رواد التميز

المناهج الدراسية السودانية

المرحلة الثانوية

الصف الثاني ثانوي

الفيزياء

الصف الثاني ثانوي

جمهورية السودان

وزارة التربية و التعليم العام

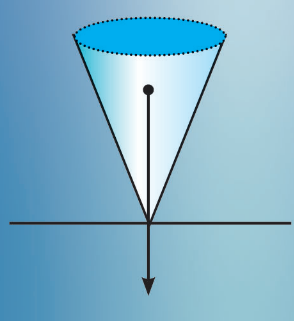
المركز القومي للمناهج والبحث التربوي

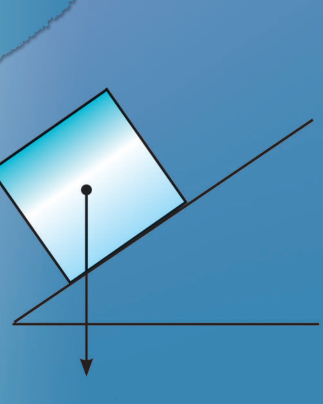
وزارة التربية و التعليم العام

بخت الرضا

التعليم الثانوي

الفيزياء





الصف الثاني

بسم الله الرحمن الرحيم
جمهورية السودان
وزارة االتربية والتعليم العام
المركز القومي للمناهج والبحث التربوي
– بخت الرضا–

التعليم الثانوي

الفيـــــزياء

للصف الثاني الثانوي

إعداد :

د. مبـــارك درار عبـــــــد الله   جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

د. عز الدين عبد الرحيم مجذوب   جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

تنقيح

أ.د. محجوب محمد الحسين   –   جامعة إفريقيـــا العالميــــــــــــة

أ.د.محمد حسن أحمد سنادة   –   جامعة الســــــــودان المفتوحـــــة

د. سلوى محمد سليمان آدم   –   المركز القومي للمناهج والبحث التربوي

أ. حبيب آدم حبيب   –   المركز القومي للمناهج والبحث التربوي

أ.قمر عيسى أدم نعيم   –   معلمـــــــــــة بالمعـــــــــاش

التصميم التعليمي:

أ.د.محمد حسن أحمد سنادة   –   جامعة الســــــــودان المفتوحـــــة

التصميم والإخراج الفني :

أ. مجدي محجوب فتح الرحمن   –   المركز القومي للمناهج والبحث التربوي

الجمع بالحاسوب :

أحمد عبد الرضي علي   –   المركز القومي للمناهج والبحث التربوي

المحتويات

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة الطبعة الثانية

يسرنا أن نضع بين أيدي الطلاب والمعلمين والموجهين التربويين كتاب الفيزياء المنقح للصف الثاني الثانوي .

وتجدر الإشارة أن تنقيح هذا الكتاب – كسابقه – قد بُني على الملاحظات والاقتراحات التي أبداها المعلمون والموجهون التربويون بالمرحلة الثانوية ، وذلك في نطاق الدراسة الميدانية التي أجراها المركز القومي للمناهج والبحث التربوي ببخت الرضا . كذلك أخذ في الاعتبار عند تنقيح هذا الكتاب ما درسه التلميذ في مرحلة التعليم الأساسي ضمن مقرر الإنسان والكون ، ومقرر الرياضيات .

ونوجز فيما يلي أهم التعديلات والإضافات التي أُدخلت على الطبعة الأولى من كتاب الفيزياء للصف الثاني الثانوي.

أولاً : صححت الأخطاء اللغوية والإملائية والطباعية .

ثانياً : حذفت الأجزاء الآتية من الطبعة المنقحة :

أ. خواص المادة لأنها قد أضيفت إلى كتاب الفيزياء للصف الأول الثانوي.

ب. الجزء الخاص بقياس درجة الحرارة التي قد أضيفت هي الأخرى إلى كتاب الصف الأول الثانوي.

ثالثاً : أُضيف الآتي إلى النسخة المنقحة :

أ. وحدة بعنوان : الشغل والقدرة والطاقة . وقد حولت من كتاب الصف الأول الثانوي. وتضمنت هذه الوحدة قاعدة بيرنولي بدلاً من معالجتها ضمن وحدة الحرارة.

ب. أُضيف إلى وحدة العزم والتوازن : الازدواج ومركز الثقل وحالات التوازن.

رابعاً :

أُضيف في بداية كل وحدة الأهداف السلوكية المتوقع تحقيقها من دراسة الوحدة .

خامساً : أُضيفت في ثنايا كل وحدة أسئلة تحت عنوان : تقويم ذاتي ، لتعين الطالب

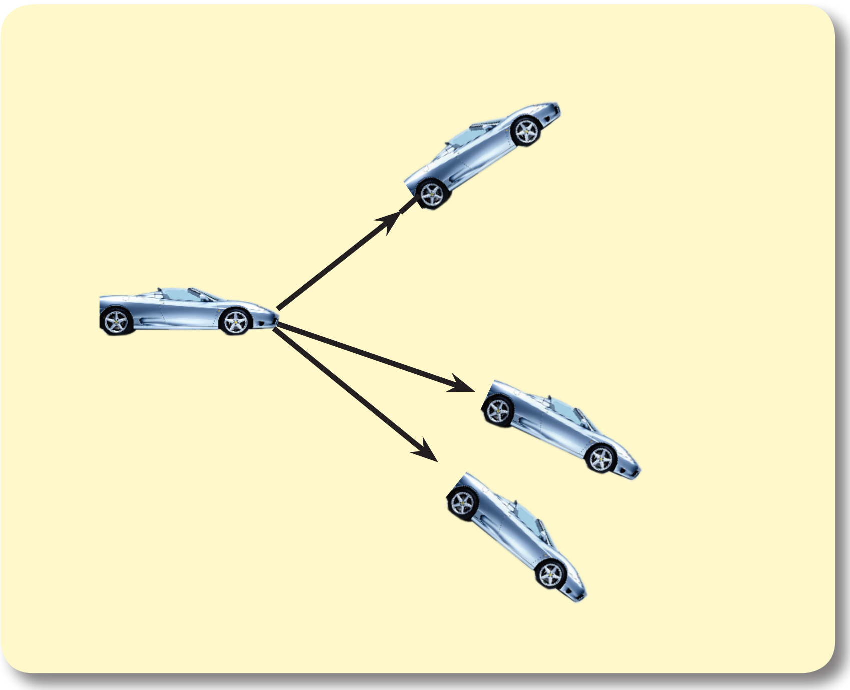
من التأكد من استيعاب المفاهيم التي تضمنتها الوحدة.
سادساً :
لقد زيدت التمارين والأمثلة لمزيد من الشرح والتوضيح للمفاهيم العلمية المقصودة . وأعطيت الأجوبة للمسائل الواردة في التمارين لمساعدة الطالب لمعرفة الإجابات الصحيحة.
سابعاً :
بُذل مجهود مقدر لتحسين الإخراج الفني للكتاب بإضافة الألوان والرسوم التوضيحية.

ثامناً :
زيدت النشاطات التي يمكن أن يقوم بها الطالب خارج حجرات الدراسة بغرض إكسابه مهارات يرمي المقرر لتحقيقها . وبذلك يصبح الطالب عنصراً فاعلاً في عملية التعلم.
تاسعاً :
أعد مرشد للمعلم ليصاحب كتاب الفيزياء للصف الثاني الثانوي ويحتوي المرشد على أمثلة ونشاطات إضافية.

المنقحون..

الوحدة الأولى

المتجهـــــــات



الوحدة الأولى

المتجهـــــــات

الأهداف:

بعد دراسة هذه الوحدة أيها الطالب يتوقع منك أن تكون قادراً على أن :

- تعرف كلاً من المتجه و الكمية القياسية.
- تذكر أمثلة للكميات الفيزيائية المتجهة والقياسية.
- تستطيع جمع عدد من المتجهات بأستعمال الطريقة البيانية.
- تستطيع حساب محصلة متجهين متعامدين .
- تستطيع كتابة معادلة جمع المتجهات.
- تستعمل قاعدة متوازي الأضلاع لحساب محصلة متجهين بينهما زاوية.
- تحلل أي متجه إلى مركبتيه المتعامدتين.
- تحسب محصلة عدة متجهات بطريقة التحليل في الاتجاهين السيني والصادي.
- تحل أسئلة ومسائل في موضوعات هذه الوحدة

الوحدة الأولى

(١-١) المتجهات

(١–١ – ١) مقدمة :

إذا أردت تحديد موقع مدينة مثل سنار بالنسبة للخرطوم فلا يكفى أن تقول أن سنار تقع على بعد ٣٠٠ كيلومتر من الخرطوم، لأن هناك مواقع كثيرة تبعد عن الخرطوم مسافة ٣٠٠ كيلومتر، منها مثلاً تقع في اتجاه شرق الشمال مدينة الدامر عاصمة ولاية نهر النيل، وتقريباً على بعد نفس المسافة في اتجاه الشمال الغربي تقع مدينة الملتقي في الولاية الشمالية، وكذلك تقع على نفس المسافة جنوب الخرطوم مدينة كوستي في ولاية النيل الأبيض.

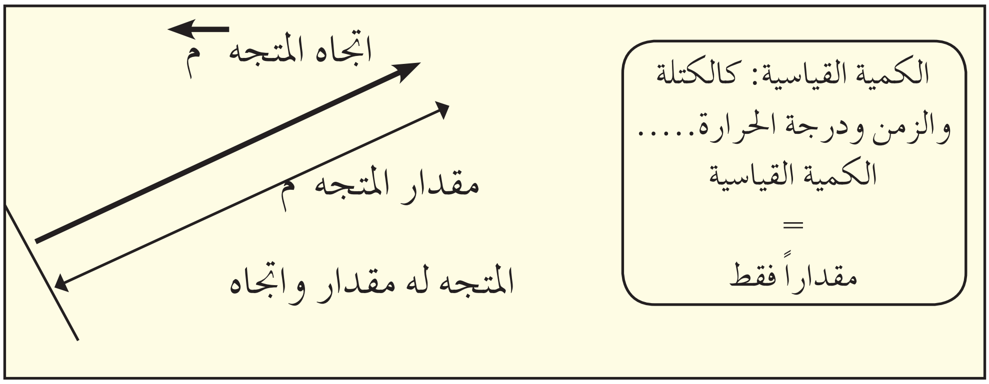
الشكل (١–١)

لذا لابد لك من تحديد الاتجاه الذى تقع فيه مدينة سنار حتى يمكن تحدد موقع المدينة تحديداً كاملاً. ولهذا يجب أن تذكر أن مدينة سنار تقع على بعد ٣٠٠ كيلومتر في اتجاه الجنوب الشرقى لكى يكون وصفك لموقع المدينة كاملاً.

من هنا نستنتج أن هناك كميات طبيعية (فيزيائية) مثل : الازاحة لا توصف وصفاً كاملاً إلا إذا حدد اتجاهها بالرغم من معرفة مقدارها، وتسمى مثل هذه بالمتجهات . أى أن :

المتجهات هى الكميات الفيزيائية التى لا يمكن تحديدها تحديداً تاماً إلا إذا عرفت مقاديرها واتجاهاتها .

في مقرر الصف الأول، درسنا في قوانين الحركة، مجموعة من هذه الكميات، ولكن في حينها لم نهتم باتجاهها، ومنها السرعة والتسارع والقوة والوزن. ولقد عرفنا في الصف الأول أن السرعة ع هي معدل المسافة المقطوعة في الثانية أو في الساعة. وقد يحدث أنه لكي نصل إلى مدينة معينة بسيارة – حسب مسار الطريق – قد نتحرك ونغير اتجاهنا وسرعتنا عدة مرات قبل أن نصل إلى المدينة. فالسرعة أيضاً تتأثر بالاتجاه وبالتالي فهي تحدد بالمقدار والاتجاه معاً.



الشكل (١–٢): الفرق بين الكمية القياسية والمتجه

ونرمز للمتجه برمز الكمية الفيزيائية مع وضع سهم فوق الرمز. فمثلاً، لقد درسنا في الصف الأول أن رمز السرعة هو ($\overleftarrow{ع}$) وبالتالى نرمز لمتجه السرعة بالرمز (ع) .

وبالنسبة لأى كمية أخرى (م) فإن رمز المتجه هو ($\overleftarrow{م}$)، ويعنى السهم هنا أن الاتجاه هو أحد العناصر الضرورية التى تصف المتجه .

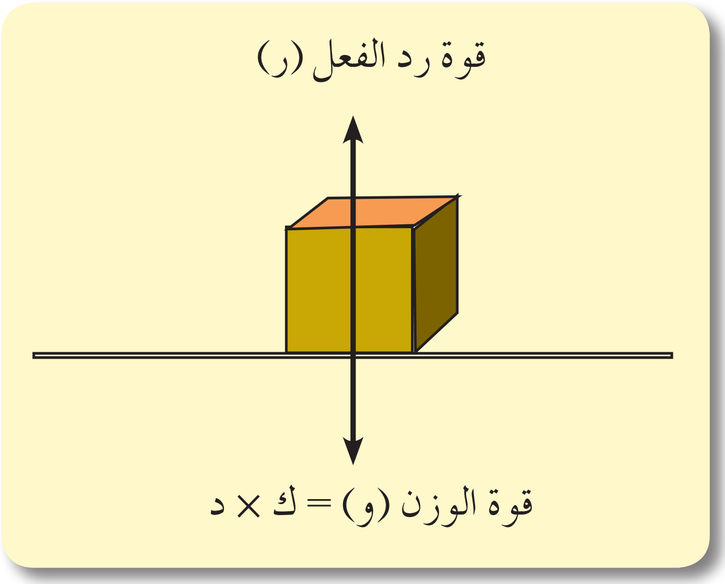
وهناك نوع آخر من المقادير الفيزيائية التى تحدد تحديداً تاماً إذا عرف مقدارها فقط حيث لا تتأثر بالاتجاه، ومثال ذلك الزمن ، ودرجة الحرارة . فبينما نقول أن الساعة الآن هي السادسة صباحاً ونقول أن درجة الحرارة تساوي ٣٥ درجة مئوية فإن هذا الوصف يكفى ولا يحتاج لذكر الاتجاه لأنه ليس هناك اتجاه محدد . وتسمى مثل هذه المقادير بالكميات القياسية .
أى أن :

الكمية القياسية : هي تلك الكمية الفيزيائية التي تحدد بمعرفة مقدارها فقط.

وعليه فالزمن (ن) ودرجة الحرارة (م°) والكتلة (ك) والشغل (شغ) والطاقة (ط) كلها كميات قياسية لها مقدار ولا تتأثر بالاتجاه، ولا يوضع على رمزها السهم.

أما الازاحة ($\overleftarrow{ف}$) والسرعة ($\overleftarrow{ع}$) والتسارع ($\overleftarrow{جـ}$) وتسارع الجاذبية ($\overleftarrow{د}$) والوزن ($\overleftarrow{و}$) والقوة ($\overleftarrow{ق}$) وكمية التحرك ($\overleftarrow{كح}$) هى كميات متجهة ،لها مقادير ولها اتجاهات ، ومقاديرها تكتب بدون سهم. فمقدار المسافة هو (ف) ومقدار السرعة هو (ع) ومقدار التسارع هو (جـ) ومقدار القوة

هو (ق)، تماماً كما استخدمناها في الصف الأول عند دراسة **الحركة الخطية** حين لم نكن نهتم باتجاهها .



الشكل (١-٣): الوزن واتجاهه

لاحظ ان الكتلة (ك) والتي تعرف بانها **مقدار** ما يحتويه الجسم من المادة ليس لها اتجاه ولذلك فهي كمية قياسية. بينما (و) الوزن كمية متجهه ويرمز لها بالرمز $(\overleftarrow{و})$. والسبب في ذلك أن:

الوزن = (**الكتلة × متجه تسارع الجاذبية**)

$$(\overleftarrow{و}) = ك \times (\overleftarrow{د})$$

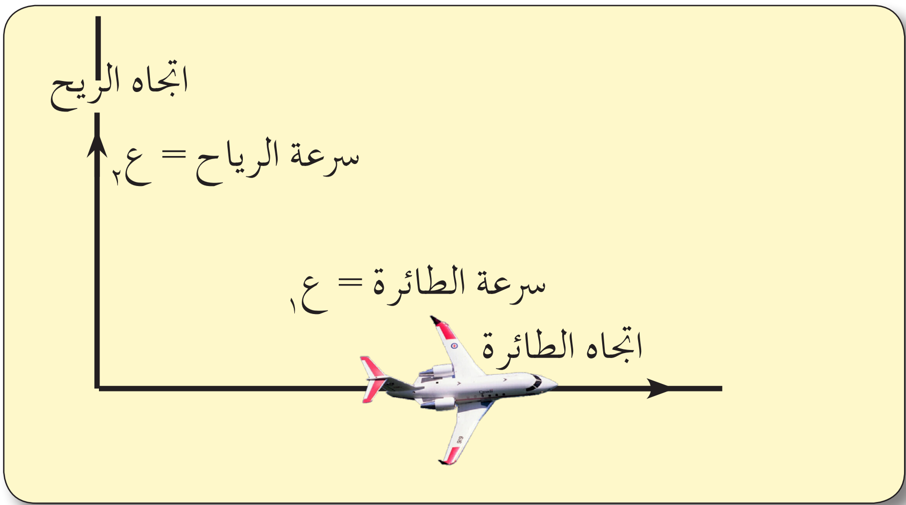
هو متجه واتجاهه دائماً إلى أسفل في اتجاه جاذبية الأرض للجسم. وتلاحظ هنا أن الوزن $(\overleftarrow{و})$ في الجانب الأيمن من المعادلة متجه، لأن $(\overleftarrow{د})$ في الجانب الأيسر من المعادلة متجه أيضاً.

أسئلة تقويم ذاتي :

١. المتجه هو .... فيزيائية لها ....و..........
بينما الكمية القياسية لها ....
٢. لماذا تكون القوة (ق) متجهاً؛
٣. أي الكميات الفيزيائية التالية متجه وأيها كمية قياسية ولماذا؟:
الكتلة ، التسارع ، السرعة ، المسافة ، الزمن، الإزاحة ،
تسارع الجاذبية.

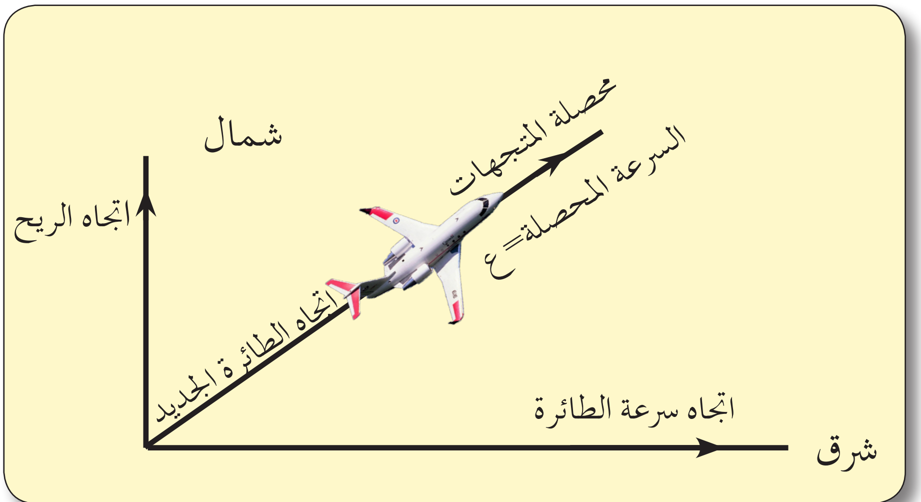
(١ – ١ – ٢) محصلة عدة متجهات :

نفرض أن طائرة كانت تسير بسرعة معيـــنة في اتجـــاه الشرق، وعند اقلاعها هبت فجأة رياح في اتجاه الشمال بنفس سرعة الطــــائرة . في هذه الحالة ستتجه الطـــائرة في اتجاه الشمـــــال الشرقي بسرعة معيـــنة [شكل (١ – ٤) (أ) و (ب)].



(أ)

الشكل (١–٤) (أ): سرعة الطائرة أفقية وسرعة الرياح رأسية



الشكل (١–١) (ب): سرعة الطائرة أفقية وسرعة الرياح رأسية

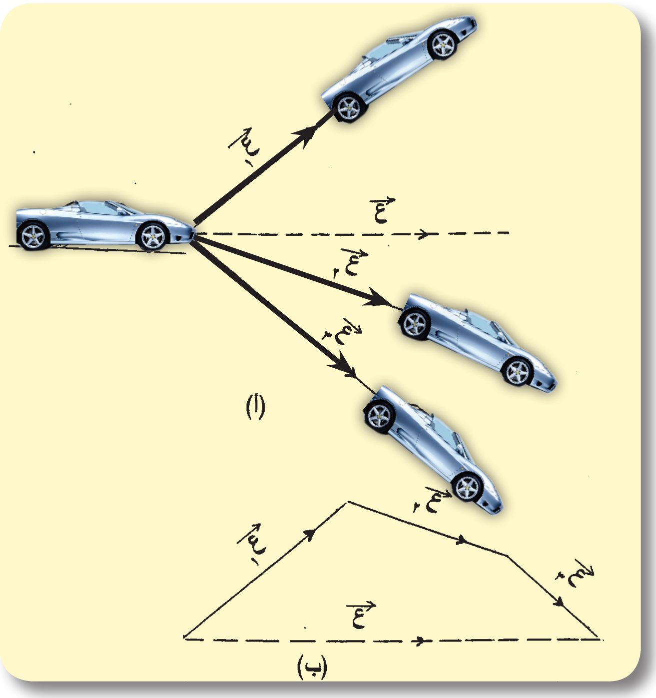
وتكون هذه السرعة ناتجة من تأثير كل من سرعة الطائرة في اتجاه الشرق وسرعة الرياح في اتجاه الشمال . وتسمى السرعة الجديدة في اتجاه الشمال الشرقى **بالسرعة المحصلة** .

> وتعرف محصلة عدة متجهات بأنها: هي المتجه الناتج من التأثير الذى تحدثه هذه المتجهات العديدة في نقطة واحدة.

وعليه فمحصلة عدة متجهات أيضاً متجه وبالتالي لها مقدار واتجاه. فإذا زدنا مقدار سرعة الطائرة في اتجاه الشرق، وظلت سرعة الرياح كما هى، فإن اتجاه الطائرة سيميل نحو الشرق. وكلما زدنا مقدار سرعة الطائرة، زاد ميلان اتجاه الطائرة نحو الشرق ، وتتغير كذلك محصلة سرعة الطائرة. ولحساب محصلة سرعة الطائرة نستخدم عدة طرق بعضها بياني وبعضها حسابي .

(١ – ١ –٣) طريقة رسم المتجهات لإيجاد محصلة عدة متجهات :

إذا قمنا بجر عربة معطوبة باستخدام حبل مربوط إلى عدة عربات تسير بسرعات مختلفة $\overleftarrow{ع}_{١}$ ، $\overleftarrow{ع}_{٢}$ ، $\overleftarrow{ع}_{٣}$ في اتجاهات مختلفة فإن سرعة العربة المعطوبة ($\overleftarrow{ع}$) يمكن ايجادها برسم مضلع بحيث تكون اتجاهات اضلاعه هى نفس اتجاهات السرعات، وبحيث تتناسب أطوال هذه الأضلاع مع مقادير هذه السرعات. وعليه ستكون محصلة السرعات ممثلة بالضلع الذي يقفل المضلع في الاتجاه الدوري المضاد [شكل (١ – ٢)] حيث يمثل اتجاه هذا الضلع اتجاه المحصلة بينما يتناسب طول هذا الضلع مع مقدار المحصلة.



شكل (١–٢) :طريقة رسم المتجهات لإيجاد محصلة عدة سرعات

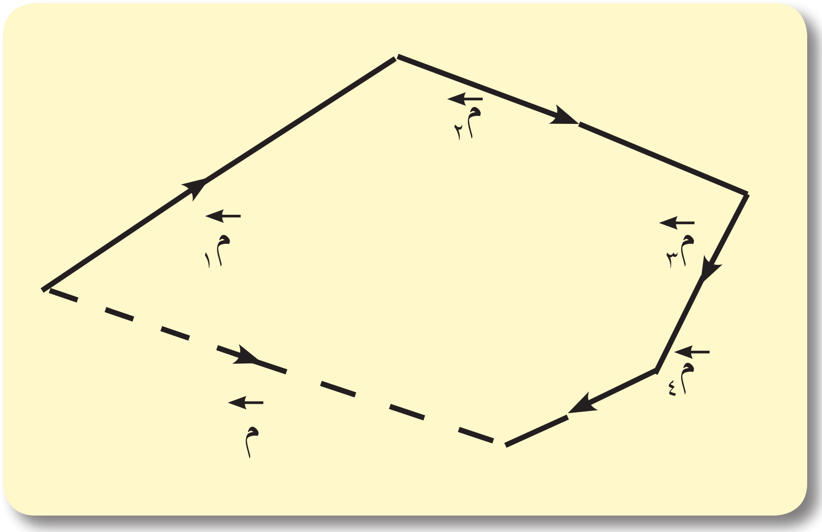
وتنص طريقة رسم المتجهات على الآتي :

إذا اردنا ايجاد محصلة عدة متجهات فإننا نمثلها مقداراً واتجاهاً باستعمال مسطرة ومنقلة باضلاع مضلع غير مقفل تتجه في اتجاه دورى واحد . فتكون محصلة هذه المتجهات ممثلة بالضلع الذى يقفل المضلع في الاتجاه الدورى المضاد .

فإذا رمزنا للمتجه بالرمز $\overleftarrow{م}$($\overleftarrow{م}$ ≡ متجه)وكانت المتجهات $\overleftarrow{م}_{1}$ ، $\overleftarrow{م}_{2}$ ، $\overleftarrow{م}_{3}$،

$\vec{م}_{٤}$ هى القوى المؤثرة على جســـم ما، فإن المحصلة ($\vec{م}$) يمكن ايجادها بطريقة رسم المتجهات باستعمال مسطرة ومنقلة كما موضح في الشكل (١ – ٣).

(لاحظ أن المتجه $\vec{م}$ قد يكون سرعة ($\vec{ع}$) أو قوة ($\vec{ق}$) أو وزن ($\vec{و}$) ..)



شكل (١ – ٣) : طريقة رسم المتجهات لايجاد محصلة عدة متجهات .

و بالنظر للرسم نجد أن المتجه م هو محصلة المتجهات

$\vec{م}_{١}$ و $\vec{م}_{٢}$ و $\vec{م}_{٣}$ و $\vec{م}_{٤}$

ويمكن التعبير عن هذا الرسم في صيغة **معادلة اتجاهية** وهي :

$$\vec{م} = \vec{م}_{١} + \vec{م}_{٢} + \vec{م}_{٣} + \vec{م}_{٤} \quad .... \quad (١)$$

ونسبة لأن هذه الطريقة البيانية تتطلب عمل رسم بيانى به ليس فقط

المتجهات $\vec{م}$ و $\vec{م}_1$ و $\vec{م}_2$ و $\vec{م}_3$ وإنما مقاديرها م و $م_1$ و $م_2$ و $م_3$ أيضاً، ولذلك فإنها معقدة وتستغرق زمناً اطول. ولايجاد محصلة عدة متجهات بطريقة أسرع وأسهل فإننا نلجأ لطرق أخرى حسابية مثل : قاعدة متوازي الأضلاع وقاعدة المثلث لايجاد محصلة متجهين كما هو موضح في الطرق التالية .

أسئلة تقويم ذاتي:

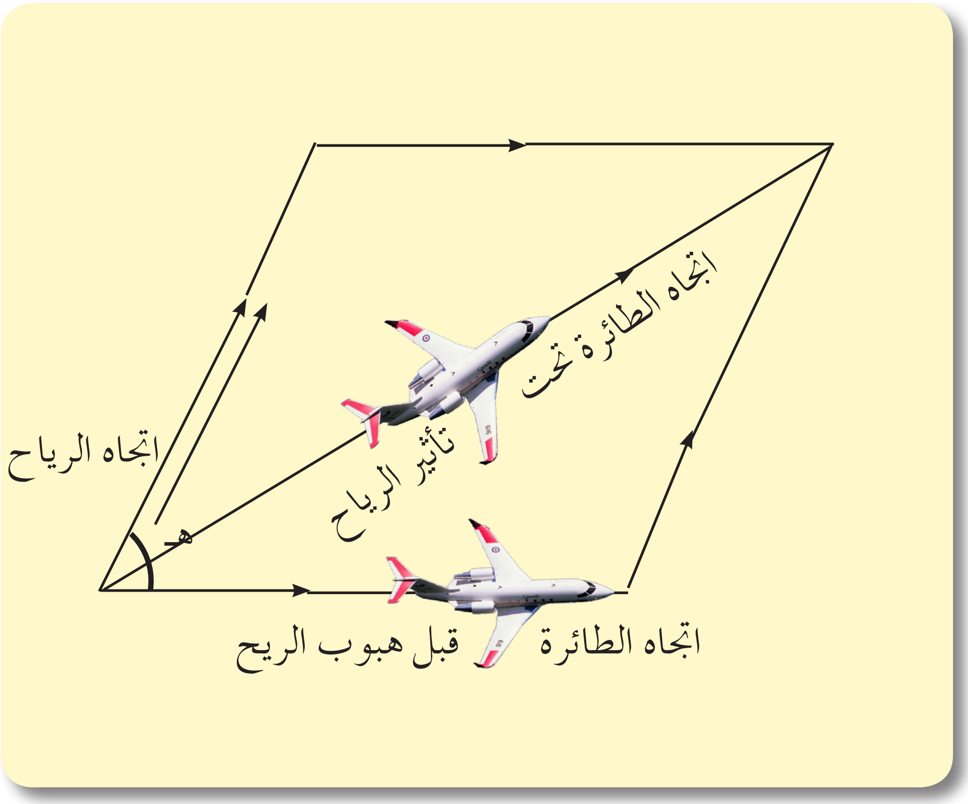
١. هل يمكن أن تؤثر عدة قوى على جسم ما في نفس الوقت .
٢. كيف يمكن ايجاد محصلة عدة متجهات بيانيا؟
٣. ماهي المعادلة المتجهية؟
٤. هل يمكن كتابة جمع عدد من الكميات القياسية في صورة معادلة متجهية؟ علل.

(١ – ١ – ٤) قاعدة متوازى الاضلاع :

ذكرنا في مثال الطائرة السابق أن الطائرة كانت تسير بسرعة معينة ($\vec{ع}_1$) في اتجاه الشرق قبل هبوب الرياح، ثم هبت عليها بعد ذلك رياح في اتجاه الشمال سرعتها ($\vec{ع}_2$) . وهذا يعنى أن الطائرة لن تسير في اتجاه الشرق بعد هبوب الرياح .

ولمعرفة اتجاه ومقدار والسرعة الجديدة للطائرة ($\vec{ع}$) ، فإننا سنمثل سرعة الطائرة وسرعة الرياح بضلعين متجاورين في متوازى اضلاع بينهما الزاوية (هـ) [أنظر الشكل (١ – ٤)] ، بحيث يكون اتجاه احد الضلعين هو نفس اتجاه سرعة الطائرة وطوله يتناسب طردياً مع مقدار سرعة الطائرة ($ع_1$). بينما يكون اتجاه الضلع الثاني هو نفس اتجاه الرياح (ليس في اتجاه

الشمال تماماً) وطول هذا الضلع يساوى أو يتناسب طردياً مع مقدار سرعة الرياح ($ع_٢$). في هذه الحالة نجد أن اتجاه محصلة السرعة هو نفس اتجاه قطر متوازى الاضلاع الخارج من نقطة تلاقى الضلعين بينما يتناسب مقدار محصلة السرعة مع طول هذا القطر . وتسمى هذه الطريقة بقاعدة متوازي الأضلاع . [لاحظ أن الزاوية (هـ) في شكل (١ – ٤) كانت ٩٠° وهي الآن في متوازي الأضلاع أقل من ٩٠°]



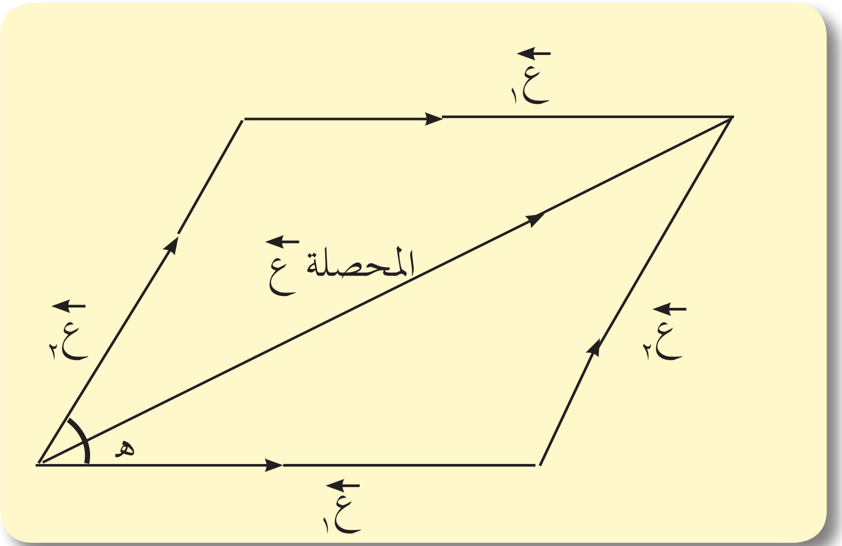
شكل (١–٤) : طريقة قاعدة متوازي الأضلاع

وبصورة عامة يمكن ايجاد محصلة متجهين باستخدام قاعدة متوازى الاضلاع والتى تنص على الآتى :

لايجاد محصلة متجهين فإننا نمثلهما مقداراً واتجاهاً بضلعين متجاورين في متوازى اضلاع، فيكون قطر متوازى الاضلاع الخارج من نقطة تلاقى الضلعين ممثلاً للمحصلة مقداراً واتجاهاً .

الشكل (١ – ٥) يوضح كيفية رسم متوازي الأضلاع، ويمكن استخدام قوانين حساب المثلثات لايجاد مقدار المحصلة ع بدلالة الزاوية (هـ) بين المتجهين وبدلالة مقدار المتجهين $ع_١$ و $ع_٢$ حيث نجد أن :

$$\therefore ع = \sqrt{ع_١^٢ + ع_٢^٢ + ٢ ع_١ ع_٢ \text{ جتاهـ}} \qquad (٢)$$



الشكل (١ – ٥) : كيفية رسم متوازى الأضلاع .

حيث (جتا هـ) هو جيب تمام الزاوية هـ بين السرعتين. وعادة نكتب العلاقة بين المحصلة ع والسرعتين $ع_١$ و$ع_٢$ في صيغة متجهين في الصورة :

$$\overleftarrow{ع} = \overleftarrow{ع}_١ + \overleftarrow{ع}_٢ \qquad (٣)$$

وتعنى هذه المعادلة أن المتجه $\overleftarrow{ع}$ هى محصلة المتجهين $\overleftarrow{ع}_١$ و $\overleftarrow{ع}_٢$ يمكننا تعميم هذه المعادلة لأي متجه $\overleftarrow{م}$ وبدلالة مقدار المتجهين $\overleftarrow{م}_١$ و $\overleftarrow{م}_٢$ حيث مقدار المتجه:

$$م = \sqrt{م_١^٢ + م_٢^٢ + ٢\ م_١م_٢\ جتاهـ} \qquad (٤)$$

ومن المعادلة (٤) تكون المحصلة لأي متجه في صورة معادلة متجهية كالآتي:

$$\overleftarrow{م} = \overleftarrow{م}_١ + \overleftarrow{م}_٢ \qquad (٥)$$

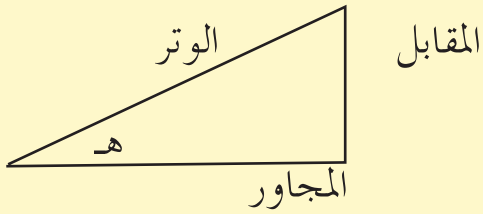
تدريب:

باستعمال حساب المثلثات برهن المعادلة (١).

ملاحظة

علاقة المتجهات بحساب المثلثات:

نلاحظ أن هناك علاقة قوية بين إتجاهات المتجهات وحساب المثلثات، وأن قيمة المتجه واتجاهه يتوقف على هذه الحسابات. ومن العلاقات المثلثية المهمة أنه في المثلث القائم الزاوية:



جيب أي زاوية هـ   جا هـ = (الضلع المقابل للزاوية هـ) / (وتر المثلث القائم الزاوية)

جيب تمام أي زاوية هـ   جتا هـ = (الضلع المجاور للزاوية هـ) / (وتر المثلث القائم الزاوية)

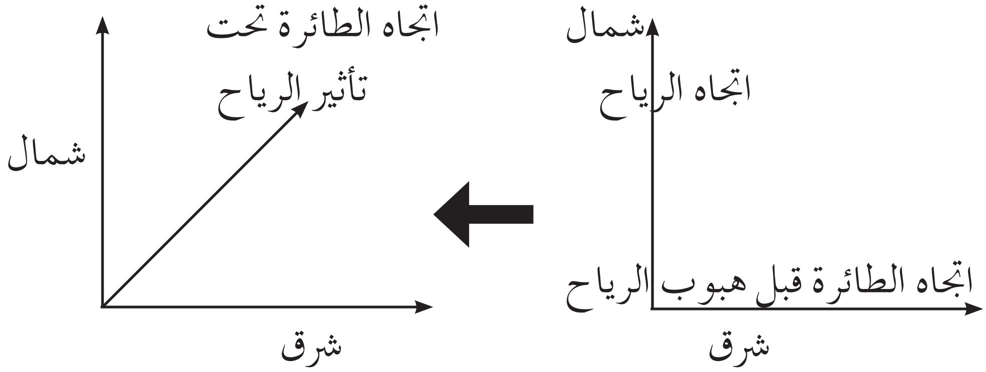
ظل الزاوية هـ   ظاهـ = (الضلع المقابل للزاوية هـ) / (الضلع المجاور للزاوية هـ)

مثال (١):

افرض أن طائرة اقلعت في اتجاه الشرق بسرعة ١٠٠$\sqrt{٣}$ م / ث وفجأة هبت عليها رياح في اتجاه الشمال بسرعة ١٠٠ م / ث .

أحسب سرعة الطائرة واتجاهها الجديد .

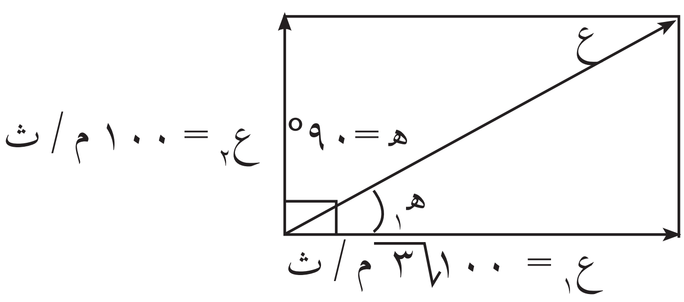
الحل :



لحساب محصلة السرعة لمحصلة للطائرة (ع) فإننا نستخدم قاعدة متوازي الاضلاع . فإذا رمزنا لسرعة الطائرة الاصلية بالرمز ع$_{١}$ ولسرعة الرياح بالرمز ع$_{٢}$ وللزاوية بين اتجاه الرياح واتجاه الطائرة قبل هبوب الرياح بالرمز (هـ) فإن:

ع$_{١}$ = ١٠٠$\sqrt{٣}$م/ث ، ع$_{٢}$ = ١٠٠م/ث ، هـ = ٩٠°

ويمكن تمثيل ما حدث للطائرة تحت تأثير هبوب الرياح بيانياً كما يلي :



وحسب قاعدة متوازي الاضلاع فإن مقدار محصلة سرعة الطائرة تساوي :

$$ع = \sqrt{ع_١^٢ + ع_٢^٢ + ٢ ع_١ ع_٢ جتاه}$$

لكن ه = ٩٠° ∴ جتا ٩٠ = صفر

$$ع = \sqrt{(١٠٠\sqrt{٣})^٢ + (١٠٠)^٢ + صفر}$$

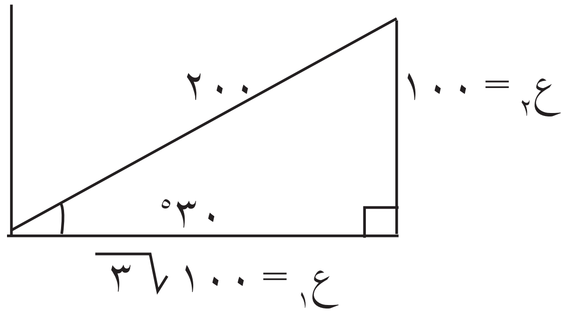
$$∴ ع = \sqrt{٣٠٠٠٠ + ١٠٠٠٠} = \sqrt{٤٠٠٠٠} = ٢٠٠ م/ث$$

إذن مقدار محصلة سرعة الطائرة ع = ٢٠٠ م / ث أما اتجاه محصلة السرعة فيمكن ايجاده ايضاً من الرسم ، حيث وبما أن $ع_١$ تعامد $ع_٢$ فإن:

$$ظا ه_١ = \frac{ع_٢}{ع_١} = \frac{١٠٠}{١٠٠\sqrt{٣}} = \frac{١}{\sqrt{٣}}$$

∴ $ه_١$ = ٣٠° .

وعليه فإن الطائرة ستطير في اتجاه يصنع زاوية ٣٠° مع الشرق أي إنها تطير في اتجاه شمال ٦٠° شرق .



مثال (٢) أ:

قارب له محرك يستطيع أن يدفعه بسرعة ٢٠ م/ ث في أي مجرى مائي ساكن. فإذا أردنا أن يعبر القارب مجرىً مائياً بسرعة تيار الماء فيه ١٠ م/ ث. فما الاتجاه الذي يتجه إليه القارب ليصل إلى النقطة المواجهة له تماماً على الشاطئ الأخر ؟ . وما السرعة المحصلة للقارب عندئذ ؟

الحل :

سرعة القارب $ع_١$ = ٢٠ م / ث .

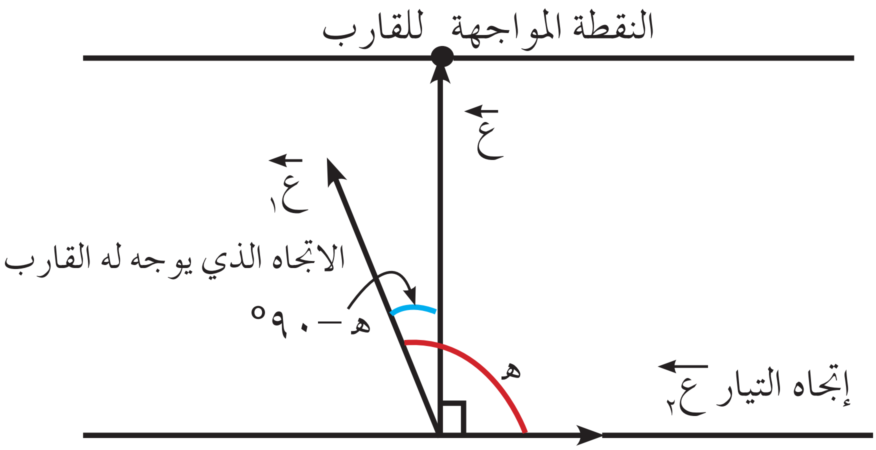
سرعة التيار $ع_٢$ = ١٠ م / ث

محصلة السرعة للقارب = ع م / ث = ؟

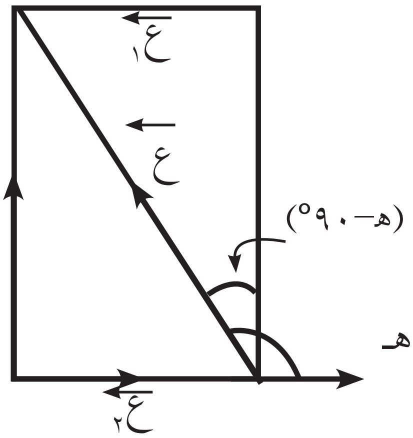
الزاوية بين اتجاه التيار والاتجاه الذى سيوجه له القارب = هـ

∴ الزاوية بين اتجاه (ع) واتجاه ($ع_١$) = (هـ − ٩٠°) [انظر الشكل]

وعليه يمكن تمثيل حركة القارب بيانياً بالشكل الآتي :



وبرسم متوازي أضلاع القوى نحصل على الشكل التقريبي الآتي :



لاحظ أن متوازي اضلاع القوى في هذه الحالة يأخذ شكل المستطيل لماذا؟

والزاوية بين اتجاه (ع_1) و (ع) تساوى (هـ − ٩٠°) لماذا ؟

من الشكل :

$$\text{ظا}\,(\text{هـ} - ٩٠^\circ) = \frac{\text{ع}_1}{\text{ع}_2} = \frac{١٠}{٢٠} = \frac{١}{٢}$$

(هـ – ٩٠°) = ٣٠ ° وجيب الزاوية ٣٠ ° =٠,٥

∴ يوجه القارب في اتجاه يصنع ١٢٠° مع اتجاه التيار

يمكن استخدام قاعدة متوازي الاضلاع لايجاد ع ، حيث أن :

هـ = ١٢٠°

$$ع = \sqrt{ع_{١}^{٢} + ع_{٢}^{٢} + ٢ ع_{١} ع_{٢} جتا ١٢٠°}$$

$$= \sqrt{٢٠^{٢} + ١٠^{٢} + ٢ \times ٢٠ \times ١٠ \times جتا ١٢٠°}$$

$$جتا ١٢٠° = جتا (١٨٠ – ٦٠) = – جتا ٦٠° = – \frac{١}{٢}$$

$$∴ ع = \sqrt{٤٠٠ + ١٠٠ – ٤٠٠ \times \frac{١}{٢}} = \sqrt{٥٠٠ – ٢٠٠}$$

$$= \sqrt{٣٠٠}$$

$$ع = \sqrt{١٠٠ \times ٣} = ١٠\sqrt{٣} \text{ م / ث}$$

(١ – ١ – ٥) قاعدة المثلث لايجاد محصلة متجهين :

ويمكن أيضاً ايجاد العلاقة بين مقدار المحصلة ع ومقادير السرعات $ع_١$ و$ع_٢$ بتمثيل هذه السرعات في مثلث بحيث يكون طول كل ضلع من أضلاع المثلث متناسباً مع مقدار السرعات ع و $ع_١$ و $ع_٢$ ويكون اتجاه هذه الأضلاع هو نفس اتجاه هذه السرعات التى تمثلها أضلاع المثلث. كما في الشكل (١ –٨). لاحظ أن الزوايا هـ ، $هـ_١$ ، $هـ_٢$ في الشكل (١ –٨) تقابل الاضلاع التى تمثل ع ، $ع_١$ ، $ع_٢$ بالترتيب.

