جمهورية العراق
وزارة التربية
المديرية العامة للمناهج

الفيزياء

للصف الخامس العلمي

تأليف

أ.د. قاسم عزيز محمد
د. شفاء مجيد جاسم
سعيد مجيد العبيدي
محمد حمد العجيلي
جلال جواد سعيد
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

الموقع والصفحة الرسمية للمديرية العامة للمناهج

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

manahjb
manahj

استنادًا إلى القانون يوزع مجانًا ويمنع بيعه وتداوله في الاسواق

عزيزي الطالب .....

عزيزتي الطالبة .....

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

إن هذا المنهج يهدف إلى المرتكزات الآتية:

- توضيح العلاقة بين العلم والتكنولوجيا في مجال الحزم وتأثيرها في التنمية وربطها بالحياة العملية.
- إكساب الطالب منهجاً للتفكير العلمي والانتقال به من التعليم المعتمد على الحفظ إلى التعلم الذاتي الممتزج بالمتعة والتشويق.
- محاولة تدريب الطالب على الاستكشاف من خلال تنمية مهارات الملاحظة والتحليل والاستنتاج والتعليل.
- إكساب الطالب المهارات الحياتية والخبرات العلمية التطبيقية.
- تنمية مفهوم الاتجاهات الحديثة في الحفاظ على التوازن البيئي عملياً وعلمياً.

يضم هذا الكتاب عشرة فصول هي: الفصل الأول – المتجهات. الفصل الثاني – الحركة. الفصل الثالث – قوانين الحركة. الفصل الرابع – الاتزان والعزوم. الفصل الخامس الشغل والقدرة والطاقة وأزخم. الفصل السادس – الديناميكا الحرارية. الفصل السابع – الحركة الكهربائية والمغنطيسية. الفصل الثامن – الحركة الاهتزازية والموجية والصوت. الفصل التاسع – التيار الكهربائي. والفصل العاشر – الفيزياء الفلكية. ويحتوي كل فصل على مفاهيم جديدة مثل (هل تعلم؟ تذكر؟ سؤال؟ فكر؟) بالإضافة إلى مجموعة كبيرة من التدريبات والأنشطة المتنوعة ليتعرف الطالب من خلالها على مدى ما تحقق من أهداف ذلك الفصل.

تقدم الشكر والتقدير لكل من الأخصائي التربوي مبتهة مهدي محمد والأخصائي التربوي قيس محمد رضا عبد المهدي لترجمتهم العلمية للكتاب كما نقدم شكرنا إلى أعضاء وحدة مناهج الفيزياء وإلى كل من أ.د. حازم لويس منصور وأ.د. محمد صالح مهدي للجهود العلمية المبذولة.

نسأل الله عز وجل أن نعم الفائدة من خلال هذا الكتاب، وندعوه سبحانه أن يكون ذلك لنا عملاً صالحاً يقربنا في حبه ورضاه والالتحاق بالرفيق الأعلى وإلى الفردوس.

المؤلفون

المحتويات

المقدمة

الفصل الأول . المتجهات 5

الفصل الثاني . الحركة 24

الفصل الثالث . قوانين الحركة 51

الفصل الرابع . الاتزان والعزوم 74

الفصل الخامس .الشغل والقدرة والطاقة والزخم 93

الفصل السادس .الديناميكا الحرارية(التحرك الحراري) 119

الفصل السابع .الحركة الدائرية والدورانية 131

الفصل الثامن .الحركة الاهتزازية والموجية والصوت 158

الفصل التاسع .التيار الكهربائي 195

الفصل العاشر .المغناطيسية 229

الفصل 1

Vectors المتجهات

1 - 1 نظمة الإحداثيات Coordinate systems

نحتاج في حياتنا العملية الى تحديد موقع جسم ما سواء كان ساكناً او متحركاً، ولتحديد موقع هذا الجسم فاننا نستعين بما يعرف بالاحداثيات (Coordinates)، وهناك نوع عدة من الاحداثيات التي نطبقها ، منها الاحداثيات الكارتيزية (Rectangular Coordinates) والاحداثيات القطبية (Polar Coordinates).

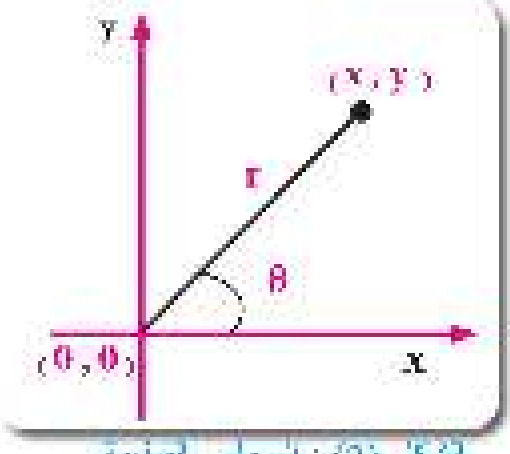
a الاحداثيات الكارتيزية (Rectangular coordinates)

تتكون هذه الاحداثيات من محورين وهما المحور الافقي x والمحور الشاقولي y ، هما متعامدين مع بعضهما ومتقاطعين عند النقطة (0 , 0) التي تسمى نقطة الأصل (Origin point) ويكتب اسم المحورين بـ (x ,y) لتحديد موقع اية نقطة على هذه الاحداثيات للدلالة على الكمية الفيزيائية ووحدة القياس المستعملة لقياسها لاحظ الشكل (1).

الشكل (1) : المحاور الكارتيزية

b الاحداثيات القطبية Polar Coordinates

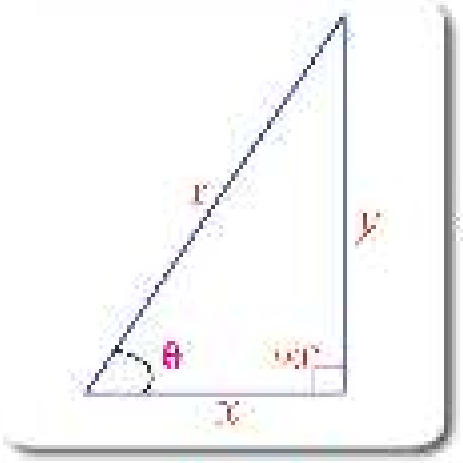
في بعض الاحيان يمكن التعبير عن موقع نقطة في مستوى بتطبيق نظام محاور اخر يسمى نظام المحاور القطبية (Polar Coordinates)، والذي يحدد بالبعد r والزاوية θ التي يصنعها مع المحور الافقي. لذلك فالبعد r هو البعد من نقطة الاصل الى النقطة (x,y) في المحاور الكارتيزية والزاوية (θ) هي الزاوية بين المستقيم المرسوم من نقطة الاصل الى تلك النقطة والمحور الافقي x ، لاحظ الشكل (2).



الشكل (2) : المحاور القطبية

1 - 2 العلاقة بين الإحداثيات الكارتيزية والقطبية

العلاقة بين الاحداثيات الكارتيزية (x , y) والاحداثيات القطبية (r , θ) يمكن ملاحظتها في المثلث المرسوم في الشكل (3).



الشكل (3)

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

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

لذا يمكن تحويل المحاور القطبية المعطاة لكتلة نقطة الى محاور كارتيزية باستعمال العلاقة الآتية:

$$y = r\sin\theta$$

$$x = r\cos\theta$$

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

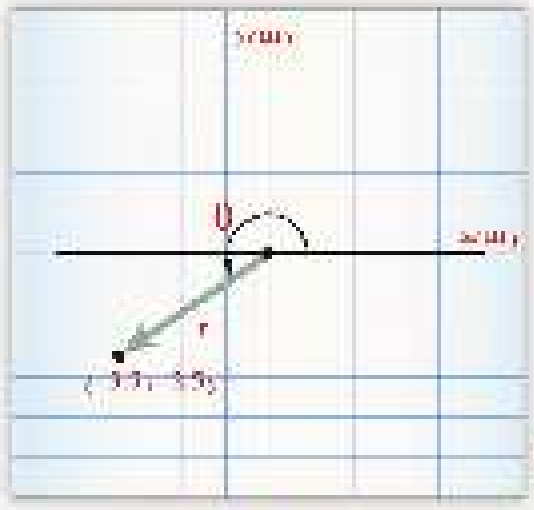
وبتطبيق نظرية فيثاغورس على المثلث يكون: $r^2 = x^2 + y^2$

وعليه: $r = \sqrt{x^2 + y^2}$

مثال 1

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

الحل:



الشكل (4)

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

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

$$r = 4.3m$$

وتعين الزاوية المحصورة r باستعمال العلاقة الآتية:

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

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

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

اذا المحاور القطبية لها (r,θ) تساوي $(4.3m , 215.53^\circ)$

3 - 1 كميات قياسية و كميات متجهة

عند قياسك كمية ما فأنك تعبر عن النتيجة بدلالة عدد ما ووحدة قياسه. فمثلاً قد يكون طولك 165cm، هذه كمية لها قيمة عددية فقط وهي (165) ، ووحدة القياس هي (cm) في هذه الحالة . ويلاحظ ان الكمية مثل الطول لها مقدار ووحدة قياس وكميات اخرى كحجم صندوق او درجة حرارة جسم لا يرتبط مقدارها باي اتجاه. وتسمى الكميات التي ليس لها اتجاه بالكميات القياسية او المقدارية (Scalar quantities) وهناك كميات اخرى تحدد بالاتجاه . ولتوصف هذه الكمية وصفاً كاملاً يجب تحديد اتجاهها بالاضافة الى مقدارها ووحدة قياسها . فنقول على سبيل المثال ان 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 لكي نعبر 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.

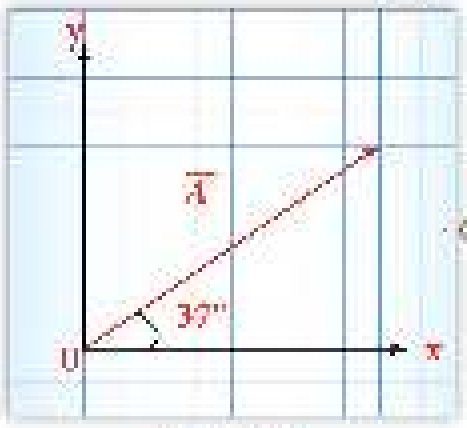
b. يشير اتجاه السهم الى اتجاه الكمية المتجهة.

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

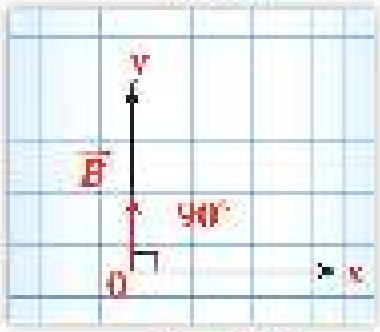
ويعبر رياضياً عن مقدار اي كمية متجهة بالرمز $|\vec{A}|$

و A من غير سهم فمثلاً يشير الشكل (5) الى كمية متجهة $\vec{A}$ مقدارها 10 وحدات وزاوية قياسها 37° مع المحور x باتجاه الموجب ويؤثر في النقطة (O).

ويشير الشكل (6) الى كمية متجهة $\vec{B}$ مقدارها ثلاث وحدات وزاوية قياسها 90° مع المحور x ويؤثر في النقطة (O).



الشكل (5)



الشكل (6)

وبالتعريف /

فان مقدار الكمية المتجهة $|\vec{A}|$ هي كمية قياسية و كمية مقدارية ، وتكون دائما موجبة فهي قيمة مطلقة.

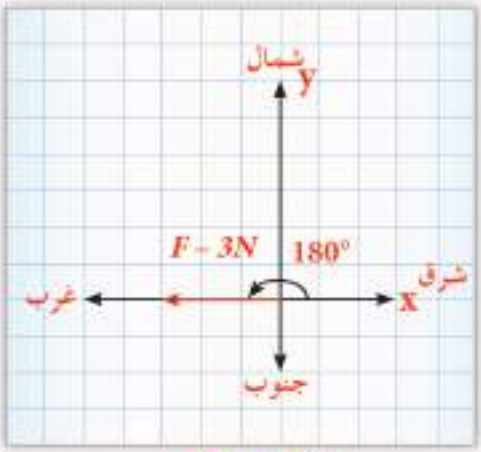
سؤال

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.



الشكل (7)

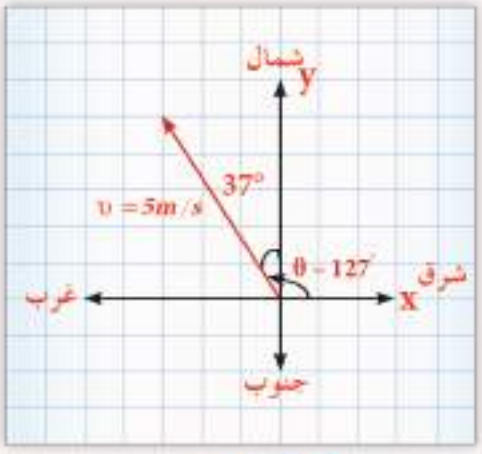
الحل/

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 $\theta = 180^\circ$ مع الاتجاه الموجب للمحور x ، لاحظ الشكل (7) .



الشكل (8)

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

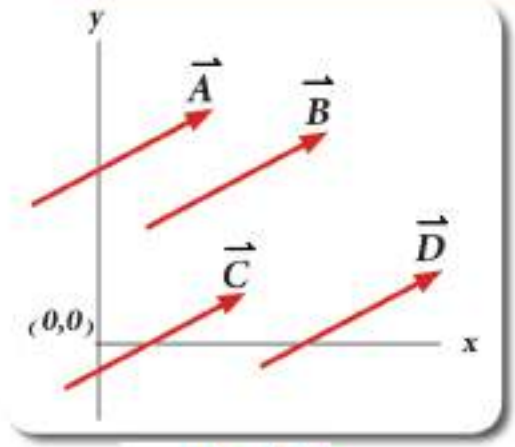
لاحظ الشكل (8) .

4 - 1 بعض خصائص المتجهات
Some properties of Vectors

التساوي Equality

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 : -

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

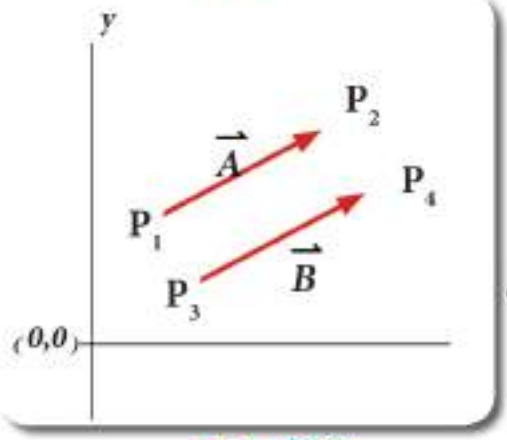


الشكل (9)

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 :

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

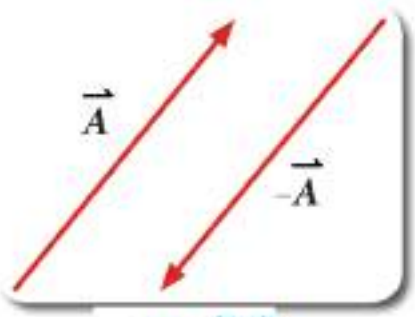
لأن المتجه $\vec{A}$ يساوي بالمقدار المتجه $\vec{B}$ وبالاتجاه نفسه .



الشكل (10)

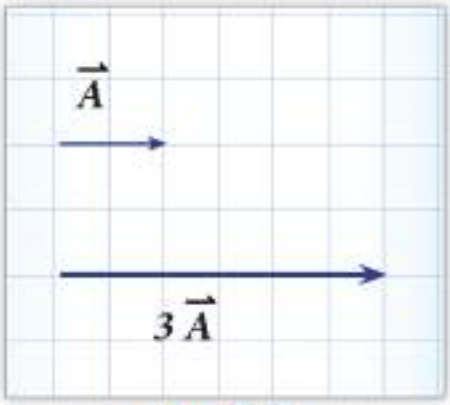
سالب المتجه Negative of a Vector

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 $-\vec{A}$ اي أن :
المتجه وسالب المتجه يكونان متساويين بالمقدار ومتعاكسين بالاتجاه .



الشكل (11)

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



الشكل (12)

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

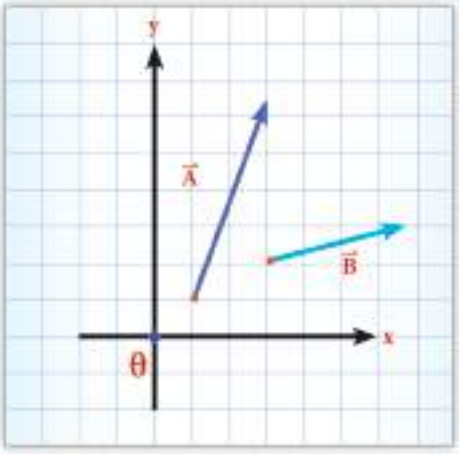
وعلاقة القوة الكهربائية بالمجال الكهربائي $\vec{F} = q\vec{E}$

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 .

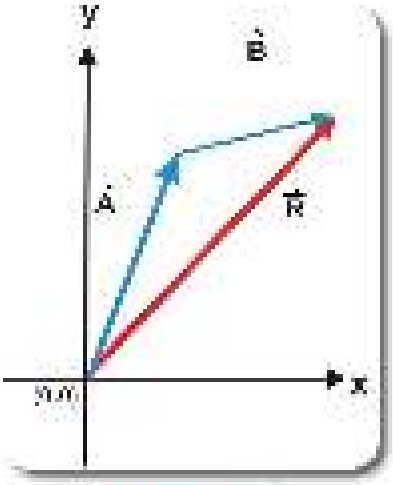


الشكل (13-a)

لإيجاد حاصل جمع المتجهين $(\vec{A}+\vec{B})$ 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) يمثل هذا الخط لاستكمال متجه حاصل الجمع .

يرمز $\vec{R}$ المتجه المحصل **Resultant Vector** :

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

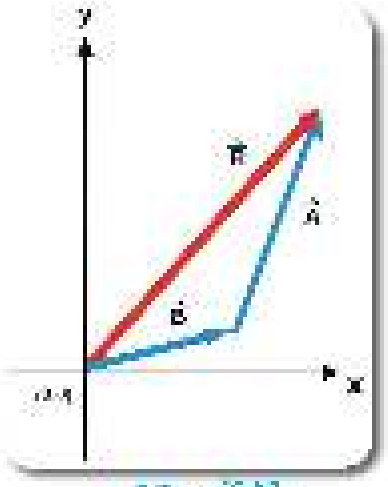


الشكل (13b)

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

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

أي أن جمع المتجهات يحقق بخاصية الإبدال (Commutative)

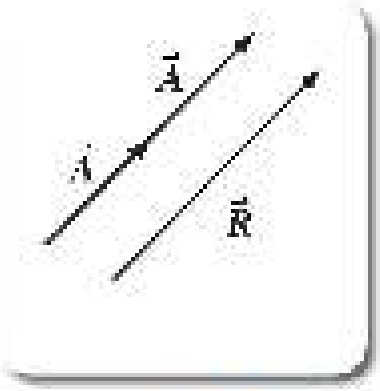


الشكل (13c)

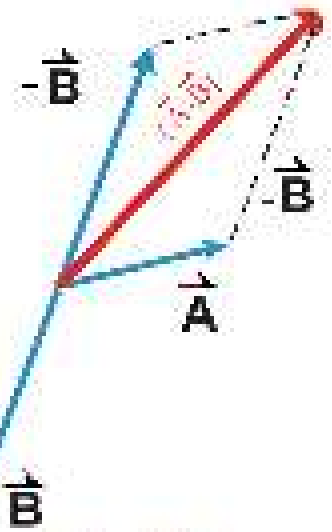
من الجدير بالذكر أنه يمكن جمع المتجه $\vec{A}$ مع نفسه لاحظ الشكل (14) ، بطريقة الرسم ، فإن متجه المحصلة في هذه الحالة هو:

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

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



الشكل (14)



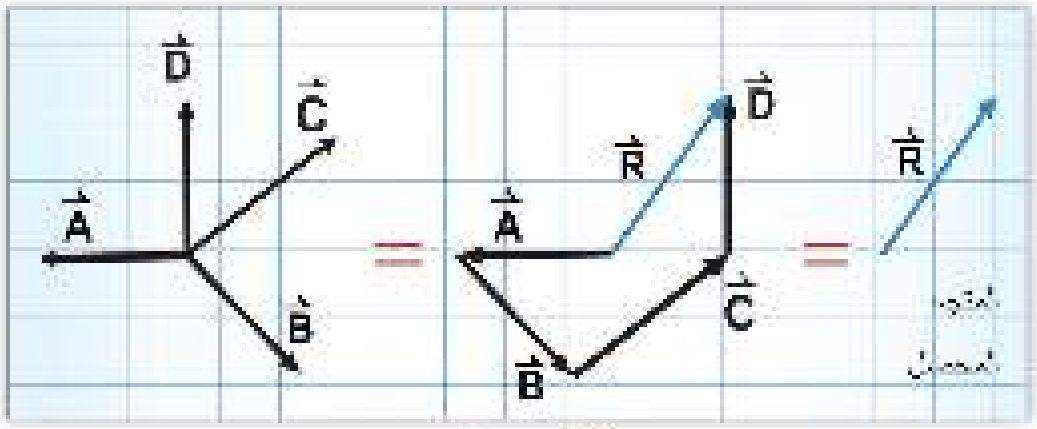
الشكل (15)

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

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

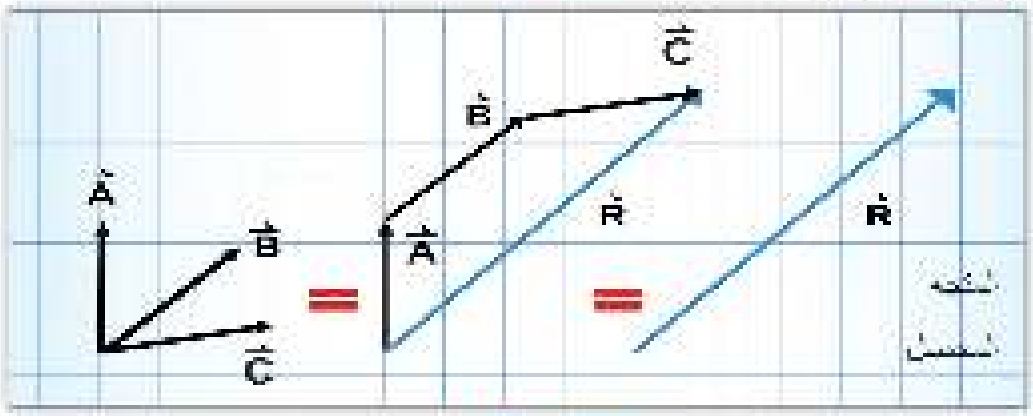
والشكل (15) يوضح ذلك .

كما يمكن إيجاد المتجه المحصل لثلاثة متجهات أو أكثر والذي 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 يرسم 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).



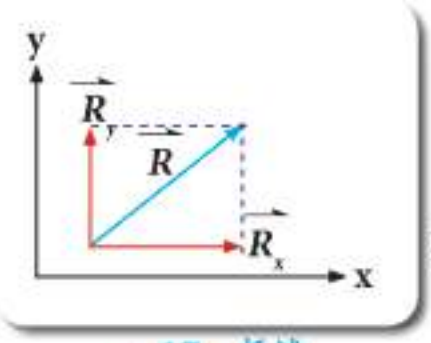
الشكل (16a)

بدلة أخرى لجمع المتجهات



الشكل (16b)

تحليل المتجه Vector Analysis

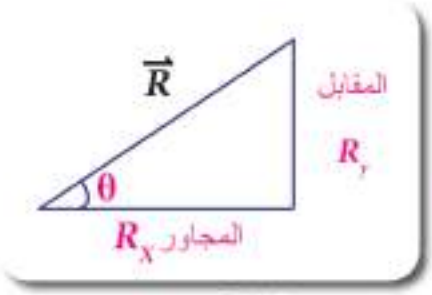


الشكل (17)

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 :- $\cos\theta = \dfrac{R_x}{R} \Rightarrow \boxed{R_x = R\cos\theta}$

مقدار المركبةالشاقولية تكون :- $\sin\theta = \dfrac{R_y}{R} \Rightarrow \boxed{R_y = R\sin\theta}$

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

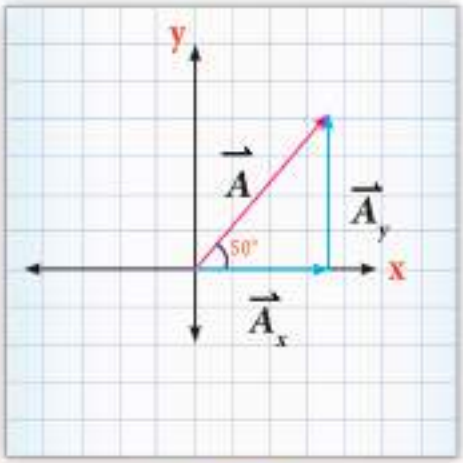
الحل/ نمثل المتجه $\vec{A}$ فتحسب مركبتيه بيانياً كما في الشكل (19)

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

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

$A_y = 134m$

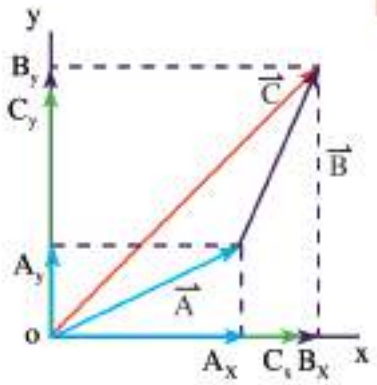
فكر

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 أكثر 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 $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}$ ..... الـخ ، وذلك بتحليل كل متجه الـى مركبتيه الافقية والشاقولية اولاً لاحظ الشكل (20) ، ثم تجمع المركبات الافقية لكل المتجهات فتكون المركبة الافقية المحصلة على المحور x هي :



الشكل (20)

$$\vec{R}_x = \vec{A}_x + \vec{B}_x + \vec{C}_x$$

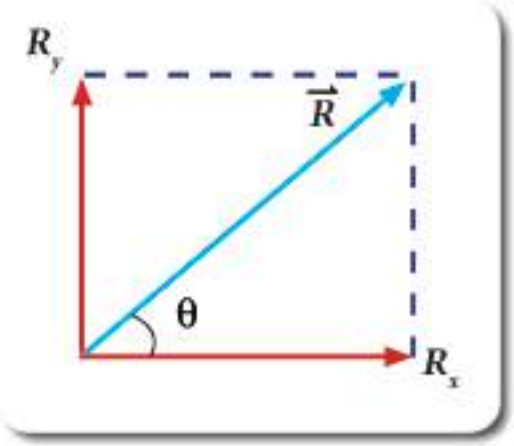
وبالمثل تجمع المركبات الشاقولية (المركبات على المحور y) للمتجهات لتكون المركبة الشاقولية المحصلة على المحور y :

$$\vec{R}_y = \vec{A}_y + \vec{B}_y + \vec{C}_y$$

وهذه العملية موضحة بيانياً في الشكل (21).

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

$$R^2 = R_x^2 + R_y^2$$



الشكل (21)

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 $\frac{R_y}{R_x}$

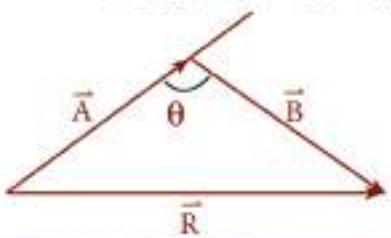
تذكر :

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) كالأتي :

قانون cosine (جيب التمام) :

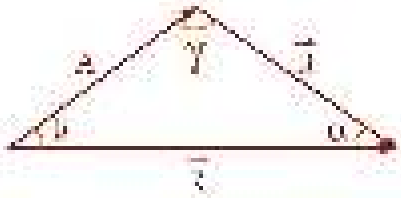
مربع مقدار المتجه المحصل يساوي مجموع مربعي مقداري المتجهين مطروحاً منه ضعف حاصل ضرب مقداري المتجهين مضروباً في cosine الزاوية التي بينهما والمقابلة الى $\vec{R}$.



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

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 $\vec{A}$ طوله 14cm ويصنع زاوية قياسها 60° مع الاتجاه الموجب المحور x ، و المتجه $\vec{B}$ طوله 20cm ويصنع زاوية قياسها 20 مع الاتجاه الموجب المحور x .

جمع 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 :

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

$= 14\text{cm} \times \cos 60°$

$= 14 \times 0.5$

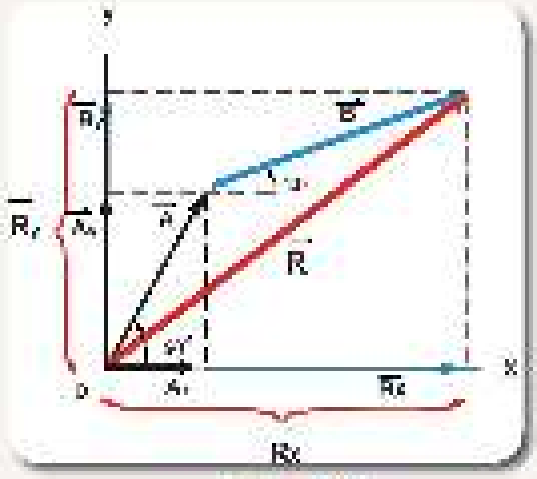
$= 7\text{cm}$

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

$= 14\text{cm} \times \sin 60°$

$= 14 \times 0.866$

$= 12.12\text{cm}$



الشكل (22)

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

$= 20\text{cm} \times \sin 20°$

$= 20 \times 0.342$

$= 6.84\text{ cm}$

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

$= 20\text{cm} \times \cos 20°$

$= 20 \times 0.939$

$= 18.79\text{ cm}$

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

$$R_y = A_y + B_y$$
$$R_y = 12.12 + 6.84$$
$$= 18.96cm$$

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

$$R_x = A_x - B_x$$
$$= 7 + 18.79$$
$$= 25.79cm$$

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

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

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

$$R = 32cm$$

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

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

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

فيكون زاوية θ مع الاتجاه الموجب للمحور x

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

6 - 1 ضرب المتجهات Multiplication of vectors

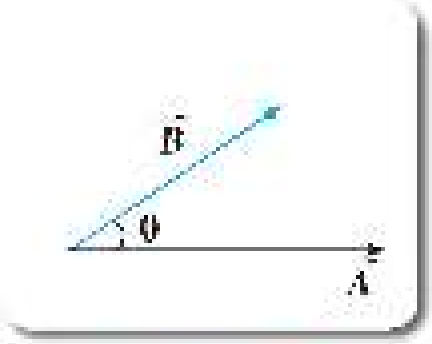
في بعض الاحيان نحتاج في علم الفيزياء ان نضرب كمية متجهة بكمية متجهة اخرى فقد يكون ناتج الضرب كمية قياسية ، واحيانا نضرب كميتين متجهتين فيكون الناتج كمية متجهة لذا نتعرض لطريقتين لضرب المتجهات ، وهما :

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

يسمى الضرب القياسي بهذا الاسم ، لان ناتج الضرب هو كمية قياسية ، يسمى كذلك ضرباً نقطياً ، لان اشارة الضرب فيه هي النقطة

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

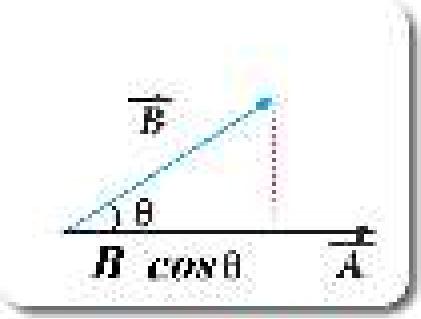
$$\vec{A}.\vec{B} = \vec{A}\|\vec{B}\|\cos\theta$$



الشكل (23)

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

يوضح 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)

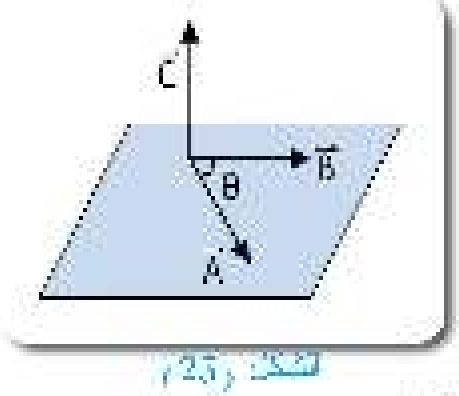
ثانياً : الضرب الاتجاهي (vector product ,cross product)

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

يعرف الضرب الاتجاهي رياضياً كما يلي:

مقدار المتجه $\vec{C}$ هو : $\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B}$

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



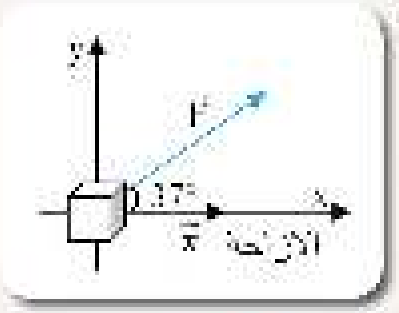
الشكل (25)

اتجاهي 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

اثرت قوة مقدارها 40N باتجاه 37° فوق الافق في جسم : فحركته ازاحة 10m بالاتجاه الافقي . احسب مقدار الشغل الذي تبذله تلك القوة .

الحل /



شكل (26)

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

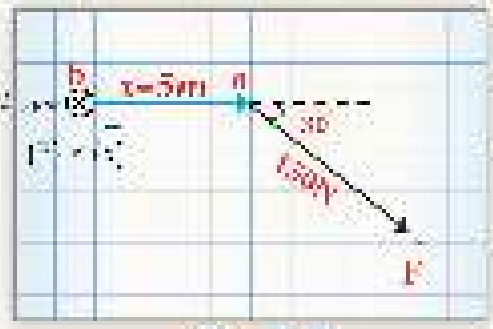
$$W = |F|\ |\vec{x}| \cos\theta$$

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

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

مثال 6

اثرت القوة $\vec{F}$ مقدارها 150N في المتجه ab من النقطة (a) والتي تبعد عن محور الدوران h بمقدار 5m انظر الشكل (27) . جد مقدار ويتجه المتجه المحصل



شكل (27)

الحل /

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

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

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

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

باتجاه القارئ خارج الصفحة O

طبقاً لقاعدة الكف اليمنى.

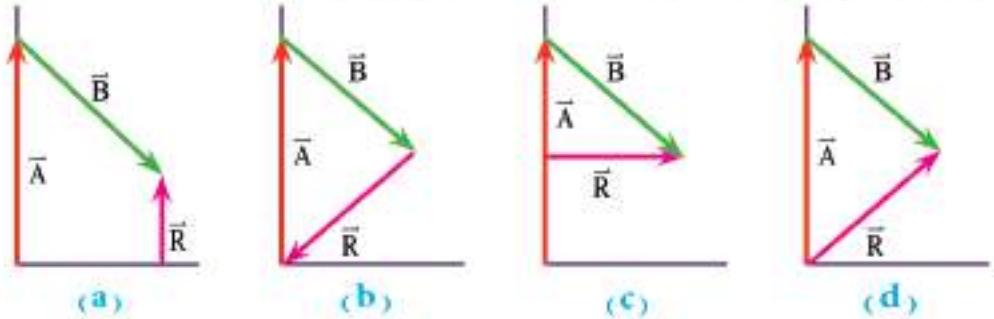
تذكر

1. $\vec{A} \cdot \vec{A} = |\vec{A}|\ |\vec{A}| \cos 0 = A^2$
2. $|\vec{A} \times \vec{A}| = |\vec{A}|\ |\vec{A}| \sin\theta = 0$
3. $\{\vec{A} \cdot \vec{B} = \vec{B} \cdot \vec{A}\}$ وجود خاصية الابدال بطريقة الضرب القياسي
   $\{\vec{A} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{A}\}$ وعدم تحققها بطريقة الضرب الاتجاهي
4. $\vec{A} \cdot \vec{B} = 0$ اذا كان المتجه $\vec{A}$ عمودي على المتجه $\vec{B}$ فان

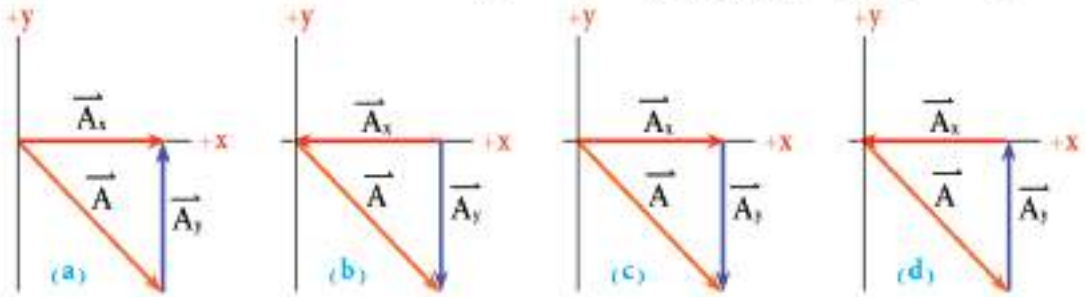
$\cos 90^{\circ} = 0$ ، $\sin 90^{\circ} = 1$ ، $\cos 0 = 1$ ، $\sin 0 = 0$

س1 / اختر العبارة الصحيحة لكل مما يأتي :

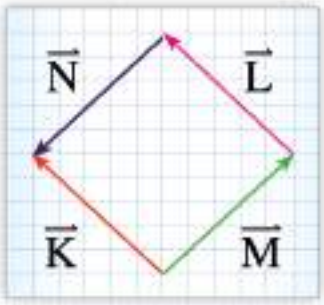
1 – متجهي الازاحة $(\vec{B}\ ,\ \vec{A})$ جُمعا سويًة للحصول على مقدار المتجه المحصل $\vec{R}$ أي من الأشكال الآتية يوضح بصورة صحيحة المتجه المحصل لهما .



2 – قطع شخص ازاحة $\vec{A}$ باتجاه الجنوب الشرقي أياً من الأشكال الآتية يوضح بصورة صحيحة المركبتين $\vec{A}_y$, $\vec{A}_x$ 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 $\vec{L}$

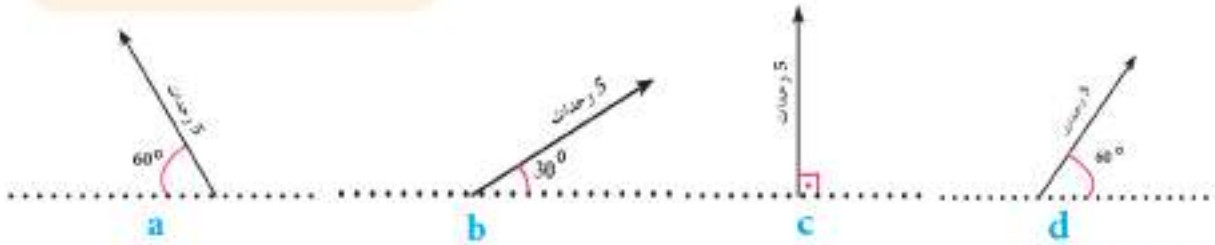
(b) $\vec{K}$ و $\vec{M}$

(c) $\vec{M}$ و $\vec{L}$

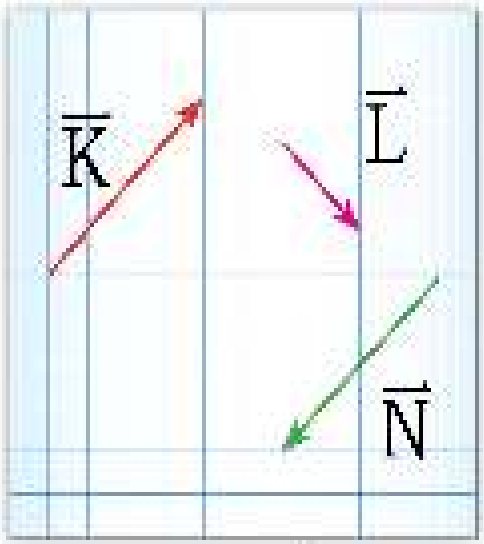
(d) $\vec{L}$ و $\vec{N}$

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

اي المتجهات الآتية يمثل محصلتهما ؟



5 المتجهات $\{\vec{K}, \vec{L}, \vec{N}\}$ كما هي موضحة في الشكل المجاور اي من المعادلات الآتية تعبر صحيحة :



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

2 ..... $\vec{K} - \vec{L} = \vec{N}$

3 ..... $\vec{K} - \vec{N} = 0$

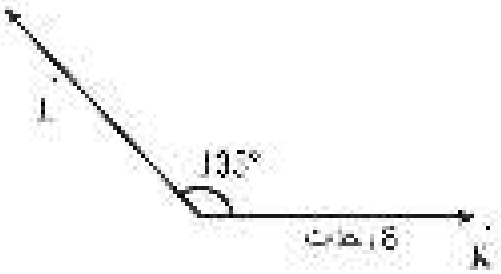
a) المعادلة 1 .

b) المعادلة 2 .

c) المعادلتين 3 , 2 .

d) المعادلات 3 , 2 , 1 .

6 اذا كان المتجه المحصل للمتجهين $\vec{K}, \vec{L}$ معدوما في المتجه $\vec{K}$ ، لاحظ الشكل المجاور ، فإن مقدار المتجه $\vec{L}$ يساوي :



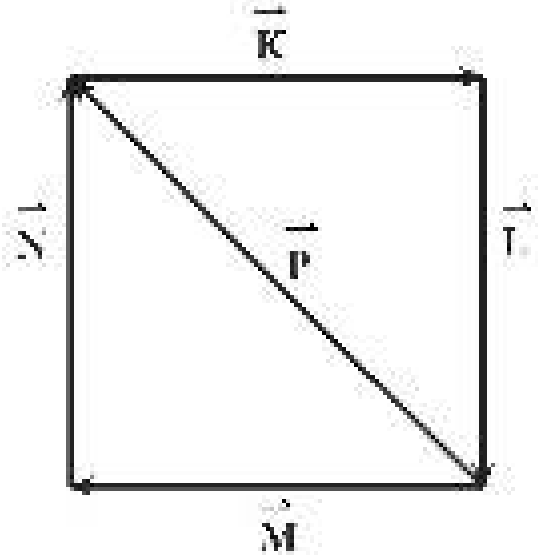
a) 8 وحدات .

b) $4\sqrt{3}$ وحدات .

c) $4\sqrt{2}$ وحدات .

d) $8\sqrt{2}$ وحدات .

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



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

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

3 ..... $\vec{N} - \vec{M} = -\vec{P}$

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

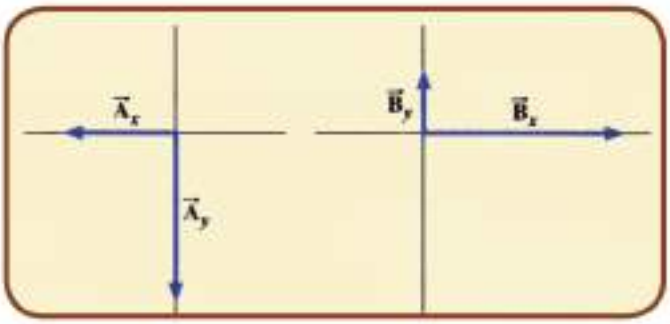
a) المعادلة 1 .

b) المعادلتان 1 , 2 .

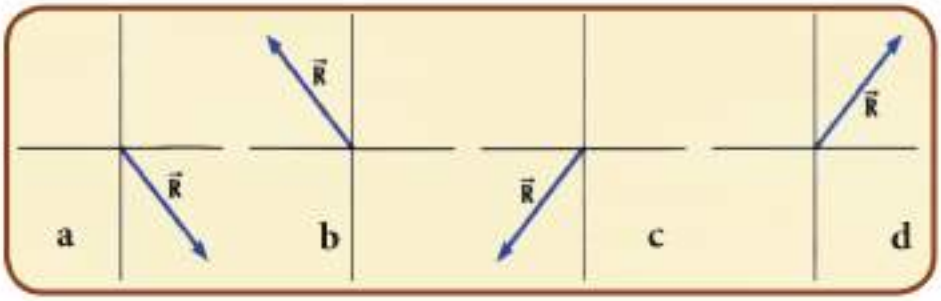
c) المعادلات 1 , 2 , 3 .

d) المعادلة 4 .

8 – الشكل المجاور يبين مركبتي المتجهين $\vec{A}, \vec{B}$ 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 $|\vec{A}| = 12\ m$ ومقدار المتجه $|\vec{B}| = 9\ m$ ومقدار المتجه المحصل لهما $|\vec{R}| = 3\ m$ 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 $(\vec{B}, \vec{A})$ ؟

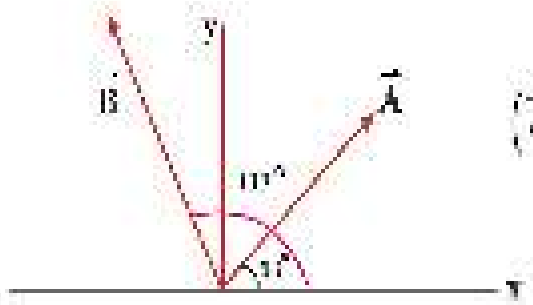
س1 :

النقطة A تقع في المستوي $(\vec{x}, \vec{y})$ احداثياتها $(-3, 2)$ ، اكتب تعبيراً عن موقع المتجه $\vec{r}$ الذي يبدأ من نقطة الأصل و ينتهي عند النقطة A ، ارسم مخططاً يوضح اتجاه هذا المتجه ؟

س2 :

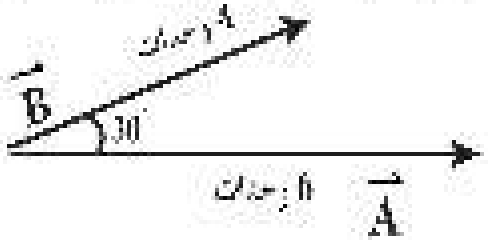
احسب مقدار الضرب العددي $(\vec{A} \cdot \vec{B})$ للمتجهين $(\vec{A}, \vec{B})$ الموضحين في الشكل المجاور إذا كان :

$|A| = 4units$ ، $|B| = 5units$



س3 :

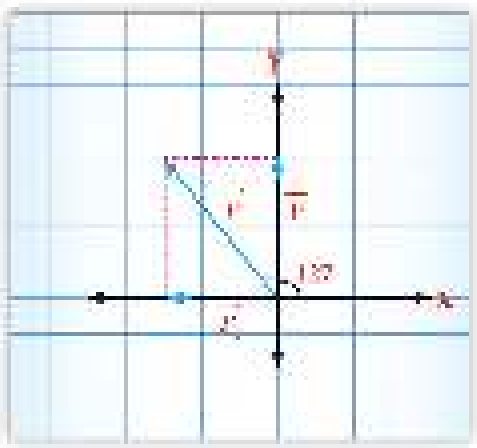
إذا كان مقدار المتجه $\vec{A}$ يساوي (6units) ، باتجاه الموجب للمحور x ، مقدار المتجه $\vec{B}$ يساوي (4units) ، باتجاه 30° مع المحور x ، يقع في المستوي (x, y) احسب مقدار حاصل الضرب الاتجاهي للمتجهين $\vec{A} \times \vec{B}$.



س4 :

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

$\sin 37° = 0.6$



2 - 1 وصف الحركة Motion Description

إن موضوع الميكانيك (Mechanics) هو أحد فروع علم الفيزياء الذي يدرس الحركة . وهو ينقسم إلى قسمين رئيسيين هما :

1) الكينيماتك (kinematics) : وهو علم يهتم بوصف حركة الأجسام من غير التطرق إلى مسبباتها .

2) الديناميك (Dynamics) : وهو علم يهتم بمسببات الحركة مثل القوة والطاقة .

سنتعرف في هذا الفصل أنماط بسيطة من الحركة . إذ نتعرف أولاً إلى مفاهيم الموضع ، والإزاحة ، والسرعة ، والتعجيل للأجسام في حالة حركتها بُعد واحد (Motion in one dimension) ثم نتطرق إلى الحديث عن حركة الأجسام في بُعدين (Motion in two dimensions) مع بعض التطبيقات .

2 - 2 أطر الإسناد Frame of Reference

لقد درست عزيزي الطالب في المراحل السابقة ، أن الحركة هي تغيُّر مستمر في موقع الجسم بالنسبة إلى نقطة تُعد ثابتة . فإذا تغيَّر الجسم من موضع إلى آخر ، فهذا يعني أنه تحرك . وتتحرك 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 اليومية نكون نحن والأرض وكل ما عليها ، كالأشجار والطرق والمنازل ، أطر إسناد وعلى فرض أن الأرض ساكنة ، نلاحظ الشكل (1) ، إذ يمكن أن نعتبر الأجسام المتحركة بسرعة غير ثابتة نقطة بدلاً مثل السحب أو طائرة متحركة أو سيارة متحركة . وعند النظر إلى الشكل (2) نقول إن الأطفال نيام في حالة حركة . لأنهم لم يغيروا مواقعهم ، فهم جالسون على أوراق سلفن .

الشكل (1)

الشكل (2)

الشكل (3)

ولكننا اذا نظرنا الى الشكل (3) نقول ان العدائين في حالة حركة , فهم يركضون جنبا الى جنب مع بعضهم , اي انهم قد غيروا مواقعهم نسبة الى اي جسم اخر على الطريق كاشجار مثلا ,مثل العمود او الخطوط المثبتة في الطريق) . اذا فالحكم على جسم ما , انه ساكن او متحرك؟ قبل ذلك يعتمد على حدوث تغير في موقع الجسم او عدم حدوثه نسبة الى نقطة معينة تسمى نقطة اسناد reference point وتعد نقطة ثابتة بالنسبة لاطار اسناد قصوري .

3 - 2 الموقع والازاحة والمسافة
Position, Displacement and Distance

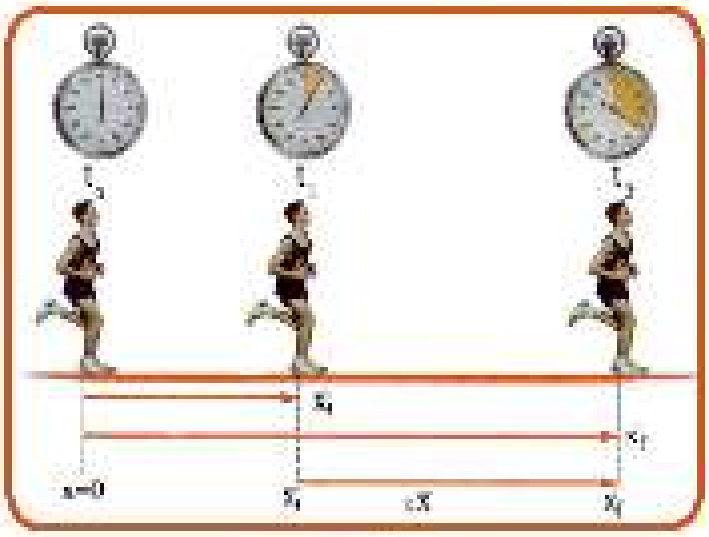
افرض انك التقيت صديقك , وسألته اين توقف سيارته ؟

فأجاب انها تقع على بعد (20m) عن باب المدرسة باتجاه الشرق . ستعرف من هذه الجملة ان صديقك قد وصف موقع سيارته وسعأبرز على ان الموقع هو كمية متجهة: فهو يحدد ثلاثة عوامل 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) .

تسائل من ذلك :

ان الموقع هو كمية متجهة , لها مقدار , واتجاه معين نسبة الى نقطة الأصل على احد المحاور الثلاثة للاحداثيات الكارتيزية (x , y , z) يمثل 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 إزاحة الجسم نحو يمين المحور x] .

ان التغير في متجه موقع الجسم يسمى بالإزاحة ، 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 : -

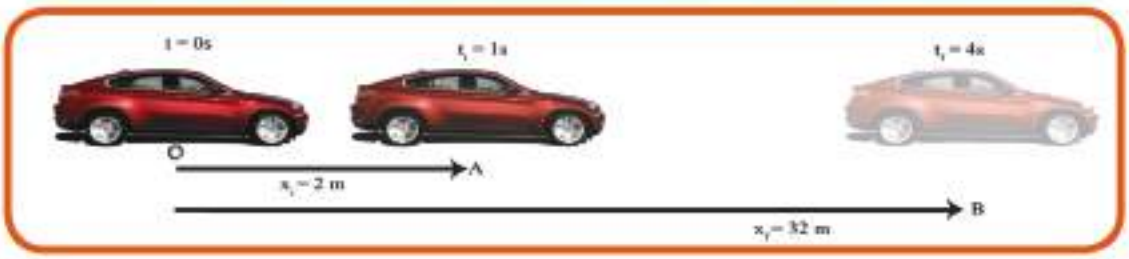
$$\Delta\vec{x} = \vec{x}_f - \vec{x}_i \Rightarrow \Delta x = 15 - 15 = 0$$

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 :

$$|\vec{\upsilon}_{avg}| = \frac{|\vec{x}_f| - |\vec{x}_i|}{t_f - t_i}$$

$$= \frac{32 - 2}{4 - 1}$$

$$= \frac{30}{3} = 10m/s$$

تذكر :

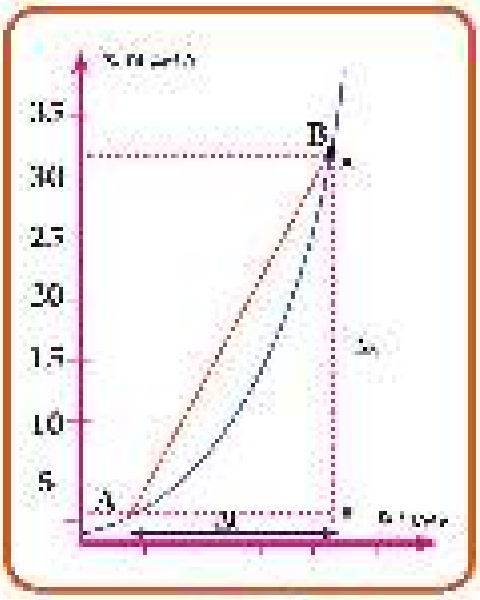
اشارة السرعة المتوسطة تتخذ اشارة الإزاحة نفسها .فإذا كانت الإزاحة بالاتجاه الموجب للمحور (x) فان السرعة المتوسطة موجبة ، إما إذا كانت الإزاحة بالاتجاه السالب للمحور (x) فان السرعة المتوسطة سالبة.

