الحرارة طبقاً للمعادلة الآتية:

$$R = R_o \left[1 + \alpha(T - T_o)\right]$$

مثال 4 في الطباخ الكهربائي سلك بطول $(1.1m)$ وبمساحة مقطع عرضي $(3.1\times10^{-6}m^2)$ عند اشتغال الطباخ ترتفع درجة حرارة السلك نتيجة لمرور التيار الكهربائي فيه . فاذا كانت المادة المصنوع منها السلك لها مقاومية $(\rho_o = 6.8\times10^{-5}(\Omega.m))$ في درجة حرارة $(T_o=320^oC)$ والمعامل الحراري للمقاومية $\alpha = 2.0\times10^{-3}(1/^oC)$، أحسب مقاومة السلك في درجة حرارة 420^oC.

الحل/

$$\alpha = \frac{1}{\rho_o} \times \frac{\Delta\rho}{\Delta T}$$

$$\alpha = \frac{1}{\rho_o} \times \frac{\rho - \rho_o}{T - T_o}$$

$$2 \times 10^{-3} = \frac{1}{6.8\times 10^{-5}} \times \frac{\rho - 6.8\times 10^{-5}}{420 - 320}$$

ومنها نحصل على :

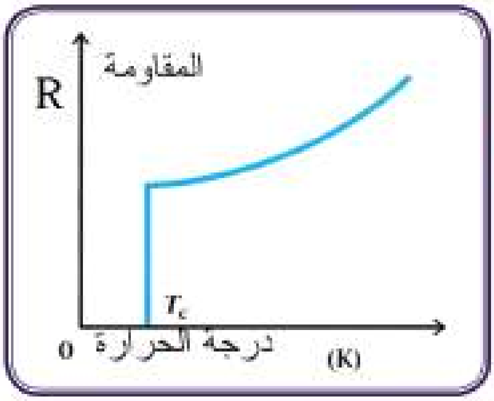
$$\rho = 8.16 \times 10^{-5}(\Omega\ .\ m)$$

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

$$= \frac{8.18 \times 10^{-5} \times 1.1}{3.1 \times 10^{-6}} = \frac{8.976 \times 10^{-5}}{3.1\times10^{-6}}$$

$= 29\ \Omega$ مقاومة السلك في $420^\circ C$

9 - 4 المواد فائقة التوصيل Superconductors :

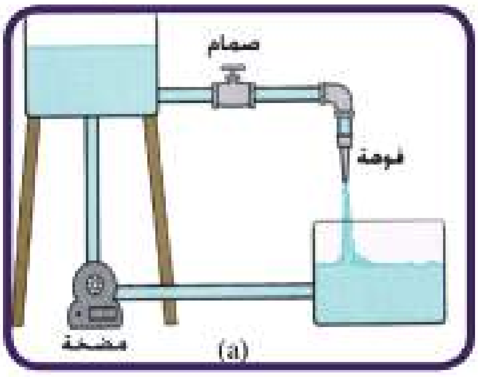


الشكل (7)

الشكل (8)

هناك صنف من المعادن والمركبات تهبط مقاومتها بصورة مفاجئة الى الصفر عند درجة حرارة معينة تدعى درجة الحرارة الحرجة (T_c) **Critical Temperature**. وهذه الظاهرة تسمى فرط التوصيل (**Superconductors**) وهذا النوع من المواد تسمى مواد فائقة التوصيل لاحظ الشكل (7) ومن المعالم اللافتة للنظر بالنسبة للمواد فائقة التوصيل ، هو انه في حالة تكوين تيار في دائرة مغلقة مفرطة التوصيل يستمر التيار في تلك الدائرة لزمن قد يدوم عدداً من الاسابيع دون الحاجة الى مصدر للقوة الدافعة الكهربائية في الدائرة ، على عكس ما موجود للتيارات المارة في الموصلات الاعتيادية حيث تنخفض الى الصفر لمجرد رفع مصدر القوة الدافعة الكهربائية عنه . ومن التطبيقات المهمة للمواد فائقة التوصيل هي مغانط فائقة التوصيل اذ يكون لها مجال مغناطيسي مقداره عشرة امثال المغانط الكهربائية الاعتيادية. وهذا النوع من المغانط يستعمل في جهاز الرنين المغناطيسي للتصوير (**MRI**) ، حيث يعطي صور دقيقة للاعضاء الداخلية لجسم الانسان، لاحظ الشكل (8).

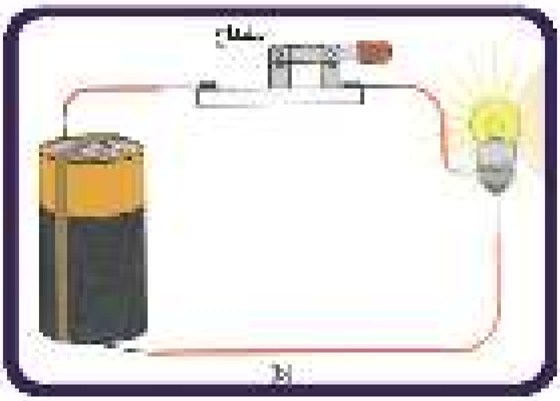
9 - 5 القوة الدافعة الكهربائية Electromotive Force



الشكل (9)

لقد سبق وان درست عزيزي الطالب ان الشحنات الحرة (الالكترونات) داخل السلك الفلزي تتحرك عشوائياً فلا يتولد عن حركتها تيار كهربائي، ولكي ينساب تيار كهربائي في السلك لابدّ من دفع الالكترونات للحركة في اتجاه معين، وهذا يتطلب وصل طرفي السلك بمصدر يزود الشحنات الكهربائية بالطاقة وهذا يشابه مضخة الماء التي تعمل على ضخ الماء من الخزان السفلي الى الخزان العلوي. لاحظ الشكل (9a).

إن مصدر تزويد الشحنات الكهربائية بالطاقة يُعرف بمصدر القوة الدافعة الكهربائية، ولتكن هذه المصادر هي البطارية . لاحظ الشكل (9b).



الشكل (9)

وتعرف القوة الدافعة الكهربائية للبطارية بأنها:

مقدار الطاقة الكهربائية التي تكسبها البطارية لكل كولوم من الشحنة ينتقل بين قطبيها بعبارة أخرى انها تمثل الشغل المنجز لوحدة الشحنة من قبل المصدر .

اي ان :

$$\text{القوة الدافعة الكهربائية} = \frac{\text{الشغل}}{\text{الشحنة}}$$

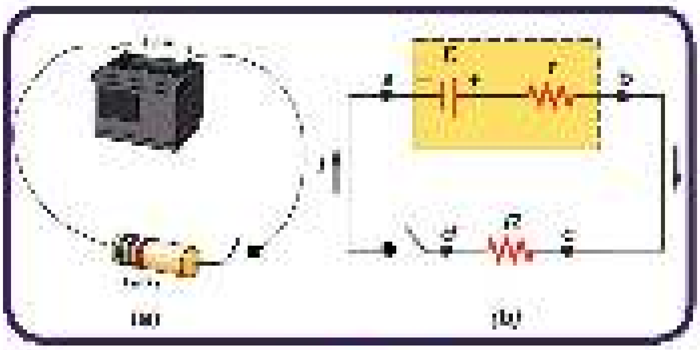
$$\text{Electromotive force } (\varepsilon) = \frac{\text{Work } (W)}{\text{Charge } (q)}$$

$$\varepsilon = \frac{W}{q}$$

وتقاس القوة الدافعة الكهربائية بوحدات $\frac{\textbf{Joule}}{\textbf{Coulomb}}$ وتسمى هذه الوحدة Volt

9 - 6 قانون الدائرة الكهربائية المغلقة Electric circuit law

عندما نصل طرفي سلك بطرفي مصدر جهد كهربائي ، يتشكل مسار مغلق يمر فيه تيار كهربائي ، ولكي نستفيد من هذا التيار نضع اداة او جهازاً او اي مقاومة في هذا المسار المغلق . وتشكل هذه العناصر الاربعة (السلك ، البطارية، الجهاز ، المفتاح) المكونات الأساسية للدائرة الكهربائية لاحظ الشكل (10) . وعند اغلاق المفتاح تتشكل دائرة كهربائية مغلقة يمر فيها تيار كهربائي واذا حدث قطع في السلك عند اية نقطة نقول ان الدائرة مفتوحة .



الشكل (10)

فاذا افترضنا اهمال مقاومة الاسلاك الناقلة فان فرق الجهد على طرفي البطارية (فولطية الاقطاب) يساوي emf . ولكن للبطارية مقاومة داخلية r لذلك فان فولطية الاقطاب لا تساوي تماماً emf للبطارية .

يمكن تصور شحنة موجبة تتحرك خلال البطارية من (a→b) اي عندما تمر الشحنة من القطب السالب الى القطب الموجب للبطارية فان جهد الشحنة يزداد بمقدار (ε) وعندما تمر الشحنة في المقاومة الداخلية r فان الجهد يقل بمقدار (I r) حيث I يمثل تيار الدائرة ومنه يمكن اشتقاق معادلة الدائرة الكهربائية المغلقة في قانون حفظ الطاقة كما يأتي :

القوة الدافعة الكهربائية = فرق الجهد على طرفي البطارية + التيار × المقاومة الداخلية

(ε) (ΔV) (I) (r)

$$\varepsilon = \Delta V + Ir$$

$$\varepsilon = IR + Ir$$

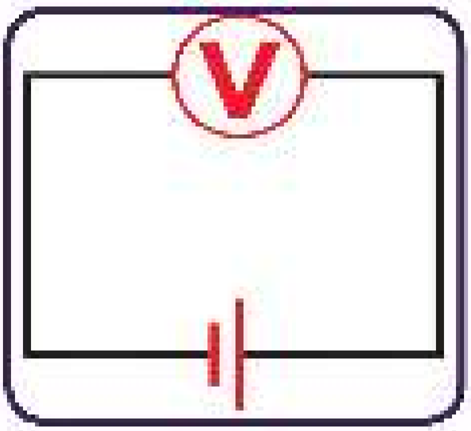
اي ان :

$$\text{Current} = \frac{\textbf{Electromotive force}}{\textbf{Resistance + Internal Resistance}}$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

قياس القوة الدافعة الكهربائية للمصدر :-

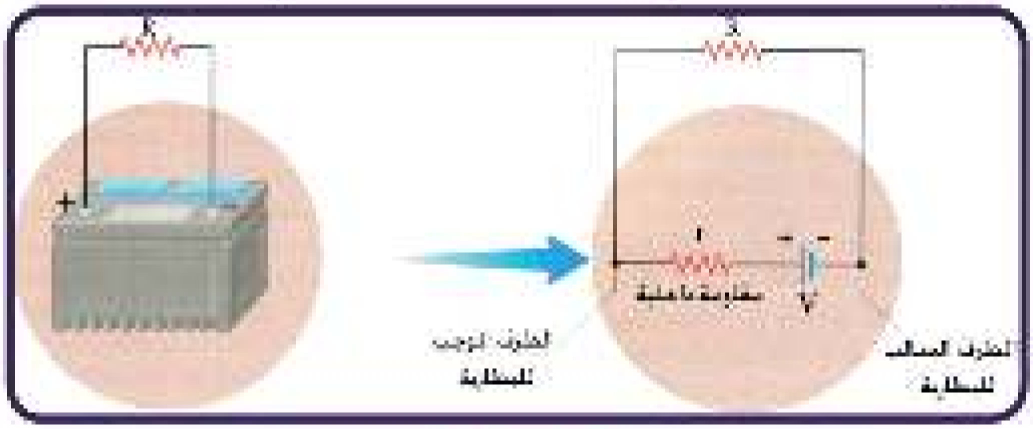
نربط الفولطميتر مباشرة بقطبي المصدر ولما كانت مقاومة الفولطميتر عالية جداً فان التيار الذي سيمر في الدائرة ضعيف جداً يمكن إهماله ويفرض ان الدائرة الكهربائية مفتوحة لذلك فان قراءة الفولطميتر يمثل (emf) المصدر بصورة تقريبية لاحظ الشكل (11) .



الشكل (11)

9 – 7 المقاومة الداخلية (r) Internal Resistance

لحد الآن ما تم مناقشته حول مصادر الفولطية (البطاريات أو المولدات) هو تأثير فولطيتها على الدائرة ، ولكنها في الواقع تحتوي فضلاً عن ذلك مقاومة تدعى بالمقاومة الداخلية للبطارية أو مقاومة المولد لأنها موجودة داخل مصدر الفولطية ، وهذه المقاومة في البطارية هي مقاومة المواد الكيميائية وفي المولد هي مقاومة الأسلاك وباقي مكونات المولد لاحظ الشكل (12).



الشكل (12)

عند ربط مصدر الفولطية مع مقاومة خارجية (R) تعتبر المقاومة الداخلية للمصدر مربوطة معها على التوالي وتكون المقاومة الداخلية عادة قليلة ولكن لا يمكن إهمال تأثيرها في الدائرة . الشكل (12) يوضح كيف أن التيار عندما يسحب من بطارية ، المقاومة الداخلية تسبب انخفاض قيمة الفولطية بين القطبين تحت القيمة العظمى المحددة بالقوة الدافعة الكهربائية للبطارية . الفولطية الفعلية بين قطبي البطارية تدعى:

فولطية الأقطاب (The Terminal Voltage of a Battery) .

مثال 5

الشكل (13) يبين بطارية سيارة (emf) لها 12V ومقاومتها الداخلية 0.01Ω , ما مقدار الفولطية بين الأقطاب عندما يكون تيار البطارية :

a) 10A

b) 100A

الشكل (13)

الحل/

a) نحسب هبوط الجهد في المقاومة الداخلية (الجهد الضائع في المقاومة الداخلية) عندما يكون التيار في $10A$:-

$$V = I\,r$$

$$V = 10A \times 0.01\Omega = 0.1V$$ هبوط الجهد

فرق الجهد على طرفي اقطاب البطارية يساوي

$$\Delta V = \varepsilon - Ir$$

$$\Delta V = 12.0V - 0.10V$$

$$= 11.9V$$

b) نحسب هبوط الجهد في المقاومة الداخلية عندما يكون التيار $100A$.

$$V = I\,r$$

$$V = 100A \times 0.01\Omega = 1.0V$$

فرق الجهد على طرفي اقطاب البطارية (ΔV) يساوي :

$$\Delta V = \varepsilon - Ir$$

$$\Delta V = 12.0V - 1.0V = 11.0V$$

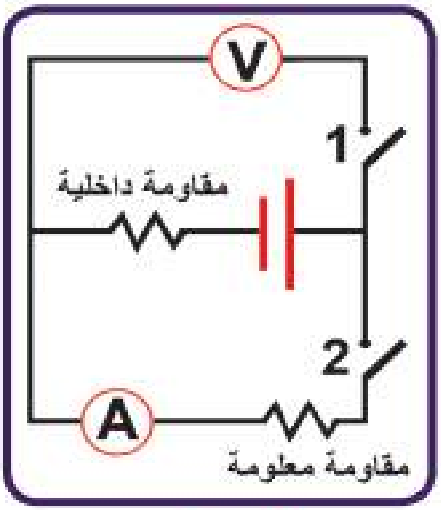
المثال اعلاه يوضح كيف ان فولطية الاقطاب للبطارية تكون أقل عندما يكون التيار الخارج من البطارية عالياً، وهذا التأثير يمكن ان يميزه صاحب السيارة عند استعماله للبطارية .