ولأن جيب الزاوية في أي مثلث قائم الزاوية =الضلع المقابل÷الوتر

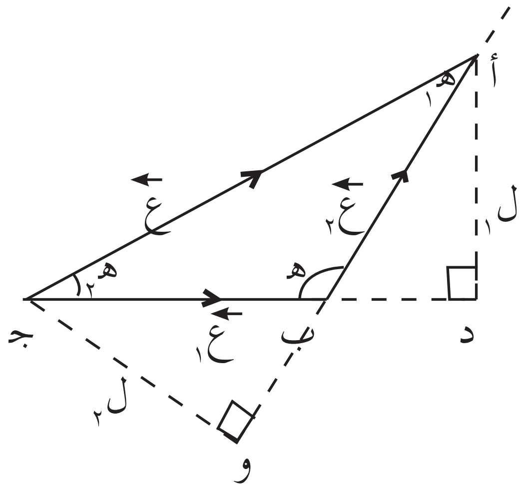
نجد في Δ أ جـ د أن: $\frac{ل_١}{ع}$ = $جاهـ_٢$

∴ $ل_١$ = ع $جاهـ_٢$ .... (أ)

ونجد في Δ أ ب د أن :

$\frac{ل_١}{ع_٢}$ = جا (١٨٠ – هـ) = جاهـ

∴ $ل_١$ = $ع_٢$ جاهـ .... (ب)



الشكل (١ –٨) :إيجاد قاعدة المثلث

ومن المعادلتين (أ) و (ب) نجد أن :

$$ل_1 = ع \ جا \ هـ_2 = ع_2 \ جاهـ$$

$$\therefore ع \ جاهـ_2 = ع_2 \ جاهـ$$

$$\frac{ع}{جاهـ} = \frac{ع_2}{جاهـ_2} \quad .... \ (١)$$

ومن Δ د و جـ نجد أن : $\frac{ل_2}{ع} = جاهـ_1$

$\therefore ل_2 = ع \ جاهـ_1$ .... (جـ)

ومن Δ ب و جـ نجد أن : $\frac{ل_2}{ع_1} =$ جا (١٨٠ − هـ) = جاهـ

$\therefore ل_2 = ع_1 \ جاهـ$ .... (د)

ومن المعادلتين (جـ) و (د) نجد أن :

$\text{ل}_{٢} = \text{ع جاه}_{١} = \text{ع}_{١}\ \text{جاه}$

$$\frac{\text{ع}}{\text{جاه}} = \frac{\text{ع}_{١}}{\text{جاه}_{١}} \qquad \text{.........................} \ (٢)$$

ومن المعادلتين (١) و (٢) نجد أن :

$$\boxed{\frac{\text{ع}}{\text{جاه}} = \frac{\text{ع}_{١}}{\text{جاه}_{١}} = \frac{\text{ع}_{٢}}{\text{جاه}_{٢}}}$$

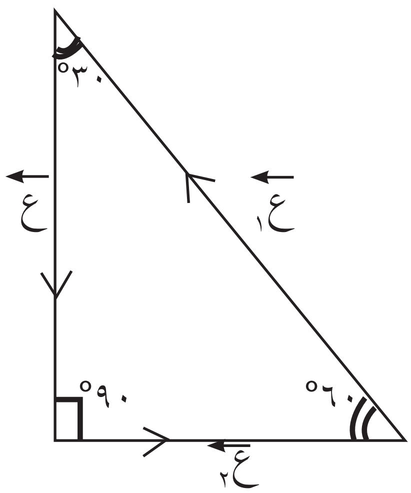
وتستخدم هذه المعادلة لايجاد المتغير المجهول إذا علمت المتغيرات الأخرى

مثال (٢) ب:

حل المثال (٢) أ أعلاه باستعمال قاعدة المثلث

الحل:

يمكن كذلك استخدام قاعدة المثلث لايجاد قيمة ع .



فمن الشكل :

$$\frac{\text{ع}}{\text{جا}\,٦٠^\circ} = \frac{\text{ع}_{١}}{\text{جا}\,٩٠^\circ} = \frac{\text{ع}_{٢}}{\text{جا}\,٣٠^\circ}$$

$$\frac{\text{ع}}{\frac{\sqrt{٣}}{٢}} = \frac{٢٠}{١}$$

$$\text{ع} = ٢٠ \times \frac{\sqrt{٣}}{٢} = ١٠\sqrt{٣}\ \text{م/ث}$$ أو $$\text{ع} = \frac{\sqrt{٣}}{٢} \times \frac{١٠}{\frac{١}{٢}}$$

$$= ١٠\sqrt{٣}\ \text{م/ث}$$

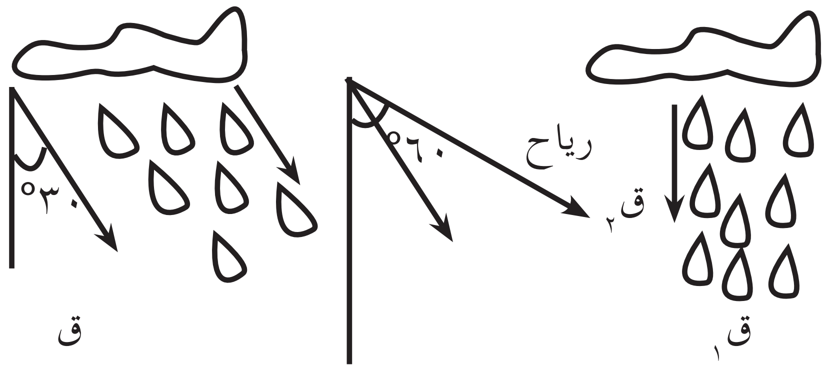
مثال (٣) :

هبت في لحظة معينة رياح بزاوية مقدارها ٦٠° مع الاتجاه الرأسي على قطرات مطر كانت تهبط رأسياً إلى أسفل بقوة مقدارها ٠,٢ نيوتن على القطرة الواحدة فجعلتها تميل على المستوى الرأسي بزاوية ٣٠° . احسب قوة الرياح والقوة التي تندفع بها القطرات المائلة .

الحل :

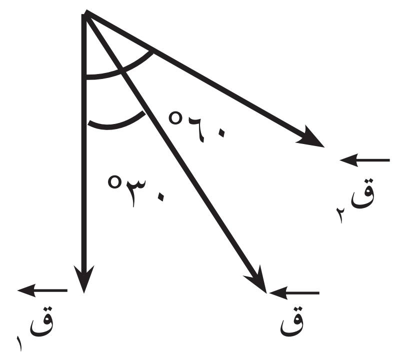
- قوة اندفاع القطرات قبل هبوب الرياح = $\text{ق}_{١}$ = ٠,٢ نيوتن
- قوة اندفاع القطرات تحت تأثير هبوب الرياح = ق
- قوة اندفاع الرياح = $\text{ق}_{٢}$

ويمكن تمثيل ما حدث لقطرات المطر بالشكل التالي :



اتجاه القطرات قبل الرياح   اتجاه الرياح   اتجاه القطرات بعد الرياح

ويمكن تمثيل ذلك بيانياً كما يلي :



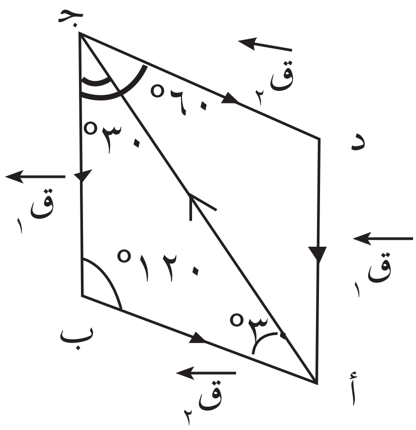
هناك قوتان تؤثران على القطرة هما ق١ ، ق٢ لتكون المحصلة هي ق .
وبتمثيل هذه القوى في متـــــوازي أضلاع القوى نحصل على الشـــكل التالي:

$\angle$ أ ب جـ = ١٢٠° ...... لماذا ؟

بتطبيق قاعدة المثلث نحصل على الآتي :

$$\frac{\text{ق}}{\text{جا}\,120^\circ} = \frac{\text{ق}_2}{\text{جا}\,30^\circ} = \frac{\text{ق}_1}{\text{جا}\,30^\circ}$$

$\because$ جا ١٢٠° = جا ٦٠°



$\therefore \dfrac{\text{ق}}{\text{جا}\ 60^\circ} = \dfrac{\text{ق}_2}{\text{جا}\ 30^\circ} = \dfrac{0{,}2}{\text{جا}\ 30^\circ}$ ($\text{جا}\ 30^\circ = \dfrac{1}{2}$ ، $\text{جا}\ 60^\circ = \dfrac{\sqrt{3}}{2}$)

$\therefore \dfrac{\text{ق}}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \dfrac{\text{ق}_2}{\frac{1}{2}} = \dfrac{0{,}2}{\frac{1}{2}} = 0{,}4$

$\therefore \text{ق} = \dfrac{\sqrt{3}}{2} \times 0{,}4 = 0{,}2\sqrt{3}$ نيوتن

$\therefore \text{ق}_2 = \dfrac{1}{2} \times 0{,}4 = 0{,}2$ نيوتن

مثال (٤) :

يبحر زورق شراعي في نهر سرعة تياره ١٠ م/ ث فإذا هبت رياح على الزورق في اتجاه عمودي على تيار النهر ، فاصبح الزورق يسير في اتجاه يكون زاوية ٦٠° مع اتجاه التيار . أحسب سرعة الرياح والسرعة الجديدة للزورق .

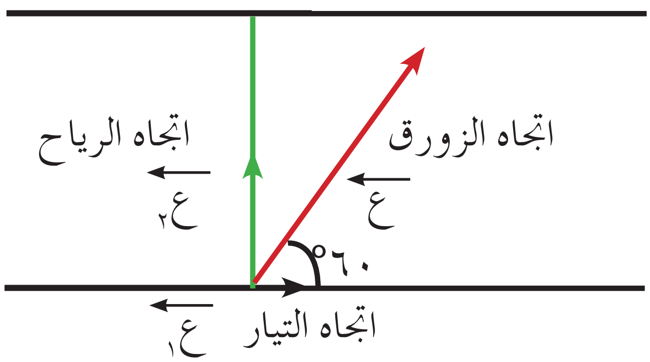
الحل :

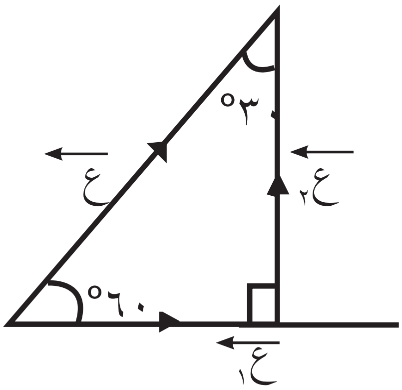
سرعة التيار $ع_١$ = ١٠ متر / ث

سرعة الرياح = $ع_٢$

سرعة الزورق بعد تأثير الرياح والتيار = ع

يمكن تمثيل حركة الزورق بيانياً بالشكلين التاليين :





وبتطبيق قاعدة المثلث نحصل على الآتى :

$$\frac{\text{ع}}{\text{جا}\,٩٠^\circ} = \frac{\text{ع}_٢}{\text{جا}\,٦٠^\circ} = \frac{\text{ع}_١}{\text{جا}\,٣٠^\circ} = \frac{١٠}{\frac{١}{٢}} = ٢٠$$

$$\frac{\text{ع}}{١} = ٢٠ \text{ م / ث} \qquad \therefore \text{ع} = ٢٠ \text{ م / ث}$$

$$\frac{\text{ع}_٢}{\frac{\sqrt{٣}}{٢}} = ٢٠ \text{ ، ع}_٢ = \frac{٢٠ \times \sqrt{٣}}{٢} = ١٠\sqrt{٣} \text{ م / ث}$$

$\therefore$ سرعة الزورق الجديدة = ٢٠ م / ث

سرعة الرياح = $١٠\sqrt{٣}$ م / ث

(١ – ١ – ٦) تحليل المتجه إلى مركبتين متعامدتين :

لاحظنا استخدام المتجهات في الأمثلة السابقة في حساب اثر سرعة الرياح وسرعة تيار الماء في تغيير مسار الطائرات والقوارب.

ولمعرفة محصلة تأثير عوامل مختلفة على جسم ما فإننا نمثل هذه العوامل بمتجهات . وتسمى عملية استبدال متجه واحد بعدة متجهات تعمل نفس عمل هذا المتجه الواحد **بعملية التحليل** .

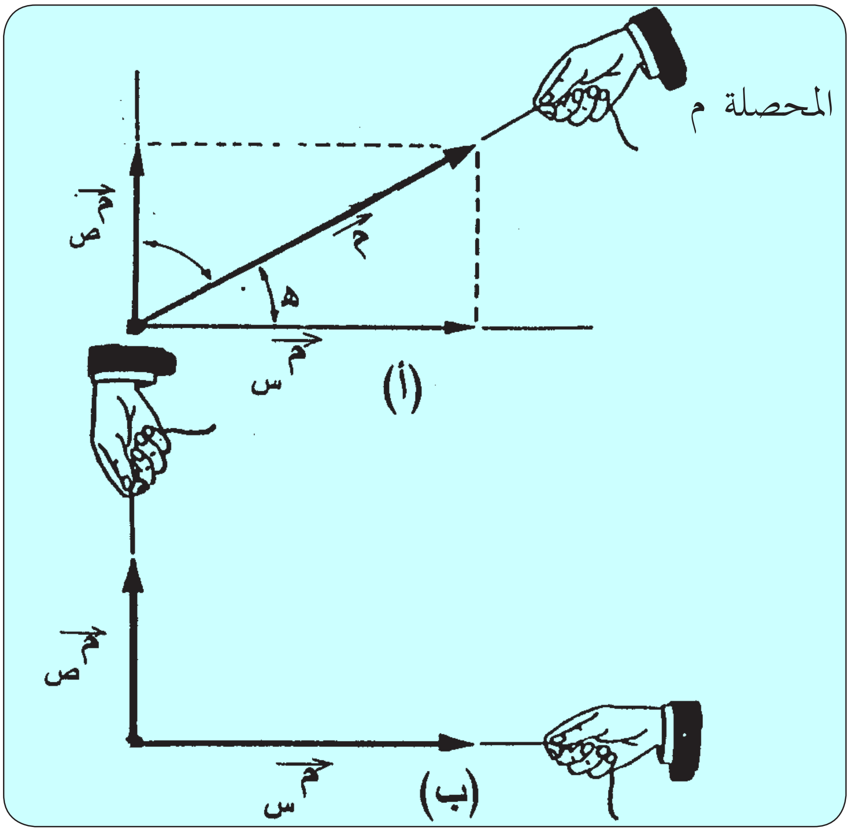
> وتعرف مُرَكِبات متجه ما بأنها: هى مجموعة المتجهات المكونة للمتجه و التى تحدث مجتمعة نفس التأثير الذى يحدثه المتجه الاصلى.

ولتحليل متجه واحد إلى مركبات بصورة مبسطة فإننا نحللها في اتجاهين متعامدين كل منها يسمى مركبة .

وعادة ما نختار محورين متعامدين مثل محور (س) و (ص) لمعرفة قيمة المركبات في اتجاههما . [الشكل (١ –٩) (أ) و (ب)] .

فإذا كان المتجه ($\vec{م}$) يكون زاوية مقدارها (هـ) مع محور السينات فإن قيمة المركبتين ($\vec{م}_{س}$) و($\vec{م}_{ص}$) يمكن ايجادها بتمثيل ($\vec{م}$) و ($\vec{م}_{س}$) و ($\vec{م}_{ص}$) في مثلث قائم الزاوية طول وتره ($\vec{م}$) كما في الشكل (١ – ١٠) (أ) .

ويمثل ($\vec{م}_{ص}$) الضلع المقابل للزاوية هـ بينما يمثل ($\vec{م}_{س}$) الضلع المجاور .



شكل (١-١٠): تحليل المتجه الي مركبتين متعامدتين
المركبتان المكونتان للمحصلة
ومن الشكل (١ -٩)(أ) ، نجد أن .

$$\frac{م_{ص}}{م} = جاهـ$$

لان جيب الزاوية هـ (جاهـ من حساب المثلثات) في أي مثلث قائم الزاوية = المقابل($م_{ص}$) ÷ الوتر (م)
وبالتالي:

$$م_{ص} = م \ جاهـ \quad (٥)$$

وبنفس الطريقة حيث جيب تمام الزاوية = المجاور ÷ الوتر، أي أن:

$$\frac{م_{س}}{م} = جتاهـ$$

ومنها:

$$م_{س} = م \ جتاهـ \quad (٦)$$

وتسمى ($\overleftarrow{م_{س}}$) بالمركبة السينية للمتجه ($\overleftarrow{م}$) بينما تسمى ($\overleftarrow{م_{ص}}$) بالمركبة الصادية للمتجه ($\overleftarrow{م}$).

هذا يعني أن المتجه ($\overleftarrow{م}$) يمكن استبداله بمتجهين متعامدين هما ($\overleftarrow{م_{س}}$) و ($\overleftarrow{م_{ص}}$). وتكون قيمة المتجه من نظرية فيثاغورس هي :

$$م = \sqrt{م_{س}^{٢} + م_{ص}^{٢}} \quad (٧)$$

[لاحظ أننا في العبارات السابقة عندما ما نتحدث عن المتجه نضع علامة (←) عليه وعندما نتحدث عن قيمته لانضع عليه هذه العلامة] .

أما اتجاه المحصلة (هـ) فيمكن ايجاده من العلاقة :

$$\text{ظاهـ} = \frac{م_{ص}}{م_{س}} \qquad (٨)$$

وذلك لأن ظل الزاوية ظا هـ = المقابل ÷ المجاور ،

تدريب :

برهن أن المعادلة (٧) أعلاه يمكن الحصول عليها من المعادلة (٤)

وفي كل الحالات :

$$م = \sqrt{م_{س}^{٢} + م_{ص}^{٢}}$$

تطبيق : ايجاد محصلة عدة متجهات بطريقة التحليل

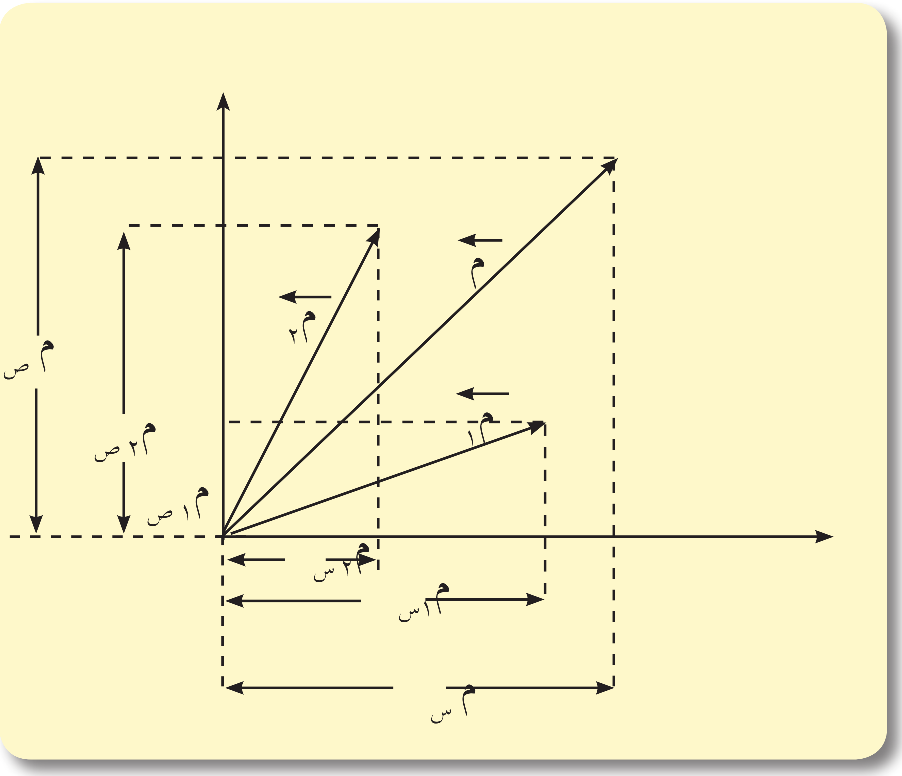
إذا اردنا ايجاد محصلة عدة متجهات فإننا نحلل كل متجه منها في اتجاهين متعامدين مثل : اتجاه محور س ومحور ص .

∴ من الشكل (١ – ١٠) :

$$(\overleftarrow{\text{م}_1})_{\text{س}} = \overleftarrow{\text{م}_1}\ \text{جتاهـ}_1 \quad \text{،} \quad (\overleftarrow{\text{م}_1})_{\text{ص}} = \overleftarrow{\text{م}_1}\ \text{جاهـ}_1$$

$$(\overleftarrow{\text{م}_2})_{\text{س}} = \overleftarrow{\text{م}_2}\ \text{جتاهـ}_2 \quad \text{،} \quad (\overleftarrow{\text{م}_2})_{\text{ص}} = \text{م}_2\ \text{جتاهـ}_2$$

بينما تكون المركبة الصادية للمحصلة $\overleftarrow{\text{م}_{\text{ص}}}$ هي المجموع الجبري للمركبات الصادية للمتجهات (الشكل (١ – ١٠)).

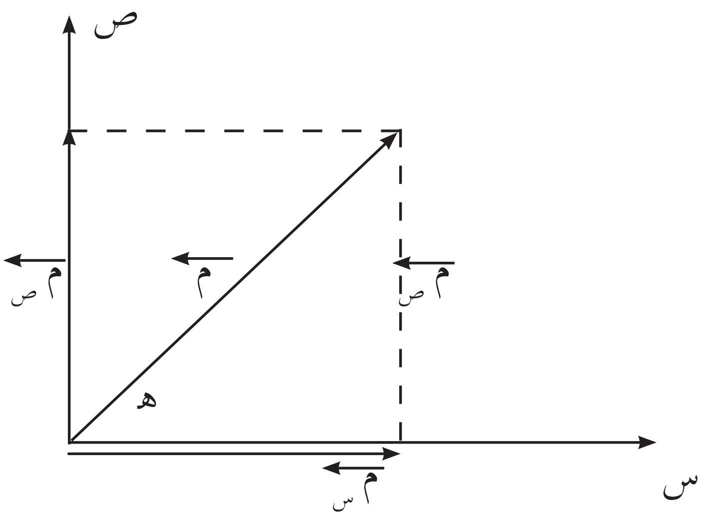


شكل (١ – ١٠) : مركبات المتجهات $\overleftarrow{\text{م}_1}$ و $\overleftarrow{\text{م}_2}$ والمحصلة $\overleftarrow{\text{م}}$

وتكون المركبة السينية للمحصلة $م_{س}$ هى المجموع الجبرى للمركبات السينية للمتجهات . بينما تكون المركبة الصادية للمحصلة $م_{ص}$ هي المجموع الجبري للمركبات الصادية للمتجهات. شكل (١-١٠)

وعليه تكون : $\overleftarrow{م_{س}} = \overleftarrow{(م_{١})_{س}} + \overleftarrow{(م_{٢})_{س}}$

$$\overleftarrow{م_{ص}} = \overleftarrow{(م_{١})_{ص}} + \overleftarrow{(م_{٢})_{ص}}$$



شكل (١ – ١١) : المحصلة النهائية م للمتجهين ($\overleftarrow{م_{س}}$) و ($\overleftarrow{م_{ص}}$)

أما اتجاه المحصلة (هـ) فيمكن ايجاده من العلاقة :

$$ظاهـ = \frac{م_{ص}}{م_{س}}$$

ويكون مقدار المحصلة هو :

$$م = \sqrt{م_{س}^{٢} + م_{ص}^{٢}}$$

وفي الصيغة الاتجاهية التي في الشكل (١-١٠) تظل:

$$\overleftarrow{م} = \overleftarrow{م_{١}} + \overleftarrow{م_{٢}}$$

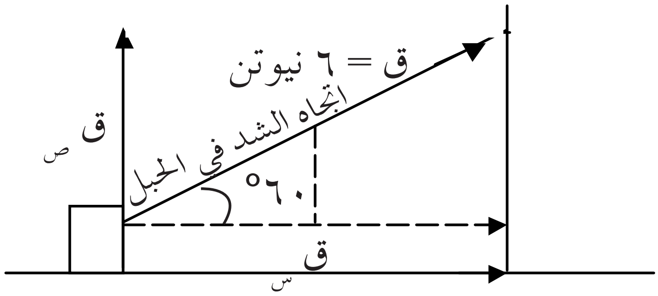
تقويم ذاتي

١. برهن أن محصلة عدة متجهات يمكن الحصول عليها من المركبات السينية والصادية للمتجهات الأصلية.

مثال (٥) :

يستخدم حبل ، قوة شده ٦ نيوتن لسحب جسم على أرضية صلبة (نفترض أن قوة الاحتكاك تساوي صفراً) . فإذا كان الحبل يميل بزاوية ٦٠ درجة على الأرضية . جد المركبة الرأسية والأفقية لقوة الشد . وبأي قوة يتحرك الجسم على الأرضية ؟

الحل :



من الشكل:

$$\text{ق}_{\text{س}} = \text{ق جتا } ٦٠° = ٦ \times \frac{١}{٢} = ٣$$

$$\therefore \text{ق}_{\text{س}} = ٣ \text{ نيوتن}$$

$$\text{ق}_{\text{ص}} = \text{ق جا } ٦٠° = ٦ \times \frac{\sqrt{٣}}{٢} = ٣\sqrt{٣}$$

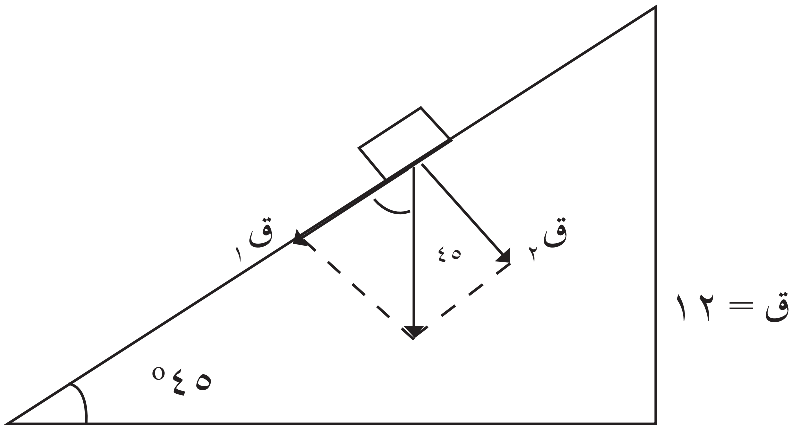
$$\therefore \text{ق}_{\text{ص}} = ٣\sqrt{٣} \text{ نيوتن}$$

ولكن الجسم لايتحرك في اتجاه هذه المركبة (أي لايتحرك في اتجاه $\text{ق}_{\text{ص}}$).
يتحرك الجسم على الأرضية بقوة مقدارها $\text{ق}_{\text{س}}$ = ٣ نيوتن ، أى في الاتجاه الافقي (الارضية) .

مثال (٦) :

ينزلق جسم على منحدر يصنع زاوية مقدارها ٤٥ درجة مع سطح الأرض . فإذا كانت قوة جذب الأرض للجسم تعمل رأسياً لاسفل وتساوي ١٢ نيوتن . أحسب مركبة هذه القوة في اتجاه المنحدر وكذلك في الاتجاه العمودي عليه. وأحسب القوة التى يهبط بها الجسم على المنحدر .

الحل :



$$ق_١ = ق \text{ جتا } ٤٥ = ١٢ \times \frac{١}{\sqrt{٢}} = ١٢ \times \frac{\sqrt{٢}}{٢} = ٦\sqrt{٢} \text{ نيوتن}$$

وهى القوة التى يهبط بها الجسم على المنحدر .

$$ق_٢ = ق \text{ جا } ٤٥ = ١٢ \times \frac{١}{\sqrt{٢}} = ١٢ \times \frac{\sqrt{٢}}{٢} = ٦\sqrt{٢} \text{ نيوتن}$$

وهى القوة في الاتجاه العمودي على المنحدر .

مثال (٧) :

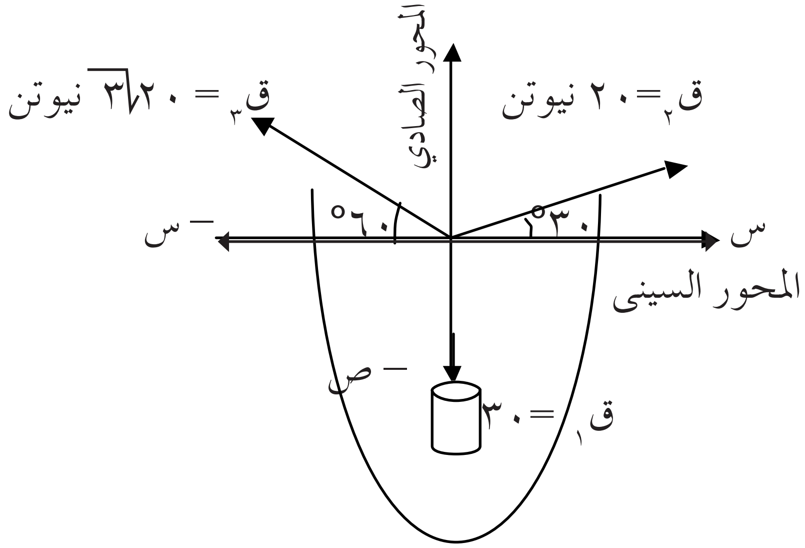
تعاون شخصان متقابلان لرفع إناء به ماء وزنه ٣٠ نيوتن من بئر بواسطة حبلين قوة شدهما على التوالي ٢٠ و $٢٠\sqrt{٣}$ نيوتن، ويصنعان زاوية مقدارها ٣٠° و ٦٠° مع المستوى الأفقي بالترتيب . أحسب القوة المحصلة المؤثرة على الإناء .

الحل:

وزن الإناء= ق $_1$ = ٣٠ نيوتن ، قوة شد الحبل الأول = ق $_2$ = ٢٠ نيوتن

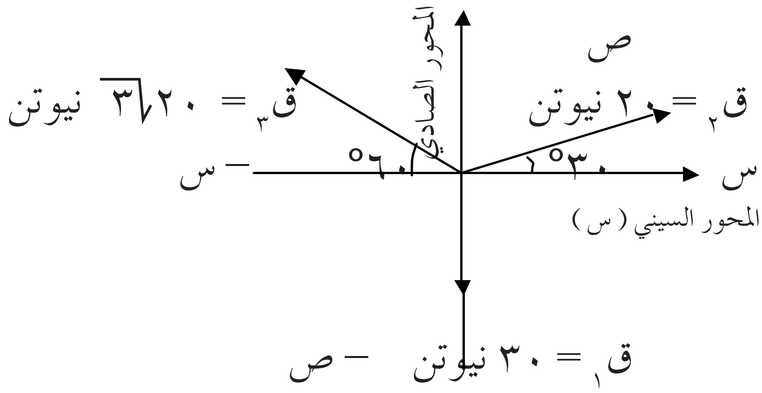
قوة شد الحبل الثانى = ق $_3$ = ٢٠ ٣ نيوتن

ويمكن تمثيل حركة الإناء بيانياً بالشكل الآتي :



هناك ثلاثة قوى مؤثرة على الإناء هى ق $_1$ ، ق $_2$ ، ق $_3$ ولايجاد محصلة هذه القوى ، فإننا نحللها اولاً في اتجاه المحور السيني ثم في اتجاه المحور الصادي .

أولاً : المجموع الجبري للمركبات السينية ق $_س$



من الشكل :

$$\text{ق}_{\text{س}} = \underbrace{\text{ق}_{٢}\ \text{جتا}\ ٣٠^\circ}_{\text{تعمل في الاتجاه الموجب لـ س}} \quad \underbrace{-\ \text{ق}_{٣}\ \text{جتا}\ ٦٠^\circ}_{\text{تعمل في الاتجاه السالب لـ س}} \quad [\text{لماذا ؟}]$$

$$= ٢٠ \times \frac{\sqrt{٣}}{٢} - ٢٠\sqrt{٣} \times \frac{١}{٢}$$

$$= ١٠\sqrt{٣} - ١٠\sqrt{٣} = \text{صفر نيوتن}$$

ثانياً : المجموع الجبري للمركبات الصادية $\text{ق}_{\text{ص}}$

$$\text{ق}_{\text{ص}} = \underbrace{\text{ق}_{٢}\ \text{جا}\ ٣٠^\circ + \text{ق}_{٣}\ \text{جا}\ ٦٠^\circ}_{\text{تعمل في الاتجاه الموجب لـ ص}} \quad \underbrace{-\ \text{ق}_{١}}_{\text{تعمل في الاتجاه السالب لـ ص}} \quad [\text{لماذا ؟}]$$

$$= ٢٠ \times \frac{١}{٢} + ٢٠\sqrt{٣} \times \frac{\sqrt{٣}}{٢} - ٣٠$$

$$= ١٠ + ٣٠ - ٣٠ = ١٠ \text{ نيوتن}$$

∴ مقدار المحصلة يساوي :

$$\text{ق} = \sqrt{(\text{ق}_{\text{س}})^{٢} + (\text{ق}_{\text{ص}})^{٢}}$$

$$\text{ق}_{\text{س}} = \text{صفر} \quad ، \quad \text{ق}_{\text{ص}} = ١٠ \text{ نيوتن}$$

$\therefore$ ق = $\sqrt{\text{صفر} + {١٠}^{٢}}$ = $\sqrt{١٠٠}$ = ١٠ نيوتن

أما اتجاه المحصلة والتي تصنع زاوية مقدارها (ه°) مع محور السينات فيمكن معرفته بايجاد قيمة الزاوية ه .

$$\text{ظاه} = \frac{ق_{ص}}{ق_{س}} = \frac{١٠}{\text{صفر}}$$

$$\text{ظاه} = \infty \qquad \therefore ه = ٩٠°$$

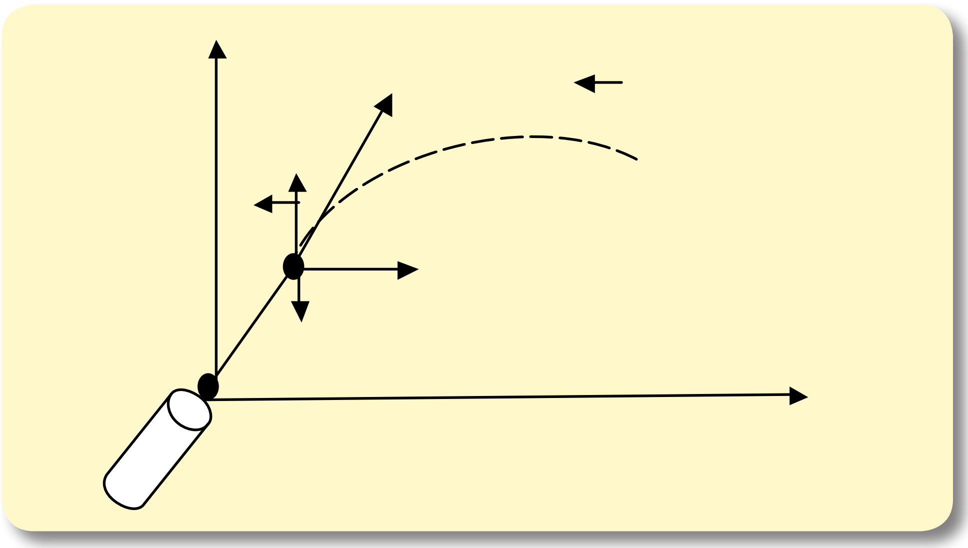
وهذا يعني أن المحصلة تعمل ٩٠° مع المحور السيني أي تتجه رأسياً لأعلى في اتجاه المحور الصادي .

تمرين

١. عرف المصطلحات الآتية :
الكمية المتجهه ، الكمية القياسية ، محصلة عدة متجهات ، عزم القوة، الشد .
٢. كيف نستخدم الطريقة البيانية لايجاد محصلة عدة متجهات ؟ وما الصعاب التي تعترض استخدام هذه الطريقة ؟
٣. ما الفرق بين قاعدة متوازي الأضلاع وقاعدة المثلث لايجاد محصلة متجهين ؟
٤. كيف تجد محصلة عدة متجهات بطريقة التحليل ؟
٥. كيف يتم تحليل المتجه إلى مركبتين متعامدتين ؟
٦. متى يكون الجسم في حالة اتزان ؟
٧. يسير قارب في نهر سرعته ٣٠ م/ث ، ويدفعه محركه بسرعة ٤٥ م/ث في اتجاه عمودي على تيار النهر. جد محصلة السرعة للقارب .
(الإجابة: ٥٤،١ م/ث ويميل بزاوية °٥٦،٥ مع اتجاه النهر)
٨. جد المركبة الافقية والرأسية لقوة مقدارها ١٠ نيوتن إذا كانت تميل على المستوى الأفقي بزاوية °٣٠ .
٩. شاحنة تتحرك شمالاً بسرعة مقدارها ٢١ م / ث وينبعث من عادم الشاحنة ذيل من الدخان يصنع زاوية °٣٠ شرق الجنوب وراء الشاحنة . فإذا كانت الرياح تهب مباشرة في اتجاه الشرق ، فما مقدار سرعة الرياح في ذلك الموقع ؟
١٠. اتزن جسم تحت تأثير ثلاث قوى متلاقية إحداهما أفقية ومقدارها ٥ نيوتن وأخرى رأسية مقدارها ٤ نيوتن وثالثة مجهولة. احسب القوة المجهولة وزاويتها مع الاتجاه الأفقي.
(الإجابة: القوة المجهولة=٦،٤ نيوتن والزاوية °٢٦).

الوحدة الثانية

المقذوفـــات



الوحدة الثانية

المقذوفات

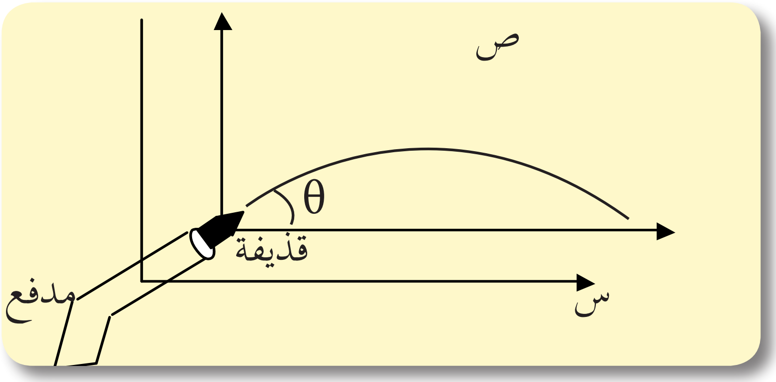
الأهداف:

بعد دراستك أيها الطالب لهذه الوحدة تستطيع أن :

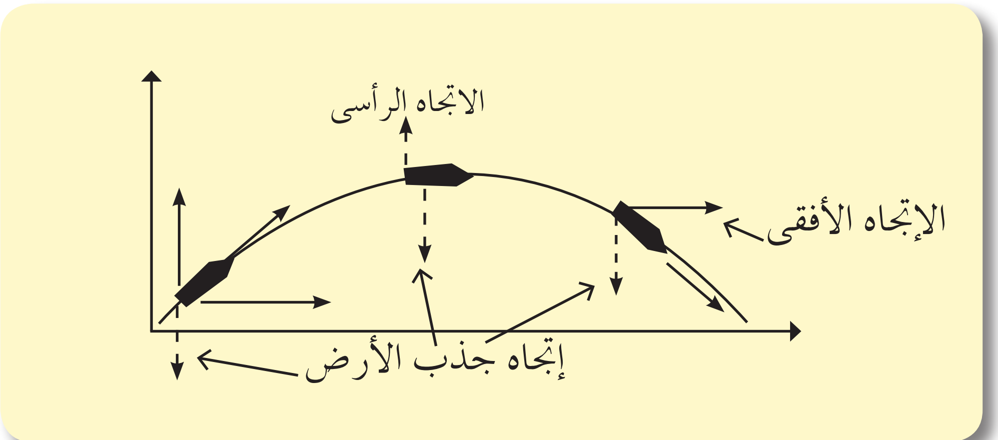
١. تعدد القوى المؤثرة على القذائف.
٢. تحلل سرعة القذيفة إلى مركباتها الأفقية والرأسية.
٣. تفسر سبب تناقص السرعة الرأسية حتى تصل للصفر.
٤. تحسب الإزاحتين الأفقية والرأسية للقذائف باستعمال السرعتين الأفقية والرأسية.
٥. تستنتج قانون السرعة الكلية للقذيفة.
٦. تستنتج العلاقة بين السرعتين الأفقية والرأسية.
٧. تحل تمارين هذه الوحدة.

٢–١ : حركة الجسم المقذوف :

عندما يريد بعض الأطفال في القرى الحصول على ثمار الدوم أو النبق، فإنهم يقومون بقذف الشجرة المعينة بحجر. وكذلك عندما نريد أن نبعد حيوانًا معينًا فإننا نقذفه بحجر غالبًا ما يكون في اتجاه يميل بزاوية معينة على الاتجاه الأفقي . ويحدث نفس الشيء عند اطلاق قذيفة من مدفع . حيث تنطلق القذيفة في اتجاه يميل على الاتجاه الأفقى بزاوية معينة مقدارها θ (الشكل (٢–١)) .



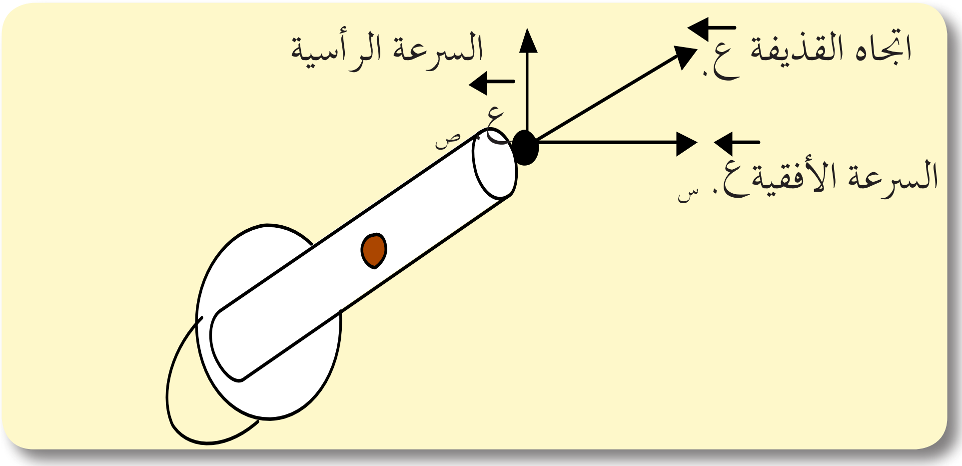
الشكل (٢– ١) : مسار القذيفة من مدفع .



الشكل (٢– ٢): يتغير إتجاه القذيفة مع مرور الزمن.