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 :-

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



الشكل (6)

ويما أن السرعة المتوسطة $\overline{v}_{moy} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

إذا فإن :-

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

$$\overline{v}_{moy} = \text{slope} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

5-2 الانطلاق المتوسط Average speed :

إن نسبة المسافة الكلية المقطوعة الى الزمن المستغرق تسمى (الانطلاق المتوسط) ، وتكتب بالصيغة التالية :

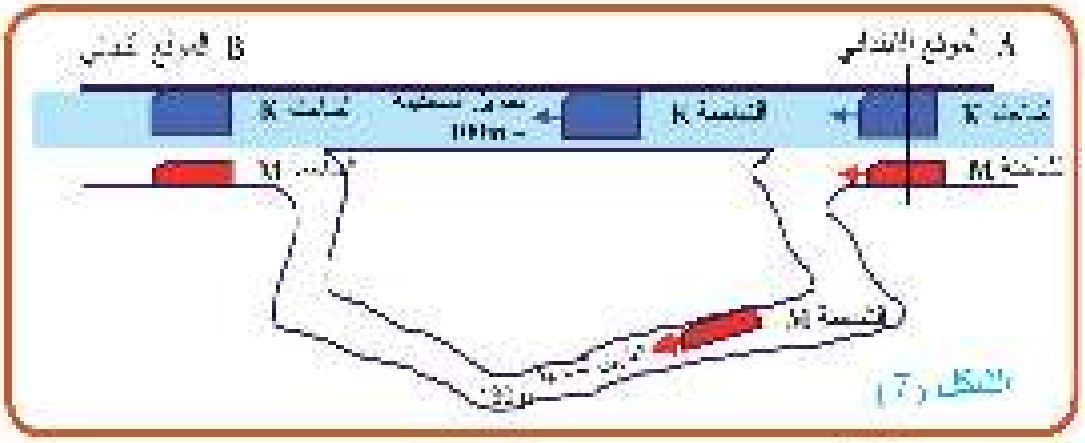
$$\text{Average Speed}(v_{moy}) = \frac{\text{Distance traveled}}{\text{time interval}}$$

تذكير :

المسافة المقطوعة هي كمية قياسية ، كمية عددية أو مقدارية ، لذا فإن الانطلاق المتوسط هو كمية قياسية أيضاً .

للتمرس اكثر للفرق بين السرعة المتوسطة والانطلاق المتوسط خلال حركة المتحركين (M , K) لاحظ الشكل (7) انطلق المتحركين جميعا الى الجنوب حتى تصلان النقطة A في أول رحلة وهو الموقع الابتدائي ، وبعد ذلك يمكن مساران مختلفان للوصول الى النقطة B الموقع النهائي فالشاحنة K تسلك المسار المستقيم (AB) الوصول الى النقطة B ، بينما الشاحنة M تسلك المسار الثاني ، وهو المسار المنحني للوصول الى النقطة نفسها B .

وقيمة الزمنية نفسها (10s) التي استغرقتها الشاحنة K . وبما ان المسافة المقطوعة من قبل المتحركين مختلفة فالمسافة التي قطعتها الشاحنة K على الطريق المستقيمة تساوي (100m) و المسافة التي قطعتها الشاحنة M على الطريق المنحنية تساوي (130m) .



الشكل (7)

فإن الانطلاق المتوسط لكل منهما يحسب من العلاقة الآتية:

الانطلاق المتوسط للشاحنة (K):

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

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

ويبدو أن مسار الشاحنتين مختلف على الرغم من أن موقعيهما الابتدائي والنهائي عند التحقق نفسهما وتحققت زمنيتين متساويتين؛ فإن مقدار السرعة المتوسطة لكل منهما يكون متساويا:

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

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

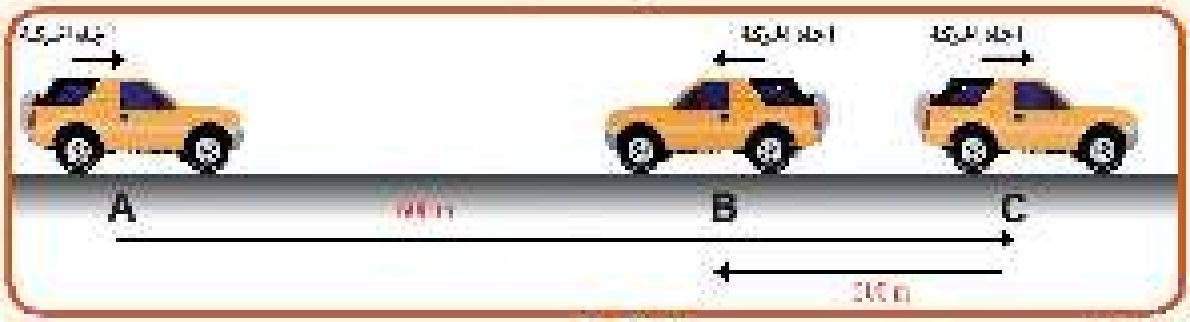
تذكر:

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 باتجاه 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- معدل سرعة السيارة من النقطة (A) الى النقطة (C) :

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

2- معدل سرعة السيارة من النقطة (A) الى النقطة (C) :

ان المسافة التي قطعتها السيارة تساوي الازاحة المقطوعة لأن السرعة المتوسطة للسيارة تساوي لمختلفها المتوسط لأنها تحركت باتجاه الموجب للمحور (x) أي:

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

وانما نجد ان الانطلاق يعبر عن المقدار العددي للسرعة لكون الحركة على خط مستقيم وبالاتجاه نفسه .

ب- الانطلاق المتوسط للسيارة اثناء حركتها من نقطة (A) الى نقطة (B) يحسب من العلاقة:

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

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 :

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

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

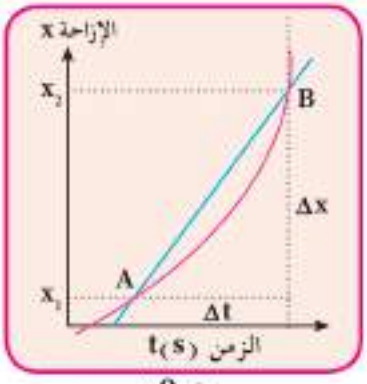
لدراسة الحركة بالتفصيل يتطلب معرفة مقدار سرعة الجسم عند اية لحظة زمنية . وسرعة الجسم المتحرك عند أية لحظة زمنية تسمى بالسرعة الانية .

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

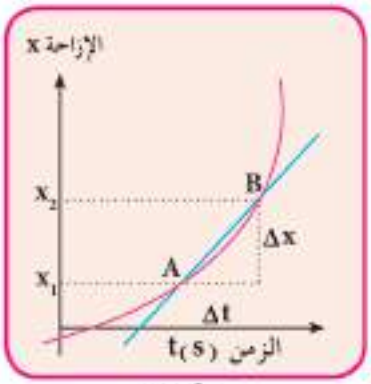
$$\vec{\upsilon}_{avg}(m/s) = \text{slope} = \frac{\Delta\vec{x}}{\Delta t}$$

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 .

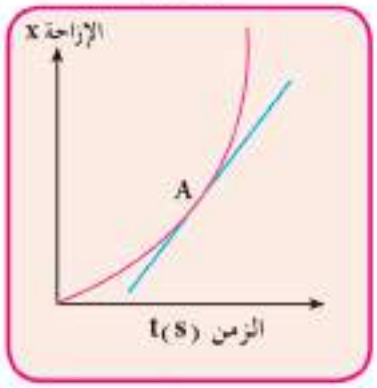
واذا استمرينا بتقريب الموقع (B) اقرب بكثير من الموقع (A)فان مقادير كل من (Δx و Δt) تقترب من الصفر حتى يصبح الخط المستقيم مماساً للمنحنى عند النقطة (A) لاحظ الشكل (9-c) وان ميل هذا المستقيم يعطي مقدار السرعة الآنية للسيارة عند النقطة (A) .



(9-a)



(9-b)



(9-c)

الشكل (9)

تذكر :

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 .

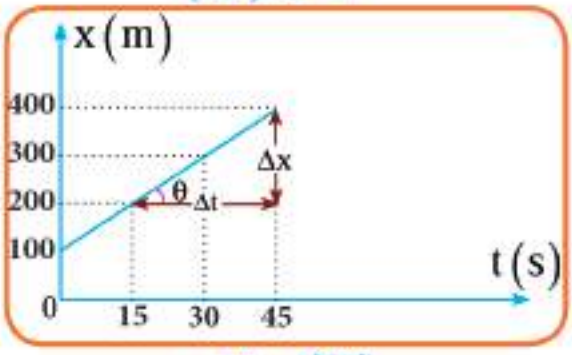
الشكل (10)

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)

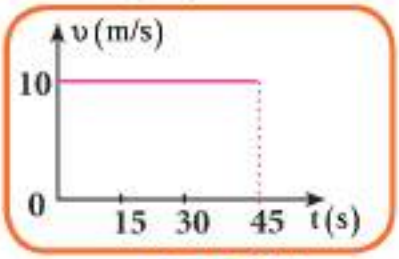
عند ملاحظة الشكل (11) نجد ان السيارة تتحرك بخط مستقيم فهي تقطع 150m في كل (15s) اي انها تتحرك بسرعة ثابتة 10m/s وعندما نرسم مخططا بيانيا (الإزاحة – الزمن) أي (x-t) الشكل (12) نحصل على خط مستقيم وميل هذا المستقيم يساوي السرعة المتوسطة :-



الشكل (12)

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

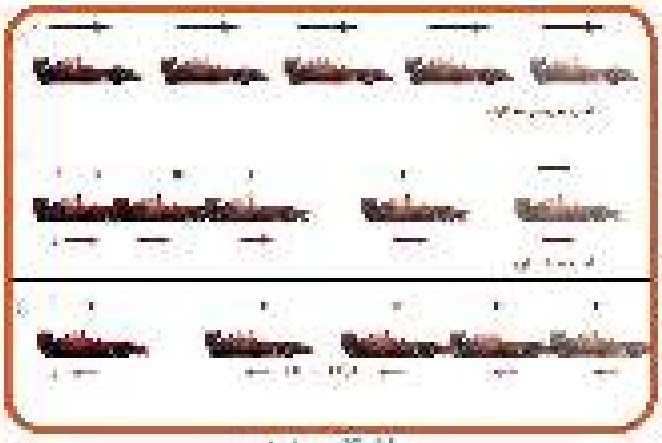
واذا رسمنا مخطط بيانيا بين (السرعة - الزمن) نحصل على خط مستقيم افقي لان سرعة السيارة ثابتة المقدار والاتجاه لاحظ الشكل (13).



الشكل (13)

2-3 التعجيل Acceleration

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 أفقي (بمسار دائري) بانطلاق ثابت فيسمى هذا التعجيل بالتعجيل المركزي ويرمز له بـ (a_c) الشكل (15) فالتعجيل الزمني للتغير في مقدار سرعة الجسم يسمى بتعجيل الجسم ويرمز له بـ ($\vec{a}$)



الشكل (14)

الشكل (15)

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

2-4 معادلات الحركة الخطية بتعجيل منتظم:

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

لدينا:

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

و أيضاً

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

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 اللحظية بدلالة كل من السرعة الابتدائية والتسارع والزمن :

لدينا من تعريف التسارع

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

نضرب طرفي المعادلة في Δt

نحصل على :

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

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

c – معادلة الازاحة بدلالة كل من السرعة الابتدائية والتسارع والزمن

لدينا معادلة الازاحة بدلالة السرعة الابتدائية والسرعة النهائية والزمن :

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

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

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

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

$$\Delta x = v_i\Delta t + \frac{1}{2}a(\Delta t)^2$$

d – معادلة السرعة النهائية بدلالة التسارع والازاحة والسرعة الابتدائية:

لدينا معادلة الازاحة بدلالة كل من السرعة الابتدائية والسرعة النهائية والزمن

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v_i + v_f)\Delta t \quad (1)$$

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

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

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

فنحصل على :- $v_f = v_i + a \times \frac{2\Delta x}{(v_i + v_f)}$

$$v_f - v_i = a \times \frac{2\Delta x}{(v_i + v_f)}$$

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

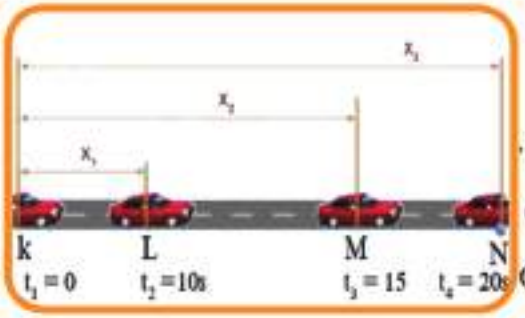
$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$$

و عندما يبدأ الجسم بالحركة من السكون فإن $(v_i = 0)$ فتكون المعادلة الاخيرة :

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

مثال 2

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



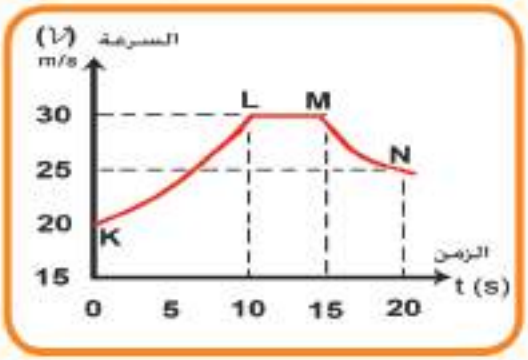
(1) ($t_1 = 0s$) و ($t_2 = 10s$) بين النقطتين (K, L).

(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)

الحل /



الشكل (16)

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)

10 - 2 تعجيل الجاذبية Accelerate of gravity

أي الكرتين تسقط في الهواء أسرع ؟

(الكرة الثقيلة أم الكرة الخفيفة ، القاعدة أم الريشة؟)

قد يبدو معقولاً أن تسقط الكرة الثقيلة أسرع من الكرة الخفيفة . الزمن كذلك ؟ في الحقيقة كانت اجابة العالم أرسطو (قبل الميلاد) الاجابة نفسها .

وبعد تسعة عشر قرنا أجرى العالم جاليليو اختبارات تجريبية بسيطة . فقد اسقط حجراً وريشة طائر من قمة برج بيزا المائل لاحظ الشكل (17) ويسبب الثقل الكبير لاحتكاك الهواء ودفعه للريشة اثناء سقوطها فإن الحجر وصل الأرض قبل الريشة .

شكل (17)

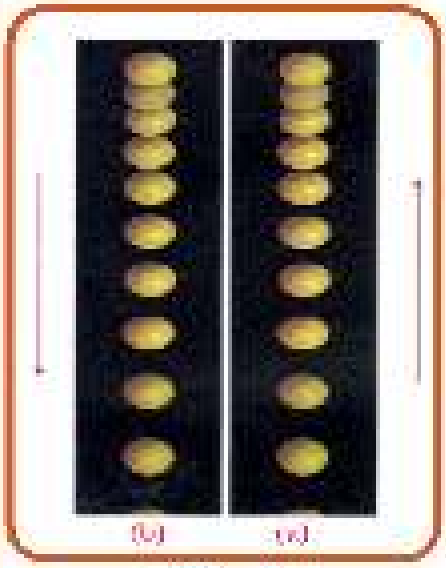
لقد اجريت تجارب عدة باستعمال أجسام لثقلة تسبب مقاومة في الحجم ومختلفة في الوزن وسقطة من الارتفاع نفسه فحصل على نتائجها المعروفة وهي سقوط جميع الأجسام من الارتفاع نفسه على الأرض بالطريقة نفسها وبتعجيل ثابت) وبمدة زمنية نفسها بغض النظر عن وزنها . وبسبب تأثير مقاومة الهواء في الاجسام الساقطة مثل تجربة القاعدة والريشة، الشكل (18) لقد وجد عملياً أن القاعدة والريشة تصلان معاً وبالسرعة نفسها (بغياب مقاومة الهواء).

شكل (18)

السقوط الحر :

الكثير من العلماء التجريبيين كرروا تجارب العالم جاليليو باتباع اساليب تقنية متطورة للغاية فمن الحقائق المسلم بها الآن ان اي جسم يسقط سقوطاً حراً فانه يتجه نحو الأسفل بتعجيل ثابت الشكل (19) . وهو التعجيل الناتج من قوة جذب الأرض على الجسم . و بالرغم من ان مقدار جاذبية الأرض يختلف من مكان الى مكان بالقرب من سطح الأرض فهو تقريبا يساوي ($9.81\ m/s^2$) و($981\ cm/s^2$)

الشكل (19)



الشكل (20)

ويرمز لتعجيل الجاذبية الارضية عند سطح الارض بالمتجه $(\vec{g})$ ويقترن الحصول على هذا المقدار هو المسافة الكبيرة المستقلة 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 ، $g = 9.8 m/s^2$ ويعبر عنه تقريباً $(-10 m/s^2)$ ويكون بالقيمة سالبة دائماً لانه يتجه نحو الاسفل : تسمى هذه الحركة ، السقوط الحر Free fall ، الشكل (20)

11-2 معادلات الحركة في السقوط الحر :

للجسم الساقط سقوطاً حراً ، وبالتعويض عن $(v_i = 0)$ في المعادلات الحركة الخطية نحصل على :

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

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

$$v = \sqrt{2 g y} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

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

* سيارة تسير بخط مستقيم (باتجاه x+) و بتعجيل (باتجاه x-) هل يعني ان حركة السيارة بتسارع لم تبطئ ؟

مثال 3

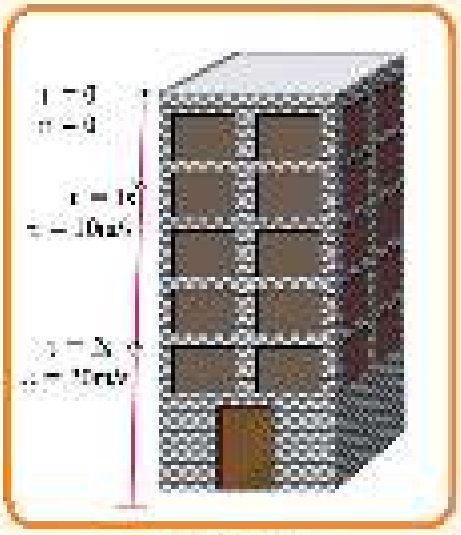
من سطح بناية سقطت كرة سقوطاً حراً الشكل (21) فوصلت سطح الأرض بعد مدة زمنية (3s). احسب مقدار :

1 ارتفاع سطح البناية.

2 سرعة الكرة لحظة اصطدامها بسطح الأرض وفي أي اتجاه ؟

3 سرعة وارتفاع الكرة فوق سطح الأرض بعد مرور (1s) من سقوطها.

نفرض أن مقدار التسارع الأرضي ($g = -10\ m/s^2$)



الشكل (21)

الحل :

1- تكون السرعة الابتدائية (v_0) للسقوط الحر دائماً = صفراً

نطبق معادلة الإزاحة والتعجيل والزمن.

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

$$y = \frac{1}{2} (-10) \times (3)^2$$

$$y = -45\ m$$

* الإشارة السالبة تعني أن إزاحة الكرة باتجاه 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 :

$$v_f = v_0 - g \times t$$

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

* الإشارة السالبة تعني أن سرعة الكرة باتجاه نحو الأسفل.

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

$$v_f = v_0 - g t$$

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

* الإشارة السالبة تعني أن سرعة الكرة باتجاه نحو الأسفل ولحساب ارتفاع الكرة فوق سطح الأرض بعد مرور (1s) نحسب الإزاحة من لحظة سقوطها :

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

$$y = \frac{1}{2} (-10) \times (1)^2 = -5m$$

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

مثال 4

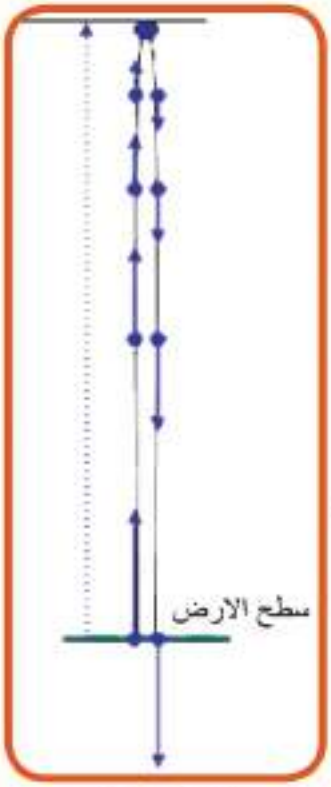
من نقطة عند سطح الارض قذفت كرة صغيرة بانطلاق ($40m/s$) شاقوليا نحو الاعلى ، الشكل (22) (اهمل تاثير الهواء في الكرة) . احسب مقدار :

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 ($v_f = 0$)

فتكون : $v_f^2 = v_i^2 + 2 \times g\,\Delta y$

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

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

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

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

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

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

$v_f = v_i + g \times t$

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

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

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

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

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

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

نحسب زمن نزول الكرة من اعلى ارتفاع تبلغه لحين وصولها الى سطح الارض , فتكون ($v_1 = 0$,

نعرف ان الكرة تسقط سقوطا حرا من ذلك الارتفاع :

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

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

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

$$t_2 = 4 \text{ s}$$

كما يمكن ايجاد سرعة الكرة لحظة لمسها للارض من العلاقة الاتية:

$$v_f = v_i + gt$$

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

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

$$v_f = -40 \text{ m/s}$$

2 - 13 الحركة في بعدين (الحركة في مستوى) Motion in a Plane

الشكل (23)

الشكل (24)

من الامثلة المعروفة عن حركة الاجسام في بعدين هي حركة جسم مقذوف بزاوية في مجال الجاذبية الارضية مثل حركة جزيئات الماء المتناثرة من النافورة , وحركة السيارات الكهربائية , لاحظ الشكل (23 و 24) .

ان الكرة 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 الاخر .

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

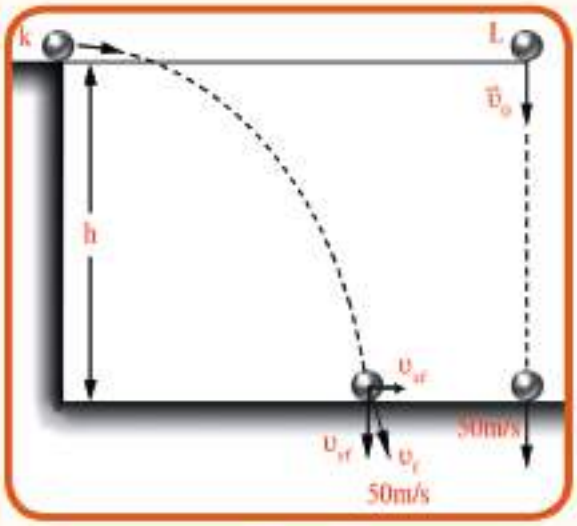
الحركة الافقية للمقذوفات :

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 فان السرعة المحصلة لهاتين السرعتين (υ_f) تعطى بالمعادلة : $\upsilon_f^2 = \upsilon_x^2 + \upsilon_y^2$.

مثال 5 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 :

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

$$\upsilon_f^2 = \upsilon_{xf}^2 + \upsilon_{yf}^2$$

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

$\upsilon_{yf} = -30\ m/s$ 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 :

$$\upsilon_{yf}^2 = \upsilon_{yi}^2 + 2g\Delta y \quad \Longrightarrow \quad (-30)^2 = 0 + 2 \times (-10)\Delta y$$

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

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

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

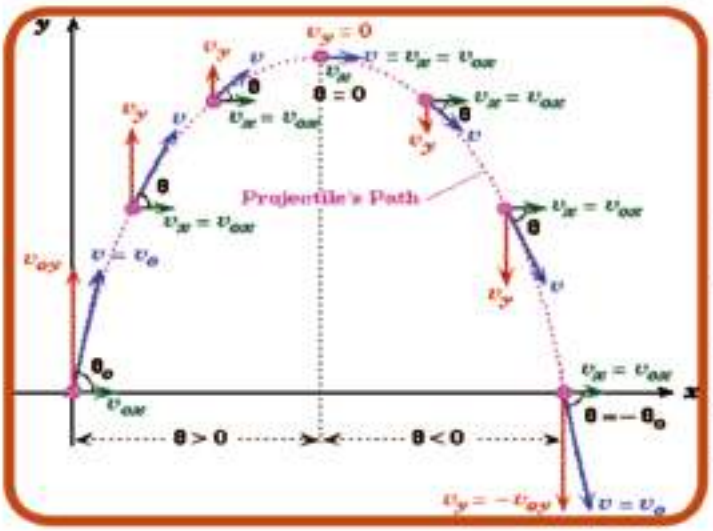
$$2500 = \upsilon^2_{yi} + 900$$

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

$$\upsilon_{yi} = -40\,m/s$$

تؤخذ الاشارة السالبة لان اتجاه السرعة نحو الاسفل

المقذوفات بزاوية معينة :



الشكل (27)

كل مقذوف بزاوية فوق الافق يتخذ مساراً بشكل القطع المكافئ الموضح في الشكل (27) فان 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 .

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

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) .

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

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

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 تحرق الأفق :

a معادلة لحساب الزمن الكلي لمستغرق في طيران المقذوف :-

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

حيث المعادلة $v_f = v_i \sin\theta - g t_{max}$

فنحصل على : $t_{max} = \frac{v_y}{g} = \frac{v_i \sin\theta}{g}$

و عندما يصل المقذوف من اقصى ارتفاع وصوله الى المستوي الأول الأفقي فإنه يستغرق من الزمن الذي يستغرقه في وصوله من نقطة اقصى ارتفاع وصوله الى نقطة سقوطه . اذا فان الزمن الكلي الذي يستغرقه المقذوف من لحظة قذفه الى لحظة وصوله الى المستوي الأول الأفقي يساوي ضعف الزمن وصوله الى اعلى نقطة من مساره . وعليه يكون معادلة الزمن الكلي t_{total} المقذوف هي :

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

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

بما ان السرعة الشعاعية لسرعة المقذوف بزاوية تحرق الأفق عند اعلى نقطة من مساره تساوي صفر اي $v_y = 0$

تطبق المعادلة :

$$v_f^2 = v_i^2 - 2 g \Delta y$$

$$0 = v_i^2 \sin^2\theta - 2 g h$$

$$2 g h = v_i^2 \sin^2\theta$$

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

c معادلة حساب المدى الأفقي :

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

$$R = v_x t$$

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

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

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

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

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

فان :

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

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

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

مثال 6 لاعب كرة القدم ركل بقدمه الكرة الموضوعة على سطح الارض الشكل (28) فكانت سرعتها الابتدائية $(\upsilon_{initial} = 20\,m/s)$ بزاوية $(\theta = 37^0)$ فوق الافق .

احسب مقدار :-

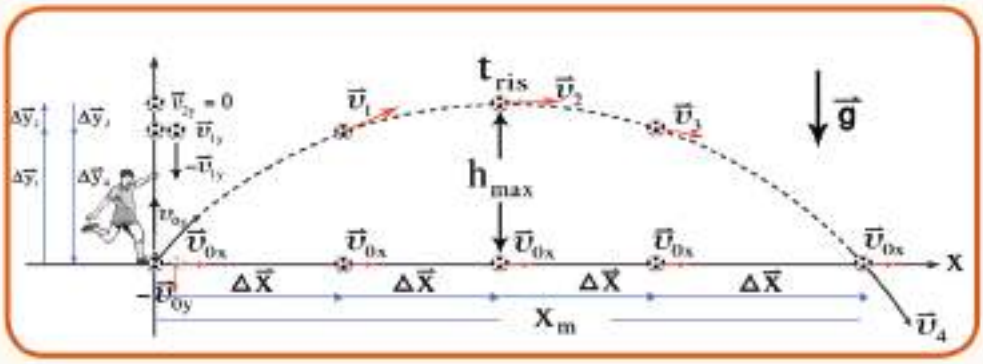
1 - اعلى ارتفاع فوق سطح الارض تصله الكرة .

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 ؟



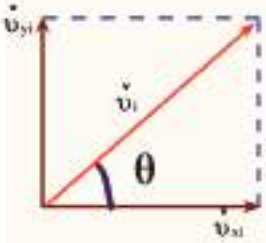
الشكل (28)

الحل/

1 - نحسب اولاً المركبة الافقية للسرعة الابتدائية للكرة :

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

$$\upsilon_{xi} = 20\cos 37^0 = 20 \times 0.8 = 16\,m/s$$



نحسب ثانياً المركبة الشاقولية لسرعة الكرة :

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

$$\upsilon_{yi} = 20\sin 37^0 = 20 \times 0.6 = 12\,m/s$$

بما أن سرعة الكرة وهي في قمة مسارها ($v_{y1} = 0$) تحقق العلاقة

$$v_{y1}^2 = v_{y0}^2 + 2g\Delta y$$

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

$$\Delta y = 144 / 20$$

$$\Delta y = 7.2m$$

فيكون أعلى ارتفاع للكرة فوق سطح الأرض ($h = 7.2m$).

2- حساب الزمن الكلي لطيران الكرة : يتطلب حساب أولا الزمن المستغرق من لحظة رميها حتى لحظة وصولها إلى قمة مسارها :

$$v_{y1} = v_{y0} + g \times t$$

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

$$t_1 = 1.2s$$

ثم نحسب الزمن الذي تستغرقه الكرة في أثناء نزولها من قمة مسارها حتى لحظة اصطدامها بسطح الأرض [تسقط سقوطا حرا من ارتفاع ($h = 7.2m$)] .

بما أنها تتجه نحو الأسفل يكون $\Delta y = -7.2m$ فتكون

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

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

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

$$t_2 = 1.2s$$

فيكون الزمن الكلي = زمن الصعود + زمن النزول

أو الزمن الكلي = زمن الصعود إلى أعلى نقطة × 2

$$2.4s = 1.2s - 1.2s$$

$$t_{total} = 2.4s$$

3- المدى الأفقي = المركبة الأفقية لسرعة الابتدائية $v_0 = v_0 \times \cos 0$ مضروبا في الزمن الكلي

$$R = v_x t_{total}$$

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

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

$$v_{yf} = v_{y1} - g \times t_2$$

$$v_{y1} = 0 - (-10) \times 1.2 = -12\,m/s$$

[الإشارة السالبة تدل على أن اتجاه المركبة الشاقولية لسرعة الكرة نحو الأسفل]

بما أن المركبتين الأفقية والشاقولية متعامدتين (الشكل 27) ،

فيكون $\vec{v}_1 = \vec{v}_{x1} + \vec{v}_{y1}$

$$v_1^2 = (16)^2 + (-12)^2$$

$$v_1^2 = 256 + 144 \Rightarrow v_1 = 20\,m/s$$

لتعيين اتجاه هذه السرعة نطبق النسبة المثلثية :

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

$$\theta = -37°$$

(الإشارة السالبة تعني أن الزاوية θ تقع تحت الأفق)

3 - لحساب أعظم مدى أفقي لهذا القذف يتحقق عندما تكون زاوية قذفه $45°$ فوق الأفق ، عندئذ نطبق العلاقة :

$$R_{max} = \frac{v_1^2}{g}$$

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

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 سوية من قمة برج (باهمال 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 يمكنك تعميلاً ؟

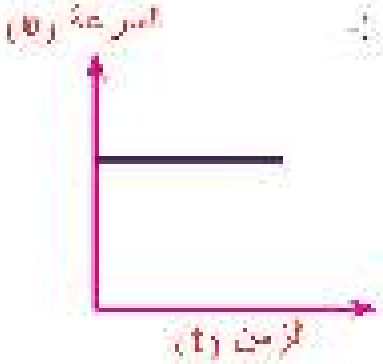
a) السيارة متحركة على منعطف على بانطلاق ثابت (50km/h).

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 :



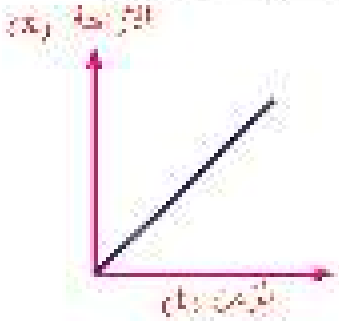
a) سرعته تساوي صفراً .

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 صفراً .

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 اليمين .

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 الأعلى فوصل أعلى ارتفاع له (z) ثم سقط سقوطاً حراً من ذلك الارتفاع راجعاً إلى النقطة التي قذف منها، فإن سرعته المتوسطة تساوي :

a) صفراً b) $2\vec{i}$ c) $\vec{i}$ d) $\left(\frac{1}{2}\right)\left(\begin{matrix}y\\z\end{matrix}\right)$

10 – يقف شخص على سطح بناية ويحمل في كفّي يديه كرتان مصمتتان متماثلتان في الكتلة والحجم (حمراء و خضراء) فإذا قذف الكرة الحمراء بسرعة أفقية وترك الكرة الخضراء تسقط سقوطاً حراً من الارتفاع نفسه فإن :

a) الكرتان تصطدمان سطح الأرض في آن واحد ولكن انطلق الكرة الحمراء أكبر من انطلق الكرة الخضراء المحاذية وصولهما سطح الأرض.

b) الكرة الحمراء تصل سطح الأرض قبل الكرة الخضراء وبانطلق أكبر منها.

c) الكرة الخضراء تصل سطح الأرض قبل الكرة الحمراء وبانطلق أكبر منها.

d) الكرتان تصطدمان سطح الأرض في آن واحد وبانطلق متساوٍ.

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

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

س4: إذا كان العداء الموضوع أمام السائق في السيارة يبعد الى (b: 70km) خلال (t = 1h) زمنية معينة عن يمين خط سير السيارة فتحرك نحوه بانطلاق ثابت ؟ أم بسرعة ثابتة ؟ أم بتعجيل ثابت ؟ وضح ذلك.

س5: وضح فيما إذا كانت الدراجة في الأمثلة الآتية تملك تعجيلاً خطياً أو مركزياً أو كليهما:

a) دراجة تسير بانطلاق ثابت على طريق مستقيم.

b) دراجة تسير بانطلاق ثابت على منعطف أفقي.

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

مسائل

س1 : سيارة تتحرك بسرعة ($30m/s$) ، فدائ 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) المسافة 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 فدائ سقطت منها حقيبة احسب :

1) البعد الافقي للنقطة التي تصطدم بها الحقيبة على سطح الارض عن الخط الشاقولي للنقطة المقابلة 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) المسافة الكلية والزمن الكلي خلال حركته .

الفصل 3

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)

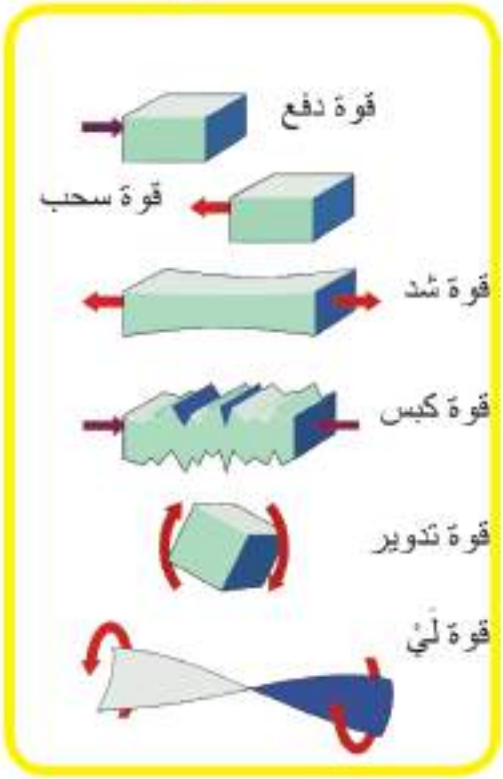
الشكل (2)

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)

تقاس القوة بوساطة قبان حلزوني لاحظ الشكل (5) جميع تلك القوى المذكورة تؤثر في جسمين بينهما تماس مباشر فتسمى بقوى التماس (contact forces)

الشكل (5)

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 .

a- قوة الجاذبية :-

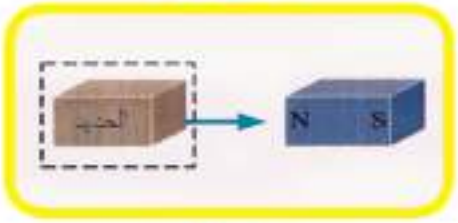
الشكل (6)

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 بينهما 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).

b- القوة الكهربائية والقوة المغناطيسية :-

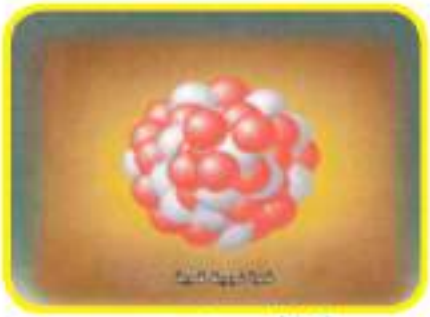
الشكل (7)

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 : -

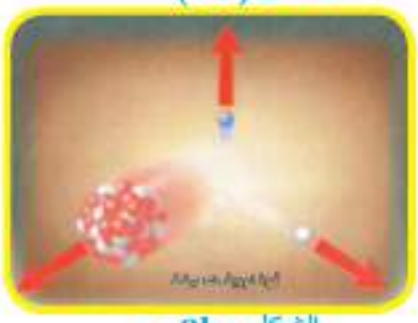


الشكل (9a)

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) .

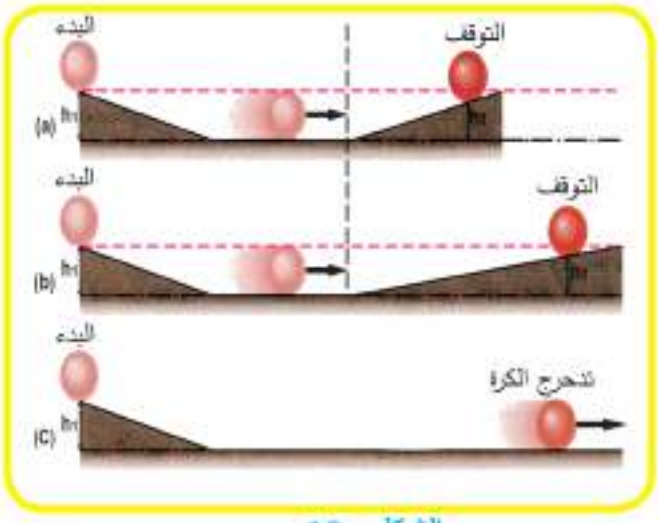
النوع الثاني : قوة نووية ضعيفة :- وهي المسؤولة عن انحلال جسيمات بيتا التي تحدث داخل النواة لاحظ الشكل (9b).



الشكل (9b)

3-2 القصور الذاتي و الكتلة : -

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 (a-10) ، 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 (b-10).

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

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 .

فإذا حاولت معك كل منهما بيدك ماذا تتوقع أن تكون القوة التي تمنعها لأجل منع كل منهما عن حركتها؟ لاحظ الشكل (11) ، نجد عندئذ أن كرة البولينغ تحتاج إلى قوة أكبر لإيقافها من قوة اللازمة لإيقاف كرة التنس ، لأن كرة البولينغ كتلتها أكبر فهي تبدي مقاومة أكبر على تغير حالتها الحركية.

الشكل (11)

نستنتج من ذلك :

التصور الذاتي للجسم يعتمد على كتلة الجسم

أي أن التصور الذاتي هي تلك الخاصية التي يمتلكها الجسم والتي تحدد مقدار المقاومة التي يبديها الجسم لأي تغير في حالته الحركية.

3 - 3 قوانين نيوتن في الحركة :-

عن أعظم الفيزيائي اسحاق نيوتن نظريته في الحركة من خلال القوانين الثلاثة التي عرفت باسم قوانين نيوتن في الحركة، والتي وصف من خلالها تأثير القوى في حركة الأجسام.

القانون الأول لنيوتن :-

يسمى هذا القانون بقانون القصور الذاتي ، قد توصل إلى هذا القانون بالاعتماد على فكرة غاليلو وينص على أن:

(في حالة انعدام محصلة القوى الخارجية المؤثرة في جسم فالجسم الساكن يبقى ساكناً والذي يتحرك بسرعة منتظمة فانه يبقى يتحرك بسرعة المنتظمة)

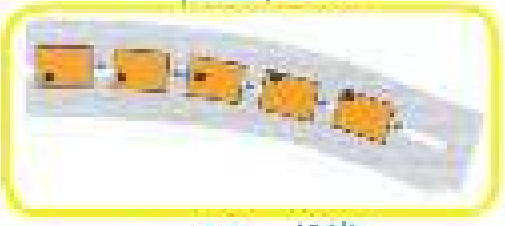
لو كنت جالساً في سيارة واقفة، ماذا تشعر عندما تتحرك السيارة بسرعة منتظمة نحو الأمام لاحظ الشكل (12a) ؟ نجد أن جسمك يندفع إلى الخلف وهذا يعني أن جسمك قاوم التغير الحاصل في حالة الحركة التي كان عليها فهو يحاول البقاء ساكناً.

الشكل (12a)

، عندما 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)

ماذا تحرك السيارة التي أنت جالس فيها على مستطف أفقي وبانطلاق ثابت ، تجد أن جسمك يحاول أن يستمر في حركته المستقيمة باتجاه المقعد فيه يقاوم التغير الحاصل في اتجاه سرعته لاحظ الشكل (12c) .



الشكل (12c)

من المشاهدات الثلاث السابقة نفهم أن الجسم الساكن يحاول البقاء ساكنا 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 2

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

الخطوات:

- ضع القنينة بوضع شاقولي على سطح منضدة أفقية.
- ضع الحلقة المعدنية بمستوٍ شاقولي فوق فوهة القنينة.
- ضع القلم بوضع شاقولي ويتجه فوق الحلقة الشكل (13a).
- اضرب بسرعة الحلقة 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 بتعجل مع بقاء القلم ساكناً لحظياً في موضعه لعدم وجود قوة احتكاك .

2- ولعدم وجود قوة تؤثر في القلم فانه 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؟

للاجابة عن هذا السؤال نقوم بعمل النشاط الآتي:

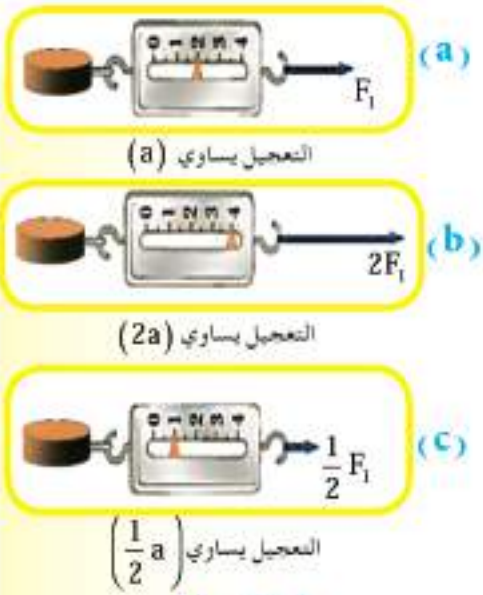
نشاط (1)

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



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 = $\left(\frac{1}{2} a\right)$.

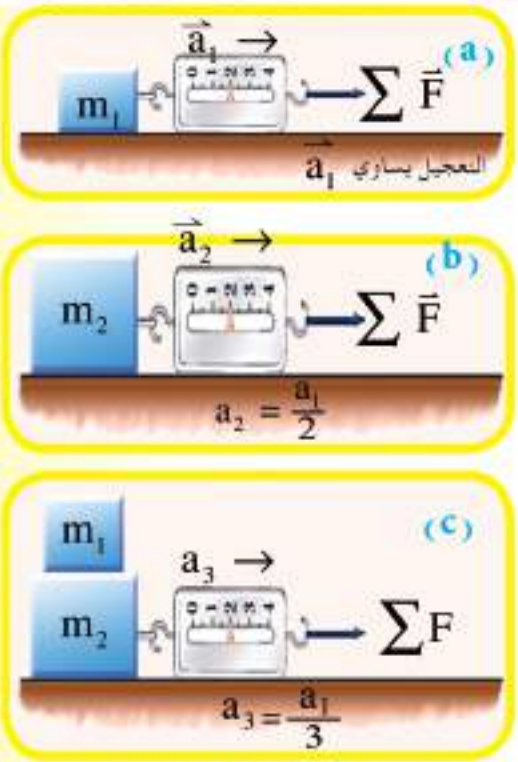
نستنتج من النشاط:

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 و امسك 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) . $\vec{a}_2 = \frac{\vec{a}_1}{2}$

- وضع المكعب الاول ذو الكتلة (m_1) فوق المكعب الثاني ذو الكتلة (m_2) لاحظ الشكل (16c) .
- اسحب المجموعة بالقوة الافقية نفسها المسلطة على المكعب الاول $\sum F$ تجد ان المجموعة ستتحرك بتعجيل يساوي a_2 مقدار يمكن ان يبرهن انه يساوي :

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

نستنتج :

ان تعجيل الجسم يتناسب عكسياً مع كتلة الجسم بثبوت محصلة القوة المؤثرة :

اي ان : $a \propto \frac{1}{m}$

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

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

الوزن والكتلة :

من الواضح لينا ان جميع الاجسام على سطح الارض تتأثر بقوة جذب نحو مركز الارض. فالقوة التي تؤثر بها الارض على الاجسام هي قوة الجاذبية (F_g) وان مقدار قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في الجسم تسمى وزن الجسم (w) ، اي ان :

Weight = mass × acceleration of gravity

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

الشكل (17)

وطبقاً لقانون الثاني لنيوتن فان: $F = ma$

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 »

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

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

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

$\sum \vec{F}$ 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).

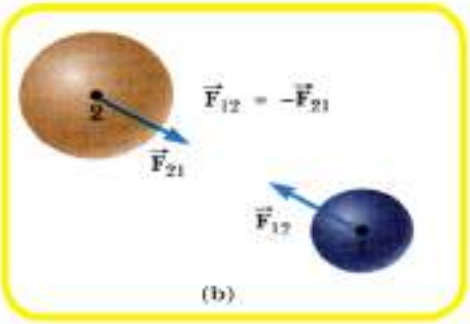
فكر

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 :-

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.



الشكل (20)

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 التاثير 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)

الشكل (23)

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 لاحظ الشكل (23) .

الشكل (24)

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 (25)

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).

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

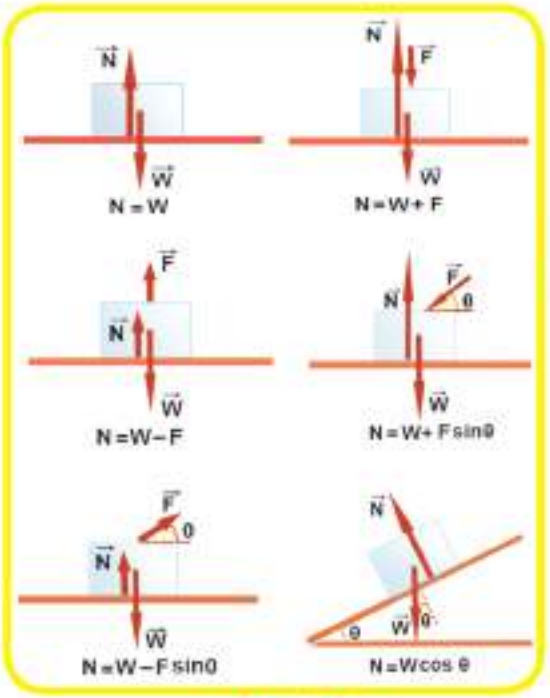
3 – 4 تطبيقات على قوانين نيوتن في الحركة : -

سنناقش العلاقة بين القوة و التعجيل 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 :-

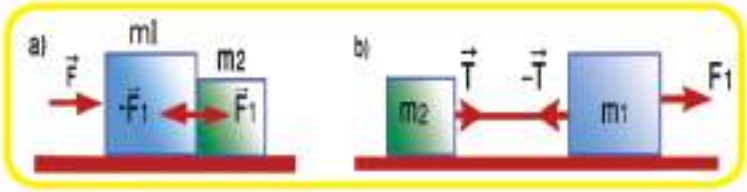
بالاعتماد على القانون الثالث لنيوتن ، عندما يوضع جسم على سطح فان ذلك السطح سيؤثر بقوة في الجسم الموضوع عليه ، الشكل (26) . (في حالة الجسم الساكن او المتحرك على السطح) وعند انعدام مثل هذه القوة فان الجسم سيغوص داخل ذلك السطح او ينزل للاسفل بتعجيل لاحظ الشكل(26) . وتسمى القوة العمودية التي يؤثر بها السطح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



الشكل (26)

- 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 و الشكل (26) يوضح بعض من هذه القوى العمودية .

b قوة الشد :-



الشكل (27)

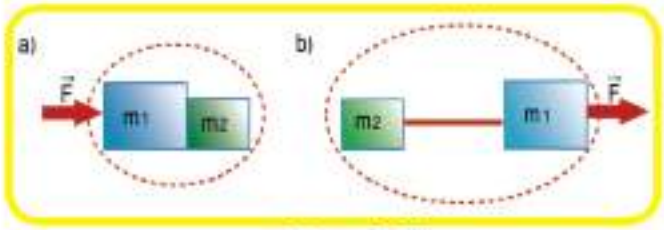
في حياتنا اليومية عندما نريد ان نحرك الاجسام نضطر الى سحبها بخيط او حبل او سلك وعندما يسحب الجسم بحبل فالحبل يؤثر بقوة في الجسم. لاحظ الشكل (27) .القوة التي يؤثر بها الحبل في الجسم تسمى بقوة الشد ويرمز لها ($\vec{T}$) . وفي أغلب التمارين نفرض ان الحبل (او الخيط او السلك) مهمل

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 .

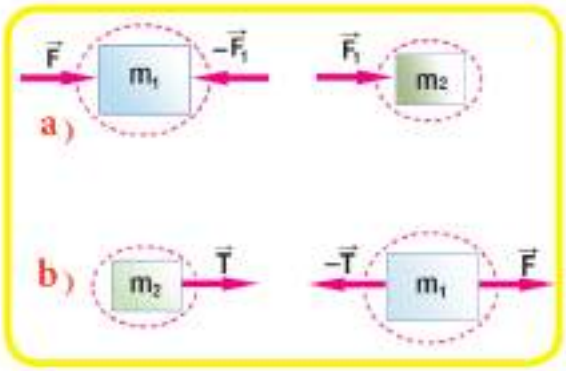
لاحظ الشكل (28) .



الشكل (28)

c القوى الداخلية والقوى الخارجية :-

عندما نفرض ان النظام (مجموعة الاجسام) معزولاً فإن 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: -

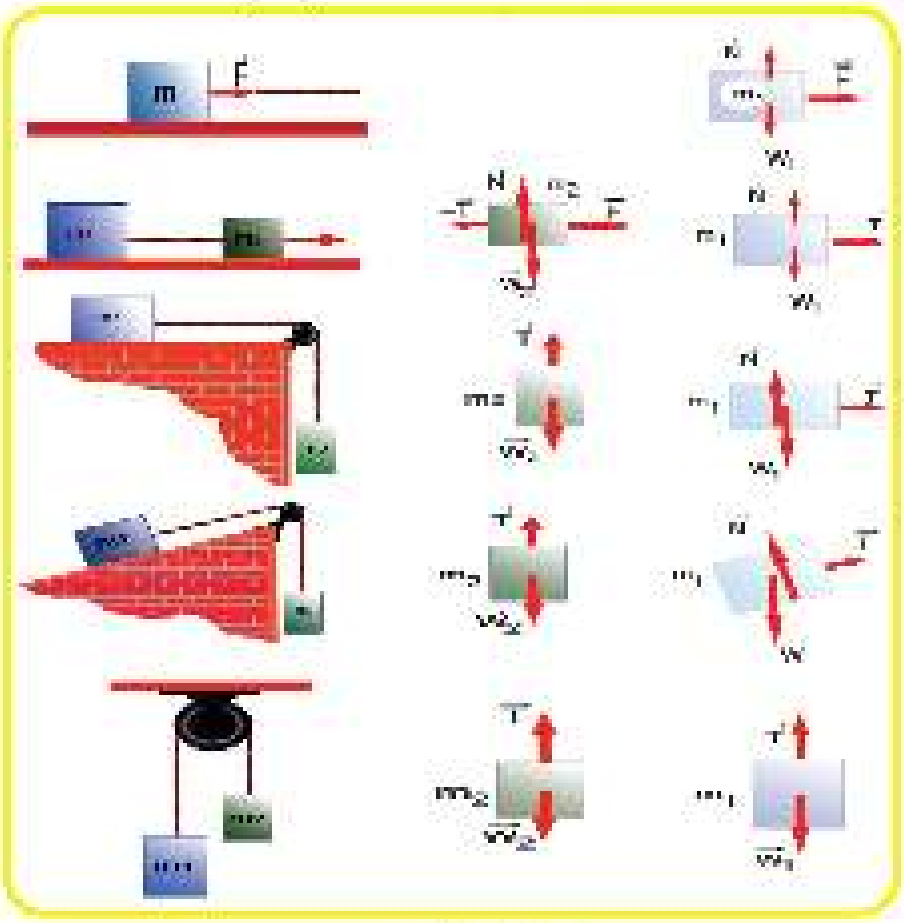
القوى الخارجية فقط تؤخذ في الحساب من غير الاعتماد على القوى الداخلية.

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 منفصلة، اذا يمثل الجسم (الساكن او المتحرك) على منفصلة، ثم نوضح كل قوة من القوى المؤثرة فيه وتسمى هذه الطريقة بمخطط الجسم الحر ، وفيما يلي اشكال للقوى المطبقة على الاجسام انظر الشكل (30) :-



الشكل (30)

فكر في الشكل (31a) حصان يسحب زلاجة على الجليد بقوة افقية ، عندما تعمل 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) معلقان بطرفي حبل خفيف يمر فوق بكرة مهملة الوزن والاحتكاك لاحظ الشكل (32) .

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

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.

نطبق القانون الثاني لنيوتن في الجسم الصغير 2kg هي :

$$T - m_1 g = m_1 a$$

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

$$T = 20 + 2a \ldots (1)$$

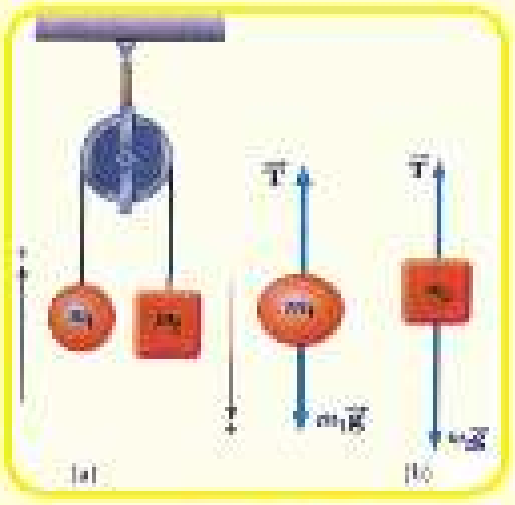
اما بالنسبة للجسم الثاني فنزل بتعجيل:

$$m_2 g - T = m_2 a$$

$$3g - T = 3a$$

$$T = 3g - 3a$$

$$T = 30 - 3a \ldots (2)$$



الشكل (32)

الطرف الايسر للمعادلة (1) يساوي الطرف الايسر للمعادلة (2)

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

$$5a = 10$$

$$a = 2 \frac{m}{s^2}$$

تعجيل الجسمين

نعوض عن a في احدى المعادلتين ، لتكن 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: $m_1 = m_2$

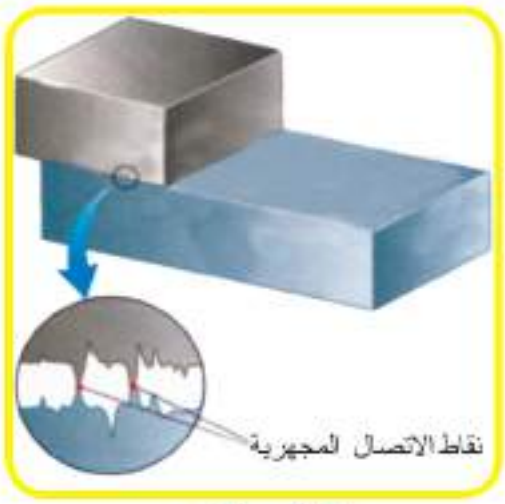
6-3 الاحتكاك Friction

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 .