فكر ؟

في المثال السابق أين توضع مصابيح السيارة .

أي الحالتين تكون توهج المصابيح قبل تشغيل محرك السيارة أم بعد تشغيل محرك السيارة ولماذا؟

تعيين المقاومة الداخلية (r) للنضيدة :-



الشكل (14)

تربط الأجهزة كما في الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل (14) .

أولاً : نغلق المفتاح 1 فقط فتكون قراءة الفولطميتر تمثل قيمة القوة الدافعة الكهربائية المذكورة انفاً .

ثانياً : نغلق المفتاح 2 أيضا ونسجل قراءة الأميتر التي تمثل التيار المنساب في الدائرة ثم نحسب r من العلاقة الأتية:

$$\varepsilon = I R + I r$$

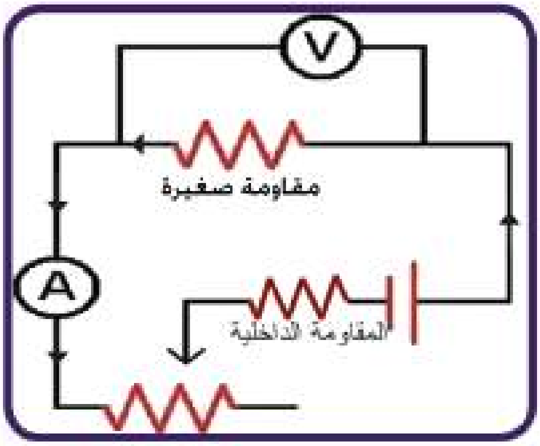
وبالتعويض عن قيمة (emf) من قراءة الفولطميتر في الخطوة الأولى . وعن قيمة (I) من قراءة الأميتر في الخطوة الثانية ، وان لم تكن (R) معلومة فيمكن التعويض عن (IR) بقراءة الفولطميتر التي تمثل فرق الجهد عبر النضيدة ولا حاجة لنا بمعرفة (R) في هذه الحالة .

قياس المقاومة: هناك عدة طرائق لقياس المقاومة منها :

1 طريقة الفولطميتر والأميتر :

هذه الطريقة غير دقيقة وذلك لان احد الجهازين في اي ربط معين لا يعطي قياساً مضبوطاً بالنسبة للمقاومة المراد قياسها ولتقليل الخطأ الى أدنى حد ممكن نتبع ما يأتي :

a/ اذا كانت المقاومة المراد قياسها صغيرة :

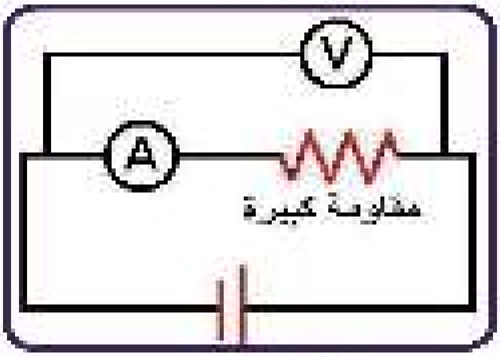


الشكل (15)

نربط الاجهزة كما في الشكل (15) ان قراءة الفولطميتر هي لفرق الجهد عبر تلك المقاومة فقط اما الاميتر فيقيس مجموع تياري المقاومة الصغيرة والفولطميتر ولما كانت مقاومة الفولطميتر عالية جداً بالنسبة لتلك المقاومة فان التيار المنساب به سيكون قليل جداً بحيث يمكن اهماله واعتبار قراءة الاميتر هي لتيار المقاومة وقيمة المقاومة التقريبية تحسب من العلاقة الأتية :-

$$\text{المقاومة } (R) = \frac{\text{قراءة الفولطميتر}}{\text{قراءة الاميتر}}$$

ب) اذا كانت المقاومة المراد قياسها كبيرة تربط الاجهزة كما في الشكل (16) :



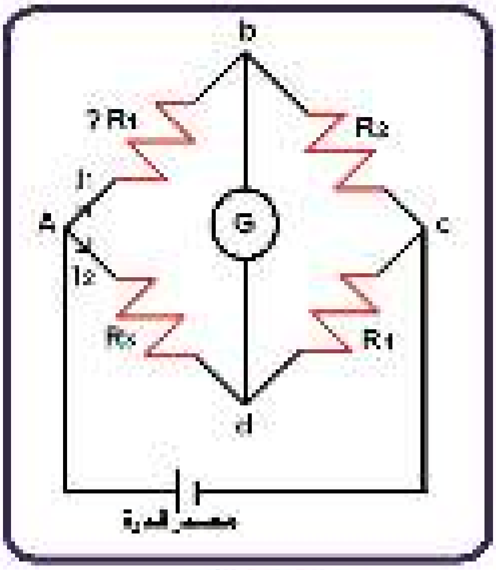
الشكل (16)

أن قراءة الأميتر تمثل شدة تيار تلك المقاومة فقط أما قراءة الفولطميتر فتمثل مجموع فرق الجهد عبر كل من المقاومة الكبيرة و الاميتر ولما كانت مقاومة الاميتر صغيرة جداً فإن فرق الجهد بين طرفيه سيكون قليلاً جداً يمكن إهماله بالنسبة لفرق الجهد عبر تلك المقاومة وعلى هذا يمكن اعتبار قراءة الفولطميتر هي فرق الجهد عبر المقاومة الكبيرة تقريباً وتحسب المقاومة من قراءة الفولطميتر والاميتر حسب العلاقة التالية :

$$R = \frac{\text{قراءة}\ (V)}{\text{قراءة}\ (A)}$$

(2) طريقة قنطرة وتستون :-

هذه الطريقة دقيقة ومضبوطة لقياس المقاومة وتتكون الدائرة الكهربائية من ثلاث مقاومات متغيرة معلومة - مقاومة مجهولة - كلفانوميتر ومصدر قدرة ، وتربط الاجهزة كما في الشكل (17) نغير من قيمة المقاومات المتغيرة (R_2 , R_4 , R_3) الى ان تتزن الدائرة اي ان الكلفانوميتر لا يسجل اي تيار وهذا يعني أن جهدها متساوٍ أو فرق الجهد ($V_{bd} = 0$) عندها :



الشكل (17)

$$V_{ab} = V_{ad} \ldots\ldots \Rightarrow I_1 R_1 = I_2 R_3 \ldots\ldots (1)$$

$$V_{bc} = V_{dc} \ldots\ldots \Rightarrow I_1 R_2 = I_2 R_4 \ldots\ldots (2)$$

وبقسمة المعادلة الأولى على الثانية ينتج :

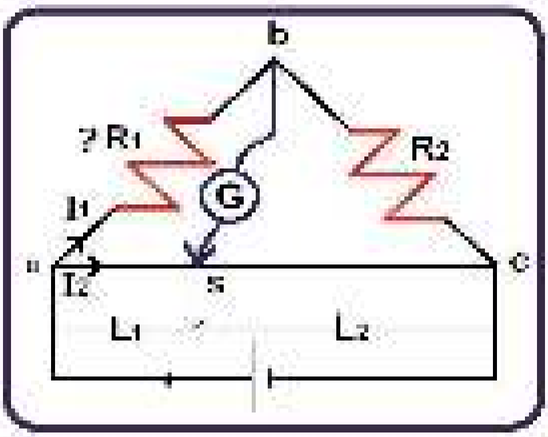
قانون القنطرة
$$\boxed{\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}}$$

حيث أن R_1 هي المقاومة المجهولة ، ولما كانت ثلاث مقاومات معلومة فانه يمكن قياس المقاومة الرابعة (المجهولة).

$$R_1 = R_2 \times \frac{R_3}{R_4}$$

وبالامكان حساب المقاومة المجهولة R_1 على وفق العلاقة المذكورة آنفاً في أعلاه .

وبالامكان استبدال (R_3 , R_4) بسلك متجانس مثبت على قنطرة مترية لاحظ الشكل (18) وبما ان ($R \propto L$) لذلك تصبح العلاقة السابقة في حالة اتزان الدائرة بالشكل الآتي :



الشكل (18)

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{L_1}{L_2}$$

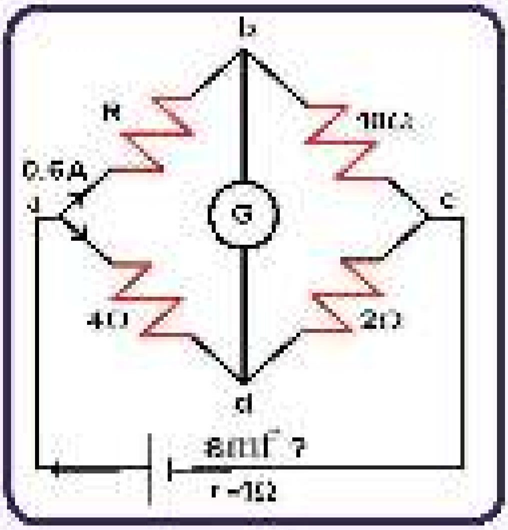
مثال 6

(a b c d) شكل رباعي اضلاعه المقاومات على الترتيب (R , 10 , 2 , 4) وصلت النقطتان (c , a) بقطبي نضيدة كما في شكل (19) مقاومتها الداخلية 1Ω ثم ربط كلفانومتر بين (d , b) فكانت قراءته صفراً عندما مر تيار مقداره 0.6A في المقاومة R احسب:

1) قيمة المقاومة R .

2) التيار المار بكل مقاومة .

3) emf للنضيدة .



الشكل (19)

الحل /

بما ان الدائرة متزنة (قراءة الكلفانومتر = صفر)

1) نحسب قيمة المقاومة R حسب العلاقة الاتية:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

$$\frac{R}{10} = \frac{4}{2} \Rightarrow R = 20\,\Omega$$

2) التيار المار بكل مقاومة.

التيار المار في المقاومة 20Ω هو التيار نفسه المار بالمقاومة 10Ω اي المار بالفرع abc

$$V_{ac} = I\,R$$

$$V_{ac} = (0.6A)(20\Omega + 10\Omega) = 18V$$

ولايجاد التيار المار خلال المقاومتين 2Ω , 4Ω نستعمل العلاقة :

$$I_{adc} = \frac{V}{R} = \frac{18V}{(4+2)\Omega} = 3A$$

3) emf للنضيدة .

التيار الكلي $I_{Total} = (0.6A) + (3A) = 3.6A$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{abc}} + \frac{1}{R_{adc}}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{(10+20)\Omega} + \frac{1}{(4+2)\Omega} = \frac{1}{5\Omega}$$

$$\therefore\ R = 5\Omega$$

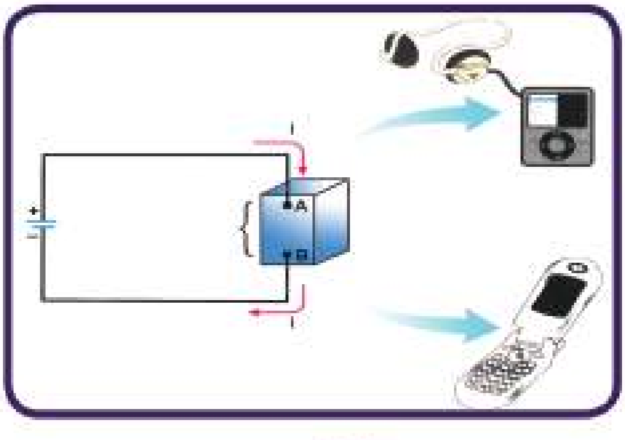
$$emf = IR + Ir$$

$$emf = (3.6A)(5\Omega) + (3.6A)(1\Omega) = 21.6V$$

9 – 8 القدرة الكهربائية Electric Power

أهم الفوائد للتيار الكهربائي الذي يسري في دائرة كهربائية هي نقل الطاقة من المصدر (البطارية أو مولدة التيار الكهربائي) إلى الأجهزة الكهربائية المختلفة .

الشكل (20) يوضح ذلك، لاحظ أن القطب الموجب (+) للبطارية مربوطاً بالطرف (A) من الجهاز الكهربائي كما أن القطب السالب (−) مربوطاً إلى الطرف (B) من الجهاز، هذا يعني أن البطارية تقوم بالحفاظ على فرق جهد ثابت بين الطرفين (A , B) هذا الفرق في الجهد يؤدي إلى حركة الشحنات (Δq) من الطرف (A) ذو الجهد العالي إلى الطرف ذات الجهد الواطئ (B) فتقل طاقتها الكامنة وهذا النقصان في الطاقة يمثل (ΔqV) حيث V فرق الجهد بين الطرفين .



الشكل (20)

وتعرف القدرة الكهربائية للجهاز بأنها :

مقدار الطاقة التي يستهلكها (او يحولها) الجهاز الكهربائي الى وحدة الزمن.

ويعبر عنها رياضياً بالعلاقة الاتية :

$$\textbf{power} = \frac{\textbf{potential difference (V)} \times \textbf{quantity of charge}(\Delta q)}{\textbf{time}(\Delta t)}$$

$$P = \frac{V \times \Delta q}{(\Delta t)}$$

$$P = \frac{(\Delta q)}{(\Delta t)} \times V$$

$$P = IV$$

وتقاس القدرة بوحدات $\frac{\text{Joule}}{\text{second}}$ ، وتعرف باسم watt .

$$(\text{Ampere})\,(\text{Volt}) = \left(\frac{\text{Coulomb}}{\text{second}}\right)\left(\frac{\text{Joule}}{\text{Coulomb}}\right) = \left(\frac{\text{Joule}}{\text{second}}\right) = \text{watt}$$

إن الأجهزة الكهربائية تحول الطاقة الكهربائية إلى شكل أو أكثر من أشكال الطاقة، ويمكن حساب الطاقة كما يأتي:

الطاقة = القدرة × الزمن

$$\text{Energy} = \text{power} \times \text{time}$$

$$E = p \times t$$

كما يمكن حساب القدرة من العلاقة الآتية:

$$P = IV$$

$$P = I(IR) = I^2R$$

$$P = \left(\frac{V}{R}\right)V = \frac{V^2}{R}$$

فكر :

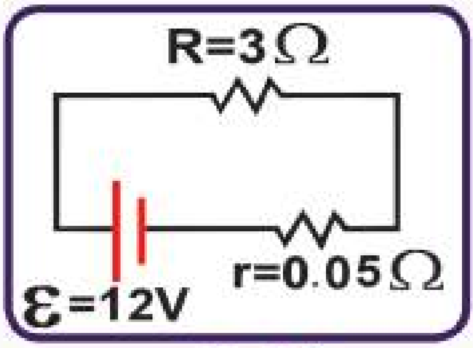
تم نقل أعظم مقدار من القدرة من المصدر إلى حمل عندما تتساوى مقاومة الحمل (R) مع المقاومة الداخلية للمصدر (r) . عندها تكون القدرة المستهلكة في الحمل مساوية للقدرة المتبددة في المصدر .

مثال 7

القوة الدافعة الكهربائية لبطارية 12V ومقاومتها الداخلية 0.05Ω وصل طرفيها بحمل مقاومته 3Ω لاحظ الشكل (21) جد :

1) التيار المار في الدائرة وفرق الجهد على طرفي المصدر

2) القدرة المستهلكة في الحمل والقدرة المستهلكة في المقاومة الداخلية (r) والقدرة المجهزة من قبل المصدر .