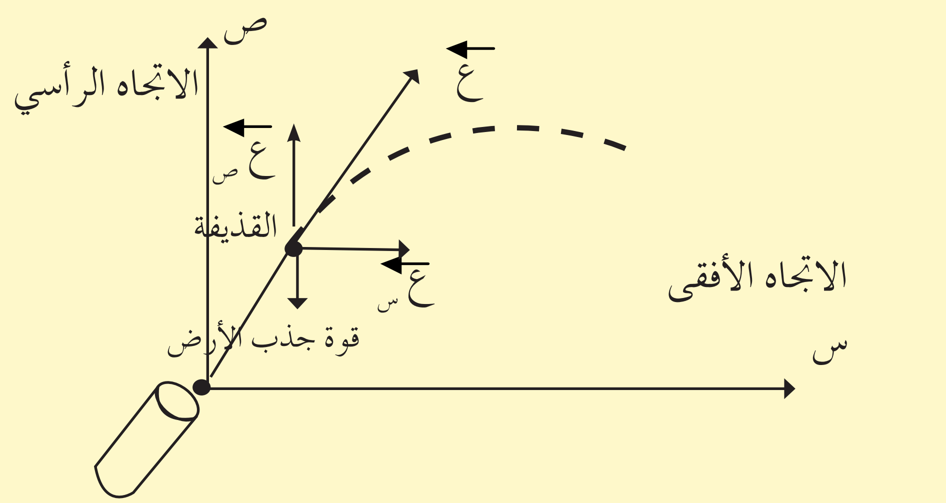
نلاحظ أن القذيفة ستندفع في الأفق في نفس اتجاه انطلاقها من ماسورة المدفع، ثم تسير في مسار منحن إلى أن تسقط على الأرض (الشكل (٢-٢)).

- o فعندما يقذف المدفع بقذيفة بزاوية تميل على الاتجاه الأفقى بزاوية معينة فإن القذيفة ستندفع بسرعة معينة في هذا الاتجاه المائل، بحيث تؤدى قوة اندفاع البارود إلى اكساب القذيفة– التي كانت ساكنة داخل المدفع– سرعة كبيرة جداً في الإتجاهين الرأسي والأفقي. وسينتهي تأثير هذه القوة على القذيفة في داخل ماسورة المدفع .
- o وهذا يعنى أن قوة دفع البارود تؤثر على القذيفة داخل المدفع فقط، ولفترة زمنية قصيرة تكتسب خلالها القذيفة سرعة عالية بفعل هذه القوة .
- o لذا فإن القذيفة لن تكون خاضعة لتأثير قوة دفع البارود خارج المدفع ، بل ستخضع القذيفة خارج المدفع فقط لقوة جذب الأرض التى تجذبها إلى أسفل.
- o أى أن تأثير هذه القوة في الاتجاه الرأسي . ولا توجد قوة تؤثر في الاتجاه الأفقى ماعدا مقاومة الهواء لحركة القذيفة والتي يمكن اهمالها.



الشكل (٢–٣): اتجاهات سرعة القديفة $\overleftarrow{ع}$. والسرعة الأفقية $\overleftarrow{ع}_{.س}$ والسرعة الرأسية $\overleftarrow{ع}_{.ص}$ في بداية حركة القذيفة

الشكل (٢– ٣) يوضح اتجاهات سرعة القذيفة الإبتدائية والسرعتان الأفقية والرأسية في بداية حركة القذيفة. فإذا تابعنا حركة القذيفة في الاتجاه الأفقى فإننا سنجد أنها ستخرج من المدفع بسرعة معينة ونسبة لعدم وجود قوة تؤثر على القذيفة في الاتجاه الأفقى فإن قانون الحركة الأول ينص على أن كل جسم يظل في حالة السكون أو الحركة المنتظمة، ما لم تؤثر عليه قوة، ويسمى ايضاً **بالقصور الذاتى**. وبناءً على ذلك فإن القذيفة ستسير في الاتجاه الأفقى بسرعة منتظمة $ع_{س}$ هى نفس سرعتها التي خرجت بها من المدفع . أما في الاتجاه الرأسي فسرعتها $ع_{ص}$ هي سرعة متغيرة.



الشكل (٢-٤) : الاتجاه الرأسي والاتجاه الأفقي لحركة القذيفة.

أسئلة تقويم ذاتي

١. عرف كلاً من السرعة الأفقية والسرعة الرأسية
٢. أكمل: القوى التي تؤثر على قذيفة المدفع أثناء حركتها هي................. و .... و .... التي يمكن إهمالها.
٣. ما إتجاهات القوى المذكورة أعلاه؟.
٤. لماذا تكون السرعة الأفقية منتظمة؟.
٥. هل السرعة الرأسية منتظمة أيضاً ولماذا؟

٢-٢: حساب السرعات الأفقية والرأسي:

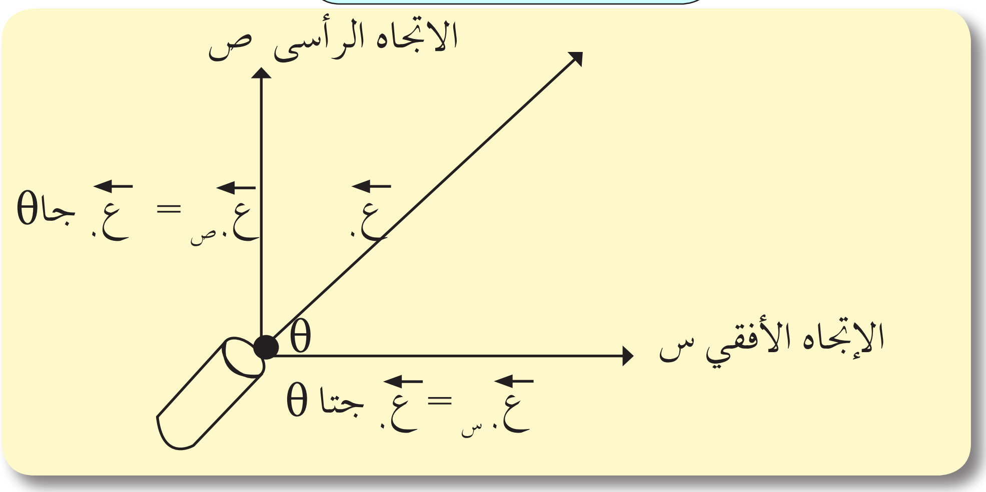
إذا كانت سرعة القذيفة لحظة خروجها من المدفع هى ($\overleftarrow{\text{ع.}}$) وكانت القذيفة تميل بزاوية مقدارها θ [تنطق ثيتا (Theta)] مع الاتجاه الأفقى، (انظر الشكل (٢-٥))، حيث:

جتا θ = المجاور ÷ الوتر = ع.س ÷ ع.

حيث ع. هي سرعة القذيفة و ع.س هي السرعة الأفقية.

وعليه فإن السرعة الابتدائية في الاتجاه الافقى (اتجاه س) ستساوي:

$$\text{ع.}_{\text{س}} = \text{ع. جتا } \theta \qquad (١-٢)$$



الشكل (٢-٥): سرعات القذيفة في الاتجاهين الأفقى والرأسى .

أما سرعة القذيفة في الاتجاه الرأسي ع.ص فتساوي :

$$\overleftarrow{\text{ع.}_{\text{ص}}} = \overleftarrow{\text{ع.}} \text{ جا } \theta \qquad (٢-٢)$$

ويمكن أيضاً الحصول على هذه العلاقة من معادلات الحركة بتسارع منتظم. فحسب تلك المعادلات التي درسناها في الصف الأول، فإن السرعة في الاتجاه الأفقي هي:

$$\overleftarrow{ع}_{س} = \overleftarrow{ع}_{.س} + \overleftarrow{جـ}_{س} \times ن$$

حيث $جـ_{س}$ = مقدار التسارع في الاتجاه الافقي (س) ، و ن = الزمن.

ونسبة لعدم وجود قوة تؤثر على القذيفة في الإتجاه الأفقي (س) فإن :

$ق_{س} = ك\ جـ_{س}$ = صفر (حيث ك الكتلة و $جـ_{س}$ هو التسارع) .

$جـ_{س}$ = صفر

$$\therefore \overleftarrow{ع}_{س} = \overleftarrow{ع}_{.س} = \overleftarrow{ع}_{.} \text{ جتا } \theta$$

٢-٣: الإزاحة الأفقية والإزاحة الرأسية

أولاً: الأزاحة الأفقية:

مما سبق نجد أن إزاحة القذيفة في الاتجاه الأفقي هي :

$ف_{س}$ = السرعة × الزمن

$$\therefore ف_{س} = \overleftarrow{ع}_{.س} \times ن = \overleftarrow{ع}_{.} \text{ جتا } \theta \times ن$$

$$\boxed{\therefore \text{الازاحة الأفقية} = \overleftarrow{ف}_{س} = \overleftarrow{ع}_{.} \text{ جتا } \theta \times ن} \qquad (٢-٣أ)$$

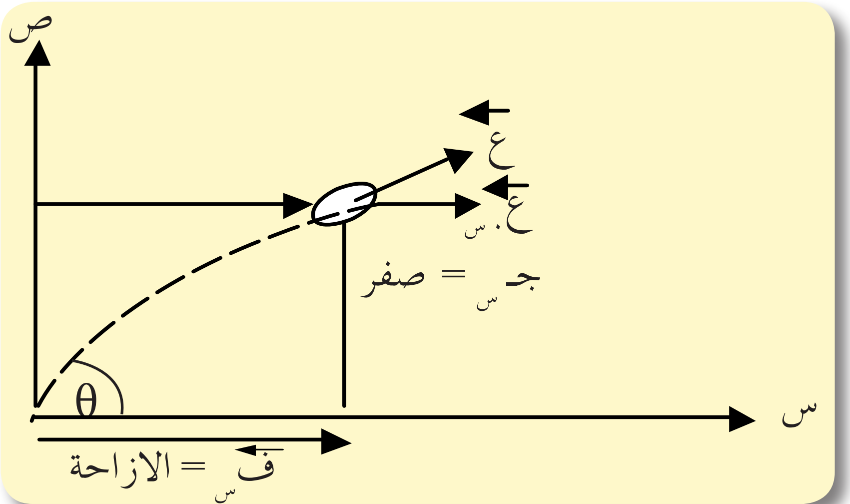
ويمكن الحصول على نفس العلاقة من معادلات الحركة المنتظمة حيث نجد أن: [انظر الشكل (٢-٦)] .

$$\overleftarrow{ف}_{س} = \overleftarrow{ع}_{.س} \times ن + \frac{١}{٢} \overleftarrow{جـ}_{س} \times ن^{٢}$$

وبما أن :

$\therefore$ ع.س = ع. جتا θ ، جـس = صفر

$\boxed{\therefore \text{ الازاحة الافقية } = \text{ف}_{س} = \text{ع. جتا } \theta \times \text{ن}}$ .. (٢-٣ب)



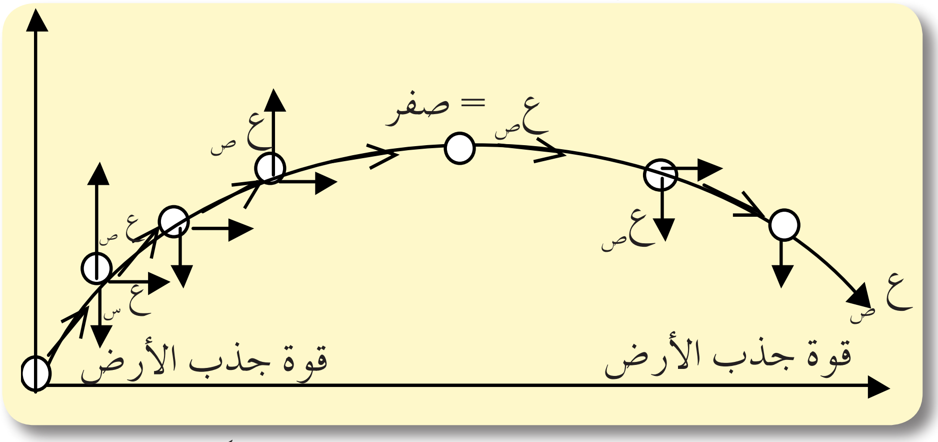
الشكل رقم (٢-٦) : الازاحة الأفقية فس بعد ن ثانية .

ثانياً: الإزاحة الرأسية:

- إذا تابعنا حركة القذيفة في الاتجاه الرأسي (الشكل (٢-٧)) ، فسنجد أن قوة الجاذبية ستعمل على جذب القذيفة رأسياً إلى أسفل ، حيث ستعمل على تقليل سرعة القذيفة في الأتجاه الرأسى تدريجياً،
- ايضاً تقل الزاوية التى تكونها القذيفة مع الاتجاه الأفقى تدريجياً حتى تصبح القذيفة موازية للمحور الافقى عندما تصبح سرعتها الرأسية صفراً،
- ثم يميل أتجاه القذيفة تدريجياً إلى أسفل نتيجة لتغير اتجاه السرعة الرأسية التي ستكون إلى أسفل، ويستمر تغير اتجاه القذيفة وزيادة ميل

اتجاهها نحو الأسفل حتى تسقط القذيفة على الأرض .[انظر الشكل (٢-٧)]

في حالة السرعة الأفقية، لم يكن لجذب الأرض تأثير على سير القذيفة، لأن تأثيرها لا يتغير بتحرك القذيفة أفقياً. أما في الإتجاه الرأسي فيمكن تفسير ما يحدث للقذيفة حسب معادلة الحركة الثانية، وحسب معادلات الحركة المنتظمة، حيث ستتحرك القذيفة تحت تأثير تسارع الجاذبية وذلك نتيجة لتأثيرقوة جذب الأرض عليها.



الشكل (٢-٧) : السرعة الرأسية $ع_{ص}$ تقل تدريجياً حتى تساوى الصفر عند القمة ثم تعكس اتجاهها إلى أسفل .

فإذا رمزنا لهذا التسارع بالرمز د فإن سرعة القذيفة في الاتجاه الرأسى حسب معادلات الحركة المنتظمة ستساوي :

$$\overleftarrow{ع}_{ص} = \overleftarrow{ع}_{.ص} - \overleftarrow{د} \times ن$$

حيث تمثل $ع_{.ص}$ السرعة الابتدائية للمقذوف في الاتجاه الرأسي (الشكل

(٢–٣))، والتي حسب المعادلة (٢–٢) هي:

$$\overleftarrow{ع}_{.ص} = \overleftarrow{ع}_{.} \text{ جا } \theta$$

$$\therefore \overleftarrow{ع}_{ص} = \overleftarrow{ع}_{.} \text{ جا } \theta - \overleftarrow{د} \text{ ن} \qquad (٢–٤)$$

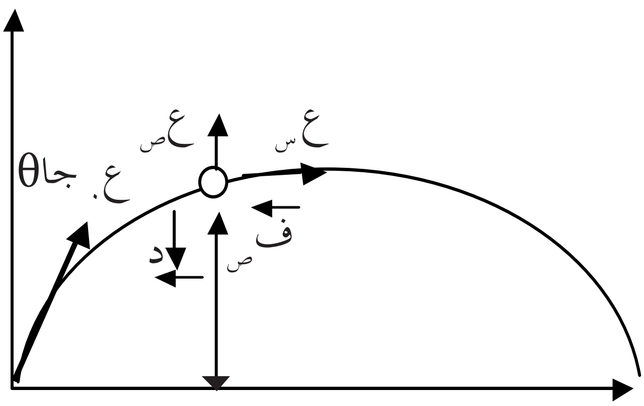
ونلاحظ هنا أن السرعة $ع_{ص}$ تتناقص تدريجياً بمرور الزمن حتى تصل صفراً عندما تكون : $\overleftarrow{ع}_{.} \text{ جا } \theta = \overleftarrow{د} \times \text{ن}$

أى أن :

$$\overleftarrow{ع}_{ص} = \overleftarrow{ع}_{.} \text{ جا } \theta - \overleftarrow{د} \text{ ن} = \text{صفر}$$

وبعدها يعكس متجه السرعة $ع_{ص}$ اتجاهه إلى أسفل حيث تصبح السرعة سالبة في هذه الحالة لأن د × ن تصبح أكبر من $ع_{.}$ جا θ (الشكل (٢–٧))

.



الشكل(٢–٨): الازاحة الرأسية

أما الإزاحة الرأسية $ف_{ص}$ [الشكل (٢–٨)]، فيمكن حسابها ايضاً من معادلات الحركة بتسارع منتظم . حيث نجد أن :

$$\overleftarrow{ف}_{ص} = \overleftarrow{ع}_{.ص} \text{ ن} - \frac{١}{٢} \overleftarrow{د} \text{ ن}^{٢}$$

$$\text{الازاحة الرأسية} = \overleftarrow{ف}_{ص} = \overleftarrow{ع}_{.} \text{جا} \, \theta \, ن - \frac{١}{٢} \, \overleftarrow{د} \times ن^{٢} \quad (٢-٥)$$

قاعدة الاشارات :

ولمعرفة اشارات السرعة والازاحة فلا بد لنا من معرفة قاعدة الاشارات .

أ- محور س :

اعتبر اتجاه السرعة $ع_{.س}$ هو الاتجاه الموجب. وكذلك يكون اتجاه س موجب إذا كان في اتجاه $ع_{.س}$.

ب- محور ص :

اعتبر اتجاه السرعة $ع_{.ص}$ هو الاتجاه الموجب فإذا كانت كل من ص و $ع_{ص}$ في اتجاه $ع_{.ص}$ فإنهما تكونان موجبتين . أما إذا كانتا عكس اتجاه $ع_{.ص}$ فإنهما تكونان سالبتين .

(٢-٤) السرعة الكلية :

يمكن حساب السرعة الكلية ع للجسم عند أى لحظة باستخدام قوانين المتجهات بدلالة مركبتى السرعة $ع_{س}$ و $ع_{ص}$ ، حيث:

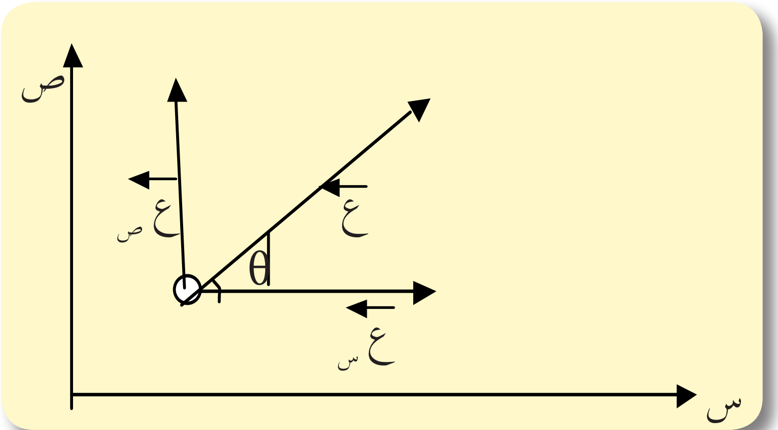
$$\overleftarrow{ع} = \overleftarrow{ع}_{س} + \overleftarrow{ع}_{ص}$$

ومنها نجد أن مقدار السرعة الكلية يساوي :

$$ع = \sqrt{ع_{س}^{2} + ع_{ص}^{2}} \qquad (٢-٦)$$

أما اتجاه السرعة الكلية في اى لحظة فيساوي :

$$ظا\ \theta = \frac{ع_{ص}}{ع_{س}} \qquad (٢-٧)$$



الشكل (٢-٩) : السرعة الكلية واتجاهها

وتكون ظا θ موجباً عندما تكون ع $_{ص}$ موجبة بينما تكون ظا θ سالباًعندما تكون ع $_{ص}$ سالبة أو حادة ومنفرجة. [انظر الشكل (٢- ٩)] .

أسئلة تقويم ذاتي:

١. اذكر قواعد حساب المثلثات التي استعملت في استنتاج السرعة الأفقية والسرعة الرأسية.
٢. لماذا لا يؤثر جذب الأرض على السرعة الأفقية ؟
٣. كيف يؤثر جذب الأرض على السرعة الرأسية؟
٤. هل يؤثر جذب الأرض على الإزاحة الأفقية؟
٥. هل يؤثر جذب الأرض على الإزاحة الرأسية؟ وإذا كانت الاجابة بنعم بين كيف؟ وهل تأثيره بالزيادة أم النقصان؟
٦. اكتب العلاقة بين السرعتين الرأسية والأفقية والزاوية θ .

أمــــثلـــة

مثال (١) :

أطلقت قذيفة بسرعة ابتدائية $\vec{ع}_٠$ = ٨٠ م/ ث بزاوية مقدارها ٣٠° مع الإتجاه الأفقي . احسب:

أ- أقصى ارتفاع وصلت اليه القذيفة .

ب- الزمن الكلي الذي استغرقته القذيفة في الهواء.

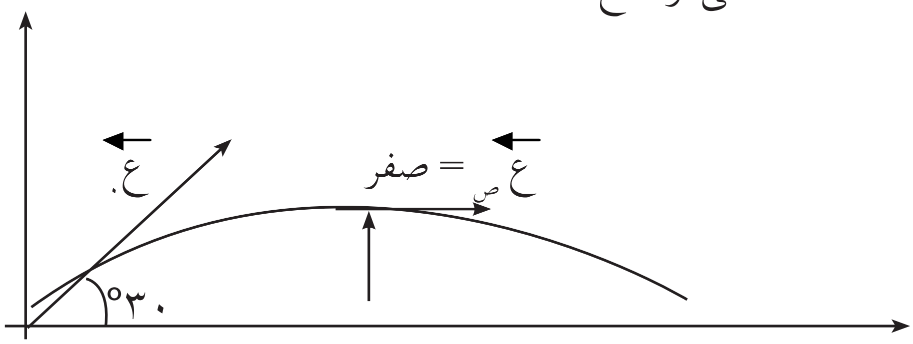
جـ - المدى الأفقي .

د- زمن وصول القذيفة إلى ارتفاع ٦٠ متراً وزمن الهبوط من ذلك الارتفاع .

(ملحوظة : تسارع الجاذبية د = ١٠ م / ث)

الحل :

أ – عند أقصى ارتفاع :



نحسب أولاً الزمن الذي يستغرقه الجسم للوصول إلى أقصى ارتفاع وذلك باستخدام المعادلة (٢-٤) .

$$\vec{ع}_{ص} = \vec{ع}_{٠} \text{ جا } \theta - \vec{د} \text{ ن}$$

المعطيات

$ع_ص$ = صفر ، $ع_.$ = ٨٠ م / ث ، د = ١٠ م / ث ، جا ٣٠° = $\frac{١}{٢}$

بالتعويض في المعادلة .

$$٠ = ٨٠ \times \frac{١}{٢} - ١٠ \times ن$$

$$١٠ن = ٤٠$$

$$\therefore \quad ن = \frac{٤٠}{١٠} = ٤ \text{ ثانية}$$

لحساب أقصى ارتفاع نستخدم المعادلة (٢–٥)

$$ف_ص = ع_. \text{جا } \theta \text{ ن} - \frac{١}{٢} \text{ د ن}^٢$$

$$ف_ص = ٨٠ \times \frac{١}{٢} \times ٤ - \frac{١}{٢} \times ١٠ \times ٤^٢$$

$$= ١٦٠ - ٨٠ = ٨٠ \text{ م}$$

ب – الزمن الكلي الذي استغرقه الجسم في الهواء = زمن الوصول إلى الارض = ن

عندما يصل الجسم إلى الأرض فإن $ف_ص$ = ٠

لحساب ن نستخدم المعادلة (٢–٥)

$$ف_ص = ع_. \text{جا } \theta \text{ ن} - \frac{١}{٢} \text{ د ن}^٢$$

$$٠ = ٨٠ \times \frac{١}{٢} \times ن - \frac{١}{٢} \times ١٠ \times ن^{٢}$$

$$٤٠ ن - ٥ ن^{٢} = ٠$$

$$٥ ن (٨ - ن) = ٠$$

أما ٥ ن = صفر، أما ن = صفر (احتمال الزمن يساوي صفراً غير وارد، لماذا؟)

أو $(٨ - ن) = $ صفر ، $ن = ٨$

∴ الزمن الكلي = ٨ ثوان

ج- المدى الأفقي = الازاحة الأفقية = البعد بين نقطة القذف ونقطة الارتطام بالأرض.

لحساب الازاحة الأفقية نستخدم المعادلة (٢-٣)

$$ف_{س} = ع_{.} \text{ جتا } \theta \times ن$$

$$ع_{.} = ٨٠ \text{ م/ث} \quad ، \quad ن = ٨، \quad \text{جتا } \theta = \text{جتا } ٣٠^{\circ} = \frac{\sqrt{٣}}{٢}$$

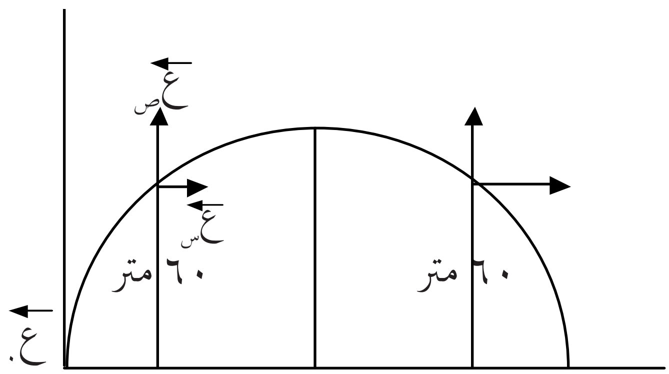
$$∴ ف_{س} = ٨٠ \times \frac{\sqrt{٣}}{٢} \times ٨ = ٣٢٠ \times \sqrt{٣} \text{ م}$$

$$∴ ف_{س} = \text{المدى الأفقي} = ٥٥٣{,}٦ \text{ م}$$

د – زمن وصول القذيفة إلى ارتفاع ٦٠ متراً وزمن الهبوط من ذلك الارتفاع .

لحساب الزمن نستخدم المعادلة (٢–٥)

$$ف_{ص} = ع. جاθ ن - \frac{١}{٢} د × ن^{٢}$$



حيث ف$_{ص}$ = ٦٠ متر

$$٦٠ = ٨٠ × \frac{١}{٢} × ن - \frac{١}{٢} × ١٠ × ن^{٢}$$

$$٦٠ = ٤٠ ن - ٥ ن^{٢}$$

$$٥ ن^{٢} - ٤٠ ن + ٦٠ = ٠$$

$ن^{٢} - ٨ ن + ١٢ = ٠$ (بعد القسمة على ٥)

(ن – ٢) (ن – ٦) = صفر ∴ ن = ٢ و ن = ٦

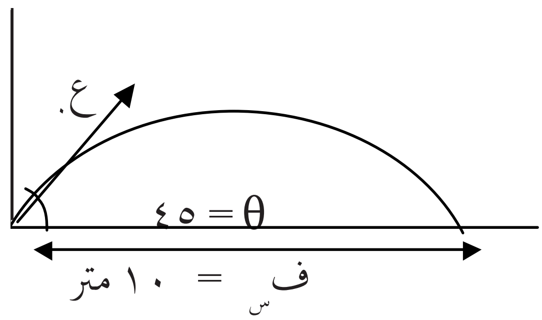
$\therefore$ ن = ٢ ثانية عند الصعود إلى ارتفاع ٦٠ م.

ن = ٦ ثوان عند الهبوط إلى رتفاع ٦٠ م .

مثال (٢) :

قذفت كرة بزاوية مقدارها ٤٥° مع الاتجاه الأفقي . فقطعت مسافة أفقية (الازاحة) مقدارها ١٠ متر .احسب سرعة القذف والزمن (اعتبر تسارع الجاذبية د = ١٠ م/ ث٢) .

الحل



المعطيات

الازاحة الافقية = ف$_{س}$ = ١٠ م

الازاحة الرأسية = ف$_{ص}$ = صفر م

نستخدم أولاً المعادلة رقم (٢–٣ (أ)) :

ف$_{س}$ = ع. جتا θ × ن

$١٠ = ع. \times \text{جتا} ٤٥^\circ \times ن$

$١٠ = ع. \times \frac{١}{\sqrt{٢}} \times ن$

$\therefore ع. = \frac{١٠ \times \sqrt{٢}}{ن}$

لحساب ن نستخدم المعادلة رقم (٢–٥)

$ف_{ص} = ع. \text{جا} \theta ن - \frac{١}{٢} د ن^٢$

$\text{صفر} = ع. \times \text{جا} ٤٥^\circ \times ن - \frac{١}{٢} \times ١٠ \times ن^٢$

$\text{صفر} = ع. \times \frac{١}{\sqrt{٢}} \times ن - \frac{١}{٢} \times ١٠ \times ن^٢$

$ع. \times \frac{١}{\sqrt{٢}} \times ن = \frac{١}{٢} \times ١٠ ن^٢$

$\therefore \frac{ع.}{\sqrt{٢}} = ٥ ن$

$\therefore ع. = ٥\sqrt{٢} ن$ ..... (ب)

من المعادلتين (أ) و (ب) : $\frac{١٠ \times \sqrt{٢}}{ن} = ٥\sqrt{٢}$ ن

$١٠ \times \sqrt{٢} = ٥\sqrt{٢} \times ن^٢$

$ن^٢ = ٢$ ، $ن = \sqrt{٢}$ ثانية

$\therefore$ ع $= ٥\sqrt{٢} \times ن = ٥ \times \sqrt{٢} \times \sqrt{٢} = ١٠$ م / ث

مثال (٣) :

قذف حجر من صخرة ارتفاعها ٣٠ متراً من سطح البحر ، بحيث كانت مركبتا السرعة الأفقية والرأسية ١٠ م / ث و ١٢,٥ م/ ث على الترتيب . متى وأين وبأي سرعة يضرب الحجر سطح الماء ؟

الحل :

المعطيات

الارتفاع الصخرة ٣٠م، $ع_{.س} = ١٠$ م / ث ، $ع_{.ص} = ١٢,٥$ م/ ث، د = ١٠ م / ث^٢

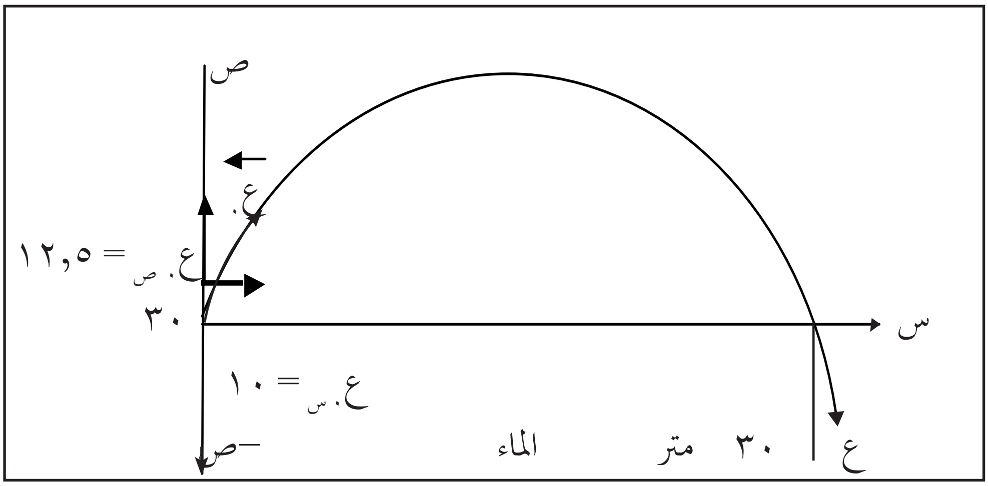
(أ) متى يضرب الحجر سطح الماء ؟

عندما يصل الحجر إلى سطح الماء فإن ص = − ٣٠ متراً ولحساب الزمن نستخدم المعادلة :

$$ف_{ص} = ع_{.ص} \times ن - \frac{١}{٢} د \times ن^٢$$

$$- ٣٠ = ١٢,٥ \times ن - \frac{١}{٢} \times ١٠ \times ن^٢$$

$$- ٣٠ = \frac{٢٥ ن}{٢} - ٥ ن^٢$$



١٠ ن^{٢} − ٢٥ن − ٦٠ = صفر

٢ ن^{٢} − ٥ ن − ١٢ = صفر

(٢ ن + ٣) (ن − ٤) = صفر

∴ أما ٢ ن + ٣ = صفر أي ن = − $\frac{٣}{٢}$ (والزمن لايمكن أن يكون سالباً)

أو ن − ٤ = صفر ∴ ن = ٤ ثانية

أي يضرب الحجر سطح الماء بعد ٤ ثوان

(ب) أين يضرب الحجر الماء ؟

وهذا يعني حساب الازاحة ف$_{س}$

ف$_{س}$ = ع.$_{س}$ × ن

س = ١٠ × ٤ = ٤٠ متراً .

(جـ) ما السرعة الرأسية التي يضرب بها الماء ؟

$ع_س = ع._س = ١٠$ م / ث

$ع_ص = ع._ص - د ن$ [لماذا ؟] .

$ع_ص = ١٢,٥ - ١٠ × ٤ = ١٢,٥ - ٤٠ = - ٢٧,٥$ م / ث

لاحظ أن $ع_ص$ هنا بالسالب . لماذا ؟

∴ $ع_ص = - ٢٧,٥$ م / ث

(د) مقدار السرعة التي يضرب بها الحجر الماء . تستخدم هنا المعادلة رقم (٢-٦)

$$ع = \sqrt{ع_س^٢ + ع_ص^٢}$$

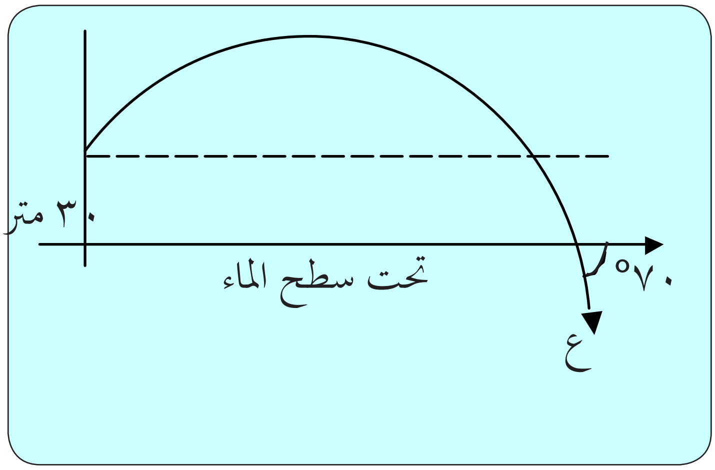
$$= \sqrt{(١٠)^٢ + (-٢٧,٥)^٢} = \sqrt{١٠٠ + ٧٥٦,٢٥}$$

∴ $\sqrt{٨٥٦,٢٥} = \underline{\underline{٢٩,٢٦}}$ م / ث

$$ظاهـ = \frac{ع_ص}{ع_س} = - \frac{٢٧,٥}{١٠} = - ٢,٧٥$$

∴ $هـ = - ٧٠°$

∴ الزاوية هـ تحت الافق كما في الشكل الآتي :



تمرين

١- كيف يتحرك الجسم المقذوف إلى أعلى بزاوية معينة على المستوى الأفقي؟

٢- ما العلاقة بين سرعة الجسم المقذوف والسرعتين الأفقية والرأسية للجسم ؟

٣- ما الفرق بين المسافة الفعلية التي يقطعها الجسم المقذوف والازاحة ؟

٤- كيف تحسب السرعة الكلية للجسم المقذوف ؟ وكيف يحدد الاتجاه ؟

٥- لماذا تستخدم معادلات الحركة المنتظمة لحساب الازاحة الرأسية والازاحة الأفقية والزمن؟

٦- قذف جسم بسرعة ابتدائية ٤٠٠ م / ث وزاوية قذف مقدارها ٣٠° من سطح الأرض . احسب أقصى ارتفاع وزمن التحليق والمدى الأفقي، إذا اعتبرنا تسارع الجاذبية يساوي ١٠ م / ث^{٢}. (الاجابة: في حالة أقصى ارتفاع ن=٢٠ ثانية، ف$_{ص}$ = ٢٠٠٠ م ، زمن التحليق ٤٠، المدى الأفقي = ١٣٧٦٠ م.)

٧- قذف جسم افقياً من هضبة ارتفاعها ٢٠ متر. احسب أين ومتى يصل الجسم الأرض ؟ وبأي سرعة يضرب الأرض ؟ إذا اعتبرنا تسارع الجاذبية ١٠ م / ث^{٢} وأن سرعة القذف تساوي ٢٠ م / ث .

٨- قذف حجر بزاوية قذف ٣٠° فقطع مسافة أفقية قدرها ٦ أمتار . أحسب سرعة القذف .

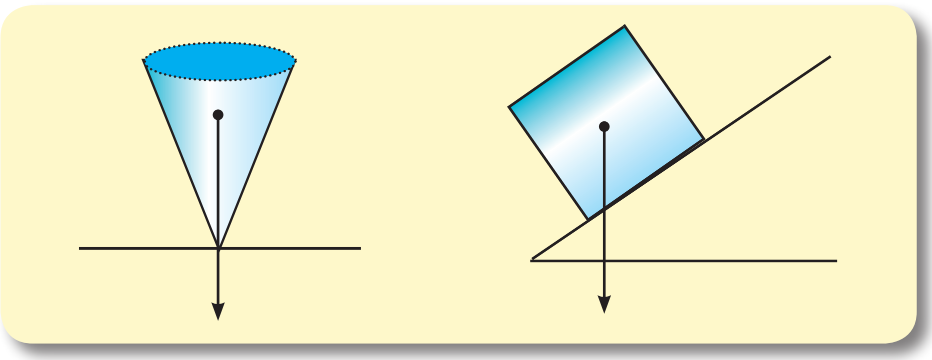
٩- اطلقت طائرة تحلق على ارتفاع ١٠٠٠ متر قذيفة بزاوية ٤٥°

مع الأفق بسرعة ٢٠٠٠ م/ ث .احسب متى وأين وبأي سرعة تصل الأرض ؟

١٠– قذف جسم بسرعة مقدارها ١٠٠ م / ث من الأرض بزاوية مقدارها ٦٠° .احسب سرعة القذيفة وارتفاعها بعد ثانيتين . وجد أقصى ارتفاع ومتى يصل الجسم لأقصى ارتفاع ؟ ومتى يصطدم بالأرض ؟ وبأى سرعة؟

الوحدة الثالثة

العزم والإتـــزان



العزم والإتـــزان

الأهداف:

بعد دراستك أيها الطالب لهذه الوحدة تستطيع أن:

١) تعرف عزم القوة .

٢) تفرق بين القوة وعزم القوة.

٣) تعرف أن عزم القوة من المتجهات.

٤) تعرف نقطة الارتكاز ومحور الدوران .

٥) تطبق علاقة عزوم القوى العاملة على أى جسم .

٦) تعرف معنى الاتزان وقانون الاتزان .

٧) تذكر قاعدة لامي وتطبقها لحساب القوى المتلاقية العاملة على جسم.

٨) تنمي مهارتي القياس والاستنتاج

٨) تعرف مركز الثقل وعلاقته بالإتزان .

٩) تفرق بين الاتزان المستقر وغير المستقر والاتزان المحايد.

١٠) تحل أسئلة ومسائل في موضوعات هذه الوحدة.

مقدمة:

لقد عرفت من دراستك لقوانين الحركة بالصف الأول:

أن الجسم يحافظ على حالته من السكون والحركة المنتظمة في خط مستقيم، ما لم تؤثر عليه قوة خارجية تغير من حالته، فتحركه أو تغير سرعته أو شكله.

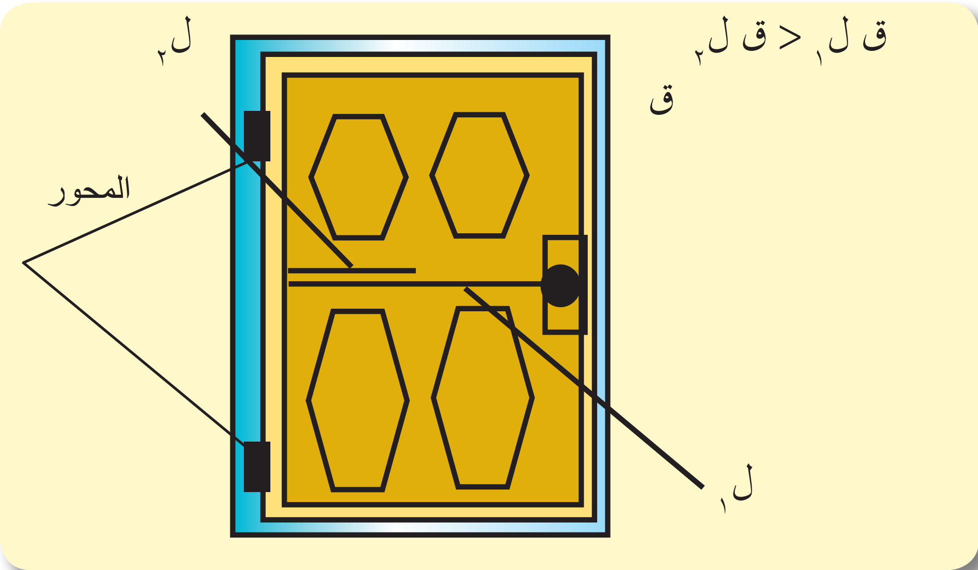
وعرفت أن الحركة تكون في إتجاه القوة المؤثرة على الجسم إذا حركته.

٣-١ عزم القوة :

ماذا يحدث لجسم مقيد إذا عَمَلت عليه قوة ؟

مثال ذلك باب الغرفة . فإن باب الغرفة مقيد بالمفصلات ، ولذلك فإنك لا تستطيع تحريكه بعيداً عن المفصلات التى تقيده ، ولكنك تستطيع أن تجعله يدور.

أنظر الشكل (٣-١)



شكل ٣-١: تحريك الباب حول محوره أسهل كلما زادت المسافة ل من المحور.

فكلما أثرت القوة على جزء أبعد من المحور (المفصلات) كان لها المقدرة على إحداث دوران للباب بيسر.

- ويقال في هذه الحالة أن عزم القوة كان أكبر. فما هو العزم؟

يعرف العزم (أو عزم الدوران) بأنه:

هو مقدرة القوة على إحداث الدوران

- ويلاحظ أن الباب يدور حول المحور (المفصلات) ويسمى

هذا: **محور الدوران أو مركز الارتكاز**.

– ماهي العوامل التى تؤثر على عزم القوة ؟

نشاط (٣–١):

- حاول فتح باب غرفة فى منزلك من مواضع مختلفة :

أ– من أبعد نقطة من المفصلات أى أبعد موضع من محور الدوران أي حافة الباب.

ب– من منتصف المسافة بين المحور و حافة الباب.

ج– أدر الباب بمقدار ربع المسافة بين المحور و حافة الباب.

د– حاول إدارة الباب من نقطة عند موضع المفصلات .

- ماذا تلاحظ عن مقدار القوة اللازمة لإدارة الباب فى الحالات الأربع المذكورة أعلاه؟

– هل يعتمد مقدار القوة على المسافة من محور الارتكاز ؟

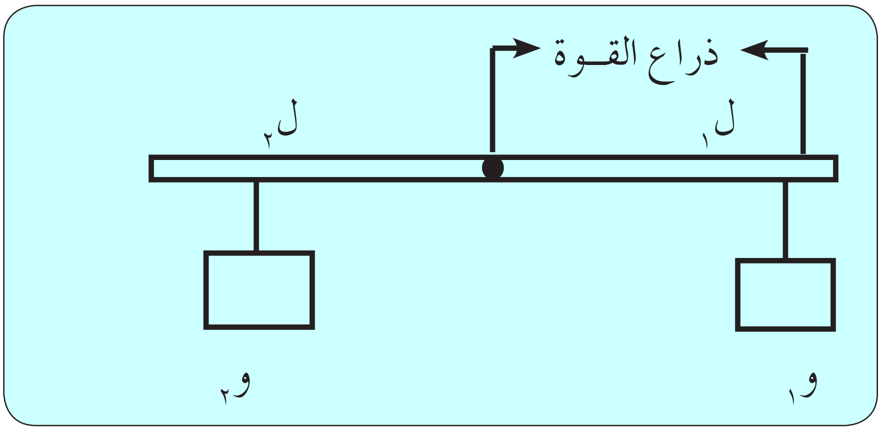
– هل نستطيع أن نقول أن عزم القوة (عز) يتناسب طردياً مع حاصل ضرب القوة (ق) والمسافة (ل) من محور الإرتكاز ؟

أى: $\overleftarrow{\text{عز}} = \overleftarrow{\text{ق}} \times \text{ل}$ (٣–١)

والمسافة هنا يقصد بها المسافة العمودية من ذراع القوة واتجاه القوة أيضاً عمودى على الباب .

نشاط (٣-٢):

(١) علق مسطرة من نقطة في منتصفها تماماً بحيث تأخذ وضعاً أفقياً كما في الشكل (٣-٢).



الشكل (٣-٢): مسطرة في وضع أفقي معلقة من منتصفها ووزن معلق في كل جانب

(٢) علق وزنة (و١) ووزنة (و٢) على الطرف الآخر كما في الشكل (٣-٢).

(٣) عدل في مسافة كل وزنة حتى تأخذ المسطرة وضعاً أفقياً في كل حالة.

(٤) سجل المسافة في كل حالة في الجدول التالي :

	الوزنة ($و_١$)	المسافة من المحور ($ل_١$)	$ل_١ \times و_١$
١			
٢			
٣			
٤			
٥			
٦			

(١) ماذا تلاحظ عن حاصل ضرب($ل_١ \times و_١$) و($ل_٢ \times و_٢$) و
($ل_٣ \times و_٣$) و($ل_٤ \times و_٤$) ...الخ

(٢) ماذا تستنتج من هذا النشاط عندما تكون المسطرة أفقية ؟

• هل عزم القوة يسار المحور يساوى عزم القوة يمين المحور؟

يلاحظ أن:

القوة إلي يسار المحور تميل لإدارة المسطرة في إتجاه حركة عقارب الساعة . والقوة على اليمين تميل لإدارتها عكس إتجاه حركة عقارب الساعة .