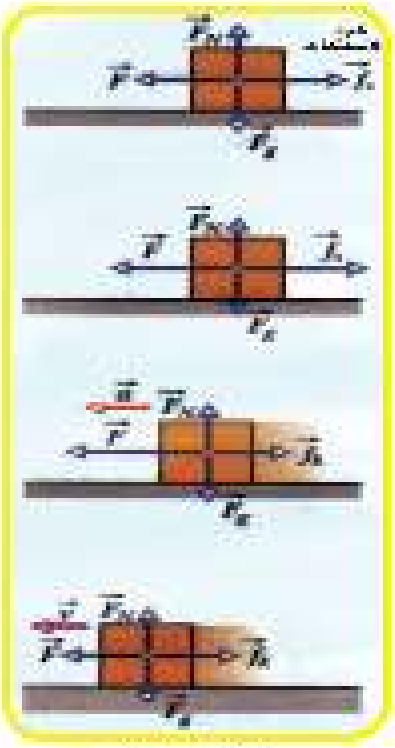
وان القوى الضاغطة بين السطحين تمثل القوة العمودية على السطح ويرمز لها بالرمز $\vec{N}$ وقد اظهرت النتائج التجريبية ان قوة الاحتكاك تظهر حتى لو كان الجسم في حالة سكون.

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)

وعندما 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 مدى السرع المعتبرة ، وتتناسب طرديًا 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 السطحين المتلامسين و لا يعتمد على مساحة السطحين المتلامسين .

مثال 2 وضع صندوق كتلته (400kg) على سطح مائل خشن ، فبدأ السطح من أحد طرفيه وجعل يميل عن الأفق ثم زيد ميله تدريجياً عن المستوى الأفقي وعندما صارت زاوية ميل السطح $30°$ مع الأفق كان الصندوق على وشك الانزلاق احسب:

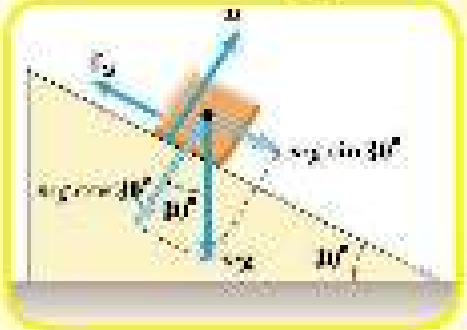
1- قوة الاحتكاك السكوني حينما يوشك الصندوق على الحركة .

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

الحل

1- ∵ الجسم أصبح على وشك الحركة

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



2 هنا ينفذ الصندوق في اتجاه الثاني لنبوتن

$\therefore \sum F=ma$

الصيغة الرياضية لقانون الثاني

$\therefore mg\sin\theta - f_k = ma$

$mg\sin\theta - \mu_k mg\cos\theta = ma$

$400 \times 10 \times 0.5 - \mu_k (mg\cos 30^\circ) = 400a$

$2000 - 0.1\left(400 \times 10 \times \frac{\sqrt{3}}{2}\right) = 400a$

$2000 - 346 = 400a$

$a = \frac{1654}{400}$

$a = 4.15\ m/s^2$ مقدار تعجيل الصندوق

مثال 3

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

1 معامل الاحتكاك السكوني بين الجسم والسطح الافقي.

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

الحل :

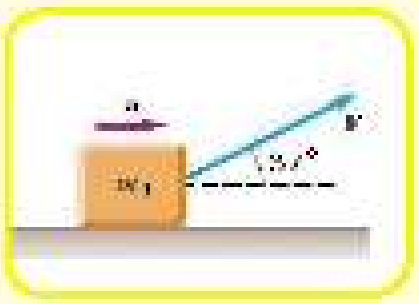
1 عندما يكون الجسم على وشك الحركة تكون قوة الاحتكاك السكوني تعادل المركبة الافقية للقوة .

$\sum F_x = 0$

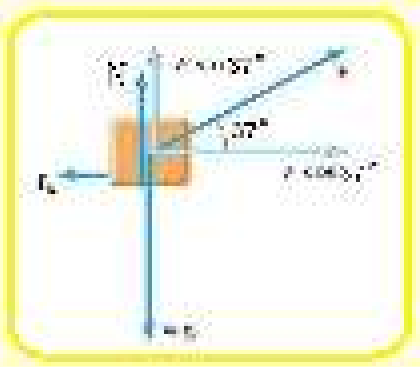
$f_s = F_x$

$f_s = F\cos\theta$

$f_s = 300 \times \frac{4}{5} = 240N$



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



2

عندما تتضاعف القوة فإن

مركبتيها الأفقية تساوي

ومركبتها الشاقولية تساوي

$$F = 600N$$

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

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

وبما أن :-

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

نحسب قوة الاحتكاك الأثر بالكرة (المتحركة)

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

ومنها نطبق القانون الثاني لنيوتن على

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

س1/ اختر الاجابة الصحيحة لكل من العبارات التالية:

1 تؤثر محصلة قوى خارجية في جسم فتحركه من السكون , فإذا كان مقدار واتجاه تلك المحصلة ثابتاً وتكتله ثابتاً أيضاً عندها يمكن تطبيق القانون الثاني لنيوتن لايجاد:

a) وزن الجسم . b) انطلاق الجسم .

c) ازاحة 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 لاتعتمد على:

a) القوة المتعامدة عمودياً على السطحين المتماسين .

b) مساحة السطحين المتلامسين .

c) الحركة النسبية بين السطحين المتماسين .

d) وجود زيت بين السطحين أو عدم وجوده .

4 لا يرغب ان تمشي على زمن جليدية من غير الاحذية فمن الافضل ان تكون حركتك :

a) بخطوات بطيئة .

b) بخطوات قصيرة .

c) على مسار دائري .

d) على مسار منحرج قليلاً .

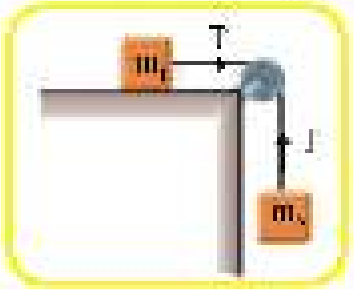
5 الكتلتان (m_1 , m_2) مربوطتان بسلك مهمل الوزن كما في الشكل المجاور وكانت الكتلة m_1 تتحرك على سطح افقي املس في حين m_2 معلقة شاقولياً بطرف السلك .

فان الشد في السلك (T) :

a) $T=0$

b) $T=m_1 g$

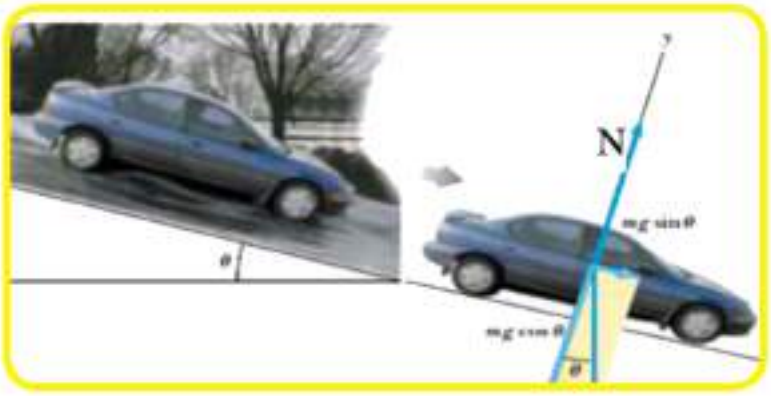
c) $T=m_2 g$



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

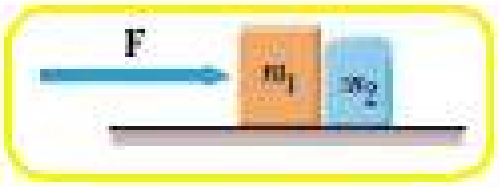
a) $4m/s^2$
b) $8m/s^2$
c) $12m/s^2$
d) $16m/s^2$

10 – جسم كتلته (m) معلق بحبل في سقف مصعد فإن المصعد يتحرك إلى الأعلى بسرعة فتنة فإن الشد في الحبل:

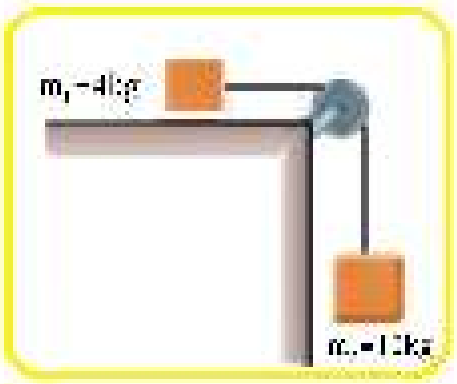
a) يكون مساويا (mg) .
b) أقل من (mg) .
c) أكبر من (mg) .
d) يتحدد قيمته بناء على مقدار السرعة .

مسائل

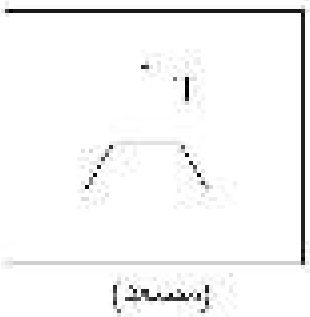
م1/ يمثل الشكل المجاور الجسمان (m_1, m_2) في حالة تماس موضوعان على سطح أفقي أملس كتلة الجسم الأول $m_1 = 4kg$ وكتلة الجسم الثاني $m_2 = 2kg$ إذا أثرت قوة أفقية F مقدارها 12N تدفع الكتلة m_1 كما في الشكل، جد مقدار تعجيل الجسمين والقوة المؤثرة بين الجسمين ؟



م2/ جسم كتلته 1kg موضوع على سطح أفقي خشن ويتصل بطرف خيط يمر على بكرة ملساء مهملة الوزن ومعلق بالطرف الآخر الساكن جسم كتلته 10kg ويوضع مقابل كما مبين في الشكل المجاور احسب مقدار الاحتكاك بين الجسم (m_1) والسطح الأفقي حينما تتحرك المجموعة من السكون بتعجيل مقداره $6m/s^2$.



م3/ جسم كتلته 1kg معلق بسقف مصعد بواسطة 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 $2m/s^2$.



ت1: قوة أفقية ثابتة مقدارها (2N) أثرت في جسم ساكن كتلته (2kg) موضوع على سطح أفقي أملس ، احسب:

a) انطلاق الجسم في نهاية الثانية الأولى من حركته.

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

ت5: في الشكل أدناه شخص يدفع أخته وهي جالسة على لوح للتزحلق على الجليد ،أي من الوضعين التاليين أفضل أن يحرك الشخص أخته لكي تنزلق على الجليد بسهولة :

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

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

الفصل 4

الاتزان و العزوم Torque and Equilibrium

4-1 مفهوم الاتزان Concept of Equilibrium

نلاحظ حولنا أن بعض الأجسام ساكناً و البعض الآخر متحركاً وحركة هذه إما أن تكون حركة بتعجيل وإما أن تكون حركة بانطلاق ثابت وبخط مستقيم .

أن الجسم الجاسئ (الجسد الجامد) هو منظومة من الجسيمات يبقى البعد بينها ثابتاً لا يتغير بتأثير القوى والعزوم الخارجية ، فإذا أثرت في الجسم الجاسئ محصلة قوى خارجية ، سيتحرك بتعجيل وذلك طبقاً لقانون 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 يخضع القانون الأول لنيوتن (قانون القصور الذاتي) ففي هذه الحالة إما أن يكون الجسم ساكناً فيقال أن الجسم في حالة إتزان سكوني (static equilibrium) أو قد يكون متحركاً بانطلاق ثابت وبخط مستقيم ، فيقال عندئذ أنه في حالة إتزان حركي (dynamic equilibrium) .

4-2 شرطا الاتزان الانتقالي

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

أي أن: $\sum \vec{F}=0$

و علامة $\sum$ تعني مجموع أو مجموعة أي كمية وتقرأ سيجما)

وهذا يعني أن محصلة القوى الخارجية المؤثرة في الجسم على أي محور من المحاور الأفقية والشاقولية (x , y) تساوي صفراً أي أن :

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

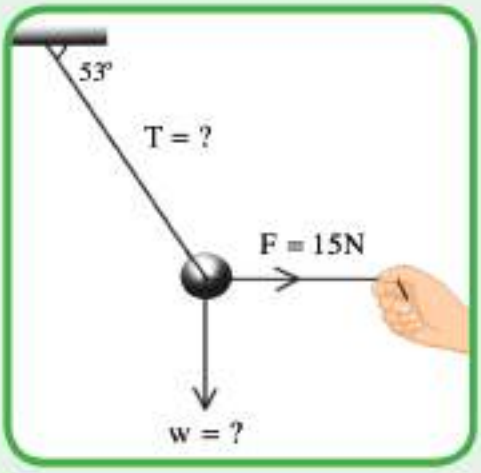
$$\sum \vec{F}_y=0$$

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 الماثلة $\vec{T}$ 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:

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

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

$$T_x=F$$

$$T\cos 53^0=15$$

$$T \times 0.6=15$$

مقدار الشد في الخيط $T = 25\ N$

وكذلك صافي القوة على المحور y تساوي صفراً:

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

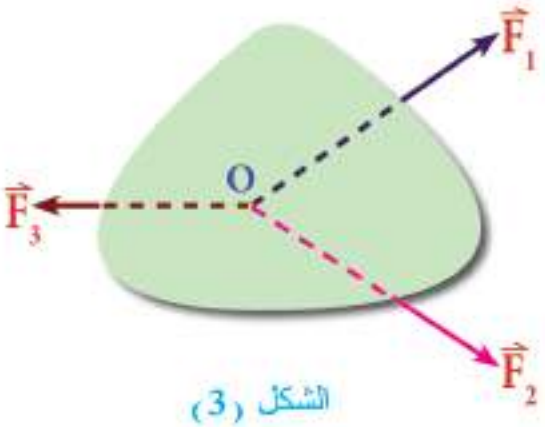
$$\vec{T}_y-\vec{w}=0$$

الشكل (2)

$$T_y = w$$
$$T \sin 53^0 = w$$
$$(25) \times (0.8) = w$$
$$w = 20N$$ مقدار وزن الجسم

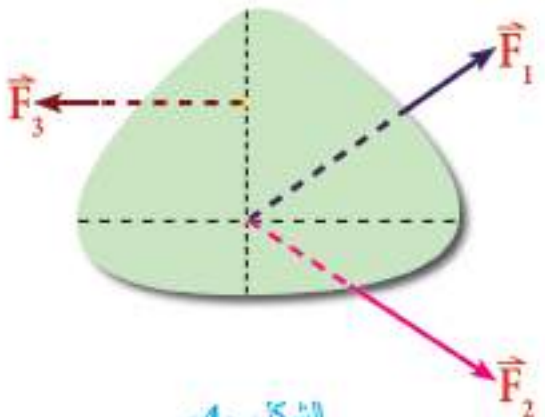
4 - 3 شرط الاتزان الدوراني Rotational equilibrium

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 .



الشكل (3)

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 $\left(\sum \vec{F} = 0\right)$



الشكل (4)

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 .

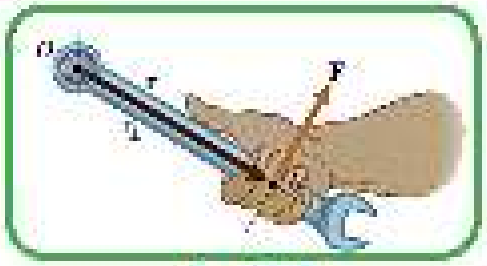
4 - 4 العزم Torque

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 بواسطة اليد؛ لذا نستعمل مفتاح ربط (spanner) لتدوير البرغي لاحظ الشكل (6).

ومفتاح الربط يولد تدويراً أو دوراناً كبيراً أي أنه يولد عزماً أكبر من عزم اليد بمفردها لأن المسافة التي تحاول القوة تدوير الجسم حولها تسمى بالمحور (ونقطة التدوير).



الشكل (6)

نشاط تبيان العوامل التي يعتمد عليها مقدار عزم القوة.

الأدوات: مفتاح ربط، برغي، قدم حلزوني.

خطوات النشاط:

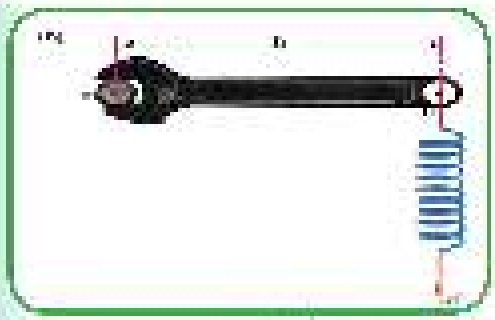
- نحكم برأس البرغي في فوهة مفتاح الربط وبواسطة القدم الحلزوني نشد قوة صغيرة $\vec{F}_1$ عمودية على ذراع المفتاح بحيث تؤثر في طرف المفتاح وعلى بعد r_1 من البرغي لاحظ الشكل (7a).

الشكل (7a)

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

- إعمل على مضاعفة القوة الأولى (أي تصبح $2F$) وعلى البعد الفاصل بين محور الدوران ومنطبق حامل القوة في الدوران الأول .

لاحظ الشكل (7b) .



الشكل (7b)

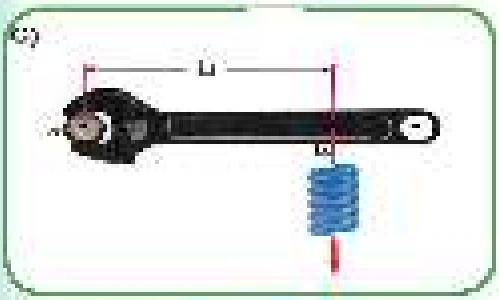
نستنتج من ذلك :

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

- نحول تناسب مقدار القوة F نصف دورة (نتصل الدولاب الخارجي) ولاحظ نقطة تأثير القوة على بعد (ℓ) ، حيث تكون القوة أثناء الدوران عندما تكون عمودية أكثر في كامل الدوران .

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

- نحول نكرر العملية من جديد ولكن في كل مرة نقرب نقطة تأثير القوة من المحور أي نزيد في مسافة في عمودية لذراع الدوران .



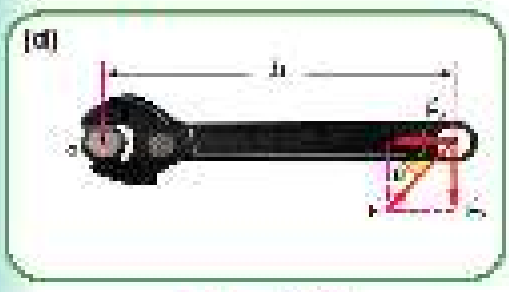
الشكل (7c)

نستنتج من خلال ذلك :

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

أي أن : $\tau \propto \ell$ بثبوت F

- نحاول تغيير القوة ($\vec{F}$) ونحن نحافظ على نقطة تأثير القوة (ℓ) وفي طرف الذراع كما موضح في الشكل (7d) ولكن نجعل هذه المرة القوة غير عمودية على ذراع المفتاح ، أي تصل زاوية θ مع ذراع المفتاح ، عندها يعطى العزم للدوران بالعلاقة الآتية :



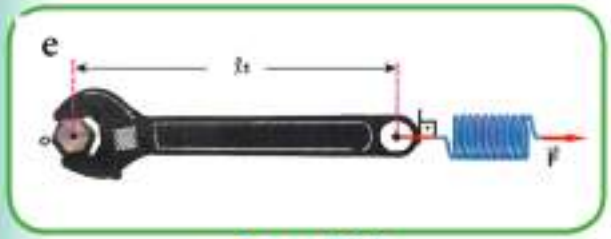
الشكل (7d)

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

حاول مرة أخرى تدوير البرغي ، نجد صعوبة في تدويره كلما قلت الزاوية (θ) بين خط عمل 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 .



الشكل (7e)

نستنتج من ذلك :

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

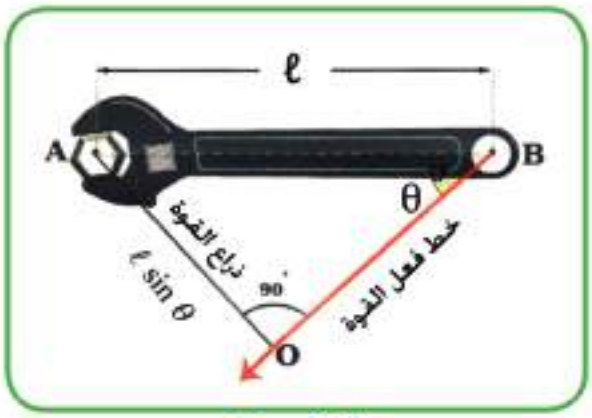
اي ان : $\tau = F\ell \sin\theta$

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 :

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

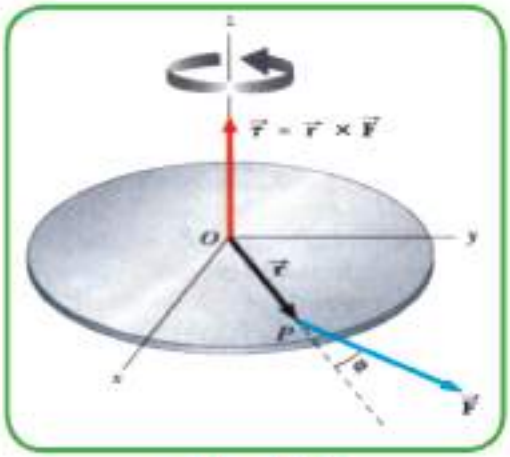


الشكل (8)

4 - 5 العزم كمية متجهة :-

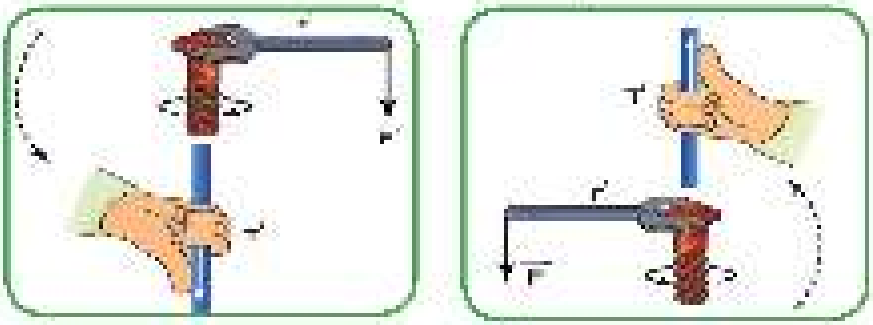
من دراستنا للمتجهات في الفصل الاول عرفنا ان حاصل ضرب متجهين يكون اما كمية قياسية مثل الضرب النقطي ($c = \vec{F} \cdot \vec{d}$) وإمّا كمية متجهة مثل الضرب الاتجاهي ($\vec{A} = \vec{F} \times \vec{d}$) وبما ان متجه العزم هو حاصل الضرب الاتجاهي لمتجه الموقع $\vec{r}$ ومتجه القوة $\vec{F}$ لاحظ الشكل (9)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

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



الشكل (9)

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



الشكل (10)

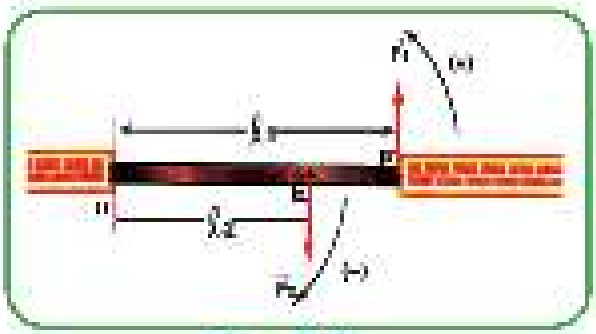
من الجدير بالذكر ان عزم القوة يكون دائما نسبة الى نقطة ثابتة معينة ، فاذا حدث تغير في موقع تلك النقطة يتغير عزم القوة تبعا لذلك كما في الشكل (11).

الشكل (11)

مثلا يكون عزم القوة $\vec{F}$ صفرا نسبة للنقطة الدوران (O) ولكن عزم هذه القوة لليسار يصبح صفرا اذا اتخذت النقطة A نقطة تدوران فيكون :

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

ومن هذا نفهم انه لا يكفي القول فقط حدد (عزم القوة $\vec{F}$) ولكن يجب ان نقول عزم القوة $\vec{F}$ نسبة لنقطة (O) او حول النقطة (O) او لاية نقطة اخرى .



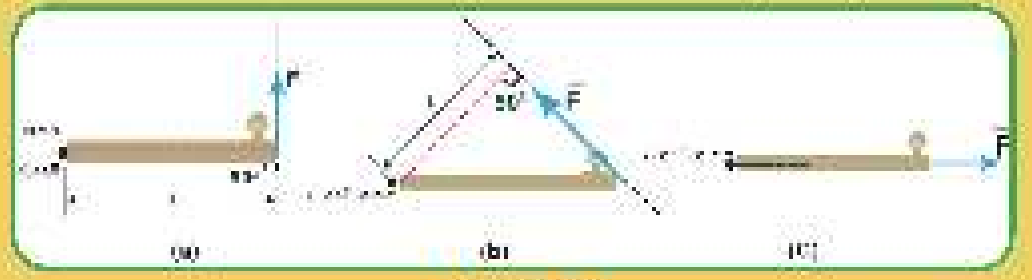
الشكل (12)

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 باشارة موجبة والعزوم التي تدور الجسم باتجاه دوران عقارب الساعة باشارة سالبة .

تذكر :

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

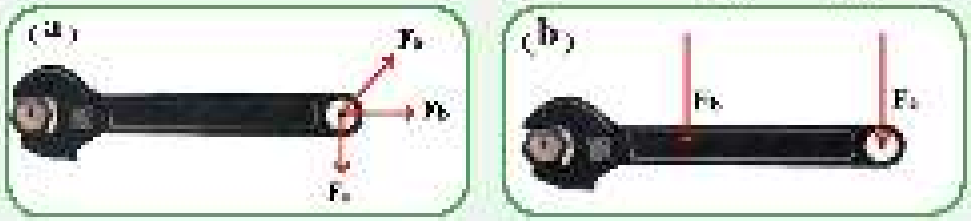


الشكل (13)

- ينعدم العزم ($\tau = 0$) عندما يمر خط فعل القوة في نقطة و محور الدوران الشكل (13C) أي أن : $\theta = 0 \; , \; d = 0$ $\tau = \tau_{11}$

فكر ؟

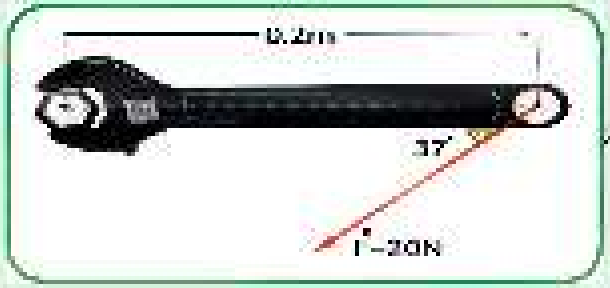
أي القوى المبينة في الشكل (a , b) تتسبب عزماً أقل لمفتاح الربط في تدوير البرغي علماً أن مقادير القوى المؤثرة متساوية .



مثال 2

لاحكم مقدار القوة المسلطة على مفتاح ربط طوله (0.20m) لتدوير برغي بـ (20N) الشكل (14) احسب مقدار العزم الناتج عن هذه القوة :

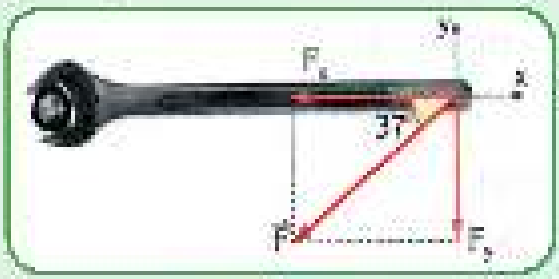
الحل :



الشكل (14)

حلل القوة $\vec{F}$ الى مركبتها (F_x) الموازية لذراع العزم و الأخرى (F_y) التي تعامد ذراع العزم ، العزم الناتج عن المركبة الأفقية (F_x) يساوي صفر لأنها تمر في نقطة الدوران و في محور الدوران فيكون :

ترجيه : صفر لان ذراع العزم = صفر اي ان : $\tau = F_x \times 0 = 0$

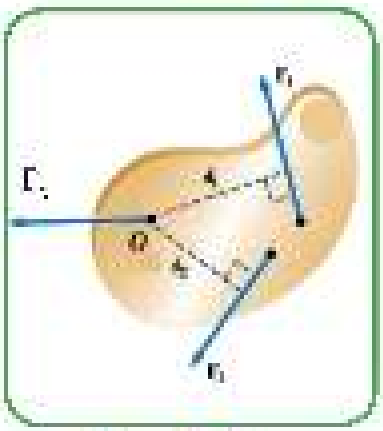


شكل (15)

بينما المركبة العمودية للقوة F_y تولد عزماً يحاول تدوير المفتاح باتجاه دوران عقارب الساعة اي ان :

$$\tau = F_y \cdot \ell = (F \sin\theta) \cdot \ell$$
$$\tau = 20 \times 0.6 \times 0.2 = 2.4 \text{ N.m}$$

6 - 4 صافي العزوم واتجاه الدوران :-

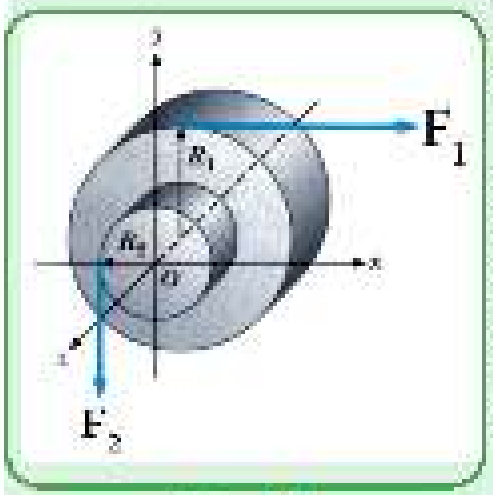


شكل (16)

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

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

مثال 3



شكل (17)

اسطوانة صمدة جاسئة يمكنها الدوران حول محور افقي (مهمل الاحتكاك) لف حبل حول محيطها الخارجي ذو نصف القطر (R_1) لاحظ الشكل (17) فانا سلطت القوة الافقية (F_1) التي تتجه نحو اليمين ، ولف حبل آخر حول محيطها الاصغر ذو نصف القطر R_2 وسلطت القوة (F_2) نحو الاسفل في طرف الحبل الثاني احسب : صافي العزوم المؤثرة في الاسطوانة حول المحور (z) اذا كانت $R_2 = 0.3m, F_2 = 6N, R_1 = 1m,$ $F_1 = 5N$.

الحل // عزم القوة (F_1) والذي هو τ_1 يكون سالباً لانه يحاول تدوير الاسطوانة باتجاه دوران عقارب الساعة $(\bigcirc)$ اي ان :

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

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

الاسطوانة باتجاه معاكس تدوران عقارب الساعة (ق) فإن :-

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

وان عطفي محصلة العزوم :-

$$\tau_{net} = \tau_2 + \tau_1$$

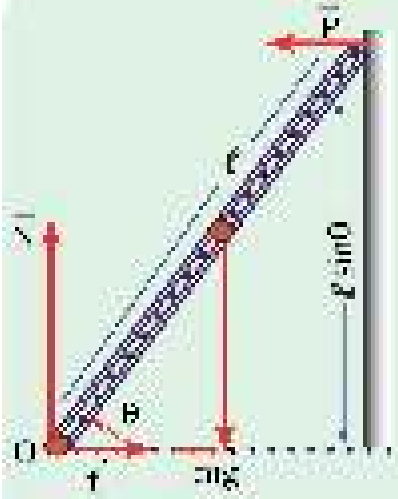
$$\sum \tau = R_2 F_2 - R_1 F_1$$

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

$$\sum \tau = -2 \text{ N . m}$$

بما ان اشارة عطفي العزوم سالبة فهذا يعني ان الاسطوانة تدور باتجاه دوران عقارب الساعة.

مثال 4 سلم منتظم طوله (L) وكتلته (m) يستند على جدار شاقولي املس لاحظ الشكل (18) وكان معامل الاحتكاك السكوني بين السلم و الأرض ($\mu_s = 0.4$) . جد اصغر زاوية θ بحيث لا ينحلق اتزان السلم .



شكل (18)

الحل /

من ملاحظتك لشكل (18) سلم في حالة سكون يستند على جدار شاقولي املس .. فهو في حالة اتزان تحت تأثير اربع قوى هي:

$\vec{P}$ = رد فعل الجدار على السلم

$\vec{N}$ = رد فعل الارض على السلم

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

mg = وزن السلم .

بما ان السلم في حالة اتزان سكوني نطبق الشرط الاول للاتزان .

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

$$\therefore P = f_s \text{ و } f_s = \mu_s N$$

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

$$\sum \vec{F}_y = 0 \Rightarrow N-mg=0$$

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

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 تطبق الشرط الثاني للاتزان وبأخذ النقطة (O) مركزاً للعزوم فنكون :

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

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

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

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

$$=1.25$$

$$\therefore \theta = 51^\circ$$

فيكون زاوية ميل السلم عن الأرض وهي أصغر قيمة لتزاوية من غير أن ينزلق السلم.

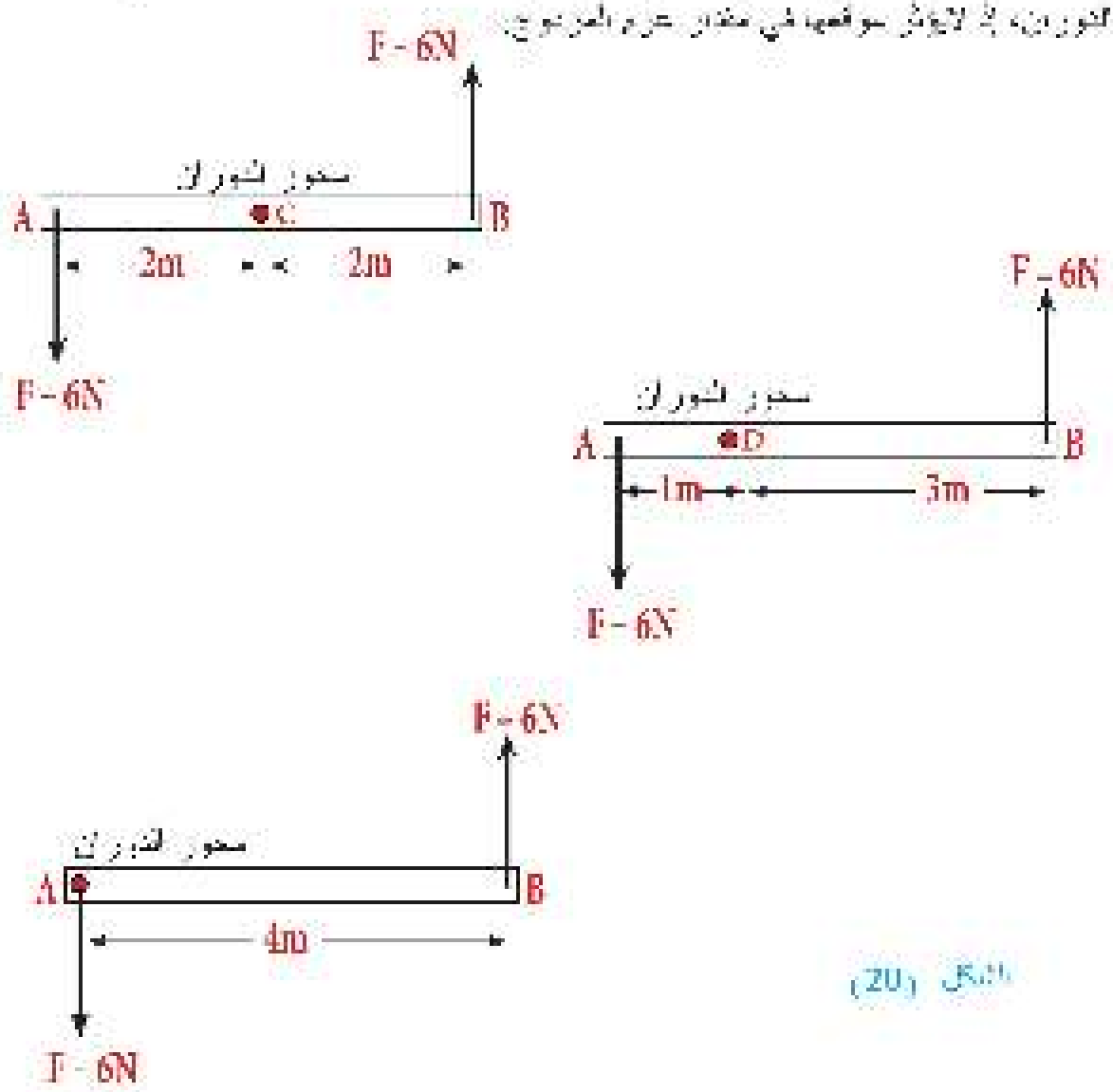
7 - 4 المزدوج Couple

عند تدوير مقود السيارة أو مقود الدراجة وصنبور الماء فإنك تسلط قوتين متساويتين بالمقدار ومتعاكستين بالاتجاه وغير واقعتين وتؤثران لهما خط فعل مشترك و تشكل هاتان القوتان مايسمى بالمزدوج لاحظ الشكل (19) وهناك العديد من التطبيقات الأخرى في الحياة العملية فمثلاً عندما تدير مفتاح الماء أو تستعمل مفتاح تغيير الإطارات .

الشكل (19)

ولحساب عزم المزدوج فإن عزوم القوى نأخذ حول أية نقطة تقع بين القوتين ثم نجمع عزميهما لأنهما يعملان على تدوير القرص في الاتجاه نفسه . و أبسط طريقة لحساب عزم المزدوج هي أن نضرب أحد القوتين في البعد العمودي بينهما.

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



الشكل (20)

ويمكننا حساب عزم المزدوج بالشكل (20) كما يأتي :

$\tau_{res} = \tau_1 + \tau_2$

فيكون عزم المزدوج = إحدى القوتين في البعد العمودي بينهما

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

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

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

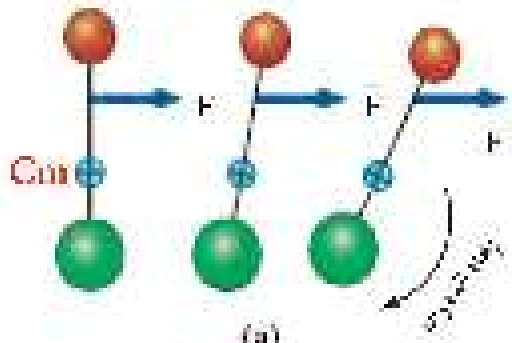
4 - 8 مركز الكتلة :

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

افرض ان منظومة من الجسيمات تتألف من زوج من الجسيمات موصولة مع بعضها بواسطة ساق خفيفة (مهملة الوزن) ومركز كتلة المنظومة يقع على الخط الواصل بين الجسيمين وهو اقرب الى الكتلة الاكبر مقدارا ، لاحظ الشكل (21) .

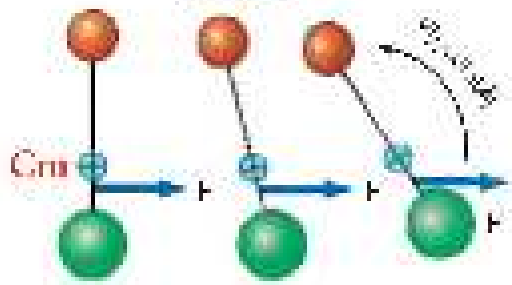
الشكل (21)

فاذا اثرت القوة ($\vec{F}$) في الساق عند نقطة تقع اقرب الى الكتلة الاصغر مقداراً : فان المنظومة ستدور باتجاه دوران عقارب الساعة بتاثير عزم تلك القوة ، لاحظ الشكل (21a) .



(a)
الشكل (21a)

واذا كان تاثير تلك القوة ($\vec{F}$) في نقطة هي اقرب الى الكتلة الاكبر مقداراً (مثلاً 21b) فان المنظومة ستدور باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة .

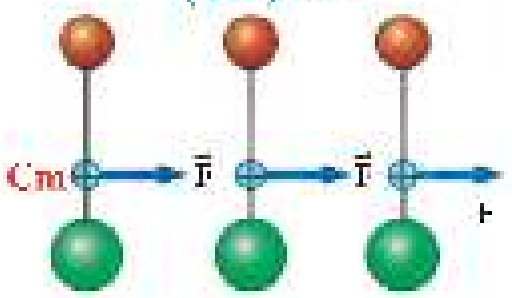


(b)
الشكل (21b)

اما اذا اثرت القوة ($\vec{F}$) في مركز الكتلة للمنظومة (Cm) فان هذه الحالة ستتحرك المنظومة بتعجيل :-

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

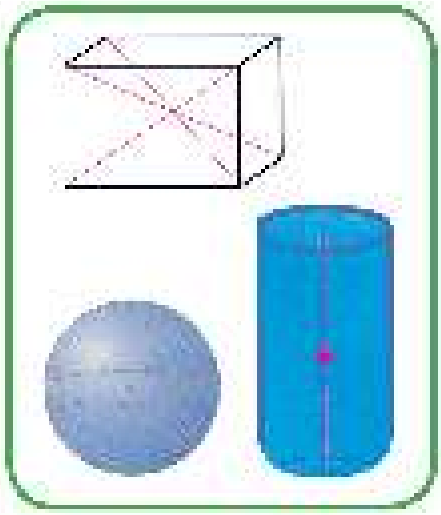
كما في الشكل (21c) وهذا يماثل كما لو ان صافي القوة الخارجية تؤثر في جسم منفرد كتلته (m) متمركزة في تلك النقطة وهي مركز كتلة المنظومة



(c)
الشكل (21c)

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

واذا كان الجسم غير متجانس و غير متناظر فان مركز كتلته يقع عند نقطة هي اقرب الى الجزء الاكبر كتلة



الشكل (22)

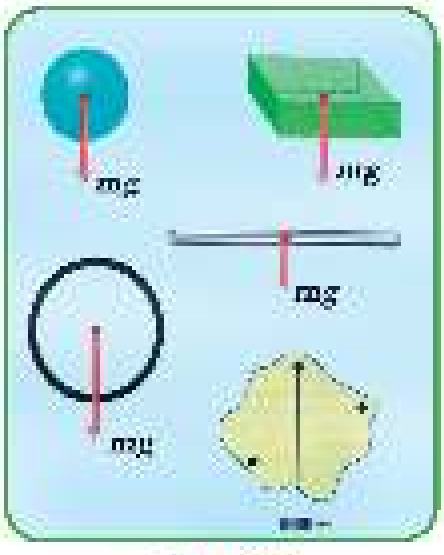
هل تعلم ؟

اذا قذفت معلقة في الهواء فانك تلاحظ ان المعلقة تدور في مسارها حول نقطة معينة هي مركز كتلتها (cm) ويكون مسار تلك النقطة شكل قطع مكافئ وهو مسار الجسم المقذوف تقريبا لاحظ الشكل (23) .

الشكل (23)

4 - 2 مركز الثقل Center of gravity

في معظم مسائل الاجسام الجسئة المتزنة تكون احدى القوى المؤثرة في الجسم هي قوة الجاذبية المؤثرة فيه وهي وزن الجسم وتمثل بسهم يتجه شاقولياً نحو الاسفل (نحو مركز الارض) ولحساب عزم قوة الجاذبية علك نعرض ان الوزن الكلي لتجسيمات الصغيرة تجتمع في نقطة واحدة تسمى مركز الثقل Center of gravity ويرمز لها بـ (G_w) لاحظ الشكل (24) .



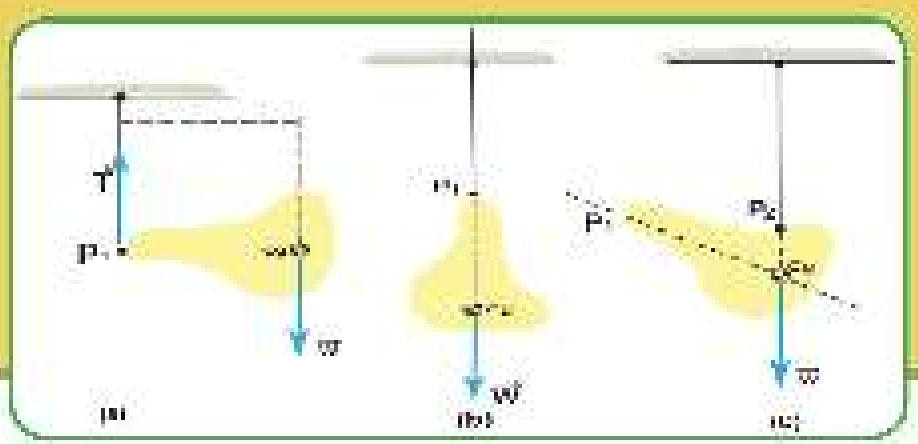
الشكل (24)

يُعرف مركز ثقل الجسم بأنه تلك النقطة التي إذا علق منها الجسم في أي وضع كان فإن الجسم لايحدث له دوران 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 يتأثر عندها ان كل وزن الجسم متجمع فيها .
- مركز كتلة الجسم هو نقطة في الجسم التي لو كان خط فعل القوة المؤثرة في الجسم إذا استقام يمر فيها فان تلك القوة لا تسبب دوران الجسم .



أسئلة الفصل الرابع

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 .

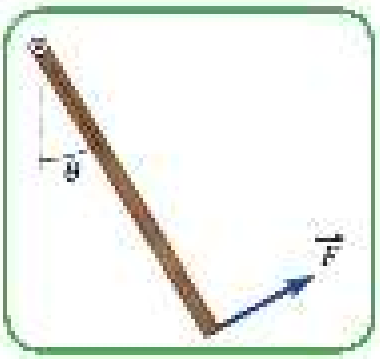
c) $(\vec{F}/2)$ للأسفل . d) صفراً .

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

a) يدور . b) يبقى ساكناً.

c) يتحرك انتقالياً . d) يتحرك حركة اهتزازية .

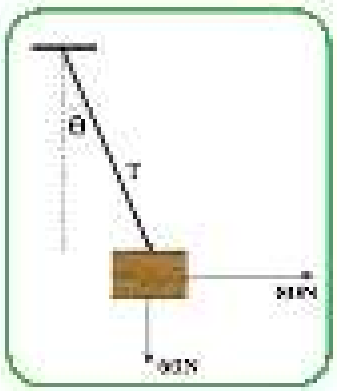
6 - عتلة متجانسة كتلتها (m) ، لاحظ الشكل المجاور) معلقة من الأعلى عند النقطة (o) وتتحرك هذه العتلة بحرية كالبندول اذا أثرت فيها قوة $\vec{F}$ عمودياً على العتلة ومن طرفها السفلي ، فان اعظم قوة مقدارها F تجعل العتلة متزنة بزاوية مع الشاقول تساوي:



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

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

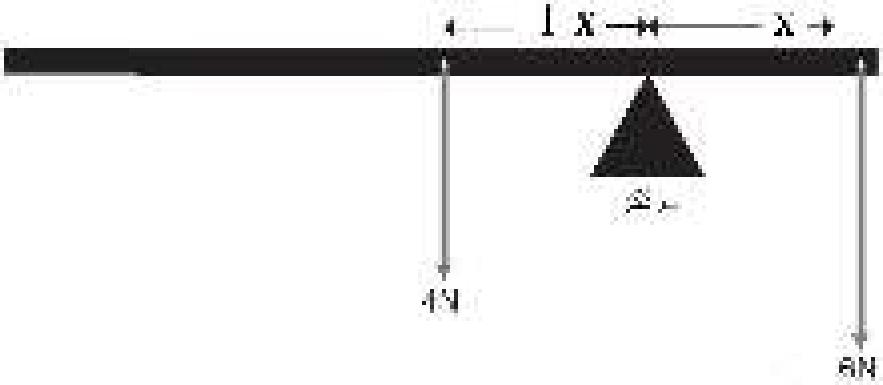
7 - صندوق وزنه (60N) معلق بواسطة حبل في سقف رأسي لاحظ الشكل المجاور ، فاذا اثرت عليه قوة افقية مقدارها (80N) فسوف يصنع الحبل مع الشاقول زاوية قياسها :



a) 37° b) 45°

c) 60° d) 53°

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



a) 0.2m

b) 0.4m

c) 0.6m

d) 0.8m

ت1: ما مقدار القوة $\vec{F}$ التي يجب أن يؤثر بها العامل في الحقة كي يستطيع رفع ثقل كتلته (20kg) المبين في الشكل المجاور .

ت2: صباغ وزنه يقف فوق لوح متجانس يتزن أفقيا كما مبين في الشكل المجاور ، وهو معلق من طرفيه بحبلين قوة الشد فيهما $\vec{T}_1$ و $\vec{T}_2$ ومقدار كتلة الصباغ (75kg) وكتلة اللوح (20kg) . فإذا كانت المسافة من الطرف الأيسر للوح التي موضع وقوف الصباغ هي ($d = 2m$) ، وزن المتر الطولي للوح (3m) أوجد :

a) مقدار القوة $\vec{T}_1$ المؤثرة بواسطة الحبل الأيسر في اللوح

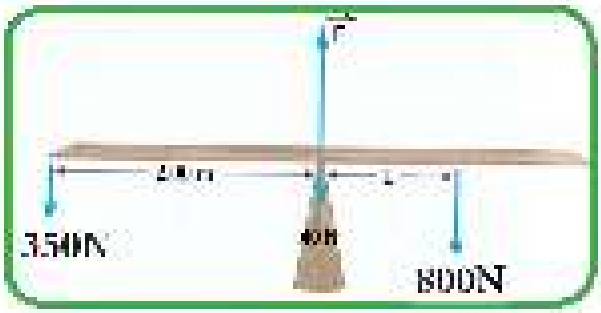
b) مقدار القوة $\vec{T}_2$ المؤثرة بواسطة الحبل الأيمن في اللوح .

ت3: يقف صباغ على ارتفاع (3m) من الأرض فوق سلم متجانس 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 الأخر للسلم .

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

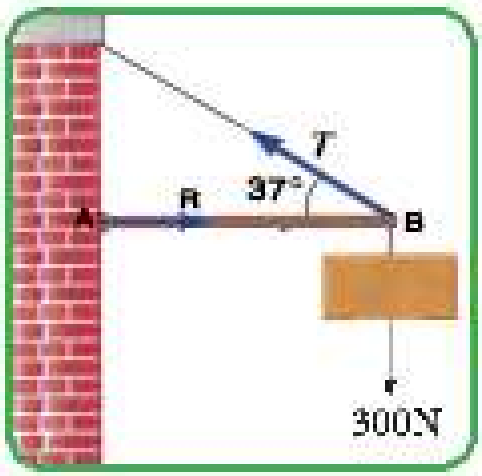
a) القوة العمودية F_1 التي تؤثر بها الدعامة في اللوح.

b) البعد L المبين في الشكل، حتى يتزن اللوح الخفيف.

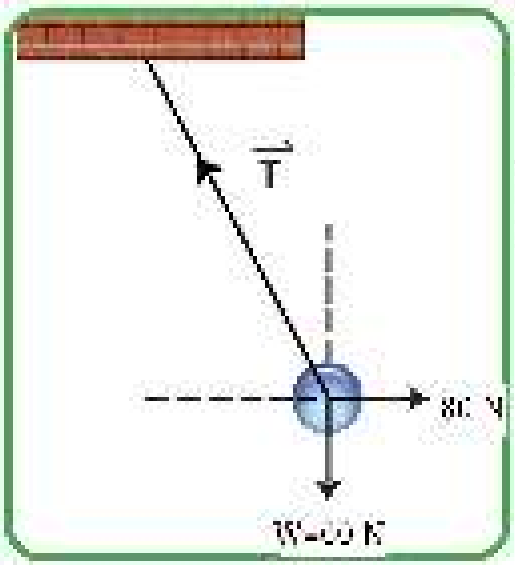


س5: لوح خفي منتظم الوزن طوله (6m) يبرز من جدار بشاقولي، طرفه الساكن مربوط بحبل إلى جدار ويصنع زاوية (37°) مع الأفق، كما مبين في الشكل المجاور. علق في طرفه الساكن ثقل مقداره (300N) ما مقدار: a) الشد T في حبل الربط.

b) رد فعل الجدار R على اللوح



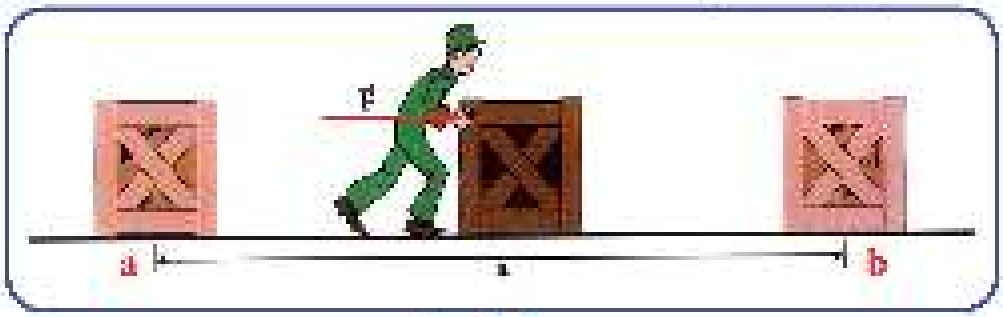
س6: أثرت قوة أفقية مقدارها (80N) في جسم كتلته (6kg) معلق بواسطة حبل: لاحظ الشكل المجاور: ما مقدار واتجاه قوة الشد (T) التي يؤثر بها الحبل على الجسم المعلق بنقطة في حالة اتزان ستكوني؟ افرض (g 10N/kg).



5 - 1 مفهوم الشغل :-

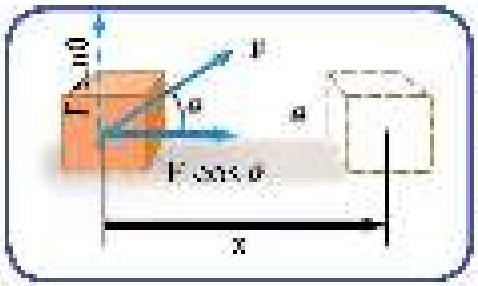
كلنا يستعمل كلمة الشغل ، لكن ماذا نعني عندما نقول ؟

حيث يختلف كلمة الشغل والمعنى العلمي فكل مجهود عضلي يقوم به الانسان يسمى بالمعنى الفيزيائي فلا يتم وجود قوة تؤثر في جسم وتقطع هذا الجسم ازاحة فإننا نقول ان تلك القوة قد انجزت شغل حيث نفترض ان القوة $\vec{F}$ أثرت في صندوق واستطاعت تحريكه من a الى b ازاحة قدرها $\vec{x}$ كما مبين في الشكل (1) فانها تكون قد بذلت شغلا عليه .