الشكل (21)

الحل/ 1) التيار المار في الدائرة وفرق الجهد على طرفي المصدر والبطارية .

$$\varepsilon = IR + Ir$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

$$I = \frac{12}{3 + 0.05} = 3.93A$$

فرق الجهد على طرفي المصدر = التيار × المقاومة الخارجية

$$\Delta V = IR = 3.93 \times 3 = 11.8\ V$$

2) القدرة المستهلكة في الحمل والقدرة المستهلكة في المقاومة الداخلية (r) والقدرة المجهزة من قبل المصدر .

القدرة المستهلكة في الحمل = (مربع التيار (I^2) × المقاومة الخارجية (R)

$$P = I^2 R$$

$$P = (3.93)^2 \times 3 = 46.3W$$

القدرة المستهلكة في المقاومة الداخلية = (مربع التيار) × المقاومة الداخلية (r)

$$P = I^2 r$$

$$P = (3.93)^2 \times 0.05 = 0.772W$$

القدرة المجهزة من قبل المصدر = مجموع القدرة المستهلكة في الحمل والمقاومة الداخلية

$$\varepsilon I = I^2 R + I^2 r$$

$$= 46.33 + 0.772 = 47.1W$$

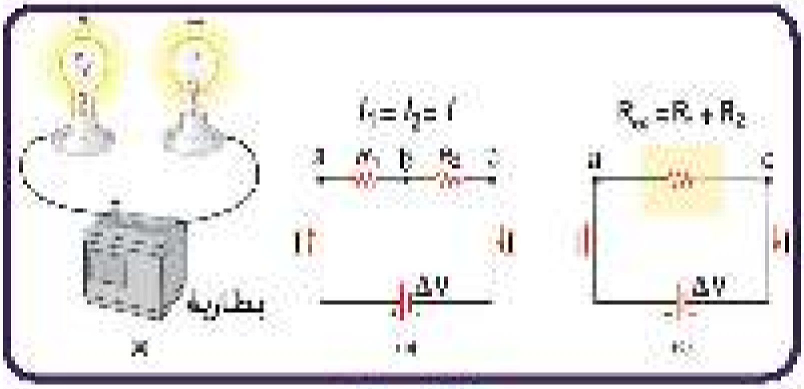
ويمكن حساب القدرة المجهزة من قبل المصدر بالعلاقة الآتية :

$$P = \varepsilon I = 12 \times 3.93 = 47.1W$$

9 – 9 ربط المقاومات على التوالي Series Wiring :

عندما تربط نهاية المقاومة الأولى مع بداية المقاومة الثانية كما في الشكل (22) يسمى هذا الربط بالتوالي.

ويمتاز هذا الربط بأنه يوفر طريق واحد للتيار وهذا يعني أن التيار نفسه يمر خلال كل مقاوم في الدائرة.



الشكل (22)

التيار الكلي = التيار المار في المقاومة R_1 = التيار المار بالمقاومة R_2

$$I_{total} = I_1 = I_2$$

يمكن أن تكون المقاومات أجهزة كهربائية بسيطة مثل المصابيح الكهربائية فعند ربط مصباحين على التوالي ويحدث قطع نتيجة عطب في أي منهما فسوف ينقطع مرور التيار في الدائرة وتكون الدائرة كلها عندئذ مفتوحة. في ربط التوالي الفولطية المجهزة من قبل البطارية تتوزع بين المقاومتين.

الفولطية عبر المقاومة R_1 هي V_1 و الفولطية عبر المقاومة R_2 هي V_2

الفولطية الكلية (V_{total}) = الفولطية عبر المقاومة R_1 + الفولطية عبر المقاومة R_2

$$V_{total} = V_1 + V_2$$

$$V_1 = I R_1 \quad , \quad V_2 = I R_2$$

$$V_{total} = V_1 + V_2$$

$$V_{total} = I R_1 + I R_2$$

$$V_{total} = I (R_1 + R_2)$$

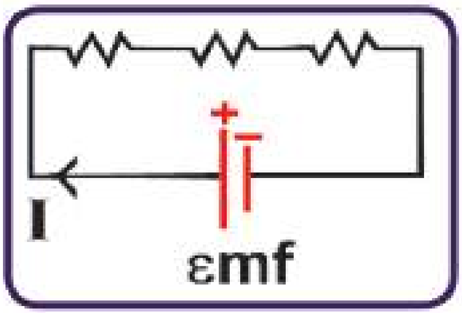
$$V_{total} = I R_{eq}$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 \quad \text{لأن}$$

إذن R_{eq} تسمى المقاومة المكافئة.

خصائص ربط التوالي :-

	ربط التوالي
التيار	$I = I_1 = I_2 = I_3 = \ldots\ldots$
المقاومة المكافئة	$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots\ldots$
فرق الجهد	$V = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots\ldots$



الشكل (23)

مثال 8

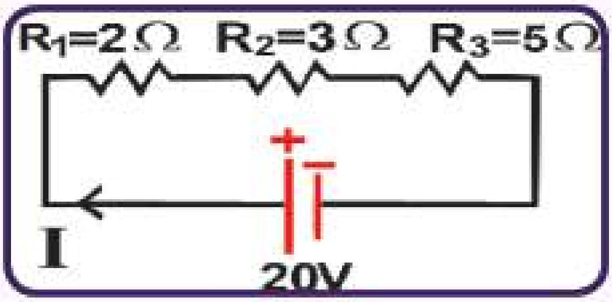
ثلاث مقاومات 2Ω ، 3Ω ، 5Ωربطت على التوالي عبر بطارية فرق جهدها $20V$ كما هو واضح في الشكل (24) . جد :-

1) المقاومة المكافئة للدائرة .

2) التيار الكلي .

3) التيار المار في كل مقاومة .

4) فرق الجهد على طرفي كل مقاومة .



الشكل (24)

الحل/

1) $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$

$R_{eq} = 2\Omega + 3\Omega + 5\Omega = 10\Omega$

2) $I_{total} = \dfrac{V_{total}}{R_{eq}} = \dfrac{20V}{10} = 2A$

3) $I_{total} = I_1 = I_2 = I_3 = 2A$

4) $V_1 = I R_1 = (2A)(2\Omega) = 4V$

$V_2 = I R_2 = (2A)(3\Omega) = 6V$

$V_3 = I R_3 = (2A)(5\Omega) = 10V$

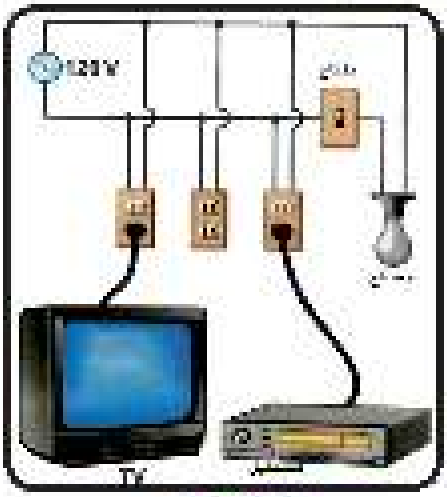
ولحساب فرق الجهد الكلي V_{total} للتأكد من الناتج:

$V_{total} = V_1 + V_2 + V_3$

$V_{total} = 4V + 6V + 10V = 20V$

9 – 10 ربط المقاومات على التوازي Parallel Wiring :

ربط التوازي هي طريقة أخرى لربط الاجهزة الكهربائية ويعني ربط التوازي هو ربط الاجهزة الكهربائية بين نقطتين مشتركتين بطريقة تسمح بأن تكون الفولطيات متساوية لكل الاجهزة المربوطة في الدائرة . ربط التوازي شائع جداً فعلى سبيل المثال أن الاجهزة الكهربائية المتصلة في نقاط الكهربائي بالمنزل مربوطة مع بعضها على التوازي الشكل (25) حيث أن الفولطية 220V وهي مساوية للفولطية كل جهاز التلفزيون - الستريو - المصباح وعندما تكون الدائرة مغلقة، كلها تعمل بفولطية 220V ووجود نقاط كهربائية غير مستعملة أو أجهزة أخرى لا تعمل هذا لا يؤثر على تشغيل باقي الاجهزة التي تعمل فعلاً . علاوة على ذلك اذا توقف التيار في أحد الاجهزة (وجود مفتاح مفتوح أو سلك مقطوع) لا يؤثر ذلك على مرور التيار في باقي الاجهزة ولا يؤثر إطفاء أو عطب أي جهاز على باقي الاجهزة في حالة ربط التوازي.



الشكل (25)

لحساب المقاومة المكافئة لمقاومتين مربوطتين مع بعضهما على التوازي يجب ان نعلم ان التيار الكلي هو:

$$I_{total} = I_1 + I_2$$

وبما ان الفولطية على طرفي كل مقاومة مساوية للفولطية الكلية .

فان :

$$I_{total} = \frac{V}{R_{eq}}$$

$$I_1 = \frac{V}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2}$$

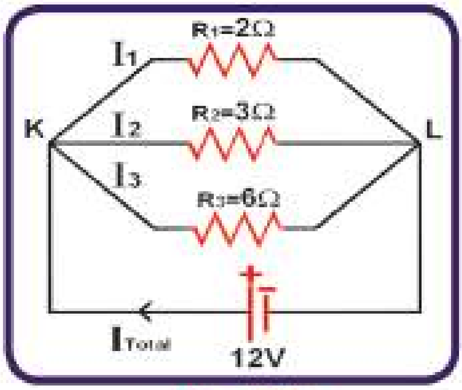
$$I_3 = \frac{V}{R_3}$$

$$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\frac{V}{R_{eq}} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

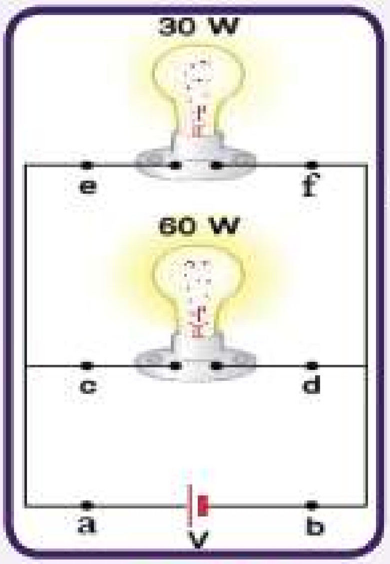
خصائص ربط التوازي :-

	ربط التوازي
التيار	$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots\dots$
المقاومة المكافئة	$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$
فرق الجهد	$V = V_1 = V_2 = V_3 = \dots\dots$



الشكل (26)

فكر : في الشكل (27) مصباحان مربوطان على التوازي مع بعضهما وربطت مجموعتهما مع المصدر فرق جهده (V=120V) ، رتب قيم التيارات المنسابة في الفروع (ab) , (cd) , (ef) من الاكبر الى الاصغر .



الشكل (27)

مثال 9

جد المقاومة المكافئة بين النقطتين (x ، y) في الشكل (28a) .

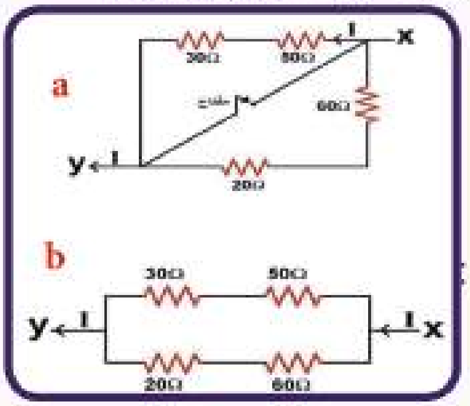
الدائرة في الشكل (28 b) تكافئ الدائرة اغلاق المفتاح المرسومة في الشكل (28a) :

المقاومتان 50Ω و 30Ω مربوطتان على التوالي :

$$R_{eq.s} = 30\Omega + 50\Omega = 80\Omega$$

المقاومتان 60Ω و 20Ω مربوطتان على التوالي ايضا :

$$R_{eq.s} = 20\Omega + 60\Omega = 80\Omega$$



الشكل (28)

المقاومتان $80\ \Omega$ و $80\ \Omega$ مربوطتان على التوازي :

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{80\Omega} + \frac{1}{80\Omega} = \frac{2}{80\Omega}$$

$$R_{eq} = 40\Omega$$

بعد اغلاق المفتاح فان المقاومة المكافئة = صفرا لان الدائرة تصبح دائرة قصيرة تيارها يسري عبر سلك التوصيل (x ، y) فقط ودون ان يسري في اي من المقاومات الواردة في الشكل (28)

9 - 11 قواعد كريشهوف Kirchhoff 's rules

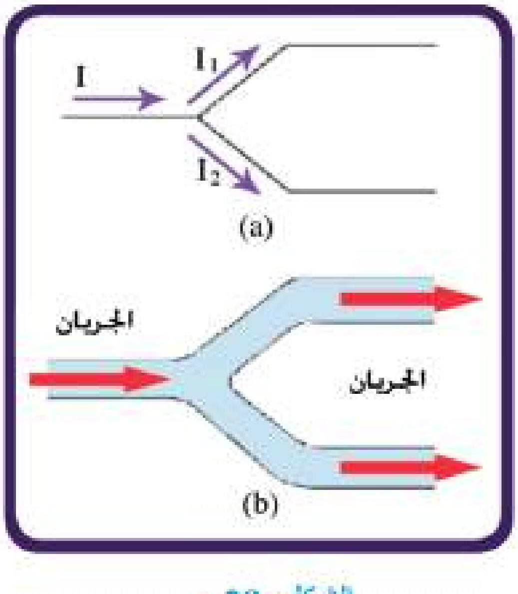
الدوائر الكهربائية التي تتكون من مقاومات مربوطة على التوالي والتوازي يمكن تحليلها غالبا بتقسيمها الى مجموعات منفصلة من المقاومات ، لكن هذه الطريقة قد لا تكون مفيدة او سهلة في بعض الدوائر حيث لا نجد بعض المقاومات مربوطة باستعمال طرائق ربط التوالي او التوازي . وللتعامل مع مثل هذه الدوائر سنستعمل بعض الطرائق الاخرى ومن اهمها قواعد كريشهوف التي سميت باسم العالم الذي قام بتطويرها وهو العالم كوستان كريشهوف.

1 قاعدة نقطة التفرع (Junction rule)

مجموع التيارات الداخلة لاية نقطة تفرع في دائرة كهربائية يجب ان تساوي مجموع التيارات الخارجة منها. اي ان:

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

ان القاعدة الاولى لكريشهوف تمثل قانون حفظ الشحنة الكهربائية وهذا يدل على ان تجزئة التيار او تفرعه لا يؤثر في قيمته الاصلية لاحظ الشكل (29a , b)



الشكل (29)

2 قاعدة العقدة (Loop rule)

المجموع الجبري لفرق الجهد عبر كل العناصر حول أي دائرة مغلقة يجب أن يساوي صفراً أي أن:

$$\sum_{closed\ loop} \Delta V = 0$$

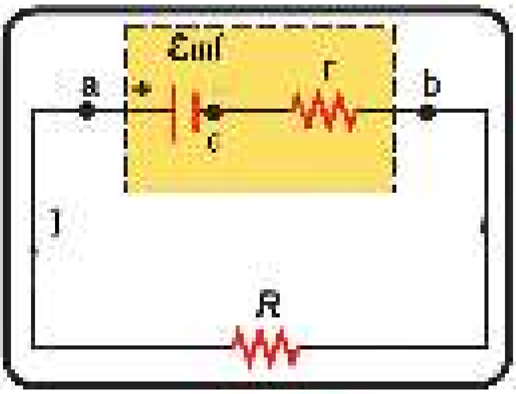
ويمكن بيان القاعدة الثانية لكيرشوف بالعلاقة الآتية :

Potential drops = potential rises

$$\sum \Delta V_{drops} = \sum \Delta V_{rises}$$

وهذا يمثل نمط خاص للتعبير عن قانون حفظ الطاقة في الدوائر الكهربائية .