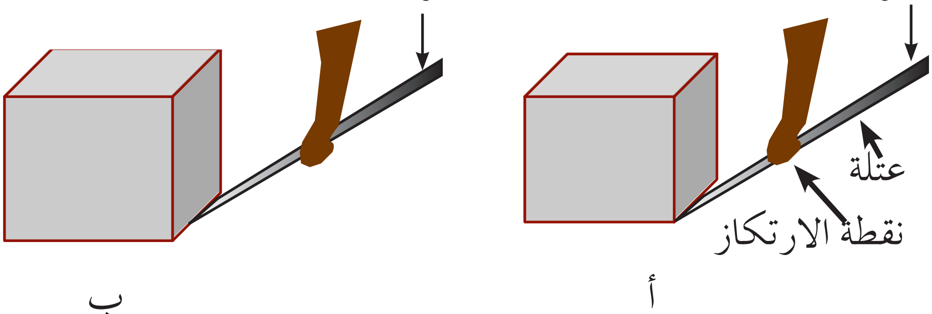
يعبر عن ذلك بأن عزم القوة في إتجاه عقارب الساعة أو عزم القوة عكس اتجاه عقارب الساعة؛

واصطلح على اعطاء اتجاه عقارب الساعة إشارة سالب، وعكس اتجاه عقارب الساعة يعطى إشارة موجب.

انظر الشكلين (٣-٣ أ) و (٣-٣ب) اللذين يمثلان محاولة تحريك صندوق: في الشكل (أ) محاولة تحريك الصندوق الذي على مسافة

بعيدة عن محور الارتكاز بوساطة عتلة، وفي الشكل (ب) محاولة تحريك نفس الصندوق من مسافة قريبة من محور الإرتكاز، ويشير السهم إلي موضع تأثير القوة.

– في أى الحالتين تبذل قوة أكبر لتحريك الصندوق ؟



الشكل ٣–٣: تحريك الصندوق بوساطة عتلة.

٣-٢ الاتزان:

في حالة اتزان الاجسام الممتدة (كالمسطرة والواح الأخشاب والأعمدة المنتظمة السُمك..) فإن مجموع عزوم القوى العاملة على الجسم في إتجاه حركة عقارب الساعة يساوى مجموع العزوم للقوى العاملة على الجسم عكس عقارب الساعة. ويمكن صياغة ذلك بطريقة أخرى وهى أن:

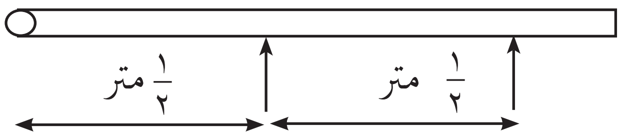
> المجموع الجبرى لعزوم القوى على الجسم يساوى صفراً في حالة اتزان الجسم.

وفي هذه الحالة تعتبر القوى التي تدير الجسم في إتجاه عقارب الساعة سالبة. وهذا هو السبب في أن العزم يأخذ نفس اتجاه القوة كما أشرنا لذلك آنفاً.

مثال (١) :

دفع شخص باباً من نقطة تبعد $\frac{١}{٢}$ متر من محور الدوران في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة، بقوة قدرها ٤ نيوتن . أحسب عزم هذه القوة. كم يكون عزم نفس القوة إذا كانت النقطة تبعد عن محور الدوران متراً واحداً؟.

الحل :



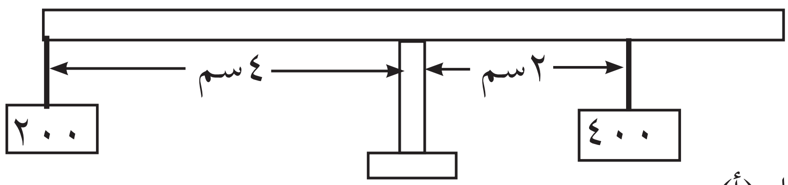
عزم القوة = ق × ل = ٤ × $\frac{١}{٢}$ = ٢ نيوتن. م

في الحالة الثانية : ٤ × ١ = ٤ نيوتن . م

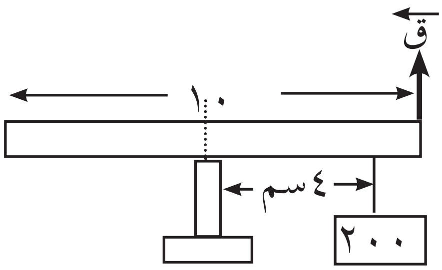
ماذا تلاحظ عن أثر المسافة على العزم ؟

مثال (٢) :

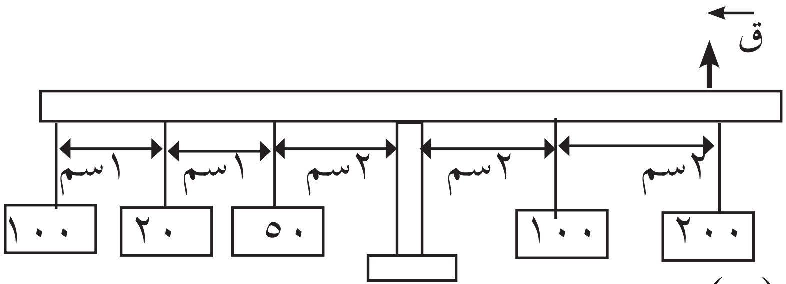
أنظر إلي الأشكال (أ) و (ب) و(جـ) ثم أجب علي الأسئلة ١ و ٢ و٣



الشكل (أ)



الشكل (ب)



الشكل (جـ)

١. هل القوى (أ) في حالة إتزان .

٢. أحسب (ق $_{١}$) في (ب).

٣. أحسب ق $_{٢}$ في (جـ).

الحل:

١– عزم القوة ٤٠٠ نيوتن = ٤٠٠ × ٢ = ٨٠٠ نيوتن.سم

عزم القوة ٢٠٠ نيوتن = ٢٠٠ × ٤ = ٨٠٠ نيوتن.سم

عز $_{١}$ = عز $_{٢}$

إذاً الجسم فى حالة إتزان.

في (ب) عزم القوة في إتجاه عقارب الساعة = — ٢٠٠ ×٤ =

– ٨ نيوتن.متر

عزم القوة عكس عقارب الساعة = ق $_{١}$ × ١٠ = ١٠ ق $_{١}$ نيوتن.سم

٢– في حالة الإتزان :

عزم القوة في إتجاه عقارب الساعة = عزم القوة في عكس اتجاه عقارب الساعـة

أى ١٠ ق$_{١}$ = ٨٠٠

ق$_{١}$ = $\frac{٨٠٠}{١٠}$ = ٨٠

القوة (ق$_{١}$) = ٨٠ نيوتن

٣ – في الشكل (جـ)

مجموع العزوم في إتجاه عقارب الساعة

–٢٠٠ × ٤ – ١٠٠ ×٢ =–١٠٠٠

وعكس عقارب الساعة =

٥٠ ×٢ + ٢٠ ×٣ + ١٠٠ × ٤ + ق$_{٢}$ × ٣

١٠٠ + ٦٠ + ٤٠٠ + ٣ ق$_{٢}$

٥٦٠ + ٣ ق$_{٢}$ = ١٠٠٠

في حالة الاتزان ٥٦٠ + ٣ق$_{٢}$ =١٠٠٠

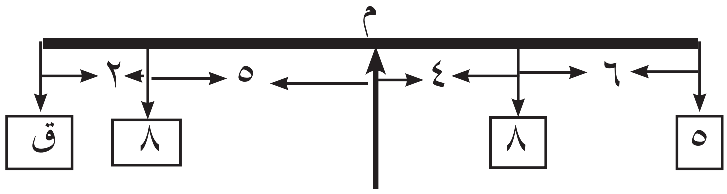
٣ ق = ١٠٠٠ – ٥٦٠ = ٤٤٠

ق$_{٢}$ = $\frac{٤٤٠}{٣}$ = ١٤٦,٧

القوة (ق$_{٢}$) = ١٤٦,٧ نيوتن

مثال (٣)

أنظر الشكل،



أحسب مقدار القوة(ق) في حالة الاتزان
المسافة بالأمتار، القوى بالنيوتن
الأسهم توضح اتجاه القوى و م محور الارتكاز.

الحل

مجموع عزوم القوى في اتجاه عقارب الساعة –٨ ×٤ –٥×١٠ = –٨٢ نيوتن.متر

مجموع عزوم القوى عكس اتجاه عقارب الساعة ٥ ×٨ + ٧ × ق = ٤٠ + ٧ق

حسب قانون العزوم:-

مجموع العزوم في اتجاه عقارب الساعة + مجموع العزوم عكس اتجاه عقارب الساعة= صفر

٤٠ + ٧ق –٨٢ = ٠

أى : ٨٢= ٤٠ + ٧ ق

٨٢ – ٤٠ = ٧ ق

٤٢ = ٧ ق

ق = $\frac{٤٢}{٧}$ = ٦

إذن القوة = ٦ نيوتن

وهي في عكس إتجاه عقارب الساعة .

ويمكن حل المسالة بالمجموع الجبري

٥ ×١٠+٨×٤−٥×٨−٧ ق = صفر

٥٠+٣٢−٤٠−٧ق = صفر

٨٢ − ٤٠ = ٧ ق

ق= ٤٢ / ٧ = ٦

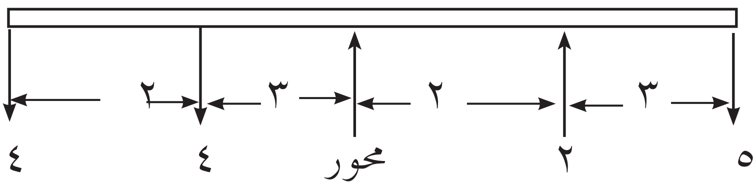
القوة = ٦ نيوتن

وهى نفس النتيجة السابقة.

مثال (٤)

وضح ما إذا كان الجسم في الشكل أدناه في حالة إتزان . وإذا لم يكن كذلك فأحسب المقدار اللازم من العزم الذي يجعله في حالة إتزان وذلك بتعديل أحدى القوتين الطرفيتين، علماً بأن القوى بالنيوتن والمسافات بالأمتار . والأسهم العمودية تشير إلي اتجاه تأثير القوى .

الحل:



المجموع الجبرى لعزوم القوى = − ٥×٥ − ٢×٢ +٤×٣ +٤×٥=

−٢٥−٤+١٢+٢٠ =٣٦−٢٥ = +١١

شرط الإتزان أن يكون المجموع الجبرى صفراً .

وهو ليس كذلك ولذلك فإن الجسم ليس في حالة إتزان ولجعله في حالة اتزان تحتاج إلي عزم يساوى− ١١ أى في إتجاه عقارب الساعة ليعادل العزم ١١ الموجب .

$$ق \times ٥ = ١١$$

$$ق = \frac{١١}{٥} = ٢,٢$$ نيوتن وتعمل إلي أسفل.

أى أن تصبح القوة الطرفية إلي اليمين ٥+٢,٢ = ٧,٢ نيوتن

تقويم ذاتي:

(١) ما الفرق بين القوة وعزم القوة؟
(٢) ماذا يعنى مركز الارتكاز وما أهميته في رفع الأثقال؟
(٣) ما هو شرط الإتزان.

٣-٣ الازدواج

مقدمة :

إذا أثرت قوتان متوازيتان على جسم ممتد (كالمسطرة) على مسافة تفصلهما، فإن محصلة القوتين:

- تساوى مجموع القوتين إذا كانتا في نفس الاتجاه،
- وتساوى الفرق بينهما إذا كانتا متضادتين .

» إذا تساوت القوتان المتضادتان، وكان خط عملها على استقامة واحدة، فإنهما تتزنان.

» أما إذا توازى خط عملهما فإنهما لا يتزنان؛ مما يعنى أنهما إذا عملتا على جسم متماسك، فإن الجسم لا يتزن بل تحدثان فيه حركة دورانية ؛

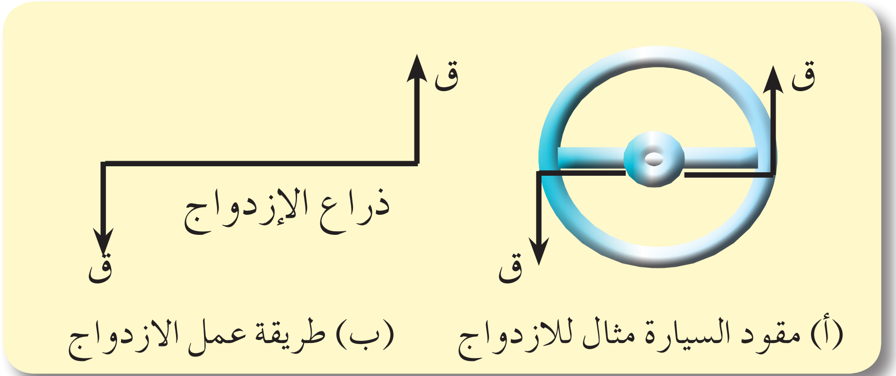
» ويطلق على مجموعة القوى المكونة من قوتين متساويتين مقداراً ومتعاكستين اتجاهاً ومتوازيتين على بعد بينهما الإزدواج (الشكل ٣-٤)).

وعليه يمكن تعريف الإزدواج كالآتي:

يتكون الإزدواج من قوتين متوازيتين متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الإتجاه ومختلفتين في خط عملهما وتعملان على جسم ممتد.

ويسمى البعد العمودى بين خطي عمل القوتين بذراع الإزدواج.

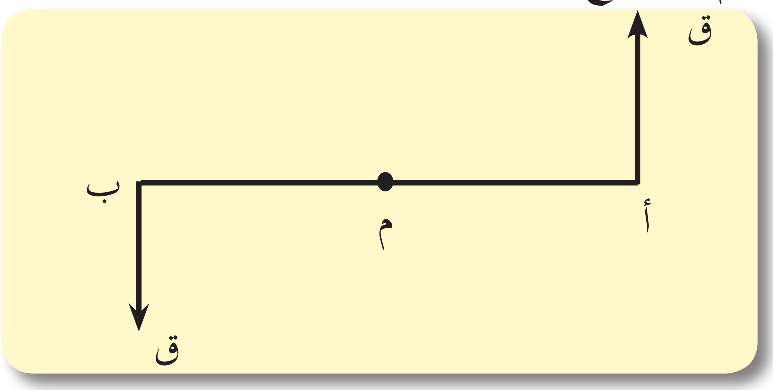
أنظر الشكل (٣-٤- أ) الذي يمثل مقود السيارة(الدركسون).
والشكل (٣-٤- ب) الذي يمثل الرسم التخطيطي لقوتي الإزدواج.



الشكل (٣-٤): قوتا الإزدواج

وقد أصطلح أن يكون عزم الازدواج موجباً إذا عمل على دوران الجسم عكس اتجاه حركة عقارب الساعة، وسالباً إذا عمل على دوران الجسم في إتجاه حركة عقارب الساعة .

عزم الإزدواج:



الشكل (٣ -٥): نقطة الإرتكاز بين القوتين

قوتا الإزدواج (ق ، ق) . وذراع ازدواجهما أ ب (الشكل (٣-٥)).

و (م) نقطة تقع بين القوتين

عزم الإزدواج = ق × ا ب

عزم الإزدواج حول م

ق × م أ + ق × م ب = ق (م أ + م ب)

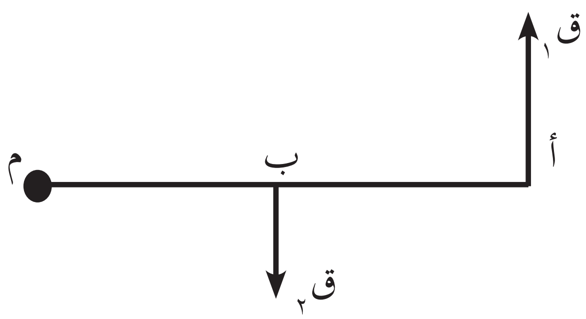
لكن (م أ + م ب)   = أ ب

أي أن:

عزم الإزدواج = ق × أ ب
في كل الحالات

- سؤال : ماذا يحدث لو أن نقطة الارتكاز (م) كانت تقع خارج القوتين؟

للإجابة على هذا السؤال أنظر إلى الشكل الاتي.



هل تعلم:

- **يعتبر الازدواجان متكافئآن إذا كانا متساويين في مقدار العزم والاتجاه .**
- **ويعتبر الإزدواجان متزنان إذا كانا متساويين في العزم ومتعاكسين في الإتجاه.**

مثال (٥)

قضيب تعمل عليه قوتان تكونان إزدواجاً ، فإذا كانت كل من القوتين ١٠ نيوتن والبعد بينهما ٤ أمتار .

أ- أحسب عزم الإزدواج .

ب- أحسب عزم الإزدواج حول محور يقع بين القوتين وعلى بعد ٢ متر من احداهما.

ج- أحسب عزم الإزدواج حول نقطة تقع خارج القوتين بمسافة متر واحد من إحداهما

الحل :

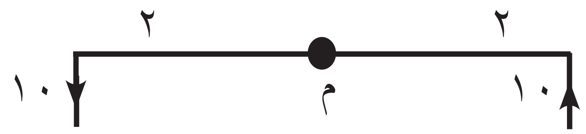
المعطيات:

القوة = ١٠ نيوتن. و المسافة= ٤ م.

وعليه:

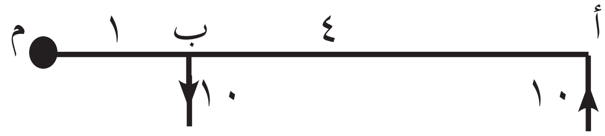
أ. عزم الإزدواج = القوة × طول ذراع الإزدواج = ١٠ × ٤ = ٤٠ نيوتن.متر

ب- يقع محور م على بعد ٢ متر من القوة الأولي والثانية (أنظر الشكل)



المجموع الجبرى للعزوم = ١٠ × ٢ + ١٠ × ٢ = ٤٠ نيوتن.متر

أي أن كلا القوتين تديران القضيب عكس إتجاه عقارب الساعة .



ج. المجموع الجبرى للعزوم حول م

١٠ × (٤+١) − ١٠ × ١ = ٥٠ − ١٠ = ٤٠ نيوتن.متر

لاحظ أن القوة عند ب تدير الجسم في إتجاه عقارب الساعة بينما القوة عند (أ) تديره عكس إتجاه عقارب الساعة .

مثال (٦)

أ ب جـ د مربع طول ضلعه ٣ متر . أثرت عليه قوتين متساويتين مقدار كل منهما ٢٠٠ نيوتن على الضلعين ا ب و جـ د في عكس اتجاه عقارب الساعة. كما أثرت قوتان متساويتين ، مقدار كل منهما ٥٠٠ نيوتن في الضلعين أ د و جـ ب في نفس الإتجاه السابق . أحسب عزم الأزدواج الناتج، ثم أحسب قوة الإزدواج المكافئ الذي يعمل على الوتر .

الحل

المعطيات

أب = ب ج = ج د = د أ =٣ م ، $ق_١$ = $ق_٢$ = ٢٠٠ نيوتن،

$ق_٣$ = $ق_٤$ = ٥٠٠

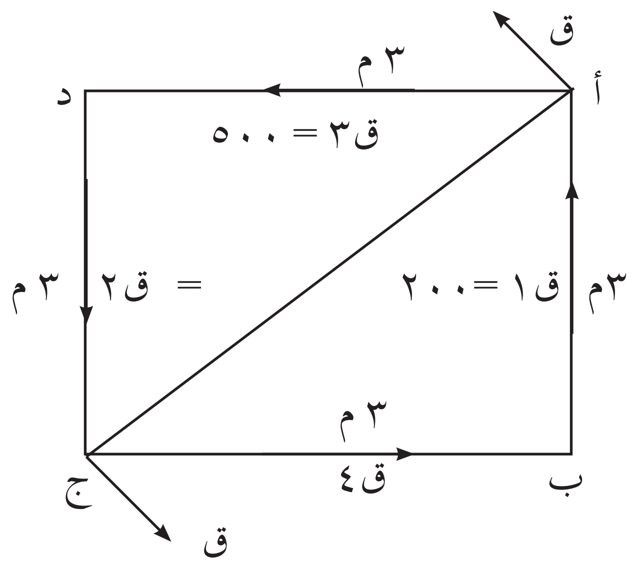
عزم الإزدواج على الضلعين أ ب و جـ د = ٣ × ٢٠٠ = ٦٠٠ نيوتن.متر

عزم الإزدواج على الضلعين أ د و جـ ب = ٣ × ٥٠٠ = ١٥٠٠ نيوتن.متر

المجموع الجبرى للإزدواج = ٦٠٠ + ١٥٠٠ = ٢١٠٠ نيوتن.متر

ق × طول الذراع = ٢١٠٠

طول الوتر = $\sqrt{٢ \times ٩}$ = ٣$\sqrt{٢}$ متر



عز الازدواج = ق × ل =

$٢١٠٠ = ق \times ٣\sqrt{٢}$

$ق = \frac{٢١٠٠}{٣\sqrt{٢}} = \frac{٧٠٠}{\sqrt{٢}} = \frac{٧٠٠}{\sqrt{٢}} \times \frac{\sqrt{٢}}{\sqrt{٢}} = \frac{٧٠٠\sqrt{٢}}{٢} = ٣٥٠\sqrt{٢}$ نيوتن

تقويم ذاتي:

(أ) عرف عزم الازدواج.

(ب) ناقش : عزم الازدواج لا يعتمد على موضع محور الدوران .

٣-٤ اتزان القوى المتلاقية:

الأمثلة السابقة لعزوم القوى تناولت قوى غير متلاقية تعمل على أجسام ممتدة . وسنعالج في هذا الجزء من الوحدة اتزان الأجسام تحت تأثير قوى متلاقية فى نقطة على الجسم .

فإذا ربط جسم بثلاثة حبال وقام بشده ثلاثة أشخاص في إتجاهات مختلفة حتى أصبح الجسم في حالة سكون لا يتحرك في أى اتجاه ؛ يقال أن هذا الجسم قد أصبح متزناً أو قد اصبح في حالة سكون . ويعبر عن ذلك بالآتي:

> يعتبر الجسم متزناً تحت تأثير عدة قوى إذا تلاقت هذه القوى في نقطة على الجسم وكانت محصلتها صفراً

ويحكم الاتزان عدد من القواعد :

أ- القوة والشد :

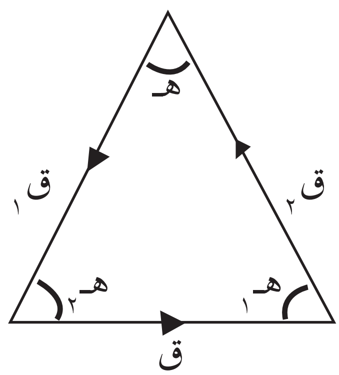
إذا ربط طرف خيط بلعبة أطفال في شكل سيارة، ثم قام طفل بجر اللعبة على سطح ، فإنه يشعر بشد في الخيط . وهذا الشد في الخيط يؤثر على يد الطفل بقوة عكس اتجاه حركة السيارة .أنظر الشكل ٣–٧ .

الشكل (٣–٧): طفل يجر لعبة عربة بخيط

ب- قاعدة مثلث القوى:

كما درست في الوحدة الأولي فإنه:

إذا اتزن جسم تحت تأثير ثلاث قوى متلاقية في نقطة . فإنه يمكن تمثيل هذه القوى مقداراً وإتجاهـــــاً بأضلاع مثلث مأخوذة في إتجاه دورى واحد.



الشكل (٣-٨) : مثلث القوى

ويوضح ذلك الشكل (٣-٨) والمعادلة التالية تحكم اتزان هذه القوى

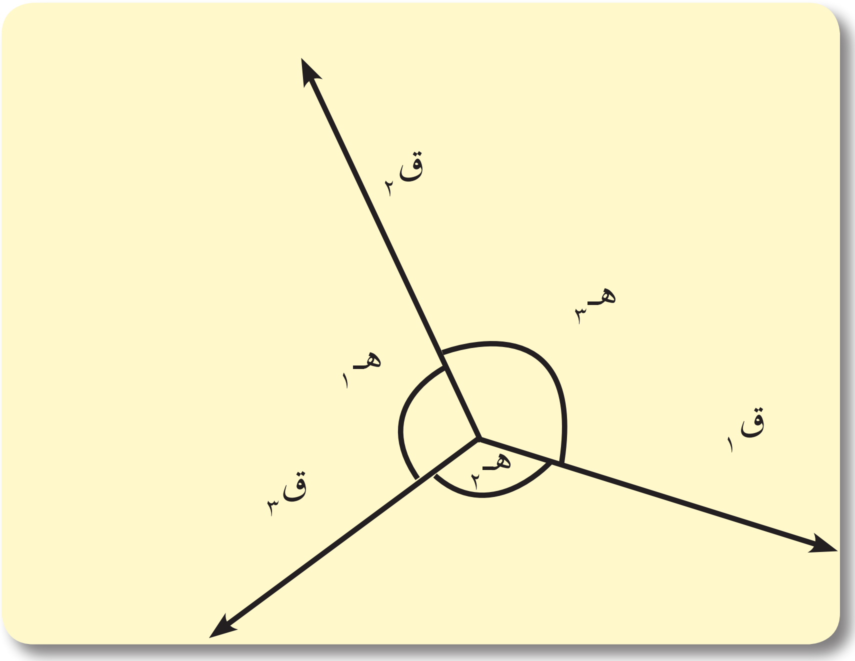
$$\frac{ق}{جا هـ} = \frac{ق_{١}}{جا هـ_{١}} = \frac{ق_{٢}}{جا هـ_{٢}}$$

جـ - قاعدة لامي:

من قاعدة مثلث القـــوى نحصل على قاعدة لامي التى تنص على أنه :

> إذا إتزن جسم تحت تأثير ثلاث قوى مستوية متلاقية في نقطة ما فإن مقادير هذه القوى تتناسب مع جيوب الزوايا المقابلة لها .

ولمعرفة الزوايا المقابلة للقوى فإن الزاوية المقابلة للقوة الأولي هي الزاوية المحصورة بين القوتين الثانية والثالثة . والزاوية المقابلة للقوة الثانية هي المحصورة بين القوة الثالثة والقوة الأولي والزاوية المقابلة للقوة الثالثة هي المحصورة بين القوة الأولي والقوة الثانية أنظر الشكل (٣–٩).



الشكل (٣ –٩): الزوايا المقابلة للقوى

د- قاعدة المحصلة:

إذا اتزن جسم تحت تأثير أى مجموعة من القوى المتلاقية في نقطة ما فإن محصلة هذه القوى تساوى صفراً . وهذا يعنى :

م = صفر حيث م = محصلة جميع القوى المتلاقية

$م_{س}$ (محصلة المركبات السينية للقوى) = صفر

$م_{ص}$ (محصلة المركبات الصادية للقوى) = صفر

هـ- قاعدة القانون العام للتوازن:

إذا ألقينا نظرة على حالات الاتزان السابقة نلاحظ أنها تتعلق بإتزان قوى متلاقية في نقطة . أما إذا لم تتلاق هذه القوى في نقطة فإن الجسم لن يتزن في هذه الحالة .

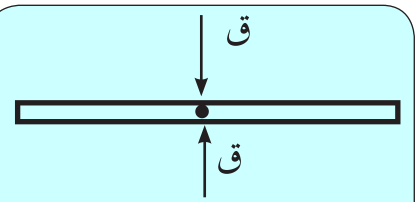
فإذا أثرنا على قضيب مثبت في منتصفه بمسمار بقوتين متضادتين ومتساويتين عند طرفيه ، فإن القضيب لن يتزن ، بل سيدور حول المسمار رغم أن محصلة القوى عليه تساوى صفراً . وهذا يعنى أن الاتزان يتطلب شرطاً إضافياً لمنع دوران الجسم . لذلك لابد من أن يكون مجموع العزوم عليه صفراً لأن العزم يعبر عن مقدرة القوة على إحداث الدوران . أنظر الشكلين (٣- ١٠) و (٣ -١١).

لذلك يمكن صياغة القانون العام كما يلي :

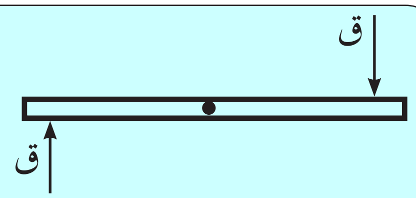
لكى يتزن أى جسم تحت تأثير قوى غير متلاقية في نقطة فإن ذلك يتطلب :

أ - أن تكون محصلة القوى المؤثرة على الجسم صفراً .

ب- أن يكون المجموع الجبرى لعزوم القوى المؤثرة على الجسم عند نقطة في مستوى هذه القوى يساوى صفراً .



الشكل (٣-١٠): قضيب متزن بتأثير قوتين متلاقيتين (لماذا؟)



الشكل(٣-١١): قضيب غير متزن (لماذا؟)

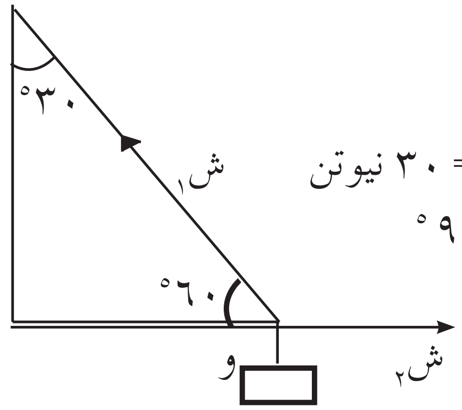
أمثلة

مثال (٧)

علق جسم يزن ٣٠ نيوتن بخيط طوله ٣٠ سم ، ثم جذب الجسم أفقياً بوساطة خيط آخر طوله ٤٠ سم عند النقطة (ب) حتى صار الخيط الأول يميل على الخط الأفقي بزاوية ٦٠°. أحسب الشد في الخيطين بإستخدام قاعدة مثلث القوى، ثم بإستعمال قاعدة لامي .

الحل :

المعطيات:



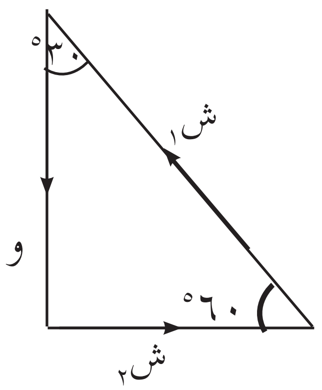
و = وزن الجسم = ٣٠ نيوتن

الزاوية المقابلة لـ ش١ = ٩٠°

ش١ = الشد فى الخيط الأول

ش٢ = الشد فى الخيط الثاني

بتطبيق قاعدة مثلث القوى نجد :



$$\frac{\text{ش}_1}{\text{جا}\ ٩٠} = \frac{\text{ش}_2}{\text{جا}\ ٣٠} = \frac{\text{و}}{\text{جا}\ ٦٠}$$

$$\text{ش}_١ = \frac{\text{و}}{\text{جا}\,٦٠} = \frac{٣٠}{\frac{\sqrt{٣}}{٢}} = \frac{٦٠}{\sqrt{٣}}$$

$$\frac{٦٠}{\sqrt{٣}} \times \frac{\sqrt{٣}}{\sqrt{٣}} = \frac{٦٠ \times \sqrt{٣}}{٣} = ٢٠\sqrt{٣}$$

إذاً الشد في الخيط الأول = $٢٠\sqrt{٣}$ نيوتن

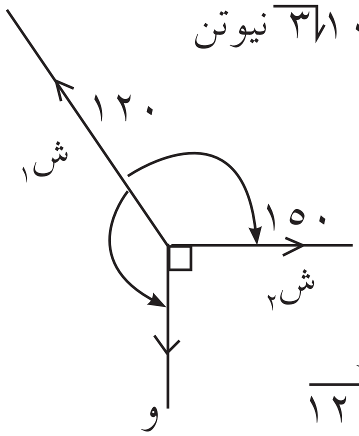
وبالمثل:

$$\frac{\text{ش}_١}{\frac{١}{٢}} = \frac{٣٠}{\frac{\sqrt{٣}}{٢}} = \frac{٦٠}{\sqrt{٣}}$$

$$\frac{٦٠}{\sqrt{٣}} \times \frac{١}{٢} = \frac{٣٠}{\sqrt{٣}} \times \frac{\sqrt{٣}}{\sqrt{٣}} = \frac{٣٠}{٣} \times \sqrt{٣} = ١٠\sqrt{٣}$$

إذاً الشد في الخيط الثاني = $١٠\sqrt{٣}$ نيوتن

وبتطبيق قاعدة لامي:



$$\frac{\text{ش}_١}{\text{جا}\,٩٠} = \frac{\text{ش}_٢}{\text{جا}\,١٥٠} = \frac{\text{و}}{\text{جا}\,١٢٠}$$

لكن جا ١٥٠ = جا ٣٠ وجا١٢٠ = جا٦٠ (زوايا متتامة)

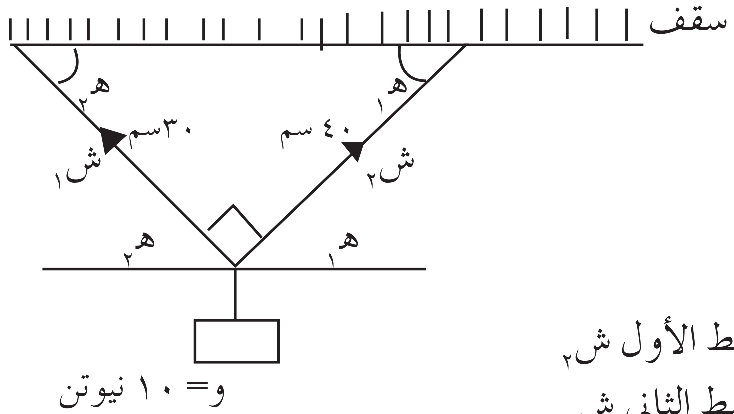
مما يعنى

$$\frac{\text{ش}_١}{\text{جا}\,٩٠} = \frac{\text{ش}_٢}{\text{جا}\,٣٠} = \frac{\text{و}}{\text{جا}\,٦٠}$$

وهي نفس النتيجة التى توصل إليها بتطبيق قاعدة مثلث القوى

مثال (٨)

علق جسم وزنه ١٠ نيوتن بوساطة خيطين يعامدان بعضهما مربوطين في سقف. أحسب الشد في كل من الخيطين باستعمال قاعدة لامي . إذا كان طول الخيط الأول ٣٠سم والثاني ٤٠ سم.



الحل :

الشد في الخيط الأول $ش_2$

الشد في الخيط الثاني $ش_1$

زاوية $هـ_1$ هي التي يعملها الخيط الأول مع السقف

زاوية $هـ_2$ هي التي يعملها الخيط الثاني مع السقف

كما في الشكل.

عند تطبيق قاعدة لامي :

$$\frac{\text{ش}_1}{\text{جا}(٩٠+\text{هـ}_1)} = \frac{\text{ش}_2}{\text{جا}(٩٠+\text{هـ}_2)} = \frac{\text{و}}{\text{جا}٩٠}$$

لكن جا(٩٠ + $هـ_2$) = جتا $هـ_2$ ، وجا (٩٠+ $هـ_1$)= جتا $هـ_1$ (زوايا مكملة)

وعليه فإن

$$\frac{ش_2}{جتاهـ_2} = \frac{ش_1}{جتا هـ_1} = \frac{و}{جا ٩٠}$$

$$\frac{ش_2}{\frac{٣}{٥}} = \frac{ش_1}{\frac{٤}{٥}} = \frac{و}{١}$$

$$ش_1 = ١٠ \times \frac{٤}{٥} = ٢ \times ٤ = ٨$$

إذاً الشد في الخيط الأول = ٨ نيوتن

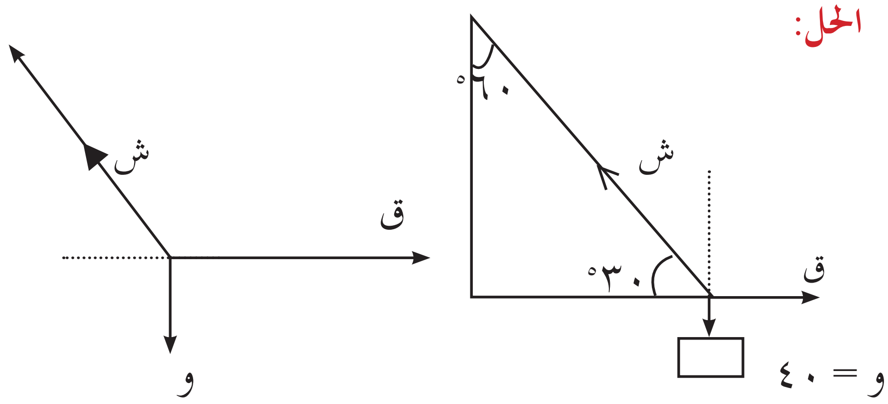
$$ش_2 = ١٠ \times \frac{٣}{٥} = ٢ \times ٣ = ٦$$

إذاً الشد في الخيط الثاني = ٦ نيوتن.

مثال (٩)

كرة صغيرة تزن ٤٠ نيوتن ربطت بخيط وثبت طرفه الآخر في حائط راسي . فإذا أثرت على الكرة قوة جعلتها تتزن في وضع يميل فيه الخيط على الحائط بزاوية ٦٠° . أحسب مقدار هذه القوة والشد في الخيط .

الحل:



باستعمال قاعدة لامي :

$$\frac{\text{ق}}{\text{جا}(٩٠+٣٠)} = \frac{\text{ش}}{\text{جا } ٩٠} = \frac{\text{و}}{\text{جا}(٩٠+٦٠)}$$

$$\frac{\text{ق}}{\text{جتا } ٣٠} = \frac{\text{ش}}{١} = \frac{\text{و}}{\text{جتا } ٦٠}$$

$$\frac{\text{ق}}{\frac{\sqrt{٣}}{٢}} = \frac{\text{ش}}{١} = \frac{\text{و}}{\frac{١}{٢}}$$

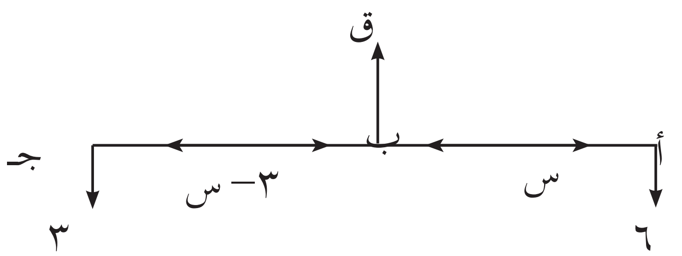
$$\text{ق} = \frac{\text{و}}{\frac{١}{٢}} \times \frac{\sqrt{٣}}{٢} = ٤٠\sqrt{٣}$$

$$\text{ش} = \frac{\text{و}}{\frac{١}{٢}} = ٤٠\times٢ = ٨٠ \text{ نيوتن}$$

مثال (١٠):

أثرت ثلاث قوى مقاديرها ٦ نيوتن و (ق) نيوتن و ٣ نيوتن على قضيب طوله ٣ أمتار عند النقاط (أ) ، (ب) و (جـ) فأتزن كما بالرسم . أحسب القوة المجهولة (ق) وبعد (أ) عن (ب) .

الحل :



أولاً : القضيب متزن ولذلك محصلة القوى عليه = صفر

أى ٦ + ٣ – ق = صفر

ق = ٩

إذاً القوة(ق) = ٩ نيوتن

المجموع الجبرى للعزوم حول أية نقطة يساوى صفراً

خذ العزوم حول النقطة جـ

–٦ × ٣ + ق × (٣– س)+٣×صفر = صفر

–١٨ + ٩ × (٣– س) +٠ = صفر

– ١٨+٢٧ – ٩ س +٠ = صفر

٩ س = ٢٧–١٨ = ٩

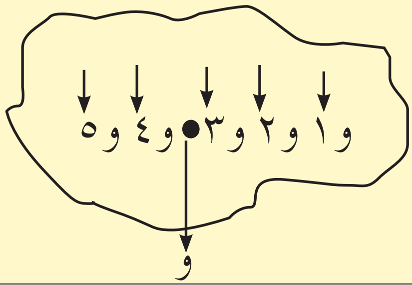
س = $\frac{٩}{٩}$ = ١

إذاً بعد أ عن ب = ١ م

٣-٥ مركز الثقل:

- وزن كل جسم متماسك يتكون من مجموع وزن كل الجسيمات التى يحتويها ذلك الجسم.
- وكل من تلك الجسيمات عبارة عن القوة التى تجذب بها الأرض كل جسيم وخطوط عمل كل من القوى التى تجذب بها الأرض الجسيمات عبارة عن خطوط مستقيمة تربط بين كل جسيم ومركز الأرض . ولما كان مركز الأرض يبعد مسافات كبيرة جداً من سطح الأرض يمكن اعتبار خطوط عمل هذه الأوزان كلها متوازية وعمودية على سطح الأرض .

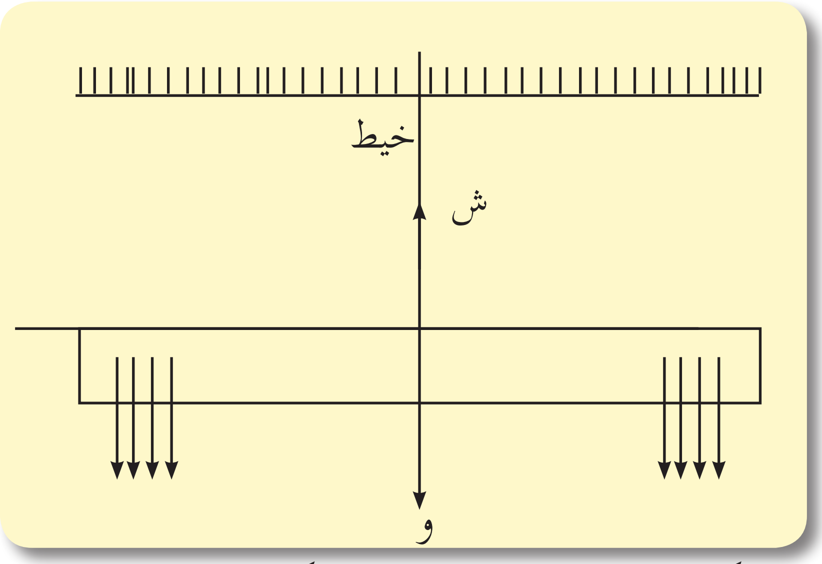
وتسمى محصلة تلك القوى التي يتكون منها الجسم ، وزن الجسم. واتجاه محصلة هذه القوى أيضاً عمودية على سطح الأرض.(انظر الشكل (٣–١٢).



الشكل: (٣–١٢): مركز الثقل لشكل غير منتظم

فإذا علق أي جسم مثل مسطرة من منتصفها بخيط لتكون متزنة أفقياً ، فإن قوة جاذبية الأرض تعمل على كل نقطة على المسطرة إلي أسفل، وتكون النتيجة أن المحصلة هي قوة (ق) تعادل وزن المسطرة ، وتكون مساوية لقوة شد الخيط (ش) (شكل (٣–١٣)) . وسنبرهن أن نقطة تأثير هذه القوة ثابتة للجسم المتماسك ويطلق عليها مركز ثقل الجسم ، و يعرف كالآتي:

مركز الثقل لأى جسم متماسك هو تلك النقطة التى يبدو وزن الجسم مركزاً فيها .



الشكل (٣-١٣) : مركز الثقل لشكل منتظم

نشاط : (٣-٣) لإيجاد مركز ثقل رقيقة من الورق المقوى :

الأدوات :

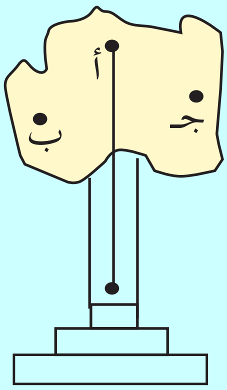
قطعة من الكرتون غير منتظمة الشكل. حامل ، محور ارتكــاز (دبوس) خيط مربوط في طرفه ثقل.

الخطوات :

١- أثقب ثلاثة ثقوب في أماكن مختلفة على حافة الكرتونة في (أ) و (ب) و (جـ)

٢- علق الكرتونة من أحد الثقوب الثلاثة على محور الإرتكاز (دبوس كبير) في الشكل (٣-١٤).

٣- أربط طرف الخيط الخالص في محور الإرتكاز ليكون اتجاه الخيط لأسفل بتأثير الثقل (تأكد من حرية الحركة في محور الارتكاز).

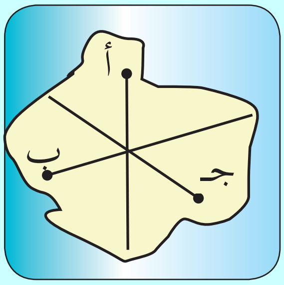


الشكل (٣-١٤): تحديد مركز الثقل

٤–عين نقطتين على سطح الكرتونة يمر عليها الخيط .

٥– ارسم خطاً مستقيماً يمر بالنقطتين .