الشكل (1)

اما 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 سئلنا اي المركبتين حركت الجسم؟ وليهما انجزت شغل ؟ للاجابة على هذا السؤال لاحظ الشكل (2) إذ نجد ان مركبة القوة باتجاه ازاحة الجسم هي وحدها التي انجزت شغل . وبذلك يصبح تعريف الشغل (W) على النحو الاتي :



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 .

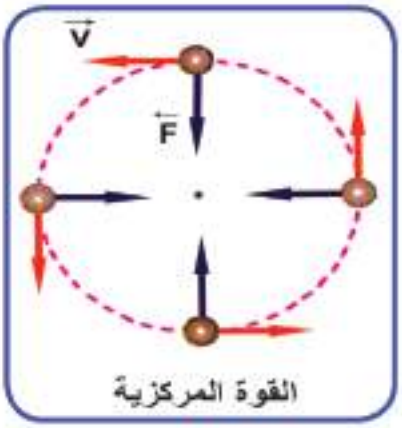
$\vec{x}$: متجه الازاحة .

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.

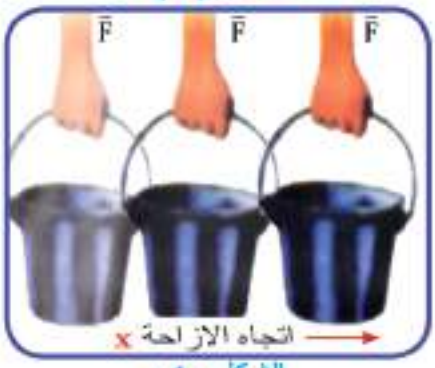
وتعتمد اشارة الشغل على الزاوية θ بين متجهي القوة والازاحة فقط وذلك لان مقدار كل من $(\vec{F})$ ، $(\vec{x})$ موجب دائما .

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

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.

الشكل (7)

الحل /

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

$$W = F \times \cos\theta$$

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

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

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

يبين الشكل (8a) رافع الاثقال الذي 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 .

الشكل (8a)

الشكل (8b)

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 بالعلاقة :

$W = F \times \cos\theta$

$W = (710N)(0.65)\cos 0°$

$\cos 0° = 1$

$W = 460$ Joule

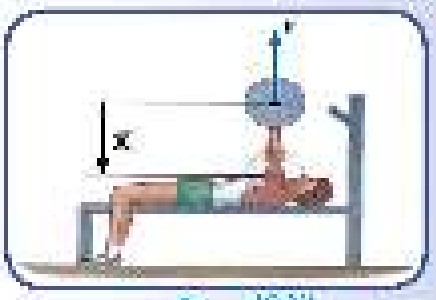
b) في حالة خفض الاثقال الشكل (8c) ، فان الشغل بواسطة القوة F يعطى بـ :

$W = F \times \cos\theta$

$W = (710N)(0.65)\cos 180°$

$\cos 180° = -1$ أي أن

$W = -460$ J

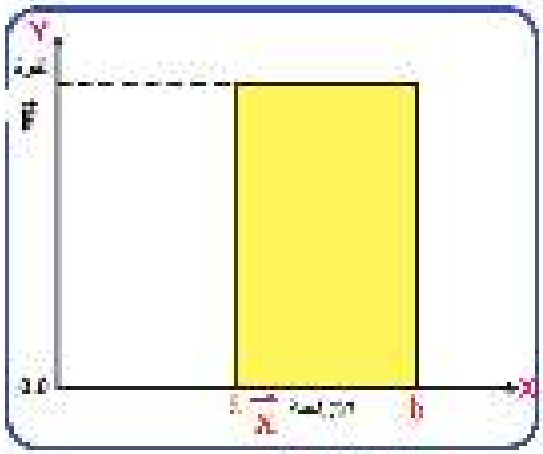


الشكل (8c)

ومن هذا نجد أن الشغل سالب في هذه الحالة لان اتجاه القوة معاكس لاتجاه الازاحة من حين كان الشغل في حالة رفع الاثقال موجباً لان اتجاه القوة يوافق اتجاه الازاحة .

2 التمثيل البياني للشغل :-

إذا تم ازاحة جسم نقطة بتأثير قوة ثابتة، فانه يمكن تمثيل العلاقة بين القوة والازاحة بيانيا ، كما في الشكل (9) إذ يمثل المحور الافقي (x) الازاحة الحاصلة $(\vec{x})$ والمحور العمودي (Y) يمثل القوة $(\vec{F})$ حيث كانت القوة ثابتة وتم تكرار .



الشكل (9)

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

المساحة تحت المنحنى = الشغل

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

فيما تكمن أهمية تعريفنا للشغل الذي يبذله قوة ثابتة واحدة في جسم ، فماذا لو أثرت في الجسم قوى عدة ؟

في مثل هذه الحالة نقوم بتحليل كل قوة الى مركبتيها ثم نحسب شغل مركبة 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 ؟

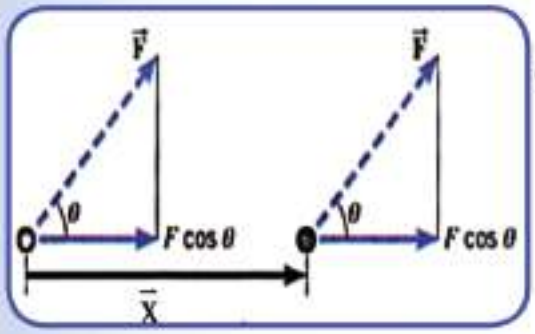
الشكل (10a)

الحل /

من الشكل (10a) نلاحظ ان قوة الاحتكاك f_k تساوي 20N والمركبة الافقية لقوة الشد تساوي $F\cos 37^0$.

وبما ان الصندوق يتحرك بسرعة ثابتة

فان محصلة القوى الافقية المؤثرة فيه تساوي صفرا $\sum \vec{F}_x = 0$ (حسب القانون الاول لنيوتن) وبالتالي



الشكل (10b)

فان الشغل الكلي المبذول يساوي صفرا ، اي ان :

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

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

$$F\cos 37^o = 20N$$

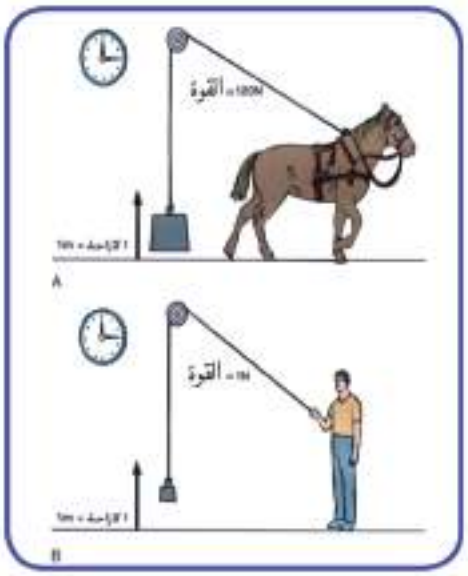
$$F \times 0.8 = 20N$$

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

الشغل المبذول بوساطة قوة الشد F هو W_1 :

$$W_1 = F\cos 37^o \times 5 = 100\,J$$

3 - 5 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 و الرجل 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 :

$$\text{Power (Watt)} = \text{Work(Joule)} / \text{Time(s)}$$

$$P = W / t$$

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

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

$$1 \text{horse power (hp)} = 746 \text{ watt}$$

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 :-

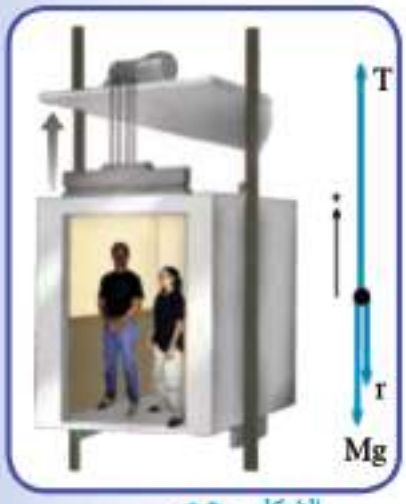
$$P_{inst.} = \vec{F} . \vec{\upsilon}_{inst.}$$

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

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 :-

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

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

$$F = 20300 / 0.7 = 29000\ N$$ قوة الشد

4 - 5 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 .

a الطاقة الحركية Kinetic Energy

تمتلك الاجسام المتحركة القابلية على انجاز شغل . اي انها تمتلك طاقة . وتسمى الطاقة التي يمتلكها جسم متحرك بالطاقة الحركية ، والامثلة عليها كثيرة منها : كرة تسقط باتجاه الارض وسيارة متحركة ، الرياح المتحركة ، وشخص يركض . . . الخ .

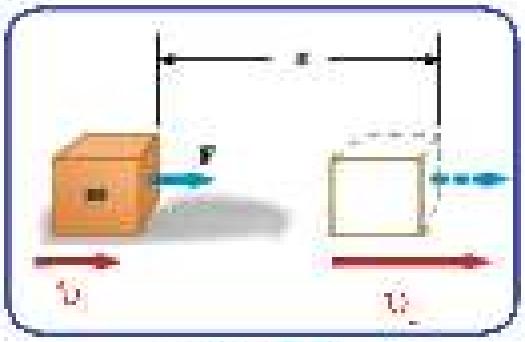
ولكن الاجسام تتفاوت في طاقتها الحركية .

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



الشكل (13)

مسلكم ، اثرت فيه محصلة قوة خارجية $\vec{F}$ فتغيرت سرعته من $\vec{v_i}$ الى السرعة v_f وتحرك الازاحة $\vec{x}$ لاحظ الشكل (13) .

فان الشغل المنجز على الجسم يكون $W = \vec{F} \cdot \vec{x}$

وطبقا لقانون الثاني لنيوتن فان :

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \qquad W = ma \cdot x$$

ومن معادلة الحركة بتعجيل ثابت فان ،

$$v_f^2 = v_i^2 + 2ax \rightarrow x = (v_f^2 - v_i^2) / 2a$$

واذا عوضت في المعادلة $W = \vec{F} \cdot \vec{x}$ نحصل على

$$W = ma(v_f^2 - v_i^2) / 2a$$

$$W = \frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

$$W = \frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

$$W = KE_f - KE_i = \Delta KE$$

وهذا يعني ان الشغل الذي تجريه محصلة قوى خارجية تؤثر في الجسم يسبب التغير في طاقته الحركية ΔKE . مع ملاحظة ان محصلة القوى تكون موجبة اذا كانت باتجاه الحركة وسالبة اذا كانت معاكسة لاتجاه الحركة .

اذ نستطيع القول ان الجسم الذي كتلته m ويتحرك بسرعة v فانه يمتلك طاقة حركية (KE) تعطى بالعلاقة الاتية :

$$\text{Kinetic Energy (KE)} = (1/2)\ \text{mass (m)}\ (\text{velocity } (\upsilon))^2$$

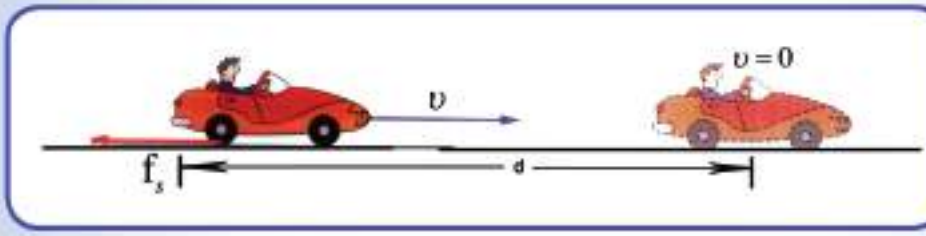
$$KE = (1/2)\, m\upsilon^2$$

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 مايأتي :

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)

$$\Delta KE = f_s x \cos\theta$$

$$\theta = 180^\circ, \cos(180)^\circ = -1$$

$$KE = f_s x \cos 180$$

$$400000 = f_s \times 100 \times (-1)$$

$$f_s = -400000 / -100$$

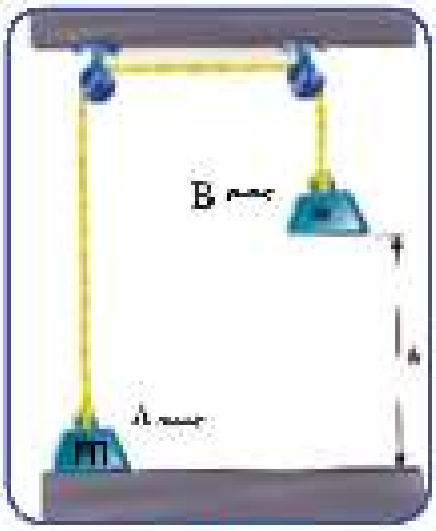
$$= 4000\ N$$ (قوة الاحتكاك)

b- الطاقة الكامنة Potential Energy

عند دراستنا السابقة لاحظنا بعض الاجسام يمكن ان تبذل شغلا بفعل حركتها لكن هناك اجسام اخرى تستطيع ان تبذل شغلا بسبب كمية الطاقة المخزونة في الجسم , فما المقصود بالطاقة الكامنة (المخزونة)؟ الطاقة الكامنة هي كمية الطاقة المخزونة في الجسم التي يمكن ان تنجز شغلا متى ما اريد لها ذلك . تقسم على النحو التالي :

الطاقة الكامنة الثقالية Gravitational Potential Energy

وهي الطاقة التي يكتسبها الجسم بسبب قوى الجاذبية فمثلا النظام المبين في الشكل (15) يمثل بكرتين مهملتين الاحتكاك والوزن تحملان جسمين متساويين بالكتلة , تذكر ان وزن كلا منهما mg فاذا دفع الجسم B دفعة صغيرة الى الاسفل فانه سوف يبدأ بالسقوط بتأثير الارض بعجلة ثابتة المقدار , سوف يبدأ الجسم A في الارتفاع الى الاعلى في الوقت نفسه الذي يقل فيه الجسم B الى الاسفل , فاذا كان الجسم B مثلا 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 بعجلة ثابتة المقدار ؟ بما ان الشد في الحبل يساوي وزن الجسم A وهو mg فان الشغل المبذول بوساطة الحبل هنا لتعريف الشغل :



الشكل (15)

$$W = mg \cdot h$$

ان الجسم B يمنح الجسم A الى الاعلى شغلا مقداره mg . h ، اذن h هي المسافة التي يقطعها الجسم B ، اذا فان الجسم A يكتسب مقدارا من الطاقة يساوي الشغل المبذول عليه، اي ان الجسم A في موضعه الجديد يختزن طاقة , لان الجسم اكتسب هذه الطاقة عندما رفع الى

أعلى عند الجاذبية: هي الطاقة التي يختزنها الجسم.

, الطاقة الكامنة الثقالية , (طاقة الوضع) وتساوي الشغل الذي يؤثر على الجسم عند الجاذبية , أي أن الطاقة الكامنة الثقالية , GPE , تعطى بالعلاقة الآتية :

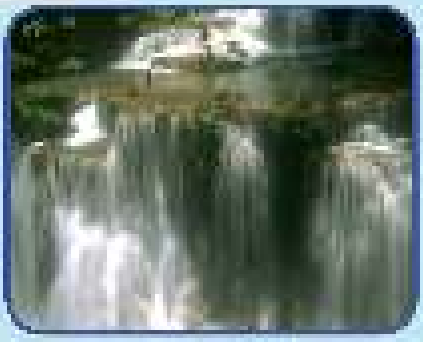
Gravetational Potential Energy , GPE ,

mass , m) × gravity acceleration (g) × vertical hight (h ,

$$GPE = m \times g \times h$$

وتقاس الطاقة الكامنة الثقالية في النظام الدولي بوحدات الشغل نفسها وهي الجول Joule، إذ تقدر الطاقة الكامنة الثقالية بالنسبة لجسم معين بحاصل ضرب وزن الجسم بالارتفاع الشاقولي.

هل تعلم ؟



إن مياه الشلالات تمتلك طاقة كامنة من جراء وضعها المرتفع إذ عند سقوطها إلى مستواها الأصلي تستطيع إنجاز شغل يحرك توربينا فتولد الكهربائية وتشغل المولدات.

الشكل (16)

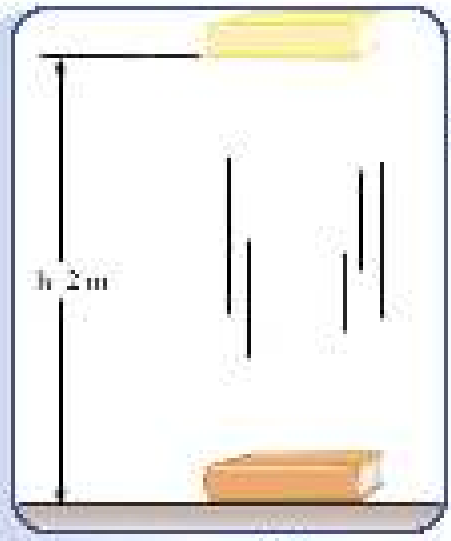
مثال 6

احسب التغير في الطاقة الكامنة الثقالية في سجل الجاذبية الأرضية لكتاب كتلته 3kg عند سطح الأرض وعلى ارتفاع 2m عن سطح الأرض.

اعتبر أن $g = 10m/s^2$

الحل :

نختار مستوى الإسناد الذي عنده الطاقة الكامنة الثقالية تساوي صفرا وليكن سطح الأرض أي عند $h = 0$ ثم نحسب الطاقة الكامنة في الوضعين المختارين :



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:

$$\Delta GPE = GPE_2 - GPE$$
$$= 60 - 0$$
$$= 60J$$

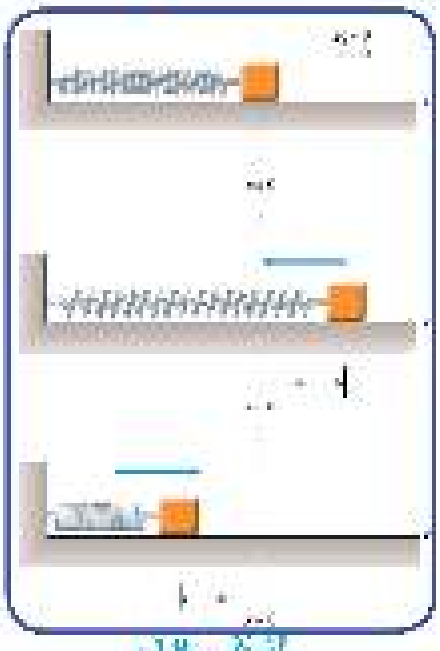
سؤال

أعد حل المثال السابق على افتراض أن مستوى الإسناد على ارتفاع 2m وأثبت أن التغير في الطاقة الكامنة المتلقية يساوي القيمة نفسها (60J) وبذلك تحقق من أن التغير في الطاقة الكامنة لا يعتمد على اختيار مستوى الإسناد .

الطاقة الكامنة المرونية Elastic Potential Energy

من الأمثلة المهمة على شغل تنجزه قوى متغيرة المقدار الشغل الذي تنجزه قوة النابض . ويبين الشكل نابضاً مهملاً الكتلة موضوعاً على سطح أفقي أملس (مهمل الاحتكاك) ، ومثبت 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 عن النابض تسمى القوة الخارجية مقدارها ونعاكسها اتجاهاً .

وأن الطاقة الكامنة المرونية (EPE_s) في هذه الحالة تعرف بالعلاقة الآتية :



الشكل (18)

Elastic potential Energy (EPE) = 1/2 [spring constant (K)] × (change in spring's length) (x^2)
$EPE = \frac{1}{2} Kx^2$

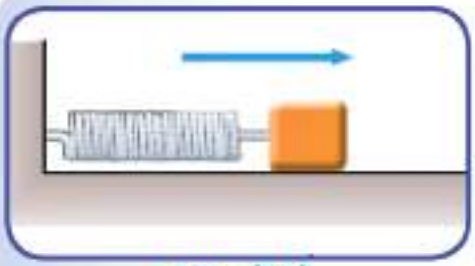
اذ ان :

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)

$$\Delta EPE = \Delta KE$$

$$\frac{1}{2} Kx^2 = \frac{1}{2} mv^2$$

$$\frac{1}{2} (200)(0.2)^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times v^2$$

$$v^2 = 4$$

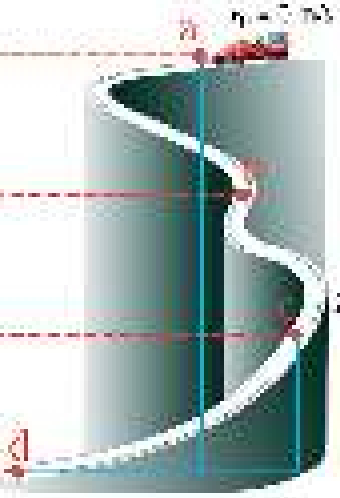
$v = 2m/s$ انطلاق الجسم

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 لجسم 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 نقطة معينة في أثناء نزوله بانعدام مقاومة الهواء والاحتكاك، ثم أجب عن الأسئلة التالية :

KE	PE	T. KE+PE
0 J	800 000 J	800 000 J
200 000 J	600 000 J	800 000 J
600 000 J	200 000 J	800 000 J
800 000 J	0 J	800 000 J



الشكل (20)

1 عند أي نقطة تكون الطاقة الكامنة قيمة عظمى ؟ ولماذا ؟

2 عند أي نقطة تكون الطاقة 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)
$E_{mech} = PE + KE$

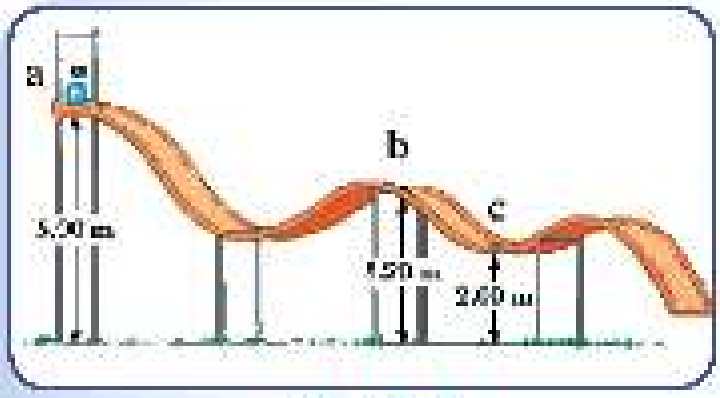
ويسمى مجموع الطاقة الكامنة والطاقة الحركية لنظام محافظ في موقع ما : بالطاقة الميكانيكية (E_{mech}) أي أن :

الطاقة الميكانيكية في الموقع الابتدائي = الطاقة الميكانيكية في الموقع النهائي

$(KE_1 + PE_1)$ $(KE_2 + PE_2)$

ونسمي العلاقة أعلاه (قانون حفظ الطاقة الميكانيكية) .

مثال 8 إذا تحرك كرة كتلتها 5kg من السكون من النقطة a على مسار سهل الانكسار كما في الشكل (21) أحسب سرعة الكرة عند النقطتين b , c علماً أن التسارع الأرضي يساوي $10m/s^2$.



الشكل (21)

الحل

نختار أولاً مستوى مرجعياً للأرض عند الطاقة الكامنة في مجال الجاذبية يساوي صفراً ، ونأخذ مستوى سطح الأرض . ولحساب سرعة الكرة عند النقطة b ، نطبق قانون حفظ الطاقة الميكانيكية بين الموقعين b , a .

الطاقة الميكانيكية في الموقع الابتدائي = الطاقة الميكانيكية في الموقع النهائي

$$KE_1 + PE_1 \quad KE_2 + PE_2$$

$$(1/2)\,m v_a^2 + (m g h)_a = (1/2)\,m v_b^2 + (m g h)_b$$

$$(1/2)(5)\,v_b^2 - 5 \times 10 \times 3.2 = 0 + 5 \times 10 \times 5$$

$$2.5 v_b^2 + 160 - 250 \rightarrow v_b^2 = 36 \quad \rightarrow v_b = 6\ m/s$$

سرعة الكرة عند الموقع b تساوي 6 m/s أما السرعة عند النقطة C فنحسبها بتطبيق قانون حفظ الطاقة بين الموقعين C , b

$$KE_b + PE_b = KE_c + PE_c$$

$$(1/2)\,m v_b^2 + (m g h)_b = (1/2)\,m v_c^2 + (m g h)_c$$

$$(1/2)(5) \times v_b^2 + 5 \times 10 \times 2 = (1/2)(5) \times (6)^2 + 5 \times 10 \times 3.2$$

$$v_c = 7.746\ m/s$$

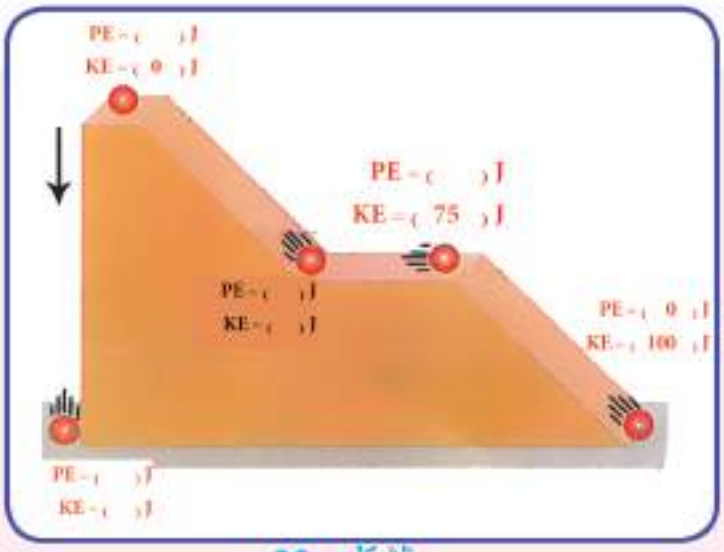
سرعة الكرة عند النقطة C

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)

6 - 5 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 Nonconserative forces $(W)_{nc}$	=	Change in the Mechanical energy of the system $(E_f - E_i)$
$W_{nc} = E_f - E_i$		

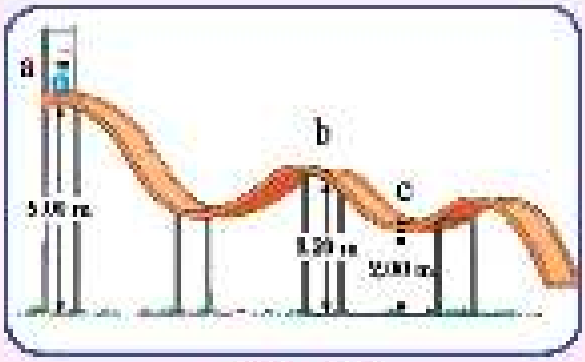
إذ أن (W_{nc}) هي شغل القوى غير المحافظة فاذا كان شغل القوى غير المحافظة سالبا، كما هو الحال في قوى الاحتكاك ومقاومة الهواء، فان ذلك يسبب نقصانا في الطاقة الميكانيكية للنظام اما اذا كانت القوى غير المحافظة تبذل شغلا موجبا، كما هو الحال عند استعمال المحركات والالات تحصل زيادة في الطاقة الميكانيكية للنظام .

سؤال

تزلقت كرة كتلتها 5kg من السكون عند النقطة (a) على المسار المنحني كما مبين في الشكل (23) إذا علمت ان المسار مصقول الاحتكاك في الجزء من (a) الى (b) وخشن من (b) الى (c) جد مايلي :-

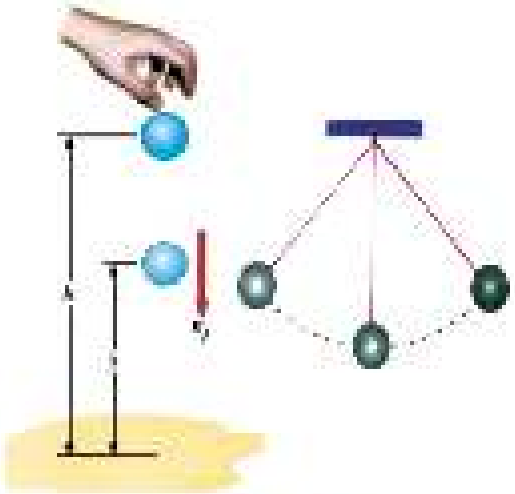
1- سرعة الكرة عند النقطة (b) .

2- قوة الاحتكاك التي تتعرض لها الكرة في الجزء من (b) الى (c) ، اذا علمت انها توقفت عند النقطة (c) بعد قطعها مسافة 10m من النقطة (b) .



شكل (23)

5 7 قانون حفظ الطاقة :-



شكل (24)

3 - 8 الزخم الخطي والدفع Linear Momentum and Impulse

تسمى الكمية الناتجة عن حاصل ضرب كتلة الجسم و سرعته ، الزخم الخطي و يعرف له بالعلاقة الاتية:

Linear Momentum ($\vec{P}$) = Mass (m) · Velocity ($\vec{v}$)
$\vec{P} = m\vec{v}$

و الزخم: هو كمية متجه تكون موجه باتجاه سرعة الجسم وقد اطلق 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 جسما متحركا كتلته m وتؤثر فيه قوة F لمدة زمنية معينة فتغير سرعته من $\vec{u}_i$ الى $\vec{u}_f$ كما في الشكل (25) .

الشكل (25)

ولما كان :-

$$\vec{a} = (\vec{u}_f - \vec{u}_i)/t$$

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

$$\vec{F} = m(\vec{u}_f - \vec{u}_i)/t$$

$$\vec{F}t = m\vec{u}_f - m\vec{u}_i$$

$(\vec{F} \times t)$ يمثل كمية فيزيائية تسمى دفع القوة وبعد 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، ومنها 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) change in Momentum P = Final Momentum p_f – intial Momentum P_i

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

$$\Delta P = 48 \times 10^3 - 24 \times 10^3$$

التغير في الزخم جنوباً $\Delta P = 24 \times 10^3\ kg.m/s$

مثال 10

اصطدمت سيارة كتلتها 1200kg و مقدار سرعتها 20m / s بشجرة وتوقفت بعد ان قطعت مسافة 1.5m بزمن قدره 0.15s جد مقدار القوة المتوسطة في إيقاف الشجرة للسيارة ؟

الشكل (25)

الحل/

$$\text{impulse } (\vec{Ft}) = \text{change in momentum } (\vec{P})$$

$$\vec{F}.t = m\,(\vec{\upsilon}_f - \vec{\upsilon}_i)$$

$\upsilon_i = 20\ m/s$ 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)

يجب مصممو السيارات الى التقليل من اثار الحوادث على ركابها وذلك بجعل مدة تاثير القوة المؤثرة في الاجسام المرجودة فيها طويلة نسبيا. وتعمل الوسادة الهوائية (airbag) لاحظ الشكل(26) على تقليل تاثير القوة في الاجسام اثناء التصادم فتزداد المدة الزمنية اللازمة لايقاف جسم السائق والتكاتف عن الحركة.

3 - 9 حفظ الزخم الخطي Conservation of linear Momentum

لقد عرفنا ان التغير في زخم نظام ما يساوي النبض الذي يتولد بفعل محصلة القوى الخارجية في هذا النظام . فاذا كانت محصلة القوى الخارجية تساوي صفراً ، بمعنى ان النظام معزول ميكانيكياً فيمكننا كتابة معادلة الزخم الخطي والدفع كما يلي :

$$\text{impulse } \sum \vec{F}t = \text{change in momentum } \vec{P}$$

اي ان الزخم قبل التصادم $(m\vec{v}_i)$ = الزخم بعد التصادم $(m\vec{v}_f)$

اذن :

$$\sum \vec{F}t = m'\vec{v} - m\vec{v}$$

m' – الكتلة بعد التصادم

m الكتلة قبل التصادم

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

$$0=m'\vec{v} - m\vec{v}_i$$

$$m'\vec{v} = m\vec{v}_i$$

نسمى المعادلة اعلاه قانون (حفظ الزخم الخطي) ويمكن القول :

اذا كانت محصلة القوى المؤثرة في النظام تساوي صفرا
فان الزخم الخطي الكلي للنظام يبقى محفوظا .

مثال 11

شاحنة كتلتها $3 \times 10^4 kg$ متحركة بسرعة $10m/s$ تصادمت مع سيارة كتلتها $1200kg$ تتحرك في الاتجاه المضاد بسرعة $25m/s$ فالتصقت السيارتين بعد التصادم بأية سرعة تتحرك المجموعة ؟

الحل// نفرض أن سرعة المجموعة بعد التصادم = $\vec{v}_{بعد}$

وأن كتلة المجموعة = $m_1 + m_2$

أي أن كلي قبل التصادم = أي كلي بعد التصادم

كمية الشاحنة $(m_1 v_1)$ + كمية السيارة $(m_2 v_2)$ = كمية المجموعة $(m_1 + m_2) v_{بعد}$

$$m_1 \times v_1 - m_2 \times v_2 = (m_1 - m_2) \times v_{بعد}$$

$$3 \times 10^4 (10) + 1200(-25) = (30000 - 1200) \times v_{بعد}$$

أن سرعة السيارة بالنزع لأنها تعكس اتجاه حركة الشاحنة

$$v_{بعد} = (300000 - 30000) \div 31200$$

$$= 270000 \div 31200 = 8.65 \, m/s$$

مقدار سرعة المجموعة بعد التصادم مباشرة

أنواع التصادمات Types of Collisions

هناك ثلاثة أنواع من التصادمات هي :-

-1 التصادم المرن تماماً Perfectly Elastic Collision

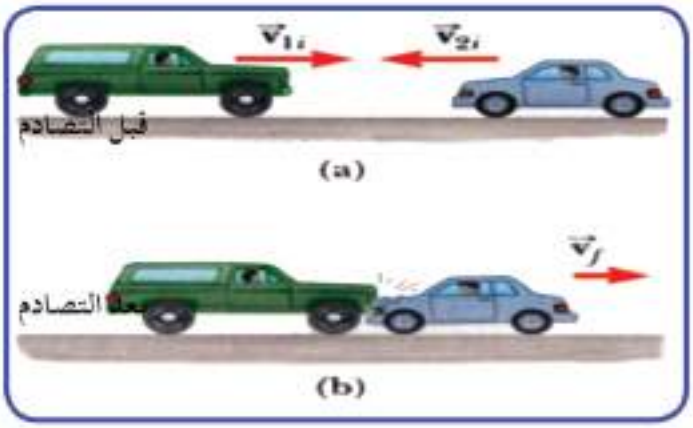
وهو التصادم الذي يتميز بأن طاقته الحركية قبل التصادم تساوي الطاقة الحركية له بعد التصادم أي أن :

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) .

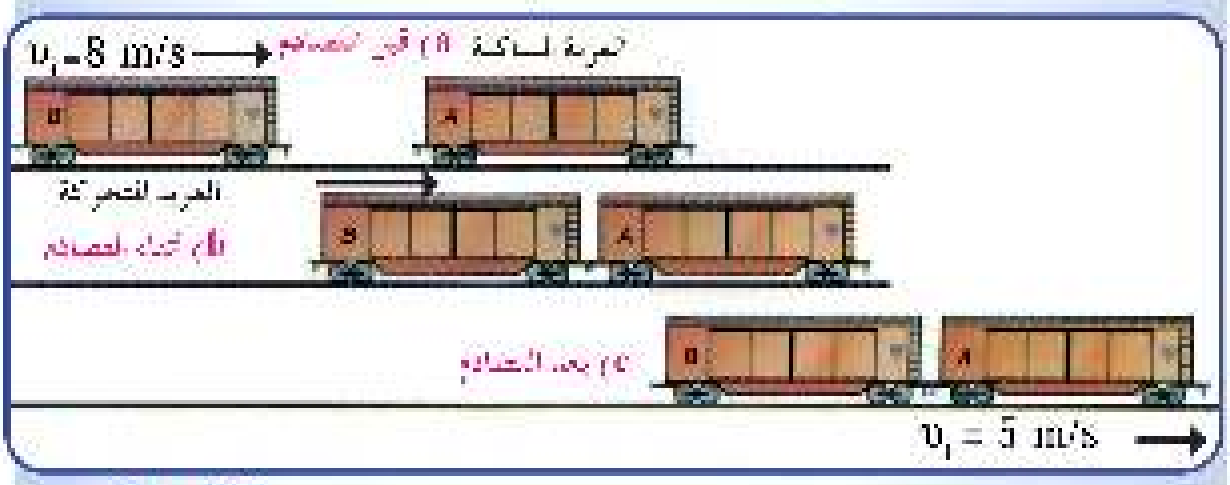
الشكل (30)

تذكر :

- الزخم الخطي للنظام محفوظا مهما كان نوع التصادم .
- تصنف التصادمات تبعا للتغير الحادث في الطاقة الحركية للنظام .

مثال 12

في الشكل (31) اصطدمت عربة سكة كتلتها $1.5\times10^4\ kg$ ، وتتحرك معا بالاتجاه نفسه بسرعة $3\ m/s$ ، احسب التغير في الطاقة الحركية للنظام .



الشكل (31)

الحل :

الطاقة الحركية بعد التصادم = KE_f

الطاقة الحركية قبل التصادم = KE_i

التغير في الطاقة الحركية = الطاقة الحركية بعد التصادم − الطاقة الحركية قبل التصادم

ΔKE ، KE_f ، KE_i

$KE_i = 1/2\ m_1 v_i^2 - 1/2\ m_2 \times v_i^2$

$KE_i = 1/2 \times 2.5 \times 10^4 \times 8^2 - 0$

$KE_i = 80 \times 10^4\ J$ الطاقة الحركية قبل التصادم

$KE_f = 1/2\ (m_1 + m_2)\ v^2_{final}$ تعني السرعة النهائية للعربتين المتحركتين

$KE_f = 1/2\ (2.5\times10^4 + 1.5\times10^4)(3)^2$

$KE_f = 1/2\ (4\times10^4)\times3^2$

$KE_f = 50\times10^4\ J$ 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 ؟

ت3 :

ندفع صندوق كتلته 80kg مسافة 3.5m الى أعلى مستوى مائل ،نفترض انه مهمل الاحتكاك ،يميل بزاوية قدرها 37° بالنسبة للأفق . ما مقدار الشغل المنجز في دفع صندوق الشحن؟

نفرض ان صندوق الشحن يدفع بسرعة ثابتة المقدار .

ت4 :

ما مقدار القدرة بالواط اللازمة لدفع عربة صندوق محملة بقوة أفقية قدرها 50N مسافة أفقية مقدارها 20m خلال 5s ؟

ت5 :

قوة احتكاك مقدارها 20N تؤثر في صندوق كتلته 6kg يرتكز على أرضية أفقية. ما مقدار القدرة اللازمة لسحب الصندوق على الأرضية بسرعة ثابتة قدرها 0.6m/s ؟

ت6 :

يستطيع جرار ذات محصورة بقوة دفاعة مقدارها 12000N عندما تكون سرعته 2.5m/s . ما قيمة قدرة المحرك بالواط للقدرة المحصورة تحت هذه الشروط؟

ت7 :

بينما كان احد لاعبي قرة القدم كتلته 90kg يجري بسرعة قدرها 6m/s قام لاعب من الفريق الآخر بالدفع من الخلف فتوقف بعد أن 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 سابقا أن الحرارة مصدر من مصادر الطاقة و أن هذه الطاقة تنتقل من جسم لآخر عندما يكون هناك اختلاف في درجتي حرارتي الجسمين كما عرفت أيضا أن هناك طاقة أخرى يمكن أن تنتقل من جسم لآخر عندما يكون الجسمان في درجة حرارة واحدة , وهذه الطاقة هي الشغل و انت تصادف في حياتك كثيراً من التحولات التي توجد فيها طاقة متبادلة على صورة حرارة منصبة و شغل ميكانيكي , وقد توجد الطاقة المتبادلة على الصورتين معا .

فمثلا عند تشغيلك جهاز تكييف السيارة او البيت أو عند طهو وجبتك المفضلة , أن الحرارة المتولدة في محرك السيارة نتيجة تفاعل بين الأوكسجين وبخار البنزين في أسطوانات المحرك و الغازات الساخنة الناتجة من الاحتراق التي تدفع المكابس مولدة بذلك شغلا ميكانيكيا يستفاد منه في تحريك السيارة

ودراسة مثل هذه التحولات التي تشتمل على حرارة و شغل هي موضوع هام من فروع الفيزياء يسمى الديناميكا الحرارية أو التحرك الحراري Thermodynamic .

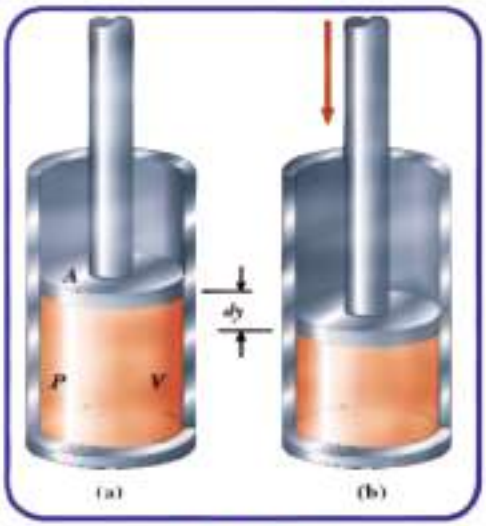
6 - 1 النظام و الوسط المحيط به

إن دراسة أي ظاهرة في فرع من فروع الفيزياء , كما يعرف منطقة محددة او جزء من كمية المجموعة المادية عن الاوساط المحيطة بها و الجزء الذي يعزل هو ما يسمى بالنظام (system) أما الوسط المحيط به فانه يشمل كل الاجسام و العناصر التي لاتكون جزءاً من النظام , فمثلا السائل المبرد بمحرك خليط بخار البنزين و الهواء الموجود في محرك السيارة قبل حدوث الاحتراق نظام أما الوسط المحيط به فيشمل الاسطوانة ويمكن للوسط المحيط ان يؤثر على النظام بتحرك عدة مثل القوى الميكانيكية و تيارات الحرارية و المجالات الكهربائية ... الخ , الشكل (1) يوضح حبات الذرة في قدر موضوعة على مصدر حراري , وهذا يمثل نظام ديناميكي حراري Thermodynamic System , و العملية الديناميكية الحرارية الموضحة هنا تبين أن الحرارة قد اضيفت الى النظام , وان النظام بتوسعه قد انجز شغلا على محيطه الخارجي من خلال رفع غطاءه الى اعلى .

الشكل (1)

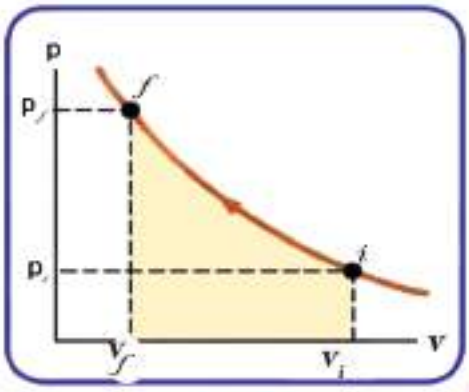
6 - 2 الشغل والحرارة

لنفرض ان لدينا كمية من الغاز المحصور (نظام ديناميكي حراري) ، وان هذا النظام نتيجة لعمليات حرارية مختلفة تنتقل من حالة لاخرى . لاحظ الشكل (2) .



شكل (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 .

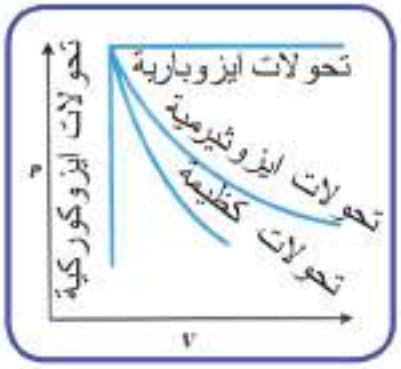


شكل (3)

ومن الجدير بالذكر ان عملية انتقال نظام معين من حالة الى اخرى قد تتم وفق عمليات (اجراءات) Processes عدة منها : ..... لاحظ الشكل (4)

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 .



شكل (4)

3- عملية ثبوت درجة الحرارة (تسمى تحولات ايزوثيرمية Isothermal):- وهي العملية التي ينتقل بها النظام من حالة لاخرى مع الأبقاء على درجة حرارته ثابتة .

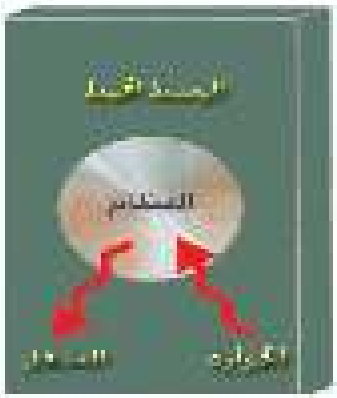
4- عملية عدم انتقال طاقة حرارية من و الى النظام (تسمى تحولات كظيمة Adiabatic):- وهي العملية التي لا يصاحبها إنتقال حرارة من أو الى النظام (اي من غير تبادل حراري) .

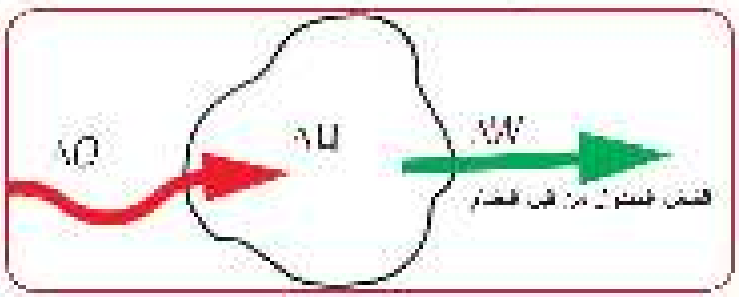
5 القانون الأول للديناميكا الحرارية First Law of Thermodynamics

يعبر هذا القانون عن العلاقة بين الشغل والحرارة . لقد عرفنا سابقا انه كلما تحول الشغل الى حرارة او تحولت الحرارة الى شغل ، فان هناك تناسب بسيط بين الشغل والحرارة ، ويسمى ثابت التناسب بالمكافئ الميكانيكي الحراري ومقداره يساوي 4.2 Jouls/Cal وقد كان العالم جول هو اول من وجد هذا الثابت . وحسب قانون حفظ الطاقة فان مجموع الطاقة في أي نظام معزول يبقى ثابت مهما كانت التحولات في أشكال الطاقة . وفي عملية تحول الشغل الى حرارة فان قانون حفظ الطاقة هو ما يعرف بـ القانون الأول للديناميكا الحرارية .

فاذا امتص نظام ما كمية من الحرارة ΔQ لاحظ الشكل 5a ويكون الشغل المنجز بواسطة هذا النظام هو ΔW اثناء ذلك فان قانون حفظ الطاقة ينص على ان الفرق بين كمية الحرارة الممتصة بواسطة النظام والشغل المنجز بواسطته يساوي مقدار الزيادة في الطاقة الداخلية للنظام.

$$\Delta u = \Delta Q - \Delta W$$





شكل (5a)

ويمكن كتابة هذا القانون بالصيغة الآتية :-

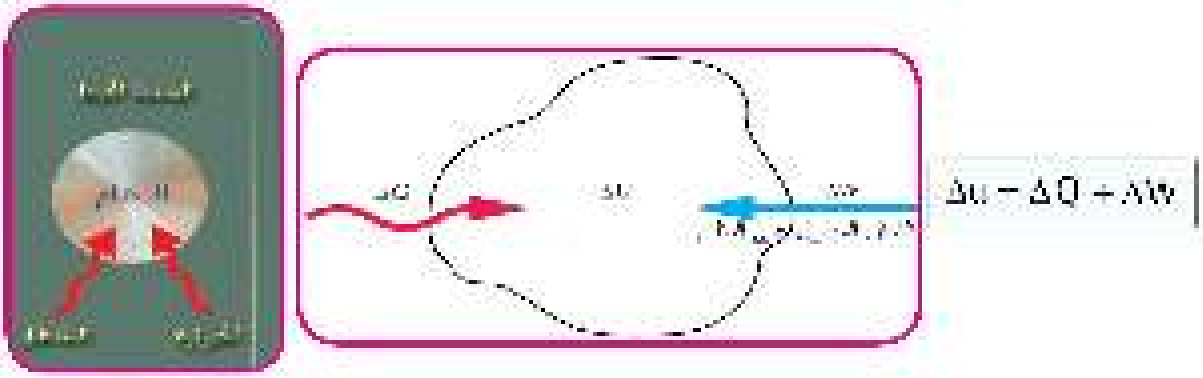
عندما ينجز شغل على نظام من محيطه عند درجة حرارة معينة فان الطاقة المنتقلة تساوي الفرق بين تغير الطاقة الداخلية والشغل المنجز ويسمى هذا الطاقة المنتقلة بالحرارة ويرمز لها بالرمز ΔQ .

لذلك يكون :

القانون الأول للديناميكا 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 . عند استخدام هذا القانون يجب ان نتذكر ان :

1 ΔQ تعتبر موجبة اذا ما أضيفت حرارة الى النظام (لاحظ الشكل 5a) وتعتبر ΔQ سالبة عند انتقال الحرارة الى خارج النظام .

2- ΔW يعتبر موجباً عندما يتم إنجاز شغل بوساطة النظام على الوسط المحيط به (مثل الشغل المنجز عند تمدد الغاز ، المستمد بالطاقة التي تركت النظام)، ويعتبر ΔW سالباً عندما ينجز شغلاً على النظام من قبل محيطه مثلاً بالطاقة الداخلة للنظام لاحظ الشكل (5b).



شكل (5b)

6 - 1 تطبيقات قانون الديناميك الحرارية الأول

افترض نظام حراري عبارة عن غاز محصور بغلافه عن محيطه الخارجي بواسطة مزودة بمكبس قابل للحركة لاحظ الشكل (6)، ولحساب شغل هذا النظام نجري الاتي :-

القوة المسلطة على المكبس تعطى بـ : $F = P \cdot A$

إن الشغل المنجز يساوي :

$W = F \cdot \Delta x = P A \Delta x$ (force) ، (displacement)

$A\Delta x$ تمثل الزيادة في حجم الغاز وتساوي ΔV ، أي أن :

الشغل المبذول من قبل الغاز

$$\Delta W = P \Delta V$$

الشغل المبذول على الغاز

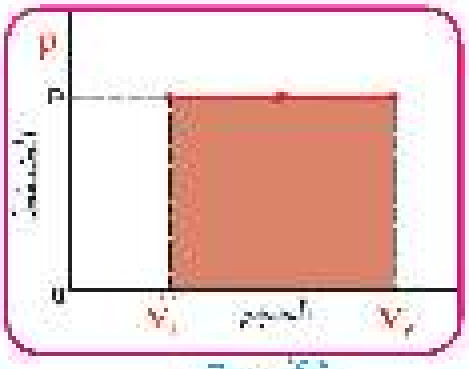
$$\Delta W = -P \Delta V$$

ولحساب شغل النظام في العمليات الاتية :

1 الشغل المبذول عند ضغط ثابت (العملية الايزوبارية)، لاحظ الشكل (7a) في هذه الحالة فإن

$$\Delta W = P \Delta V$$

شكل (6)



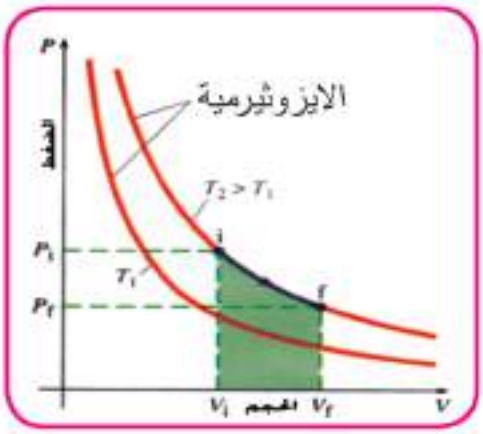
شكل (7a)

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 $P_i V_i = P_f V_f$

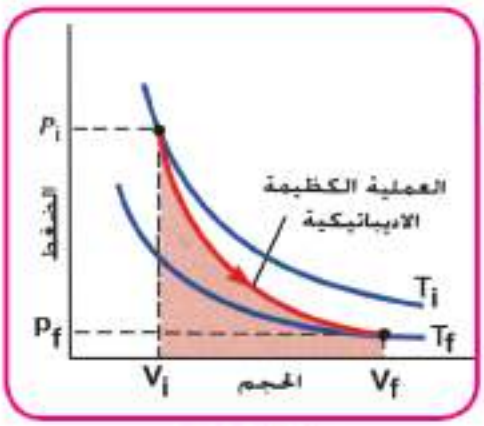
$$W = P_i V_i \ln (P_i / P_f)$$



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 $500cm^3$ 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 ايزوبارية) 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 الاتية :

$$\Delta W = P_1 V_1 \ln (V_2/V_1)$$

$$= 10^6 \times 0.2 \times \ln (0.6/0.2)$$

$$= 0.2 \times 10^6 \times 2.303 \log\left(\frac{0.6}{0.2}\right)$$

$$\Delta W = 0.4606 \times 10^6 \log_{10} 3 \Rightarrow W = 0.46062 \times 10^6 \times 0.47$$

$$\Delta W = 2.19722 \times 10^3\ J$$

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 الأتية :

$$\Delta u \quad \Delta Q - \Delta W$$

الشغل المنجز ΔW موجب لأنه تم إنجاز الشغل بوساطة النظام على الوسط المحيط به

$$\Delta u \quad 1500J - (2200J)$$

الطاقة الداخلية للنظام $\Delta u \quad -700J$

في حالة الشكل (b) فإن الطاقة الداخلية للنظام (ΔU) تعطى بالعلاقة الآتية :

$$\Delta U \quad \Delta Q - \Delta W$$

الشغل المنجز ΔW يعتبر سالباً لأنه تم إنجاز شغل على النظام .

$$\therefore \Delta U \quad (1500J) - (-2200J)$$

$$\Delta U \quad +3700J$$

سؤال

بيّن أثر إشارات المجهول في الجدول الآتي بإشارة (− ، + ، 0) لكل حالة مثبتة ، ليستدل لكل نظام مؤشر

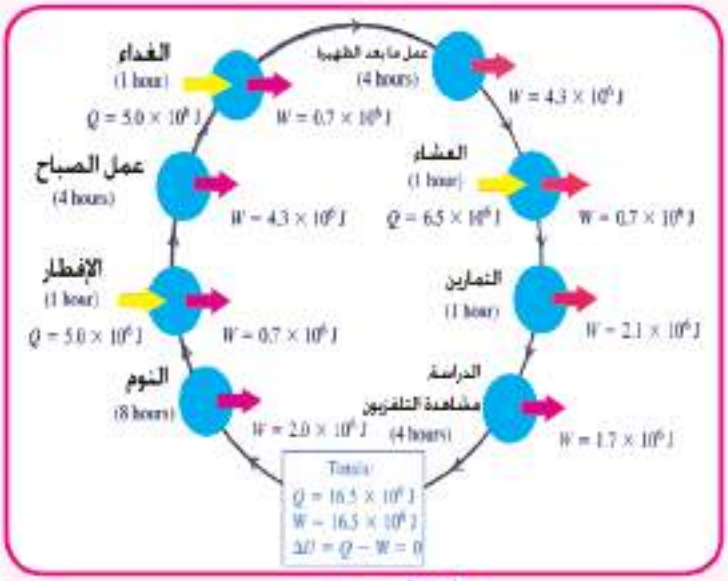
	الحالة (Situation)	النظام (System)	الطاقة الحرارية ΔQ	الشغل المنجز ΔW	الطاقة الداخلية ΔU
a	نفخ سريع لإطار دراجة هوائية	هواء موجود في المضخة			
b	ماء بدرجة حرارة الغرفة موضوع على موقد ساخن	ماء موضوع في قدر			
c	هواء يتسرب بسرعة خارج بالونة	هواء موجود داخل بالونة			

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 ($\Delta U = 0$) .