حساب فرق الجهد في الدائرة الكهربائية :-



الشكل (30)

الدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (30) مكونة من مصدر قوته الدافعة ε ومقاومته الداخلية r يتصل مع مقاومة R . إن تيار الدائرة يسري باتجاه معاكس لحركة عقرب الساعة clock wise . احسب فرق الجهد (V_{ab}) بين طرفي البطارية a ; b ؟

عند السير من النقطة b وجهدها (V_1) باتجاه التيار عبر المقاومة r الى النقطة c جهدها (V_2) نلاحظ هبوطاً في الجهد (Potential drops) وهذا يعني أن الجهد في b أعلى منه في c وذلك لأن الشحنات الموجبة تنساب من الجهد العالي الى الجهد الواطيء . وعند عبور مصدر القوة الدافعة الكهربائية من النقطة c الى النقطة a نجد انه يحدث ارتفاع بالجهد (potential rise) مقداره ε . وهذه الزيادة في الجهد ناتجة عن الشغل الذي ينجزه المصدر على الشحنات الموجبة عند نقلها خلاله من القطب السالب الى القطب الموجب فيرتفع بذلك الجهد . ولو اتفقنا ان نعطي اشارة موجبة للارتفاع في الجهد وسالبة للانخفاض في الجهد يصبح علينا من السهل جداً حساب فرق الجهد (V_{ab}) وذلك بأخذ المجموع الجبري للتغيرات الحاصلة في الجهد عبر هذا المسار ، اي ان:

$$V_b - Ir + \varepsilon = V_a$$

$$\varepsilon - Ir = V_a - V_b = V_{ab}$$

$$V_{ab} = \varepsilon - Ir$$

وهكذا يمكن حساب فرق الجهد بين اية نقطتين في دائرة كهربائية اخذين بنظر الاعتبار القاعدتين التاليتين :

اولاً

a. عند اجتياز المقاومة باتجاه التيار لاحظ الشكل (31a) فانه يحدث هبوط في الجهد قدره (IR) .

$$V = -IR$$

b. اذا كان الاجتياز بعكس انسياب التيار لاحظ الشكل (31b) فانه يحدث ارتفاع في الجهد قدره (IR) .

$$V = +IR$$

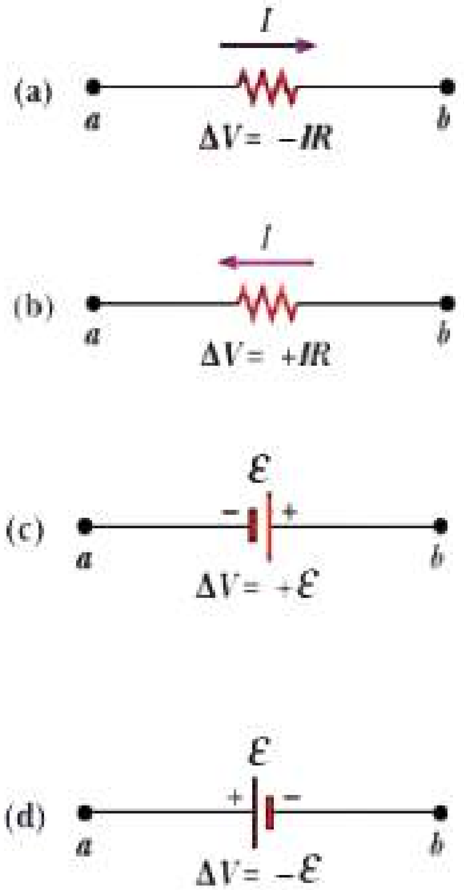
ثانيا:

a. عند اجتياز القوة الدافعة الكهربائية من قطبها السالب الى قطبها الموجب لاحظ الشكل (31c) فانه يحدث ارتفاع في الجهد قدره ε .

$$V = +\varepsilon$$

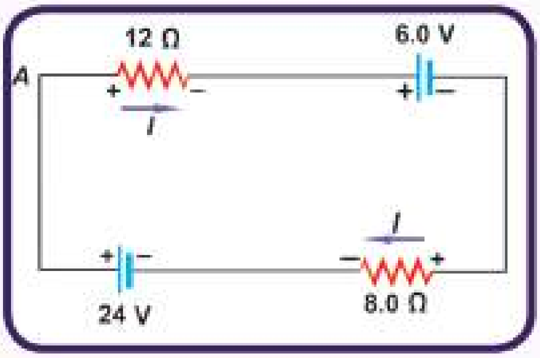
b. اذا كان الاجتياز بالعكس اي من القطب الموجب الى القطب السالب لاحظ الشكل (31d) فانه يحدث هبوط في الجهد قدره ε.

$$V = -\varepsilon$$



الشكل (31)

مثال 10 الشكل (32) يوضح دائرة كهربائية تحتوي بطاريتين ومقاومتين، احسب التيار I في الدائرة .



الشكل (32)

الحل/

يتجه التيار الاصطلاحي في الدائرة من الجهد العالي الى الجهد الواطيء ، بتطبيق القاعدة الثانية لكيرشهوف ابتداء من النقطة **A** باتجاه حركة عقرب الساعة .

Potential drops = potential rises

$$\sum \Delta V_{drops} = \sum \Delta V_{rises}$$

$$I(12) + 6 + I(8) = 24$$

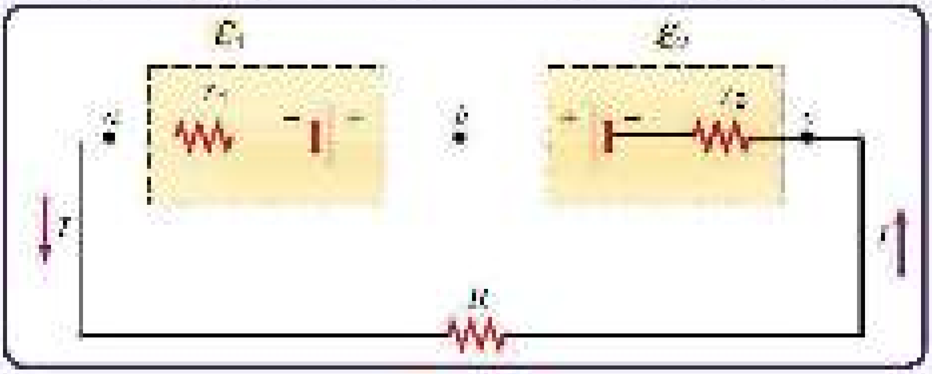
$$20I = 18$$

$$I = 0.9\ A$$

مثال 11 / الدائرة في الشكل (33)، احسب :

a) قيمة التيار في الدائرة ؟ b) فرق الجهد بين النقطتين a , b ؟

علماً بأن : $R = 9\,\Omega$, $r_2 = 2\,\Omega$, $r_1 = 1\,\Omega$, $\varepsilon_2 = 12V$, $\varepsilon_1 = 6V$



الشكل (33)

الحل /

a) لتعيين اتجاه التيار في الدائرة التي تحتوي على مصدرين للقوة الدافعة الكهربائية وباتجاهين متعاكسين فإن القوة الدافعة الكهربائية ذات القيمة الأكبر هي التي تحدد اتجاه التيار ، وفي هذا المثال التيار سيكون بعكس حركة عقرب الساعة .

بتطبيق القاعدة الثانية لكيرشوف (قاعدة العروة) ابتداءً من النقطة a وباتجاه التيار .

Potential drops = potential rises

$$IR + Ir_2 + \varepsilon_1 + Ir_1 = \varepsilon_2$$

$$I(R + r_2 + r_1) = \varepsilon_2 - \varepsilon_1$$

$$I = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{R + r_2 + r_1}$$

$$I = \frac{12 - 6}{9 + 2 + 1}$$

$$= \frac{6}{12} = \frac{1}{2}\,A$$

b) لحساب فرق الجهد بين النقطتين a , b نتحرك من النقطة a الى النقطة b بعكس التيار نحصل على :

$$V_a + Ir_1 + \varepsilon_1 = V_b$$

$$V_a - V_b = -\varepsilon_1 - I r_1$$

$$V_{ab} = -6 - (\frac{1}{2})(1)$$

$$V_{ab} = -6.5V$$

فكر : يمكنك إستخدام نفس الطريقة لحساب فرق الجهد بين النقطتين c ,b وستجد الناتج (11V) .

مثال 12

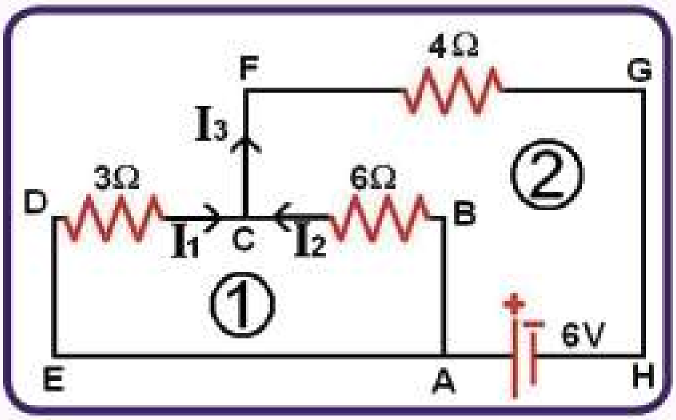
في الشكل (34) بتطبيق قواعد كيرشهوف اوجد التيارات المارة بالمقاومات الثلاث؟

الحل/

نستخدم قاعدة نقطة التفرع ولتكن النقطة c .

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

$$I_1 + I_2 = I_3 ...... (1)$$



الشكل (34)

نطبق قاعدة العقدة (Loop rule) ونختار الدائرة المغلقة (Loop1) (ABCDEA) .

Potential drops = potential rises

$$I_2(6) = I_1(3)$$

$$I_2 = \frac{1}{2} I_1 \quad ....(2)$$

المعادلتين (1 ، 2) تحتوي على ثلاث مجاهيل نعود نطبق قاعدة العقدة (**Loop rule**) ثانية ونختار الدائرة المغلقة (**Loop2**) (**ABCFGHA**) .

Potential drops = potential rises

$$I_2(6) + I_3(4) = 6 \quad ... (3)$$

نعوض ما يعادل قيمة I_3 في المعادلة (1) في المعادلة (3) ينتج:

$$I_2(6) + (I_1 + I_2)(4) = 6 \quad ....(4)$$

نعوض المعادلة $(2)..... \quad I_2 = \frac{1}{2} I_1$ في المعادلة (4) ينتج:

$$\frac{1}{2} I_1(6) + (I_1 + \frac{1}{2} I_1)(4) = 6$$

وبتبسيط المعادلة اعلاه ينتج :

$$I_1 = \frac{2}{3} A$$

$$I_2 = \frac{1}{2} I_1$$

$$I_2 = \frac{1}{3} A$$

$$I_3 = I_1 + I_2$$

$$I_3 = 1A$$

س/ اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي :-

1 سلك معدني مقاومته 1Ω، ماذا ستكون المقاومة لسلك مصنوع من المادة نفسها للسلك الأول لكن بضعف الطول ونصف مساحة المقطع العرضي ؟

a) 0.4Ω b) 2Ω

c) 0.2Ω d) 4Ω

2 سلك نحاس مقاومته 10Ω ماذا ستكون مقاومته لو قُطِعَ إلى نصفين ؟

a) 10Ω c) 5Ω

b) 20Ω d) 1Ω

3 مدفأة كهربائية تعمل بقدرة (1000W) عندما تعمل بفولطية (120V)، ما هي القدرة الكلية المستهلكة بواسطة اثنين من هذه المدافئ عند ربطها على التوالي مع مصدر فولطية واحد (120V) ؟

a) 400W b) 500W

c) 200W d) 1000W

4 بطارية فرق الجهد الكهربائية (emf) (1V) ومقاومتها الداخلية (r)، ما مقدار المقاومة الخارجية (R) التي لو ربطت عبر قطبي البطارية تسبب فرق جهد على طرفي البطارية مقداره $1/2V$ ؟

a) $R = 1/2r$ b) $R = 2r$

c) $R = 4r$ d) $R = r$

5 وحدات ($\Omega.A^2$) تستخدم لقياس ؟

a) التيار. b) الطاقة.

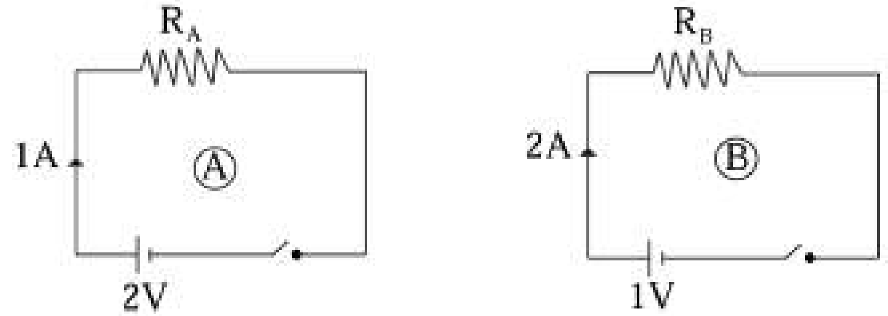
c) القدرة. d) الفولطية.

6 - جهاز تلفزيون يعمل بفولطية **120V** ومجفف ملابس يعمل على فولطية **240V** بالاستناد إلى هذه المعطيات فقط ، أي جهاز سوف يستهلك طاقة اكبر ؟

a) جهاز التلفزيون .
b) مجفف الملابس .
c) هذه المعلومات (المعطيات) غير كافية.

7 - في الدائرة (A) البطارية تجهز طاقة بفولطية ضعف التي تجهزها الدائرة (B) ،مع ذلك فان التيار المار في الدائرة (A) ، هو نصف قيمة التيار في الدائرة (B) ، هذا يعني ان الدائرة (A) تحتوي على مقاومة . . . . المقاومة في الدائرة (B) :

a) ضعف .
b) نصف .
c) مساوية .
d) اربع أضعاف .



8 - سلكان مصنوعان من مادة واحدة الاول يمتلك مقاومة **0.1Ω** وطول السلك الثاني ضعف الاول ويمتلك نصف قطر نصف ما يمتلكه الاول، فأن مقدار مقاومة السلك الثاني :

a) **400Ω** .
b) **0.2Ω** .
c) **0.1Ω** .
d) **0.8Ω** .

9 - مصباحان متماثلان مربوطان الى بطاريتين متشابهتين بطريقتين مختلفتين .

الطريقة الاولى : المصباحان مربوطان على التوازي ومجموعة التوازي مربوطة عبر قطبي البطارية الاولى .

الطريقة الثانية: المصباحان مربوطان على التوالي ومجموعة التوالي مربوطة عبر قطبي البطارية الثانية . فأن نسبة القدرة المجهزة من البطارية في الطريقة الاولى الى القدرة المجهزة في الطريقة الثانية (افرض ان المقاومة الداخلية **r = 0**):

a) **1/4** .
b) **4**
c) **1/2** .
d) **2**

س2/ ما الفائدة العملية من استعمال الكلفانوميتر في قنطرة وتستون عند قياس مقاومة مجهولة ؟

س3/ مالمقصود بفرط الايصال الكهربائي ؟ اذكر تطبيقاً واحداً .