علق الكرتونة من ثقب آخر، وكرر نفس الخطوات، وارسم خطاً مستقيماً آخر يبين اتجاه الخط الراسي الذي يصل النقطتين تحت الخط.



الشكل (٣–١٥): مركز الثقل م

- كرر نفس الخطوات بتعليق الكرتونة من الثقب الثالث .
- ماذا تلاحظ على الخطوط الثلاثة؟. هل تلتقي في نقطة واحدة كما يوضح الشكل (٣–١٥)؟
- النتيجة : إذا أجريت الخطوات السابقة بدقة تتقاطع الخطوط الثلاثة عند النقطة (م) . وتعرف هذه النقطة بمركز الثقل للكرتونة.

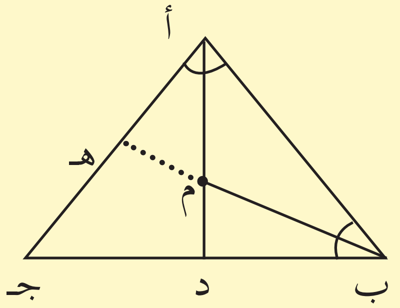
تعريف آخر لمركز الثقل :

مركز الثقل لأي جسم متماسك هو تلك النقطة الثابتة التي تمر بها محصلة أوزان الجسيمات التي يتكون منها وزن الجسم، ولا يتغير موضع هذه النقطة مهما تغير وضع الجسم بالنسبة للأرض

مراكز ثقل الأجسام المنتظمة :

أ . المربع والمستطيل المنتظم السمك والكثافة في شكل صفيحة، ثقله في مركزه الهندسي، وهو نقطة تقاطع الوترين .

ب. صفيحة في شكل المثلث يكون مركز الثقل عند تقاطع المستقيمات التي تنصف زوايا المثلث، ويقع عند ثلث المستقيم المنصف لأي زاوية من القاعدة .



م د $= \frac{1}{3}$ أد

م هـ $= \frac{1}{3}$ ب هـ

شكل ٣–١٦ مركز الثقل لصفيحة في شكل مثلث

ويقع مركز الثقل خارج المادة المكونة للجسم في حالات الأجسام المجوفة مثل الحلقات والكرات والأسطوانة .

ملحوظة مهمة

- مركز ثقل الجسم المتماسك يتغير بتغير شكله وذلك لتغير الأبعاد بين الجسيمات المكونة للجسم .
- الطريقة التى استعملت لتحديد مركز ثقل الكرتونة يمكن استعمالها لتحديد مراكز ثقل أية أجسام متماسكة مثل المسطرة وكتلة خشب رقيقة إلي آخره .

ومثال لذلك تمعن مكعب الخشب الذي يكون المستقيم الرأسي المار بمركز ثقله واقعاً داخل نقطة ارتكازه . وكذلك قمع مرتكز على قاعدته . والجسم الأسطواني والمخروط المرتكز على قاعدته . كلها أجسام مستقرة الاتزان . أنظر الشكل (٣-١٨)

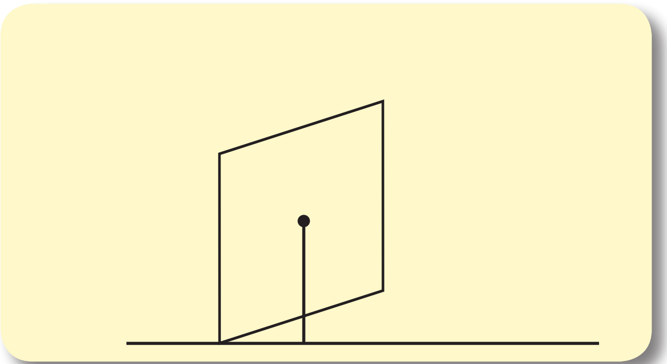
مركز الثقل والاتزان :

لوحظ بالتجربة أن اتزان أى جسم مرتكز على أكثر من نقطة يعتمد على موضع مركز ثقله ؛ فإذا أميل الجسم فإنه ينقلب إذا صار المستقيم الرأسي المار بمركز ثقله خارج نقطة ارتكازه أو قاعدته .

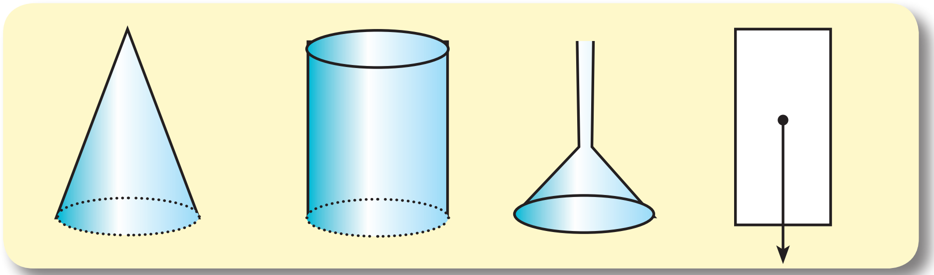
وهناك ثلاثة حالات لاتزان الأجسام :

١. الاتزان المستقر

وهى الحالة التى يعود فيها الجسم لحالته الأولي بعد إمالته . ويكون في مثل هذه الحالة اتزان الجسم اتزاناً مستقراً . وهذه الحالة تدل على أن الإمالة لا تخرج المستقيم النازل من مركز الثقل عن قاعدة الجسم أنظر الشكل (٣-١٧).



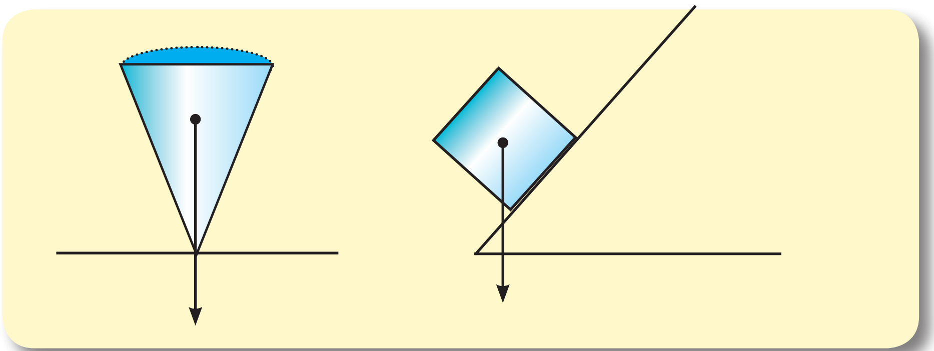
الشكل (٣-١٧): صندوق مائل



الشكل (٣–١٨): اتزان مستقر

٢. الاتزان غير المستقر :

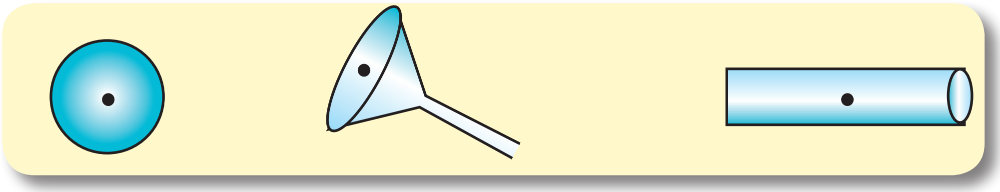
في هذه الحالة يفقد الجسم اتزانه عند الإمالة مهما كانت صغيرة ولا يعود إلي حالته الأولي مما يعني أن المستقيم الرأسي المار بمركز ثقله يكون عند آخر نقطة في قاعدة ارتكازه. وفي مثل هذه الحالة ينقلب الجسم عند إمالته. مثال ذلك المخروط الذي يستند على رأسه. أو جسم أميل إلي الحد الذي صار المستقيم الرأسي في نهاية قاعدة ارتكازه أنظر الشكل (٣–١٩).



شكل ٣–١٩ : اتزان غير مستقر

الاتزان المحايد:

في حالة الاتزان المحايد فإن إمالة الجسم تجعله يتدحرج ويستقر في وضعه الأول ولكن المستقيم الرأسي المار بمركز ثقله يكون دائماً داخل قاعدة ارتكاز الجسم مثال ذلك جسم اسطواني مصمت أو قمع موضوع على جانبه أو كرة .الشكل (٣–٢٠)

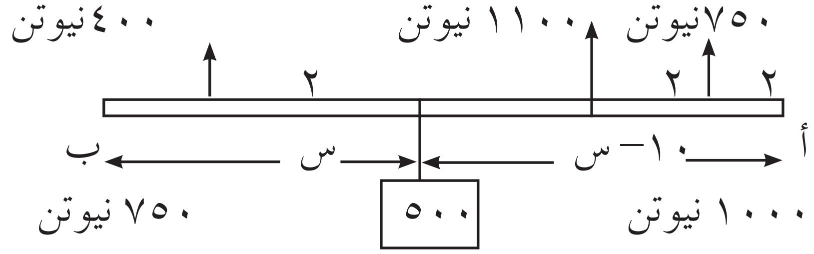


شكل ٣–٢٠ أجسام اتزانها محايد

مثال (١١)

قضيب (أب) طوله ١٠ أمتار ويزن ٥٠٠ نيوتن.

تعمل قوة ١٠٠٠ نيوتن إلي أسفل عند النقطة (أ) وتعمل قوة ٧٥٠ نيوتن إلي أسفل عند النقطة (ب)، وتعمل قوة ٧٥٠ نيوتن إلي أعلى وعلى بعد متر من(أ)وتعمل قوة ٤٠٠ نيوتن على بعد ٢ متر من النقطة (ب) وتعمل إلي أعلي. كما يعمل على القضيب قوة ١١٠٠ نيوتن إلي أعلى على بعد ٤ أمتار من النقطة (أ). أنظر الشكل أدناه.أين يقع مركز ثقله؟



الحل:

المعطيات: كما موضح في الشكل.

المجموع الجبرى للعزوم حول النقطة (ب)

–١٠٠٠ × ١٠ + ٧٥٠ × ٩ + ١١٠٠ × ٦ – ٥٠٠×س +٤٠٠×٢ = صفر

–١٠+ ٦٧٥٠+ ٦٦٠٠ – ٥٠٠س + ٨٠٠ = صفر

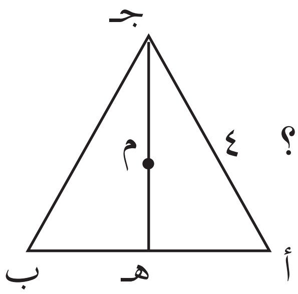
$$١٠ + ١٤١٥٠ - ٥٠٠ س = صفر$$

$$٤١٥٠ = ٥٠٠ س$$

$$س = \frac{٤١٥٠}{٥٠٠} = ٨,٣$$

أى أن مركز الثقل على بعد ٨,٣ متر من النقطة (ب).

مثال (١٢):



مثلث في شكل رقيقة متساوي الأضلاع. فإذا كان طول أحد الأضلاع يساوي ٤م. أين يقع مركز ثقله؟

الحل:

أ ب = ب جـ = ٤م

مركز الثقل للمثلث على بعد ثلث المسافة جـ هـ من القاعدة أب

$$لكن\ \overline{جـ هـ}^٢ = ا جـ^٢ - ا هـ^٢$$

$$= ٤^٢ - ٢^٢$$

$$= ١٦ - ٤ = ١٢$$

$$جـ هـ = \sqrt{١٢} = \sqrt{٤ \times ٣}$$

$$= ٢\sqrt{٣}$$

$$\therefore مركز الثقل \frac{١}{٣} جـ هـ$$

$$مركز الثقل = \frac{١}{٣} \times ٢\sqrt{٣} = \frac{٢}{٣}\sqrt{٣} م$$

تقويم ذاتي :

أ. عرف مركز الثقل ؟

ب.أعط أمثلة لأجسام يكون مركز ثقلها خارج الجزء المادي من الجسم .

ج. فرق بين أنواع الاتزان المستقر وغير المستقر والمحايد .

تمرين

١/متى يكون الجسم في حالة إتزان؟

٢/ما الفرق بين قاعدة لامي وقاعدة مثلث القوى؟. ومتى تستخدمان؟

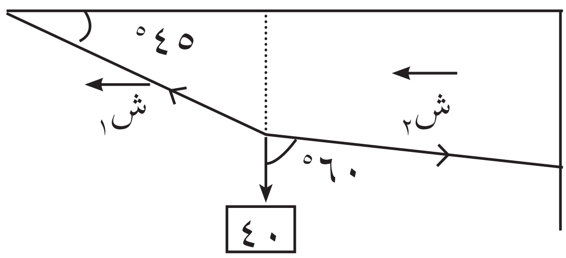
٣/ أحسب عزم قوة مقدارها ٧ نيوتن، وتؤثر على الجسم عند نقطة تبعد ٣ أمتار من محور دورانها في اتجاه عقارب الساعة .

(الإجابة: −٢١ نيوتن.م)

٤/ قضيب طوله ١٥٠ سم . أثرت على طرفيه قوتان مقدارهما ٥ نيوتن و ١٠ نيوتن إلى أسفل . احسب أين توضع قوة ثالثة لكي يتزن القضيب وما مقدار متجه هذه القوة؟

(الإجابة: ١٥ نيوتن إلي أعلي ، ٥٠سم من القوة ١٠ نيوتن)

٥/ إذا كان الوزن في الشكل الآتي في حالة اتزان فاحسب ش١ وش٢

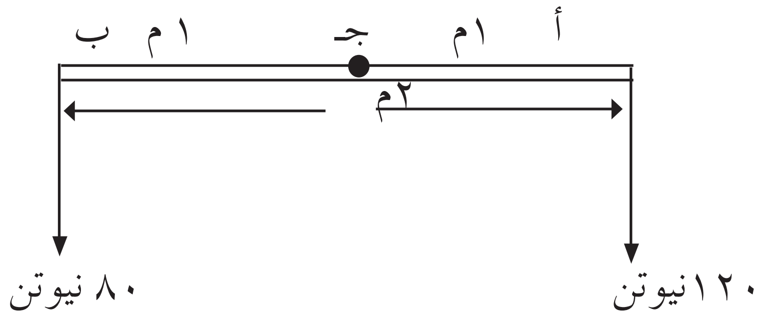


(الإجابة: ش١=١٣٣,٥ ، ش٢ = ١٠٩,٢ نيوتن)

٦/ رجلان يحملان عموداً طوله ٣ أمتار معلق به حمل وزنة ٩٠٠ نيوتن ، يبعد عن الرجل الأول متراً واحداً وعن الرجل الثاني متران .

احسب القوة التي يبذلها كل من الرجلين لحمل الوزنه مع تجاهل وزن العمود .

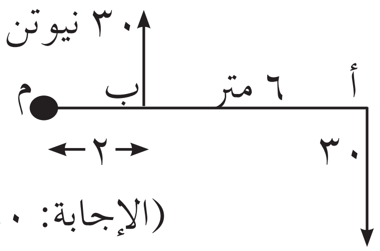
(الإجابة: ”٦٠٠ و ٣٠٠“ نيوتن)

٧/


أب عمود طوله ٢ متر علق على طرفيه ١٢٠ و ٨٠ نيوتن كما في الشكل أحسب أين توضع القوة ٢٠٠ ليتزن القضيب. علماً بأنه يرتكز عند النقطة جـ.

(الإجابة: على بعد ٨٠ سم من القوة ١٢٠ نيوتن)

٨/ أحسب عزم الازدواج للقوتين في الشكل حول المحور ب.



(الإجابة: ١٨٠ نيوتن.م)

٩/ أحسب عزم الازدواج للقوتين في المسالة (٨) حول النقطة (م) على بعد ٢ متر من (ب) . (الإجابة: ١٨٠ نيوتن.م)

١٠/ عرف الإزدواجين المتكافئين . والإزدواجين المتزنين.

١١/ أب جـ د مربع طول ضلعه ٣م ، أثرت عليه قوتان متساويتان مقدار كل منها ٤٠ نيوتن في الضلعين أ ب و جـ د. قوتان أخريان مقدار كل منهما ١٠٠ نيوتن في الضلعين أد و جـ ب . أحسب عزم الإزدواج الناتج وما مقدار القوتين (أ و جـ) على الوتر.

(الإجابة: ٤٢٠ نيوتن.م ، والقوتان ٧٠ $\sqrt{2}$ نيوتن)

١٢/ عرف الاتزان المستقر وغير المستقر والمحايد .

١٣/ قضيب منتظم الشكل طوله ٦ أمتار ووزنه ٢٥٠٠٠ نيوتن موضوع على سطح أفقي . أحسب مقدار القوة الضرورية لرفعه من أحد طرفيه.

(الإجابة : ١٢٥٠٠ نيوتن)

١٤/قضيب غير منتظم الشكل طوله ٨ أمتار يزن ٢٠,٠٠٠ نيوتن ويقع مركز ثقله على بعد ٣ أمتار من أحد طرفيه. علق على الطرف الخفيف ١٠٠٠ نيوتن وعلى الطرف الثقيل ٦٠٠ نيوتن . أين توضع قوة ليكون القضيب متزناً وما مقدار هذه القوة

(الإجابة: ٢١٦٠٠ نيوتن على بعد ٣,١٥م من الطرف الثقيل واتجاهها إلي أعلى)

١٥/ سلك رقيق ومنتظم من النحاس في شكل محيط مربع طول ضلعه ٢٠ متراً. حدد مركز الثقل.

(الإجابة: على الوتر على بعد ١٤,١ م من أحد أركانه)

١٦/ رقيقة منتظمة الشكل والكثافة في شكل مستطيل أبعاده ٢٤ و ٣٦ متر . أحسب مركز ثقله.

(الإجابة: على الوتر على بعد ٢١,٦م من أحد أركانه)

الوحدة الرابعة

الشغل و الطاقة و القدرة

Work ، Energy and Power

الأهداف :

بعد دراستك أيها الطالب لهذه الوحدة تستطيع :

١. تعريف الشغل ووحدته.

٢. حساب الشغل المبذول على جسم ما بواسطة قوة معينة ثابتة عندما يتحرك الجسم مسافة معينة في خط مستقيم.

٣. تعريف القدرة ووحداتها.

٤. حساب القدرة من معطيات المعدل الذي يبذل به الشغل.

٥. تعريف الطاقة ووحداتها.

٦. تعريف الطاقة الحركية والطاقة التثاقلية (الكامنة).

٧. إعطاء أمثلة لتحول الطاقة من حركية إلى وضعية وبالعكس.

٨. صياغة قانون بقاء الطاقة.

٩. تعريف قاعدة بيرنولي.

١٠. تعريف كل كمية في معادلة بيرنولي.

١١. تذكر بعض تطبيقات معادلة بيرنولي.

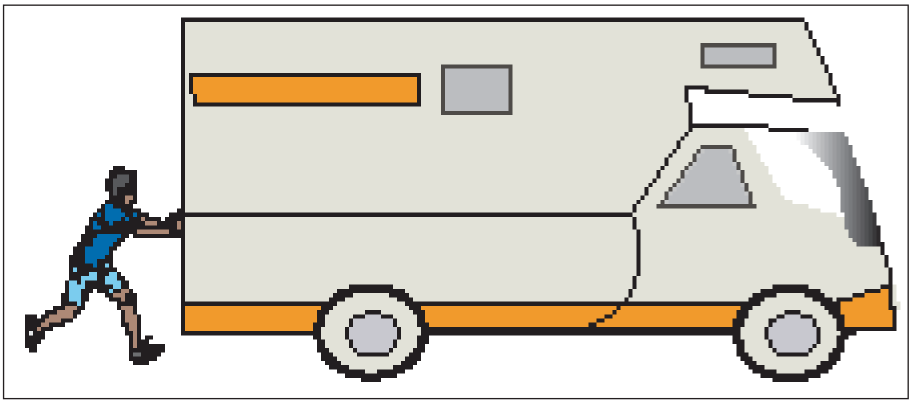
١٢. حل المسائل باستخدام القوانين الواردة في هذه الوحدة.

(٤-١) الشغل:

من مدلولات كلمة الشغل في الحياة هو القيام بأي جهد عضلي أو عقلي، غير أن مدلوله العلمي يختلف عن ذلك. وقد تستغرب إذا ما علمت بأنك تقوم بأعمال جسمانية كثيرة، ولكن من الناحية الفيزيائية لا تكون قد أنجزت شغلاً يذكر؛ على الرغم من أنك تكون قد أجهدت عضلات جسمك إلى حد الإعياء.

مثال لذلك

عندما تحاول دفع عربة وتفشل في تحريكها (أنظر الشكل (٤–١))



الشكل (٤–١) لم يبذل شغل لأن العربة لم تتحرك

حينما تحمل بكتفك ثقلاً مثل حقيبة فلست بمنجز شغلاً بالمعنى العلمي الفيزيائي مهما كانت ثقيلة لأنك في عملك هذا تسلط على الحقيبة قوة توازن بها وزن الحقيبة.

تقوم بأداء شغل بالمعنى الفيزيائي حينما ترفع الحقيبة وتضعها على كتفك،

أو تصعد بها بعض درجات السلم. فأنت هنا تؤثر عليها بقوة وتحركها في اتجاه القوة ضد الجاذبية.

أنك إذا سرت بها في طريق أفقي فإن القوة التي تستند بها الحقيبة لا تنجز شغلاً لأن هذه القوة تعمل إلى أعلى وهي ليست مسئولة عن الحركة الأفقية للحقيبة.

وعليه فإن:

القوة المؤثرة على جسم لا تنجز شغلاً عليه إذا لم يؤد تأثير هذه القوة إلى تحريك الجسم باتجاهها، أو باتجاه إحدى مركباتها.

ويحسب الشغل من حاصل ضرب:

مقدار القوة × الإزاحة.

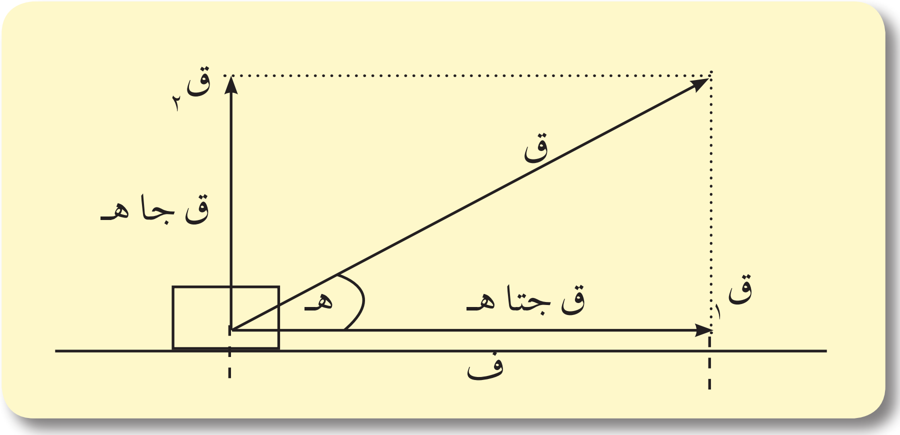
فإذا أثرت قوة مقدارها (ق) على جسم و إزاحته في اتجاهها بمقدار (ف)، فان الشغل (شغ) الذي تنجزه هذه القوة هو:

$$\text{شغ} = \text{ق} \times \text{ف} \qquad (٤-١)$$

لاحظ أننا ذكرنا أن إزاحة الجسم تكون باتجاه القوة المؤثرة عليه.

- ولكن كيف يحسب الشغل إذا لم تكن إزاحة الجسم باتجاه القوة المؤثرة عليه؟.
- في الشكل (٤-٢) جسم موضوع على سطح أفقي، تؤثر عليه قوة (ق) تميل بزاوية مقدارها (هـ) مع الأفقي. لكن الجسم يتحرك أفقياً وعليه فلا بد من تحليل القوة المائلة إلى مركبتين أحدهما موازية للسطح

(باتجاه الإزاحة) والأخرى عمودية عليه (عمودية على اتجاه إزاحة الجسم).



الشكل (٤-٢) تحليل القوة المائلة

$ق_١$ = ق جتاهـ (القوة الموازية للإزاحة وباتجاهها)

$ق_٢$ = ق جاهـ (القوة العمودية على الإزاحة)

وعليه فان شغل القوة (ق) = شغل ($ق_١$) + شغل ($ق_٢$)

ولكن شغل ($ق_٢$) = صفراً. لماذا؟.

لأن القوة عمودية على الإزاحة، ولم يتحرك الجسم بتأثير هذه القوة؛ لذلك فإن:

الشغل (شغ = شغل)

∴ شغ = $ق_١$ × الإزاحة (ف).

شغ = ق جتاهـ × ف.

∴ شغ = ق جتاهـ × ف　　　(٤-٢)

(٤-١-١) وحدة الشغل:

∵ الشغل = القوة × الإزاحة

∴ وحدة الشغل = وحدة القوة × وحدة الإزاحة

بما أن القوة تقاس بالنيوتن والإزاحة بالمتر، فإن الشغل يقاس بالجول.

الجول = نيوتن × م

وسميت هذه الوحدة بالجول تخليداً لذكرى العالم جول الذي أجرى أبحاثاً في هذا المجال.

> واحد جول هو مقدار الشغل الذي تنجزه قوة مقدارها نيوتن واحد عندما تزيح جسماً باتجاهها متراً واحداً.

∴ الجول = ١ نيوتن × ١ م

مثال (١):

سيارة كتلتها ١٠٠٠كجم تتحرك أفقياً بسرعة ١٠م/ث. توقفت بعد أن قطعت مسافة ٢٠م، باستخدام قوة احتكاك ثابتة. ما مقدار هذه القوة؟. وما مقدار الشغل المبذول على السيارة لإيقافها.

الحل

المعطيات: ك = ١٠٠٠كجم، ع. = ١٠م/ث، ع = صفر، ف = ٢٠م.

وعليه نستعمل المعادلة: ع^{٢} = عـ^{٢} + ٢جـ ف لحساب التسارع.

∴ صفر = ١٠^{٢} + ٢جـ × ٢٠

صفر = ١٠٠ + ٤٠جـ

∴ جـ = − ٢,٥ م/ث٢

ملحوظة: علامة (−) تعني أن التسارع تناقصي.

∵ ق = ك × جـ

ق = ١٠٠٠ × (− ٢,٥) = − ٢٥٠٠

∴ قوة الاحتكاك = − ٢٥٠٠ نيوتن.

∵ شغ = ق × ف

∴ شغ = − ٢٥٠٠ × ٢٠ = −٥ × ١٠^{٤}.

∴ الشغل = −٥ × ١٠^{٤} جول.

ملحوظة: علامة(−) تدل على أن الإزاحة حدثت في عكس اتجاه القوة(قوة الاحتكاك).

مثال(٢):

ما مقدار الشغل المنجز في جر عربة لإزاحة مقدارها ٥٠ متراً على سطح أفقي بتأثير قوة مقدارها ٢٠ نيوتن، تؤثر باستقامة مقبضها الذي يميل بزاوية ٣٠° مع السطح الأفقي.

الحل:

المعطيات:

ق= ٢٠ نيوتن، ف = ٥٠ م، هـ = ٣٠°

وعليه من شغ = ق ف جتاهـ

∴ شغ = ٢٠ × ٥٠ جتا ٣٠°

جتا ٣٠° = ٠,٨٦٦

∴ شغ = ١٠٠٠ × ٠,٨٦٦ = ٨٦٦

∴ الشغل = ٨٦٦ جول

مثال (٣):

أحسب الشغل المنجز عند رفع جسم كتلته ٦ كجم لارتفاع ١٠م.

الحل

المعطيات: ك = ٦ كجم، ف = ١٠م

وعليه:

∵ وزن الجسم = ك × د

∴ القوة = وزن الجسم

∴ ق = ك × د

∴ ق = ٦ × ٩,٨ = ٥٨,٨ نيوتن

∴ شغ = ق × ف

∴ شغ = ٥٨,٨ × ١٠ = ٥٨٨

∴ الشغل = ٥٨٨ جول

تقويم ذاتي

١. أذكر التعريف الفيزيائي للشغل.

٢. أحسب الشغل المبذول في رفع جسم كتلته ١ كجم رأسياً إلى أعلى لارتفاع ١٠م فوق سطح الأرض (د = ١٠م/ث٢)

(٤-٢) القدرة:

- القدرة تعني المعدل الزمني لانجاز الشغل، أو مقدار الشغل المبذول في وحدة الزمن.
- فإذا صعد شخص درجات من سلم، فإن الشغل الذي ينجزه هو نفس الشغل سواء تم ذلك في دقيقة أو ساعة؛ فالشغل يعتمد على القوة والإزاحة فقط.
- أما القدرة فإنها تعتمد على القوة والإزاحة التي تتحركها القوة والزمن المستغرق لقطع تلك الإزاحة ؛ أي أن القدرة (قد):

$$\text{القدرة} = \frac{\text{الشغل المنجز}}{\text{زمن إنجاز العمل}}$$

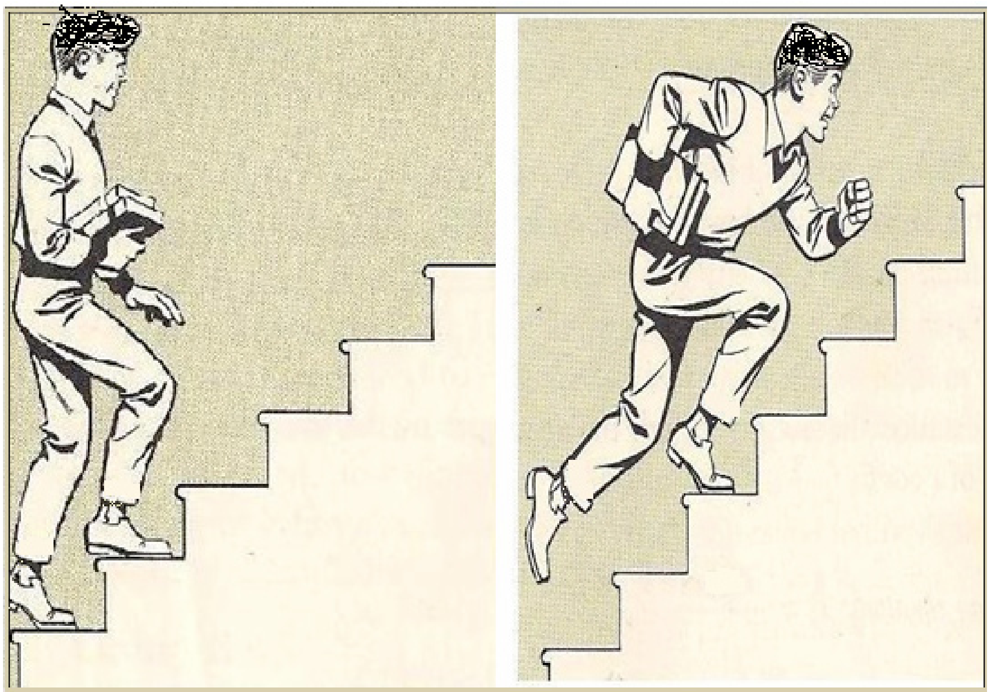
كذلك إذا رفع شخص كمية من مواد البناء من سطح الأرض إلى سطح بناية، فانه يستغرق لانجاز هذا الشغل فترة زمنية معينة.

ولكن إذا استخدمت في رفع تلك المواد رافعة ميكانيكية إلى نفس ذلك السطح، فإنها تنجز نفس الشغل الذي أنجزه الشخص ولكن في فترة زمنية أقل؛ ويقال في هذه الحالة أن قدرة الرافعة تفوق قدرة الشخص.

القدرة هي معدل انجاز الشغل.

المعدل يقصد به المعدل الزمني أي التغيربالنسبة للزمن

الشكل(٤-٣) يوضح أنه بالرغم من أن الشخص على اليمين سوف ينجز نفس الشغل الذي سينجزه الشخص الذي على الشمال (بافتراض أن وزن الأول يساوي وزن الثاني) ولكن قدرة الذي على اليمين أكبر لأنه صعد جرياً أي في فترة زمنية أقل.



الشكل (٤–٣): القدرة تعتمد على الزمن

$$\text{القدرة} = \frac{\text{الشغل}}{\text{الزمن}}$$

$$\boxed{\text{قد} = \frac{\text{شغ}}{\text{ن}}} \qquad (٤-٣)$$

$$\text{شغ} = \text{ق} \times \text{ف}$$

$$\therefore \text{قد} = \frac{\text{ق} \times \text{ف}}{\text{ن}} \quad \text{ولكن} \quad \frac{\text{ف}}{\text{ن}} = \text{متوسط السرعة (ع)}$$

∴ القدرة = القوة × متوسط السرعة

$$\boxed{\text{قد} = \text{ق} \times \text{ع}} \qquad (٤-٤)$$

(٤-٢-١) وحدات القدرة:

حيث أن الشغل يقاس بالجول والزمن بالثانية، فإن القدرة تقاس:
بالجول/ ثانية، والتي تسمى الواط.
والواط وحدة صغيرة، ولذلك من المناسب للقدرة الكبيرة استخدام:
الكيلوواط، والذي يعادل ١٠٠٠واط ،
والكيلوواط أكثر استخداماً في قياس توليد واستهلاك القدرة الكهربائية.
وليس هنالك من فرق سواء أكانت القدرة ميكانيكية أو كهربائية كما أننا نستطيع أن نقيس قدرة المصباح أو قدرة ماكينة العربة بالكيلوواط.

تعريف الواط:

الواط هو قدرة جهاز ينجز شغلاً مقداره جول واحد في زمن قدره ثانية واحدة

أي ١ واط = ١ جول/ ١ثانية؛ وتقاس القدرة أيضاً

بالحصان وهو يعادل ٧٤٦ واط.
١ حصان = ٧٤٦ واط .

مثال(٤):

صعد رجل كتلته ٧٠كجم على سلم لارتفاع ١٠م خلال فترة زمنية مقدارها ٣٠ ث. أحسب مقدار قدرته في هذه الحالة.

الحل:

المعطيات: ك = ٧٠ كجم، ف = ١٠ م، ن = ٣٠ث

وعليه:

∵ و = ك د

∵ ق = و

∵ ق = ك د

∵ شغ = ق × ف

$$∵ قد = \frac{شغ}{ن} = \frac{ق \times ف}{ن} = \frac{ك\ دف}{ن}$$

$$∵ قد = \frac{٧٠ \times ٩,٨ \times ١٠}{٣٠} = ٢٢٨,٧$$

∴ القدرة = ٢٢٨,٧ واط.

مثال(٥):

ما قدرة آلة ترفع جسماً كتلته ١٠٠٠كجم من الأرض لإزاحة مقدارها ٦م في ربع دقيقة؟(د = ١٠م/ث٢).

الحل

المعطيات:

ك = ١٠٠٠ كجم، ف = ٦م، ن= $\frac{١}{٤}$ دقيقة = ٠,٢٥ × ٦٠ ثانية

∴ ق = و = ك د

∴ شغ = ق ف = ك د ف

$$∵ قد = \frac{شغ}{ن} = \frac{ك د ف}{ن}$$

$$قد = \frac{١٠٠٠ \times ١٠ \times ٦}{٠,٢٥ \times ٦٠} = ٤٠٠٠$$

∴ القدرة = ٤٠٠٠ واط = ٤ كيلوواط.

مثال (٦):

يرفع رجل جسماً كتلته ٥٠ كجم لإرتفاع مترين خلال ١٠ثوان من الزمن، فإذا بذل رجل آخر نفس الشغل برفعه الجسم للارتفاع نفسه ولكن في ٤ ثوان. أحسب مقدار الشغل المنجز ثم أحسب قدرة كل من الرجلين (د = ١٠ م / ث^{٢}).

الحل

المعطيات: ك = ٥٠ كجم ، ف = ٢م ، ن$_{١}$ = ١٠ ثوان ،

ن$_{٢}$ = ٤ ثوان ، د = ١٠م/ث^{٢}

وعليه:

شغ = ق ف

شغ = ك د ف

شغ = ٥٠ × ٢ × ١٠ = ١٠٠٠

∴ الشغل المنجز = ١٠٠٠ جول

القدرة = قد

$$\therefore \text{قد} = \frac{\text{شغ}}{\text{ن}}$$

$$\text{قد}_{١} = \frac{\text{شغ}}{\text{ن}_{١}} = \frac{١٠٠٠}{١٠} = ١٠٠$$

∴ قدرة الرجل الأول = ١٠٠ واط

$$\text{قد}_{٢} = \frac{\text{شغ}}{\text{ن}_{٢}} = \frac{١٠٠٠}{٤} = ٢٥٠$$

∴ قدرة الرجل الثاني = ٢٥٠ واط

مثال(٧):

سيارة كتلتها ٢٥٠ كجم تصعد على مستوى يميل على الأفقي بزاوية جيبها $\frac{١}{٥}$ بسرعة منتظمة مقدارها ٥٤ كلم/ ساعة، فإذا كانت مقاومة الهواء والاحتكاك تساوي = $\frac{١}{١٠}$ من وزن السيارة، فما مقدار قدرتها بالحصان؟

(د = ١٠ م/ث^{٢}).

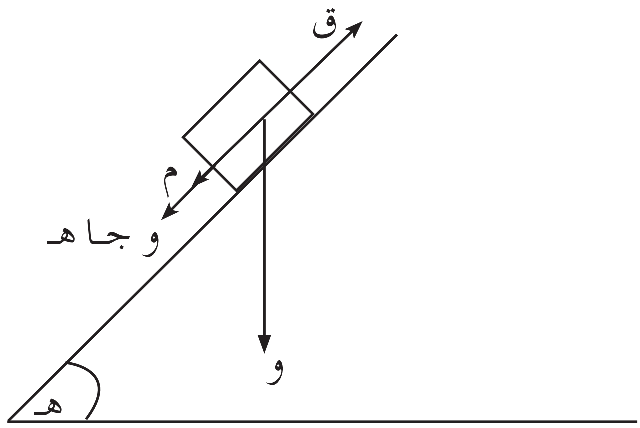
الحل

المعطيات: ك ٢٥٠ كجم، د = ١٠ م/ث٢، جاهـ = $\frac{č}{đ}$

وعليه:

م = $\frac{١}{١٠}$ من وزن السيارة = $\frac{١}{١٠}$ × ك × د = ٢٥٠ نيوتن

ع = ٥٤ كلم/ ساعة = ٥٤ × $\frac{٥}{١٨}$ = ١٥ م/ث



∵ السيارة تصعد المستوى المائل بسرعة منتظمة

∴ ق = و جاهـ + م

ق = ك د جاهـ + م

ق = ٢٥٠ × ١٠ × $\frac{١}{٥}$ + ٢٥٠

ق = ٥٠٠ + ٢٥٠ = ٧٥٠ نيوتن

∴ قد = ق × ع

∴ ٧٥٠ × ١٥ = ١١٢٥٠ واط

$$\text{قد} = \frac{١١٢٥٠}{٧٤٦} = ١٥,٠٨$$

∴ القدرة = ١٥ حصان

تقويم ذاتي:

١. ما هي وحدة القدرة؟.
٢. كم حصاناً في ١,٤٩٢ كيلوواط؟.
٣. حول وحدة الحصان إلى جول.

(٤-٣) الطاقة:

الطاقة هي المفهوم الذي يربط صور الظواهر الطبيعية المختلفة التي نشاهدها في الطبيعة، كالصوت، الضوء، الكهرباء، المغنطيسية والنشاط الإشعاعي. وكما عرفت من مرحلة التعليم الأساسي فإن الطاقة توجد في صور متعددة من أهمها:

١. الطاقة الميكانيكية و هي نوعان كامنة وحركية،
٢. الطاقة الضوئية،
٣. الطاقة الكهربية والمغنطيسية،
٤. الطاقة الكيميائية،
٥. الطاقة الضوئية،
٦. الطاقة الذرية،
٧. الطاقة الحرارية،

٨. الطاقة النووية،

٩. الطاقة الجزيئية.

ومن أهم ميزات الطاقة إمكانية تحويلها من صورة إلي أخري بالوسيلة المناسبة؛ فالمولد الكهربي يحول الطاقة الميكانيكية والمغنطيسية إلي طاقة كهربية. والمصباح الكهربي يحول الطاقة الكهربية إلى طاقة حرارية وضوئية. والراديو يحول الطاقة الكهربية إلى طاقة صوتية. والتلفزيون يحول الكهربية إلى طاقة ضوئية وصوتية.

(٤-٣-١) مصدر الطاقة:

تعتبر الشمس المصدر الرئيس للطاقة على الأرض حيث يتحول جزء من الأشعة الشمسية لطاقة ضوئية وحرارية؛ وهذه الأخيرة تؤدي لتبخر مياه البحار والمحيطات، فتكون السحب التي تهطل أمطاراً. وأنت تعلم أيها الطالب أهمية المياه بالنسبة للإنسان والحيوان والنبات، حيث تندفع المياه فتكون السيول والأنهار والشلالات. ولقد استطاع الإنسان أن يولد الطاقة الكهربية من السدود بإدارة التوربينات المائية الضخمة، مثل خزان الروصيرص وخزان مروي في السودان، والسد العالي في مصر.

كذلك يمكن الاستفادة من طاقة الرياح في إدارة المراوح أو التوربينات الهوائية والتي تستخدم في سحب مياه الشرب من الآبار وتوليد الكهرباء.

وباكتشاف الكهرباء أستطاع الإنسان أن يستفيد منها بتحويلها إلى طاقة ضوئية أو صوتية أو ميكانيكية أو حرارية أو مغنطيسية أو كيميائية.

ولقد استفاد الإنسان كثيراً من الفحم الحجري والنفط في الإضاءة، والبنزين والجازولين لإدارة السيارات والسفن والطائرات وغيرها.

وتوج الإنسان انتصاراته التقنية بتسخير الطاقة الذرية في إدارة محركات السفن والناقلات وتوليد الكهرباء من المفاعلات النووية.

(٤-٣-٢) الطاقة الميكانيكية:

كما علمت في مرحلة التعليم الأساسي أن:

الطاقة هي المقدرة على إنجاز الشغل

إذا كانت **المقدرة** على إنجاز الشغل ناتجة عن وضع معين كأن يكون جسم مرتفعاً أو في حالة شد أو كبس مثل الزنبرك سميت بالطاقة الكامنة. أما إذا كانت القابلية على إنجاز الشغل ناتجة عن كون الجسم متحركاً سميت بالطاقة الحركية؛ فالماء الجاري في النهر، والرياح والأمواج تمتلك طاقة حركية لأنها أجسام متحركة.

وسوف نقصر حديثنا على الطاقة الميكانيكية التي صنفت إلى نوعين:

(أ) الطاقة الحركية.

(ب) طاقة الوضع.

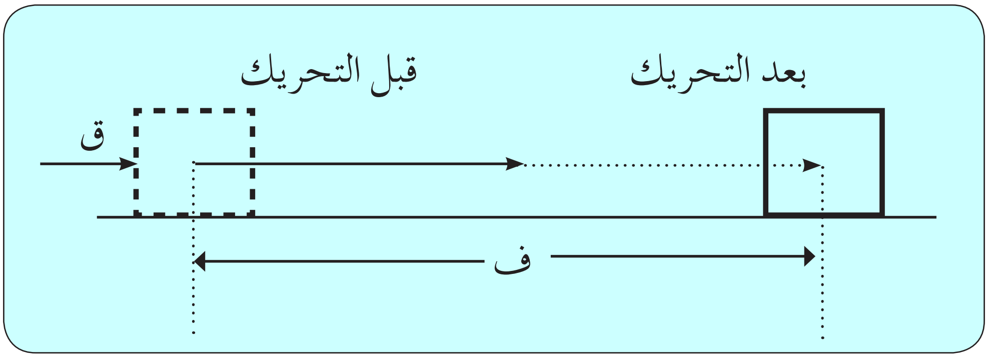
(٤-٣-٣) الطاقة الحركية:

وهي الطاقة الناتجة عن حركة جسم ما. ولقد عرفنا الشغل بأنه يساوي حاصل ضرب القوة في الإزاحة .

فالجسم يكتسب الطاقة عندما تعمل عليه شغلاً وهو يخسر الطاقة عندما ينجز هو شغلاً.

فإذا رفعت جسماً من سطح الأرض إلى سطح البناية مثلاً تكون قد بذلت عليه شغلاً، ويكتسب نتيجة لذلك مقداراً من الطاقة. ولكنه يفقد هذه الطاقة إذا سقط إلى الأرض، وبسقوطه يبذل شغلاً كان يحطم شيئاً موضوعاً على الأرض.

ولتوضيح هذا التبادل بين الشغل والطاقة، وبيان مقادير الشغل والطاقة، نبدأ بجسم موضوع على سطح أفقي أملس تؤثر عليه قوة (ق) فيكتسب تسارعاً، ويقطع مسافة مقدارها (ف) أنظر الشكل (٤ – ٤) ولنفرض أن كتلة الجسم(ك).



الشكل (٤ – ٤): جسم يتحرك على سطح أفقي أملس تحت تأثير قوة (ق)

بدأ جسم يتحرك من السكون. أي أن سرعته الابتدائية ع. = صفر، وأصبحت بعد أن قطع مسافة (ف) تحت تأثير القوة تساوي (ع م/ث).

∴ الشغل المبذول على الجسم = القوة × المسافة

(لأن اتجاه القوة هو نفس اتجاه المسافة المقطوعة)

شغ = ق × ف

وباستخدام قانون الحركة الثاني فإن القوة:

ق = ك جـ (التسارع)

∴ شغ = ك × جـ × ف (١)

مع ملاحظة أن التسارع منتظم لأن القوة (ق) ثابتة.