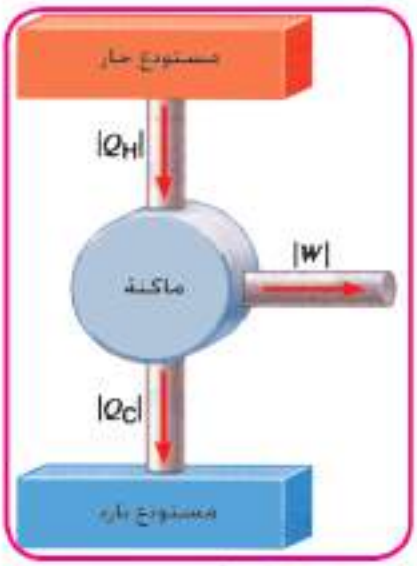


الشكل (9)

6 - 5 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 تمتص $1200\ J$ من الحرارة من مصدر حراري درجة حرارته أعلى (Q_H) في كل دورة وتحرر شغلاً مقداره $400\ J$ في كل دورة .

a) احسب كفاءة الماكنة .

b) احسب كمية الحرارة التي تفقد الى الخارج (Q_C) 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)

$$W = Q_H - Q_C$$
$$Q_C = Q_H - W$$
$$= 1200\ J - 400\ J$$
$$Q_C = 800\ J$$

6 القانون الثاني في الديناميكا الحرارية / Second Law of Thermodynamic

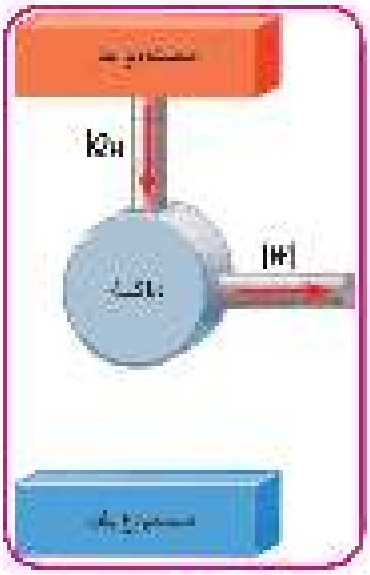
لعلك لاحظت عزيزي الطالب أن القانون الأول في الديناميكا الحرارية يعبر أحد أشكال قانون حفظ الطاقة ولكنه لا يحدد إتجاه إنتقال الطاقة، فمثلاً إذا تركت كوباً من الماء الساخن في غرفة باردة من المعلوم أنه سيبرد في حين أن الهواء المحيط به يسخن أكثر برودة ..... وهذا أمر طبيعي ولعلك تعمل بذلك لماذا لا يحدث الإتجاه المعاكس وهو أن يسخن الماء أكثر برودة أو لا يتعارض هذا الإتجاه المعاكس مع قانون حفظ الطاقة .

والتوضيح ما جاء أعلاه قال القانون الثاني للديناميكا الحرارية يحدد إتجاه عمليات إنتقال الطاقة (الحرارة) وهناك صيغتان لهذا القانون وجميعها متكافئة .

1 صيغة كلفن – بلانك :-

من المستحيل بناء مكنة حرارية تعمل بحيث تمتص طاقة حرارية من مستودع حراري واحد وتحولها كلياً إلى شغل ميكانيكي .

لاحظ الشكل (11) أي أن المكنة الحرارية عملياً يجب أن تكون مستودعان حراريان مختلفان في درجة الحرارة .

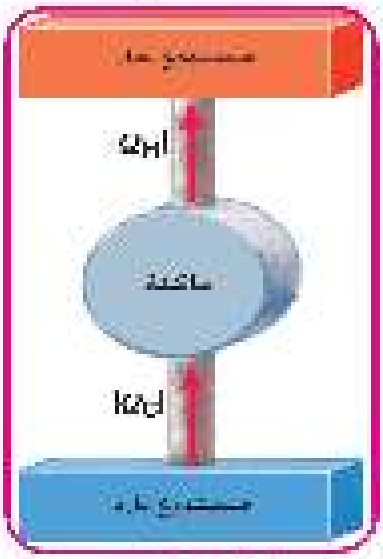


الشكل (11)

2 – صيغة كلوزيوس :-

من المستحيل بناء مكنة حرارية تعمل بحيث تمتص الحرارة من مستودع حراري ذي درجة حرارة منخفضة وتنقلها إلى مستودع آخر ذي درجة حرارة أعلى دون الحاجة إلى بذل شغل ميكانيكي .

لاحظ الشكل (12) .



الشكل (12)

س1 : أختر الاجابة الصحيحة لكل من العبارات التالية :-

1 - ماكينة حرارية تعمل بوساطة كمية من الحرارة داخلة إليها عند درجة حرارية معينة وتعمل على :

a) تحويلها جميعاً الى شغل .

b) تحول قسما منها الى شغل وتخرج المتبقي عند درجة حرارة أوطأ .

c) تحول قسما منها الى شغل وتخرج المتبقي عند درجة الحرارة نفسها .

d) تحول جزءا منها الى شغل وتطرح الباقي عند درجة حرارة أعلى .

2 - الاتجاه الطبيعي للتيار الحراري المتوجه من والى العالم يتكون من الخزان الحراري ذو درجة الحرارة الأعلى (T_2) الى الخزان الحراري ذو درجة الحرارة الأوطأ (T_1) ، دون الأخذ بعين الإعتبار كمية الحرارة التي يحتويها كل خزان. هذه الحقيقة تمثل :-

a) القانون الأول للديناميكا الحرارية b) القانون الثاني للديناميكا الحرارية

c) قانون حفظ الطاقة d) قانون حفظ الزخم الخطي

3 - المسلمة الديناميكية (الكلية) في العالم هي واحدة من المسلمات التي تكون فيها :

a) الحرارة لا تدخل ولا تخرج من النظام.

b) النظام لا يبذل شغلاً على الوسط ولا شغل يبذل عليه .

c) درجة حرارة النظام تبقى ثابتة .

d) حجم النظام يبقى ثابتاً .

4 ـ مكننة حرارية مثيرة "للاحتكاك يمكن ان تكون كفاءتها 100% فقط عندما تكون درجة حرارة الخروج (T_2) .

a) مساوية الى درجة حرارة المنبع (T_1) .

b) اقل من درجة حرارة المنبع (T_1) .

c) تساوي 0°C .

d) تساوي 0 K .

تمرين 1

ر1: نحدد نظام مكون من غاز محصور في إسطوانة 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 يبذله النظام ؟

ر2: إناء معزول به غاز محصور فاذا كان الشغل الخارجي المبذول على الغاز يساوي $135\ J$ جد مقدار التغير الحاصل في الطاقة الداخلية للنظام .

ر3: مكننة حرارية تأخذ $2 \times 10^4\ J$ من الحرارة من المستودع الأعلى درجة حرارة وتفقد $1.5 \times 10^4\ J$ من الحرارة الى المستودع الأقل درجة حرارة : اوجد كفاءة المكننة .

ر4: مكننة حرارية تستقبل كمية من الحرارة تساوي $3000KJ$ من مصدر حراري درجة حرارته عالية وتطرد (تفقد) كمية من الحرارة تبلغ $900KJ$ الى مستودع حراري درجة حرارته واطئة .

a) ما مقدار الشغل الناتج عن المكننة ؟

b) ما كفاءة المكننة الحرارية ؟

ر5: اثناء إشتغال مكننة حرارية معينة كانت الطاقة الداخلية تنقص بمقدار $400\ J$ في حين تجز شغلاً مقداره $250\ J$. احسب مبدأ الحرارة ΔQ .

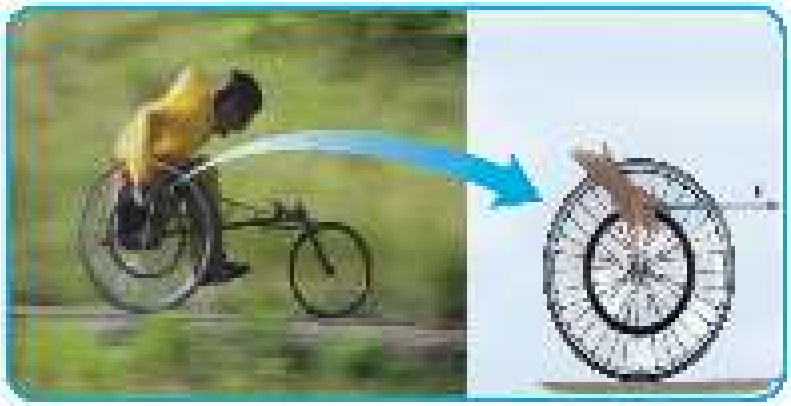
الفصل 7

الحركة الدائرية والدورانية
Circular and Rotational Motion

7 - 1 الحركة الدائرية :-

عند دوران جسم جاسيء

(وهو جسم غير قابل للتشوه والتشكل بتأثير القوى و العزوم الخارجية) حول محور ثابت فان اي جزء فيه يبعد بعدا معينا عن محور الدوران يقال عن حركة هذا الجزء انها حركة دائرية مثل حركة قوارة يطير الهواء في حديقة الدراجة لاحظ الشكل (1) .



الشكل (1)

وحركة الشخص الجالس في مولاب الهواء الذي يدور بسرعة ثابتة في الشكل (2) .

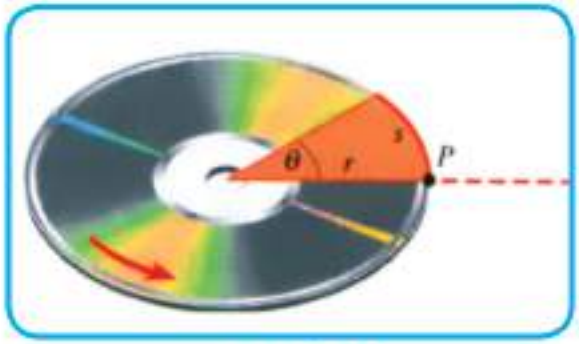
الشكل (2)

في حين الشكل (3) يوضح حركة الطائرة حول مسار دائري بسرعة ثابتة .

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 :

$$\theta = \frac{S}{r} \quad , \quad \theta = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi\,(\text{rad})$$

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

اي ان :-

$$\omega_{avg} = \left|\frac{\Delta\theta}{\Delta t}\right|$$

فنحصل على

$$\upsilon_{avg} = r \times \omega_{avg}$$

لو

$$\boxed{\upsilon = r \times \omega}$$

اي 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) :-

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = 2\pi \times 90$$

$$\omega = 180\pi\ \text{rad/s}$$

$\upsilon = \omega r$ وبما ان : -

$$\upsilon=180\pi \times 0.28$$

$$\upsilon=180 \times \frac{22}{7} \times 0.28$$

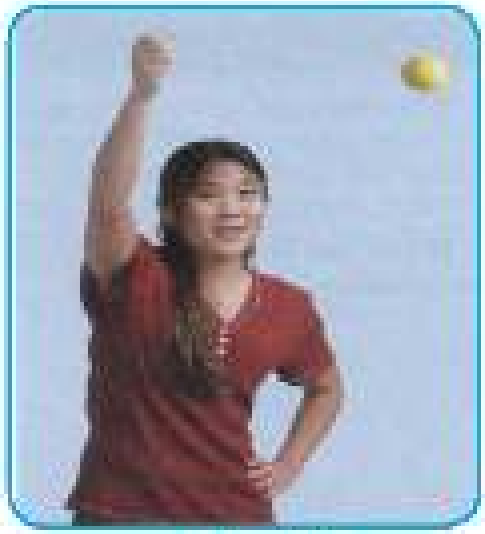
$$\upsilon = 180 \times 0.88$$

$\upsilon=158.4\ \text{m/s}$ مقدار الإنطلاق

4 – 7 التعجيل المركزي والقوة المركزية :-

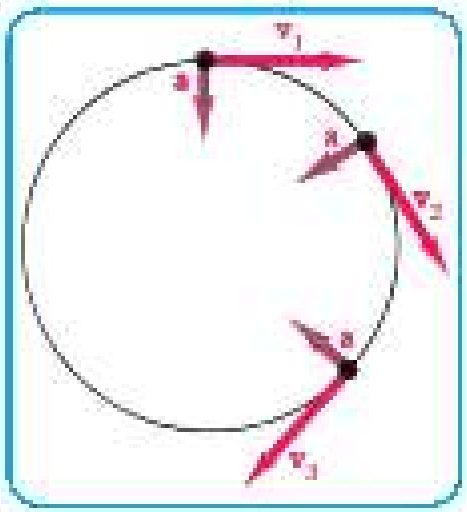
اذا دوّرت كرة صغيرة مربوطة بأحد طرفي خيط غير قابل للاستطالة بمسار دائري بانطلاق ثابت وبمستوى افقي ، يعمل تأثير الجاذبية الأرضية في الكرة لكي يجعل الخيط في مستوى الدائرة ، لاحظ الشكل (5).

نلاحظ إن اتجاه السرعة المماسية الآنية للكرة يتغير باستمرار في اثناء حركتها ونتيجة لهذا التغير في اتجاه السرعة المماسية يحدث تسارع لذا فهي تتحرك بتعجيل يسمى بالتعجيل المركزي ويرمز له (a_c) وعليه فان 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 :



الشكل (5)

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$



الشكل (6a)

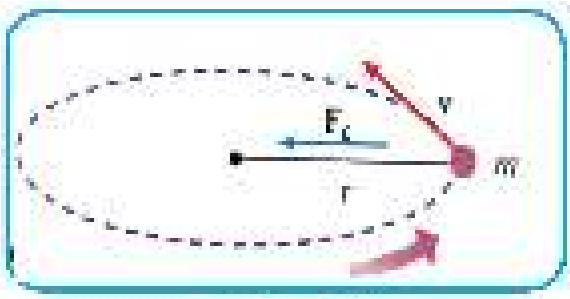
وبما أن كل جسم متحرك بمقدار معين تصوراً ذاتياً يحاول أن يحافظ على حركته بخط مستقيم ، ولكي يتحرك الجسم على مسار دائري بانطلاق ثابت لابد من تأثير محصلة قوى خارجية عمودية على متجه سرعته الآنية لكي تغير اتجاه سرعته المماسية ، وفي هذه الحالة تكون قوة الشد في الخيط (T) هي القوة التي تعمل على تغير اتجاه السرعة المماسية للكرة فتبقيها في مسارها الدائري وطبقاً للقانون الثاني

لنبين ان القوة المركزية F_c تعطى بالعلاقة :

$$F_c = ma_c$$

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad , \quad \theta = 180$$

$$F_c = mr\omega^2$$



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 .

تذكر :

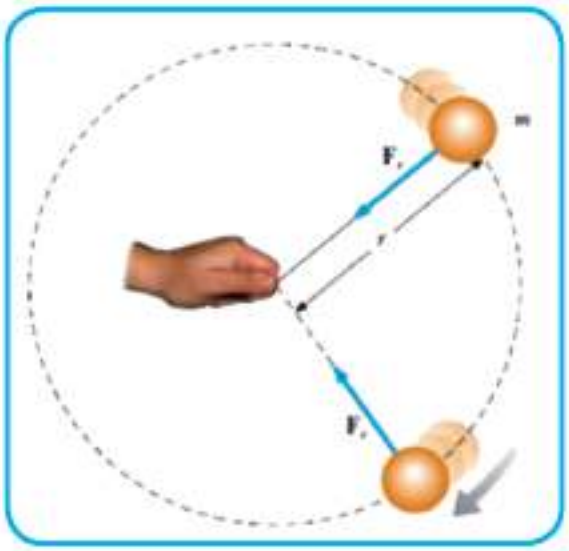
عندما يقضي جسم ما حركة دائرية منتظمة فان اتجاه سرعته المماسية الآنية يتغير باستمرار مع ثبوت انطلاقه لذا فأن هذا الجسم يمتلك تعجيلا مركزياً عمودياً على متجه سرعته المماسية الآنية ومقداره ثابت .

زوال القوة المركزية :-

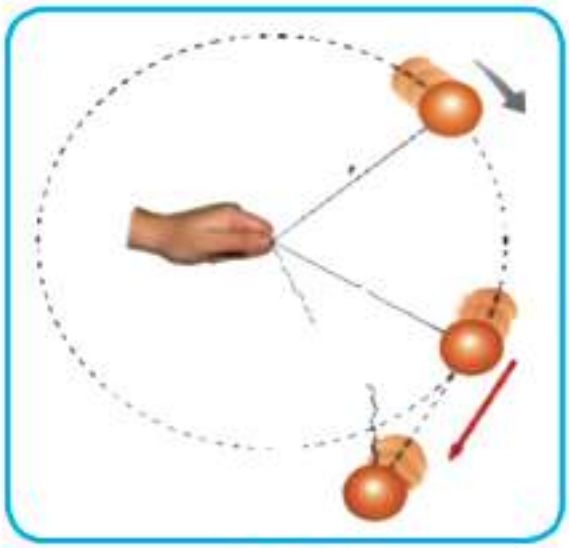
لو سأل سائل ماذا يعني زوال القوة المركزية المؤثرة في جسم يتحرك على مسار دائري بانطلاق ثابت ؟

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 . وعندئذ يخضع الجسم للقانون الأول لنيوتن لاحظ الشكل (7) .



الشكل (7a)



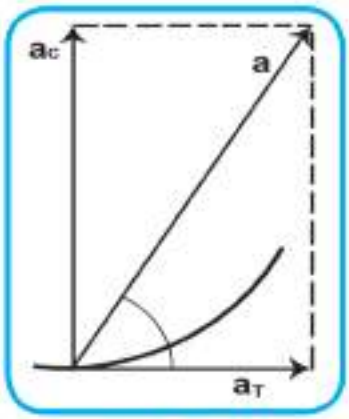
الشكل (7b)

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:

$$a=\sqrt{a_c^2 + a_T^2}$$



الشكل (8)

ولتعين اتجاه التعجيل المحصل نطبق الآتي :

$$\tan\theta = \frac{a_c}{a_T}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{a_c}{a_T}\right)$$

7 - 6 حركة المركبات على المنعطفات الافقية :-

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 ($N = mg$) 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 (a_c) لايمكن ان يزيد عن ($\mu_s g$) .

وتكون سرعة الامان القصوى للسيارة في المنعطف من غير ان تجنح عن الطريق :-

$$\upsilon = \sqrt{\mu_s gr}$$

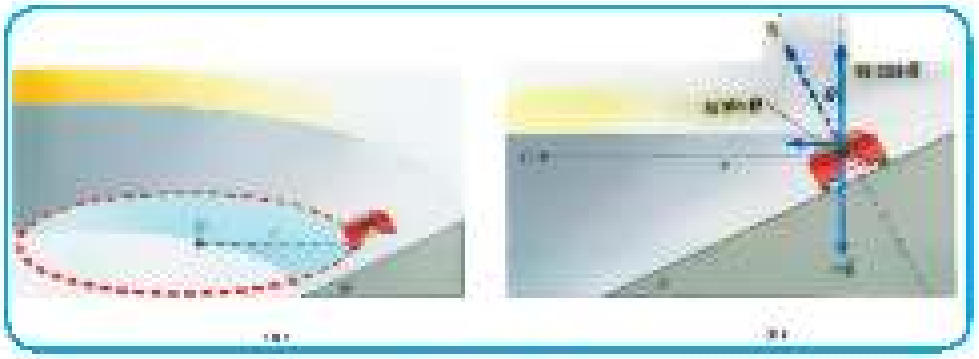
تذكر :

ان كتلة المركبة لا تظهر في المعادلة $\upsilon \le \sqrt{\mu_s gr}$ 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 ($N\sin\theta$) على تغير اتجاه السرعة المماسية الآنية

المركبة لاحظ الشكل (10) وهي القوة المركزية المطلوبة للاستدارة وتكون نحو مركز الاستدارة .



الشكل (10)

بينما المركبة الشاقولية ($N\cos\theta$) تعادل وزن السيارة أي أن :

$$N\sin\theta = F_c \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$N\cos\theta = w \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

بالقسمة بنتج

$$\frac{N\sin\theta}{N\cos\theta} = \frac{mv^2/r}{mg}$$

نحصل 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 اعلاه أن الوزن الحقيقي (w_{real}) لجسم عبارة عن قوة جذب الارض لجسم كتلته (m) ويقاس الوزن الحقيقي بمقدار استطالة النابض في القانون الخلزوني .

ومقدار تعجيل الجاذبية عند سطح الارض يكون : $g = 9.8N/kg$

$$\boxed{w_{real} = mg}$$

اما الوزن الظاهري ($w_{apparent}$) والمقدر لجسم ما فهو القوة التي يسلطها سطح الجسم على الجسم . ولتوضيح ذلك :-

الشكل (11a)

لاحظ الشكل (11) أ 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 تأثير رد فعل أرضية المصعد في الجسم واتجاهها نحو الأعلى

فإذا كان المصعد ساكناً أو صاعداً أو نازلاً بسرعة ثابتة فإن تعجيل المصعد (وهو تعجيل الشخص) في الحالات الثلاث يساوي صفراً ($a = 0$) .

وبتطبيق قانون الثاني لنيوتن لمصعد متحرك بسرعة ثابتة فإن صافي القوة المؤثرة في الشخص يعطى بـ : -

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

$$\vec{N} + \vec{w} = m\vec{a}$$

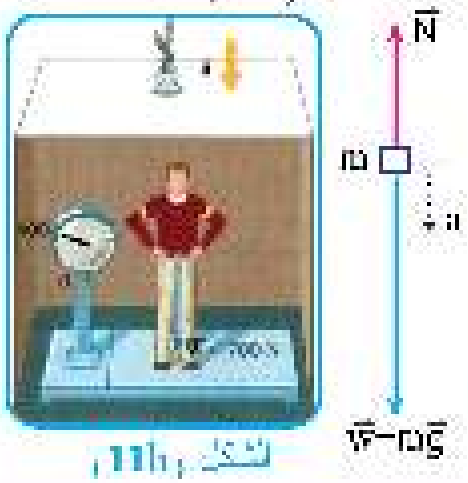
وبما أن تعجيل الشخص = صفراً ($a = 0$) .

فإن :- $\vec{N} + \vec{w} = 0$

$$\vec{w}_{app} = -\vec{w}_{re}$$

أي أن الوزن الظاهري ($\vec{w}_{app}$) (قراءة الميزان) الوزن الحقيقي للشخص ($\vec{w}_{re}$)

* أما إذا كان المصعد نازلاً متحركاً متعجلاً بتعجيل ثابت ($\vec{a}$) كما في الشكل (11b) ، فإن علاقة صافي القوة مع التعجيل تعطى بالشكل الآتي : -



الشكل (11b)

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

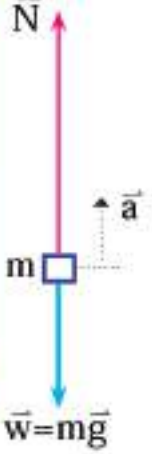
$$\vec{w} + \vec{N} = m\vec{a}$$

$$\vec{w}_{app} = \vec{w}_{re} + m\vec{a}$$

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 :

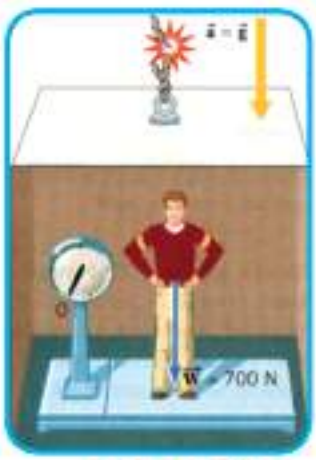
الشكل(11c)



$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$
$$\vec{N} - \vec{w}_{real} = m\vec{a}$$
$$\vec{w}_{app.} = \vec{w}_{real} + m\vec{a}$$

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 زنبركي لقياس الوزن ، في مصعد ، فأجد :

قراءة الميزان (الوزن الظاهري) عندما يكون المصعد :

a- يتحرك شاقولياً بسرعة ثابتة .

b- ينزل شاقولياً بتعجيل $2m/s^2$.

c- صاعداً شاقولياً بتعجيل $2m/s^2$.

علماً بأن تعجيل الجاذبية الأرضية المتوسط هو ($g = 10\ m/s^2$)

الشكل (12)

الحل

بتطبيق القانون الثاني لنيوتن على المحور (y) نرسم المخطط الحر لجسم لبدن القوى المؤثرة فيه كما في الشكل (12) .

a- عندما يتحرك المصعد شاقولياً بسرعة ثابتة في اتجاه المحور (y) فإن التعجيل (a) = صفر

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

$$N - w = 0 \rightarrow N - mg = 0$$

$$N = mg = 60 \times 10 = 600N$$

b- عندما ينزل المصعد شاقولياً بتعجيل $2m/s^2$ فإن :

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

$$w - \vec{N} = m\vec{a}$$

$$mg - \vec{N} = m\vec{a}$$

$$60 \times 10 - \vec{N} = 60 \times 2$$

$$N = 600 - 120$$

$$= 480Newton$$

أي أن الوزن الظاهري للشخص يساوي 480Newton وهو أقل من وزنه الحقيقي .

c- عندما يصعد المصعد شاقولياً بتعجيل $2m/s^2$ فإن :

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

$$\vec{N} - m\vec{g} = m\vec{a}$$

$$N - 60 \times 10 = 60 \times 2$$

$$N = 720Newton$$

أي أن الوزن الظاهري للشخص 720Newton وهو أكبر من وزنه الحقيقي .

أسئلة الفصل السابع

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 التسلية في مدينة الألعاب يسير على السطح الداخلي لسكة دائرية بمستوى شاقولي. ما قوى التأثير المتبادلة بين الشخص الجالس في عربة القطار لحظة مروره في أعلى نقطة من مساره ؟ يعبر عن :

a- F_r و $W_{/E}$ b- $W_{/E}$ و $W_{/T}$

c- $W_{/E}$ و F_r d- $W_{/E}$ و $W_{/T}$

س2

1 اكتب معادلة القوة المركزية ، ثبت أن وحدة قياسها تقدر بالنيوتن .

2 هل يمكن لجسم أن يتحرك على مسار دائري من غير وجود قوة مركزية موازية له ؟ وإذا لا ؟

3 هل يمكن أن يتزن الجسم المتحرك حركة دائرية منتظمة ؟ وتعلل ؟

4 تحت أي شرط يمكن لجسم أن يتحرك على مسار دائري فيمتلك تعجيلا مركزيا ولا يمتلك تعجيلا مماسيا ، وضح ذلك .

5 ما سبب انفصال قطرات الماء عن الملابس المبللة 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 يصير وزنه الموثر الظاهري صفراً في أعلى نقطة ؟

س2 : على فرض أنه إذا زادت السرعة الزاوية للكرة الأرضية ومسار التحجيم المركزي لشخص يقف عند خط الاستواء يقدر بـ $0,034 m/s^2$ فكم سيكون وزن الظاهري لهذا الشخص ؟

م3 : احسب التعجيل المركزي لجسم عند نقطة على سطح الارض تبعد عن محور دوران الارض 5000km .

م4 : مطريق مقوس دائري عرضها 3.75m مائلة عن الافق ونصف قطر تقوسها الافقي 120m مصممة لسير السيارات بالانطلاق المحدد لها و 29.698m/s احسب ارتفاع الحافة الخارجية للطريق عن حافتها الداخلية .

م5 : قمر صناعي يتحرك بانطلاق ثابت في مسار دائري نصف قطر مداره عن مركز الارض 7000km جد :-

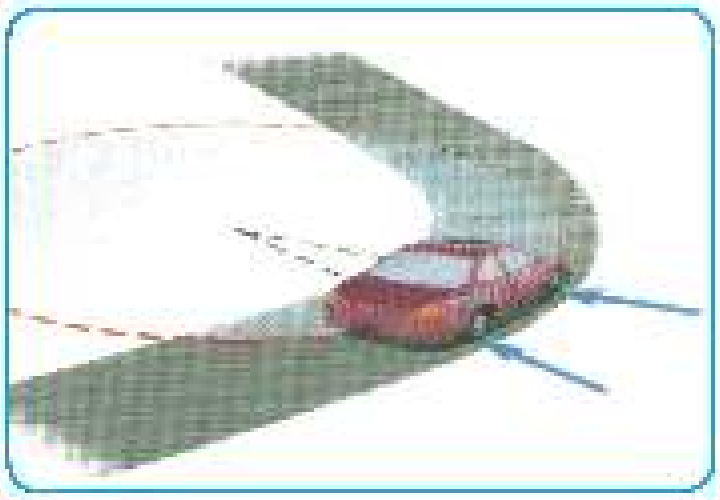
1. انطلاق القمر الصناعي في مداره .
2. زمن الدورة الواحدة عند هذا المدار .

علماً أن ثابت الجذب العام $= 6.67\times10^{-11}\ \frac{N.m^2}{(kg^2)}$

كتلة الارض $= M_e = 5.98\times10^{24}\ kg$

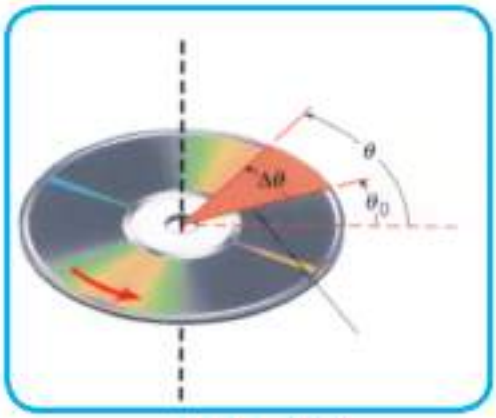
م6 : سيارة تسير على منعطف افقي دائري نصف قطره 200m بانطلاق ثابت 30m/s فاذا كانت كتلة السيارة 1000kg .

1. جد قوة الاحتكاك اللازمة لتوفير القوة المركزية اللازمة .
2. اذا كان معامل الاحتكاك الشرطي $\mu_s = 0.8$ 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 :

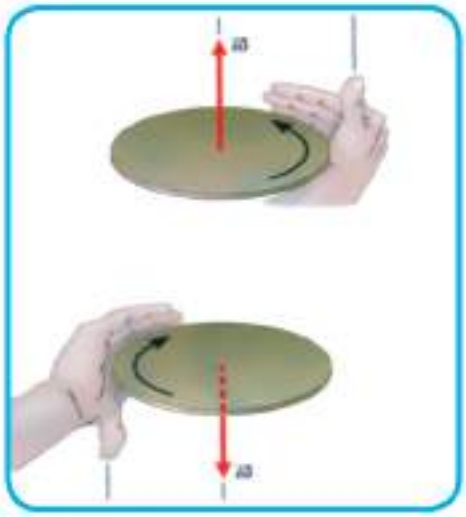
$$\vec{\alpha} = \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{\vec{\omega}_f - \vec{\omega}_i}{t_f - t_i}$$

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) .

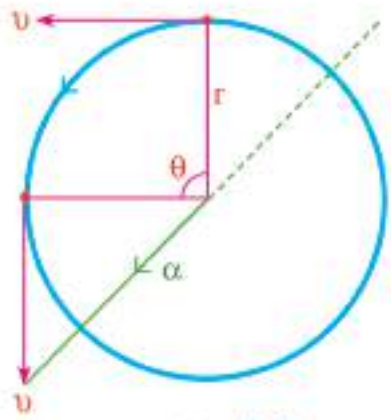
اتجاه التعجيل الزاوي $\vec{\alpha}$ لجسم جاسئ حول محور دورانه الثابت يكون باتجاه السرعة الزاوية نفسها $\vec{\omega}$



الشكل (14)

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) .



الشكل(15)

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) .

11 – 7 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	
$v_f = v_i + at$	1	$\omega_f = \omega_i + \alpha t$	1
$v^2_f = v^2_i + 2ax$	2	$\omega^2_f = \omega^2_i + 2\alpha\theta$	2
$x = v_i t + \frac{1}{2}at^2$	3	$\theta = \omega_i t + \frac{1}{2}\alpha t^2$	3
$x = \frac{v_i + v_f}{2} . t$	4	$\theta = \frac{\omega_i + \omega_f}{2} . t$	4

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

$t = 2s$

$\omega_f = \omega_i + \alpha t$

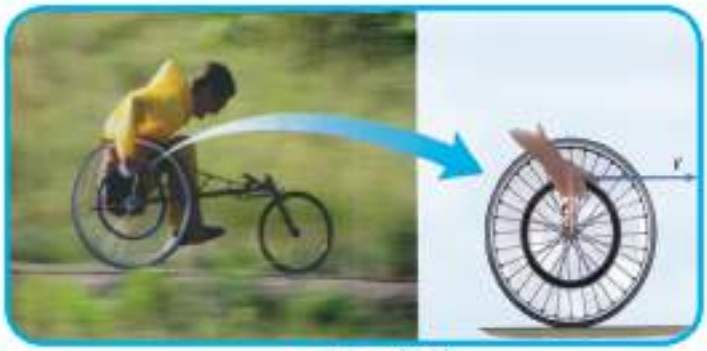
$\omega_f = 2 + 3.5 \times 2$

$\omega_f = 9 \text{ rad / s}$

12 - 7 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 :-

$$I = mr^2$$

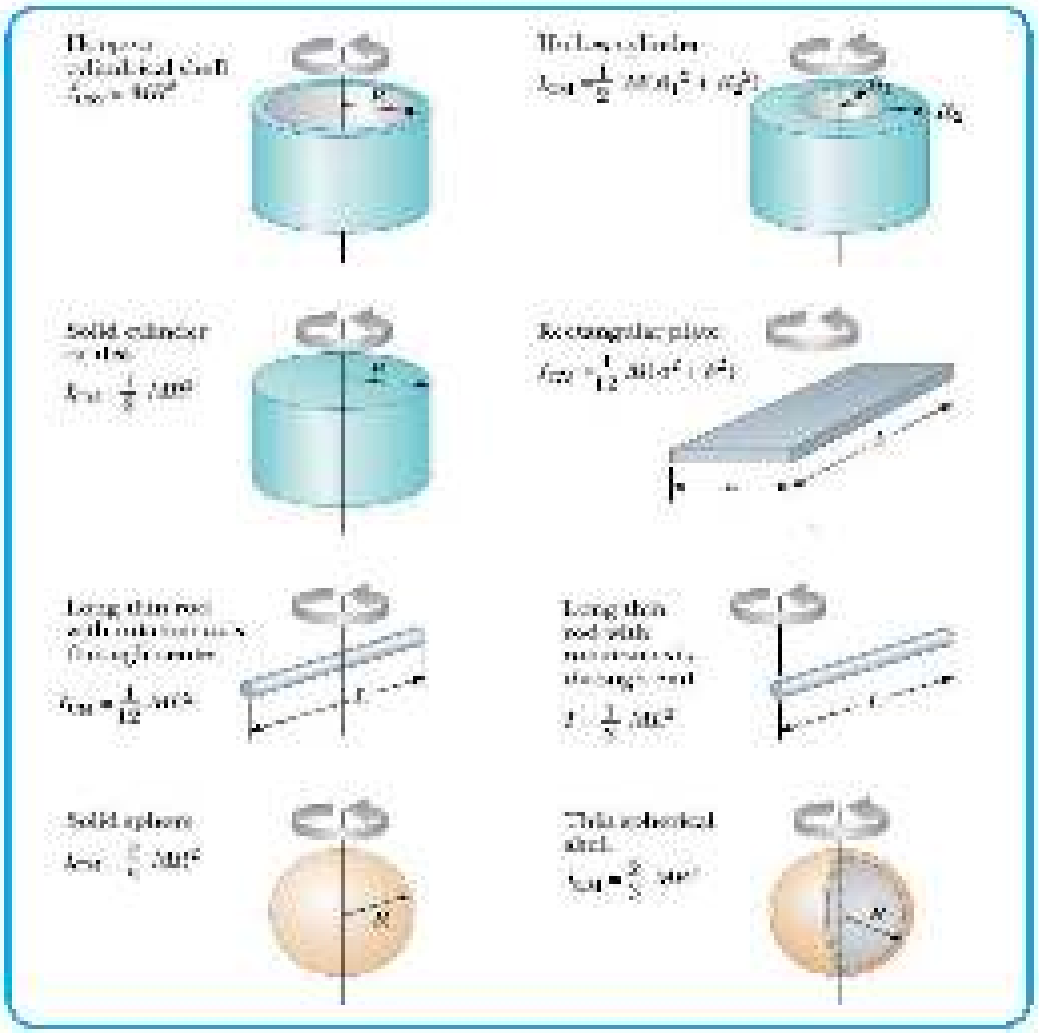
أما عزم القصور الذاتي لجسم جاسئ حول محور معين فأنه يساوي المجموع الجبري لعزوم القصور الذاتية لجميع الجسيمات المكونة له حول المحور نفسه .

$$I_{body} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

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 سرعتة 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 الصلبة المتجانسة لمختلف الأشكال الهندسية :

7- 13 الحركة المركبة (حركة انتقالية وحركة دورانية) :-

قد تتحرك بعض الأجسام حركتين في آن واحد ، احداهما حركة دورانية ، والأخرى حركة انتقالية مثل: تدحرج كرة تدحرجاً صرفاً ومن غير انزلاق أو حركة عجلة الدراجة أو عجلة السيارة على سطح أفقي خشن تكون حركة انتقالية وحركة دورانية على سطح افقي خشن فان الطاقة الحركية الكلية لجسم الجاسئ تساوي مجموع طاقتين هما طاقته الحركية الخطية ، وطاقته الحركية الدورانية .

اي ان:

$$KE_{Total} = KE_{translational} + KE_{Rotational}$$

$$KE_{Total} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

مثال 4

تدحرجت كرة صلدة على سطح أفقي خشن بحركة صرفة بانطلاق خطي $1.5m/s$ لمركز كتلتها وكان نصف قطرها $0.1m$ وكتلتها $0.2Kg$ احسب

مقدار : 1. عزم قصور ذاتها حول محورها الهندسي المار من مركزها .

2. طاقتها الحركية الكلية علماً بان $I_{(Solid\ sphere)} = \frac{2}{5}mr^2$

الحل /

$$I_{sphere} = \frac{2}{5}mr^2$$

$$I = \frac{2}{5} \times 0.2 \times (0.1)^2$$

$$I = 0.0008 kg.m^2$$

$$v = r\omega \Rightarrow 1.5 = 0.1 \times \omega \Rightarrow \omega = 15 rad/s$$

$$KE_{tot} = KE_t + KE_{rot}$$

$$= \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

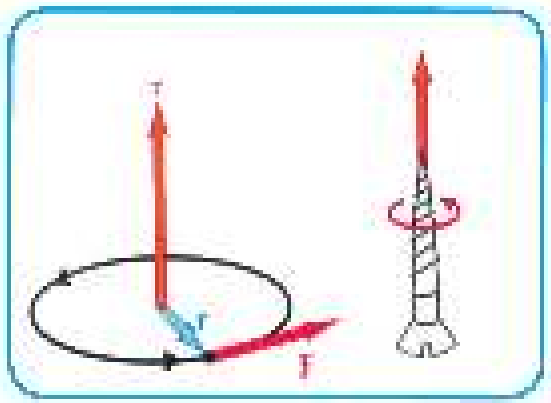
$$= \frac{1}{2} \times 0.2 \times (1.5)^2 + \frac{1}{2} \times 0.0008 kg.m^2 \times (15)^2$$

$$= 0.315 Joule$$ مقدار طاقتها الحركية الكلية

7 - 11 العزم المحور للجسم والتعجيل الزاوي :-

لقد عرفنا دراستنا الاتزان التام لجسم 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 الإنتقالية الخطية يجب ان نتوقع حصول تغيير في السرعة الزاوية لجسم الجاسئ .

فلو أثرت محصلة عزوم خارجية في دولاب كالذي تدور ان لاحظ الشكل (17) . ولكنه 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 :

$$\sum \vec{\tau}_{ext} = I\vec{\alpha}$$

$$\sum \vec{\tau} = I\vec{\alpha}$$

ويصح تطبيق هذا القانون على الأجسام الجاسئة جميعاً في كل دوران انتقالي وتقاس العزم لمدور بوحدات ($N.m$) ومن الجدير بالذكر أن العزم المدور والتعجيل الزاوي كميتان متجهتان لهما الاتجاه نفسه هو يتطبق على محور الدوران (طبقاً لقاعدة الكف اليمنى). أما عزم القصور الذاتي (I) فهو كمية قياسية.

مثال 5

تتكون آلة حاسبة 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 المطلوبة

$$\theta = \frac{w_f + w_i}{2} \times \Delta t$$

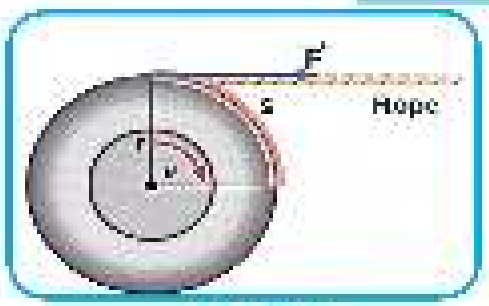
$$\theta = \frac{500+0}{2} \times 5 = 1250\ rad$$

-2

$$n_{rev} = (1250 rad) \times \left(\frac{1\ rev}{2\pi\ rad}\right)$$

$$= \frac{625}{\pi} rev = 199 rev$$

15 - 7 الشغل والقدرة في الحركة الدورانية :-



شكل (18)

تعتبر قرص نصف قطره (r) يمكنه الدوران حول محور عمودي يمر من مركزه وجهيه , اثر في حافته قوة مماسية ($\vec{F}$) لاحظ الشكل (18) , بعد مرور مدة زمنية (t) دار القرص بزاوية (θ) وقد دارت نقطة تاثير القوة (a) وقطعت قوساً طوله (s) , بذلك انجزت القوة (F) شغلاً مقداره :

$$\text{Work} = \text{force} \cdot \text{distance}$$

$$W = F \cdot S$$

$$S = r\theta$$

$$\therefore W = (r \times F) \theta$$

$$\tau = r \times F$$

$$\therefore W = \tau \cdot \theta$$

اي ان الشغل المنجز في المنجز يساوي حاصل ضرب العزم المحور ($\vec{\tau}$) في الازاحة الزاوية ($\vec{\theta}$) . يقدر الشغل المنجز بوحدة (Joule) بينما يقدر العزم المحور بوحدات (N.m) , الازاحة الزاوية تقدر بـ (rad) والزاوية نصف القطرية) وبما ان مقدار الشغل الدوراني المبذول (W) يكافئ مقدار التغير في الطاقة الحركية الدورانية ΔEK_{rot}

اي ان :

$$W = \Delta KE_{rot} = KE_{rot_f} - KE_{rot_i}$$

$$W = \frac{1}{2} I \omega_f^2 - \frac{1}{2} I \omega_i^2$$

$$W = \frac{1}{2} I (\omega_f^2 - \omega_i^2)$$

بما ان القدرة الدورانية (Rotational Power) P_{rot} هي المعدل الزمني للشغل المنجز و عليه فان :

$$P_{rot} = \frac{W_{rot}}{t} \rightarrow P_{rot} = \frac{\tau\theta}{t}$$

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

$$\vec{\omega}_{av} = \frac{\omega_i + \omega_f}{2} \rightarrow P_{rot} = \tau \cdot \vec{\omega}_{av}$$

اي ان القدرة الدورانية (P_{rot}) تساوي حاصل ضرب العزم المحور 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 المتولد على محوره ؟

الحل /

تحول السرعة الزاوية من (rev / min) إلى (rad / s) :-

$$\omega = 500 \times \frac{2\pi}{60} = \frac{50\pi}{3} \text{ rad/s}$$

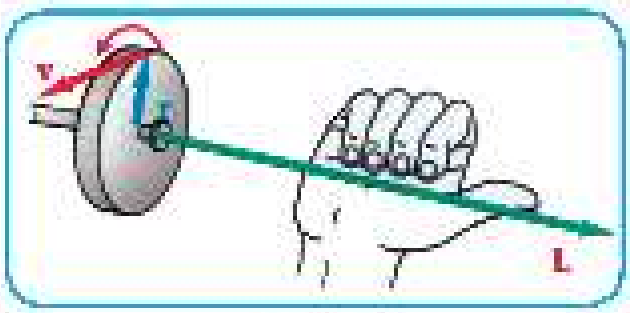
$$P_{av} = \tau \cdot \omega_{av} \rightarrow P_{av} = \tau \cdot \frac{50\pi}{3}$$

$$1.72 \times 10^5 = \tau \times \frac{50\pi}{3}$$

$$\tau = \frac{3 \times 1.72 \times 10^5}{50\pi}$$

$$\tau = 3286 \text{ N.m}$$

7-1b الزخم الزاوي Angular Momentum



الشكل (19)

الزخم الزاوي (L) لجسم الجسم حول محور دورانه هو عزم الزخم الخطي حول محور الدوران وهو كمية متجهة ويعتمد على عزم قصوره الذاتي (I) وسرعته الزاوية (ω) . فمثلا يعتمد زخمه الخطي (p) على كتلته (m) وسرعته الخطية (v) ويقدر الزخم الزاوي بوحدات (kgm^2/s) . ومن ملاحظتك لشكل (19) نجد أن الزخم الزاوي يعطى بالعلاقة الآتية :

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$$

$$\vec{L} = \vec{r}\, m \vec{v}$$

$$\because \vec{\omega} = \frac{v}{r} \Rightarrow \vec{L} = mr^2 \omega$$

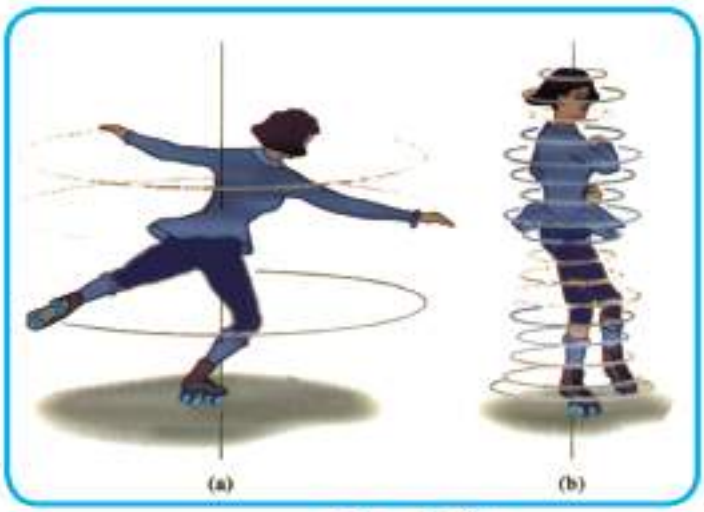
$$\therefore \vec{L} = I \cdot \vec{\omega}$$

17 - 7 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

$$I_1\omega_1 = I_2\omega_2$$

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 الآتية:

1. إذا دار قرص حول محور بزخم زاوي منتظم فإن مقدار إحدى الكميات الآتية لا تتغير مع مرور الزمن:

a) التعجيل الزاوي للقرص.
b) الشغل الدوراني للقرص.
c) السرعة الزاوية للقرص.
d) محصلة العزوم الخارجية المؤثرة في القرص.

2. يقف رامي على حافة منصة دائرية تدور بمستوى أفقي حول محور شاقولي مارٍ بمركزها فإذا اقترب الكعبان يدي رامي من مركز المنصة ومن دون تأثير عزم خارجي، فإن مقدار الزخم الزاوي للكعبان:

a) يزداد.
b) يبقى ثابتاً.
c) يقل.
d) يساوي الزخم الزاوي للمنصة.

3. إن (Joule .second) هي وحدة:

a) قدرة.
b) عزم مقاومة.
c) تعجيل زاوي.
d) زخم زاوي.

4. إن المعدل الزمني لتغير الزخم الزاوي يمثل:

a) عزم مقاومة.
b) شغل دوراني.
c) قوة.
d) إزاحة زاوية.

5. اختار بارد على منصة دائرية بمستوى أفقي، فحافظ دارت مع الأخير بمحور المرور: الاختار هو

a) زخمها الزاوي.
b) عزم قصورها الذاتي.
c) مقدار سرعتها الزاوية.
d) طاقتها الحركية الدورانية.

س2: علل ما يلي:

1. التوازن على الدراجة المتحركة أسهل من التوازن على دراجة ساكنة.
2. يمكن لتجسم أن يمتلك زخماً زاوياً على الرغم من أن الدفع الزاوي المؤثر فيه يساوي صفراً؟
3. يمد الشخص ذراعيه وهو يحمل بيديه ثقلاً أفقياً عندما يمشي على حبل أفقي مشدود.

تمارين

ت1: بدأت سيارة الحركة من السكون وكان قطر كل عجلة من عجلتها (80cm) وسارت بانتظام فبلغت سرعتها (20m/s) خلال (25s) فما :

1. التعجيل الزاوي لكل عجلة ؟
2. عدد الدورات التي تدورها كل عجلة خلال ذلك الزمن ؟

ت2: عجلة تدور بسرعة زاوية منتظمة أثر فيها عزم مقاوم فتوقفت عن الدوران بعد أن دارت (50rev) خلال (10s) احسب :

1. سرعتها الزاوية الابتدائية .
2. التعجيل الزاوي .

ت3: قرص على صفة قطره (0.6m) وكتلته (80kg) يدور بسرعة (3600rev / min) فما مقدار العزم المؤثر في القرص لإيقافه عن الدوران خلال (20s) ؟

ت4: عجلة قطرها (0.72m) وعزم قصورها الذاتي ($1.8kg.m^2$) 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) ؟

ت5: قرص عزم قصوره الذاتي ($1kg.m^2$) كان يدور بسرعة زاوية منتظمة أثر فيه عزم مماسي مقاوم فأوقفه عن الدوران بتعجيل زاوي منتظم بعد (4s) فكان الشغل المذول لعزل (200J) فما مقدار العزم المؤثر المقاوم؟

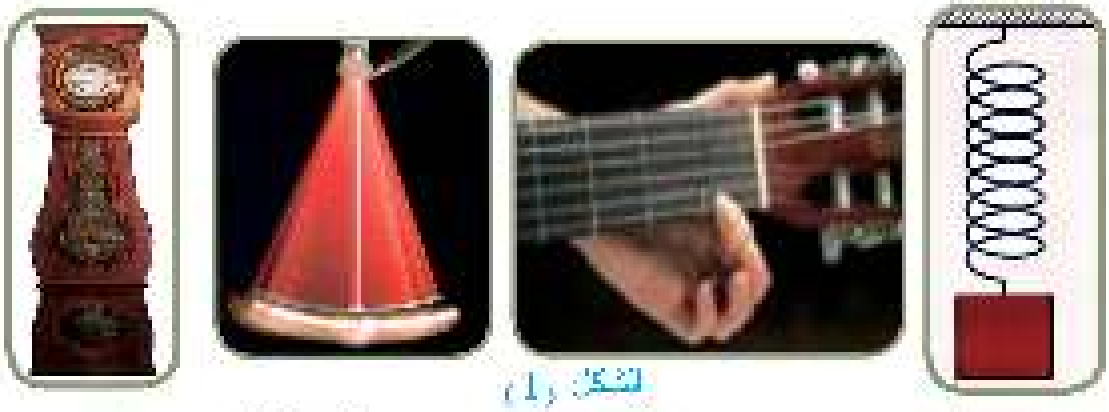
ت6: كرة مصمتة كتلتها (4.5kg) ونصف قطرها (0.2m) تدحرجت من السكون من قمة سطح مائل خشن ارتفاعه الشاقولي (7m) تدحرجا صرف ما مقدار طاقة الحركة الكلية في أسفل السطح المائل علما أن عزم القصور الذاتي للكرة المصمتة $I_{solid\ sphere} = \frac{2}{5}mr^2$:

الفصل 8

الحركة الاهتزازية و الموجية و الصوت
Wave and Vibration Motion and Sound

8 - 1 الحركة الدورية :-

لابد لك شاهدت حركة بندول ساعة 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 مرارا وتكرارا بفترات زمنية متساوية حول موضع استقرارها ومثل هذه الحركة تسمى بالحركة الدورية Periodic motion . في الحركة الدورية عندما يزاح الجسم عن موضع استقراره و عندما يحرك مبتعداً عنه تظهر قوة تعيد الجسم الى موضع استقراره تسمى بالقوة المعيدة .

8 - 2 الحركة الاهتزازية :-

ان حركة الجسم ذهاباً وإيابا (بالتجاهين متعاكسين) على جانبي موضع استقراره تسمى بالحركة الاهتزازية لاحظ الشكل (2) وتتخذ ثلاثي سعة اهتزازها ، تدريجيا نتيجة لوجود قوى مبددة للطاقة مثل قوى الاحتكاك مع الوسط الذي تهتز فيه) . والحركة الاهتزازية هي حالة خاصة من الحركة الدورية والتوقيت واستمرار الحركة الاهتزازية يشترط وجود :-

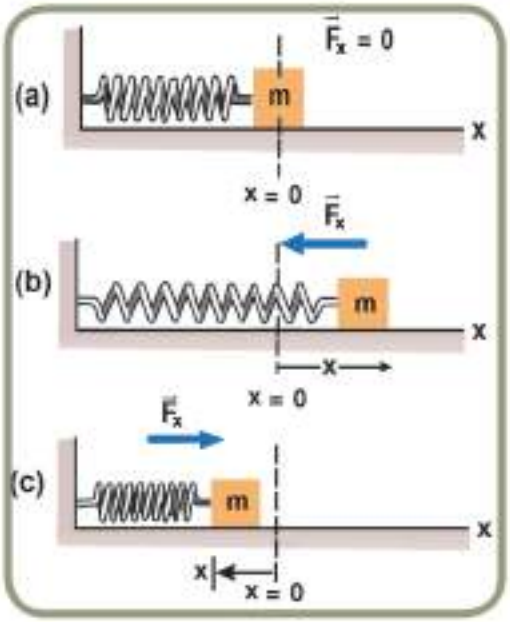
- القوة المعيدة .
- الاستمرارية .
- مستقر سجيل للطاقة .

الشكل (2)

3 – 8 الحركة التوافقية البسيطة :-

للتعرف على الحركة التوافقية البسيطة وهل ان كل حركة اهتزازية تعد حركة توافقية بسيطة ؟ للاجابة عن هذا السؤال نناقش حركة جسم الموضع في الشكل (3) والموضوع على سطح افقي مهمل الاحتكاك كتلته (m) و مربوط بأحد طرفي نابض محلزن والطرف الأخر للنابض مثبت بجدار والكتلة 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 .



الشكل (3)

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 .

$$\vec{F}_{res} \propto -\vec{x}$$

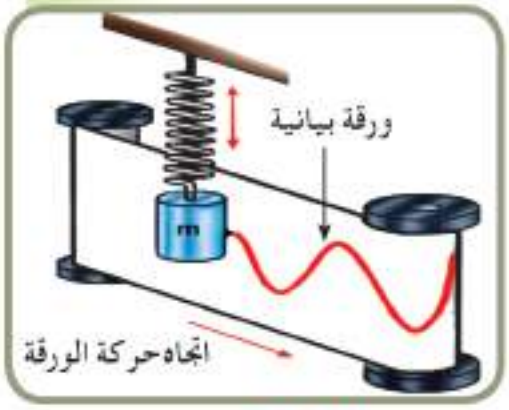
$$\vec{a}_T \propto -\vec{x}$$

نشاط عملي

تمثيل الحركة التوافقية البسيطة بيانياً .