س4/ ما الفائدة العملية من جعل مقاومة المحرك الكهربائي المستعمل في تشغيل السيارة مساوياً للمقاومة الداخلية لنضيدة السيارة ؟

س5/ لماذا يكون فرق الجهد على طرفي المقاومة الداخلية يعاكس باشارته القوة الدافعة الكهربائية (ε) للمصدر ؟

س6/ لماذا يكون فرق الجهد على طرفي بطاريه (ΔV) موجودة ضمن دائره كهربائية أقل من القوة الدافعة الكهربائية (ε) للبطارية .

س7/ لماذا ينطفئ او تنخفض شدة اضاءة مصباح السيارة الداخلي المضاء في اثناء اشتغال السيارة ؟

س8/ ربط البطاريات على التوالي يؤدي الى زيادة **emf** في الدائرة الكهربائية ، ما هي فوائد ربطها على التوازي ؟

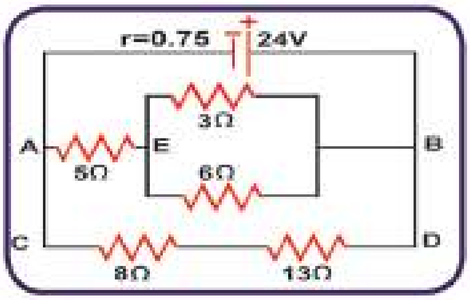
مسائل

س1/ ملف نحاسي لمحرك كهربائي مقاومته (50Ω) في درجة حرارة $20°C$ وبعد فترة من الزمن اصبحت مقاومته (60Ω) فما مقدار درجة حرارته الجديدة؟ علماً بأن المعامل الحراري لمقاومية النحاس ($°C^{-1}$) 39.3×10^{-4} .

س2/ بطارية قوتها الدافعة الكهربائية $13V$ وفرق الجهد بين أقطابها $12V$ عندما تُجهّز مقاومة حمل خارجية (R) بقدرة $24W$ إحسب :

a) مقدار المقاومة (R) .

b) مقدار المقاومة الداخلية للبطارية (r) .



س3/ في الشبكة الكهربائية المجاورة احسب :

a) المقاومة الخارجية .

b) تيار الدائرة الكلي (تيار النضيدة) .

c) الجهد المستنفذ (هبوط الجهد) في النضيدة .

d) فرق الجهد عبر النضيدة .

e) التيار المار في كل مقاومة .

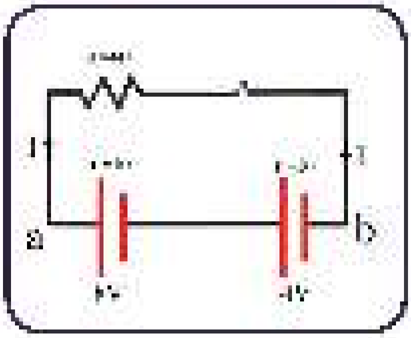
س4/ في الشكل المجاور , المصباح اليدوي يمر فيه تيار (0.4A) بفولطية (3.0V) .

a) احسب مقاومة فتيل المصباح.

b) مقدار القدرة المجهزة للمصباح.

c) الطاقة الكهربائية المستهلكة في المصباح خلال مدة 5.5minutes من التشغيل.

س5/ في الدائرة الكهربائية المجاورة :



المقاومة $R = 4\Omega$ مربوطة على التوالي مع بطاريتين (4V,8V) فإذا علمت أن : $r_1 = 1\Omega , r_2 = 1\Omega$.

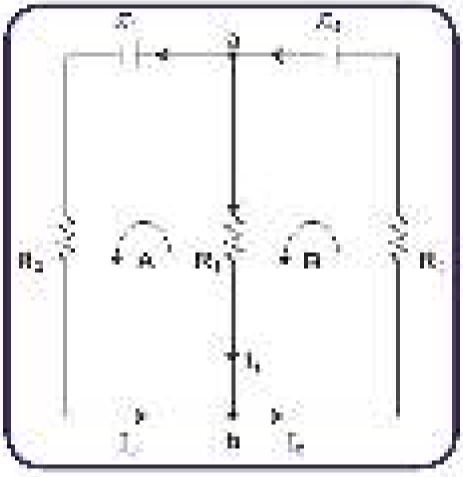
جد :

a) تيار الدائرة .

b) فرق الجهد بين النقطتين (a , b) عند غلق الدائرة .

c) فرق الجهد بين النقطتين (a , b) عند فتح الدائرة .

س6/ في الشكل المجاور $R_1 = 5\,\Omega$, $\varepsilon_2 = 1\,V$, $R_2 = 2\,\Omega$, $R_3 = 4\,\Omega$, $\varepsilon_1 = 3\,V$,

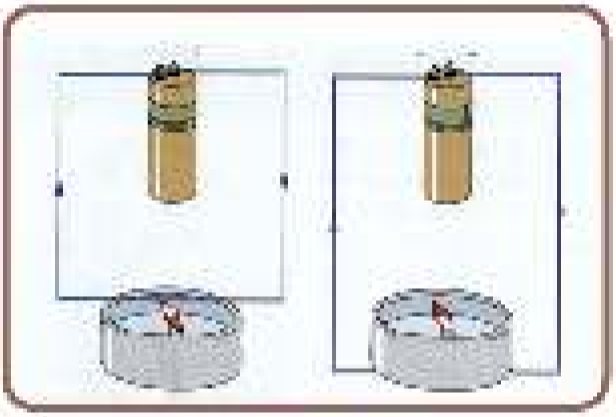


a) احسب قيم التيارات المارة في فروع الشبكة الكهربائية المبينة .

b) احسب فرق الجهد بين النقطتين (a) و (b) (Vab) .

الفصل 10 المغناطيسية Magnetism

تعلمت سابقاً ان الشحنات الكهربائية تمتلك مجالاً كهربائياً تؤثر فيه على الشحنات الكهربائية الأخرى بقوة كهربائية فإذا تحركت الشحنات الكهربائية تولد تيار كهربائي ، تعرفت على خواصه . وقد اكتشف العالم اورستد عام 1820م أثناء تجربة بالغة الأهمية لاحظ الشكل (1) ان الشحنات الكهربائية المتحركة تؤثر أيضاً اذ لاحظ تأثر ابرة مغناطيسية (بوصلة) في تيار كهربائي يسري في سلك قريباً منها مما دفعه للتساؤل :



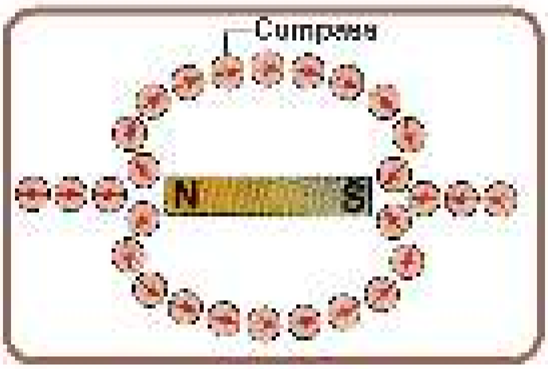
الشكل (1)

هل ينشأ عن التيار الكهربائي مجال مغناطيسي ؟ كيف يمكن وصف هذا المجال من حيث المقدار والاتجاه ؟ هل يختلف مقدار المجال المغناطيسي باختلاف شكل السلك الذي يسري فيه التيار ؟ هذه الأسئلة وأخرى غيرها ستتمكن من الاجابة عليها بعد دراستك لهذا الفصل .

10 – 1 المجال المغناطيسي The Magnetic Field :-

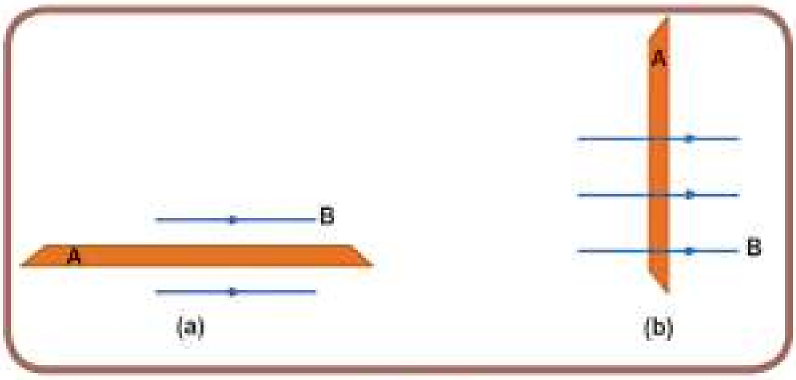
وهو الحيز الذي يحيط بالمغناطيس من جميع الاتجاهات وتظهر فيه آثار القوة المغناطيسية في شحنة كهربائية متحركة في ذلك الحيز .

يعبر عن شدة المجال المغناطيسي عند نقطة ما بكثافة الفيض المغناطيسي في تلك النقطة وتقل كلما ابتعدنا عنها، ويرمز لها بالرمز $\vec{B}$ ويكون المجال المغناطيسي مقدار واتجاه محدد عند كل نقطة في المنطقة المحيطة بالمغناطيس . لاتجاه المجال المغناطيسي في اية نقطة في الفراغ هو الاتجاه الذي تتخذه ابرة البوصلة عند هذه النقطة، لاحظ الشكل (2) .



الشكل (2)

10 - 2 الفيض المغناطيسي وكثافة الفيض المغناطيسي
Magnetic Flux and Magnetic Flux Density



الشكل (3)

يمثل المجال المغناطيسي بخطوط مقفلة ولهذا لا يمكن الحصول على قطب مغناطيسي منفرد (شمالي او جنوبي) وتسمى هذه الخطوط بخطوط القوة المغناطيسية أن اتجاه المجال المغناطيسي عند أية نقطة من المجال هو اتجاه خط القوة المغناطيسية نفسها المار من تلك النقطة كما أن عدد خطوط القوة المغناطيسية التي تخترق وحدة المساحة العمودية على اتجاه الخطوط هي كثافة الفيض المغناطيسي وهي كمية متجهة باتجاه المجال المغناطيسي. أما عدد الخطوط الكلية التي تؤلف ذلك المجال فتسمى بالفيض المغناطيسي **magnetic flux (Φ)** في تلك المساحة ، لاحظ الشكل (3) .

أن وحدة قياس الفيض المغناطيسي (Φ) في النظام الدولي للقياس **(SI)** هو ويبر **Weber** أو ماكسويل **Maxwell** .

$$\text{Weber} = 10^8 \text{ Maxwell}$$

وتقاس كثافة الفيض المغناطيسي $(\vec{B})$ بعدد خطوط القوة المغناطيسية لوحدة المساحة، التي تخترق المجال المغناطيسي بصورة عمودية، وفق العلاقة الآتية:

$$\text{magnetic flux density } (\vec{B}) = \frac{\text{magnetic flux}(\Phi)}{\text{area}(A)}$$

$$(\vec{B}) = \frac{(\Phi)}{(A)}$$

ان وحدة كثافة الفيض المغناطيسي $(\vec{B})$ هي $\left(\frac{\text{weber}}{\text{m}^2}\right)$ وتسمى **Tesla (T)** أما وحدة

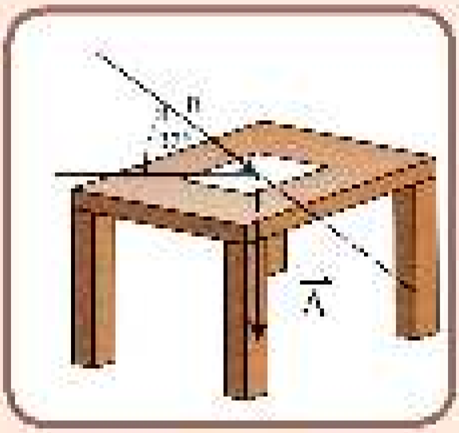
الفيض المغناطيسي (Φ) تساوي $(\text{Tesla}) \cdot (\text{meter})^2$, $\left[(\text{T} \cdot \text{m}^2)\right]$ وتسمى **Weber** وتكتب باختصار **(wb)** والجدول (1) يبين المقادير التقريبية لكثافة الفيض المغناطيسي .

جدول (1) بعض المقادير التقريبية لشدة المجالات المغناطيسية :

مصدر المجال المغناطيسي	كثافة الفيض المغناطيسي Tesla
مغناطيس كهربائي قوي يتولد من تيار يسري في ملف فائقة التوصيل تحت درجات حرارة منخفضة جداً	30
المغناطيس المستعمل في وحدة التصوير الطبي (MRI) ويسمى جهاز الرنين المغناطيسي	2
ساق مغناطيسية	10^{-2}
سطح الشمس	10^{-2}
سطح الأرض	0.5×10^{-4}
داخل مخ الإنسان (نتيجة النبض في الأعصاب)	10^{-13}

مثال 1

ورقة مستطيلة الشكل أبعادها (21.5cm × 28cm) موضوعة على منضدة أفقية لاحظ الشكل (4) . احسب مقدار الفيض المغناطيسي (Φ) المار خلال الورقة الناتج عن المجال المغناطيسي الأرضي الذي يساوي ($5.31 \times 10^{-5}T$) ويؤثر باتجاه يصنع زاوية قياسها 37° مع الأفق.



الشكل (4)

الحل /

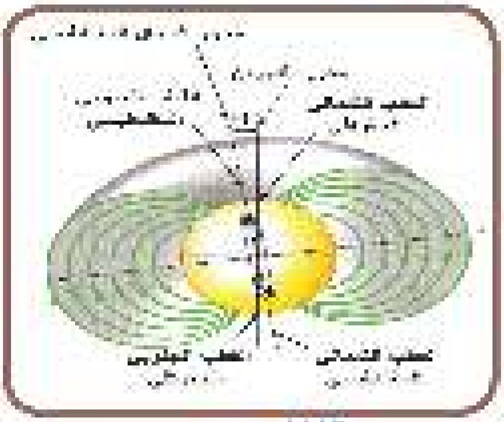
إن المجال المغناطيسي يمكن أن يعد منتظماً على مستوى مساحة الورقة ، ويمكن أن نختار متجه المساحة السطحية للورقة تكون نحو الأسفل، لذلك فإن قياس الزاوية بين $\vec{B}$ ومتجه المساحة $\vec{A}$ يساوي 53° ، وبتطبيق العلاقة الآتية نحصل على الفيض المغناطيسي :

$$\Phi = BA\cos\theta$$

$$\Phi = (5.31 \times 10^{-5}T)(0.215m \times 0.280m)(\cos 53^{\circ})$$

$$\Phi = 1.92 \times 10^{-6} T.m^2$$

10 - 3 المجال المغناطيسي الأرضي Earth's Magnetic Field



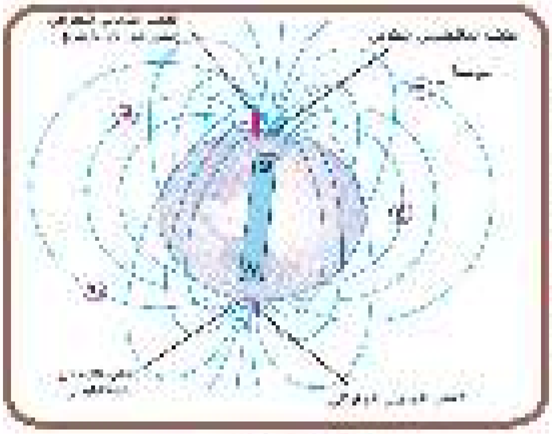
الشكل (5)

لو تأملت الشكل (5) يظهر تماثل المجال المغناطيسي للكرة الأرضية وكأنه ساق مغناطيسية عملاقة مدفونة في باطن الأرض، القطب الجنوبي المغناطيسي يقع بالقرب من القطب الشمالي الجغرافي والقطب الشمالي المغناطيسي يقع بالقرب من القطب الجنوبي الجغرافي، أي أن المحور المغناطيسي للكرة الأرضية ينحرف قليلاً عن المحور الجغرافي للكرة الأرضية (حوالي 11°).