و بالرجوع لقوانين الحركة في خط مستقيم نجد أن:

ع^{٢} = ع.^{٢} + **٢ جـ ف**

ع^{٢} = ٢ جـ ف (لأن ع. = صفر)

$$\therefore \frac{ع^{2}}{2} = جـ\ ف$$

نعوض من العلاقة السابقة في (١) نحصل على:

$$شغ = ك \times جـ \times ف = ك \times \frac{ع^{2}}{2}$$

$$الشغل = \frac{1}{2}\ ك\ ع^{2}$$

لاحظ أن القوة (ق) لا تظهر أيضا في هذه العلاقة ، كما أن المسافة (ف) لا تظهر أيضاً لذا يمكن أن تكون القوة (ق) كبيرة والمسافة (ف) صغيرة أو العكس، حتى تتغير سرعة الجسم من الصفر إلى القيمة (ع). الذي يظهر فقط كتلة الجسم وسرعته وتسمى الكمية ($\frac{1}{2}$ ك $ع^{2}$) طاقة حركة الجسم؛ وهي الطاقة التي اكتسبها الجسم عندما ازدادت سرعته من الصفر إلى القيمة ع.

فلو أثرنا بقوة مقدارها (ق) على جسم كتلته (ك) متحركاً بسرعة ($ع_{1}$) فوق سطح أملس فقطع مسافة (ف)، وازدادت سرعته إلى ($ع_{2}$) فإن العلاقة السابقة تصبح:

$$ع_{2}^{2} = ع_{1}^{2} + 2\ جـ\ ف$$

فإذا ضربنا طرفي المعادلة في (ك) وحسبنا الشغل المنجز على الجسم، نجد أن الشغل:

$$\boxed{شغ = \frac{1}{2}\ ك\ ع_{2}^{2} - \frac{1}{2}\ ك\ ع_{1}^{2}} \quad (3)$$

- أى أن الشغل المنجز أدى إلى زيادة في طاقة حركة الجسم
- و بتعبير أخر يمكن القول بان الزيادة في طاقة الحركة تساوى الشغل المنجز، حيث انه لم ينجز شغل ضد الاحتكاك لان السطح أملس،
- ولو أثرنا بقوة تعاكس اتجاه الحركة بحيث تؤدى إلى تباطؤ الجسم (انخفاض سرعته)، فإن طاقة حركة الجسم تصبح مساوية للشغل الذي أنجزته القوة المعاكسة،
- فالشغل المنجز هو مقياس لمقدار الطاقة التي يكتسبها الجسم عندما تؤثر عليه قوة اتجاهها في نفس اتجاه حركته،
- وعندما يكون اتجاه القوة معاكسا لاتجاه الحركة فان الطاقة الحركية التي يفقدها الجسم تظهر على شكل شغل في موضع أخر، حيث في كل الأحول:

$$\text{طاقة حركة الجسم} = \frac{١}{٢} \text{ك ع}^{٢}$$

(٤-٣-٤) طاقة الوضع:

هي الطاقة التي يمتلكها الجسم نتيجة وجوده في مجال جاذبية الأرض. فلو رفعت جسماً كتلته (ك) من نقطة ارتفاعها ($ف_{١}$) فوق سطح الأرض مثلاً إلى نقطة أخرى ارتفاعها ($ف_{٢}$) فوق سطح الأرض كما في الشكل (٤–٥)؛ فإنك تكون قد بذلت شغلاً مقداره:

الشغل = القوة × الإزاحة

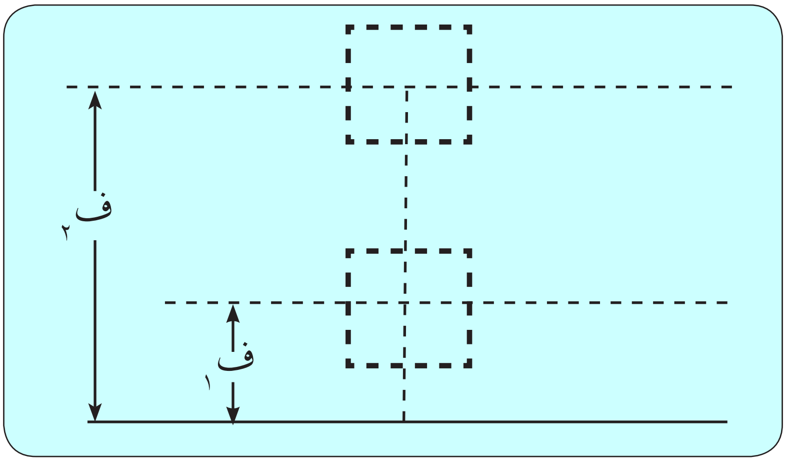
والقوة اللازمة لرفع الجسم رأسياً إلى أعلى تساوي وزنه (و) أي أن:

ق = و = ك د

كما أن اتجاه القوة هو نفس اتجاه الإزاحة المقطوعة.

$\therefore$ شغ = ك د ($ف_{٢}$ – $ف_{١}$)

$\therefore$ شغ = ك د $ف_{٢}$ – ك د $ف_{١}$



الشكل (٤ – ٥): رفع جسم من ف١ إلى ف٢ فوق سطح الأرض.

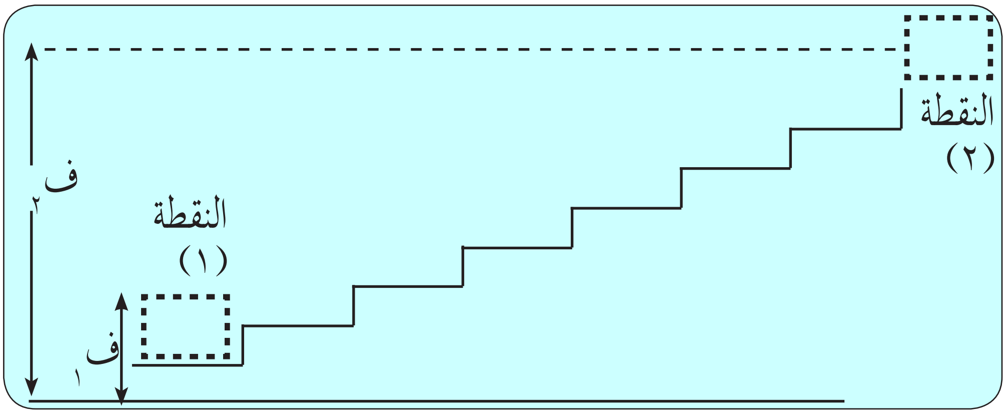
ويسمى المقدار (ك د ف) طاقة وضع ويساوي حاصل ضرب وزن الجسم في ارتفاعه فوق مستوى مرجعي.

المستوى المرجعي هو النقطة التي تعتبر عندها طاقة الوضع تساوي صفراً.

ولا يخضع اختيار المستوى المرجعي لأي قيد، فيمكن أن يختار سطح الأرض أو سطح البناية أو أي مستوى آخر بأن يكون مرجعاً حيثما أن يكون ذلك مناسباً في المسألة المعينة.

وذلك لأن الفرق في طاقة الوضع هو المهم من ناحية عملية، والفرق لا يتأثر باختيار المستوى المرجعي، ولرفع الجسم من نقطة إلى أخرى على مسار متعرج كما في الشكل(٤ –٦). أي بتحريكه من النقطة (١) أفقياً (من الشكل)مسافة صغيرة، ثم رأسياً مسافة صغيرة أيضاً ثم أفقياً ثم رأسياً

وهكذا إلى أن يبلغ الجسم النقطة (٢)، فإن المسار المتعرج لا يؤثر على مقدار الشغل المنجز وبالتالي لا يؤثرعلى مقدار طاقة الوضع المكتسبة. فإن الشغل المنجز في الخطوط الأفقية يساوي صفراً (لأن تأثير القوة في الاتجاه الرأسي، بينما اتجاه الحركة أفقي).



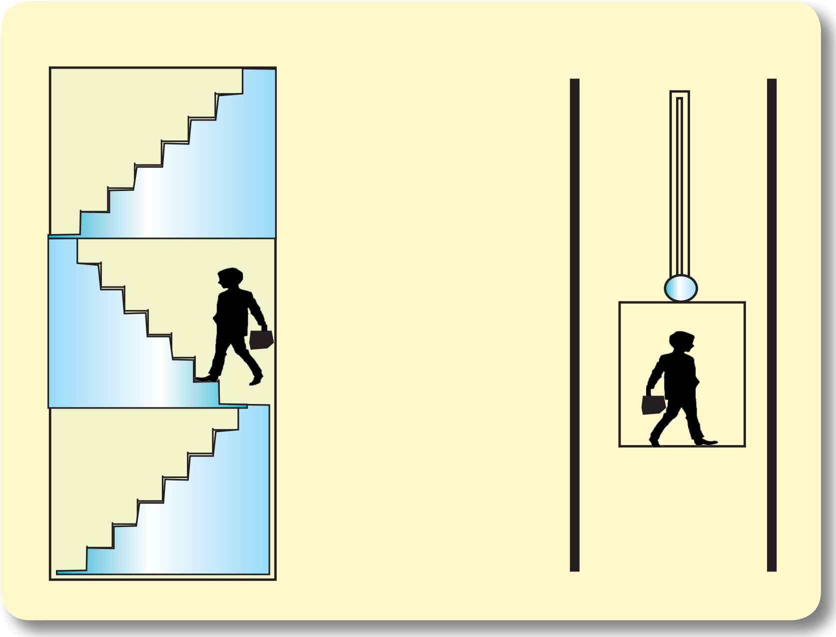
الشكل (٤–٦): جسم يتحرك إلى أعلى في مسار متعرج

عليه فإن الشغل الكلي يساوي الشغل المبذول في الخطوط الرأسية فقط، و الإزاحة الرأسية = (ف$_{٢}$ – ف$_{١}$) . وعليه يكون الشغل المبذول:

شغ = ك د (ف$_{٢}$ – ف$_{١}$)

ولذا فطبيعة المسار المتبع في نقل الجسم بين نقطتين لا يؤثر على مقدار الشغل المنجز.

وإنما الشغل المنجز يعتمد فقط على الفرق في الارتفاع بين النقطتين، والشغل المنجز هنا يساوي الزيادة في طاقة وضع الجسم. و يساوي طاقة الوضع مثلاً لرجل في سلم، أو لرجل في مصعد(بافتراض أن لهما نفس الكتلة) (انظر الشكل (٤–٧)).



الشكل (٤–٧): طبيعة المسار لا تؤثر على طاقة الوضع المكتسب

الطاقة الكامنة (طاقة الوضع)= ك د ف (٤–٧)

(٤-٣-٥) وحدة الطاقة:

بما أن الطاقة هي المقدرة على إنجاز الشغل، فإنها تقاس بوحدة الشغل وهي الجول كما ذكرنا سابقاً.

مثال(٨):

انطلق جسم كتلته ٠,٥ كجم بسرعة منتظمة مقدارها ٦م/ث. أحسب طاقته الحركية.

الحل

المعطيات: ك = ٠,٥ كجم ، ع = ٦م/ث

وعليه:

الطاقة الحركية= $\frac{١}{٢}$ ك ع٢

= $\frac{١}{٢}$ × ٠,٥ × ٦ × ٦ = ٩

∴ الطاقة الحركية = ٩ جول.

مثال(٩):

رفع جسم كتلته ٥٠ كجم لارتفاع ٥م. أحسب طاقة وضعه.

الحل

المعطيات: ك = ٥٠ كجم ، ف = ٥م، د = ٩,٨م/ث٢

وعليه:

طاقة الوضع = ك د ف

= ٥٠ × ٥ × ٩,٨ = ٢٤٥٠

∴ طاقة الوضع = ٢٥٤٠ جول.

مثال(١٠):

تتحرك سيارة كتلتها ٢٠٠٠ كجم بسرعة قدرها ٢٠ م/ث، وتبطئ من سرعتها إلى السكون على بعد ١٠٠م. ما متوسط قوة الاحتكاك التي تسبب إيقاف السيارة؟.

الحل

المعطيات ك = ٢٠٠٠كجم، ع ٢٠ م/ث ، ف= ١٠٠م.

∴ شغ = ق × ف

$$شغ = \frac{١}{٢} ك ع^{٢}$$

$$ق × ف = \frac{١}{٢} ك ع^{٢}$$

$$∴ ق × ١٠٠ = \frac{١}{٢} × ٢٠٠٠ × ٢٠ × ٢٠$$

$$ق = \frac{١}{٢} × \frac{٢٠٠٠ × ٢٠ × ٢٠}{١٠٠}$$

∴ ق = ٤٠٠٠

∴ قوة الاحتكاك = ٤٠٠٠ نيوتن.

تقويم ذاتي:

١ . ما أصل الطاقة التي تدار بها المولدات الكهربية في السدود.
٢ . ما الفرق بين طاقة الحركة والطاقة الكامنة.
٣ . استنتج معادلة طاقة الوضع من معادلة الشغل.
٤ . اذا بذل شخص شغلاً مقداره ١٠٠ جول في تحريك جسم ما.
ما مقدار الطاقة التي استنفذها؟.

(٤-٣-٦) تحولات الطاقة الميكانيكية:

لنفرض أن جسماً ما يتحرك ساقطاً نحو الأرض، أو صاعداً منها، بحيث يعبر في مساره على نقطتين على ارتفاع $ف_{١}$ ، $ف_{٢}$ من سطح الأرض وتكون سرعتاه $ع_{١}$ ، $ع_{٢}$ عندهما على التوالي.

بما أن تسارع الجاذبية منتظم

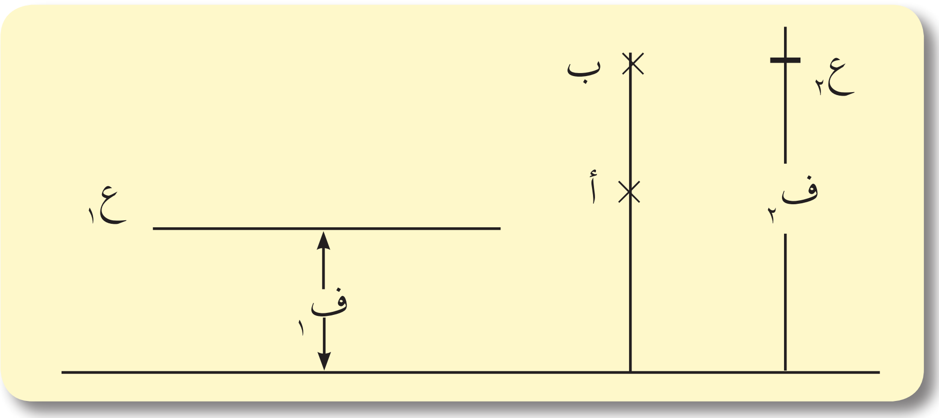
$$\therefore \frac{١}{٢} \text{ ك } (ع_{٢}^{٢} - ع_{١}^{٢}) = - \text{ ك د } (ف_{٢} - ف_{١})$$

$$\therefore \frac{١}{٢} \text{ ك } ع_{٢}^{٢} - \frac{١}{٢} \text{ ك } ع_{١}^{٢} = - \text{ ك د } ف_{٢} + \text{ ك د } ف_{١}$$

$$\therefore \frac{١}{٢} \text{ ك } ع_{١}^{٢} + \text{ ك د } ف_{١} = \frac{١}{٢} \text{ ك } ع_{٢}^{٢} + \text{ ك د } ف_{٢}$$

∴ (طاقة الحركة + طاقة الوضع) عند ب = (طاقة الحركة + طاقة الوضع) عند أ

أنظر الشكل (٤ – ٨):



الشكل (٤–٨): تحولات الطاقة الميكانيكية

وبما أن النقطتين (أ) ، (ب) غير محددتين، وتمثلان أي نقطتين على مسار

حركة الجسم فإن:

طاقة الحركة + طاقة الوضع = كمية ثابتة عند أي نقطة في المسار؛

فإذا سمينا (طاقة الحركة + طاقة الوضع) بالطاقة الكلية، فإنه يمكن كتابة هذا القانون رياضياً، ويسمى هذا القانون:

قانون بقاء الطاقة أو قانون حفظ الطاقة، وينص على أن.

الطاقة الكلية= كمية ثابتة

- فالشغل الذي تبذله قوة ما على الجسم يساوي مجموع التغير في طاقة وضع الجسم، والتغير في طاقة حركته، والطاقة المفقودة في شكل حرارة.
- أي أن الشغل يظهر على هيئة أشكال مختلفة للطاقة، ويساوي مقداره مجموع مقاديرها. ويسمى هذا أيضاً مبدأ حفظ (بقاء) الطاقة حيث أنه لا يفقد شيء من الشغل المبذول ، وإنما يظهر على هيئة أشكال مختلفة من الطاقة.
- فمثلاً إذا تحرك جسم ما إلى أعلى حتى بلغت سرعته صفراً على ارتفاع ف فإن طاقة حركته تصبح صفراً وتصبح الطاقة الكلية = ك د ف = طاقة الوضع.
- واضح أن طاقة الجسم تساوي الشغل المبذول الذي تحول إلى طاقة وضع؛ وكذلك إذا هبط الجسم من أقصى ارتفاع وصل إليه إلى نقطة البداية فان الإزاحة عند هذه النقطة تساوي صفراً أي أن طاقة الوضع تصبح صفراً.
- وتصبح الطاقة الكلية = الطاقة الحركية = $\frac{١}{٢}$ك ع$_{٢}$.
- ومن ذلك نرى أن الشغل يمكن أن يتحول إلى طاقة وضع، وهذه

يمكنها أن تتحول بدورها إلى طاقة حركة. ومعنى هذا أنه عند سقوط جسم ما تحت تأثير تسارع الجاذبية الأرضية تزيد طاقة حركته بينما تقل طاقة وضعه إلى أن يصل إلى سطح الأرض، فتنعدم طاقة الوضع وتتحول كل الطاقة إلى طاقة حركة.

مثال(١١):

قذف حجر إلى أعلى بسرعة ٩٠م/ث. مستخدماً قانون بقاء الطاقة أحسب أعلى ارتفاع يصل إليه الحجر(د = ١٠ م/ ث^{٢}).

الحل

المعطيات: ع = ٩٠م/ث، (د = ١٠ م/ ث^{٢}

∴ $\frac{١}{٢}$ ك ع^{٢} = ك د ف

∴ $\frac{١}{٢}$ ع^{٢} = د ف

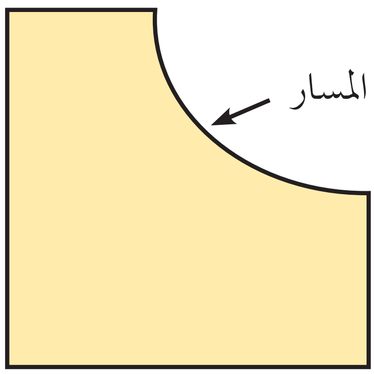
∴ $\frac{١}{٢}$ × ٩٠ × ٩٠ = ١٠ ف

∴ ف = $\frac{٩٠ \times ٩٠}{٢ \times ١٠}$ = ٤٠٥

∴ أعلى ارتفاع = ٤٠٥ م

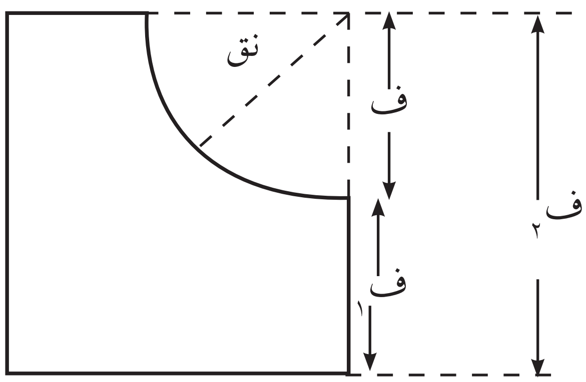
مثال (١٢):

ينزلق جسم على مسار أملس ربع دائري كما موضح في الشكل التالي، نصف قطره (نق). أحسب سرعة الجسم عند نهاية المسار.



الحل:

المعطيات: ف = نق



لا توجد قوة خارجية تؤثر على الجسم، لذلك لا يوجد شغل خارجي لأنه لا يوجد احتكاك بين الجسم والمسار الأملس أي أن الشغل ضد الاحتكاك يساوي صفراً.

التغير في طاقة حركة الجسم = $\frac{١}{٢}$ ك ع^{٢} − صفر

التغير في طاقة وضع الجسم = صفر − ك د ف

∵ ف = نق

∴ التغير في طاقة الوضع = صفر − ك د نق

وحسب قانون حفظ الطاقة ينتج أن:

الشغل = التغير في طاقة الحركة + التغير في طاقة الوضع

صفر = ($\frac{١}{٢}$ ك ع$_{٢}$ − صفر) + (صفر − ك د نق)

∴ $\frac{١}{٢}$ ك ع^{٢} = ك د نق

∴ ع^{٢} = ٢ د نق

∴ ع = $\sqrt{\text{٢ د نق}}$

مثال(١٣):

أطلقت قذيفة كتلتها نصف كجم من الأرض رأسياً إلى أعلى. فوصلت إلى ارتفاع ١٠ م مع إهمال مقاومة الهواء واعتبار د = ١٠ م/ث^{٢}، أحسب مجموع الطاقة الكلية:

أ. عند أقصى ارتفاع

ب. عند ارتفاع ٥م.

جـ. عند مستوى سطح الأرض.

الحل

المعطيات: ف$_{١}$ = ١٠م، ف$_{٢}$ = ٥م، ف$_{٣}$ =صفر،

د = ١٠م/ث^{٢}، ك = $\frac{١}{٢}$كجم، ع$_{.}$ = صفر

وعليه:

(أ) عند أقصى ارتفاع: ف = ف$_{١}$ = ١٠م

طاقة الحركة = $\frac{1}{2}$ك ع^{2} = $\frac{1}{2}$ × $\frac{1}{2}$ × صفر = صفر

طاقة الوضع = ك د ف$_{1}$ = $\frac{1}{2}$ × ١٠ × ١٠ = ٥٠

الطاقة الكلية = طاقة الوضع + طاقة الحركة

= صفر + ٥٠ = ٥٠

∴ الطاقة الكلية = ٥٠ جول

(ب) عند ارتفاع ٥م ، ف = ف$_{2}$ = ٥م، ع$_{2}$ = صفر

ع$_{1}^{2}$ = ٢ د ف$_{2}$

∴ ع$_{1}^{2}$ = ٢ × ١٠ × ٥ = ١٠٠

طاقة الحركة = $\frac{1}{2}$ك ع$_{1}^{2}$ = $\frac{1}{2}$ × $\frac{1}{2}$ × ١٠٠ = ٢٥

طاقة الوضع = ك د ف$_{2}$ = $\frac{1}{2}$ × ١٠ × ٥ = ٢٥

الطاقة الكلية = طاقة الوضع + طاقة الحركة

= ٢٥ + ٢٥ = ٥٠

∴ الطاقة الكلية = ٥٠ جول

(جـ) عند مستوى سطح الأرض ف$_{3}$ = صفر

∴ ع$_{1}^{2}$ = ٢ × ١٠ × ١٠ = ٢٠٠

طاقة الحركة = $\frac{1}{2}$ك ع$_{2}$ = $\frac{1}{2}$ × $\frac{1}{2}$ × ٢٠٠ = ٥٠

طاقة الوضع = ك د ف = ك × صفر = صفر

الطاقة الكلية = طاقة الوضع + طاقة الحركة

= صفر + ٥٠ = ٥٠

∴ الطاقة الكلية = ٥٠ جول

∴ الطاقة الكلية = مقداراً ثابت

مثال(١٤):

أطلقت رصاصة كتلتها ٤٠جم بسرعة أفقية مقدارها ١٩٠م/ث على حاجز خشبي رأسي ثابت. فقاصت فيه مسافة ٢٠سم. أحسب مقدار قوة مقاومة الخشب التي لاقتها الرصاصة بفرض أن المقاومة ثابتة.

الحل

المعطيات: ك = ٤٠جم = ٠,٠٤كجم ، ف = ٢٠سم = ٠,٢م

طاقة حركة الرصاصة الابتدائية:

$$\frac{١}{٢} \text{ك ع}^{٢} = \frac{١}{٢} \times ٠,٠٤ \times (١٩٠)^{٢} = ٧٢٢$$

∴ الطاقة = ٧٢٢

∴ الشغل المبذول بالمقاومة = التغير في الطاقة الحركية

$$\therefore -\text{ق ف} = \text{صفر} - \frac{١}{٢}\text{ك ع}^{٢}$$

ملحوظة: علامة الشغل بالسالب لأن إنجازه تم في عكس إتجاه قوة المقاومة.

$$\therefore \text{ق} \times \frac{٧٢٢}{٠,٢} = ٣٦١٠$$

∴ قوة مقاومة الحاجز = ٣٦١٠ نيوتن

تقويم ذاتي:

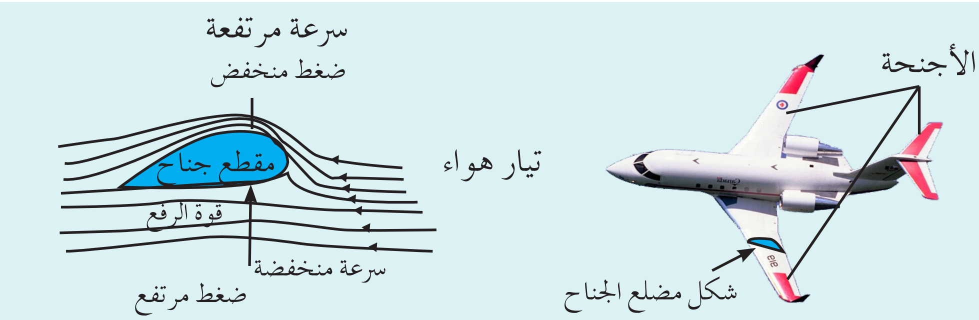
١. ما هي تحولات الطاقة الميكانيكية لطفل يتأرجح بإرجوحة؟.
٢. إذا كانت طاقة الوضع تقاس بالجول فما هي وحدة قياس طاقة الحركة؟.
٣. رفع شخص جسماً كتلته ٢كجم من الأرض إلى سطح منضدة ارتفاعها ٠,٨م. ما مقدار طاقة وضع الجسم؟.(د = ١٠ م/ث^{٢})
٤. جسم كتلته ١٥٠ كجم على ارتفاع ٣٠م من سطح الأرض. أحسب طاقة حركته عندما يصل سطح الأرض؟.(د = ١٠ م/ث^{٢})

(٤ - ٥) قاعدة بيرنولي:

- تعتبر الطائرات من أسرع وسائل النقل لأنها تنقلك في سويعات معدودة إلى المكان الذي تقصده، عندما تقلع الطائرة فإنها تتحرك بسرعة من مدرج المطار لترتفع بعدها رويداً رويداً محلقة في الهواء بحمولتها الضخمة.
- تعتبر القوة التي ترفع الطائرات إلى أعلى من أهم مكتشفات العلم، حيث استفاد الإنسان من مخلوقات الله، فصمم جناح الطائرة بشكل انسيابي يشبه جناح الطائر حيث يعمل هذا الشكل على مساعدة الطائر على الطيران لفترات طويلة.
- صممت أجنحة الطائرات بحيث تعمل الأجنحة في الهواء على رفع الطائرة، ثم الطيران على ارتفاعات مختلفة لمسافات طويلة.
- الشكل (٤–١٩) يوضح مقطع عرضي لجناح طائرة شكله انسيابي

بحيث يكون ضغط الهواء الذي يمر أعلى الجناح أقل، بينما يكون الضغط أسفل الجناح أكبر.

- لأن الضغط الهواء أسفل جناح الطائرة أعلى من ضغط الهواء أعلى جناح الطائرة، يتولد ما يعرف بقوة الرفع التي ترفع الجناح الذي يرفع معه الطائرة إلى أعلى.



الشكل(٤-٩): قوة الرفع على جناح الطائرة ناتجة عن الفرق في الضغط

- القاعدة التي تفسر وجود قوة الرفع الناتجة عن الفرق في الضغط، استنتجها وصاغها العالم بيرنولي في العام ١٧٣٧ م، وتعرف الآن بقاعدة بيرنولي.
- استفاد بيرنولي من قانون حفظ الطاقة الذي ينص على أن:

الطاقة الكلية لأي جسم = قيمة ثابتة (٤ - ٨)

- في حالة الموائع (السوائل أو الغازات)، تكون الطاقة الكلية مكونة من مجموع ثلاث طاقات، أي:

الطاقة الكلية = طاقة الوضع + طاقة الحركة + طاقة الضغط

- الشكل (٤-٢٠) يوضح سائل في أنبوب مساحة مقطعه الأسفل إلى اليسار س١ كبيرة بينما مساحة مقطعه الأعلى س٢ صغيرة. هذا

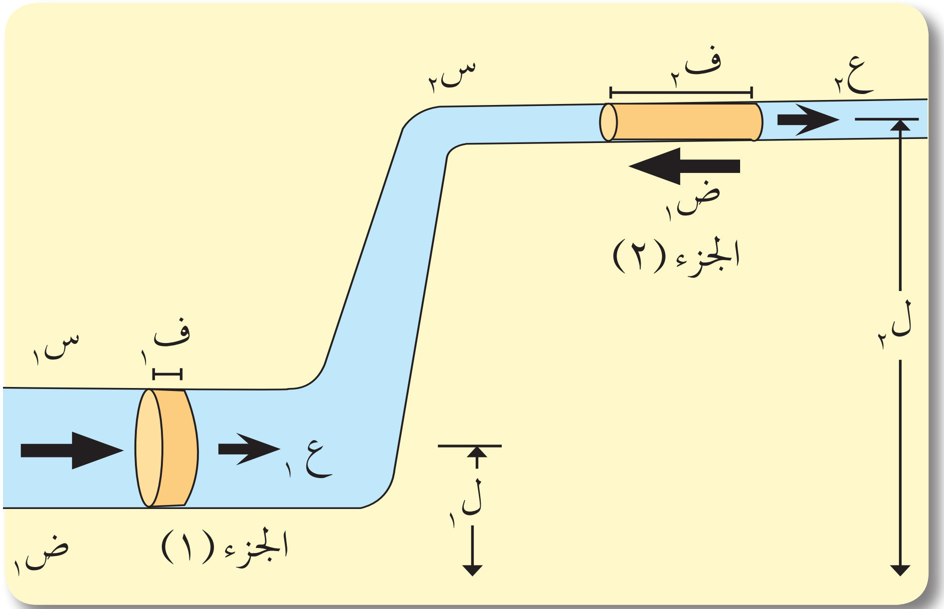
السائل يتحرك من الجزء الأسفل (١) ، إلى الجزء الأعلى (٢).

- **وبما أن الطاقة الكلية محفوظة فإن:**

طاقة السائل في الجزء (١)الأسفل=طاقة السائل في الجزء(٢)الأعلى. (١)

طاقة (الحركة+الوضع+ الضغط) في الجزء(١) =

طاقة (الحركة+الوضع+ الضغط) في الجزء (٢) .... (٢)



الشكل (٤ – ١٠): الطاقة في الجزء (١) تساوي الطاقة في الجزء (٢)

- **ما هي طاقة الضغط؟**

طاقة الضغط يمكن استنتاجها من الشغل المبذول أثناء حركة السائل.

ففي الجزء (١) كمية السائل التي تحركت هي التي مساحة مقطعها $س_١$ وعرضها $ف_١$؛ أي حجمها $ح_١ = س_١ \times ف_١$ وعليها الضغط $ض_١$ في اتجاه السرعة $ع_١$.

نفس هذه الكمية من السائل وبنفس الحجم تتحرك في الجزء (٢) إلى اليمين بالسرعة $ع_٢$ ويكون ضغطها $ض_٢$ في الاتجاه المعاكس المقاوم للحركة. في

هذه الحالة يكون الحجم في الجزء (٢) هو :

$$ح_٢ = س_٢ × ف_٢ = ح_١ = س_١ × ف_١ = ح$$

الشغل المبذول بوساطة الضغط لتحريك هذا الحجم ح من السائل

= القوة ق × المسافة ف

لكن القوة الناتجة عن الضغط فهي الضغط × المساحة (لأن الضغط هو القوة في المتر المربع، أي ض = ق/س)

ق = ض × س

وبما أن الشغل = القوة × المسافة

الشغل: شغ = ض × س × ف

ولكن الحجم ح = س × ف

شغ = الضغط × الحجم = ض × ح

وبما أن الطاقة هي المقدرة على بذل شغل، فإن شغ أعلاه هي طاقة الضغط.

طاقة الضغط = ض × ح

– طاقة الضغط في الجزء (١) = $ض_١ × ح_١$ (٣ أ)

طاقة الضغط في الجزء (٢) = $ض_٢ × ح_٢$ (٣ ب)

- **طاقة الحركة وطاقة الوضع:**

لقد استنتجنا في القسم (٤–٣) كل من الشغل وطاقة الحركة وطاقة الوضع.

وبناءً على ما عرفناه، فإن:

طاقة الحركة في الجزء(١) = $\frac{١}{٢}$ ك $ع_١^٢$ (٤ أ)

طاقة الحركة في الجزء (٢) = $\frac{١}{٢}$ ك $ع_٢^٢$ (٤ ب)

وكذلك:

طاقة الوضع في الجزء (١) = ك × د × $ل_١$ (٥ أ)

طاقة الوضع في الجزء (٢) = ك × د × $ل_٢$ (٥ ب)

- **قاعدة بيرنولي:**

أساسها قانون حفظ الطاقة: والذي منه حسب المعادلة (٢)
طاقة (الحركة+الوضع+ الضغط) في الجزء (١) =
طاقة (الحركة+الوضع+ الضغط) في الجزء (٢)
وعليه من المعادلات (٣) و(٤) و (٥) نجد أن:

$$\frac{١}{٢} ك\, ع_١^{٢} + ك \times د \times ل_١ + ض_١ \times ح_١ = \frac{١}{٢} ك\, ع_٢^{٢} + ك \times د \times ل_٢ + ض_٢ \times ح_٢$$

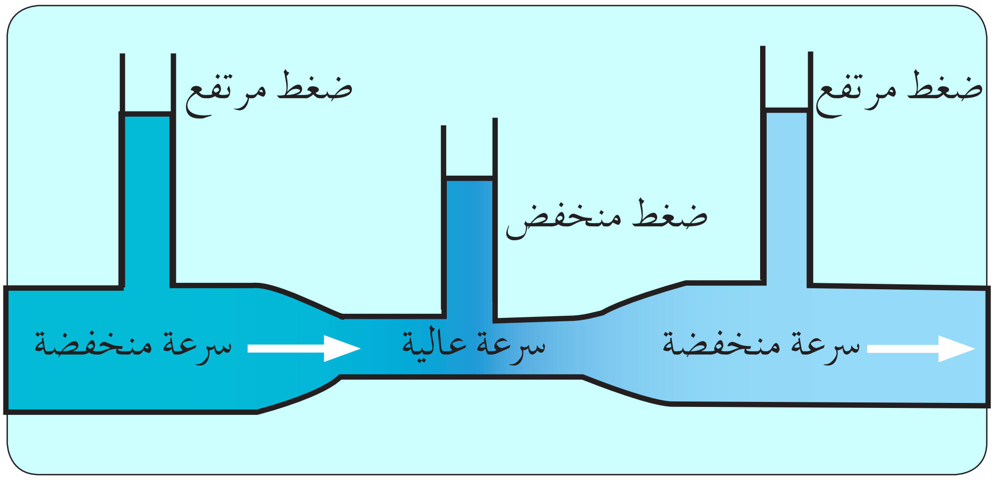
بطرح الجانب الأيسر من الجانب الأيمن:

$$\frac{١}{٢} ك \times (ع_١^{٢} - ع_٢^{٢}) + ك \times د \times (ل_١ - ل_٢) + (ض_١ \times ح_١ - ض_٢ \times ح_٢) = صفر \quad (٦)$$

أي أن الفرق في الطاقة بين الجزئين = صفر، أي أن قيمة الطاقة ثابتة، أي هي نفسها في الجزئين، وهو قانون حفظ الطاقة الذي طبقناه منذ البداية.
المعادلة (٦) يمكن كتابتها كالآتي:

$$\boxed{\frac{١}{٢} ك \times ع^{٢} + ك \times د \times ل + ض \times ح = ثابت}$$

ويسمى هذا القانون بقاعدة بيرنولي؛ وهذا يعني أنه إذا زادت سرعة المائع في نقطة ما فإن الضغط يقل في تلك النقطة، لأن مجموع ما في المعادلة ثابت (أنظر الشكل (٤-١١)).



الشكل (٤–١١) ضغط المائع ينخفض بزيادة السرعة

الشكل (٤–١١) يوضح أنبوب مساحة مقطع الجزء الأوسط صغير. ولأن قانون الاستمرارية في السوائل فإن نفس كمية السائل تمر في كل المقاطع في نفس الزمن. هذا يعني أن سرعة السائل في الوسط أعلى من سرعة السائل في الجانبين. وبما أنه حسب معادلة بيرنولي يقل الضغط بزيادة السرعة ويزيد الضغط عندما تقل السرعة.

مثال(١٥):

أفرض أن سرعة انسياب الماء عند (ب) هي ٢م/ث وسرعة انسياب الماء عند (أ) و هي ٠,٢م/ث، ما الفرق في الضغط عند (أ) والضغط عند (ب) علماً بأن كثافة الماء = ١٠٠٠ كجم / م^{٣}.

الحل

المعطيات:

ع$_{١}$ = ٠,٢ م/ث، ع$_{٢}$ = ٢م/ث، كث = ١٠٠٠كجم/م^{٣}

$$\text{ض}_{١} + \frac{١}{٢}\text{ع}_{١}^{٢}\text{كث} = \text{ض}_{٢} + \text{ع}_{٢}^{٢}\text{كث}$$

$$\text{ض}_{١} - \text{ض}_{٢} = \frac{١}{٢}\text{ع}_{٢}^{٢}\text{كث} - \frac{١}{٢}\text{ع}_{١}^{٢}\text{كث}$$

$$\text{ض}_{١} - \text{ض}_{٢} = \frac{١}{٢}\text{ك د}\,(\text{ع}_{٢}^{٢} - \text{ع}_{١}^{٢})$$

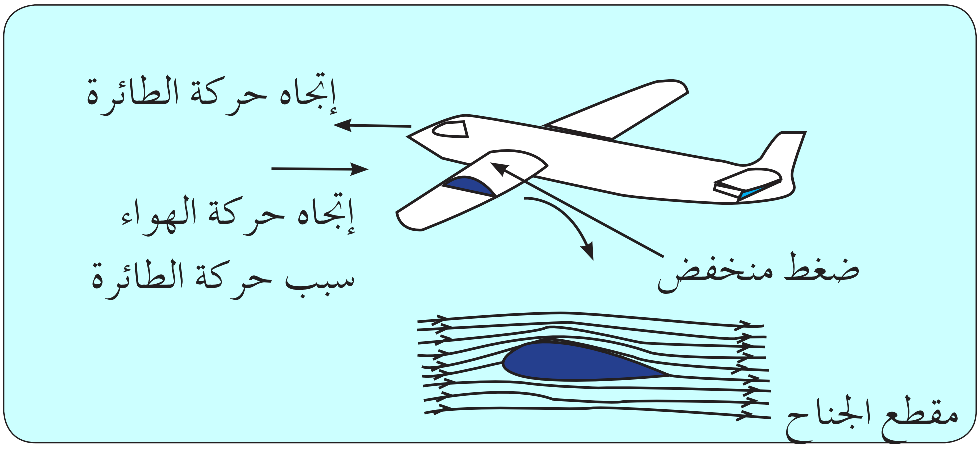
$$\text{ض}_{١} - \text{ض}_{٢} = \frac{١}{٢} \times ١٠٠٠\,\text{د}\,\left((٢)^{٢} - (٠{,}٢)^{٢}\right)$$

$$\text{ض}_{١} - \text{ض}_{٢} = ٥٠٠ \times ٣{,}٩٦ = ١٩٨٠$$

∴ الفرق بين الضغط عند (أ) والضغط عند (ب) = ١٩٨٠ نيوتن/م^{٢}

لمعادلة بيرنولي تطبيقات مفيدة جداً،

- فقد لاحظ العلماء أن الطيور في الهواء تظل محلقة لا يرفرف جناحيها فقط ولكن لأن الخالق صمم جناحيها بحيث تكون سرعة الهواء من أعلى الجناح أقل من سرعته أسفل الجناح. وهذا يعني حسب معادلة بيرنولي أن ضغط الهواء أعلى الجناح أقل من ضغط الهواء أسفل الجناح وهذا الفرق في الضغط يجعل الطائر يرتفع،
- ولقد قام العلماء بتصميم أجنحة الطائرات بحيث يكون الضغط أعلى الجناح أقل من الضغط أسفل الجناح حتى تتمكن الطائرات من الارتفاع بفضل هذا الفرق في الضغط. أنظر الشكل (٤–١٢)



الشكل (٤–١٢) الضغط أعلى جناح الطائرة أقل من الضغط أسفل جناح الطائرة

مثال١٦:

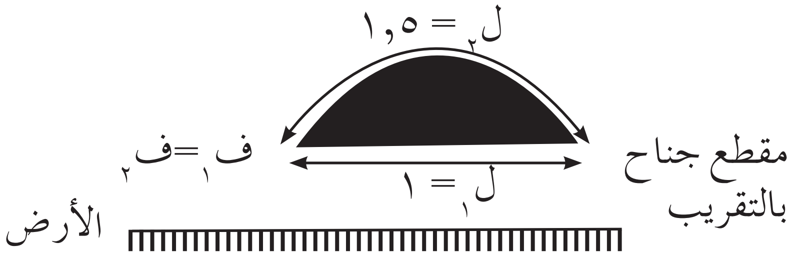
طائرة نفاثة طول الجزء الأعلى من الجناح ١,٥ م وطول الجزء الأسفل متراً واحداً فإذا كان الهواء يستغرق ٠,٠٠١ ث للمرور عبرها، فأحسب فرق الضغط بين أسفل وأعلى الجناح، معتبراً أن أسفل الجناح وأعلى الجناح على ارتفاع واحد.

الحل:

المعطيات:

$ل_٢ = ١,٥$ م ، $ل_١ = ١$م ، ن = ٠,٠٠١ ث

مقطع جناح الطائرة



طول الجزء الأعلى من الجناح = $ل_٢ = ١,٥$ م

$$ع_١ = \frac{ل_١}{ن} = \frac{١}{٠,٠٠١} = ١٠٠٠ م/ث$$

$$ع_٢ = \frac{ل_١}{ن} = \frac{١,٥}{٠,٠٠١} = ١٥٠٠ م/ث$$

من قاعدة بيرنولي

$$\frac{ع_١^٢}{٢د} + \frac{ض_٢}{د ث} + ف = ثابت$$

$$\therefore \frac{ع_٢^٢}{٢د} + \frac{ض_٢}{د ث} + ف = \frac{ع_١^٢}{٢د_١} + \frac{ض_١}{د ث} + ف$$

$$\frac{ع_٢^٢}{٢د} = \frac{ع_١^٢}{٢د_١} = \frac{ض_١}{د ث} - \frac{ض_٢}{د ث}$$

$$\therefore \frac{(١٥٠٠)^٢}{٢ د} - \frac{(١٠٠٠)^٢}{٢ د} = \frac{ض_١ - ض_٢}{ث د}$$

$$\therefore ض_١ - ض_٢ = \frac{(١٥٠٠)^٢ - (١٠٠٠)^٢}{٢} \times ث$$

$$\therefore ض_٢ - ض_١ = ١٢٥٠٠٠٠ ث$$

$\therefore$ الضغط أسفل الجناح (ض$_٢$) أكبر من الضغط أعلى الجناح (ض$_١$) لذا تطير الطائرة.

مثال١٧:

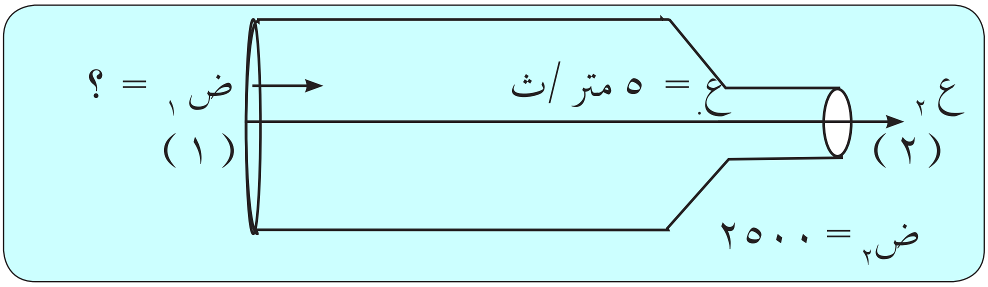
أنبوبة أفقية نصف قطر أحد مقطعها ٤ سم ونصف قطر المقطع الآخر ٢سم. فإذا كانت سرعة الماء في المقطع الأول ٥م/ث وضغط الماء في المقطع الثاني ٢٥٠٠ نيوتن/ م^{٢}، فأحسب سرعة الماء عند المقطع الثاني وضغط الماء عند المقطع الأول. علماً بأن كثافة الماء ١٠^{٣} كجم/م^{٣}.