ادوات النشاط :

جسم كتلته (m) ، نابض محلزن قلم يتحرك على شريط ورقي بياني ملفوف حول اسطوانة محورها شاقولي وكما موضح في الشكل (4).



الشكل (4)

خطوات النشاط :

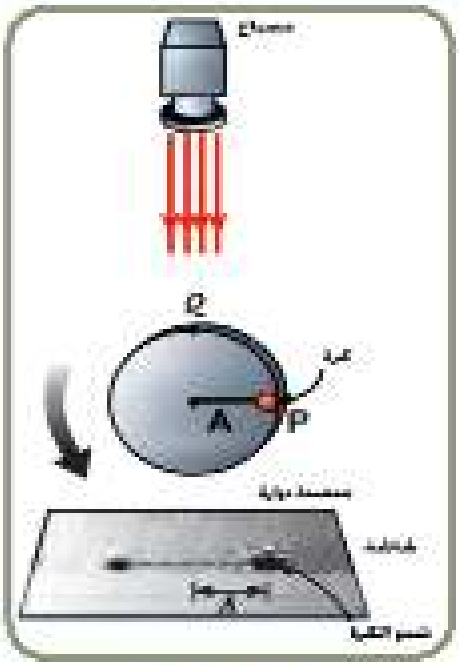
- نربط الكتلة m في الطرف الحر للنابض ثم نثبت قلم رصاص صغير بالكتلة بحيث يلامس رأسه شريطاً بيانياً ورقياً . لاحظ الشكل (4) .
- اسحب الكتلة بقوة صغيرة إلى أسفل واتركها تتحرك بحرية حركة عمودية . ثم دور الاسطوانة لكي ينسحب الشريط البياني افقياً .
- ما شكل الخط الذي سيرسمه قلم الرصاص والذي سنحصل عليه .... ؟
- سيظهر على الورقة التمثيل البياني للحركة التوافقية البسيطة والذي يشبه منحنى $\sin\theta$ أو منحنى $\cos\theta$ 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 :

$$\text{Period}(T) = \frac{\text{Time of many Vibration}}{\text{Number of Vibration}}$$

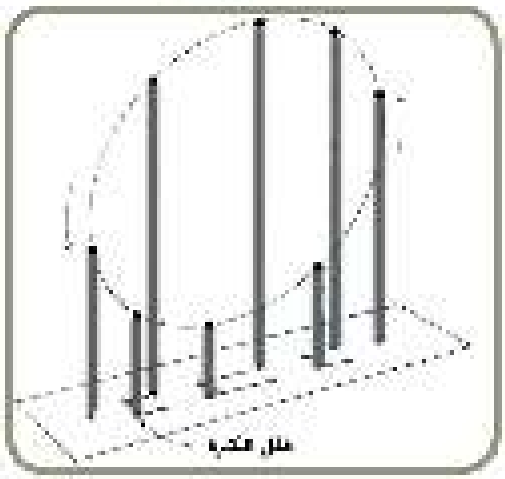
ويعرف التردد (frequency) :- بانه عدد الاهتزازات التي يهتزها الجسم في الثانية الواحدة ويقاس بوحدة تسمى هيرتز (Hz) .

8 - 4 العلاقة بين الحركة الدورية المنتظمة والحركة التوافقية البسيطة



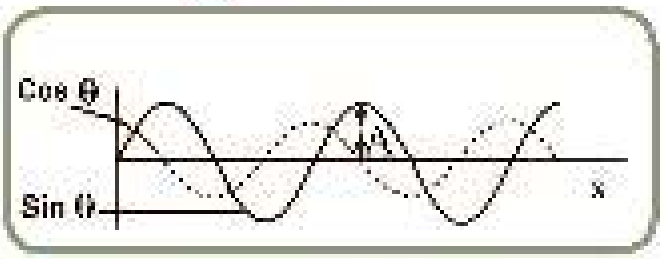
شكل (5)

من الممكن ملاحظة هذه العلاقة في المختبر ، من خلال أنموذج كرة صغيرة مثبتة على قرص يدور بحركة دورانية منتظمة و بسرعة زاوية منتظمة (ω) بحيث يسقط ضوء على الكرة ليسقط ظلها عمودياً على شاشة فتراه متذبذة تحت القرص لاحظ الشكل (5).



شكل (6)

لاحظ لك مرى ظل الكرة على الشاشة في مواقع مختلفة وانه يسقط شكل موجة جيبية اي يتحرك الى الامام والخلف بحركة توافقية بسيطة لاحظ الشكل (6) .



شكل (7)

وكل حركة دورية يمكن تمثيلها بالمركبة المحور الجيبي لحركة دائرية مرتبطة لاحظ الشكل (7) وكما يأتي:

$$x = A\sin\theta$$

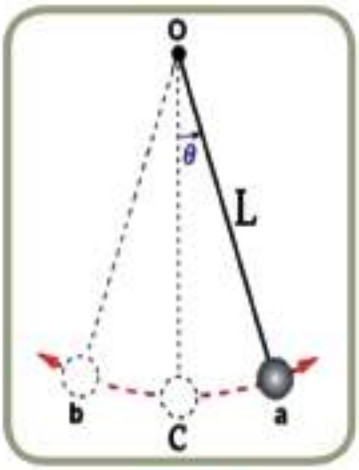
حيث ان : θ = الازاحة الزاوية .

A = سعة الموجة .

x = الازاحة .

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 :

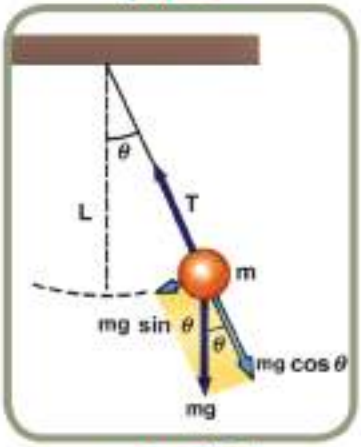
1) ما القوى المؤثرة في الكرة عند أي نقطة من مسارها ؟

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 ؟



الشكل (9)

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 .

مثال 1 ساعة بندولية طول خيطها 1m. أحسب الزمن الدوري لها اذا كان بندولها يتأرجح ذهاباً وإياباً بحركة توافقية بسيطة ،علماً ان $g = 9.8m/s^2$.

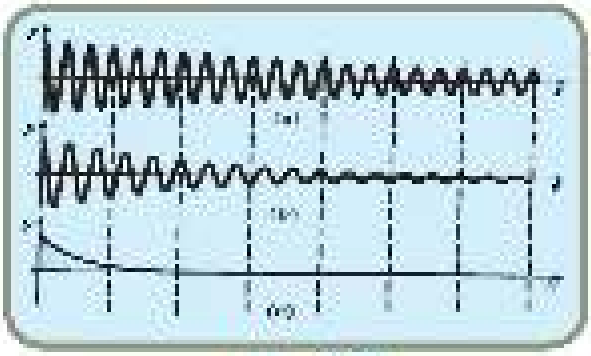
الحل /

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \Longrightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{1m}{9.8m/s^2}}$$

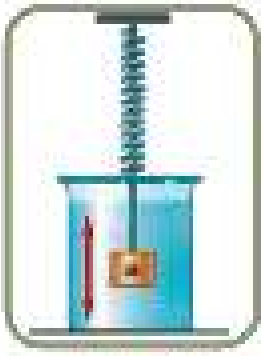
$$T = 2s$$

3- د الحركة الاهتزازية المتضمحلة

عند عرفنا أن البندول الذي يتحرك حركة توافقية بسيطة ، فإن حركته تستمر لمدة طويلة المتضمحلة محدودة . وتكون عند وجود قوة معرقة كقوة الاحتكاك كما هو الحال عند تحرك ثقل معلق بنابض مطاطي 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 المتضمحل أو المتلاشي (Damping Vibration) كما هو موضح في الشكل (11)



الشكل (11)



الشكل (10)

من الواضح أنه لكي يهتز النظام لفترة معينة من الزمن لابد من تزويده بالطاقة باستمرار لتعويض الطاقة المفقودة خلال كل تذبذبة وذلك ببذل شغل ضد قوى الاحتكاك كما في حالة دفع أرجوحة الأطفال باستمرار لتزويد النظام بما يفقده من طاقة في كل تذبذبة لاحظ الشكل (12) .

الشكل (12)

الاهتزاز المتضمحل له تطبيقات عملية تطبيقية أيضاً في منظومة المتصاص الصدمات في السيارة (suspen sion) تقوم مصدات الصدمات (الديلات) بتخميد الاهتزازات الناتجة عن مرور السيارة على مطبات الطريق لاحظ الشكل: (13)

الشكل (13)

3- الحركة الموجية Wave Motion :

لو تأملت ما حولك لرأيت الكثير من الظواهر الموجية التي تشاهدها يوميا مثل :

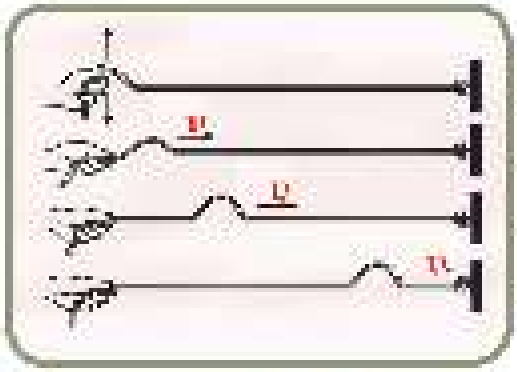
اضطراب سطح الماء الساكن عند إلقاء حجر فيه وتكون الموجات الدائرية الحاملة للطاقة على شكل دوائر متحدة المركز من نقطة سقوط الحجر إلى الأطراف وكذلك حركة الموجات الزلزالية في القشرة الأرضية ناقلة الطاقة على سطح الأرض وكذلك انتشار صوت أوتار الآلات الموسيقية المهتزة في الهواء عبر اهتزازات جزيئات الهواء . وتعد الموجات وسائل لنقل الطاقة بأشكالها كافة (أنظر الشكل (14)) .

الشكل (14)

فالحركة الموجية هي اضطراب ناتج عن مصدر طاقة وعندما تنتشر الموجات بمتانة نوع يمكن تركه وهو الموجة المتولدة في وتر مشدود .

3-1 النبضات في وتر Pulses in a String :

لو ثبتت نهاية وتر بشكل محكم وحركت طرفه الآخر بيدك بسرعة كبيرة إلى الأعلى أو للأسفل سيتولد اضطراب يسمى نبضة pulse وتنتقل هذه النبضة إلى أجزاء الوتر جميعها ناقلة معها الطاقة (كامنة وحركية) من غير أن تنتقل جزيئات الوتر معه ، لاحظ الشكل (15) أن النبضة تنتقل خلال الوتر بسرعة v قاطعة إزاحة ($\vec{x}$) $\left[\vec{x}=\vec{v}t\right]$ وعندما يهتز الوتر فإن كل جسيم فيه يهتز بحركة توافقية بسيطة إلى أعلى وأسفل وتسمى أقصى إزاحة للجزيئات عن مواضع استقرارها بالسعة (سعة النبضة) وتنتقل النبضة خلال الوتر باتصالاق v يطلق عليه انطلاق النبضة لذا فإن الموجة المتولدة في الوتر هي سلسلة من النبضات .



الشكل (15)

يعتمد انطلاق الموجة في الوتر على قوة الشد في الوتر (T) وكتلة وحدة الطول من الوتر (الكتلة الطولية) μ :

حيث ان :

$$\mu = \frac{m}{L}\ (kg/m)$$

$$\text{Wave speed} = \sqrt{\frac{\text{Tension in the string}}{\text{Linear mass density}}}$$

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \rightarrow v = \sqrt{\frac{T}{m/L}}$$

حيث ان : T تمثل قوة الشد في الحبل .

μ : تمثل كتلة وحدة الطول وتكون بوحدات $\frac{kg}{m}$

ويكون البعد بين كل ضغطين متتاليين او ضغرين متتاليين يساوي طول موجة كاملة (λ) ، وان زمن الدورة الواحدة T للموجة هو الزمن اللازم لاهتزاز اي نقطة في مسار الموجة دورة واحدة

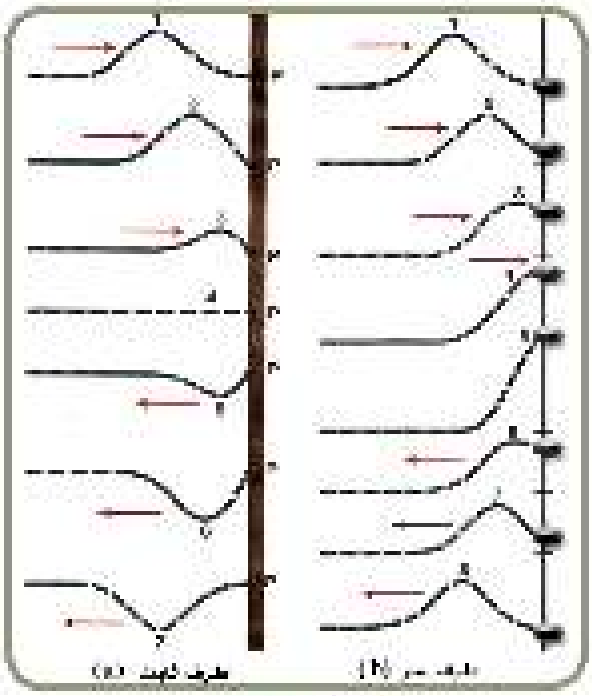
وان التردد f هو :

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

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

$$\lambda = v T$$

ومن الجدير بالذكر ان العلاقات الواردة في اعلاه تكون صحيحة لجميع الموجات ، كما ان تردد الموجة يعين بتردد المصدر المولد لها وان مقدار سرعة الموجة يتوقف على خواص الوسط الذي تنتقل فيه (مثل المرونة والكثافة) .



الشكل (16)

فعند توثيد نبضة في طرف وتر وطرفه الاخر مثبت في حاجز فان النبضة ستنتقل خلال الوتر نحو الحاجز وتصل الى الحاجز وتؤثر عليه بقوة الى الاعلى وتكون الحاجز سيؤثر على الوتر بقوة رد الفعل مساوية لها بالمقدار ومعاكسة لها بالاتجاه الى الاسفل وهذه القوة سوف تسبب في حركة الوتر الى اسفل فتنخفض عن موضع استقراره فتتعكس النبضة والقمة تتعكس قعر والقعر يتعكس قمة ويسمى هذا بالانقلاب وبهذا فان النبضة المنعكسة تختلف بفرق طوري 180 عن النبضة الساقطة واذا كان طرف الوتر حر فانه يتحرك الى اعلى والى اسفل ، والنبضة المنعكسة لا يحصل لها انقلاب في الطور اي بالطور نفسه ، لاحظ الشكل (16) .

مثال 2

وتر جيتار كتلته 20g وطوله 60cm ما مقدار قوة الشد اللازمة في الوتر لكي تكون سرعة الموجة فيه v = 30m/s ؟

الحل/

$$v = \sqrt{\frac{T}{m/L}}$$

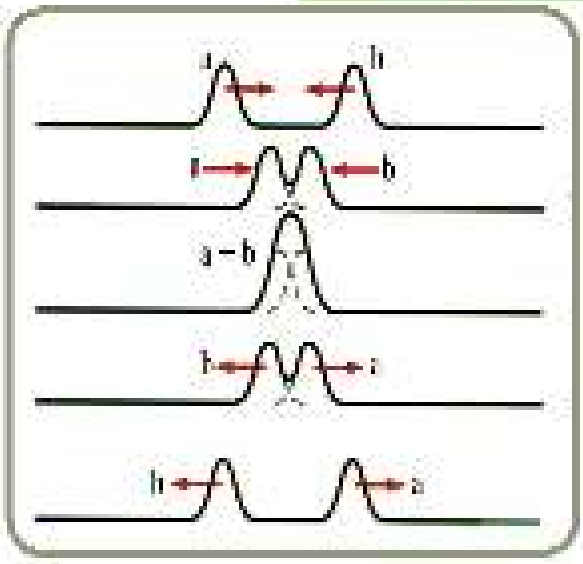
$$T = \frac{mv^2}{L} \rightarrow = \frac{\frac{20}{1000} \times (30)^2}{60}$$

$$100$$

$$= \frac{0.02 \times 900}{0.6}$$

$$T = 30N$$ الشد في الوتر

9-3 مبدأ التراكب Principle of Superposition

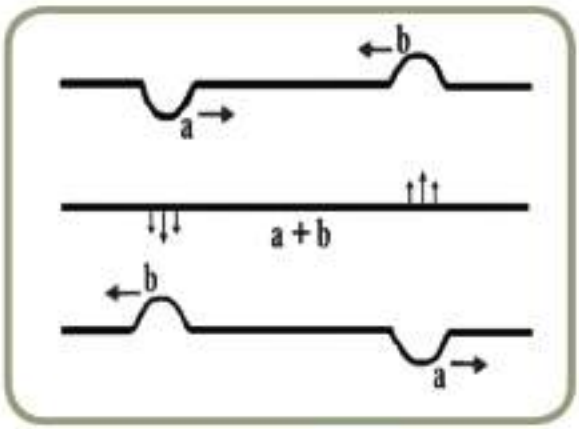


الشكل (17)

معظم الحركات الموجية التي نسمعها ، نراها ، 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 بسرعة مستقلة قد تلتقي وتحطى حركة موجية ، لحظة تسمى هذه الظاهرة بمبدأ تراكب الموجات ، يمكن توضيح مبدأ التراكب كالاتي :

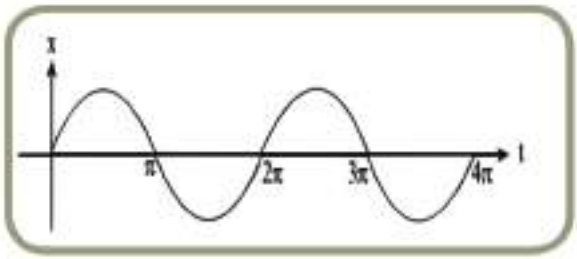
عندما تتحرك نبضتان خلال نقطة في وتر ، في الوقت نفسه ستكون ازاحتيهما المحصلة في نقطة الالتقاء تساوي المجموع الاتجاهي لازاحتي النبضتين الناتجة كل على انفراد في الوتر نفسه فور انتقال النبضتين في وتر تتحركان باتجاهين متعاكسين فعند التقاء هاتين النبضتين نحصل على نبضة محصلة ، ومن ثم تظهر النبضتان مرة اخرى 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 .

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 m/s}{9.4 \times 10^9 Hz}$$

$$\lambda = 3.19 \times 10^{-2} m = 3.19 cm$$

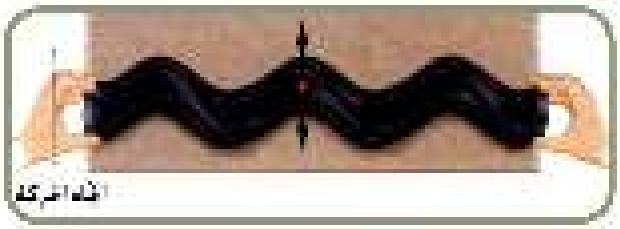
$$n = ft = (9.4 \times 10^9 Hz)(8 \times 10^{-9} s) = 75.2 \times 10^1$$ عدد الموجات

3-2 أنواع الموجات Kinds of waves

سبق وان تعرفت في دراستك السابقة على أنواع الموجات , وعرفت ان الموجات على نوعين :

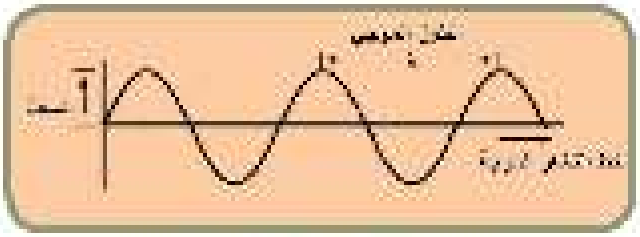
1) الموجات المستعرضة transverse waves

كما في الموجات الحاصلة في الحبل المشدود من طرف واحد والنابض المطاط والتي تهتز فيه جسيمات الوسط بشكل عمودي على خط انتشار الموجة , لاحظ الشكل (20) .



الشكل (20)

ويمكن تمثيل الموجة المستعرضة بمنحنى sine , cosine حيث يمثل المحور x مواضع الاستقرار لجسيمات الوسط المهتز ويمثل المحور y إزاحات الجسيمات عن مواضع استقرارها لاحظ الشكل (21) .



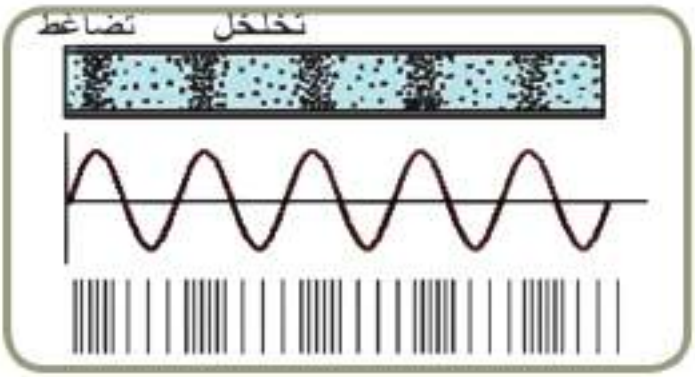
الشكل (21)

الموجات الميكانيكية المستعرضة يمكنها النقل فقط في الأوساط المرنة التي تكون قوى تماسك كافية مثل الأجسام الصلبة وسطوح المواد السوائل لا يمكن تجسيم الميز من تحريك الجسيمات المجاورة له عموديا على اتجاه انتشار الموجة . والموجات المستعرضة التي لا تحتاج الى وسط مادي لانتقالها هي الموجات الضوء ومغناطيسية .

2) الموجات الطولية longitudinal wave

والتي تهتز فيها جسيمات الوسط بموازاة خط انتشار الموجة وكما في الشكل (22) كما في الموجه الحاصلة في نابض مطاط , والموجات الصوتية إذ إن اهتزاز شوكة رنانة في الهواء تولد سلسلة من التضاغطات والتخلخلات دوريا مع الزمن منتشرة في الهواء .

الشكل (22)



الشكل (23)

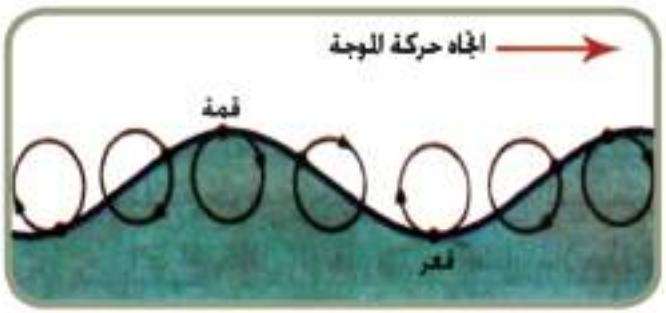
ويمكن تمثيل الموجة الطولية بالرسم اما بخطوط مستقيمة متقاربة تمثل مناطق التضاغط وأخرى متباعدة تمثل مناطق التخلخل او أنها تمثل بيانيا بمنحنى الجيب sine curve ويسمى بمنحنى التضاغط والتخلخل للموجة الطولية لاحظ شكل(23).

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 :

$$\upsilon = \sqrt{\frac{\beta}{\rho}}$$



الشكل (24)

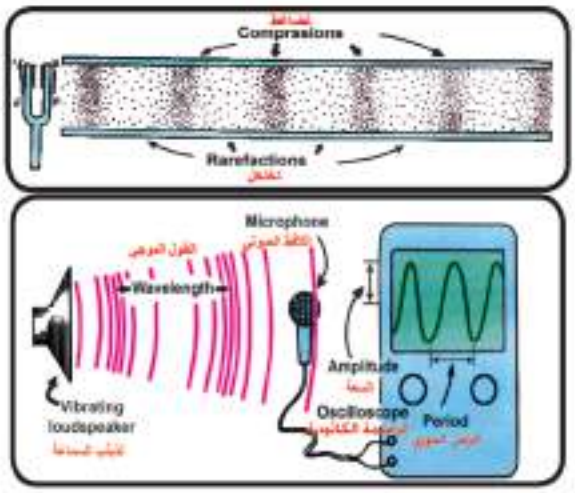
تظهر بعض الموجات في الطبيعة مثل موجات الماء باتحاد نوعين من الموجات: موجات طولية وموجات مستعرضة مثل موجات الماء ، لاحظ الشكل (24) فعندما تنتشر الموجات المائية على سطح ماء عميق تتحرك الجزيئات الموجودة على السطح بمسار دائري . فالإزاحات المستعرضة عبارة عن تغير في الوضع العمودي لجزيئات الماء . والازاحات 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) .

12 – 8 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 .

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 .



الشكل (25)

الجدول (1)

سرعة الصوت في الاوساط المختلفة $v(m/s)$	
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 الميثيلي	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 الحديد في درجة $0^{\circ}C$ وضغط $1atm$ في الالمنيوم مقدار $5100m/s$ ، بينما انطلاق الصوت في الهواء في الدرجة نفسها مقدار $331m/s$.

و على هذا الأساس يمكن صياغة انطلاق الصوت بالعلاقة الآتية :

$$v_s = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

إذ أن :

- v_s تمثل انطلاق الصوت .
- Y تمثل معامل يونك .
- ρ تمثل كثافة الوسط .

مثال 4 اذا طرق احد طرفي سلك من الالمنيوم بواسطة مطرقة فانتشرت عبر السلك موجة طولية احسب انطلاق الصوت في سلك الالمنيوم علما ان معامل يونك للالمنيوم يساوي $7\times10^{10}N/m^2$ ، وان كثافة الالمنيوم $2.70\times10^{3}kg/m^3$

الحل/

$$v_s = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

$$= \sqrt{\frac{7\times10^{10}\ N/m^2}{2.7\times10^{3}\ kg/m^3}}$$

$= 5091\ m/s$ انطلاق الصوت في الالمنيوم

وهذه النتيجة اكبر بكثير من مقدار سرعة الصوت في الغازات ،كما مبين في الجدول (1) ذلك أن جزيئات المواد الصلبة مرتبطة ببعضها بطريقة أكثر تماسكا فتكون الاستجابة للاضطراب أكثر سرعة .

و انطلاق الصوت في الغازات يتوقف على نوع الغاز ودرجة حرارته فعند ارتفاع درجة الحرارة تزداد سيزية ، لهذا تزداد انطلاق الصوت في الهواء بمقدار $0.6m/s$ فانطلاق الصوت في الهواء عند درجة حرارة T :

$$v = 331 + 0.6T$$

يزداد انطلاق الصوت بزيادة الرطوبة في الجو لان كثافة الهواء الرطب اقل من كثافة الهواء الجاف و انطلاق الصوت في السوائل يعطى بالعلاقة :

$$v_s = \sqrt{\frac{\beta}{\rho}}$$

حيث ان β تمثل معامل مرونة السائل و تقاس N/m^2

مثال 5

احسب انطلاق الصوت في الماء الذي معامل مرونته $2.1 \times 10^9 N/m^2$ وكثافته $1 \times 10^3 kg/m^3$.

الحل/

$$v_s = \sqrt{\frac{\beta}{\rho}}$$

$$= \sqrt{\frac{2.1 \times 10^9 N/m^2}{1 \times 10^3 kg/m^3}} = 1449 m/s$$

انطلاق الصوت في الماء

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

ادوات النشاط :

الشكل (26)

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) .

خطوات النشاط :

- اطرق شوكة رنانة او اي مصدر صوتي اخر عند الفتحة P وسيحدث تضاغط .
- حرك الانبوبة B بحيث يصبح المساران PAR – PBR 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 $(\frac{\lambda}{2})$ عندئذ تداخل تضاغط من المسار الأول مع تخلخل من المسار الثاني فيحدث تداخل إتلافي يؤدي الى خفوت بالصوت اذ تزول طاقة الموجة الناتجة .

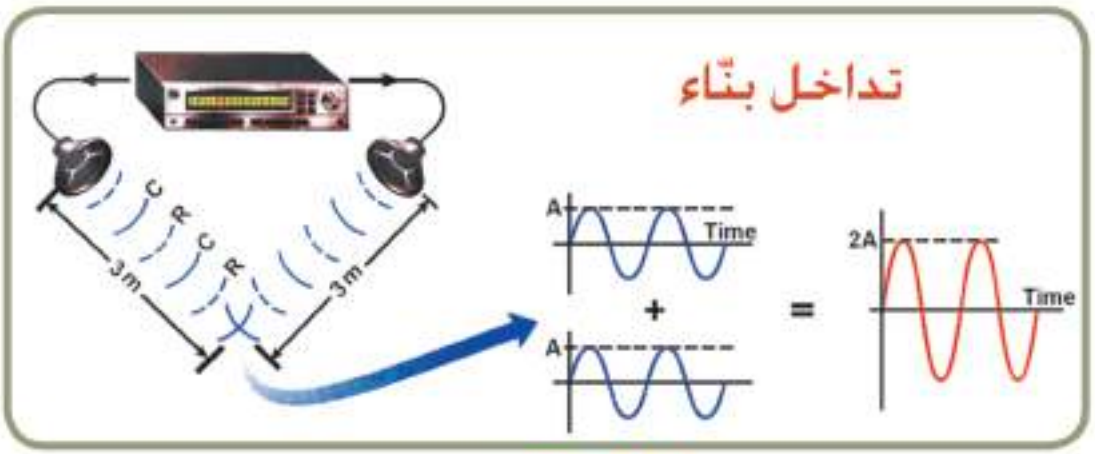
نستنتج ان :

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

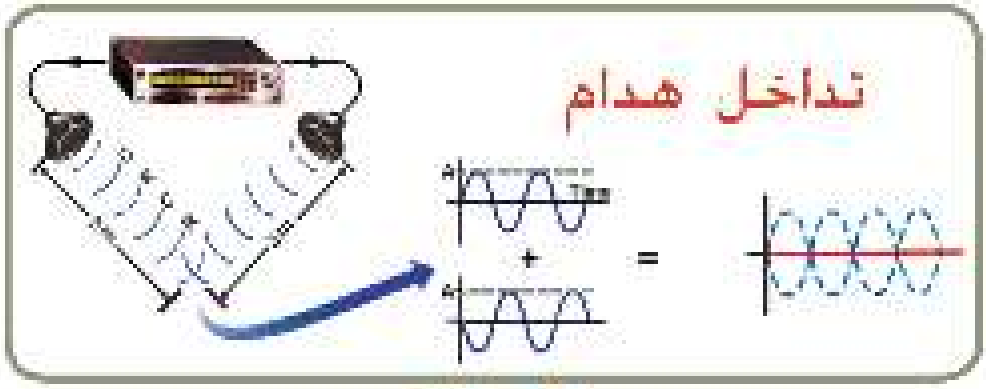
عندما تتداخل الموجات مع بعضها يحدث تقوية في الموجة الناتجة يسمى تداخل بناء عند التقاء قمة الموجة مع قمة موجة أخرى او التقاء قعري الموجتين لاحظ الشكل (27a) .



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).



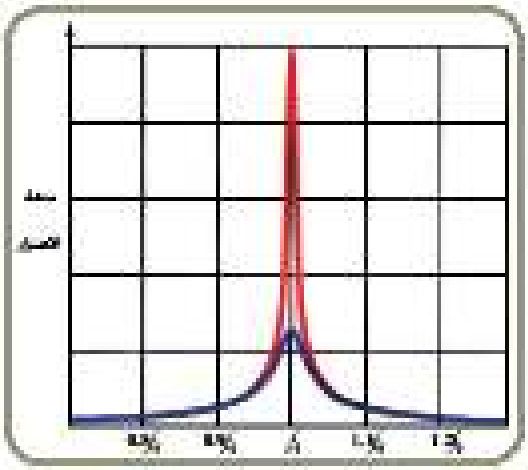
الشكل (27b)

3- الرنين Résonance

إذا أثرت قوة خارجية دورية في نظام مهتز وكان تردد القوة المؤثرة f يساوي التردد الطبيعي للنظام f_0 ، أي أن :

$$f = f_0$$

فإن سعة اهتزاز النظام تصبح أعظمية، نقول عندئذ أن القوة في حالة رنين مع النظام والتردد في هذه الحالة يسمى بالتردد الرنيني وأن النظام عندئذ يهتز بأعظم طاقة لاحظ الشكل (28) .



الشكل (28)

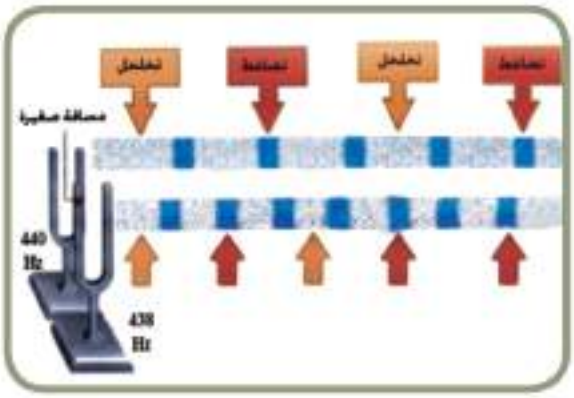
وهذه الحالة يمكن ملاحظتها في تردد سعة الاهتزاز القسرية حيث يقوم الشخص الواقف بدفع الكرسي بقوة دورية تردداتها تساوي التردد الخاص للكرسي لاحظ الشكل (29) .

الشكل (29)

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 .

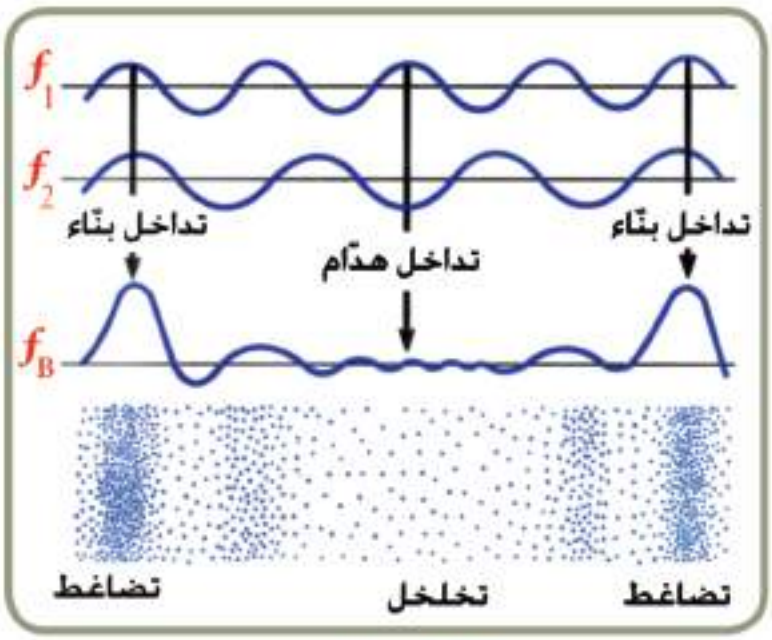


الشكل (30)

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 ترديهما اي ان :

$$f = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

إذ ان :

f_1 = تردد الموجة الأولى .

f_2 = تردد الموجة الثانية .

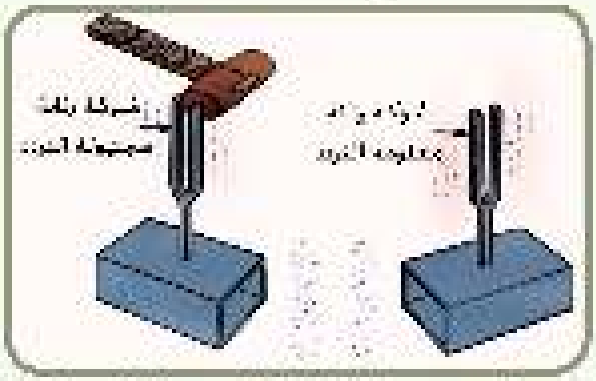
تستثمر ظاهرة الضربات لتعيين :

- تردد وتر ما في آلة موسيقية .
- تردد مجهول لشوكة رنانة بوساطة شوكة رنانة أخرى .

مثال 6

رنانة تغير 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 او بعدة فان f_1 هو التردد الصحيح .

2 – ازداد عدد الضربات في الثانية او بعدة فان f_2 هو التردد الصحيح .

كيف يمكنك الحصول على ظاهرة الضربات باستعمال شوكتين رنانتين مختلفتين بالتردد .

ب – الموجات الراكدة Standing waves :-

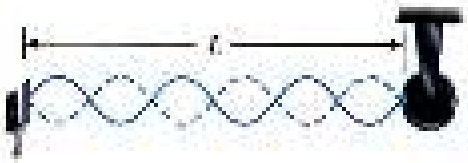
تعتقد انك تتساءل عن هذا الظاهر الموجات الواقفة او كيف تحدث ؟ هل تحدث للموجات جميعها وما هو التطبيق العملي عليها؟ هذه الاسئلة وغيرها يمكنك الاجابة عنها بعد اجرائك النشاط التالي :

نشاط

الموجات الواقفة في وتر

ادوات النشاط :

شوكة رنانة ، وتر ، ثقل .



خطوات النشاط :

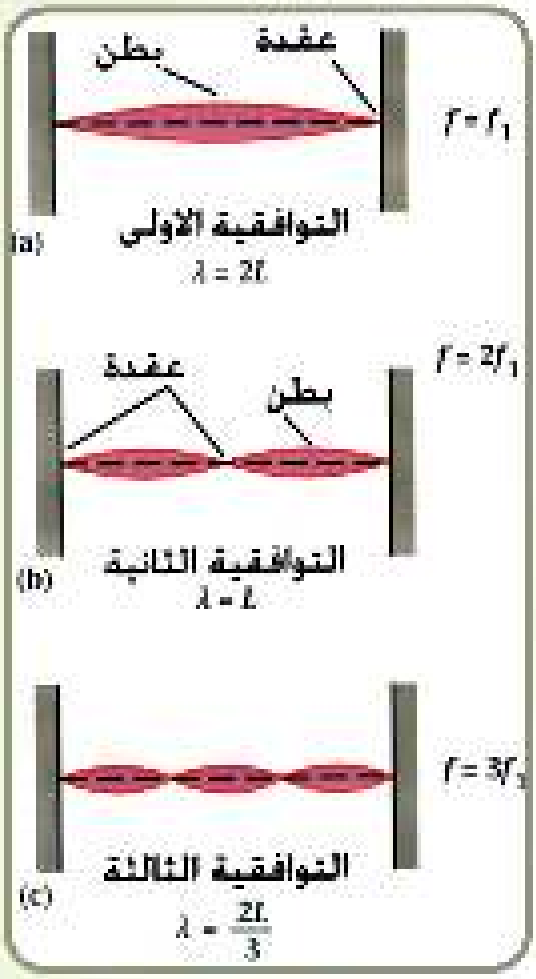
- ثبت احد طرفي الوتر بحامل قرص شوكة رنانة كما في الشكل (32) .

الشكل (32)

- اجعل طرف الوتر الاخر يمر على بكرة ويتدلى منه ثقل .
- عند اهتزاز الشوكة الرنانة بعد التحكم بطول الوتر او تغير مقدار الثقل او كليهما اجعل الوتر يهتز بتعدد صحيح من انصاف طول الموجة ماذا تلاحظ ؟

سوف تكون موجات تنعكس عند نهاية الوتر وتتداخل معها فتلتقي مع الموجات المتقطعة

مكونة ما يسمى بالموجات الواقفة. فينقسم الوتر الى عدة مناطق تتكون من عقد وبطون وتتميز 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 ولاحظ هذه البطون ولاحظ ايضا بذلك تسمى هذه الموجات بالموجات الواقفة او الساكنة (standing waves ,, stationary wave) فالموجات الواقفة هي تلك الموجات التي تنشأ من تراكب متماثلين من الموجات المتداولة في الوتر والمتحركين في اتجاهين متعاكسين وبالاتساق 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) .

- ماعدد 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 ؟

وفق إجابتك عن الأسئلة السابقة ، يكون :

طول الوتر (L) عند البطون (n) $= \frac{(n\lambda)}{2}$

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

حيث ان : $n = 1 , 2 , 3 , 4 , \ldots$

ومن العلاقة : $v = \lambda f$

فان التردد يعطى بالعلاقة التالية :

$$f = \frac{n}{\lambda} = n \cdot \frac{v}{2L}$$

اذا كانت : $n = 1$

فان : $f_1 = \frac{v}{2L}$ حيث يعرف f_1 بالتردد الاساسي او النغمة التوافقية الاولى (first harmonic) .

اذا كانت : $n = 2$ فان f_2 يعرف بتردد النغمة التوافقية الثانية :

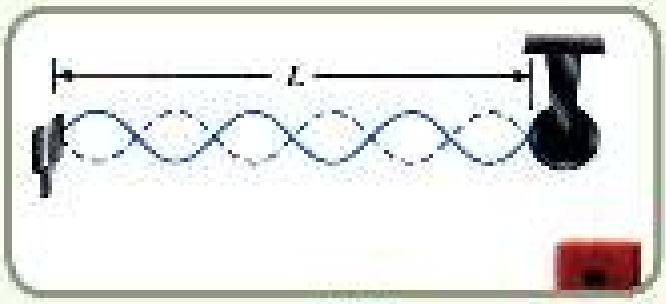
$$f_2 = \frac{v}{L}$$

وهكذا . . .

مثال 7

في الشكل (34) وتر طوله 42cm تولدت فيه موجة واقفة تتألف من ستة بطون وتنطلق بسرعة 84m/s جد كلا من طول الموجة وتردده للوقفة الاولى والثانية ؟

الحل/



الشكل (34)

بتطبيق العلاقة : $L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$

حيث ان n يمثل عدد البطون

$$0.42 = 6 \cdot \left(\frac{\lambda}{2}\right)$$

طول الموجة الواقفة $\lambda = \frac{0.42}{3} = 0.14m$

اما ترددته الاولى والثانية فنجدها بتطبيق العلاقة $f = n \cdot \frac{v}{2L}$ ومنها نجد ان :

ترددالنغمة للواقفة الاولى $f_1 = \frac{1 \times 84}{2 \times 0.42} = 100Hz$

ترددالنغمة للواقفة الثانية $f_2 = \frac{2 \times 84}{2 \times 0.42} = 200Hz$

اي ان : $f_2 = 2f_1$

8-3 خصائص الصوت

تختلف الأصوات بعضها عن بعض بخصائص اساسية ثلاثة هي :

1. علو الصوت .
2. درجة الصوت .
3. نوع الصوت .

1 علو الصوت Loudness

يرتبط علو الصوت بشدة الصوت التي اوانكر في الاذن والتي تعطينا الإحساس بعلو الصوت او خفوته. فالاصوات التي من حولنا قد تكون عالية كصوت الرعد وقد تكون خافتة كالهمس ويعرف مقدار الصوت عند نقطة معينة بأنه :

((المعدل الزمني لطاقة الصوتية لوحدة المساحة المعتدة من جبهة الموجة التي مركزها تلك النقطة)) لاحظ الشكل (35) .

$$\text{شدة الصوت} = \frac{\text{القدرة الصوتية}}{\text{المساحة}}$$

اي ان :

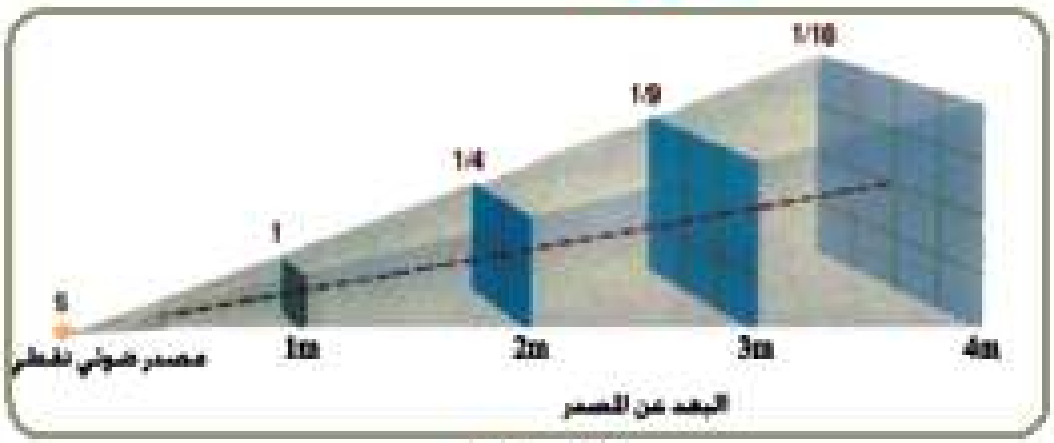
$$I = \frac{P}{A}$$

إذ ان :

P - القدرة الصوتية مقدرة بالواط (Watt) .

A - المساحة مقدرة بـ m^2 .

I - شدة الصوت مقدرة بـ $Watt/m^2$.



الشكل (35)

ان شدة الصوت عن 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) مساحة اجزاء المصدر وكثافته : تتناسب شدة الصوت طردياً مع كل من مربع مساحة اجزاء مصدر الصوت وكثافة مربع كثافة المصدر .

3) المساحة السطحية لشطح الموجة : لا تتغير شدة الصوت وتزداد المساحة السطحية لجسم الموجة .

4) كثافة وسط الانتشار : تزداد شدة الصوت وتزداد كثافة الوسط المنتشر .

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) اواكبر من **20000Hz** (وهي ترددات الموجات فوق السمعية) .

ان العلاقة بين شدة الصوت وعلوه ليست علاقة طردية وإنما هي علاقة لوغارتمية كما ان الإذن 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_I) لصوت ما شدته (**I**) هو :

$$L_I\ (\text{decibel}) = 10\ (\log_{10}\ \frac{I}{I_o})$$

وان مستوى الشدة (L_I) 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_I 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 :

$$L_I = 10\log\frac{1}{10^{-12}} = 10\log_{10}10^{12} = 120dB$$

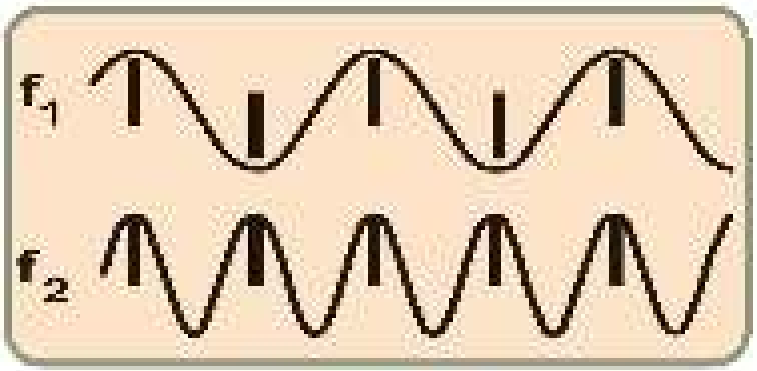
والجدول (**2**) يبين مستويات الشدة لمصادر صوتية مختلفة .

جدول (2) مستويات الشدة لمصادر صوتية مختلفة

مصدر الصوت		مستوى الشدة للصوت (dB)
طائرة نفاثة قريبة	Nearby jet airplane	150
صفارة انذار	Siren' rok Concert	120
مترو الانفاق وماكنة قص العشب	Subway , power mower	100
المرور المزدحم	Busy traffic	80
المكنسة الكهربائية	Vacuum cleaner	70
المحادثة الطبيعية	Normal conversation	50
صوت الناموس (الزن)	Mosquito buzzing	40
الهمس	Whisper	30
حفيف اوراق الشجر	Rustling leaves	10
حد السمع	Threshold of hearing	0

2 درجة الصوت Pitch of the sound

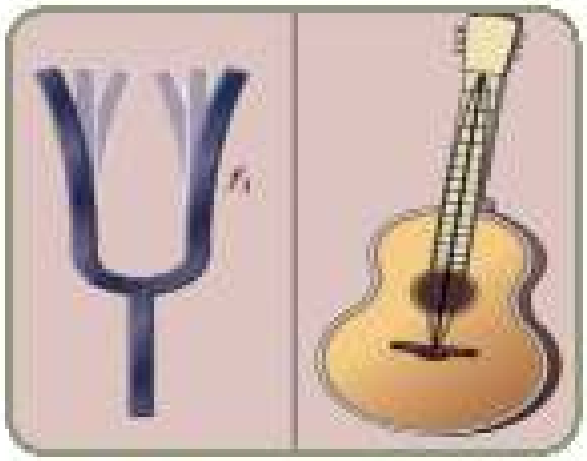
هي خاصية الصوت التي تعتمد على تردد الموجات الصوتية الواصلة للاذن والتي تميز بين الأصوات الحادة كصوت المرأة والأصوات الغليظة كصوت الرجل . فاذا كان تردد النغمة صغيرا قيل ان النغمة منخفضة الدرجة واذا كان تردد النغمة كبيرا قيل ان النغمة عالية الدرجة . (انظر الشكل (36)) .



الشكل (36)

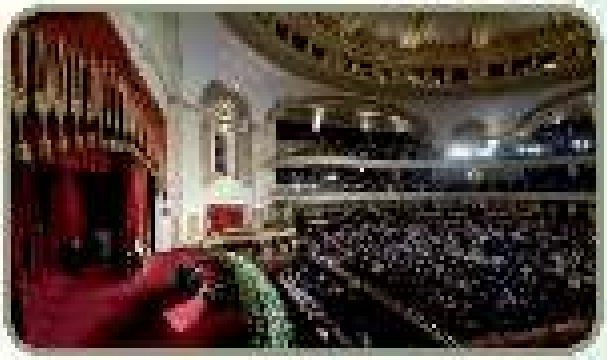
3 نوع الصوت

تلك الخاصية التي بواسطتها نميز الإذن بين النغمات المتماثلة في الرتبة و الشدة الصادرة عن الآلات الموسيقية المختلفة فالنغمة الصادرة عن شوكة رنانة تردد مثلاً 256Hz يمكن تمييزها عن نغمة أخرى لها التردد نفسه صادرة من بيانو أو كمان ..ويتوقف على نوع المصدر و طريقة توليد الصوت لاحظ الشكل (37) .



الشكل (37)

هل تعلم ؟



الشكل (38)

تزيّنت الصفوف والجدران غالبا لهدف استخدام الغرف والقاعات فالصفوف المصممة لتردد عال هي عادة مسطحا وصلبا أما الصفوف والمكتبات والأماكن الهادئة فهي عادة تكون ناعمة المنسر ومغطاة بمادة ممتصا للصوت لاحظ الشكل (38) .

مثال 8 وضعت أذنان متماثلتان على البعد نفسه من عامل ، شدة الصوت الواصل من كل أذن لموضع العامل هو $2\times10^{-7}\ Watt/m^2$ ، أوجد مستوى الشدة للصوت المسموع من قبل العامل a) عندما تعمل إحدى الأذنان . b) عندما تعمل الأذنان معاً .

الحل /

a) نحسب مستوى الشدة L عند موضع العامل عندما تعمل إحدى الأذنان 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) تضاعف الشدة الى $4\times10^{-7}\ Watt/m^2$ وبذلك يكون مستوى الشدة في هذه الحالة هو :

$$L_{12} = 10\log_{10}\frac{I}{I_0}$$

$$L_{12} = 10\log\frac{4\times10^{-7}\ Watt/m^2}{1\times10^{-12}\ Watt/m^2} = 56\ dB$$

أي عندما تضاعف الشدة فان مستوى الشدة يزداد بمقدار 3dB فقط.

بعزف عازف لكمان لحن منفرداً وبعد ذلك ينضم اليه تسع عازفين والجميع يعزفون الشدة نفسها التي عزف بها العازف الاول .

a) عندما يعزف كل العازفين معاً ماتقدر مستوى شدة الصوت لمجموعة ؟

b) اذا انضم عشرة عازفين آخرين كم يزداد مستوى شدة الصوت عن حالة العازف الواحد ؟

19-8 الموجات فوق الصوتية Ultrasonic waves

الموجات فوق الصوتية : هي موجات ميكانيكية تنتشر بسرعة الصوت نفسها الا انها ذات تردد عالي يزيد عن $20000H_z$ وسر تسميتها العالية .

تستخدم في تعيين اتساع واعماق البحار لا يشعرها الغواص في غطس الاصطدام بها وتعرض طريقة لتاه ضوئها لا يصدر موجات فوق صوتية كعكس عند اصطدامها بأي عائق ويستقبل الغواص الموجات المنعكسة فيستدل على وجود العوائق ويتجنبها كما يستعملها الانسان في حساب اعماق البحار وذلك بإرسال اشارة من الموجات فوق الصوتية نحو قاع البحر وتستقبل الإشارة المنعكسة عنه بمستقبل خاص وبحساب زمن الذهاب والاياب للموجة ومعرفة سرعة الموجات فوق الصوتية 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 .

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)

20 - II تأثير دوبلر Doppler effect :

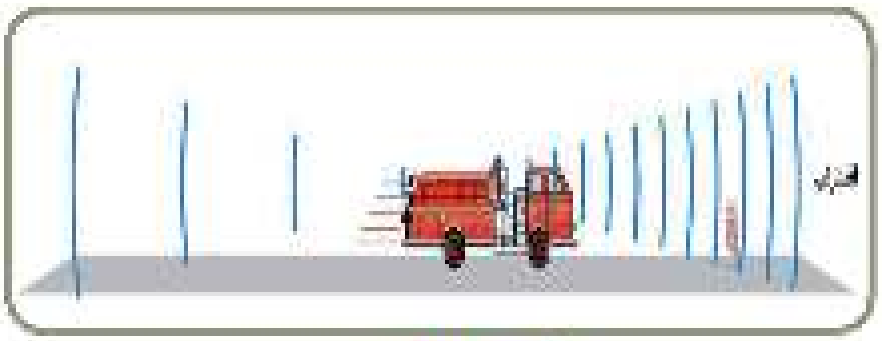
ربما لاحظت كيف ان صوت منبه سيارة يتغير عندما تتحرك السيارة مبتعداً عنك فيكون تردد الصوت الذي تسمعه عندما تقترب منك السيارة اعلى من الذي تسمعه عندما تتحرك السيارة بعيداً عنك .

ان ظاهرة التغير في التردد المسموع عن تردد المصدر لو تحرك الوسط او السامع او المصدر بالنسبة لبعضها يسمى تأثير دوبلر .

يبحث تأثير دوبلر في حالة تغير تردد الموجة المسموعة التي يصدرها مصدر مصوت في حالة وجود حركة نسبية بين المصدر والسامع عندما يكون الوسط ثابتاً او متحركاً

لاحظ الشكل (40) ولتوضيح هذا التأثير نفترض أن الوسط ساكناً وان مصدر الصوت والسامع في حالتي اقتراب او ابتعاد عن بعضهما , مثال على ذلك صوت القطار المتحرك او تزايد درجة صوت الصفارة باقترابه من السامع الواقف وتقل بابتعاده عنه . وسنبحث تأثير دوبلر كالتالي :

أ) عندما يتحرك مصدر الصوت بسرعة منتظمة نحو سامع ساكن .