هل تعلم ؟

أن بعض أجناس الحيوانات مثل الطيور تستشعر المجال المغناطيسي للكرة الأرضية كدليل لها في أثناء هجرتها من مكان إلى آخر.

10 - 4 زاوية الميل المغناطيسي وزاوية الانحراف المغناطيسي

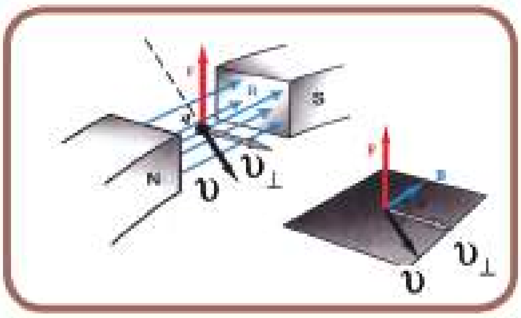


الشكل (6)

لو جعلت محور الإبرة المغناطيسية أفقياً لاحظ الشكل (6)، فالإبرة يمكنها الدوران بحرية بمستوى شاقولي وعند وضع هذه الإبرة فوق أحد القطبين المغناطيسيين (الشمالي أو الجنوبي) نجد أن الإبرة تستقر بوضع شاقولي (أي تصنع زاوية قياسها 90° مع خط الأفق)، وعند نقل الإبرة إلى خط الاستواء المغناطيسي فإن قياس هذه الزاوية يكون صفراً. وتسمى الزاوية بين مستوى الإبرة المغناطيسية وخط الأفق بـ (زاوية الميل المغناطيسي dip angle) ويتغير مقدارها بين (90° - 0°). ولو جعلت محور الإبرة المغناطيسية شاقولياً والإبرة يمكنها الدوران بحرية بمستوى أفقي فإنها تستقر بموازاة خط الزوال المغناطيسي، وتسمى الزاوية المحصورة بين خط الزوال المغناطيسي والمحور الجغرافي بزاوية الانحراف المغناطيسي ويكون مقدارها في مناطق معينة يساوي (0°) و(180°)، ويسمى الخط المار بالنقطة التي تكون عندها زاوية الانحراف بـ (0°) (خط انعدام الانحراف).

10 - 5 القوة المغناطيسية المؤثرة في شحنة كهربائية متحركة :

عند وضع شحنة اختبار (q_o) ساكنة عند نقطة في منطقة مجال مغناطيسي وجد عمليا ان القوة المغناطيسية المؤثرة فيها تساوي صفراً. ولكن اذا تحركت الشحنة الاختبارية (q_o) بسرعة $\vec{\upsilon}$ خلال المجال المغناطيسي الذي كثافة فيضه $(\vec{B})$ باتجاه عمودي عليه فانها تتأثر بقوة عمودية على اتجاه السرعة $\vec{\upsilon}$ ويلاحظ من الشكل (7). أن القوة المغناطيسية $(\vec{F})$ عمودية على المستوي الذي يحتوي $\vec{\upsilon}$ و $(\vec{B})$ اللذين تكون الزاوية بينهما θ وتعطى بالعلاقة الآتية :



$$\vec{F} = |q_o|\ \vec{\upsilon} \times \vec{B}$$

ومقدارها هو :

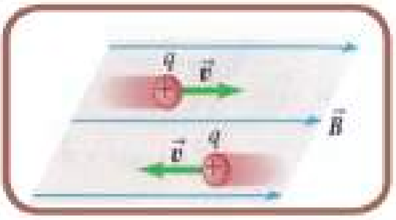
$$F = |q_o|\ \upsilon \times B \sin\theta$$

ان مقدار القوة المغناطيسية (F) يتناسب مع $(\sin\theta)$ إذ ان θ تمثل الزاوية بين اتجاه حركة الشحنة $\vec{\upsilon}$ واتجاه المجال $(\vec{B})$.

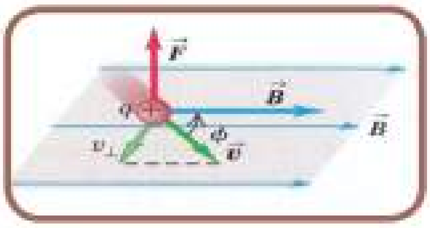
وعليه تكون القوة المغناطيسية في مقدارها الأعظم عندما تكون $(\theta = 90°)$.

إن اتجاه القوة المغناطيسية $(\vec{F})$ تحدده قاعدة الكف اليمنى التي تنص على انه لو دورت أصابع الكف اليمنى عدا الإبهام من اتجاه السرعة $\vec{\upsilon}$ للشحنة الموجبة نحو كثافة الفيض $(\vec{B})$ بزاوية حادة θ فاتجاه الإبهام يشير إلى اتجاه القوة المغناطيسية $(\vec{F})$، كما موضحة في الشكل (7) . (a , b , c)

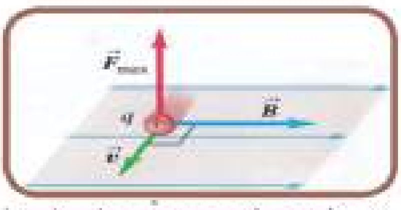
ومن الجدير بالذكر انه أذا كانت الشحنة المتحركة سالبة فان القوة $(\vec{F})$ سيكون لها المقدار نفسه ولكن بالاتجاه المعاكس .



a- شحنة تتحرك بموازة المجال المغناطيسي $\vec{B}$ والقوة المغناطيسية = صفر .



b - شحنة تتحرك بزاوية θ مع المجال المغناطيسي $\vec{B}$ والقوة المغناطيسية $F = q_o \upsilon\ B \sin\theta$



c - شحنة تتحرك عمودياً على المجال المغناطيسي $\vec{B}$ والقوة المغناطيسية $F_{max} = q_o \upsilon\ B$

الشكل (7)

مثال 2

بروتون (شحنة كهربائية موجبة) يتحرك بسرعة $5 \times 10^{6} m/s$ صادف مجالاً مغناطيسياً قيمته $0.4T$ اتجاهه يصنع زاوية $\theta = 30^{\circ}$ مع متجه سرعة البروتون ، علماً أن الشحنة الموجبة للبروتون $1.6 \times 10^{-19} C$ جد :

a) مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في البروتون .

b) تعجيل البروتون علماً أن كتلته $1.67 \times 10^{-27} kg$

الحل /

a) مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في البروتون .

$$F = |q|\, \upsilon\, B \sin\theta$$

$$F = (1.6 \times 10^{-19} C)(5 \times 10^{6} m/s)(0.4\, T)(\sin 30^{\circ})$$

$$F = 1.6 \times 10^{-13} N$$

اتجاه القوة المغناطيسية باتجاه الأعلى حسب قاعدة الكف اليمنى .

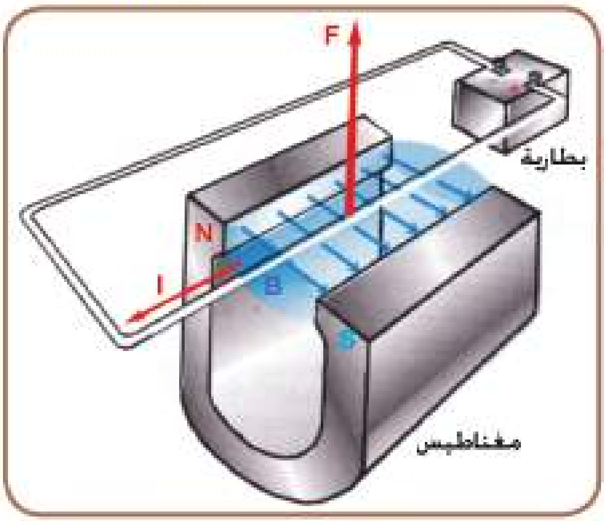
b) لحساب تعجيل البروتون نطبق القانون الثاني لنيوتن:

$$a = \frac{F}{m_p}$$

$$a = \frac{1.6 \times 10^{-13} N}{1.67 \times 10^{-27} kg} = 9.6 \times 10^{13} m/s^2$$

6 - 10 تاثير المجال المغناطيسي على سلك موصل حامل للتيار :
The effect of magnetic field on current carrying conductor

ان التيار الكهربائي المار في سلك مصنوع من مادة موصلة طولها (L) ومساحة مقطعها (A) يمر فيها تيار كهربائي (I)، والسلك موضوعة في منطقة مجال مغناطيسي ($\vec{B}$) ، لاحظ الشكل (8) .



الشكل (8)

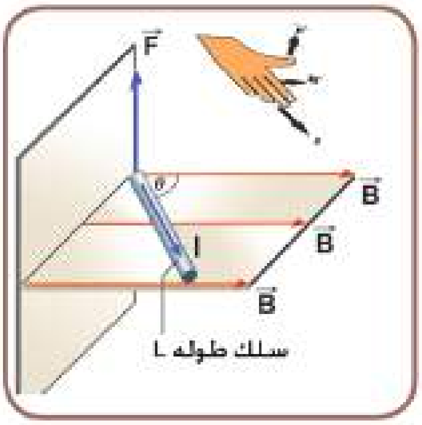
تتحرك الشحنات داخل مادة الموصل بسرعة تسمى سرعة الانجراف (Drift velocity υ_d) عندما تتحرك شحنة خلال مجال مغناطيسي فأن القوة المؤثرة فيها تحسب من العلاقة التالية :

$$F = q_o \ \upsilon_d B \sin\theta$$

ولإيجاد القوة المغناطيسية التي تؤثر في السلك نفترض وجود شحنات كهربائية متحركة في السلك وأن عدد تلك الشحنات هو (NAL) إذ أن (N) هو عدد الشحنات لوحدة الحجوم ، وعليه تكون القوة المغناطيسية الكلية تعطى بالعلاقة الآتية :

$$F = q_o \ \upsilon_d B(NAL)\sin\theta$$

وان سرعة الانجراف : $\upsilon_d = \dfrac{I}{NqA}$



الشكل (9)

بالتعويض عن سرعة الانجراف نحصل على العلاقة التالية :

$$F = I L B \sin\theta$$

وعندما تكون القوة عمودية على السرعة فأن ، $\theta = 90^o$ $\sin 90^o = 1$ فتكون القوة في قيمتها العظمى ، اي أن :

$$F = I L B$$

تنعدم هذه القوة عندما يكون اتجاه التيار موازياً للمجال المغناطيسي ($\theta = 0^o$) كما يمكن تحديد اتجاه القوة المغناطيسية بتطبيق قاعدة الكف اليمنى لاحظ الشكل (9) .

مثال 3

سلك طوله 0.5m وضع بصورة عمودية على اتجاه المجال المغناطيسي المنتظم ، وعندما انساب فيه تيار كهربائي مقداره (20A) أثرت فيه قوة مقدارها (3N) جد مقدار كثافة الفيض المغناطيسي (B) المسلط على السلك ؟

الحل /

$F = I L B \sin\theta$

$\sin 90^\circ = 1$ لأن $\theta = 90^\circ$ بما أن

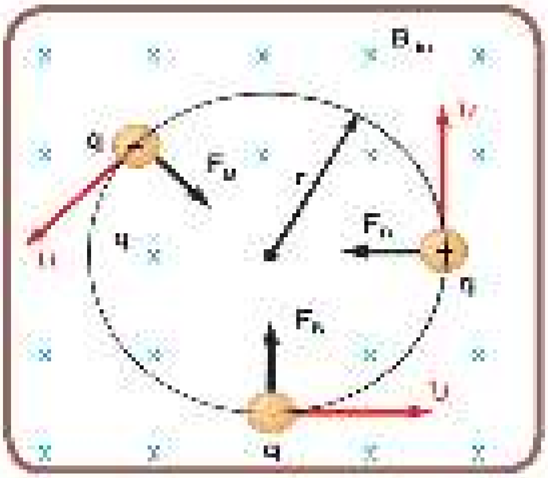
$\therefore F = I L B$

$B = \dfrac{F}{I L} = \dfrac{3N}{(20A)(0.5m)} = 0.3 \dfrac{N}{A \cdot m}$

$B = 0.3 \dfrac{wb}{m^2} = 0.3T$

10 – 7 حركة جسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم :
Motion of a charge particle in a uniform magnetic field

عندما يتحرك جسيم موجب الشحنة $(+q)$ في مجال مغناطيسي منتظم بانطلاق (υ) باتجاه عمودي على المجال المغناطيسي ، وعلى فرض ان اتجاه المجال المغناطيسي داخل الصفحة $(\otimes)$ كما في الشكل (10) فان الجسيم يتحرك في مسار دائري يقع في مستوي عمودي على المجال المغناطيسي (B) والقوة المغناطيسية (F_B) العمودية على كل من υ , B يكون مقدارها ثابت يساوي $(q\upsilon B)$ لاحظ الشكل (10) . ويكون اتجاه الدوران عكس دوران عقارب الساعة اذا كانت الشحنة (q) موجبة ، واذا كانت الشحنة (q) سالبة يكون اتجاه الدوران مع دوران عقارب الساعة . ولإيجاد نصف قطر المسار الدائري (r) سوف نستعين بمفهوم القوة المركزية (F_c) والتي هي القوة المغناطيسية التي تعمل على حفظ الشحنة في مسارها الدائري وكما يأتي :



الشكل (10)

Centripetal force (F_c) = magnetic force (F_B)

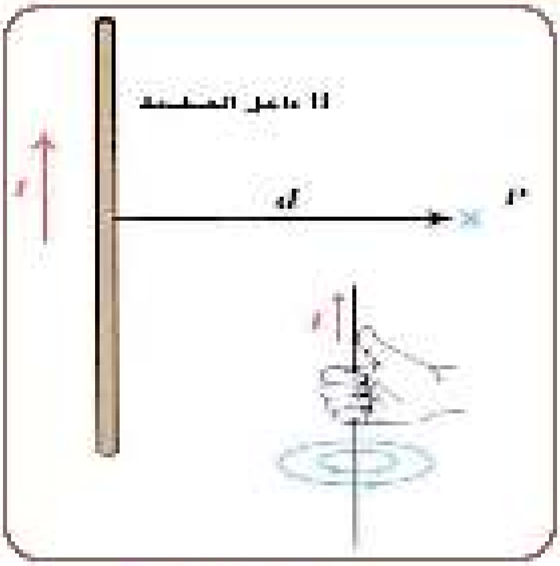
$$F_c = F_{mag}$$

$$\frac{mv^2}{r} = qvB$$

$$r = \frac{mv}{qB}$$

أي أن نصف قطر المسار الدائري (r) يتناسب طردياً مع الزخم الخطي (mv) للجسيم وعكسياً مع مقدار شحنة الجسيم وكثافة الفيض المغناطيسي .