الحل:

المعطيات:

نق$_{١}$ = ٤سم = ٤ × ١٠$^{-٢}$م، نق$_{٢}$ = ٢سم = ٢ × ١٠$^{-٢}$م، ع$_{١}$ = ٥م/ث،

ض$_{٢}$ = ٢٥٠٠ نيوتن/م^{٢}



كتلة الماء المنسابة عبر المقطع (١) = كتلة الماء المنسابة عبر المقطع (٢)

∴ الكثافة × المساحة × السرعة عند (أ) = الكثافة × المساحة × السرعة عند (ب)

كث × Π نق$_{١}$^{٢} ع$_{١}$ = كث × Π نق$_{٢}$^{٢} ع$_{٢}$

نق$_{١}$^{٢} ع$_{١}$ = نق$_{٢}$^{٢} ع$_{٢}$

$$\therefore ع_{٢} = \frac{نق_{١}^{٢}\, ع_{١}}{نق_{٢}^{٢}} = \frac{(٤\times١٠^{-٢})^{٢}\times ٥}{(٢\times١٠^{-٢})} \quad \therefore ع_{٢} = ٢٠م/ث$$

وبما أن الارتفاع في النقطتين واحد

∴ ف = ف$_{١}$ = ف$_{٢}$

بالتعويض في معادلة بيرنولي للمقطعين (١)و(٢) نحصل على:

$$\frac{ع^{٢}}{٢\,د} + \frac{ض_{٢}}{كث\,د} = \frac{ع^{٢}_{١}}{٢\,د} + \frac{ض_{١}}{كث}$$

$$\frac{ع^{٢}_{٢} - ع^{٢}_{١}}{٢} = \frac{ض_{١} - ض_{٢}}{كث}$$

$$كث \times \frac{ع^{٢}_{٢} - ع^{٢}_{١}}{٢} = ض_{١} - ض_{٢}$$

$$ض_{١} = \frac{ع^{٢}_{٢} - ع^{٢}_{١}}{٢} + ض_{٢}$$

$$ض_{١} = ١٠٠٠ \times \left(\frac{٢٠^{٢} - ٥^{٢}}{٢} \right) + ٢٥٠٠$$

$$ض_{١} = ٥٠٠ \times ٣٧٥ + ٢٥٠٠$$

$$ض_{١} = ١٨٧٥٠٠ + ٢٥٠٠ = ١٩٠٠٠٠$$

∴ الضغط عند المقطع الأول = ١٩٠٠٠٠ نيوتن/ م^{٢}

تقويم ذاتي:

١. اذكر قانون حفظ الطاقة؟.

٢. لماذا تتحرك الطائرة بسرعة كبيرة في مدرج المطار قبل أن تقلع؟.

تمرين :

١.عربة كتلتها ١٠٠كجم تسير بسرعة ٦٠كلم/الساعة. أحسب طاقة حركتها. كم مرة تتضاعف طاقة حركتها لو ازدادت سرعتها إلى ١٢٠ كم/ساعة؟.

الإجابة (١٣٨٨٨,٩ جول ، ٤ مرات)

٢. مصعد كتلته ٦٠٠ كجم ارتفع للدور الرابع في عمارة. أحسب طاقة الوضع لهذا المصعد عند هذا الدور الذي يعلو الطابق الأرضي بمسافة ١٢ متراً(طاقة الوضع عند الدور الأرضي = صفراً)،(د = ١٠متر/ث^{٢}).

(٧٢٠٠٠٠جول)

٣. عربة تسحبها قوة مقدارها (٤٠٠٠) نيوتن بسرعة ٥م/ث وتحتاج العربة إلى ٥ دقائق حتى تصل إلى المكان المحدد. أحسب الشغل المبذول، ثم أحسب الزمن اللازم حتى تصل العربة إلى نفس المكان لو كانت تسير بسرعة ٢,٥ م/ث. (٦ × ١٠^{٦} جول ، ١٠ دقائق).

٤. برهن على أن الشغل المنجز على جسم يساوي التغير في طاقته الحركية.

٥. ماكينة حفر ترفع ٤٨ طناً من التراب إلى ارتفاع مترين في مدة دقيقتين. أحسب قدرة هذه الماكينة بالكيلوواط .(د =١٠ م/ث)(٨ كيلوواط)

٦. مضخة بنزين ترفع البنزين من عمق ٦ أمتار، وتضخه بمعدل ٢٠ لتراً في الدقيقة. فإذا علمت أن كتلة اللتر الواحد من البنزين تساوي ٠,٧ كجم. فما قدرة هذه المضخة؟.(١٣,٧٢ واط)

٧. إذا كنت تركب دراجة كتلتها ٢٠ كجم، وكانت كتلة جسمك ٥٠ كجم، وسرعة الدراجة ١٠ كم/ساعة. فما هي الطاقة الحركية لجسمك مع الدراجة؟. (٢٧٠ جول)

٨. صعد رجل وزنه ٧٠٠ نيوتن على سلم إلى ارتفاع ٥ أمتار. ما الشغل الذي أنجزه؟.

٩. صندوق كتلته ٥٠ كجم. أردنا رفعه إلى ارتفاع ١,٥ متراً. ما مقدار الشغل الذي تنجزه إذا علمت أن تسارع الجاذبية ٩,٨ م/ث/ث.
(٧٣٥ جول)

١٠. يسحب رجل جسماً كتلته ١٠ كيلوجرام إلى أرض أفقية بقوة مقدارها ٥٠ نيوتن، اتجاهها يكوّن زاوية قدرها ٦٠° مع سطح الأرض. إذا أهملنا الاحتكاك بين الجسم والأرض.

أ. فما هو تسارع الجسم؟. (٢,٥ م/ث٢)

ب. أحسب الشغل الذي ينجزه الرجل خلال ١٠ ثوان إذا تحرك من السكون. (٣١٢٥ جول)

١١. قذف حجر عمودياً إلى ارتفاع ٢٥٦ م. مستعيناً بقانون حفظ الطاقة احسب السرعة التي قذف بها الحجر (د=٩,٨م/ث٢). (الإجابة ٧٠,٨٣ م/ث)

١٢. أشرح ما المقصود بالطاقة الحركية وطاقة الوضع ثم اذكر تطبيقاً مفيداً لكل.

١٣. ولد كتلته ٧٥ كجم تسلق سلالم يبلغ في ارتفاعها ١٢,٦ م في ٢٨ ثانية. ما قدرته التي ؟ (٣٣٠،٧٥ واط)

١٤. طائرة عرض سطح جناحها العلوي ٢ م وعرض سطح جناحها السفلى ١،٤ م. فإذا استغرق الهواء زمن قدرة ٠٠٠٠١، ٢٠ ليمر من مقدمة الجناح إلى مؤخرته.

فأحسب الفرق في الضغط بين السطحين؟ (١٠٢×١٠^{٦} ث نيوتن/م٢)

١٥. خرطوم ماء دائري نصف قطر مقطعه ٩,٥ سم، ينساب فيه الماء

بسرعة ٥ م/ث. ونصف قطر مقطع فوهته ٨، سم. فإذا كان الضغط عند الفوهة يساوي ٢٠٠٠ نيوتن/م٢ . أحسب سرعه انسياب الماء عند الفوهة، و الضغط في داخل الخرطوم، علماً بأن كثافة الماء ١٠ ٣ كجم/م٢ .

(١٩٩٩٦٥,٢ نيوتن/م٢ ، ع = ٧٠٥ م/ث)

١٦. ينساب ماء خلال ماسورة أفقية بمعدل ١ م٣/دقيقة. أحسب سرعة انسياب الماء عند نقطة في الماسورة إذا كان القطر:

(أ) ١سم (٥٣م/ث)

(ب) ٢سم (١٣,٢٥م/ث)

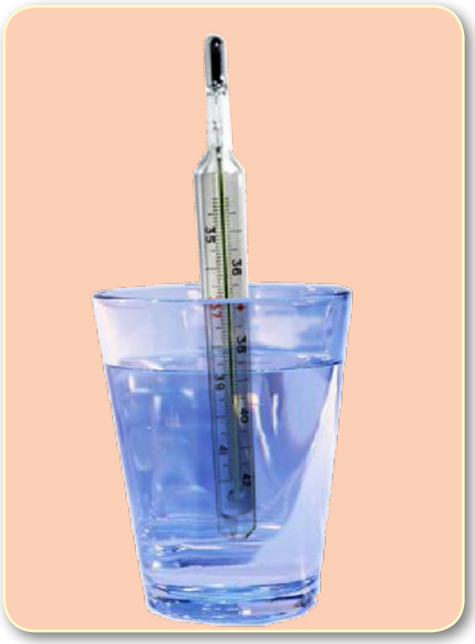
(جـ) ٤سم (٣,٣ م/ث)

١٧. ينساب الماء داخل نظام مغلق من المواسير. وكانت سرعة الماء في إحدى النقاط ٩م/ث بينما كانت ١,٢ م/ث في نقطة أخرى تقع على ارتفاع ١٠ م من النقطة الأولى. فإذا كان الضغط عند النقطة الأولى يساوي ٥٠٠٠ نيوتن/ م٢. أحسب قيمة الضغط عند النقطة العليا .

(٧,٣٥٠٠ نيوتن/م٢)

الوحدة الخامسة

الحرارة وقانونا الديناميكا الحرارية



اهداف الوحدة:

بعد دراستك أيها الطالب لهذه الوحدة تستطيع أن:

١) توضح :الانصهار ، التجمد ، الغليان ،والتكثف كعمليات تحويل للطاقة دون تغيير في درجة الحرارة

٢)تعرف مصطلحات : الحرارة الكامنة، الحرارة الكامنة النوعية، القانون الاول للديناميكا الحرارية القانون الثاني للديناميكا الحرارية

٣) تستقصي الحرارة الكامنة للانصهار.

٤) ترسم وتفسر منحني التبريد.

٥) تميز بين الغليان والتبخر.

٦) تطبق مسائل رياضية خاصة بهذه الوحدة

(٥ – ١) مقدمة :

في الصف الأول عندما تحدثنا عن طبيعة الحرارة ذكرنا أن الحرارة تعبر عن طاقة حركة جزيئات المادة. وعندما نقوم بتسخين جسم بموقد فإن سخونة الجسم ودرجة حرارته تزيد نتيجة لزيادة طاقة حركة الجزيئات.

وتسمى كمية الطاقة التي يزود بها الموقد الجسم كله – ليزيد طاقة حركة كل جزيئات الجسم – بكمية الحرارة. وتعتمد كمية الحرارة اللازمة لتسخين جسم ما على كتلة الجسم. فإذا كانت كتلته كبيرة فإنه يحتوي على جزيئات كثيرة لذا فهو يحتاج لطاقة أكبر وبالتالي كمية حرارة أكبر لتسخينه لنفس درجة الحرارة.

وإذا أردنا أن نزيد درجة حرارة الجسم فإننا نحتاج لكمية حرارة أكبر ؛ لأن زيادة درجة حرارة الجسم تستلزم زيادة طاقة حركة كل جزيء فيه، وهذا يتطلب طاقة حرارية أكبر.

ويمكن فهم العلاقة بين درجة الحرارة وكمية الحرارة بدراسة العلاقة بين كمية الماء وارتفاع الماء في إناء مثلاً ؛ فإذا وضعنا كمية من الماء في إناء زجاجي مجوف قطره صغير فإن ارتفاع الماء يكون كبيراً. أما إذا وضعنا نفس هذه الكمية في إناء قطره أكبر فإن ارتفاع الماء يكون أقل. فكمية الحرارة تماثل هنا كمية الماء، بينما درجة الحرارة تماثل ارتفاع الماء في الاناء.

ولكن ما العلاقة بين كمية الحرارة ودرجة الحرارة وكمية المادة؟ للاجابة على ذلك دعنا نجري التجربتين الموضحتين في النشاطين التاليتين. ففي النشاط الأول سنحدد العلاقة بين كمية الحرارة والتغير في درجة الحرارة، بينما في النشاط الثاني سنحدد العلاقة مع كتلة المادة.

النشاط (١–٥):

العلاقة بين كمية الحرارة وبين التغير في درجة حرارة المادة:

الأدوات : ماء ساخن في إناء (صبارة شاي أو كفتيرة شاي مثلاً)، كوب زجاجي (كوب شاي مثلاً) ، تيرمومتر ، ساعة لضبط الزمن.

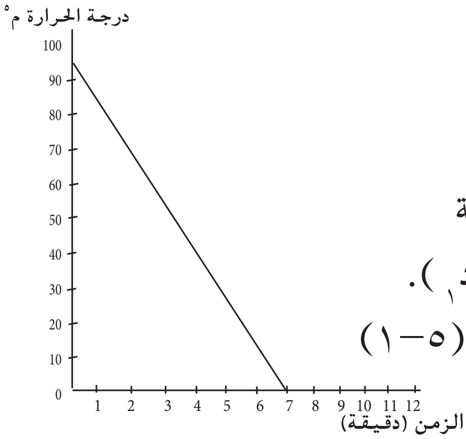
الخطوات: ضع كمية من الماء (١٥٠جم مثلاً) باحتراس دون تعريضها للتيارات الهوائية حتى لا تبرد بسرعة في كوب شاي مثلاً [شكل(٥ – ١)]. إقرأ درجة حرارة الماء بواسطة ترمومتر لأقرب رقم عشري. انتظر دقيقة مع تحريك الماء باستعمال التيرمومتر، ثم أقرأ درجة حرارة الماء بالترمومتر مرة أخرى، ثم أحسب الإنخفاض في درجة حرارة الماء (Δ د° ، تنطق دِلْتَا دال).

انتظر دقيقة أخرى وأقرأ درجة الحرارة مرة أخرى، وأحسب الإنخفاض في درجة حرارة الماء عن الدرجة الأصلية. كرر العمل عدة مرات وسجل النتائج في جدول.

الشكل (٥– ١): تجربة لتوضيح العلاقة بين كمية الحرارة والتغير في درجة الحرارة

إذا رسمنا بيانياً العلاقة بين الارتفاع في درجة حرارة الماء وكمية الحرارة المتولدة في كل دقيقة، نلاحظ أننا نحصل على خط مستقيم؛ماذا نستنتج؟

نستنتج من الخط المستقيم أن:



حر $\propto$ Δ د° ...... (أ)

حيث Δ د = درجة حرارة الماء النهائية

(د$_٢$) − درجة حرارة الماء الابتدائية (د$_١$).

أي: $\boxed{\Delta \text{ د}^\circ = (\text{د}_٢ - \text{د}_١)}$ (٥−١)

النشاط (٥ −٢): العلاقة بين كمية الحرارة وكتلة المادة :

الأدوات : كما في النشاط السابق.

ضع ١٠٠ جم من الماء الساخن في كوب ثم أترك الماء يبرد من تلقاء نفسه، وانتظر حتى تنخفض درجة حرارة الماء بمقدار ٥°م مثلاً، وأحسب الزمن (Δ ن) اللازم لذلك باستخدام ساعة لضبط الوقت لحساب الزمن.

أعد التجربة باستخدام ٢٠٠ جم من الماء وأحسب الزمن اللازم لخفض درجة حرارته بمقدار ٥°م أيضاً. وكرر التجربة باستعمال ٣٠٠ جم ثم ٤٠٠ جم من الماء وسجل النتائج في جدول، ماذا تلاحظ ؟

ملاحظة: يمكن استخدام ملئ كوب شاي عادي مقياساً للماء بدلاً عن مقدار ١٠٠ جرام التي تحتاج إلى ميزان، وملئ كوبين بدلاً عن ٢٠٠ جرام....الخ.

نلاحظ أن:

Δ د° $\propto$ Δ ن لكل ك

و نلاحظ أيضاً أن: Δ ن $\propto$ ك

وبالتالي من (أ) :

حر $\propto$ ك .... (ب)

من العلاقتين (ا) و(ب) نستنتج أن :

حر $\propto$ ك $\times \Delta$ د°

والتناسب في مثل هذه الحالات يعني وجود مقدار ثابت. أي أن كمية الحرارة :

حر = مقدار ثابت × ك × Δ د ...... (٥-٢)

وحدات قياس كمية الحرارة :

بما أن كمية الحرارة هي طاقة ، فإن وحدة قياسها هي وحدة قياس الطاقة، أي جول (أنظر الوحدة الرابعة).

كما اتفق العلماء على وحدة أخرى لكمية الحرارة هي السُعْر، حيث أن الكيلو سُعرهو كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كيلوجرام واحد من الماء درجة مئوية واحدة. وبما أن الكيلوجرام = ١٠٠٠ جرام ، فإن الكيلو سُعْر = ١٠٠٠ سُعْر.

أي أن :

- كمية الطاقة الحرارية (حر) اللازمة لرفع درجة حرارة واحد كجم من الماء درجة مئوية واحدة = واحد كيلوسُعْر واحد.
- كمية الحرارة (حر) اللازمة لرفع درجة حرارة (ك) كجم من الماء درجة مئوية واحدة = ك كيلوسُعْر.

وتستخدم هذه الوحدة (السُعْر) في قياس الطاقة الغذائية التي يحتاجها الإنسان.

وعليه في حالة الماء فإن : $\boxed{\text{حر} = \text{ك} \times \Delta \text{د}}$ (٥-٣)

تلاحظ من هذه المعادلة أن قيمة المقدار الثابت في المعادلة (٥- ٢) تساوي الواحد الصحيح في حالة الماء.

تقويم ذاتي :

١. اذكر ثلاث وحدات لقياس الطاقة الحرارية.
٢. اذكر الفرق بين درجة الحرارة لجسم ومقدار ما يحتويه من كمية للحرارة.

(٥ - ٣) السعة الحرارية :

لقد علمت أن هناك تناسباً طردياً بين كمية الطاقة الحرارية التي يكتسبها الماءالارتفاع في درجة حرارته؛ وبمعنى آخر فإن الكميات المتساوية من الحرارة ينتج عنها نفس التغير في درجة الحرارة لكميات متساوية من الماء.

ولكن هل تحدث الكميات المتساوية من الطاقة الحرارية الارتفاع نفسه في درجة حرارة كميات متساوية من المواد المختلفة ؟

للاجابة على ذلك يمكنك إجراء النشاط التالي :

النشاط (٥ - ٣):

الأدوات : مصدر حراري ، ترمومتر ، ساعة لضبط الزمن ، ماء ، جليسرين، مخبار مدرج.

الخطوات: مستعيناً بالشكل (٥-١) :

ضع ١٠٠ جم من الماء البارد في كوب من الزجاج ثم أغمر سخان كهربائي وترمومتر في الماء ثم سجل درجة حرارته (السخان الكهربائي هو سلك ملفوف يسخن عند مرور التيار الكهربائي فيه. ويولد السخان عادة حرارة بمعدل ثابت ، أي أنه يعطي في دقيقة واحدة كمية من الحرارة تعادل نصف

ما يعطيه في دقيقتين).
شغل الساعة لضبط الفترة الزمنية، واستمر في التسخين مع التحريك بالسخان إلى ان ترتفع درجة حرارة الماء ١٠°م، وسجل الزمن الذي استغرقه هذا الارتفاع في درجة الحرارة.
كرر العمل باستخدام ١٠٠ جم من الجليسرين، وسجل الزمن اللازم لرفع درجة حرارته مقدار ١٠°م ماذا تستنتج ؟
ملحوظة: إذا لم يتوفر السخان الكهربي أو غيره فيمكن استخدام حمام مائي (وعاء به كمية مناسبة من الماء الساخن جداً)، حيث يوضع الماء او الجليسرين المراد اختباره في وعاء صغير، كوب شاي صغير مثلاً، والذي يوضع بدوره في الحمام المائي لتسخينه إلى الدرجة المطلوبة حسب الخطوات الموضحة أعلاه.

هل زمن ارتفاع درجة الحرارة بمقدار ١٠°م في حالتي الماء والجليسرين واحداً؟. وبما أن الارتفاع في درجة الحرارة واحداً في الحالتين، فماذا تستنتج من ذلك ؟. أيهما يحتاج لكمية حرارة أكبر؟

ولو كررت العمل السابق مع مواد أخرى، لوجدت أن الكتل المتساوية من المواد المختلفة تكتسب كميات مختلفة من الطاقة الحرارية، لترتفع درجة حرارتها بمقادير متساوية. وهذا الاختلاف بسبب ما يعرف بالسعة الحرارية. وعليه فإن:

> السعة الحرارية لجسم ما هى كمية الطاقة الحرارية اللازمة لرفع درجة حرارة هذا الجسم درجة مئوية واحدة

وبالتالي هي تختلف من جسم لآخر ومن مادة إلى أخرى. ونفس التعريف

يصح إذا استعملنا درجة الحرارة المطلقة أي درجة كلفن، حيث واحد درجة كلفن هي واحد درجة مئوية (١°ط =١م°).

من المعادلة (٥–٣) فإن :

السعة الحرارية للجسم = ثابت × ك × ١° ...... (٥–٤)

وحدات قياس السعة الحرارية الجول /درجة كلفن، أو جول / درجة مئوية.

أي جول/°ط أو جول/ م°.

(٥ – ٤) الحرارة النوعية للمادة :

بحساب السعة الحرارية لكجم واحد من الجسم ، من المعادلة (٥–٤) نحصل على :

السعة الحرارية لوحدة الكتلة (للكيلوجرام الواحد) = ثابت ×١×١

تسمى هذه الكمية من الطاقة الحرارية بالحرارة النوعية.

وعليه يمكن تعريف الحرارة النوعية كما يلي :

الحرارة النوعية لمادة ما هي كمية الحرارة اللازمة لتغيير درجة حرارة كيلوجرام واحد بمقدار درجة مئوية واحدة.

ويرمز لها بالرمز (حن).

وعليه فإن:

الحرارة النوعية هي السعة الحرارية لواحد كيلوجرام من المادة.

مما سبق واضح أن السعة الحرارية تكون لأي جسم مهما كانت كتلته أو

مادته (عند تغير درجة حرارته درجة مئوية واحدة)، بينما الحرارة النوعية خاصة بالمادة نفسها؛ فالحرارة النوعية للنحاس تختلف عن الحرارة النوعية للحديد أو الماء ....الخ (لكتلة واحد كيلوجرام وتغير في درجة حرارته واحد درجة مئوية).

وعليه:

كمية الحرارة (الطاقة الحرارية) لأي جسم =
الحرارة النوعية للمادة × كتلة الجسم× التغير في درجة الحرارة.

حر = حن × ك ×Δ د .... (٥−٥)

حيث حن = الحرارة النوعية وك = كتلة المادة.

وبالرجوع إلى المعادلة (٥−٥) فإنه إذا كانت وحدة كمية الطاقة الحرارية هي الجول، ووحدة الكتلة هي الكجم، واتغيير في درجة الحرارة هو درجة كلفن أو درجة مئوية.

فإن وحدة الحرارة النوعية هي : جول/ كجم.درجة مئوية.

وبما أن:

السعة الحرارية لجسم ما =الحرارة النوعية لمادة الجسم× كتلة الجسم. (٥−٦)

وبالتالي فإن وحدة السعة الحرارية هي: جول/ درجة مئوية.

ومن المعادلة (٥) نستنتج أنه إذا أعطيت كميات حرارة متساوية لمادتين مختلفتين كتلتاهما متساويتان فإن ∆ د° تكون أكبر للجسم ذي الحرارة النوعية المنخفضة.

الجدول رقم (٥– ١) يعطي بعض القيم التقريبية للحرارة النوعية لبعض المواد.

جدول رقم (٥– ١) : القيم التقريبية للحرارة النوعية لبعض المواد :

المادة	الحرارة النوعية (جول/ كجم . م°)	المادة	الحرارة النوعية (جول/ كجم . م°)
الماء	٤٢٠٠	الزجاج	٦٧٠
الكحول الميثيلي	٢٤٠٠	النحاس الأصفر	٣٨٠
الكحول الإثيلي	٢٥٠٠	النحاس	٤٠٠
زيت البرافين	٢١٣٠	الزئبق	١٤٠
زيت التربنتينا	١٧٦٠	الرصاص	١٣٠
الألمونيوم	٩٠٠	الأرض(رمل وصخور)	٣٣٥٠
الحديد	٤٦٠		

فإذا أعطينا ١ كجم من الماء الذي حرارته النوعية ٤٢٠٠ جول / كجم.م° و كيلو جرام من النحاس الذي حرارته النوعية ٤٠٠ جول / كجم . م° نفس كمية الحرارة فإن درجة حرارة النحاس ترتفع أكثر من درجة حرارة الماء إذا كانا في البداية في درجة حرارة واحدة.
ولهذا السبب نجد أن المعادن كالنحاس و الحديد تكون تحت الشمس أسخن من الماء.

أمثلة :

مثال (١)

أيهما أكبر سعة حرارية : ٢ كجم من النحاس الذي حرارته النوعية ٤٠٠ جول/ كجم.م° ، أم كتلة مماثلة من الحديد الذي حرارته النوعية ٤٦٠ جول/كجم . مْ ؟.

الحل :

المعطيات:

الكتلة للنحاس والحديد = ك = ٢ كجم ، الحرارة النوعية : حن النحاس = ٤٠٠ جول/كجم . مْ ، وحن الحديد= ٤٦٠ جول/كجم . مْ

السعة الحرارية للنحاس = ك × حن = ٢ × ٤٠٠= ٨٠٠ جول/ طْ (درجة كلفين)

السعة الحرارية للحديد = ك × حن = ٢ × ٤٦٠ = ٩٢٠ جول/ طْ (درجة كلفين)

أي أن السعة الحرارية لكتلة الحديد أكبر من السعة الحرارية لكتلة مماثلة من النحاس.

مثال (٢) :

إذا كانت كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة ٢٠٠ جم من الرصاص من درجة ٢٥°م إلى ٣٥°م هي ٢٦٠ جول. أحسب:

الحرارة النوعية للرصاص.

السعة الحرارية لهذه الكمية من الرصاص.

الحل :

المعطيات: ك= ٢٠٠ جم حر=٢٦٠ جول، د١ =٢٥° و د٢ =٣٥°

وعليه

الحرارة النوعية = حن (مطلوبة) ، Δ د= الفرق في درجة الحرارة.

حر = ك × حن × Δ د

٢٦٠= ٠,٢ × حن × (٣٥ – ٢٥) = (٠,٢ × حن × ١٠)

٢٦٠ = ٢ × حن

الحرارة النوعية للرصاص (حن) =

= ١٣٠ جول / كجم.°م

السعة الحرارية لاي جسم = ك × حن

ك = ٢٠٠ جم = ٠,٢ كجم

السعة الحرارية لهذه الكمية من الرصاص =

٠,٢ × ١٣٠ = ٢٦ جول /°م

مثال (٣) :

كميتان من الماء والخرسانة كتلة كل منهما ٥ كجم ودرجة حرارتيهما ١٥°م ، كم تصبح درجتا حرارتيهما إذا وضعتا في الشمس فترة من الوقت بحيث اكتسبت كل منهما ٣٣٥ كيلو جول من حرارة الشمس؟ علماً بأن (حن) للخرسانة = ٣٣٥٠ جول / كجم.°م.

ماذا نستنتج من ذلك ؟ وما علاقة ذلك بدرجة حرارة كل من الأرض وماء البحر خلال النهار وأثناء الليل ؟

الحل :

المعطيات: ك (الماء) = ك (الخرسانة) = ٥ كجم، درجة حرارة الماء والخرسانة الإبتدائية = ١٥°م، الحرارة المكتسبة (للماء والخرسانة) ٣٣٥ كيلو جول، (حن) للخرسانة = ٣٣٥٠ جول / كجم.°م.

وعليه:

حر = ك × حن × Δ د

الارتفاع في درجة حرارة الماء (Δ د°) = $\frac{\text{حر}}{\text{ك} \times \text{حن}}$ = $\frac{335 \times 1000}{5 \times 4200}$

= ١٦°م تقريباً

درجة حرارة الماء تصبح ١٥°+ ١٦ = ٣١°م

الارتفاع في درجة حرارة الرمل (Δ د°) = $\frac{\text{حر}}{\text{ك} \times \text{حن}}$ = $\frac{335 \times 1000}{5 \times 3350}$

≏ ٢٠°م

درجة حرارة الرمل تصبح (١٥° + ٢٠°) = ٣٥°م

نستنتج من ذلك أن الكميات المتساوية من الخرسانة والماء إذا اكتسبت نفس الكمية من الحرارة فإن درجة حرارة الخرسانة ترتفع أكبر ممّا ترتفع به درجة حرارة الماء، كذلك بالنسبة للتراب والماء ، وهذا ما يحدث خلال النهار عندما تسقط اشعة الشمس على كل من الأرض والبحر فترتفع درجة حرارة الأرض أكثر مما ترتفع درجة حرارة الماء ، ويحدث العكس خلال الليل.

تقويم ذاتي :

١.ماذا نعني عندما نقول الحرارة النوعية للماء ٤٢٠٠ جول / كجم. مْ
٢. ما الفرق بين السعة الحرارية والحرارة النوعية لجسم ما ؟
٣. عرف الحرارة النوعية بدلالة السعة الحرارية.
٤. علل: لماذا يجب أن تكون السعة الحرارية للحلة التي تستخدم في الطهي منخفضة ؟.
٥. أشرح ما يحدث أثناء الليل لدرجة حرارة ماء البحر والبر وما علاقة ذلك بالحرارة النوعية.

(٥ – ٥) حفظ الطاقة :

إذا أردت أن تشرب كوباً من الشاي الساخن بسرعة؛ فإنك قد تلجأ لإضافة كمية من الحليب البارد اليه، وتكون النتيجة أن تصبح درجة حرارة الخليط وسطاً بين درجة حرارة الشاى الساخن واللبن البارد.

إذاً لابد أن تكون كمية من الحرارة قد إنتقلت من الشاى إلى الحليب فانخفضت درجة حرارة الأول وارتفعت درجة حرارة الثاني ، ويستمر هذا الانتقال في الحرارة إلى أن يصبح الأثنان في درجة حرارة واحدة ، عندها نقول إنه قد حدث اتزان حراري بين الشاى والحليب.

فالاتزان الحراري يعني أنه إذا إتصل جسمان أحدهما ساخن والآخر بارد لفترة كافية من الزمن فأن كمية من الحرارة تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم البارد بحيث يصبح الاثنان في درجة حرارة واحدة. وهذا يعني أن الجسم الساخن يفقد كمية من الحرارة ويكتسب الجسم البارد نفس الكمية من الحرارة، إذا لم يكن هناك فقد للطاقة الحرارية عن طريق الحمل

أو التوصيل أو الاشعاع. فمن المعلوم أن الحرارة شكل من أشكال الطاقة، وأن الطاقة كمية محفوظة؛ أي أنها لا تفنى ولكن يمكن أن تتحول من من نوع إلى آخر أو من جسم إلى آخر. وعليه فإن:

كمية الحرارة المفقودة من الجسم الساخن = كمية الحرارة المكتسبة بوساطة الجسم البارد.

كمية الحرارة المفقودة من الجسم الساخن = كمية الحرارة المكتسبة بوساطة الجسم البارد.

وهذه العلاقة هي صيغة لقانون حفظ الطاقة الحرارية.

مثال (٤)

إناء من الالمنيوم معزول عن التأثيرات الحرارية الخارجية، كتلته ١٠٣ جم والحرارة النوعية لمادته هي ٩٠٠ جول/ كجم . مْ ، صب به ١٥٠ جم من ماء بارد، وقيست درجة حرارتهما المشتركة فكانت ٢٠°م. ثم أضيفت إلى الأناء ٢٠٠ جم من ماء في درجة الغليان (١٠٠°م) فأصبحت درجة حرارة الخليط النهائية ٦٣°م. أحسب كمية الحرارة المفقودة وكمية الحرارة المكتسبة. هل هما متساويتان ؟

الحل :

المعطيات :

ك الإناء = ١٠٣ جم، حن الإناء = ٩٠٠ جول/ كجم . مْ،

ك الماء الأول = ١٥٠ جم، درجة الحرارة المشتركة= ٢٠°م،

ك الماء الثاني = ٢٠٠ جم في درجة (١٠٠ °) الغليان، درجة حرارة الخليط ٦٣°م.

وعليه:

كمية الحرارة التي فقدها الماء الساخن = ك × حن × Δ د

= ٠,٢ × ٤٢٠٠ × (١٠٠ – ٦٣)

= ٣١٠٨٠ جول

كمية الحرارة التى اكتسبها الماء البارد = ك × حن × Δ د

=٠,١٥ × ٤٢٠٠ × (٦٣ – ٢٠)

= ٢٧٠٩٠ جول

كمية الحرارة التي اكتسبها إناء الألمنيوم = ك × حن × Δ د

=٠,١ ٠٣ × ٩٠٠ × (٦٣ – ٢٠) = ٣٩٨٦ .١ جول

كمية الحرارة المكتسبة = ٢٧٠٩٠ + ٣٩٨٦ .١ =١. ٧٦ ٣١٠ جول

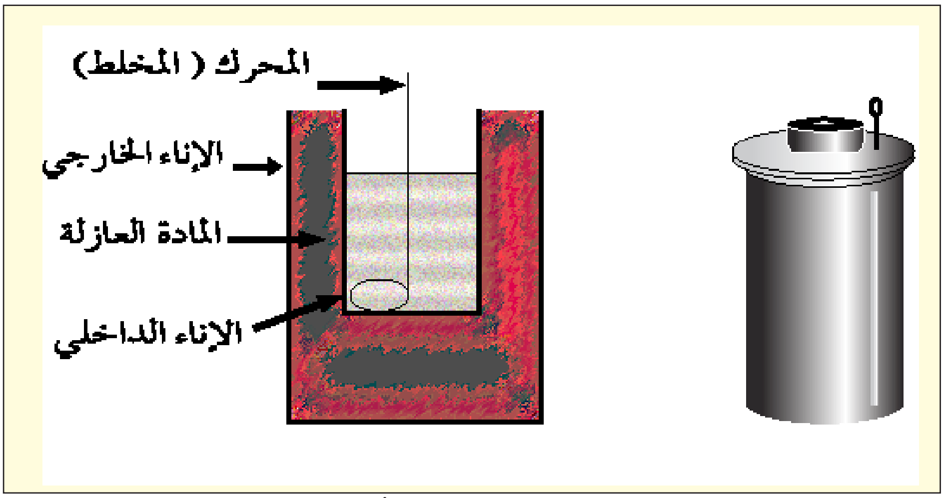
الفرق بين كميتي الحرارة المكتسبة (١. ٧٦ ٣١٠) والمفقودة (٣١٠٨٠) هي٣,٩ جول.

الواقع أن هذه نتيجة كانت لإحدى التجارب العملية على الاتزان الحراري بطريقة الخلط التي وجدنا منها أن كمية الحرارة المكتسبة أقل من كمية الحرارة المفقودة بمقدار ٣,٩ جول بسبب فقد كمية من الطاقة الحرارية أثناء نقل الجسم الساخن وخلطه بالجسم البارد. كما أن الترمومتر يكتسب كمية صغيرة من الحرارة حتى يصبح في حالة اتزان حراري مع الخليط.

هل يمكنك إجراء تجربة لمعرفة العلاقة بين كمية الحرارة المفقودة وكميةالحرارة المكتسبة إذا صب سائل ساخن في اناء بارد ؟

(٥ – ٦) تعيين الحرارة النوعية بطريقة الخلط :

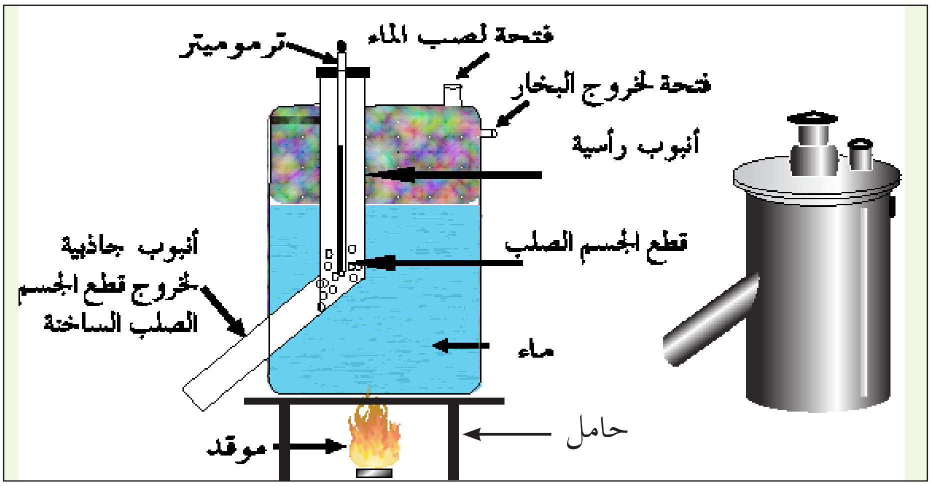
يستخدم في تجارب تعيين الحرارة النوعية بطريقة الخلط ، إناء أسطوانى رقيق الجدران مصنوع من مادة جيدة التوصيل للحراره مثل النحاس أو الألمنيوم، ويسمى هذا الجهاز المُسعّر. ويكون سطحه الخارجي مصقولاً لامعاً (لماذا ؟) ويوضع هذا الأناء داخل إناء مشابه سطحه الخارجي مصقول لامع، ويملأ الفراغ بين الأنائين بمادة عازلة كالفلين أو اللباد (لماذا؟) [الشكل (٥– ٢)] .



الشكل (٥– ٢): المُسعّر

ويستخدم مع المُسعّر أحياناً محرك من مادة المُسَعّر نفسه لتقليب السائل. كما نحتاج في هذه التجارب إلى سخان خاص لتسخين قطع من الجسم الصلب لدرجة حرارة ثابتة (نقطة غليان الماء). وفي الشكل (٥– ٣) نوع من هذا السخان يسمى سخان نيكلسون، حيث توضع قطع من الجسم الصلب (مثل كرات الرصاص أو قطع من النحاس) في الأنبوبة الرأسية الداخلية، وتسخن بحمام مائى. وعند ثبات درجة حرارة الترمومتر، ندير الأنبوبة الرأسية، فتنزلق قطع الجسم الصلب الساخن لتستقر في المُسعّر

دون أن تفقد شيئاً يذكر من حرارتها.



الشكل (٥– ٣) سخان نيكلسون

(٥-٧) تعيين الحرارة النوعية لسائل بطريقة الخلط.

النشاط (٤–٥):

الأدوات : مُسعّر ، سخان نيكلسون(الشكل (٥– ٣)) ، سائل ، ترمومتر ، قِطَع من النحاس (أو من جسم صلب حسب الحاجة)، مصدر حراري.

عين كتلة الأناء الداخلي للمُسعّر مع المحرك ثم ضع فيه كمية مناسبة من السائل المراد تعيين حرارته النوعية ثم عين كتلة السائل حيث:

كتلة السائل = كتلة المُسعّر والسائل – كتلة المُسعّر،

ثم عين درجة حرارة السائل والمُسعّر بالترمومتر وسجلها.

سخن قطعاً من نفس مادة المُسعّر بواسطة سخان نيكلسون كما سبق وسجل درجة حرارتها، ثم ألقها بسرعة في المُسعّر وحرك السائل، ثم قس درجة حرارة الخليط النهائية. وأحسب الارتفاع في درجة حرارة المُسعّر والسائل ، والانخفاض في درجة حرارة الجسم الصلب.

عين كتلة المُسعّر ومحتوياته.

أحسب كتلة قطع الجسم الصلب (= كتلة المُسعِّر ومحتوياته – كتلة المُسعِّر والسائل).

أحسب كمية الحرارة التي اكتسبها السائل وكمية الحرارة التى اكتسبها المُسعِّر ، ثم أحسب كمية الحرارة التي فقدها الجسم الصلب.

∵ كمية الحرارة المكتسبة = كمية الحرارة المفقودة

∴ $(\text{ك}_1 \times \text{حن}_1 \times \Delta\, \text{د}_1) + (\text{ك}_2 \times \text{حن}_2 \times \Delta\, \text{د}_1) = (\text{ك}_3 \times \text{حن}_3 \times \Delta\, \text{د}_2)$

للسائل   للمُسعّر والمحرك   للأجسام الصلبة

ومنها أحسب الحرارة النوعية للسائل بمعرفة الحرارة النوعية لمادة المُسعِّر (حيث الجسم الصلب (أ، الأجسام) من نفس مادة المُسعِّر) ، ويشترط في السائل أن لا يتفاعل كيميائياً مع الجسم الصلب أو مادة المُسعِّر وأن لا يكون سريع الأشتعال.

(٥ – ٨) تعيين الحرارة النوعية لجسم صلب بطريقة الخلط :

في النشاط السابق إذا وضعنا في المُسعِّر سائلاً (كالماء) حرارته النوعية معلومة فإنه باعادة خطوات النشاط ، يمكننا حساب الحرارة النوعية لمادة قطع الجسم الصلب بمعرفة الحرارة النوعية لمادة المُسعِّر (إذا لم تكن قطع الجسم الصلب من نوع مادة المُسعِّر).

مثال (٥) :

في إحدى تجارب تعيين الحرارة النوعية للجليسرين وجدت النتائج الآتية:

كتلة المسعر النحاسي (ك_1) = ٥٦ جم = ٠,٠٥٦ كجم

كتلة الجليسرين (ك_1) = ٥٠ جم = ٠,٠٥٠ كجم

درجة حرارة المُسعِّر والجليسرين الإبتدائية الابتدائية (د_1) = ١٤°م

كتلة قطع النحاس ($ك_{٣}$) = ٢٤ جم = ٠,٠٢٤ كجم
درجة حرارة قطع النحاس بعد تسخينها ($د_{٢}$) = ١٠٠°م
درجة حرارة الخليط النهائية ($د_{٣}$) = ٢٠°م
فإذا كانت السعة الحرارية النوعية للنحاس($حن_{١}$)=٤٠٠ جول/كجم.م؟
أحسب الحرارة النوعية للجليسرين ($حن_{٢}$)

الحل :
كمية الحرارة التي اكتسبها المُسعِّر = $ك_{١}$ × $حن_{١}$ × ($د_{٣}$ – $د_{١}$)
= ٠,٠٥٦ × ٤٠٠ × (٢٠ – ١٤)
= ١٣٤,٤ جول
كمية الحرارة التي اكتسبها الجليسرين = $ك_{٢}$ × $حن_{٢}$ × ($د_{٣}$ – $د_{١}$)
= ٠,٠٥٠ × $حن_{٢}$ × ٦
= ٠,٣ $حن_{٢}$ جول
كمية الحرارة التي فقدها النحاس الساخن= $ك_{٣}$ × $حن_{١}$ × ($د_{٢}$ – $د_{٣}$)
= ٠,٠٢٤ × ٤٠٠ × (١٠٠– ٢٠)
= ٧٦٨ جول
∵ كمية الحرارة المكتسبة = كمية الحرارة المفقودة
∴ ٠,٣ $حن_{٢}$ + ١٣٤,٤ = ٧٦٨
٠,٣ $حن_{٢}$ = ٧٦٨ – ١٣٤,٤ = ٦٣٣,٦
أي أن: $حن_{٢}$ = ٦٣٣,٦ /٠,٣ =٢١١٢ جول / كجم . °م
أي أن الحرارة النوعية للجليسرين $حن_{٢}$ = ٢١١٢ جول / كجم . °م

مثال (٦):

يمد سخان كهربي ٥٠ واط من القدرة لقالب فلزي كتلته ٦٠٠ جم ويرفع درجة حرارته من ٢٠°م إلى ٤٥°م في دقيقة ونصف أحسب الحرارة النوعية للفلز (افترض أن الطاقة الحرارية التي يفقدها السخان يكتسبها الفلز).

الحل:

المعطيات:

قدرة السخان = ٥٠ واط، كتلته ٦٠٠ جرام، د$_{١}$= ٢٠ درجة و د$_{٢}$ = ٤٥°،

ن = دقيقة ونصف= ٩٠ث.

وعليه: كمية الطاقة الحرارية التي يفقدها السخان = القدرة × الزمن

= ٥٠×٩٠ = ٤٥٠٠ جول

كمية الطاقة الحرارية التي يكتسبها الفلز

= كتلة الفلز ×الحرارة النوعية للفلز × التغير في درجة الحرارة

= ٠,٦× حن × (٤٥ − ٢٠) = ١٥ حن

كمية الطاقة الكهربية التي يفقدها السخان = كمية الطاقة الحرارية التي يكتسبها الفلز

٤٥٠٠ = ١٥ حن ، حن = ٣٠٠

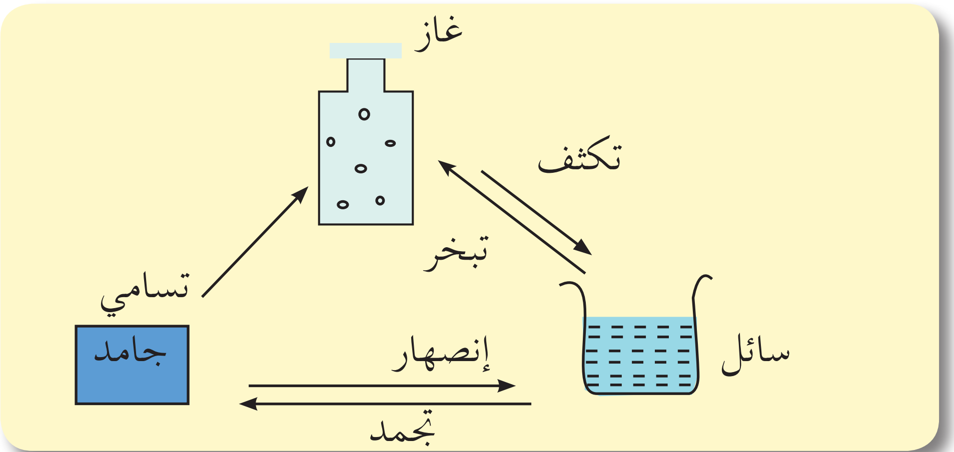
∴ الحرارة النوعية للفلز = ٣٠٠ جول/ كجم . م.