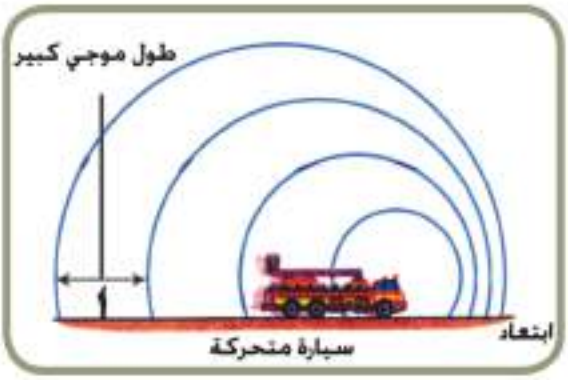
من ملاحظة الشكل (41) نجد ان مصدر الصوت قد تحرك بسرعة منتظمة مقدارها v_s نحو سامع ساكن . وكان التردد الحقيقي للمصدر f وان سرعة الصوت في ذلك الوسط v تردد الصوت المسموع يعطى بالعلاقة الاتية :

حيث :

$$f' = \left(\frac{v}{v - v_s}\right) f$$

$$f' > f$$

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 :

$$f' = \left(\frac{\upsilon}{\upsilon + \upsilon_s}\right) f$$

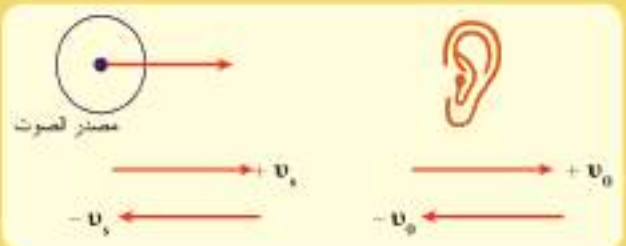
وبصوره عامة : اذا كان المصدر يتحرك بسرعة υ_s والسامع يتحرك بسرعة υ_o وسرعتها على استقامة واحدة , فهناك صيغة عامة يمكن كتابتها كالاتي :

$$f' = \left(\frac{\upsilon - \upsilon_o}{\upsilon - \upsilon_s}\right) \times f$$

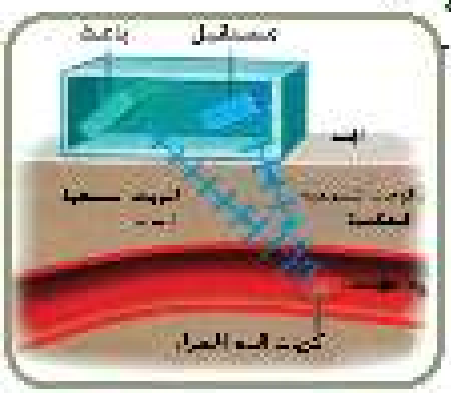
تذكر :

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 ؟



الشكل (43)

ان احدى التطبيقات الطبية لتأثير دوبلر هو مقياس جريان الدم (Doppler flow meter) لاحظ الشكل (43) .

مثال 9

سيارة تتحرك في خط مستقيم بانطلاق ثابت (72km/h) نسبة الى رجل واقف على الرصيف وكان منبه الصوت في السيارة يصدر صوتاً بتردد (644Hz) . انطلاق 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) مبتعدة عن الرجل .

الحل :

$$f' = \left(\frac{v - v_o}{v - v_s}\right) \times f$$

a) بما ان المصدر المصوت يقترب من المستمع فان موجة المصدر تكون بتكدرة موجية (لانها مع اتجاه انتشار موجة الصوت) .

$$v_s = \frac{72 \times 1000}{3600} = -20 m/s$$

$$f' = \frac{342 - 0}{342 - (+20)} \times 644$$

$$= \frac{342}{322} \times 644$$

$$f' = 684\ Hz$$

الرجل ان الطول الموجي المسموع λ'

$$\lambda' = \frac{v}{f'}$$

$$\lambda' = \frac{342}{684} = 0.5m$$

b) بما أن المصدر المصوت يبتعد عن السامع فإن سرعة المصدر تعوض بالقيمة السالبة ولأنها عكس اتجاه انتشار موجة الصوت $v_s = -20m/s$.

$$f' = \left(\frac{v - v_o}{v - v_s}\right) \times f$$

$$f' = \frac{342 - 0}{342 - (-20)} \times 644$$

$$= \frac{342}{362} \times 644$$

$$f' = 608.42\ Hz$$

$$\lambda' = \frac{v}{f'}$$

$$= \frac{342}{608.42} = 0.5621m$$

مثال 10 راكب دراجة يتحرك بسرعة $(5m/s)$ يقطع مستقيم نحو مصدر مصوت ساكن يبعث صوتاً بتردد $(1035Hz)$ وكان انطلاق الصوت في الهواء حينذاك $(345m/s)$. احسب مقدار كل من التردد والطول الموجي الذي يسمعه راكب الدراجة اذا كان متحركا : a) نحو المصدر . b) بعدا عن المصدر .

الحل :

a) بما أن السامع (راكب الدراجة) يتحرك نحو المصدر فتكون سرعة السامع $(v_o = -5m/s)$ بإشارة سالبة (لأنها باتجاه معاكس لاتجاه انتشار موجة الصوت) .

$$f' = \left(\frac{v - v_o}{v - v_s}\right) \times f$$

$$f' = \frac{345 - (-5)}{345 - 0} \times 1035$$

$$= \frac{350}{345} \times 1035$$

$$f' = 1050\ Hz$$

عندما يكون المصدر ساكناً فإن الطول الموجي للصوت الذي يبعثه المصدر لايتغير فكون :

$$v = \lambda' f$$

$$\lambda' - \lambda = \frac{v}{f}$$

$$\lambda' - \frac{345}{1035} - 0.33m$$

ب) بما أن السامع ، راكب الدراجة ، يتحرك بعيداً عن المصدر فكون سرعة السامع $(+5m/s)$ v_o - بالشارة موجبة ، لانها باتجاه انتشار موجة الصوت).

$$f' = \frac{345 \quad (+5)}{345 \quad 0} \times 1035$$

$$- \frac{340}{345} \times 1035$$

$$f' = 1021 \text{ Hz}$$

$$\lambda' - \lambda = \frac{v}{f}$$

$$\lambda' - \frac{345}{1035}$$

$$= 0.33m$$

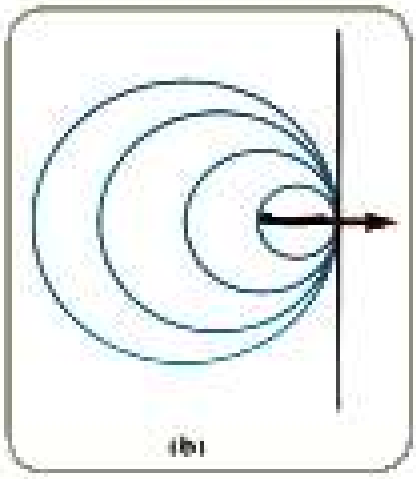
(8-2) موجة الرجة (الموجة الصدمية) Shock Wave

عندما تتحرك طائرة بسرعة أقل من سرعة الصوت فإن جبهات الموجات التي تقع امام الطائرة تكون متقاربة فتولد موجات مضغوطة بسبب حركة الطائرة والمراقب على متن الطائرة يقيس تردد اعلى من تردد المصدر .

لاحظ الشكل (44a).

الشكل (44a)

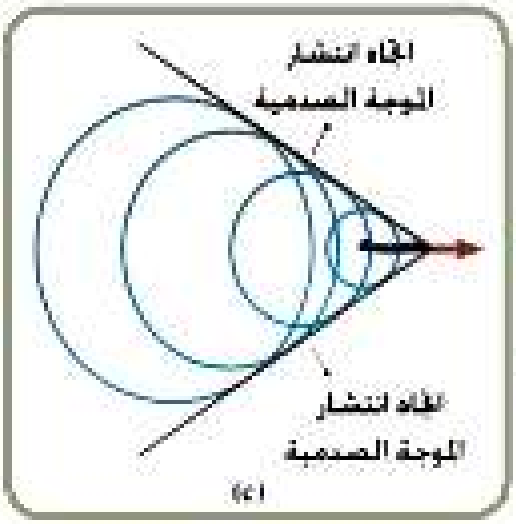
وعندما تزداد سرعة الطائرة فإن جبهات الموجة أمام الطائرة تتقارب أكثر فأكثر وإن المراقب يسجل تردد أعلى . وعندما تتحرك طائرة بسرعة الصوت فإن جبهات الموجة تزدحم أمام الطائرة وتصير سرعة الصوت مقاومة حاجز من الهواء ويضغط ضغطاً جداً يسمى بحاجز الصوت sound barrier لاحظ الشكل (44b) .



الشكل (44b)

وعندما تسير الطائرة بسرعة أكبر من سرعة الصوت فإن جبهات الموجة تزدحم واحدة فوق الأخرى مكونة مخروطاً محروطاً يسمى بموجات الصدم shock waves أو موجة الرجة وهي الموجة التي تركز الطاقة بعدة مئات في سنتمتر مربع واحد تكون في مقدمة الطائرة وأخرى في مؤخرة الطائرة وتسمع بشكل صوت مزدوج .

لاحظ الشكل (44c).



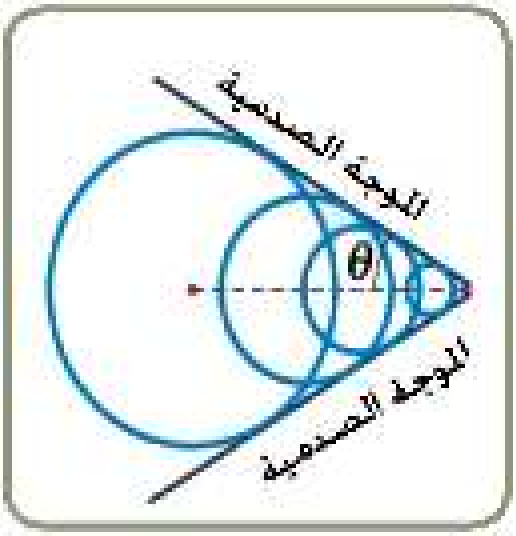
الشكل (44c)

ويكون علاقة الجيوب مخروطي الشكل لاحظ الشكل (45) ، والمحدد زاوية رأسه المخروط

$$\sin\theta = \frac{vt}{v_s t} = \frac{v}{v_s}$$

v_s = سرعة المصدر (الطائرة).

v = سرعة الموجة (الصوت).



الشكل (45)

فرمز الدينية (v_s / v_p) الى عدد ماخ (Mach Number) وهيهاً للموجة المخروطية عندما ($v_p > v_s$) (سرعة فوق صوتية) نعرف على انها موجة صدمية كما في حالة حركة الطائرة الذاتية بسرعة فوق الصوتية فتنتج موجات صدمية وهي التي تحدث الصوت العالي المنوي الذي تسمعه .

تحمل الموجات الصدمية مقدار ضخم من الطاقة مركزة وسط المخروط والذي يحدث تغيراً كبيراً في الضغط . هذه الموجات الصدمية تكون ضارة بالسمع ويمكن ان تسبب اضراراً للمبنى عندما تطير الطائرات بسرعة فوق صوتية على ارتفاعات منخفضة .

طائرة تتحرك في الجو بسرعة ثابتة انطلقت من كتلة هوائية باردة الى كتلة هوائية ساخنة ، يزداد عدد ماخ أم يقل أم يبقى ثابتاً ؟

س1 : اختر الجواب 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 هو 10m/s² فإن عدد الاهتزازات المكملة له خلال 5min هي :

a) 1.76 b) 21.6

c) 106 d) 236

3) قطر شمن مر جات عبر نقطة معينة كل (12s) ، كانت 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 :

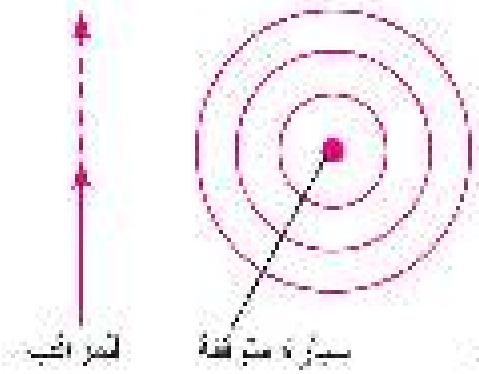
a) مصدر الصوت يتحرك باتجاه المراقب .

b) مراقب يتحرك باتجاه مصدر الصوت .

c) مراقب ومصدر ساكنين احدهما بالنسبة للآخر .

d) المراقب والمصدر يسيران باتجاهين متعاكسين .

5) يركب حافلة يمر بالقرب من سيارة متوقفة على جانب الطريق وقد انطلق سائق السيارة المتوقفة صوت التنبيه ، ماطبيعة الصوت الذي يسمعه راكب الحافلة :



a) الصوت الأصلي للتنبيه ترتفع درجته .

b) الصوت الأصلي للتنبيه تنخفض درجته .

c) صوت تتغير درجته من مقدار كبير الى مقدار صغير .

d) صوت تتغير درجته من مقدار صغير الى مقدار كبير .

6) الزمن الذي يحتاجه الجسم المهتز لإكمال هزة واحدة هو :

a) التردد . b) الزمن الدوري .

c) السعة . d) التوتر .

7) الموجات الميكانيكية المستعرضة تتحرك فقط خلال :

a) الأجسام الصلبة . b) السوائل .

c) الغازات . d) كل ما ذكر .

8) عند زيادة شدة الصوت (10) مرات يزداد مستوى شدة الصوت إلى :

a) 100dB b) 20dB

c) 10dB d) 2dB

9) انطلاق الصوت في الهواء عن دالة لـ :

a) الطول الموجي . b) التردد .

c) درجة الحرارة . d) السعة .

س2 : ما المزية التي يجب أن تتوافر في حركة جسم لتكون حركة توافقية بسيطة ؟

س3 : كم مرة يتأرجح طفل على أرجوحة مروراً بموقع الاتزان 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 نفسه يهتز على قمة جبل ؟ ولماذا ؟

تمارين

س1 : ما الزمن الدوري لبندول بسيط يهتز توافقيا ، 12دورة ، خلال ، 2min ؟

س2 : طائرة مروحية على بعد ، 10m ، عن سامع تبعث صوتها منتظم في جميع الاتجاهات فإذا كان مستوى شدة صوتها ، 100dB ، فحسب هذا السامع عما :

a) مقدار القدرة الصوتية الصادرة عن هذه الطائرة .

b) ما المعدل الزمني للطاقة الصوتية الساقطة على صفحة أذ سامع مساحتها ، $8\times10^{-5}m^2$ ، .

س3 : احسب التغير في مستوى شدة الصوت المنبعث من مذياع إذا تغيرت قدرة الصوت في المذياع من ، $25\times10^{-1}Watt$ ، إلى ، $250\times10^{-2}Watt$ ، .

س4 : تبلغ القدرة الصوتية الصادرة من صافرة 3.5π Watt ، خلال أي ساعة تكون شدة الصوت ، $1.2\times10^{-3}Watt/m^2$ ، .

س5 : ما النسبة بين شدتي صوتين بالنسبة لسامع إذا كان الفرق بين مستوى شدتيهما 40dB .

س6 : ساعة جدارية تصدر تقاتيها صوتاً قدرته ، $4.7\times10^{-11}Watt$ ، هل يستطيع شخص اعتيادي سماع هذه التقاتي إذا كان يقف على بعد 15m منها ؟

س7 : أذا مرسيقياً وزنه كتلة وزنها 15g وطوله 50cm ومقدار شد الوتر 25N احسب تطلق الموجة في هذا الوتر ؟

س8 : دار يرسل موجات راديوية بطول موجي 2cm في مدة زمنية مقدارها 0.1s حسب:

a) مقدار تردد الموجة .

b) عدد الموجات المرسلة خلال هذه الفترة الزمنية .

علماً أن انطلاق الموجات الراديوية ، $3\times10^8m/s$ ، .

س9 : ما انطلاق مصدر مصوت إذا كان متحركاً بسرعة منتظمة نحو أذن واقفة عندما تسمع الأذن تردد صوت المصدر يزداد بمقدار 5% من تردده الحقيقي وكان انطلاق الصوت في الهواء آنذاك ، 340m/s ، .

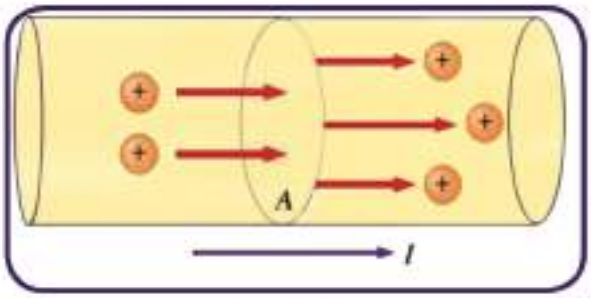
س10 : تتحرك صفارة سيارة بسرعة منتظمة ، 5m/s ، مقترباً من مصدر مصوت ساكن ، فسمع السائق تردد المصدر بمقدار ، 700Hz ، وكان انطلاق الصوت في الهواء آنذاك ، 345m/s ، احسب التردد الحقيقي للمصدر حينذاك ؟

الفصل 9

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) فأن :

$$\text{Electric Current} = \frac{\text{Quantity of Charge}}{\text{Time}}$$

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

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.

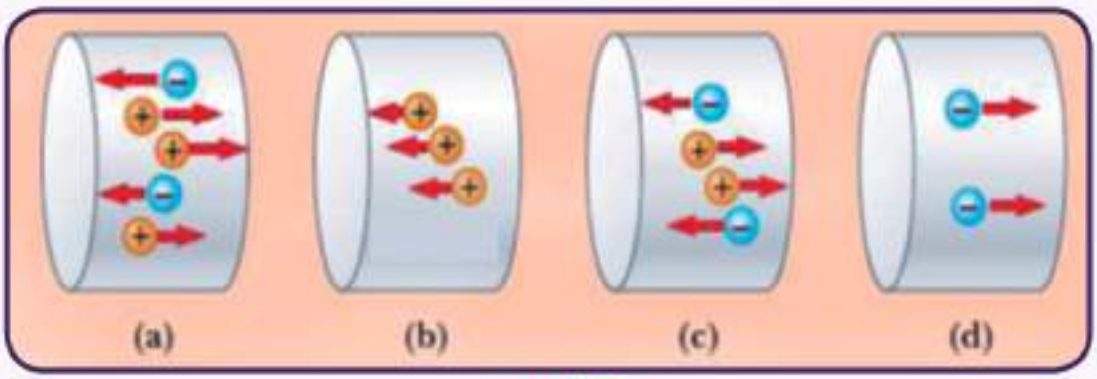
الشكل (2)

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 .

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 :-

$$\text{سرعة الانجراف للشحنات} = \frac{\text{التيار}}{\text{مساحة المقطع العرضي} \times \text{عدد الالكترونات في وحدة الحجم} \times \text{شحنة الالكترون}}$$

$$\text{Drift velocity } (\upsilon_D) = \frac{\text{Current(I)}}{\text{Cross Section Area(A)} \times \text{Number of Electrons per unit volume(N)} \times \text{Electron charge(e)}}$$

$$\upsilon_D = \frac{I}{ANe}$$

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

$$\text{Electric Current} = \frac{\text{Quantity of Charge}}{\text{Time}}$$

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

$$\Delta q = I\Delta t$$

$$= (300 \times 10^{-6}\ A) \times (10^{-2}\ s)$$

$$\Delta q = 3 \times 10^{-6}\ C$$ مقدار الشحنة

b. عدد الالكترونات المنساب في هذه الفترة الزمنية

$$\frac{(\Delta q)\ \text{الشحنة الكلية}}{(e)\ \text{شحنة الالكترون}} = (n)\ \text{عدد الالكترونات}$$

$$n = \frac{\Delta q}{e}$$

$$n = \frac{3 \times 10^{-6} C}{1.6 \times 10^{-19} C} = 1.9 \times 10^{13} \text{ electron}$$

مثال 2

سلك نحاسي مساحة مقطعه العرضي ($2\ mm^2$) يمر فيه تيار (10A) . احسب سرعة انجراف الالكترونات الحرة في هذا السلك، علماً ان عدد الالكترونات الحرة في وحدة الحجوم من مادته (N) يساوي $8.5 \times 10^{28}\ \frac{e}{m^3}$

الحل/

Current(I)

Drift velocity (v_D) =

Cross Section Area(A) ,Number of Electrons per unit volume(N),Electron charge(e)

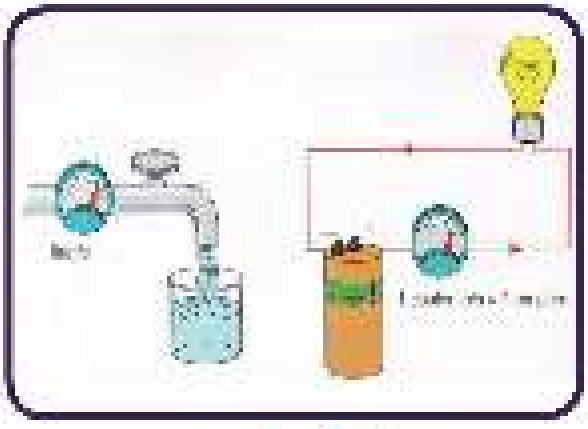
$$v_D = \frac{I}{ANe}$$

$$v_D = \frac{10A}{(2 \times 10^{-6}\ m^2)(8.5 \times 10^{28}\ e/m^3)(1.6 \times 10^{-19} C)}$$

$$= 0.37 \times 10^{-3}\ m/s$$

$$= 0.37\ mm/s$$

2 - 9 المقاومة الكهربائية وقانون أوم Electric Resistance and Ohm's Law



الشكل (1)

من المعلوم سابقاً ان التيار الكهربائي يجد مقاومة عند مروره في موصل، سببها تصادم الشحنات الحرة بعضها ببعض وبذرات مادة الموصل. لذلك فان مفهوم المقاومة الكهربائية يمثل مقاومة الموصل للتيار الكهربائي ويعد مقياساً للاعاقة التي تواجهها الالكترونات الحرة في اثناء انتقالها في الموصل . وقد تعلمت سابقاً حساب مقاومة الموصل بقياس فرق الجهد بين طرفيه وقياس التيار المار فيه (انظر الشكل (4) .

وتعرف مقاومة الموصل بانها:

$$\text{Resistance}(R) = \frac{\text{Voltage } (V)}{\text{Current } (I)}$$

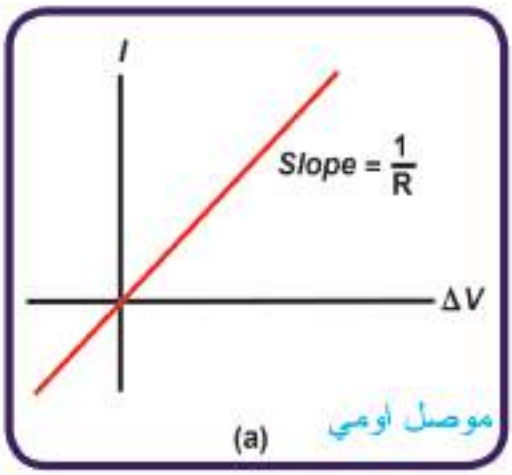
$$R = \frac{V}{I} \Rightarrow V = I\,R$$

والمعادلة المذكورة انفاً تعرف بقانون اوم (ohm's law) الذي ينص :-

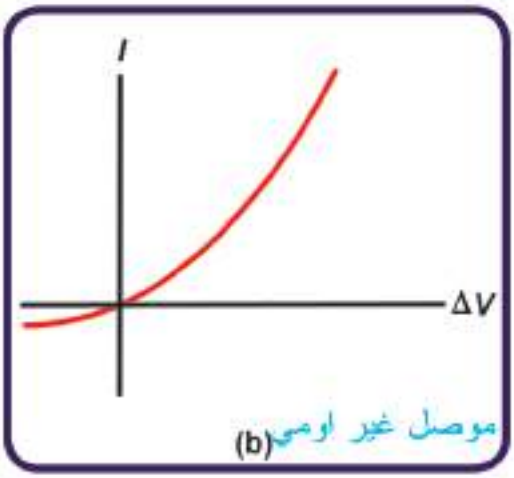
((ان التيار الكهربائي المار في موصل يتناسب طردياً مع فرق الجهد بين طرفيه عند ثبوت درجة حرارته)) .

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 ($\Omega.m$)

وتختلف المقاومية (ρ) باختلاف نوع المادة وكذلك درجة الحرارة.

الجدول (1) يبين مقاومية بعض المواد عند درجة حرارة $20^{\circ}C$.

	المادة	المقاومية ($\Omega.m$)
الموصلات	الالمنيوم	2.8×10^{-8}
	النحاس	1.72×10^{-8}
	الذهب	2.44×10^{-8}
	النايكديوم	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 أن:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

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 ($2m$) ومقاوميته 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

$$V = I\,R$$

$$V = (10A)(8.6 \times 10^{-3}\,\Omega)$$

$$V = 8.6 \times 10^{-2}$$

$$V = 0.086\ Volt$$

9 – 3 المقاومية ودرجة الحرارة Temperature Coefficient of Resistivity

تتغير مقاومية الموصلات تقريبا بتغير خطي مع تغير درجة الحرارة وفق العلاقة الآتية:

$$\rho = \rho_0 \left[1 + \alpha (T - T_0)\right]$$

حيث ان: ρ_0 تمثل المقاومية في درجة حرارة $T_0 = 20^\circ C$ ، والثابت α يسمى المعامل الحراري للمقاومية (Temperature Coefficient of resistivity) ويعتمد على نوع المادة.

اي ان: $$\alpha = \frac{1}{\rho_0} \times \frac{\Delta\rho}{\Delta T}$$

حيث $\Delta\rho = \rho - \rho_0$ يمثل تغير المقاومية لدرجات الحرارة $\Delta T = T - T_0$

ان وحدة قياس المعامل الحراري للمقاومية (α) هي $\frac{1}{^\circ C}$.

الجدول (2) يبين المعامل الحراري للمقاومية لبعض المواد بدرجة حرارة الغرفة ($20^\circ C$).

المادة	الالمنيوم	الحديد	النحاس	الزئبق	الفضة	البلاتين
α ($\times 10^{-3}\,^\circ C^{-1}$)	39	5	39.3	8.8	38	45

ومما تجدر الاشارة اليه ان المقاومية للموصلات تزداد بزيادة درجة الحرارة كما اشرنا، الا انه يجب ان نتذكر ان هناك مواد أخرى مثل أشباه الموصلات والمحاليل الالكتروليتية تشذ عن هذه القاعدة، حيث تقل مقاومتها 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 :

$$\rho = 8.16 \times 10^{-5}\,(\Omega \cdot m)$$

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

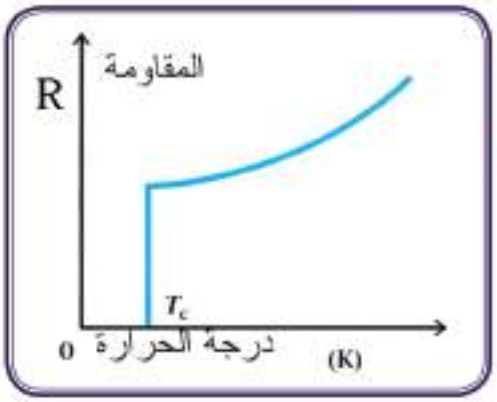
$$= \frac{8.18 \times 10^{-5} \times 1.1}{3.1 \times 10^{-6}} = \frac{8.976 \times 10^{-5}}{3.1\times10^{-6}}$$

مقاومة السلك في 420^oC

$$= 29\ \Omega$$

9 - 4 المواد فائقة التوصيل Superconductors :

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).

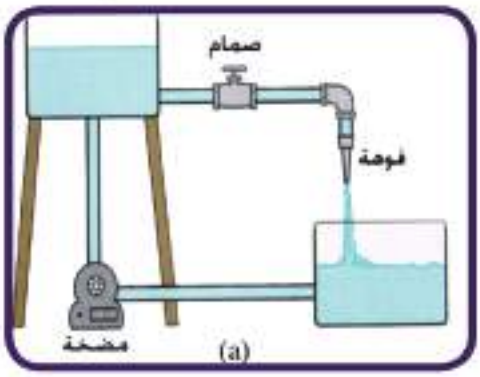


الشكل (7)

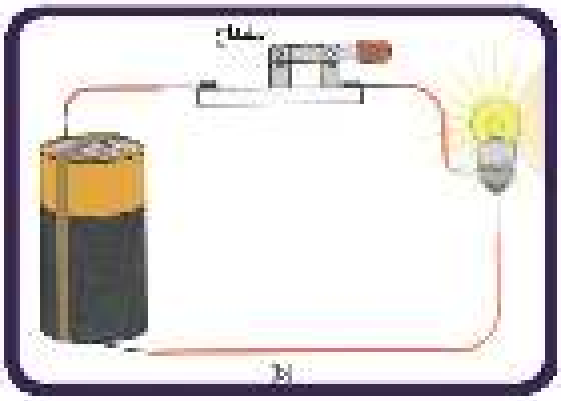
الشكل (8)

9 - 5 القوة الدافعة الكهربائية Electromotive Force

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 لابدَّ 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).



الشكل (9)



ان مصدر تزويد الشحنات الكهربائية بالطاقة يُعرف بمصدر القوة الدافعة الكهربائية، ولعل هذا المصدر هو البطارية. لاحظ الشكل (9b).

شكل (9)

وتعرف القوة الدافعة الكهربائية للبطارية بانها:

مقدار الطاقة الكهربائية التي تكسبها البطارية لكل كولوم من الشحنة يتنقل بين قطبيها بعبارة اخرى انها تمثل الشغل المنجز لوحدة الشحنة من قبل المصدر .

اي ان :

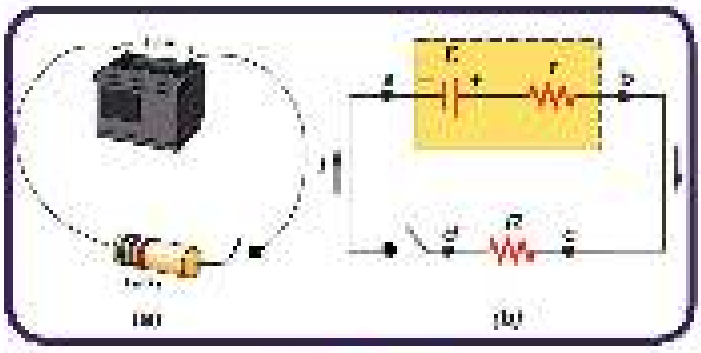
$$\text{القوة الدافعة الكهربائية} = \frac{\text{الشغل}}{\text{الشحنة}}$$

$$\text{Electromotive force } (\varepsilon) = \frac{\text{Work } (W)}{\text{Charge } (q)}$$

$$\varepsilon = \frac{W}{q}$$

وتقاس القوة الدافعة الكهربائية بوحدات $\frac{\text{Joule}}{\text{Coulomb}}$ وتسمى هذه الوحدة Volt

9 ـ 6 قانون دائرة كهربائية المتقفلة Electric circuit law



شكل (10)

عندما نصل طرفي سلك بقطبي 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 الاساسية لدائرة الكهربائية لاحظ الشكل (10) . وعند اغلاق المفتاح تشكل دائرة كهربائية مغلقة يمر فيها تيار كهربائي ، واذا حدث قطع في السلك عند اية نقطة نقول ان الدائرة مفتوحة .

فإذا افترضنا اهمال مقاومة الأسلاك الناقلة فإن فرق الجهد على طرفي البطارية (فرق الجهد) يساوي emf . ولكن للبطارية مقاومة داخلية r لذلك فإن فولتية الاقطاب لا تساوي فعلياً emf للبطارية .

يمكن تصور شحنة موجبة تتحرك خلال البطارية من (a→b) أي عندما تمر الشحنة من القطب السالب الى القطب الموجب للبطارية فإن جهد الشحنة يزداد بمقدار (ε) وعندما تمر الشحنة في المقاومة الداخلية r فإن الجهد يقل بمقدار (I r) حيث I يمثل تيار الدائرة ومنه يمكن اشتقاق معادلة الدائرة الكهربائية البسيطة في قانون حفظ الطاقة كما يلي :

القوة الدافعة الكهربائية = فرق الجهد على طرفي البطارية + التيار × المقاومة الداخلية

(ε) = (ΔV) + (I r)

$$\varepsilon = \Delta V + Ir$$

$$\varepsilon = IR + Ir$$

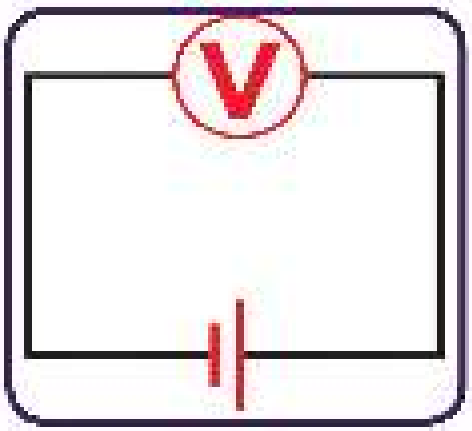
أي أن :

$$\text{Current} = \frac{\text{Electromotive force}}{\text{Resistance} + \text{Internal Resistance}}$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

قياس القوة الدافعة الكهربائية للمصدر :-

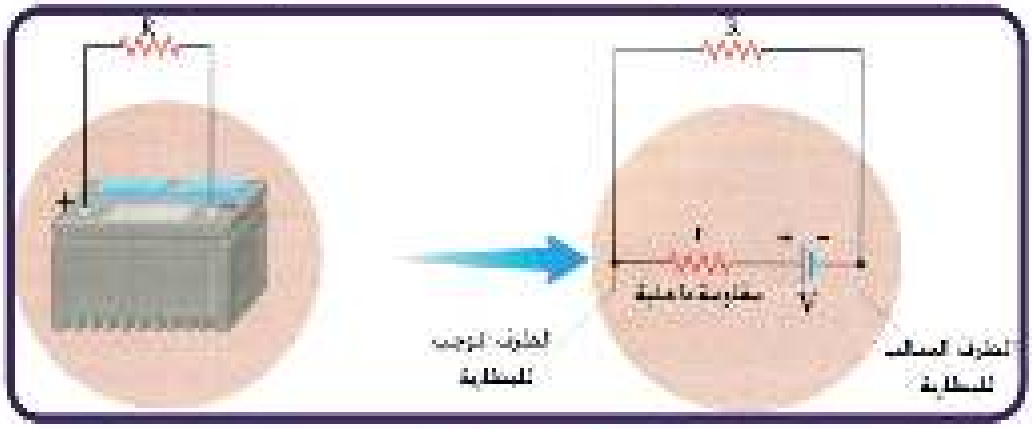
توصل الفولتميتر مباشرة بقطبي المصدر وبما كانت مقاومة الفولتميتر عالية جداً فإن التيار الذي يمر في الدائرة صغير جداً يمكن إهماله ويفترض ان الدائرة الكهربائية مفتوحة لذلك فإن قراءة الفولتميتر يمثل (emf) للمصدر بصورة تقريبية لاحظ الشكل (11) .



الشكل (11)

9 - 7 المقاومة الداخلية (r) Internal Resistance

لحد الآن ما تم مناقشته حول مصدر القوة الدافعة الكهربائية أو البطارية هو تأثير فولتيتها على الدائرة ، ولكنها في الواقع تحتوي فضلاً عن ذلك مقاومة تدعى بالمقاومة الداخلية للبطارية أو مقاومة المولد لأنها موجودة داخل مصدر القوة الدافعة ، وهذه المقاومة في البطارية هي مقاومة المواد الكيميائية وفي المولد هي مقاومة الأسلاك وباقي مكونات المولد لاحظ الشكل (12).



الشكل (12)

عند ربط مصدر القوة الدافعة مع مقاومة خارجية (R) تعتبر المقاومة الداخلية للمصدر مربوطة معها على التوالي وتكون المقاومة الداخلية عادة قليلة ولكن لايمكن إهمال تأثيرها في الدائرة . الشكل (12) يوضح كيف أن التيار عندما يسحب من بطارية ، المقاومة الداخلية تسبب إنخفاض قيمة الفولطية بين القطبين تحت القيمة العظمى المحددة بالقوة الدافعة الكهربائية للبطارية . الفولطية الفعلية بين قطبي البطارية تدعى :

فولطية الاقطاب (The Terminal Voltage of a Battery) .

مثال 5

الشكل (13) يبين بطارية سيارة (emf) لها 12V ومقاومتها الداخلية 0.015Ω ، ما مقدار الفولطية بين الاقطاب عندما يكون كوز السيارة :

a) 10A

b) 100A

الشكل (13)

الحل/

ه) نحسب هبوط الجهد في المقاومة الداخلية (الجهد المستنفذ في المقاومة الداخلية) عندما يكون التيار في 10A :-

$$V = Ir$$

هبوط الجهد $V = 10A \times 0.011\Omega = 0.11V$

فرق الجهد على طرفي قطب البطارية يساوي

$$\Delta V = \varepsilon - Ir$$

$$\Delta V = 12.0V - 0.11V$$

$$= 11.9V$$

و) نحسب هبوط الجهد في المقاومة الداخلية عندما يكون التيار 100A .

$$V = Ir$$

$$V = 100A \times 0.011\Omega = 1.1V$$

فرق الجهد على طرفي قطب البطارية (ΔV) يساوي :

$$\Delta V = \varepsilon - Ir$$

$$\Delta V = 12.0V - 1.1V = 11.0V$$

المثال السابق يوضح كيف أن فرق جهد القطب للبطارية تكون أقل عندما يكون التيار الخارج من البطارية عالياً، وهذا التأثير يمكن أن يميزه صاحب السيارة عند استعماله للبطارية .

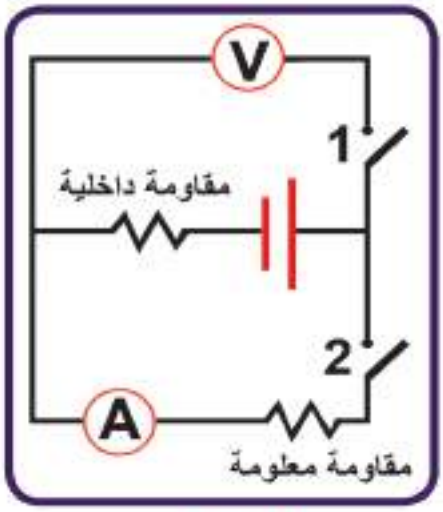
فكر !

في المثال السابق إذا أردت توضيح مصدر الجهزة .

أي الحالتين تفضل توضيح المصدر قبل تشغيل محرك السيارة أم بعد تشغيل محرك السيارة ولماذا؟!

تعيين المقاومة الداخلية (r) للنضيدة :-

تربط الأجهزة كما في الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل (14) .



الشكل (14)

اولا : 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 الآتية:

$$\varepsilon = I R + I r$$

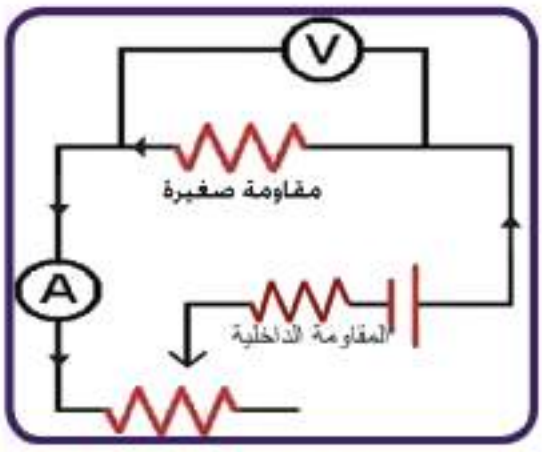
وبالتعويض عن قيمة (emf) من قراءة الفولطميتر في الخطوة الأولى . وعن قيمة (I) من قراءة الاميتر في الخطوة الثانية ، وان لم تكن (R) معلومة فيمكن التعويض عن (IR) بقراءة الفولطميتر التي تمثل فرق الجهد عبر النضيدة ولا حاجة لنا بمعرفة (R) في هذه الحالة .

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 :

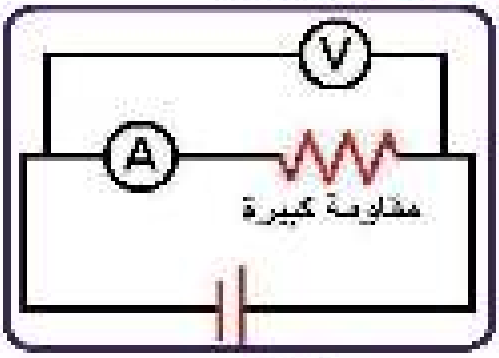


الشكل (15)

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 الآتية :-

$$\text{المقاومة (R)} = \frac{\text{قراءة الفولطميتر}}{\text{قراءة الاميتر}}$$

b- اذا كانت المقاومة المراد قياسها كبيرة نربط الاجهزة كما في الشكل (16) :



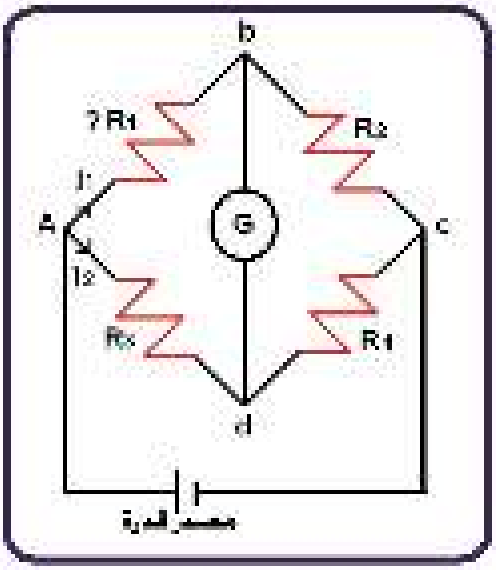
الشكل (16)

أن قراءة الأميتر تمثل مقدار تيار تلك المقاومة فقط أما قراءة الفولتميتر فتمثل مجموع فرق الجهد عبر كل من المقاومة المجهولة والاميتر 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 الفولتميتر هي فرق الجهد عبر المقاومة الكبيرة تقريباً وتحسب المقاومة من قراءة الفولتميتر والتيار حسب العلاقة التالية :

$$\text{المقاومة} = \frac{\text{قراءة (V)}}{\text{قراءة (A)}}$$

(2) طريقة قنطرة وتستون :-

هذه الطريقة دقيقة ومضبوطة لقياس المقاومة وتتكون الدائرة الكهربائية من , ثلاث مقاومات متغيرة معلومة - مقاومة مجهولة - غلفانومتر ومصدر قدرة , تربط الاجهزة كما في الشكل (17) نغير من قيمة المقاومات المتغيرة (R_1, R_2, R_3) الى ان تتزن الدائرة اي ان الغلفانومتر لا يسجل اي تيار وهذا يعني أن جهدها متساوٍ أو فرق الجهد ($V_{ab}=0$) عندها :



الشكل (17)

$$V_{ab} - V_{ad} \ldots\ldots = I_1 R_1 - I_2 R_x \ldots\ldots (1)$$

$$V_{bc} - V_{dc} \ldots\ldots = I_1 R_2 - I_2 R_4 \ldots\ldots (2)$$

وبقسمة المعادلة الاولى على الثانية ينتج :

$$\frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_4}$$

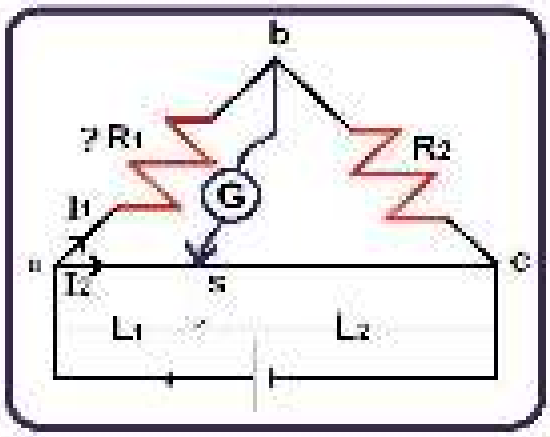
قانون القنطرة

حيث أن R_1 هي المقاومة المجهولة , ولما كانت ثلاث مقاومات معلومة فانه يمكن قياس المقاومة الرابعة (المجهولة).

$$R_x = R_2 \times \frac{R_1}{R_4}$$

وبالامكان حساب المقاومة المجهولة R_1 على وفق العلاقة المذكورة انفاً في أعلاه .

وبالامكان استدلال (R_1 , R_2) كمثال منجلس منتظم على قطعة سلكية كما في الشكل (18) وبما ان ($R \propto L$) لذلك تصبح العلاقة السابقة في حالة اتزان الدائرة بالشكل الاتي :



الشكل (18)

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{L_1}{L_2}$$

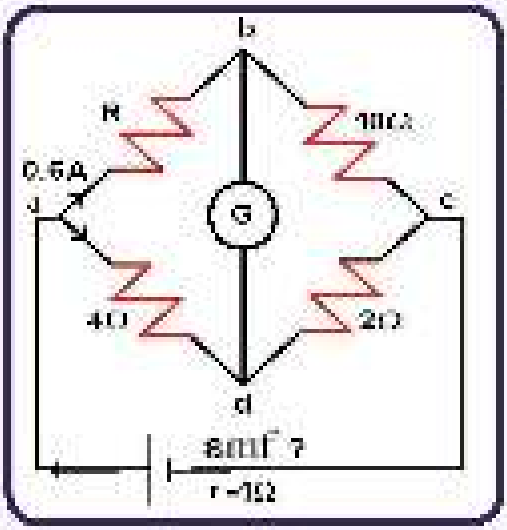
مثال 6

في الشكل (19) شكل رباعي لمجموعة المقاومات (a b c d) على الترتيب (4 ، 2 ، 10 ، R) وصلت النقطتان (c ، a) بمصدر كهربائي كما في الشكل (19) مقاومته الداخلية 1Ω ثم ربط گلفانومتر 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 للمضخة .



الشكل (19)

الحل //

بما ان الدائرة متزنة ، فإن قراءة الگلفانومتر = صفر ،

1) نحسب قيمة المقاومة R حسب العلاقة الآتية:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

$$\frac{R}{10} = \frac{4}{2} \rightarrow R = 20\,\Omega$$

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 :

$$I_{ad} = \frac{V}{R} = \frac{18V}{(4+2)\Omega} = 3A$$

3) emf للضيدة .

التيار الكلي $I_{Total} = (0.6A) + (3A) = 3.6A$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{abc}} + \frac{1}{R_{adc}}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{(10+20)\Omega} + \frac{1}{(4+2)\Omega} = \frac{1}{5\Omega}$$

$$\therefore R = 5\Omega$$

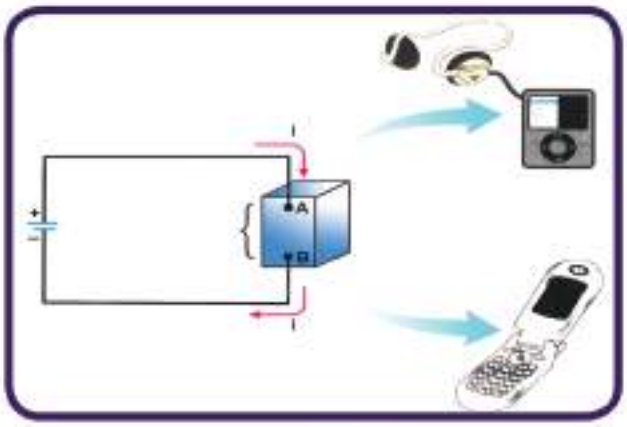
$$emf = I\,R + I\,r$$

$$emf = (3.6A)(5\Omega) + (3.6A)(1\Omega) = 21.6V$$

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 بانها :

مقدار الطاقة التي يستهلكها (او يحولها) الجهاز الكهربائي الى وحدة الزمن.

ويعبر عنها رياضياً بالعلاقة الاتية :

$$power = \frac{\text{potential difference (V)} \times \text{quantity of charge}(\Delta q)}{\text{time}(\Delta t)}$$

$$P = \frac{V \times \Delta q}{(\Delta t)}$$

$$P = \frac{(\Delta q)}{(\Delta t)} \times V$$

$$P = IV$$

وتقاس القدرة بوحدات $\frac{\text{Joule}}{\text{second}}$ ، وتعرف بإسم watt .

$$(\text{Ampere})(\text{Volt}) = \left(\frac{\text{Coulomb}}{\text{second}}\right)\left(\frac{\text{Joule}}{\text{Coulomb}}\right) = \left(\frac{\text{Joule}}{\text{second}}\right) = \text{watt}$$

ن الأجهزة الكهربائية تحول الطاقة الكهربائية الى شكل او اكثر من اشكال الطاقة، يمكن 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 :

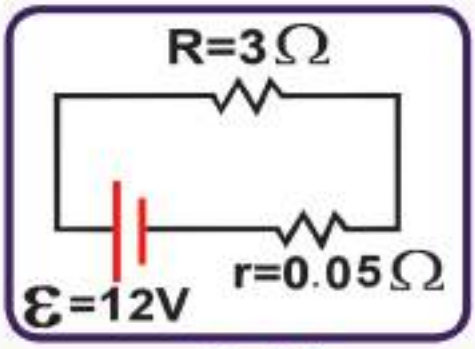
يتم نقل اعظم مقدار من القدرة من المصدر الى حمل عندما تتساوى مقاومة الحمل (R) مع المقاومة الداخلية للمصدر (r) . عندما تكون القدرة المستهلكة في الحمل مساوية لقدرة المتبددة في المصدر .

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 .

$$\varepsilon = I R + I r$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

$$I = \frac{12}{3 + 0.05} = 3.93A$$

فرق الجهد على طرفي المصدر = التيار × المقاومة الخارجية

$$\Delta V = I R = 3.93 \times 3 = 11.8\ V$$

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

$$\varepsilon I = I^2 R + I^2 r$$

$$= 46.33 + 0.772 = 47.1W$$

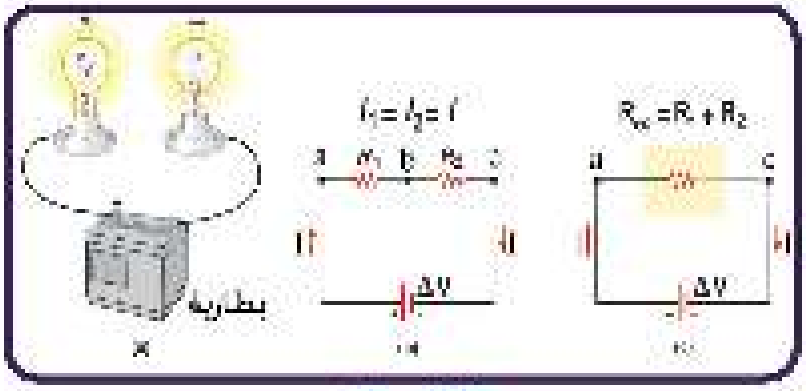
ويمكن حساب القدرة المجهزة من قبل المصدر بالعلاقة الآتية :

$$P = \varepsilon I = 12 \times 3.93 = 47.1W$$

9 - 2 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 بكونه يوفر طريق واحد للتيار وهذا يعني ان 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 ان تكون المقاومات اجهزة كهربائية بسيطة مثل المصابيح الكهربائية فعند ربط مصباحين على التوالي وعندما تقطع الدائرة عطبا في أي منهما فسوف يتقطع مرور التيار في الدائرة وتعتبر 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

$$V_{total} = V_1 + V_2$$

$$V_1 = IR_1 \quad , \quad V_2 = IR_2$$

$$V_{total} = V_1 + V_2$$

$$V_{total} = IR_1 + IR_2$$

$$V_{total} = I(R_1 + R_2)$$

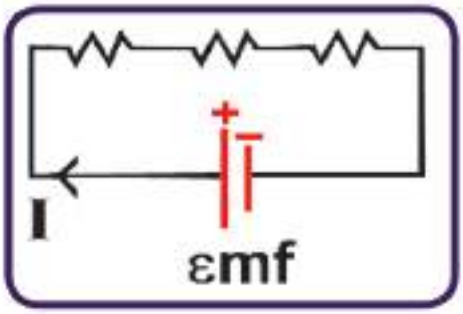
$$V_{total} = IR_{eq}$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 \quad \text{أي}$$

إذ ان R_{eq} تعني المقاومة المكافئة .

خصائص ربط التوالي :-

ربط التوالي	
$I = I_1 = I_2 = I_3 = ...$	التيار
$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + ...$	المقاومة المكافئة
$V = V_1 + V_2 + V_3 + ...$	فرق الجهد



الشكل (23)

مثال 8

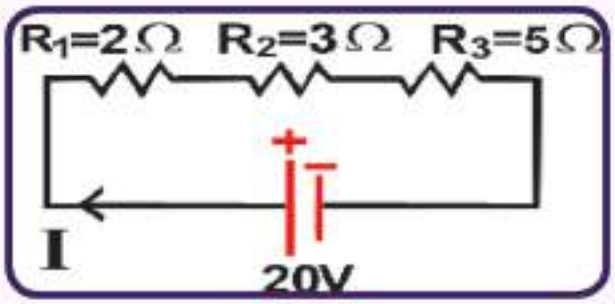
ثلاث مقاومات 2Ω ، 3Ω ، 5Ω ربطت على التوالي عبر بطارية فرق جهدها $20V$ كما هو واضح في الشكل (24) . جد :-

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) $I_{total} = \frac{V_{total}}{R_{eq}} = \frac{20V}{10} = 2A$

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 :

شكل (25)

ربط التوازي هي طريقة أخرى لربط الاجهزة الكهربائية وهي ربط التوازي هو ربط الاجهزة الكهربائية بين قطبين مشتركين بطريقة تسمح بان تكون الفولطيات متساوية لكل الاجهزة المربوطة في الدائرة . ربط التوازي شائع جدا في منزل المثل ان الاجهزة الكهربائية المتصلة في نقاط الكهربائي بالمنزل مربوطة مع بعضها على التوازي لاشكل (25) حيث ان الفولطية 220V وهي مساوية الفولطية كل جهاز التلفزيون - الستريو - المصباح وعندما تكون الدائرة مغلقة كلها تعمل بفولطية 220V وحين نطفئ كهربائي جهاز صناعة أو أجهزة أخرى لاتعمل هذا لايؤثر على عمل بقية الاجهزة التي تعمل فعلاً . بالاضافة على ذلك انه عند قطع التيار في أحد الاجهزة وجود مفتاح مفتوح أو سلك مقطوع لايؤثر ذلك على مرور التيار في بقية الاجهزة وعندما يؤثر إطفاء أو عطب أي جهاز على بقية الاجهزة في حالة ربط التوالي.

لحساب المقاومة المكافئة لمقاومتين موصلتين مع بعضهما على التوازي يجب ان نعلم ان التيار الكلي هو :

$$I_{total} = I_1 + I_2$$

ولما ان الفولطية على طرفي كل مقاومة مساوية الفولطية الكلية .