8-10 المجال المغناطيسي لسلك طويل ينساب فيه تيار كهربائي :



الشكل (11)

بعد فترة قصيرة من اكتشاف اورستد (1820) أن إبرة البوصلة تنحرف بتأثير المجال المغناطيسي لسلك يحمل تياراً، تمكن العالمان بايوت وسافارت عن طريق تجارب متعددة على القوة المبذولة بوساطة تيار كهربائي ينساب في سلك على مغناطيس موضوع بالقرب من السلك وتم الحصول على تعبير رياضي يعطي المجال المغناطيسي عند نقطة ما في الفراغ بالقرب من السلك بدلالة التيار الكهربائي المسبب لهذا المجال حسب قانون بايوت وسافارت

(الذي ينص على أن مقدار كثافة الفيض المغناطيسي (B) المتولد في الفراغ في نقطة على بعد (r) من سلك طويل يمر فيه تيار كهربائي قدره I) . لاحظ الشكل (11) يعطى وفق العلاقة الآتية :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

إذ أن μ_0 هو مقدار ثابت يسمى نفوذية الفراغ (**Permeability**) وقيمته :

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{Wb}{A \cdot m}$$

مثال 4 ما مقدار كثافة الفيض المغناطيسي على بعد **3m** من سلك مستقيم طويل يحمل تياراً مستمراً قدره **15A**.

الحل /

بتطبيق قانون بايوت وسافارات نحصل على :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

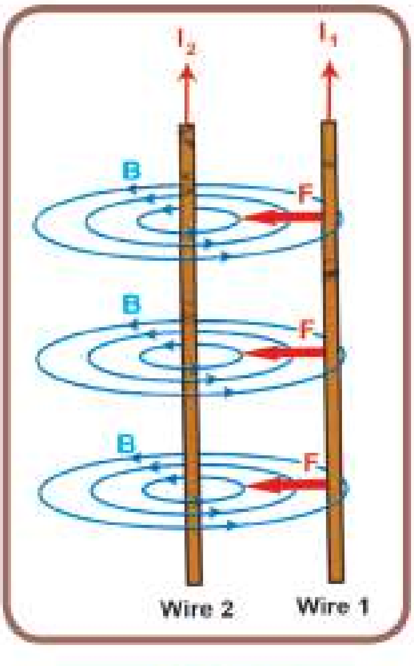
$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 15}{2\pi \times 3}$$

$$= 1 \times 10^{-6}\ T$$

$$\therefore \mathbf{B = 1 \times 10^{-6}\ T}$$

9 – 10 القوة المتبادلة بين سلكين موصلين متوازيين ينساب فيهما تيار كهربائي
Magnetic force between two parallel conductor

يبين الشكل (12) سلكين موصلين مستقيمين متوازيين طويلين وتفصل بينهما مسافة قدرها **r** ، السلك الأول يحمل تياراً قدره (I_1) . وأما السلك الثاني فيحمل تيار قدره (I_2) بالاتجاه نفسه .



الشكل (12)

ان التيار المنساب في السلك الثاني (I_2) يولد مجالاً مغناطيسياً كثافته (B_2) على السلك الأول. ومن ملاحظة الشكل (13) نجد ان اتجاه (B_2) يكون عمودياً على السلك الأول، ونجد مقدار كثافة الفيض المغناطيسي (B_2) من العلاقة الآتية:

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r}$$

ويمكن حساب القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك الأول ، بوجود المجال المغناطيسي (B_2)، الذي يولده التيار (I_2) كالآتي:

$$F_1 = B_2\ I_1\ L$$

وبالتعويض عن (B_2) بما يساويه نحصل على :

$$\therefore F = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r} I_1 L = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} L$$

وبالمثل نستطيع أن نحصل على النتيجة نفسها لو حسبنا مقدار القوة (F_2) المؤثرة في الطول (L) من السلك الثاني، التي سيكون اتجاهها نحو السلك الأول أي بعكس اتجاه (F_1)

وهكذا نجد أن القوة المغناطيسية الناتجة هي قوة متبادلة بين السلكين . وتكون قوة تجاذب عندما يكون التيار المار في السلكين باتجاه واحد . أما إذا كان اتجاه التيار في السلكين بصورة متعاكسة فإن القوة الناتجة ستكون قوة تنافر .

يمكنك عزيزي الطالب إن تتحقق من ذلك بنفسك على ضوء ما ذكرنا. وسواءً كانت قوة تنافر أم قوة تجاذب فأن مقدار هذه القوة لوحدة الطول في السلك سيكون:

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$$

وأن فكرة التجاذب بين سلكين طويلين متوازيين قد استعملت لتحديد وتعريف وحدة قياس التيار ,وحسب النظام الدولي للوحدات هي (Ampere) ، فإذا عوضنا عن قيمة كل من التيارين في المعادلة أعلاه بـ **1Amp** و عن البعد (r) بين السلكين المتوازيين ($1m$) وعن نفوذية الفراغ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \dfrac{wb}{A.m}$ نحصل على :

$$\frac{F}{L} = \frac{(4\pi \times 10^{-7})(1)(1)}{(2\pi)(1)} = 2 \times 10^{-7}\ N/m$$

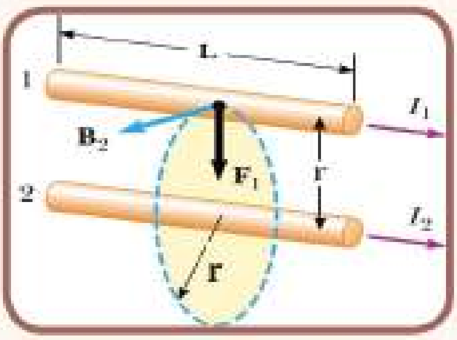
واستناداً إلى هذه النتيجة المستخرجة يعرف الـ**Ampere** كما يلي :

هو ذلك التيار الذي إذا مر في كل من سلكيين متوازيين طويلين .البعد بينهما **1m** وموضوعين في الفراغ لتنتج بينهما قوة متبادلة قدرها لوحدة الطول $2 \times 10^{-7} N/m$.

فكر

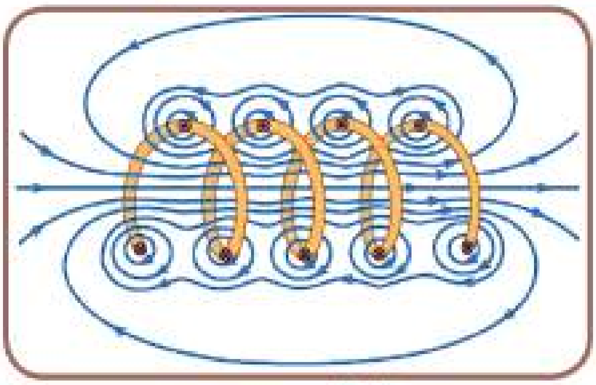
عندما يكون $I_1 = 2\ A$, $I_2 = 6A$ في الشكل (13) أي من الآتي صحيح :

a) $F_1 = 3F_2$ b) $F_1 = \dfrac{F_2}{3}$ C) $F_1 = F_2$



الشكل (13)

10 - 10 المجال المغناطيسي لملف لولبي
The magnetic field of a solenoid



الشكل (14)

سبق أن درست أن الملف اللولبي هو سلك طويل ملفوف بشكل حلقات لولبية ،وإذا انساب تيار كهربائي في الملف فأنه يعمل عمل ساق ممغنطة إذ يكون ذا قطبين أحدهما شمالي (N) تخرج منه خطوط القوة المغناطيسية والآخر جنوبي (S) تدخل فيه خطوط القوة المغناطيسية مكملة دورتها داخل الملف متخذة مسارها المغلق داخل الملف وخارجه وبأقصر طريق ممكن لاحظ الشكل (14) .

وتكون كثافة الفيض المغناطيسي (B) في داخل الملف منتظمة وأكبر مما هي علية خارجه ويمكن حساب كثافة الفيض المغناطيسي (B) داخل ملف لولبي طويل وفق العلاقة الآتية :

$$\boxed{B = \mu_o \frac{NI}{L}}$$

إذ أن N تمثل عدد لفات الملف , I تمثل التيار ، L تمثل طول الملف ، B تمثل كثافة الفيض المغناطيسي داخل الملف ويمكن كتابة المعادلة المذكورة انفاً كما يأتي :

$$\boxed{B = \mu_o nI}$$

حيث أن $n = \frac{N}{L}$ عدد اللفات لوحدة الطول

ومن الجدير بالذكر أن المعادلة الأخيرة صالحة فقط في حالة النقاط القريبة من محور الملف (البعيدة عن النهايتين) لملف لولبي طويل جداً، ويكون المجال بالقرب من النهايتين اصغر من المقدار الذي تعطيه المعادلة الأخيرة .

؟ سؤال

تتمتع حركة حلقات زنبرك خفيف بقدر من الحرية ،فإذا علق الزنبرك في السقف وانساب فيه تيارٌ كبيرٌ ،أتتقارب حلقاته معاً أم تتباعد عن بعضها ؟ ولماذا ؟

مثال 5

ملف اسطواني هوائي عدد لفاته (N) يساوي 100 لفة وطوله 20cm يحمل تياراً قدره 4A فما كثافة الفيض المغناطيسي (B) عند محور الملف .

الحل /

$$B = \mu_o \frac{NI}{L}$$

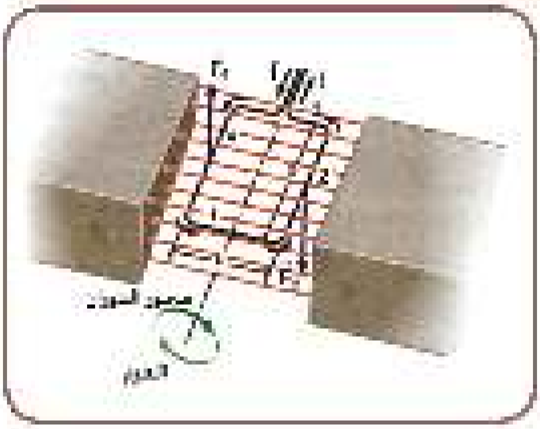
$$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7} \frac{wb}{A\,.\,m}$$

$$\therefore B = 4\pi \times 10^{-7} \frac{100 \times 4}{0.2}$$

$$B = 2.5 \times 10^{-3} \frac{wb}{m^2}$$

$$B = 2.5 \times 10^{-3} \text{ Tesla}$$

10 - 11 العزم المؤثر في ملف ينساب فيه تيار كهربائي موضوع في مجال مغناطيسي Torque on a current loop



الشكل (15)

سبق أن أوضحنا كيف تؤثر القوة المغناطيسية في موصل ناقل للتيار الكهربائي عندما يكون هذا الموصل ضمن مجال مغناطيسي خارجي منتظم. وفي حالة وجود ملف بشكل مستطيل مستواه يوازي خطوط المجال المغناطيسي المنتظم (B) ينساب فيه تيار كهربائي (I) ، ومن ملاحظتنا للشكل (15) نجد أن كثافة الفيض المغناطيسي المنتظم B يوازي الضلعين (1 ، 3) من الملف المستطيل الشكل وبذلك لا تؤثر قوة مغناطيسية في الضلعين (1 ، 3) (الزاوية بين متجه B واتجاه التيار = صفر) . بينما نجد أن القوى المؤثرة في الضلعين (2 ، 4) تكونان متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه لذلك فإن الملف يتأثر بهاتين القوتين المتوازيتين (F_2 ، F_4) والعموديتين على الضلعين ومقدار كل منهما يساوي:

$$F = I\,L\,B$$
$$F_2 = F_4 = I\,a\,B$$

والمسافة العمودية بينهما تساوي عرض الملف الذي يساوي (**b**) . عندها يتأثر الملف بعزم أزدواج يعمل على دورانه حول محوره والعزم (τ) لكل من القوتين F_2 ، F_4 يعطى بـ :

(b) Lever arm × Magnitude of force (F) = Torque (τ)

أما العزم الكلي (τ_{total}) على الملف والناتج عن القوتين (F_2 ، F_4) هو :

$$\tau_{total} = F_2 \times \left(\frac{b}{2}\right) + F_4 \times \left(\frac{b}{2}\right) = (I\ a\ B) \times \left(\frac{b}{2}\right) + (I\ a\ B) \times \left(\frac{b}{2}\right)$$
$$\tau_{total} = I(a\ b) \times B$$

حيث ان (**a , b**) يمثلان طول وعرض اللفة وحاصل ضربهما يساوي مساحة اللفة ، أي ان:.

. $A = ab$

$$\therefore \tau_{total} = I\,A\,B$$

واذا كان عدد لفات الملف يساوي **N** فان العزم الكلي (τ_{total}) يساوي :

$$\tau_{total} = B\,I\,A\,N$$

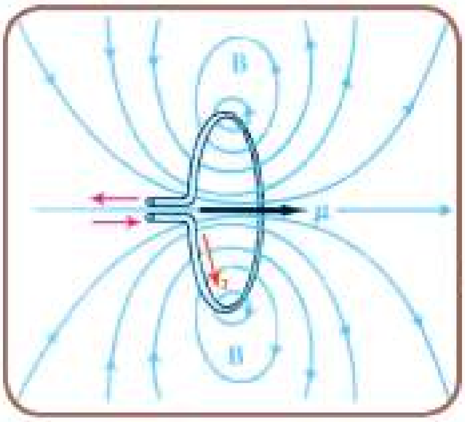
ويسمى المقدار (**A N I**) عزم ثنائي القطب المغناطيسي μ وهي كمية متجهة وأتجاهها عمودي على المساحة (**A**) لاحظ الشكل (**16**) . وأذا كان مستوى الملف مائلاً على خطوط الفيض فأن عزم المزدوج يساوي :

$$\tau = B\,I\,A\,N \sin\theta$$

واذا كان مستوى الملف عمودياً على خطوط الفيض المغناطيسي فان عزم المزدوج = صفر

لان ($\theta = 0$) .

حيث أن θ هي الزاوية المحصورة بين العمود على مستوى الملف وخطوط الفيض المغناطيسي



الشكل (**16**)

مثال 6

ملف ملكي مساحته $2.0\times10^{-4}m^2$ مكون من 100 لفة ينساب فيه تيار مقداره (0.045A) وضع الملف في مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه (0.15T).
ما مقدار أعظم عزم يمكن للمجال المغناطيسي أن يسلط على الملف.

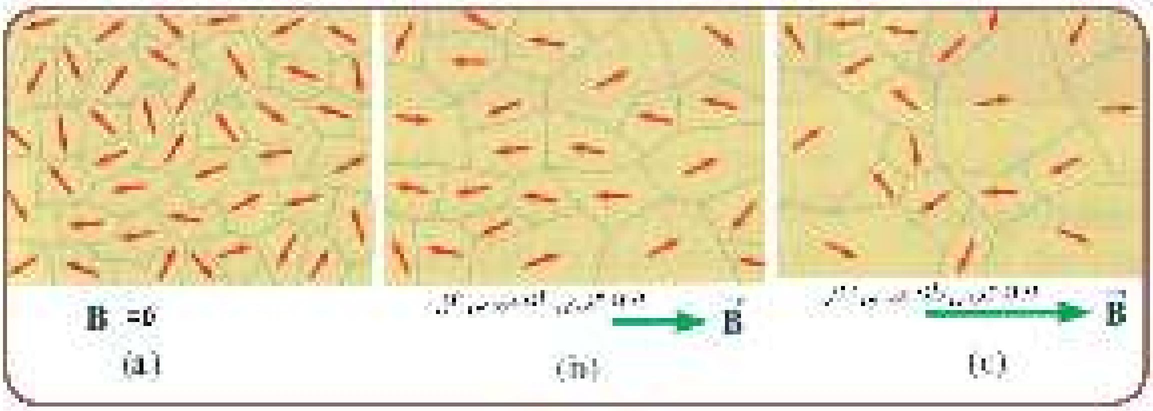
الحل/

أعظم عزم يمكن للمجال المغناطيسي أن يسلط على الملف عندما تكون $\theta = 90^\circ$

$$\sin 90^\circ = 1$$
$$\tau = (N\,I\,A)(B\sin\theta)$$
$$\tau = (N\,I\,A)(B\sin 90^\circ)$$
$$\tau = 100\times0.045\times2\times10^{-4}\times0.15\times1$$
$$\tau = (9\times10^{-4}\ A.m^2)(0.15)\times1$$
$$\tau = 1.35\times10^{-4}\ N.m$$

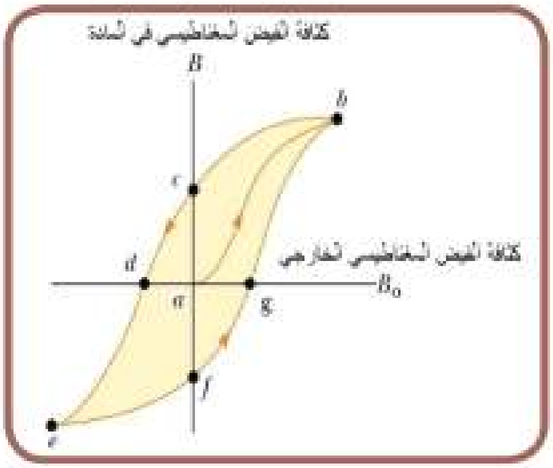
12-10 البسترة المغناطيسية Magnetic Hysteric's

لو وضعنا ساق من مادة فيرومغناطيسية (مثل الحديد) في تجويف ملف، فإنها تتمغنط في حالة انسياب تيار كهربائي مستمر في الملف، وبسبب المغناطيسية التي تكتسبها ساق الحديد يعود لاحتواء الحديد على مناطق صغيرة جداً جداً كل منها يتكون من مجموعة ديبولات رشيقة القطب تمس تومين تصطف عزومها باتجاه المجال المغناطيسي الخارجي. لاحظ الشكل (17).



الشكل (17)

وعند رسم مخطط بياني يبين كثافة الفيض المغناطيسي الخارجي($B_\circ$) الذي ولده التيار الكهربائي وكثافة الفيض المغناطيسي المتولد في المادة(B) بتأثير المجال المغناطيسي ($B_\circ$) ولدورة كاملة لاحظ الشكل (18) ، نحصل على منحنى مغلق يسمى حلقة الهسترة المغناطيسية أو منحنى التخلف المغناطيسي .



الشكل (18)

في البدء تكون ساق الحديد غير ممغنطة عند النقطة (a) فتكون كل من ($B = 0 , B_0 = 0$)

وبازدياد مقدار التيار المنساب في الملف تزداد كثافة الفيض المغناطيسي الخارجي ($B_\circ$) وكذلك تزداد كثافة الفيض المغناطيسي في المادة (B) حتى تصل حالة التشبع المغناطيسي عند (b) وبإنقاص مقدار التيار الى الصفر تصل الى نقطة (c) التي عندها تكون ($B_\circ=0$) ولكن نجد أن المجال المغناطيسي (B) يبقى (يتخلف) في المادة ولا يتلاشى ولإزالة المغناطيسية المتخلفة في المادة (B) ، نعكس إتجاه التيار فينعكس إتجاه المجال المغناطيسي الخارجي($B_\circ$) حتى تزول عند النقطة (d) وفي حالة الإستمرار في زيادة التيار بالإتجاه المعاكس تزداد($B_\circ$) حتى تصل النقطة (e) وهي حالة التشبع المغناطيسي في المادة في الإتجاه المعاكس، ثم ننقص التيار ونصل (f) ثم نعيد التيار إلى إتجاهه الأصلي وهكذا حتى تنغلق الحلقة. ليكن معلوماً أن حلقة الهسترة المغناطيسية للفولاذ الصلب تكون عريضة وذات مساحة كبيرة (أي أن التخلف المغناطيسي في الفولاذ كبيرٌ)، بينما للحديد المطاوع تكون حلقة الهسترة المغناطيسية رفيعة وذات مساحة صغيرة. وهذا يعني أن الفولاذ الصلب يحتفظ بالمغناطيسية المكتسبة لأمد أطول عند زوال المجال المغناطيسي المؤثر، بينما الحديد المطاوع يكتسب المغناطيسية بسرعة ويفقدها بسرعة بعد زوال المجال المغناطيسي المؤثر فهو لا يحتفظ بالمغناطيسية المكتسبة بعد زوال المجال المغناطيسي المؤثر .

تذكر :

إن مساحة المنحنى المغلق لحلقة الهسترة يمثل مقدار الطاقة المتبددة (الضائعة) التي تظهر بشكل حرارة في القلب الحديد .

س1/

إختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات الآتية :

1) ينشأ المجال المغناطيسي من :

a) ذرات الحديد . b) الشحنة الكهربائية الساكنة .

c) مواد دايا مغناطيسية . d) الشحنة الكهربائية المتحركة .

2) لرسم خطوط القوة المغناطيسية لمجال مغناطيسي معين يتطلب معرفة:

a) إتجاه المجال المغناطيسي فقط . b) مقدار المجال المغناطيسي فقط .

c) مقدار وإتجاه المجال المغناطيسي معاً . d) المصدر المسبب للمجال المغناطيسي .

3) عند رسم خطوط القوة المغناطيسية، فأن المنطقة التي يكون فيها المجال بأكبر مقدار هي المنطقة التي تكون فيها :

a) خطوط القوة المغناطيسية متقاربة جداً من بعضها.

b) خطوط القوة المغناطيسية متباعدة جداً من بعضها.

c) خطوط القوة المغناطيسية متوازية فقط.

d) جميع هذه الاحتمالات.

4) ينساب تيار كهربائي مستمر في أحد خطوط نقل القدرة الكهربائية بإتجاه الشرق، يكون إتجاه المجال المغناطيسي تحت السلك بإتجاه :

a) الشمال . b) الجنوب .

c) الشرق . d) الغرب .

5) كثافة الفيض المغناطيسي B في نقطة تبعد بالبعد (r) عن سلك طويل يحمل تياراً كهربائياً تتناسب مع :

a) r b) r^2 .

c) $\frac{1}{r}$ d) $\frac{1}{r^2}$.

6) مقدار كثافة الفيض المغناطيسي داخل ملف لولبي:

a) صفراً .

b) منتظمة بخطوط مستقيمة .

c) تزداد كلما ابتعدنا عن المحور .

d) تقل كلما ابتعدنا عن المحور .

7) اذا تحركت شحنة كهربائية بسرعة $\vec{v}$ وباتجاه عمودي على خطوط القوة المغناطيسية لمجال مغناطيسي منتظم فإن هذا المجال سيعمل على تغيير :

a) مقدار الشحنة . b) كتلة الجسم المشحون .

c) اتجاه سرعة الشحنة . d) الطاقة الحركية للشحنة .

8) وضع سلك موصل يحمل تياراً كهربائياً داخل مجال مغناطيسي منتظم وكان اتجاه التيار باتجاه المجال المغناطيسي نفسه، فإن السلك :

a) سيتأثر بقوة مغناطيسية تعمل على تحريكه بموازاة خطوط المجال المغناطيسي .

b) سيتأثر بقوة مغناطيسية تعمل على تحريكه عمودياً على خطوط المجال المغناطيسي

c) سيتأثر بعزم مزدوج يعمل على تدويره حتى يقف عمودياً على خطوط المجال المغناطيسي

d) لا يتأثر بقوة ولا يتأثر بعزم .

س2/ ما مقدار الشغل الذي ينجزه مجال مغناطيسي منتظم في شحنة كهربائية متحركة بسرعة v باتجاه عمودي على خطوط المجال .

س3/ قرب القطب الشمالي لمغناطيس من بالون من المطاط منفوخ ومدلوك بالصوف (شحنة سالبة) ومعلق بخيط، هل أن البالون سينجذب أم سيتنافر أم لا يتأثر بالمغناطيس؟ ولماذا؟

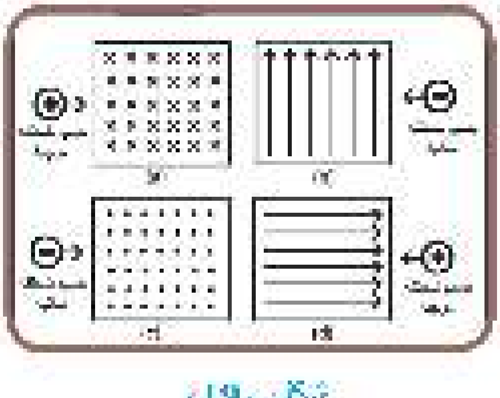
س4/ عين اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في الجسيم المشحون المبين في الشكل (19) عند دخوله المجال المغناطيسي المنتظم لكل حالة من الحالات الآتية :

a) جسيم شحنته موجبة .

b) جسيم شحنته سالبة .

c) جسيم شحنته سالبة .

d) جسيم شحنته موجبة .



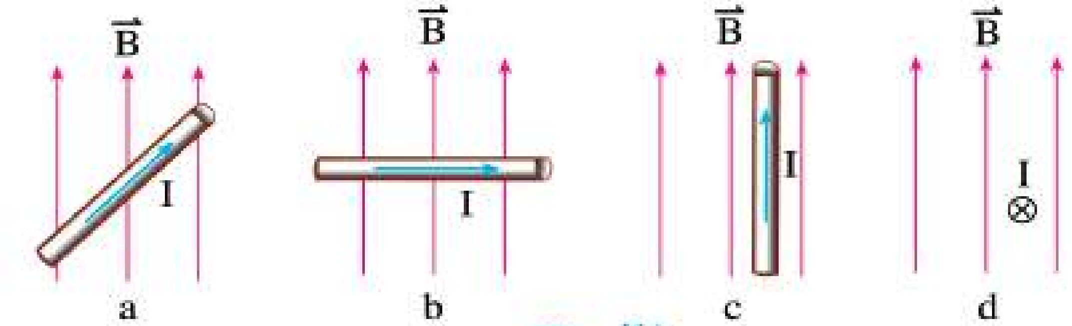
شكل (19)

س5/ هل يمكن أن يؤثر المجال المغناطيسي في شحنة كهربائية في حالة سكون وكيف ؟

س6/ حلقة معدنية ينساب فيها تيار كهربائي مستمر وضح بأية وضعية يمكن ان توضع هذه الحلقة داخل مجال مغناطيسي منتظم بحيث :

a) يؤثر فيها المجال بأعظم عزم .   b) لا يؤثر فيها المجال بعزم.

س7/ اذا كان نفس التيار يسري في سلك موضوع في نفس المجال المغناطيسي ($\vec{B}$) في الحالات الإربع لاحظ الشكل (20) رتب الأشكال بالنسبة لمقدار القوة المغناطيسية المؤثرة على السلك من الأكبر الى الأصغر



شكل (20)

المسائل

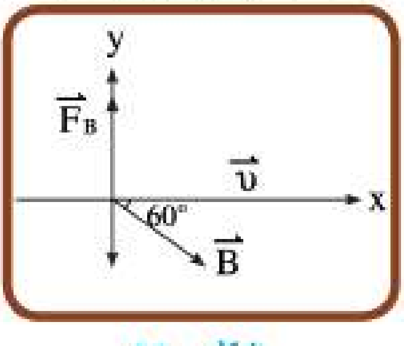
س1/ يتحرك إلكترون في أنبوبة التلفاز باتجاه الشاشة بسرعة ($8 \times 10^6\ m/s$) باتجاه المحور (x). لاحظ الشكل (21) ، وكانت كثافة الفيض المغناطيسي المؤثرة فيه (0.025T) باتجاه 60^o مع المحور (x) ما مقدار:

a) القوة المغناطيسية المؤثرة في الإلكترون .

b) تعجيل الإلكترون .

علماً ان شحنة الالكترون = 1.6×10^{-19} C

كتلة الالكترون = 9.11×10^{-31} kg



شكل (21)

س2/

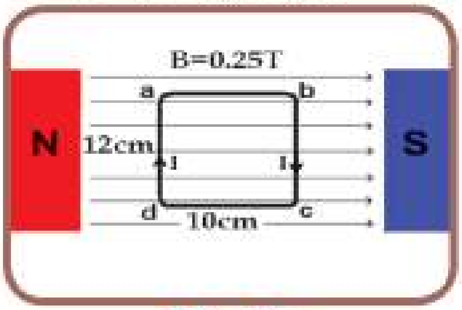
تحرك بروتون بمسار دائري بنصف قطر (14cm) داخل مجال مغناطيسي منتظم كثافته (0.35T) عمودي على متجه سرعة البروتون. احسب مقدار السرعة الخطية للبروتون .

س3/ ملف يتكون من (40) حلقة ينساب فيه تيار كهربائي مستمر (2A) وضع في مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه (0.25T)

لاحظ الشكل (22) ، ما مقدار:

a) العزم المدور المؤثر في الملف .

b) القوة المغناطيسية المؤثرة في كل جانب وما هو اتجاهها ؟



شكل (22)

س4/ سلكان طويلان متوازيان تفصلهما مسافة عمودية قدرها 5cm فأذا كان مقدار التيار المار في كل منهما 500A باتجاه واحد :

a) إحسب مقدار شدة المجال المغناطيسي الناتج عن كل من السلكين عند موضع السلك الآخر .

b) القوة المغناطيسية المؤثرة على وحدة الطول من كل من السلكين .

س5/ يتحرك بروتون في مدار دائري نصف قطره 14cm في مجال مغناطيسي منتظم كثافته 0.35T عمودياً على سرعة البروتون ، أوجد :

a) السرعة الخطية للبروتون ($m_p=1.67\times10^{-27}kg$) .

b) اذا تحرك الكترون في إتجاه عمودي على نفس المجال المغناطيسي بنفس السرعة الخطية ، كم يكون نصف قطر مساره الدائري؟

س6/ قذف الكترون بسرعة $10^6 m/sec$ في مجال مغناطيسي كثافة فيضه (5T)، إتجاهه عمودي على سطح الورقة ومبتعداً عن القارئ فأذا كان الألكترون يتحرك بمستوى الورقة عمودي على B إحسب :

a) القوة المغناطيسية المؤثرة عليه وإتجاهها .

b) نصف قطر الدوران ، كتلة الألكترون $m_e=9\times10^{-31}kg$.

س7/وضع ملف مستطيل الشكل أبعاده ($5cm\times8cm$) بصورة موازية لمجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه (0.15T) فأذا علمت أن الملف يتكون من لفة واحدة ويحمل تياراً قدره (10A) إحسب العزم المؤثر من قبل المجال على الملف .

س8/ إحسب مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في الكترون متحرك بصورة موازية لسلك طويل على بعد قدره (10cm) وبسرعة مقدارها $5\times10^4 m/sec$ علماً بأن السلك يحمل تياراً قدره 1.5A .