اذن :

$$I_{eq} = \frac{V}{R_{eq}}$$

$$I_1 = \frac{V}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2}$$

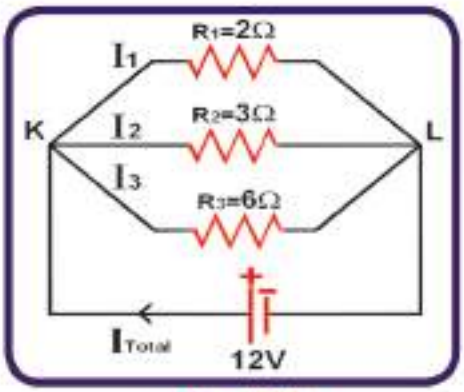
$$I_3 = \frac{V}{R_3}$$

$$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\frac{V}{R_{eq}} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

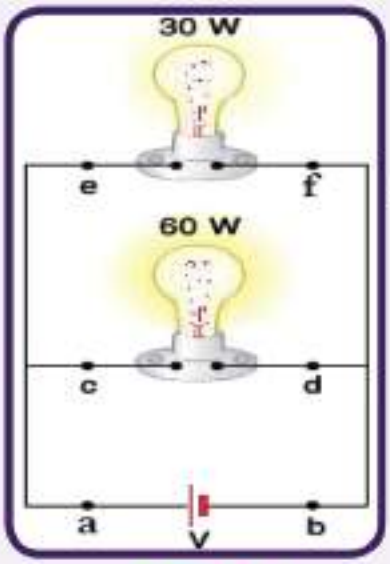
خصائص ربط التوازي :-

ربط التوازي	
التيار	$I = I_1 + I_2 + I_3 + \ldots\ldots$
المقاومة المكافئة	$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$
فرق الجهد	$V = V_1 = V_2 = V_3 = \ldots\ldots$



الشكل (26)

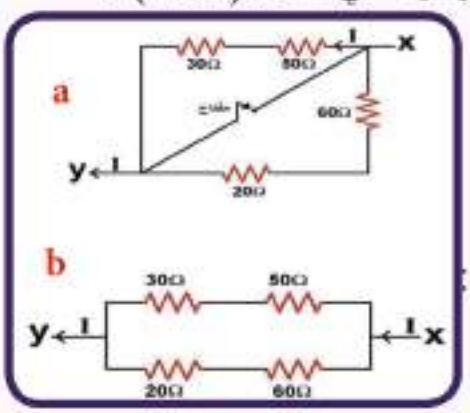
فكر ؟ : في الشكل (27) مصباحان مربوطان على التوازي مع بعضهما وربطت مجموعتهما مع المصدر فرق جهده (V=120V) ، رتب قيم التيارات المنسابة في الفروع (ab) , (cd) , (ef) من الاكبر الى الاصغر .



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) :



الشكل (28)

المقاومتان 50Ω و 30Ω مربوطتان على التوالي :

$$R_{eq.s} = 30\Omega + 50\Omega = 80\Omega$$

المقاومتان 60Ω و 20Ω مربوطتان على التوالي ايضا :

$$R_{eq.s} = 20\Omega + 60\Omega = 80\Omega$$

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

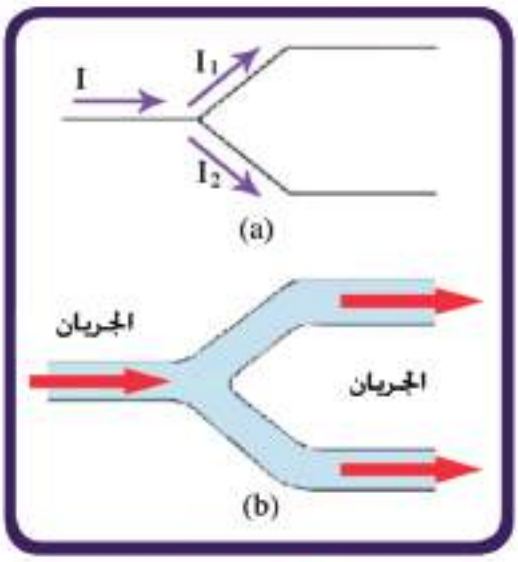
الدوائر الكهربائية التي تتكون من مقاومات مربوطة على التوالي والتوازي يمكن تحليلها غالبا بتقسيمها الى مجموعات منفصلة من المقاومات ، لكن هذه الطريقة قد لا تكون مفيدة او سهلة في بعض الدوائر حيث لا نجد بعض المقاومات مربوطة باستعمال طرائق ربط التوالي او التوازي . وللتعامل مع مثل هذه الدوائر سنستعمل بعض الطرائق 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 اي دارة مغلقة يجب ان يساوي صفراً اي ان:

$$\sum_{\text{closed loop}} \Delta V = 0$$

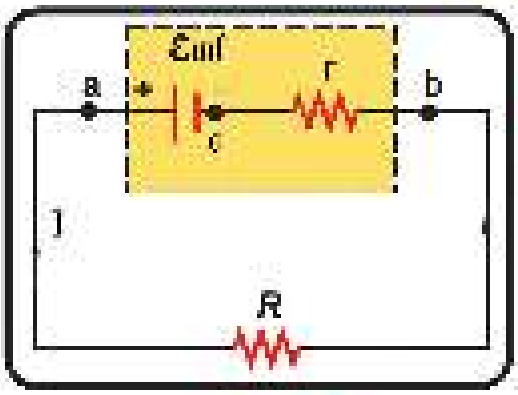
ويمكن بيان القاعدة الثانية لكيرشوف بالعلاقة الآتية :

$$\text{Potential drops} = \text{potential rises}$$

$$\sum \Delta V_{\text{drop}} - \sum \Delta V_{\text{rise}}$$

وهذا يمثل نمط خاص للتعبير عن قانون حفظ الطاقة في الدوائر الكهربائية .

حساب فرق الجهد في الدارة الكهربائية :



الشكل (30)

الدارة الكهربائية المبينة في الشكل (30) مكونة من مصدر قوته الدافعة ε ومقاومته الداخلية r يتصل مع مقاومة R ، اذا تيار الدارة 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_b باتجاه التيار عبر المقاومة r الى النقطة c جهدها V_c نلاحظ هبوط في الجهد (Potential drops) وهذا يعني ان الجهد في b اعلى منه في c وذلك لأن الشحنات الموجبة تنساب من الجهد العالي الى الجهد الواطئ . وعند عبور مصدر القوة الدافعة الكهربائية من النقطة c الى النقطة a نجد انه يحدث ارتفاع بالجهد (potential rise) قدره 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 اردنا 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) .

$$V = - I R$$

b. اذا كان الاجتياز بعكس انسياب التيار لاحظ الشكل (31b) فانه يحدث ارتفاع في الجهد قدره (IR) .

$$V = + I R$$

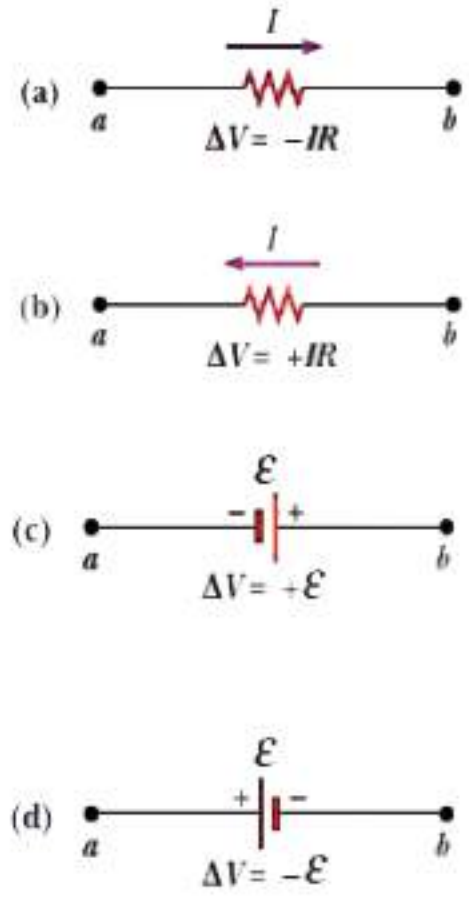
ثانياً

a. عند اجتياز القوة الدافعة الكهربائية من قطبها السالب الى قطبها الموجب لاحظ الشكل (31c) فانه يحدث ارتفاع في الجهد قدره ε .

$$V = + \varepsilon$$

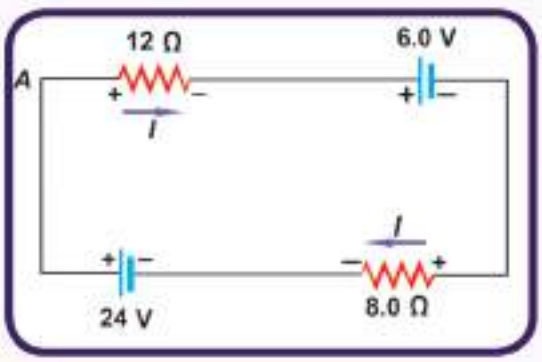
b. اذا كان الاجتياز بالعكس اي من القطب الموجب الى القطب السالب لاحظ الشكل (31d) فانه يحدث هبوط في الجهد قدره ε.

$$V = - \varepsilon$$



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 ابتداءً من النقطة A باتجاه حركة عقرب الساعة .

$$\text{Potential drops} = \text{potential rises}$$

$$\sum \Delta V_{\text{drops}} = \sum \Delta V_{\text{rises}}$$

$$I(12) + 6 + I(8) = 24$$

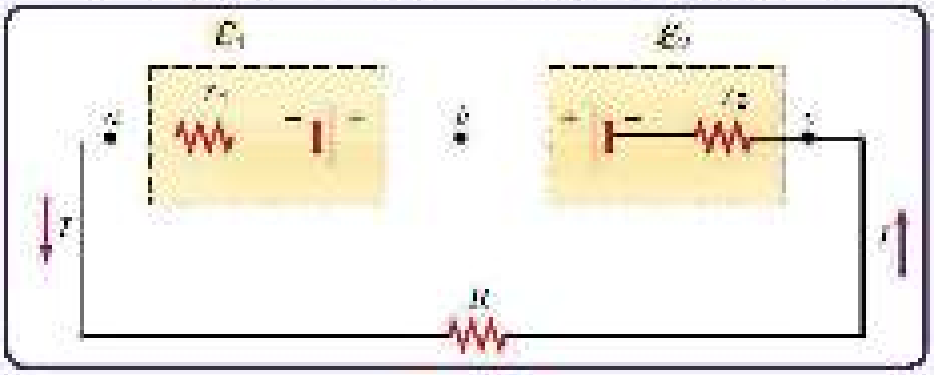
$$20I = 18$$

$$I = 0.9\ \text{A}$$

مثال 11 لدائرة في الشكل (33) احسب :

a) قيمة التيار في الدائرة ؟ b) فرق الجهد بين النقطتين a , b ؟

علماً أن : $R = 9\Omega, r_2 = 2\Omega, r_1 = 1\Omega, \varepsilon_2 = 12V, \varepsilon_1 = 6V$



الشكل (33)

الحل/

في تعيين اتجاه التيار في الدائرة التي تحتوي على مصدرين للقوة الدافعة الكهربائية والمتجاورين مختلفين فإن القوة الدافعة الكهربائية ذات القيمة الأكبر هي التي تحدد اتجاه التيار ، وفي هذا المثال التيار سيكون بعكس حركة عقرب الساعة .

نطبق قاعدة الحلقة لكيرشوف وقاعدة المقدار نبدأ من النقطة a وباتجاه التيار .

$$\text{Potential drops} = \text{potential rises}$$

$$IR + Ir_2 + \varepsilon_1 + Ir_1 = \varepsilon_2$$

$$I(R + r_2 + r_1) = \varepsilon_2 - \varepsilon_1$$

$$I = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{R + r_2 + r_1}$$

$$I = \frac{12 - 6}{9 + 2 + 1}$$

$$= \frac{6}{12} = \frac{1}{2}\ \text{A}$$

b) لحساب فرق الجهد بين النقطتين b , a 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) .

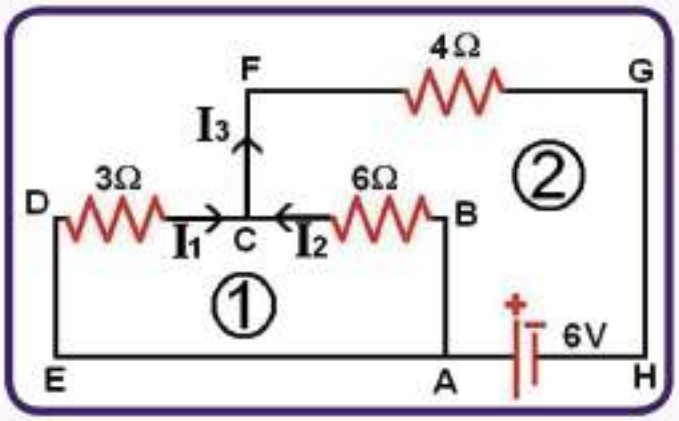
مثال 12

في الشكل (34) بتطبيق قواعد كيرشهوف اوجد التيارات المارة بالمقاومات الثلاث؟

الحل/

نستخدم قاعدة نقطة التفرع ولتكن النقطة c .

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$
$$I_1 + I_2 = I_3 \ldots\ldots (1)$$



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 $I_2 = \frac{1}{2} I_1$ ..... (2) 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 يمكن أن تكون المقاومة لسلك مصنوع من المادة نفسها للسلك الأول لكن بمضاعف الطول ، ونصف مساحة المقطع العرضي ؟

a) 0.4Ω　　b) 2Ω

c) 0.2Ω　　d) 4Ω

2 سلك نحاسي مقاومته 10Ω ماذا يمكن مقاومته لو قُطع الى نصفين ؟

a) 10Ω　　c) 5Ω

b) 20Ω　　d) 1Ω

3 مدفأة كهربائية تعمل بقدرة (1000w) عندما تعمل بفولطية (120V) . ماهي 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 قوتها الدافعة الكهربائية (emf) (1V) ومقاومتها الداخلية (r) ما مقدار المقاومة الخارجية (R) التي تم ربطها عبر قطبي البطارية تسبب فرق جهد عبر طرفي البطارية مقدار (1/2V) ؟

a) R=1/2r　　b) R = 2r

c) R 4r　　d) R r

5 وحدات ($A^2.\Omega$) 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 ؟

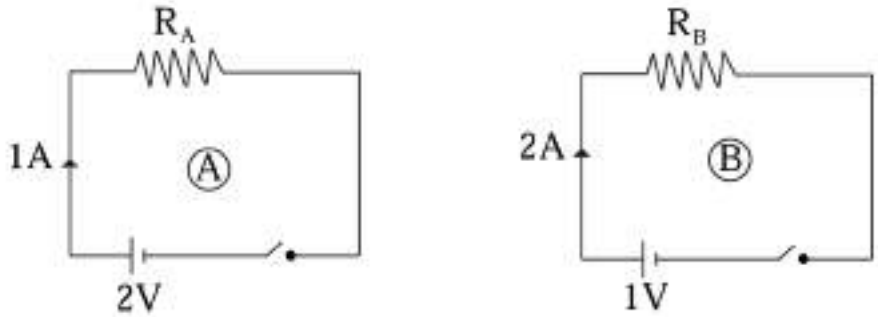
a) جهاز التلفزيون . b) مجفف الملابس .

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 اضعاف .



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 :

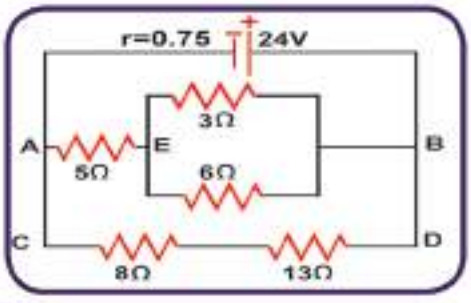
a) مقدار المقاومة (**R**) .

b) مقدار المقاومة الداخلية للبطارية (**r**) .

س3 / في الشبكة الكهربائية المجاورة احسب :

a) المقاومة الخارجية .

b) تيار الدائرة الكلي (تيار النضيدة) .



c) الجهد الخلفي (خيوط الجهد) في الخلية .

d) فرق الجهد عبر الخلية .

e) التيار المار في كل مقاومة .

س4 : في الشكل المجاور ، المصباح الكهربائي يمر فيه تيار (0,4A) بفولطية (3,0V) .

a) احسب مقاومة فتيل المصباح .

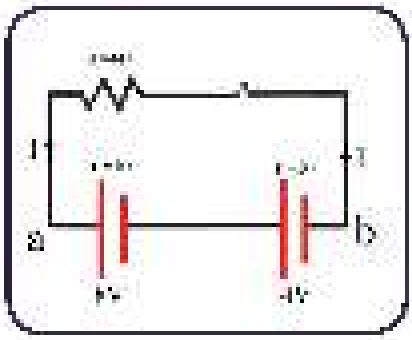
b) مقدار القدرة المجهزة للمصباح .

c) الطاقة الكهربائية المستهلكة في المصباح خلال مدة 5,3minutes من التشغيل .

س5 : في الدائرة الكهربائية المجاورة :

المقاومة R 4Ω مربوطة على التوالي مع بطاريتين (4V,8V) ، فاذا علمت ان : r_1 1Ω, r_2 1Ω

جد :



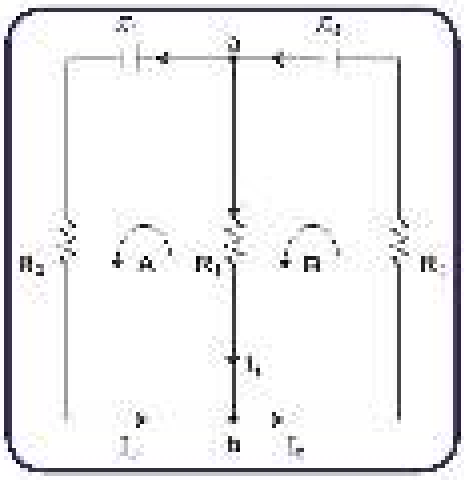
a) تيار الدائرة .

b) فرق الجهد بين النقطتين (b ، a) عند غلق الدائرة .

c) فرق الجهد بين النقطتين (b ، a) عند فتح الدائرة .

س6 : في الشكل المجاور $R_1 = 5\,\Omega$, $\varepsilon_2 = 1\ V$

$R_2 = 2\,\Omega$, $R_3 = 4\,\Omega$, $\varepsilon_1 = 3\ V$,



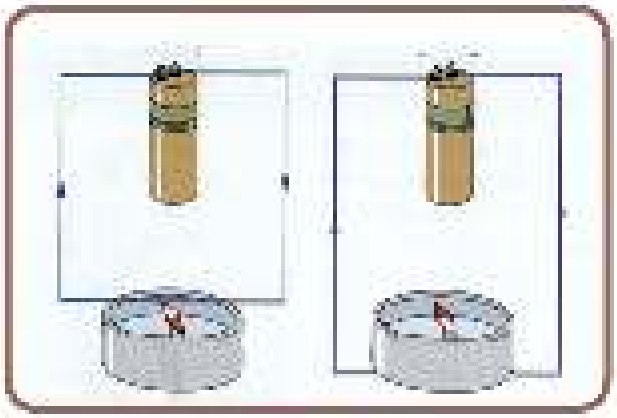
a) احسب قيم التيارات المارة في فروع الشبكة الكهربائية المبينة .

b) احسب فرق الجهد بين النقطتين (a) ، (b) .

الفصل 10

المغناطيسية Magnetism

تعلمت سابقاً أن الشحنات الكهربائية تولد مجالاً كهربائياً تؤثر فيه على الشحنات الكهربائية الأخرى. وجود كهربائية فإذا تحركت الشحنات الكهربائية تولد تأثير كهربائي مغناطيسي على جوانبه. وقد اكتشف العالم أورستد عام 1820م أثناء تجربة بالغة الأهمية لاحظ الشكل (1) أن الشحنات الكهربائية المتحركة تأثيراً آخر إذ لاحظ تأثير إبرة مغناطيسية (بوصلة) في تيار كهربائي يسري في سلك قربها مما دفعه للتساؤل :



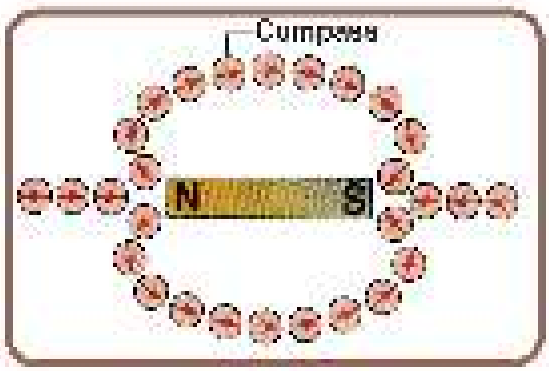
الشكل (1)

هل يتأثر التيار الكهربائي بمجال مغناطيسي ؟ كيف يمكن وصف هذا المجال من حيث المقدار والاتجاه ؟ هل يعتمد مقدار المجال المغناطيسي وتأثيره على الشكل الذي يسري فيه التيار ؟ هذه التساؤلات وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عنها بعد دراستك لهذا الفصل .

10 - 1 المجال المغناطيسي The Magnetic Field :-

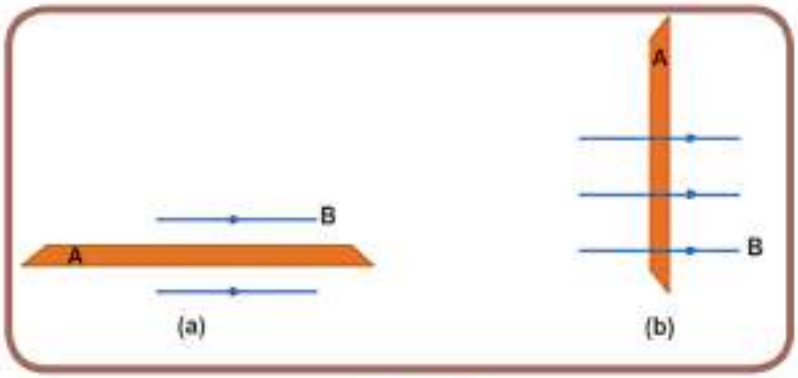
هو الحيز الذي يحيط بالمغناطيس من جميع الاتجاهات ويظهر فيه تأثير قوة المغناطيسية في شحنة كهربائية متحركة في هذا الحيز .

يعبر عن شدة المجال المغناطيسي عند نقطة ما بكثافة الفيض المغناطيسي في تلك النقطة ، فكلما اقتربنا عنك ويرمز له بالرمز $\vec{B}$ ، يكون للمجال المغناطيسي مقدار ، واتجاه محدد عند كل نقطة في المنطقة المحيطة بالمغناطيس لن تجد المجال المغناطيسي في أية نقطة في الفراغ هو الاتجاه الذي تتخذه إبرة البوصلة عند هذه النقطة. لاحظ الشكل (2) .



الشكل (2)

2 - 10 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 (Φ) magnetic flux 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:

$$\text{magnetic flux density } (\vec{B}) = \frac{\text{magnetic flux}(\Phi)}{\text{area}(A)}$$

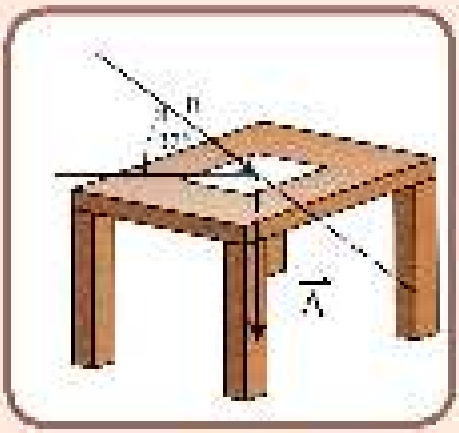
$$(\vec{B}) = \frac{(\Phi)}{(A)}$$

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 المميزة لشدة المجالات المغنطيسية.	
مصدر المجال المغنطيسي	كثافة الفيض المغنطيسي Tesla
مغنطيس كهربائي قوي يتولد من تيار يسري في ملفة ذائقة التوصيل تحت درجات حرارة منخفضة جدا.	30
المغنطيس المستعمل في وحدة التصوير الطبي (MRI) ويسمى جهاز الرنين المغنطيسي.	2
ملاق مغنطيسية.	10^{-3}
سطح الشمس.	10^{-2}
سطح الأرض.	0.5×10^{-4}
داخل جسم الإنسان (القيمة القصوى في الأعصاب).	10^{-13}

مثال 1 : وزنة مستطيلة الشكل أبعادها

(21,6cm × 28cm) موضوعة على منضدة أفقية داخل الشكل (4) ، احسب مقدار الفيض المغناطيسي (Φb) الذي يخترق الوزنة الناتج عن المجال المغنطيسي الأرضي المرفق الذي يساوي $5,31 \times 10^{-5}$ T ، يؤثر باتجاه يصنع زاوية قياسها 37° مع الأفق.



الشكل (4)

الحل :

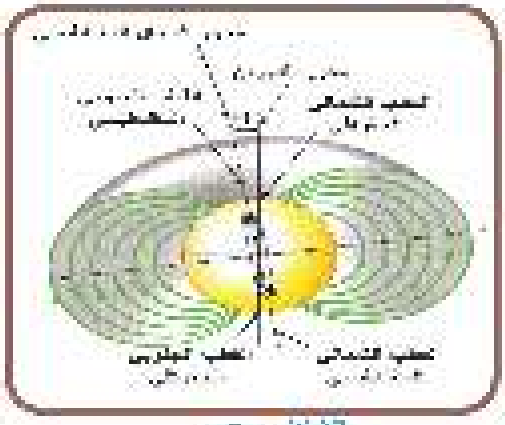
إن المجال المغناطيسي يمكن أن يعد منتظماً على مستوى مساحة الوزنة ، ويمكن أن نختار متجه المساحة السطحية للوزنة تكون نحو الأسفل، لذلك فإن قياس الزاوية بين $\vec{B}$ ومتجه المساحة $\vec{A}$ يساوي 53° ، وبتطبيق العلاقة الثانية نحصل على الفيض المغناطيسي :

$$\Phi_b = BA\cos\theta$$

$$\Phi_b = (5,31 \times 10^{-5}\,T)(0,215m \times 0,280m)(\cos 53)$$

$$\Phi_b = 1,92 \times 10^{-6}\,T.m^2$$

10 - 3 المجال المغناطيسي الأرضي Earth's Magnetic Field



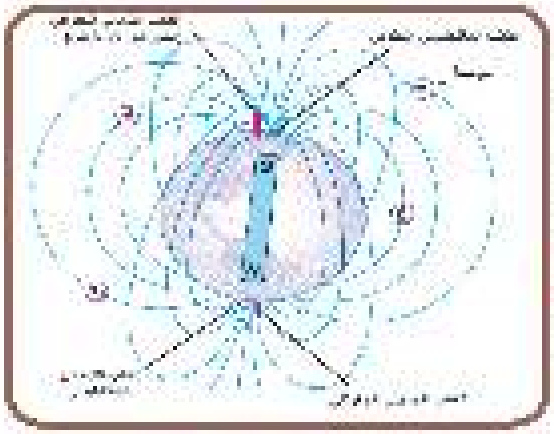
الشكل (5)

لو تأملت الشكل (5) يظهر لنا أن المجال المغناطيسي للكرة الأرضية وكأنه ساق مغناطيسية ضخمة 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 بحوالي (11°).

هل تعلم ؟

أن بعض أجناس الحيوانات مثل النحل تستطيع المجال المغناطيسي للكرة الأرضية كدليل لها في أثناء هجرتها من مكان إلى آخر .

10 - 4 زاوية الميل المغناطيسي (زاوية الانحراف المغناطيسي)

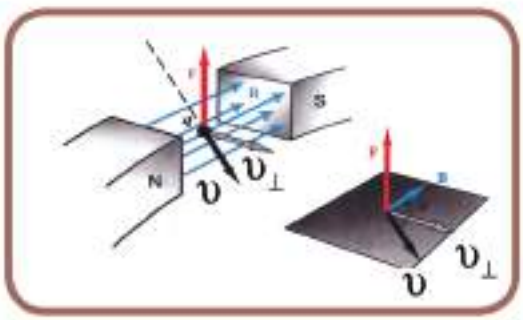


الشكل (6)

لو جعلنا 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 جعلنا محور الإبرة المغناطيسية شاقولياً والإبرة يمكنها الدوران بحرية بمستوى أفقي فإنها تصطف بموازاة خط الزوال المغناطيسي . وتسمى الزاوية المحصورة بين خط الزوال المغناطيسي والمحور الجغرافي بزاوية الانحراف المغناطيسي ويكون مقدارها في مناطق معينة يساوي (0°) أو (180°) ويمر الخط المار بالنقطة التي تكون عندها زاوية الانحراف يساوي (0) بخط 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 :

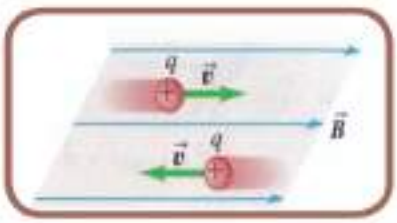
$$F = |q_o|\ \upsilon \times B \sin\theta$$

ان مقدار القوة المغناطيسية (F) يتناسب مع $(\sin\theta)$ إذ ان θ تمثل الزاوية بين اتجاه حركة الشحنة $\vec{\upsilon}$ واتجاه المجال $(\vec{B})$.

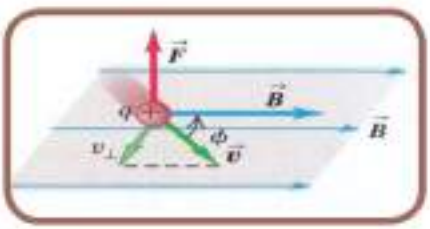
وعليه تكون القوة المغناطيسية في مقدارها الأعظم عندما تكون $(\theta = 90°)$.

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).

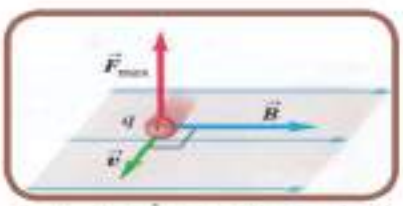
ومن الجدير بالذكر انه أذا كانت الشحنة المتحركة سالبة فان القوة $(\vec{F})$ سيكون لها المقدار نفسه ولكن بالاتجاه المعاكس .



a - شحنة تتحرك بموازة المجال المغناطيسي $\vec{\mathbf{B}}$ والقوة المغناطيسية = صفر .



b - شحنة تتحرك بزاوية θ مع المجال المغناطيسي $\vec{\mathbf{B}}$ والقوة المغناطيسية $F = q_o \upsilon B \sin\theta$



c - شحنة تتحرك عمودياً على المجال المغناطيسي $\vec{\mathbf{B}}$ والقوة المغناطيسية $F_{max} = q_o \upsilon B$

الشكل (7)

مثال 2

بروتون (شحنة كهربائية موجبة) يتحرك بسرعة $5 \times 10^5 m/s$ صادف مجالاً مغناطيسياً قيمته $0.4T$ اتجاهه يصنع زاوية $\theta = 30^\circ$ مع متجه سرعة البروتون ، علماً أن شحنة البروتون $\Rightarrow 1.6 \times 10^{-19} C$:

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 .

$$F = |q| v B \sin\theta$$

$$F = (1.6 \times 10^{-19} C)(5 \times 10^5 m/s)(0.4 T)(\sin 30^\circ)$$

$$F = 1.6 \times 10^{-13} N$$

اتجاه القوة المغناطيسية باتجاه الإصبع حسب قاعدة الكف اليمنى .

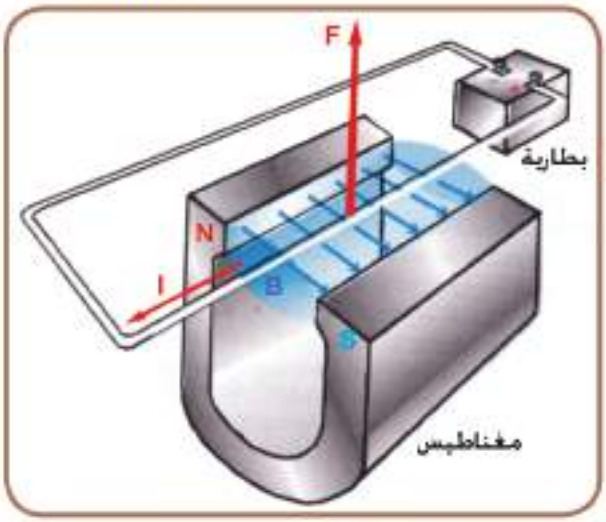
b) نحسب تعجيل البروتون بتطبيق القانون الثاني لنيوتن:

$$a = \frac{F}{m_p}$$

$$a = \frac{1.6 \times 10^{-13} N}{1.67 \times 10^{-27} kg} = 9.6 \times 10^{13} m/s^2$$

6 - 10 تأثير 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 :

$$F = q_o \ \upsilon_d B \sin\theta$$

ولايجاد 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 : $\upsilon_d = \dfrac{I}{NqA}$

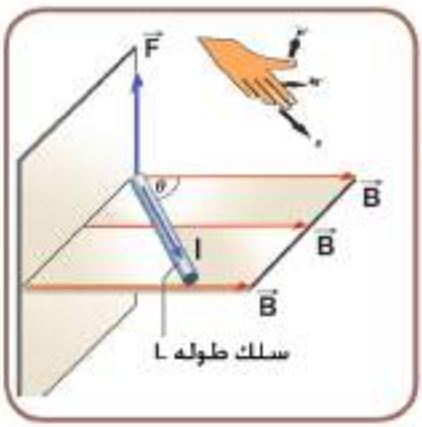
بالتعويض عن سرعة الانجراف نحصل على العلاقة التالية :

$$F = I L B \sin\theta$$

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) .



الشكل (9)

مثال 3

سلك طوله 0.5m وضع بصورة عمودية على اتجاه المجال المغناطيسي المنتظم ، وعندما امر به تيار كهربائي مقداره (20A) أثرت فيه قوة مقدارها (3N) جد مقدار كثافة الفيض المغناطيسي (B) المسلط على السلك ؟

الحل /

$$F = I L B \sin\theta$$

بما أن $\theta = 90^\circ$ فإن $\sin 90^\circ = 1$

$$\therefore F = I L B$$

$$B = \frac{F}{IL} = \frac{3N}{(20A)(0.5m)} = 0.3 \ \frac{N}{A \cdot m}$$

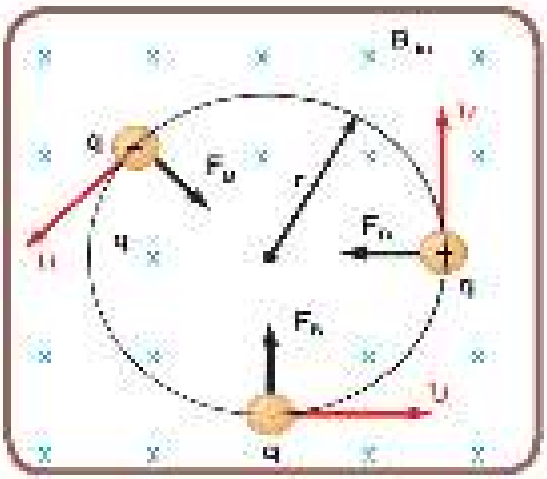
$$B = 0.3 \ \frac{wb}{m^2} = 0.3T$$

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 بتسارع (a) باتجاه عمودي على المجال المغناطيسي ، وعلى فرض ان اتجاه المجال المغناطيسي داخل السفحة

(⊗) 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 v ، B يكون مقدارها ثابت يسمى (qvB) 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_m)

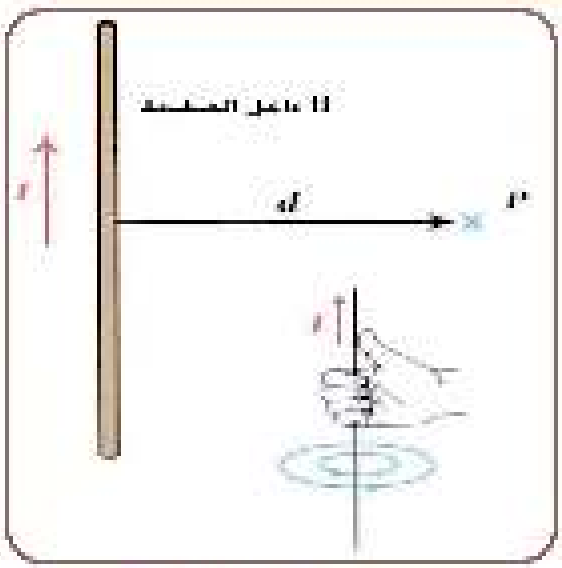
$$F_c = F_{mag}$$

$$\frac{mv^2}{r} = qvB$$

$$r = \frac{mv}{qB}$$

أي أن نصف قطر المسار الدائري (r) يتناسب طرديًا مع الزخم الخطي (mv) للجسيم وعكسيًا مع مقدار شحنة الجسيم وكثافة الفيض المغناطيسي.

10 المجال المغناطيسي لملف طويل يمتلك فيه تيار كهربائي :



شكل (11)

بعد فترة قصيرة من اكتشاف أورستد (1820) أن إبرة البوصلة تتحرف بتأثير المجال المغناطيسي لموصل يحمل تيار أي موصل الملف يسمى مغناطيس ، عن طريق تجارب متعددة على القوة المبذولة بواسطة تيار كهربائي ينساب في سلك على مغناطيس موضوع بالقرب من السلك وتم الحصول على تعبير رياضي يعطي المجال المغناطيسي عند نقطة ما في الفراغ يقترب 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 ملف طويل يمر فيه تيار كهربائي قدره (I) . لاحظ الشكل (11) يعطى وفق العلاقة الآتية :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

إن μ_0 هو مختار تمت تسميته بنفاذية 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 :

$$B = \frac{\mu_o I}{2\pi r}$$

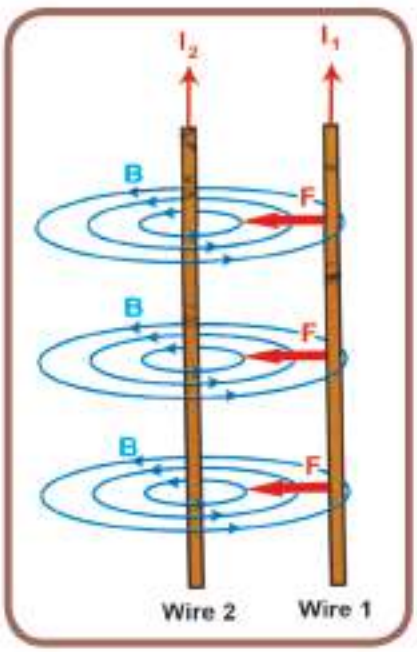
$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 15}{2\pi \times 3}$$

$$= 1 \times 10^{-6}\ T$$

$$\therefore B = 1 \times 10^{-6}\ T$$

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:

$$B_2 = \frac{\mu_o I_2}{2\pi r}$$

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 :

$$\therefore F = \frac{\mu_o I_2}{2\pi r} I_1 L = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi r} L$$

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:

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi r}$$

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 $\mu_o = 4\pi \times 10^{-7} \frac{wb}{A.m}$ نحصل على :

$$\frac{F}{L} = \frac{(4\pi \times 10^{-7})(1)(1)}{(2\pi)(1)} = 2 \times 10^{-7} \text{ N/m}$$

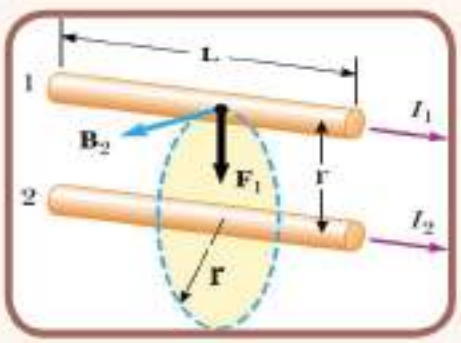
واستناداً إلى هذه النتيجة المستخرجة يعرف الـ**Ampere** كما يلي :

هو ذلك التيار الذي إذا مر في كل من سلكيين متوازيين طويلين .البعد بينهما 1m وموضوعين في الفراغ لنتجت بينهما قوة متبادلة قدرها لوحدة الطول $2 \times 10^{-7} N/m$.

فكر

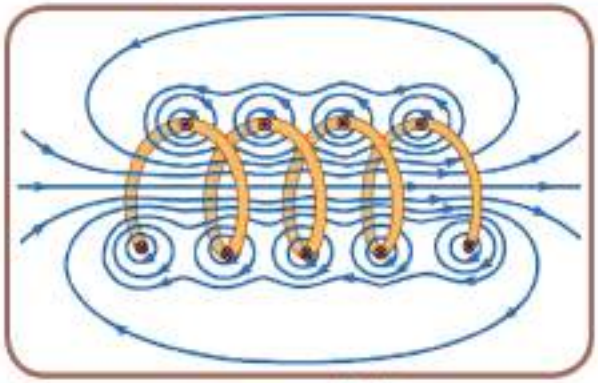
عندما يكون $I_1 = 2\ A$, $I_2 = 6A$ في الشكل (13) أي من الآتي صحيح :

a) $F_1 = 3F_2$ b) $F_1 = \frac{F_2}{3}$ 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 عليه خارجه ويمكن حساب كثافة الفيض المغناطيسي (B) داخل ملف لولبي طويل وفق العلاقة الآتية :

$$B = \mu_o \frac{NI}{L}$$

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 :

$$B = \mu_o \, nI$$

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 لولبي طوله 20cm وعدد لفاته (N) تساوي 100لفة وطوله 20cm حمل تيار شدته 4A فما كثافة الفيض المغناطيسي (B) عند مركز الملف .

الحل :

$$B = \mu_o \frac{NI}{L}$$

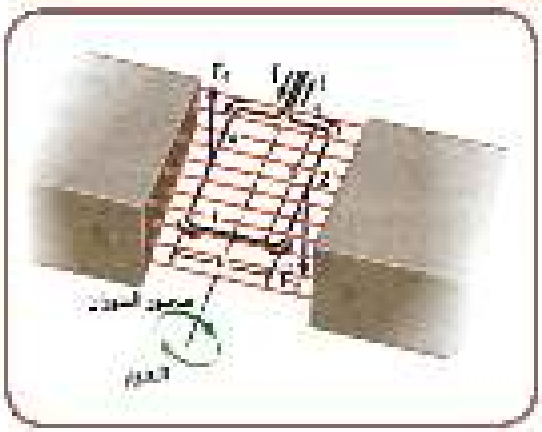
$$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7} \frac{wb}{A \cdot m}$$

$$\therefore B = 4\pi \times 10^{-7} \frac{100 \times 4}{0.2}$$

$$B = 2.5 \times 10^{-4} \frac{wb}{m^2}$$

$$B = 2.5 \times 10^{-1} \text{ Tesla}$$

10 - 11 العزم المؤثر في ملف يمسب فيه تيار كهربائي موضوع في مجال مغناطيسي Torque on a current loop



شكل (15)

سبق أن درسنا كيف تؤثر القوة المغناطيسية في موصل ناقل للتيار الكهربائي عندما يكون هذا الموصل ضمن مجال مغناطيسي خارجي منتظم وفي حالة وجود ملف بشكل مستطيل مستوٍ يوازي خطوط المجال المغناطيسي المنتظم (B) يمسب فيه تيار كهربائي (I) ، ومن ملاحظتنا لشكل (15) نجد أن كثافة الفيض المغناطيسي المنتظم B يعمل على المنعين (1 , 3) من الملف المستطيل الشكل وبذلك تؤثر قوة مغناطيسية في المنعين (1,3) والزاوية بين متجه B واتجاه التيار = صفر ، بينما نجد أن القوى المؤثرة في المنعين (2 , 4) تكون متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه لذلك فإن الملف يتأثر بمزدوجتين قوتين المتوازيتين (F_4 , F_2) والمعمولتين على المنعين 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_4 ، F_2 يعطى بـ :

$$\text{Torque } (\tau) = \text{Magnitude of force } (F) \times \text{Lever arm } (b)$$

أما العزم الكلي (τ_{total}) على الملف والناتج عن القوتين (F_4 ، F_2) 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:

$$A = ab \quad .$$

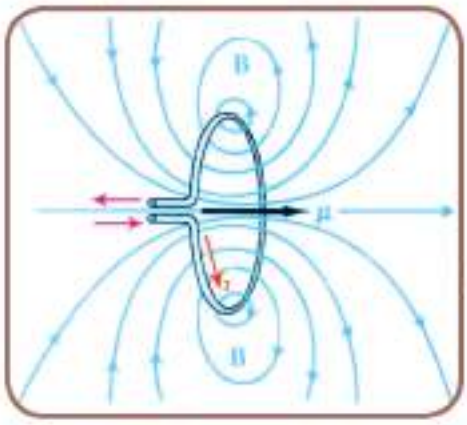
$$\therefore \tau_{total} = I\,A\,B$$

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 واتجاهها عمودي على المساحة (A) لاحظ الشكل (16) . واذا كان مستوى الملف مائلاً على خطوط الفيض فأن عزم المزدوج يساوي :

$$\tau = B\,I\,A\,N \sin\theta$$



الشكل (16)

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

مثال 6

ملف سلكي مساحته $2.0\times10^{-4}m^2$ متكون من 100 لفة يسري فيه تيار مقداره $(0.015A)$ وضع الملف في مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه $(0.15T)$.
ما مقدار أعظم عزم يمكن للمجال المغناطيسي أن يسلط على الملف .

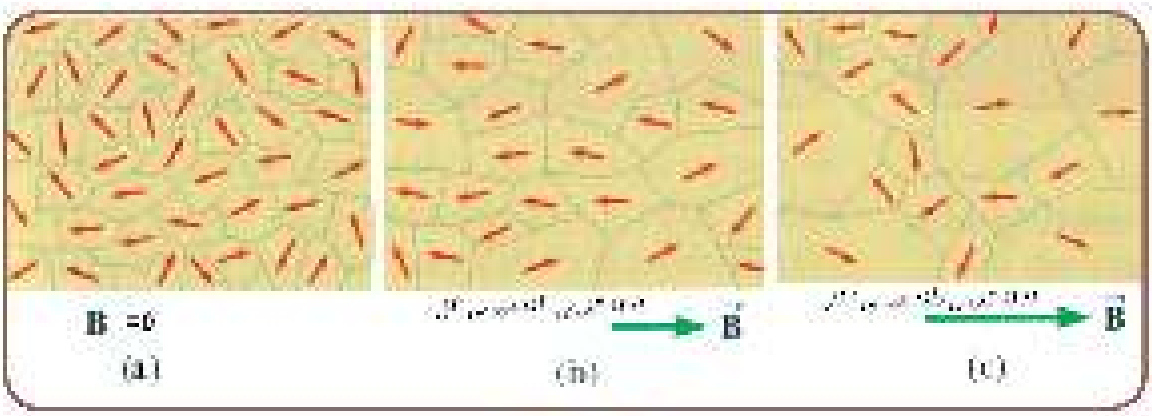
الحل:

أعظم عزم يمكن للمجال المغناطيسي أن يسلط على الملف عندما تكون $\theta = 90°$

$$\sin 90° = 1$$
$$\tau = (N I A)(B\sin\theta)$$
$$\tau = (N I A)(B\sin 90°)$$
$$\tau = 100 \times 0.045 \times 2 \times 10^{-4} \times 0.15 \times 1$$
$$\tau = (9\times10^{-4}\ A\cdot m^2)(0.15)\times1$$
$$\tau = 1.35\times10^{-4}\ N\cdot m$$

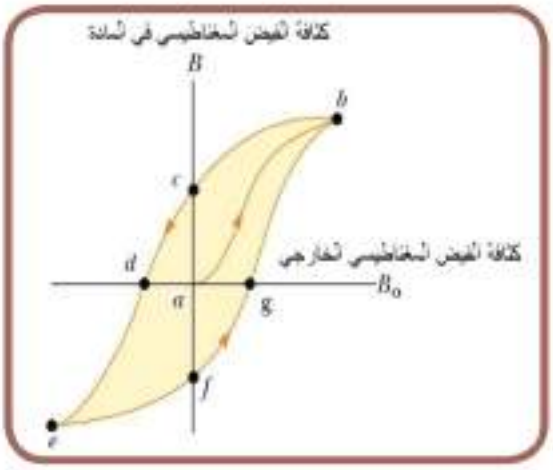
12-10 الهستيرة المغناطيسية Magnetic Hysteric's

لو وضعنا ساق من مادة فيرومغناطيسية ، مثل الحديد، في تجويف ملف، فإنها ستتمغنط في حالة إنسياب تيار كهربائي مستمر في الملف، وسبب المغناطيسية التي تكتسبها ساق الحديد يعود لاحتواء الحديد على مغانط صغيرة جداً كل منها يتكون من مجموعة ذرات وشدة القطب تمس نوعين تصطف عزومها باتجاه المجال المغناطيسي الخارجي. لاحظ الشكل (17) .



الشكل (17)

وعند رسم مخطط بياني يبين كثافة الفيض المغناطيسي الخارجي(B_o) الذي ولده التيار الكهربائي وكثافة الفيض المغناطيسي المتولد في المادة(B) بتأثير المجال المغناطيسي (B_o)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 ($B = 0 , B_o = 0$) وبإزدياد مقدار التيار المنساب في الملف تزداد كثافة الفيض المغناطيسي الخارجي (B_o)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_o=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_o) حتى تزول عند النقطة (d) وفي حالة الإستمرار في زيادة التيار بالإتجاه المعاكس تزداد(B_o) 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 .

فكر :

إن مساحة المنحنى المغلق لحلقة الهسترة يمثل مقدار الطاقة المتبددة (الضائعة) التي تظهر بشكل حرارة في القلب الحديد .

أسئلة الفصل العاشر

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 التيار المغناطيسي داخل ملف لولبي:

a) صفراً .

b) منتظمة بخطوط مستقيمة .

c) تزداد كلما ابتعدنا عن المحور .

d) تقص كلما ابتعدنا عن المحور .

7) اذا تحركت شحنة كهربائية بسرعة $\vec{v}$ وباتجاه عمودي على خطوط القوة المغناطيسية لسلك مغناطيسي مستقيم فإن هذا السلك سيعمل على تغيير :

a) مقدار الشحنة . b) كتلة الجسم المشحون .

c) اتجاه سرعة الشحنة . d) المسافة لتحريك الشحنة .

8) وضع سلك موصل يحمل تياراً كهربائياً داخل سلك مغناطيسي مستقيم وكان اتجاه التيار باتجاه المجال المغناطيسي نفسه، فإن ذلك :

a) سيتأثر بقوة مغناطيسية تعمل على تحريكه بموازاة خطوط السلك المغناطيسي .

b) سيتأثر بقوة مغناطيسية تعمل على تحريكه عمودياً على خطوط السلك المغناطيسي

c) سيتأثر بعزم مزدوجة يعمل على تدويره حتى يقف عمودياً على خطوط السلك المغناطيسي

d) لا يتأثر بقوة ولا يتأثر بعزم .

س2: ما مقدار الشغل الذي ينجزه سلك مغناطيسي مستقيم في شحنة كهربائية متحركة بسرعة $\vec{v}$ باتجاه عمودي على خطوط السلك .

س3: قرب الشاب السالي شعره من بالون من النايلون منفوخ وشاهد بالصوف وشحنة سالبة ، وعلق يخبره هل أن البالون سينجذب أم سيتنافر أم لا يتأثر بالمغناطيس؟ ولماذا؟

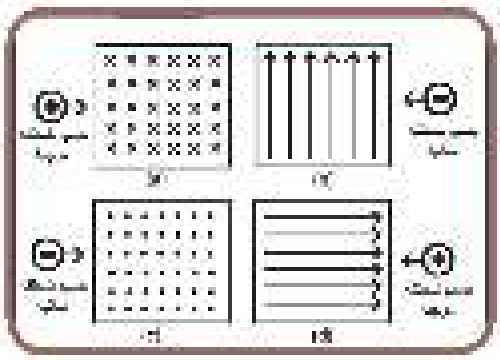
س4: عين اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في الجسيم المشحون المبين في الشكل (19) عند دخوله المجال المغناطيسي المنتظم لكل حالة من الحالات الآتية :

a) جسيم شحنته موجبة .

b) جسيم شحنته سالبة .

c) جسيم شحنته سالبة .

d) جسيم شحنته موجبة .



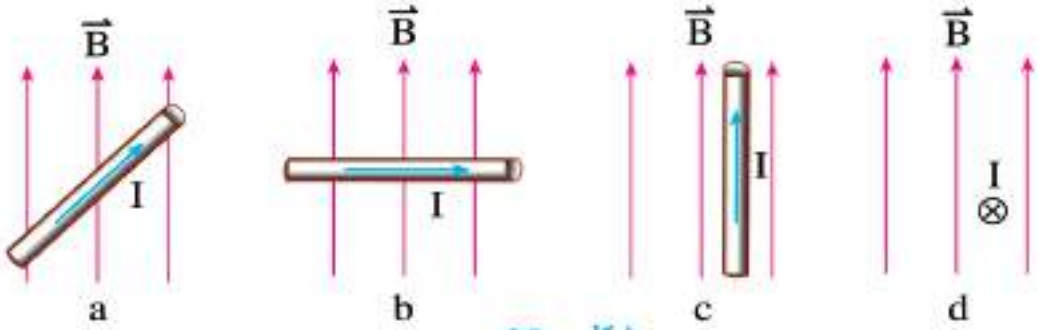
شكل (19)

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.

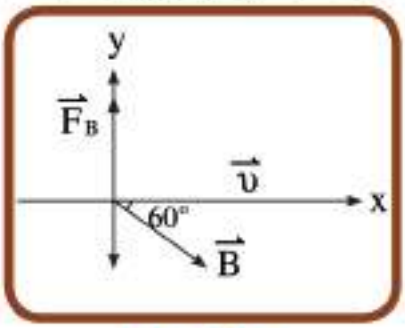
س7/ اذا كان نفس التيار يسري في سلك موضوع في نفس المجال المغناطيسي ($\vec{B}$) في الحالات الإربع لاحظ الشكل (20) رتب الأشكال بالنسبة لمقدار القوة المغناطيسية المؤثرة على السلك من الأكبر الى الأصغر



شكل (20)

المسائل

س1/ يتحرك إلكترون في أنبوبة التلفاز باتجاه الشاشة بسرعة ($8\times10^6\ m/s$) باتجاه المحور (x). لاحظ الشكل (21) ، وكانت كثافة الفيض المغناطيسي المؤثرة فيه (0.025T) باتجاه 60° مع المحور (x) ما مقدار :



شكل (21)

a) القوة المغناطيسية المؤثرة في الإلكترون .

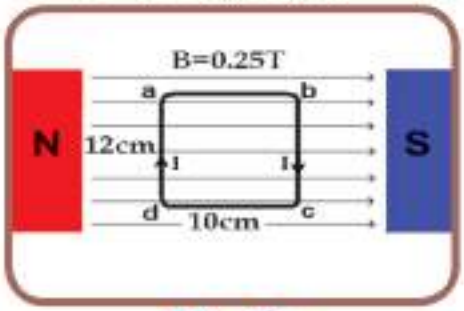
b) تعجيل الإلكترون .

علماً ان شحنة الالكترون = $1.6 \times 10^{-19}\ C$

كتلة الالكترون = $9.11 \times 10^{-31}\ kg$

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)



شكل (22)

لاحظ الشكل (22) ، ما مقدار:

a) العزم المدور المؤثر في الملف .

b) القوة المغناطيسية المؤثرة في كل جانب وما هو اتجاهها ؟

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 .