تقويم ذاتي :

- وضح كيف تعين الحرارة النوعية لسائل غير الماء ، مبيناً الإجراءات التي ستتبعها والمواد التي تحتاجها. ما الاحتياطات التي يجب أن تتخذها لضمان دقة نتائج التجربة ؟

(٥-٩) حالات المادة

أنت تعلم أن المواد توجد في ثلاث حالات ، جامدة وسائلة و غازية، وأن السوائل والغازات تسمى موائع ، وكما درست سابقاً فإن المادة إذا إكتسبت مقداراً من الطاقة الحرارية أدى ذلك إلى زيادة في طاقة حركة جزيئاتها وابتعاد هذه الجزيئات عن بعضها وتصادمها مما يسبب تمدد المادة ورفع درجة حرارتها. ولكن الطاقة الحرارية التي تكتسبها المادة أو تفقدها قد تعمل على تغييرها من حالة إلى أخرى. فالثلج يمكن أن يتحول إلى ماء (تسمى هذه الحالة بالانصهار) والماء إلى بخار (تسمى بالتصعيد) وذلك باكتساب مقداراً مناسباً من الطاقة الحرارية ، كما أن بخار الماء يمكن أن يتحول إلى ماء (يتكثف) والماء إلى ثلج (يتجمد) وذلك بفقد كمية مناسبة من الطاقة الحرارية. نفس الشيء يحدث لغاز ثاني أكسيد الكربون ولكن عند ضغطه، حيث يتحول إلى سائل، وإذا زاد الضغط يتحول إلى صلب. وهناك مواد كاليود والزرنيخ والكافور والنشادر (الأمونيا) يمكن أن تتحول بالحرارة من الحالة الجامدة إلى الحالة الغازية مباشرة دون أن تمر بالحالة السائلة تسمى هذه الظاهرة بالتسامي: الشكل (٥-٤).



الشكل (٥-٤): حالات المادة الثلاث.

(٥-١٠) نقطة الانصهار والحرارة الكامنة للانصهار :

إذا وضعت كمية من الثلج المجروش الآخذ في الانصهار في كأس ، ثم وضعت الكأس في حوض به ماء دافئ ، وغمرت مستودع ترمومتر في الثلج فأنك ستلاحظ أن درجة حرارة الثلج وكذلك درجة حرارة الماء الناتج عن انصهار الثلج تساوي صفر°م، مع استمرار انصهار الثلج باكتساب كميات من الحرارة من الماء الدافئ، نلاحظ ثبات قراءة الترمومتر عند درجة الصفر المئوي إلى أن ينصهر الثلج بكامله. لذلك تسمى درجة الصفر المئوي درجة انصهار الثلج ويطلق عليها نقطة انصهار الثلج.

بعد انصهار الثلج بكامله، تبدأ قراءة الترمومتر بعد ذلك في الارتفاع ، إذ بالرغم من أن هناك كمية من الطاقة الحرارية اكتسبها الثلج خلال انصهاره فإنها لم تسبب ارتفاعاً في درجة حرارته ، فأين ذهبت هذه الكمية من الطاقة الحرارية ؟

الشكل (٥–٥): جزيئات الماء في الثلج ترتب نفسها في بلورات ذات أشكال سداسية (لا ترى بالعين المجردة)

تكون جزيئات الماء في بلورات الثلج مرتبطة مع بعضه، بشكل يجعلها أكثر اقتراباً مما هي عليه في حالتها السائلة، حيث تكون مرتبة على شكل

سداسي وهذا الشكل السداسي يترك فجوات داخله (الشكل (٥-٥)).

لابعاد جزيئات الماء في بلورات الثلج عن بعضها (صهرها) يجب بذل شغل عليها؛ وهذا الشغل يبعد الجزيئات عن بعضها مما يسبب زيادة طاقة الوضع لها (تبعد عن مواضع اتزانها)؛ أي أن الطاقة الحرارية التي يكتسبها الثلج خلال فترة انصهاره تتحول إلى طاقة وضع للجزيئات، ولهذا لا يحدث تغيير في قراءة الترمومتر خلال هذه الفترة. وتسمى طاقة الوضع هذه بالطاقة الكامنة (لأنها غير ظاهرة، وفي الانتظار).

وقد وجد أن كل كيلوجرام واحد من الثلج يحتاج إلى ٣٣٤٨٠٠ جول أي (٨٠ كيلوسعر، لماذا) من الطاقة الحرارية ليتحول من ثلج في درجة الصفر إلى ماء في نفس درجة الحرارة ، أي أن هذه الكمية من الطاقة الحرارية تمثل مقدار الشغل اللازم لإبعاد جزيئات كيلوجرام من الثلج عن بعضها حتى يتم الانصهار تسمى الحرارة الكامنة للانصهار.

الحرارة الكامنة لانصهار أي مادة : هي كمية الطاقة الحرارية اللازمة لتحويل كيلوجرام واحد من تلك المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة دون تغيير في درجة حرارتها.

ويرمز لها بالرمز حص.

أما:

الحرارة الكامنة النوعية لإنصهار مادة صلبة معينة هي الطاقة الحرارية اللازمة لتحويل كيلو جرام واحد منها عند درجة الحرارة العادية من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة أو العكس ، دون أي تغيير في درجة الحرارة.

- عندما يتجمد الماء يحدث العكس ؛ حيث تتحول الطاقة الكامنة في الجزيئات إلى طاقة حرارية ، فينطلق من كل كيلوجرام من الماء في درجة الصفر عندما يتجمد الماء إلى ثلج، ٣٣٤٨٠٠ جول من الطاقة الحرارية في درجة الحرارة نفسها.

∴ أي أن مقدار الطاقة الحرارية التي يكتسبها الجسم عند انصهاره تساوي مقدار الطاقة الحرارية التى يطلقها أو يفقدها عند التجمد. وعلى هذا الأساس يعلل ارتفاع درجة حرارة الجو عند سقوط الثلج وانخفاضها عند انصهاره.

وتجدر الملاحظة هنا أنه يمكن تقسيم المواد من حيث انصهارها إلى قسمين:

- **الأول** : مواد يكون انصهارها مباشراً عند درجة حرارة معينة تسمى نقطة الانصهار، أو التجمد ، وجميع هذه المواد مواد متبلرة مثل الثلج والكبريت المتبلر والنفتالين ، حيث تترتب الجزيئات أو الذرات في البلورة بطريقة معينة. ولهذه المواد حرارة كامنة للانصهار تختلف قيمتها من مادة لأخرى.
- **الثاني** : مواد يكون انصهارها تدريجياً وتمر فيها المادة في حالة بين الصلابة والسيولة مثل الزجاج والبلاستيك والمطاط والسمن.

(٥ – ١١) تعيين نقطة انصهار مادة من منحنى التبريد :

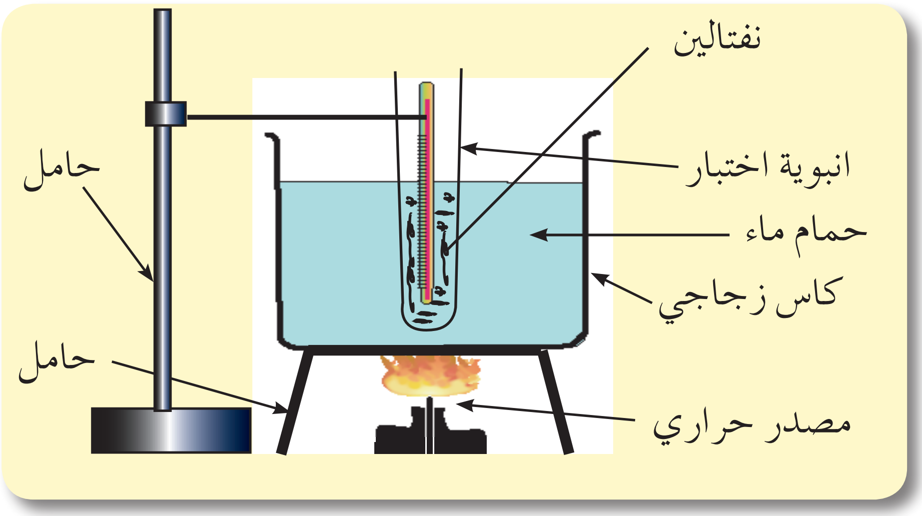
النشاط (٥ – ٥): تعيين نقطة انصهار النفتالين من منحنى التبريد :

الأدوات والمواد : أنبوب اختبار ، كأس زجاجي ، حامل ، نفتالين (مادة تستعمل لحفظ الملابس من العتة) ،(أو شمع البرافين) ، ساعة لضبط الزمن، ترمومتر زئبقي، موقد أو مصدر حراري. ضع كمية (ثلث الأنبوبة) من

النفتالين أو شمع البرافين في أنبوبة اختبار، وثبتها رأسياً ، ثم سخنها بوساطة لهب هادئ. (أو ضعها في حمام مائي يسخن بالتدريج) حتى ينصهر النفتالين أو شمع البرافين. ثم أغمر مستودع الترمومتر في سائل النفتالين أو شمع البرافين كما في الشكل (٥ -٦) أ.

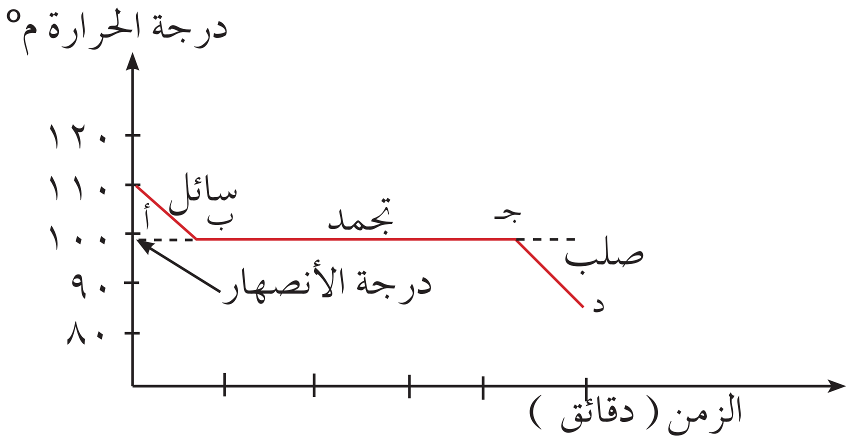
استمر في التسخين حتى تصل درجة حرارة النفتالين إلى ٩٠ م° ، ثم أبعد اللهب وأترك الأنبوبة لتبرد في الهواء وسجل خلال ذلك درجة حرارة النفتالين كل دقيقة باستخدام ساعة ضبط الزمن حتى تهبط إلى درجة ٦٥ م°.

ملاحظة: تلاحظ أن قراءة الترمومتر تبدأ في الانخفاض ثم تثبت فترة من الزمن عند درجة معينة (هى نقطة انصهار النفتالين) ، وبعد ذلك تعود درجة الحرارة إلى الانخفاض حتى يصبح النفتالين في درجة حرارة الجو المحيط به.



الشكل (٥-٦) أ: تعيين درجة انصهار النفتالين باستخدام حمام مائي

أرسم رسماً بيانياً يوضح تغير درجة الحرارة مع الزمن ثم قارن الرسم البياني مع الرسم المبين في الشكل (٥– ٦) ب استنتج نقطة التجمد (أو الانصهار) للنفتالين من الرسم البياني.



الشكل (٥–٦) (ب): منحنى التبريد (درجة الحرارة – الزمن) للنفتالين.

لاحظ أن الخط (أ ب) يشير إلى انخفاض درجة حرارة النفتالين السائل مع الزمن وأن الخط الأفقي (ب جـ) يمثل تحول المادة من السائل إلى الصلبة ولكن البعد بين النقطتين (ب وجـ) يمثل الزمن الذي الزمن الذي حدث خلاله تحول المادة من سائلة إلى صلبة وتجمد النفتالين دون أن تتغير درجة حرارته بالرغم من استمرار النفتالين في فقد كمية من الحرارة خلال هذه الفترة. وكمية الحرارة التي يفقدها كل كيلوجرام من النفتالين خلال هذه الفترة هي الحرارة الكامنة لانصهاره. فكيف يمكن تحديدها في الرسم البياني؟.

الجدول (٤ – ٢) يوضح : نقطة إنصهار بعض المواد.

المادة	نقطة الإنصهار °م	المادة	نقطة الإنصهار °م
الإيثر	−١١٦,٣	الألومنيوم	٦٦٠
الزئبق	−٣٩	الخارصين	٤٢٠
الجليد	صفر	ملح الطعام	٨٠١
الجليسرين	١٧	الفضة	٩٦١
شمع البرافين	٥٣,٥	النحاس	١٠٨٣
النفتالين	٨٠	الزجاج	١١٠٠
الكبريت	١١٥	البلاتين	١٧٧٠
القصدير	٢٣٢	التنجستين	٣٣٨٧

من الجدول أعلاه يتضح لماذا يستخدم التنجستين في المصابيح الكهربائية حيث يتوقد عند مرور التيار الكهربي فيه مصدراً الضوء.

تقويم ذاتي :

اذكر طرق فقد النفتالين للحرارة أثناء تبريده كما في الشكل (٥−٦).

مثال (٧):

قطعة ثلج كتلتها ١٥٠ جم. فإذا كانت الحرارة الكامنة النوعية لإنصهار الثلج هي ٣٤٠٠٠٠ جول/كجم ، أحسب الحرارة المطلوبة لصهر ثلج.

الحل :

المعطيات :

الكتلة (ك)= ١٥٠ جم = ٠,١٥ كجم

الحرارة الكامنة النوعية = ٣٤٠٠٠٠ جول / كجم

ومن المعادلة ،

الحرارة الكامنة للإنصهار = الحرارة الكامنة النوعية للإنصهار × الكتلة

= ٣٤٠٠٠٠ × ٠,١٥ = ٥١٠٠٠

= ٥١ كيلو جول

∴ كمية الحرارة المطلوبة لصهر قطعة الثلج قدرها ٥١ كيلو جول.

مثال (٨):

غمر تماماً سخان ينتج بمعدل ثابت ١٠٠٠ واط من القدرة الحرارية في لوح من الثلج كتلته ٣ كجم عند درجة حرارة صفر°م استغرق اللوح ١٠٢٠ ثانية لينصهر تماماً. أحسب قيمة الحرارة الكامنة النوعية لإنصهار الثلج. ما الفرض الذي استعملته في عمليتك الحسابية ؟

الحل :

المعطيات :

قدرة السخان (قد)= ١٠٠٠ واط

الزمن المستغرق (ن)= ١٠٢٠ ثانية.

الكتلة (ك)= ٣ كجم.

الطاقة الحرارية التي يمدها السخان (حر)= قد×ن

= ١٠٠٠×١٠٢٠ جول

= ١٠٢٠٠٠٠ جول

الحرارة الكامنة للوح الثلج ذي الكتلة ٣ كجم = ١٠٢٠٠٠٠ جول

الفرض : يمد السخان ذو القدرة ١٠٠٠ واط الحرارة الكامنة لإنصهار الثلج لمدة ١٠٢٠ ثانية ولا تفقد حرارة إلى الأجسام المحيطة. وعليه ، فإن

الحرارة الكامنة النوعية لإنصهار الثلج حصَ هي:

$$\text{حصَ} = \frac{\text{حر}}{\text{ك}} = \frac{١٠٢٠٠٠٠}{٣} = ٣٤٠٠٠٠$$

∴ الحرارة الكامنة النوعية لإنصهار الثلج = ٣٤٠٠٠٠ جول / كجم

(٥ – ١٢) التغير الذي يحدث لحجم المادة عند الانصهار أو التجمد:

عندما تنصهر المواد المتبلرة (ما هي المواد المتبلرة ؟) فإن حجم السائل الناتج يكون أكبر من حجم الماده الصلبة ؛ أي أن هذه المواد يزيد حجمها عندما تنصهر ويقل حجمها عندما تتجمد.

على هذا تكون كثافة الجسم المتبلر الصلب أكبر من كثافة مصهوره المحيط به. ولذلك يلتصق الجسم الصلب في السائل الناتج عن انصهاره ويمكن ملاحظة ذلك عند صهر الشمع والنفتالين والكبريت المتبلر. أي أن كثافة الجسم الصلب أكبر من كثافة السائل الناتج عن انصهاره.

ويشذ الماء عن هذه القاعدة حيث يزيد حجمه بمقدار ٩,١٪ عندما يتجمد. ولذلك يطفو الثلج على سطح الماء السائل (ويكون عشر حجمه تقريباً خارج الماء) ؛ وذلك لأن كثافة الثلج أقل من كثافة الماء في المناطق التي تتجمد مياهها شتاء.

ولذلك يكون الجزء الظاهر من جبل الجليد أقل كثيراً من الجزء الذي تحت الماء.

(٥ – ١٣) أثر الضغط على نقطة الانصهار :

تعلم أن الثلج ينصهر دائماً في درجة ثابتة (صفر°م) تحت الضغط الجوي العادي ، ولذا تتخذ هذه الدرجة أحدى النقاط الثابتة على تدريج الترمومتر،

ولكن ماذا يحدث لنقطة إنصهار الثلج عند زيادة الضغط الواقع عليه ؟

النشاط (٥-٦):

خذ قطعتين من الثلج العادي وضعهما فوق بعضهما، ثم أضغط عليهما بيدك بقوة مناسبة ، ماذا يحدث عندما ترفع يدك ؟ تلاحظ التصاق القطعتين بعضهما. والسبب أن درجة انصهار الثلج تنخفض عند زيادة الضغط عليه (أي تصبح أقل من صفر° م)، ولذلك يتحول الثلج عند نقاط التلامس بين سطحي قطعتي الثلج إلى ماء سائل، وعند إزالة الضغط عنهما يعود الماء بين السطحين المتلامسين إلى التجمد مرة ثانية (لأن درجة حرارته أقل من صفر° م) ، وبذلك تلتحم القطعتان.

جميع المواد التي تتمدد عندما تتجمد تسلك نفس سلوك الثلج عند زيادة الضغط الواقع عليها حيث تنخفض درجة انصهارها. وزيادة الضغط المؤثر عليها يساعد على تقليل حجمها ؛ أي يساعد على احتفاظها بحالة السيولة ولذلك تنخفض نقطة انصهارها. هل في الامكان الافادة من هذه الخاصية في الصناعة أو غيرها ؟. المواد الأخرى مثل الالمنيوم والتي يقل حجمها عندما تتجمد فإن نقاط إنصهارها ترتفع بزيادة الضغط الواقع عليها. ويمكن تفسير ذلك بأن زيادة الضغط على المواد التي تتمدد عند الانصهار يساعد على احتفاظها بحجمها قبل التمدد. أي يحافظ عليها بحالة التجمد. ولهذا يجب رفع درجة حرارتها ليمكن صهرها عند زيادة الضغط المؤثر عليها.

تقويم ذاتي :

١. علل الظواهر الآتية:

أ. سبب تصدع مبردات السيارات في الشتاء البارد في بعض البلدان.

ب. إنفجار مواسير المياه في المناطق الباردة.

ج. شقق الصخور عندما يتجمد الماء المحبوس في ثقوبها.

د. نفجار زجاجات المشروبات الغازية عندما تتجمد.

هـ. يخفض إضافة الملح للثلج درجة انصهار الثلج فما رأيك في إضافة السكر.

٢. ماذا يحدث إذا ملأت إناء بالماء تماماً وقفلته وتركته يتجمد داخل الثلاجة؟

٣. هل يمكن الاستفادة من أثر الضغط عندما تتمد السوائل في الصناعة؟ أذكر مثالاً لذلك.

(٥ – ١٤) التصعيد والتبخر:

إن تحول المادة المائعة من السيولة إلى الغازية (بخار) يسمى تبخراً، وعكس هذه العملية يسمى تكثفاً.

وأنت تعلم أن السوائل تتبخر في جميع درجات الحرارة. ولكن التبخر في درجات الحرارة التي تقل عن درجة غليان السائل يحدث عند سطح السائل فقط ، حيث يكون الضغط المؤثر على الجزيئات الواقعة عند السطح أقل من الضغط المؤثر على الجزيئات في باطن السائل، بسبب وزن السائل فوقها، ولذلك تكون الطاقة الحركية التي تحتاجها الجزيئات لكي تنطلق إلى

الجو في شكل بخار أقل عند السطح منه في باطن السائل. وعندما تقترب الجزيئات من سطح السائل لتنطلق إلى الهواء تعاني جذباً من الجزيئات الداخلية بفعل قوة التجاذب بين الجزيئات.

ولكن يحدث أن تكتسب بعض جزيئات السائل (بالصدفة) بسبب التصادمات المستمرة بين جزيئات السائل طاقة حركية أكبر من طاقة حركة الجزيئات الأخرى ؛ ولهذا تتمكن من الافلات من سطح السائل وتلقائياً يصبح متوسط طاقة حركة جزيئات السائل أقل مما كان عليه. مما يعني انخفاض درجة حرارة السائل.

وهذا يفسر سبب انخفاض درجة حرارة السائل بالتبخر. ولكن عدد الجزيئات التي تتمكن من الافلات من سطح السائل (متحولة إلى بخار) يبقى محدوداً ، ويتوقف على متوسط طاقة حركة الجزيئات. وكلما زاد متوسط طاقة حركة الجزيئات (برفع درجة حرارة السائل) زادت قدرتها على اختراق سطح السائل والتحول إلى بخار. ولهذا السبب فإن رفع درجة حرارة السائل يساعد على سرعة تبخره. ولكن ماذا يحدث للسائل عند استمرار تسخينه ؟

النشاط (٥–٧) :

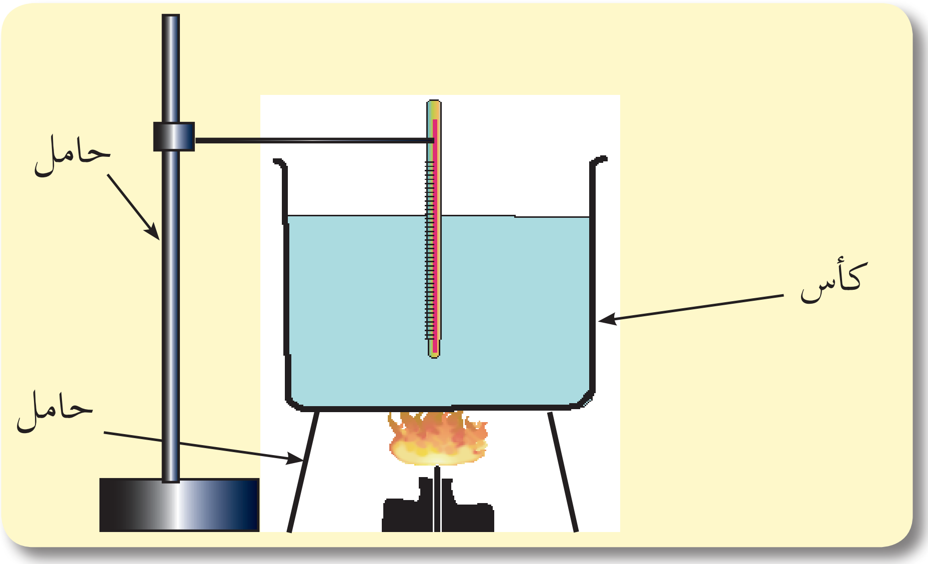
تحديد نقطة غليان الماء:

الأدوات : كاس زجاجية ، ترمومتر ، موقد ، ماء مقطر.

- ضع كمية من الماء المقطر (ليس به أملاح أو شوائب) في كأس زجاجية، وثبت في الماء ترمومتراً بحيث لا يلامس قاع الكأس كما في الشكل (٥–٧).
- أبدأ في تسخين الماء وراقب قراءة الترمومتر مع استمرار التسخين ماذا

تلاحظ؟ وما الذي يحدث في الماء ؟

- هل من هذه التجربة يتبين لك أن درجة حرارة الماء تبدأ في الارتفاع عند بداية التسخين ؟ وهل تستمر كذلك إلى أن تصل إلى درجة حرارة معينة (١٠٠° م تقريباً)، وعند أي درجة حرارة تتكون فقاعات من البخار في جميع أجزاء السائل نلاحظ أن الفقاعات تصعد إلى سطح السائل وتنفجر ليتصاعد منها بخار الماء إلى الهواء الجوي.
- مثل هذه الحالة تسمى غلياناً. هل تلاحظ أن درجة الحرارة تثبت عند الدرجة ١٠٠° م تقريباً في حالة الماء ؟



الشكل (٥–٧): تحديد نقطة (درجة) غليان الماء

ونرى أن تبخر السائل يكون أكبر ما يمكن عندما يغلي ، أي أن الغليان حالة خاصة يتكون فيها بخار السائل في جميع أجزائه ، في شكل فقاعات وليس عند سطح السائل فقط وتسمى هذه الحالة تصعيداً.

ودرجة حرارة السائل في هذه الحالة تسمى نقطة الغليان.

حيث درجة الغليان هي درجة الحرارة التي يتكون عندها بخار السائل في جميع أجزاءه. والآن تستطيع تفسير ظاهرة زيادة حجم اللبن عند غليانه.

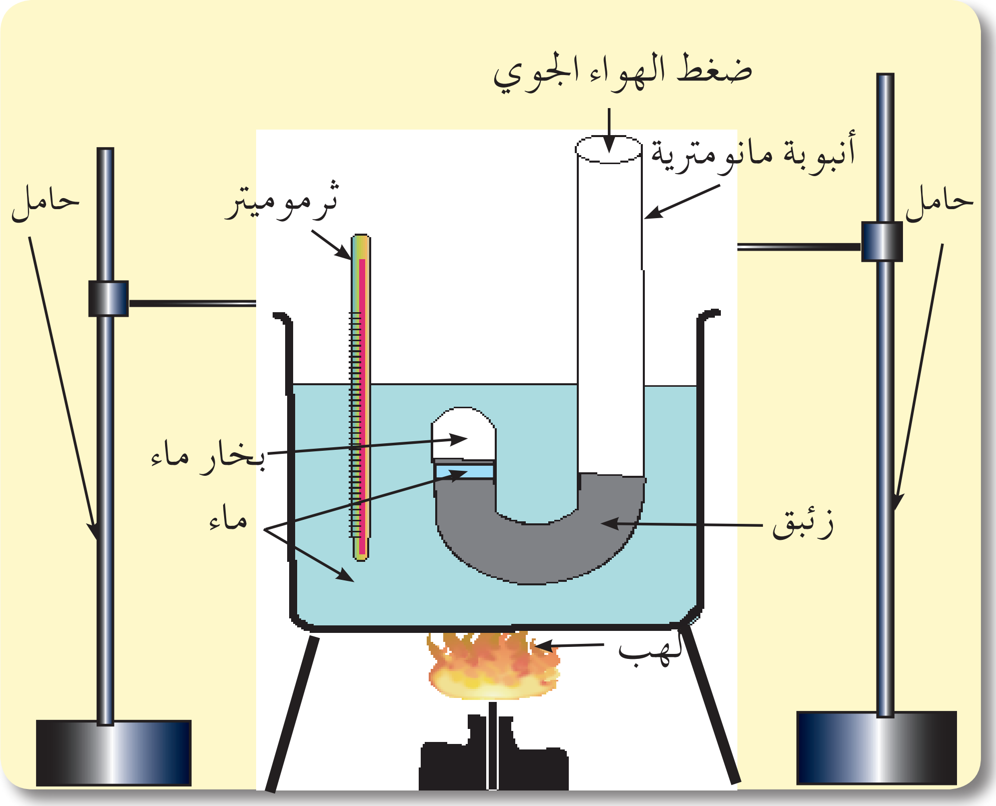
(٥-١٥) نقطة الغليان :

في النشاط السابق لاحظنا أن الماء المقطر يبدأ في الغليان في درجة ١٠٠°م إذا كان الضغط الواقع على سطحه هو الضغط الجوي العياري (٧٦ سم زئبق) ، أي أن نقطة غليان الماء هي ١٠٠°م تحت الضغط الجوي العياري، ولكل مادة نقية ، عنصراً كانت أم مركباً ، نقطة غليان معينة تميزها عن غيرها من المواد. وهي تلك الدرجة التي يصبح فيها ضغط البخار المشبع للسائل مساوياً للضغط على سطحه. ويمكن بيان ذلك باستخدام المانومتر (مقياس الضغط) الموضح في الشكل (٥ – ٨).

النشاط (٥–٨):

الأدوات : مانومتر ، حمام مائي ، ماء مقطر.

تصب كمية قليلة من الماء المقطر في الفرع المغلق في الانبوبة المانومترية الموضحة في الشكل (٥ – ٨) ثم توضع كمية مناسبة من الزئبق في الأنبوبة المانومترية بحيث يطرد الزئبق جميع الهواء في الفرع القصير (المغلق) ، ويبقى الماء المقطر فوق سطح الزئبق في الفرع المغلق.



الشكل (٥ – ٨): تحديد نقطة غليان الماء

توضع الأنبوبة المانومترية رأسياً في حمام مائي ويبدأ التسخين مع ملاحظة قراءة الترمومتر ، وتستمر عملية التسخين إلى أن تثبت قراءة الترمومتر.

مما سبق يلاحظ أن قراءة الترمومتر تثبت عند ١٠٠°م تقريباً عندما يكون سطحا الزئبق في الفرعين في مستوى أفقي واحد ، ويكون جزء من الماء في الفرع القصير من الأنبوبة قد تحول إلى بخار ، أي أن ضغط بخار الماء المشبع (في درجة ١٠٠°م) الذي في الفرع القصير يساوي الضغط الجوي الواقع على سطح الزئبق في الفرع الطويل من المانومتر. أي أن السائل يغلى عندما يصبح ضغط بخاره المشبع مساوياً للضغط الجوي الواقع على سطحه.

إن اضافة الشوائب مثل الملح أو السكر إلى الماء النقي يرفع من نقطة

غليانه؛ وكذلك يحدث نفس الشيء عند زيادة الضغط على الماء. وهذا ما يلاحظ في قدرة الضغط (حَلة البرستو= حَلة الضغط) إذ ترتفع نقطة غليان الماء إلى ١٢٠°م بزيادة ضغط الهواء في القدرة (في الحلة) إلى حوالي ٢ ضغط جوي.

وتفسر درجة الحرارة العالية تلك امكانية طهي طعام كالخضر واللحوم والبقوليات في فترة زمنية قصيرة ، أي باستهلاك وقود (طاقة) أقل.

تقويم ذاتي

١) علل :

أ. لا يحدث تغيير في درجة الحرارة أثناء الغليان والتكثيف بالرغم من اكتساب كمية كبيرة من الطاقة الحرارية فأين ذهبت الطاقة الحرارية؟

ب. تكون نقطة غليان ماء البحر أعلى من نقطة غليان ماء النهر؟

جـ. يستغرق سلق البيضة وقتاً أطول في الارتفاعات العالية؟

٢) ما الفرق بين الغليان والتبخر ؟

(٥ – ١٦) الحرارة الكامنة للتصعيد :

لاحظت في التجربة السابقة أن درجة حرارة الماء تثبت عند ١٠٠°م أثناء فترة الغليان ، فإذا زدنا معدل التسخين فإن سرعة غليان الماء وتبخره تزيدان، ولكن دون أن ترتفع درجة حرارته ؛ أي أن كمية الحرارة التي يستمدها الماء في هذه الحالة لا تعمل على رفع درجة حرارته. فأين تذهب هذه الكمية من الحرارة ؟. إنها تستهلك في التغلب على قوى التجاذب

بين الجزيئات المكونة للسائل؛ ولذلك تزداد طاقتها (الكامنة) بينما يبقى متوسط حركة الجزيئات ثابتاً؛ أي تبقى درجة حرارتها ثابتة ، وتسمى هذه الكمية من الحرارة بالحرارة الكامنة للتصعيد. وتعرف كما يلي .

> الحرارة الكامنة للتصعيد هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل كيلوجرام واحد من السائل، عند درجة غليانه العادية، إلى بخار دون تغيير في درجة الحرارة.

ويرمز لها بالرمز (حت).

تختلف الحرارة الكامنة للتصعيد من سائل لآخر؛ فمثلاً الحرارة الكامنة لتصعيد الماء تساوي ٢,٢٥٩,٩٠٠ جول/ كجم أي (٥٤٠ كيلوسعر/ كجم) في درجة حرارة ١٠٠°م. وهذا يعني أن كل كيلوجرام من الماء في درجة ١٠٠°م يحتاج إلى ٥٤٠ كيلوسعر من الحرارة ليتحول إلى بخار ماء في نفس درجة الحرارة وبالعكس، فإن كل كيلوجرام من بخار الماء في درجة ١٠٠°م يفقد ٥٤٠ كيلوسعر من الحرارة عندما يتكثف إلى ماء في نفس درجة الحرارة. والآن يمكنك أن تعلل سبب ارتفاع درجة حرارة الجو عندما يتكثف بخار الماء (تكون السحب).

وفيما يلى الجدول (٥ – ٣) الذي يوضح نقطة الغليان والحرارة الكامنة للتصعيد لبعض المواد.

الجدول (٥ – ٣): نقطة الغليان والحرارة الكامنة للتصعيد لبعض المواد.

المادة	نقطة الغليان تحت الضغط العيارى الحرارة الكامنة للتصعيد	كيلوسعر / كجم
الماء	١٠٠ °م	٥٤٠
الزئبق	٣٥٦,٧°م	٦٤٠٨
الكحول الايثيلي	٧٨,٣°م	٢٠٨
الأيثر	٣٣,٣٥ °م	٩١
النشادر	٣٨,٥°م	٣٤١

تقويم ذاتي :

- حول الحرارة الكامنة للتصعيد إلى جول / كجم في الجدول أعلاه.

(٥ – ١٧) التغير الذي يحدث لحجم السائل عندما يتبخر :

إذا وضعت قطرات قليلة من الماء في إناء متسع ومغطى، وسخنت الاناء إلى أن يتبخر الماء ، فإنك تلاحظ أن البخار الذى نتج قد شغل حيز الاناء بكامله. فما تفسير ذلك؟

عندما تتحول المادة السائلة من حالة السيولة إلى الحالة الغازية فإن جزيئاتها تتباعد كثيراً عن بعضها ، وهذا يزيد حجم المادة زيادة كبيرة ، فمثلاً عندما يتبخر ١ سم٣ من الماء ينتج عنه ١٦٠٠ سم٣ من بخار الماء (تحت الضغط الجوي العياري). وهذا يعني أن حجم الحيز الذي تشغله جزيئات الماء المتبخر قد تضاعف ١٦٠٠ مرة عندما تحول الماء إلى بخار.

مثال (٩):

وجه بخار ماء في درجة حرارة ١٠٠°م لفترة قصيرة نحو سطح بارد عند درجة الصفر المئوي، فتحول منه ٤٠٠ جرام إلى سائل عند درجة الصفر المئوي. أحسب:

كمية الحرارة المنبعثة من كتلة البخار المتحول إلى ماء عند درجة الصفر المئوي علماً بأن الحرارة الكامنة لتصعيد الماء ٢٢٠٠ كيلو جول/ كجم.

كمية الحرارة المنبعثة عندما يبرد الماء المتحول إلى بخار، ويصل إلى درجة الصفر المئوي علماً بأن الحرارة النوعية للماء ٤,٢ كيلو جول / كجم م°

الحل:

المعطيات: درجة حرارة بخار الماء= ١٠٠°م، ك ما تحول إلى سائل: ٤٠٠ جرام، الحرارة الكامنة لتصعيد الماء ٢٢٠٠ كيلو جول/ كجم، الحرارة النوعية للماء ٤,٢ كيلو جول / كجم م°.

وعليه:

أ/ الحرارة المنبعثة مساوية للحرارة الكامنة لكتلة ٤٠٠ جرام بخار.

٠,٤ × ٢٢٠٠ = ٨٨٠ كيلو جول.

ب/ يبرد البخار من (١٠٠°م) إلى (صفر م°)، أي Δ د = ١٠٠°م.

وعليه فإن الحرارة المنبعثة = ك × حن × Δ د = ١٠٠°م

= ٠,٤ × ٤,٢ × ١٠٠ = ١٦٨ كيلو جول.

مثال (١٠) :

وضع ١٠٠ جم من الماء في ثلاجة فإذا كان معدل الانخفاض في درجة حرارة الماء في بداية التجمد = ٢°م / دقيقة ، ومعدل الانخفاض في درجة حرارة الماء عند نهاية التجمد = ٤,٤°م / دقيقة.

أحسب الحرارة الكامنة لانصهار الجليد إذا علمت أن الحرارة النوعية للجليد = ٠,٥ كيلوسعر / كجم . م° . وان فترة التجمد استمرت ٣٨ دقيقة.

الحل :

المعطيات:

- كتلة الماء= ١٠٠ جم
- معدل انخفاض درجة حرارة الماء في بداية التجمد =٢مْ / الدقيقة
- معدل انخفاض درجة حرارة الماء عند نهاية التجمد ٤,٤ مْ /الدقيقة
- الحرارة النوعية للجليد = ٠,٥ كيلو سعر / كجم درجة
- فترة التجمد = ٣٨ دقيقة

معدل فقد كمية الحرارة في بداية التجمد($حر_١$) = ك × $حن_١$ × Δ $د_١$

= ٠,١ × ١ × ٢ = ٠,٢ كيلوسعر / دقيقة

معدل فقد كمية الحرارة في نهاية التجمد ($حر_٢$) = ك × $حن_٢$ ×Δ $د_٢$

= ٠,١ × ٠,٥ × ٤,٤ = ٠,٢٢ كيلوسعر / دقيقة

متوسط معدل الانخفاض في كمية الحرارة خلال فترة التجمد

حر = ($حر_١$ + $حر_٢$)/٢ = (٠,٢ + ٠,٢٢)/٢

= ٠,٢١ كيلوسعر / دقيقة

كمية الحرارة المفقودة خلال فترة التجمد = حر × ٣٨ دقيقة

= ٠,٢١ × ٣٨ = ٧,٩٨ كيلوسعر

الحرارة الكامنة لانصهار الجليد : = (حر × ن)/ك =

= ٧٩,٨ كيلوسعر / كجم

تقويم ذاتي

سخنت قطعة من الثلج عند (– ١٠°م) حتى أصبحت بخار ماء عند ١٠٠°م.

– اذكر تأثيرات الحرارة عند كل مرحلة من مراحل التسخين. أرسم رسماً بيانياً يوضح تغير درجة الحرارة مع الزمن.

(٥ – ١٨) القانون الأول للديناميكا الحرارية :

ذكرنا في شرحنا لطبيعة الحرارة بأن الحرارة هى تعبير عن حركة جزيئات المادة. فعند تسخين الماء في إناء نلاحظ بعد فترة أن الماء قد ارتفعت درجة حرارته حتى صار يغلي ويحرك غطاء الإناء إلى أعلى مما يعني أن كمية الحرارة التي يكتسبها الماء يذهب جزء منها لرفع درجة حرارة الماء بينما يستنفذ الجزء الآخر في تحريك الغطاء واكسابه طاقة حركية.

ويمكن ملاحظة نفس الظاهرة عند تسخيننا لاسطوانة بداخلها هواء ومكبس حيث تلاحظ ارتفاع درجة حرارة الغاز وتحرك المكبس إلى أعلى. مما يعنى أن كمية الحرارة التى اكتسبها الهواء يذهب جزء منها لزيادة طاقته الحركية الداخلية فترتفع نتيجة لذلك درجة حرارة الهواء أما الجزء الباقى من الطاقة الحرارية المكتسبة فيؤدي لتمدد الهواء الذى يحرك المكبس إلى أعلى. [انظر الشكل (٥ – ٩)].

كمية الحرارة المكتسبة = الطاقة الداخلية + الشغل المبذول (٧)

وهذا يعني أن الهواء قد بذل شغلاً لتحريك المكبس إلى أعلى. حيث يساوي هذا الشغل:

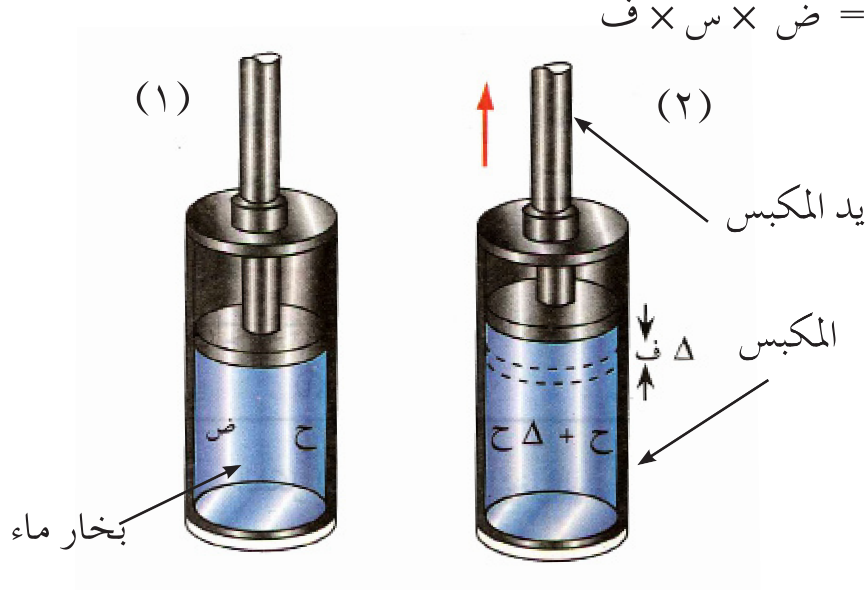
شغ = الشغل الذي بذله الهواء لتحريك المكبس.

= قوة ضغط الهواء × المسافة التي تحركها المكبس

= ق × ف

= ضغط الهواء × مساحة المكبس × ف

= ض × س × ف



الشكل (٥-٩): بخار الماء يحرك المكبس إلى أعلى

ويؤدى هذا الشغل لزيادة حجم الغاز ؛ فبالنظر للرسم نجد أن :

مساحة المكبس × المسافة التى تحركها المكبس = الزيادة في حجم الهواء

= س × ف = Δ ح

حيث تمثل Δ ح الزيادة أو التغير في حجم الغاز :
∴ الشغل المبذول بواسطة المكبس يساوي :

$$\text{شغ} = \text{ض} \times \text{س} \times \text{ف} = \text{ض} \times \Delta\,\text{ح} \qquad (٨)$$

فإذا رمزنا للطاقة الداخلية في المعادلة (٧) بالرمز (ط د) ولكمية الحرارة بالرمز (حر) وللشغل بالرمز (شغ) فإن هذه العلاقة يمكن كتابتها في الصورة.

$$\text{حر} = \text{ط د} + \text{شغ} \qquad (٩)$$

ويسمى القانون الموضح في المعادلتين (٧) و(٨) بالقانون الأول للديناميكا الحرارية (التحريك الحراري) ويعني هذا القانون أن:

الطاقة الحرارية يمكن أن تتحول إلى طاقة حركية.

فعند تطبيق هذا القانون تكون (حر) موجبة إذا اكتسب النظام حرارة، وسالبة إذا فقد النظام حرارة. ويكون شغ موجباً إذا بذل النظام شغلاً وسالبة إذا بذل شغل على النظام. استفيد من هذه الظاهرة في اختراع محركات السيارات والقاطرات حيث يؤدي حرق الوقود داخلها لتوليد طاقة حرارية يتحول جزء منها لطاقة حركية تحرك السيارة أو القاطرة.

مثال (١١) :

يتمدد غاز تحت ضغط ثابت قدره ١٠ نيوتن/م٢ فيتغير حجمه من ١٥ م٣ إلى ٢٢ م٣ أحسب الشغل المبذول بواسطة الغاز.

الحل :

المعطيات: ض = ١٠ نيوتن/م٢ ، Δ ح = ٢٢ – ١٥ = ٧ متر٣

وعليه:

شغ = ض × Δ ح = ١٠ × ٧ = ٧٠ نيوتن . م = ٧٠ جول.

مثال (١٢) :

إذا كانت كمية الحرارة المعطاه للغاز في المثال (١) هي ١٠٠ جول فأحسب التغير في الطاقة الداخلية للغاز.

الحل :

∴ ت: حر = ١٠٠ جول ، شغ = ٧٠ جول

وعليه:

Δ ط د = حر – شغ = ١٠٠ – ٧٠ = ٣٠ جول

تقويم ذاتي :

أ. تصور غازاً محصوراً في وعاء غير قابل للتمدد. ماذا يحدث لدرجة حرارة هذا النظام لو زود بكمية من الحرارة؟ وما مقدار الشغل الذي يبذله النظام (أو يُبذل عليه)؟ وما مقدار التغير في طاقته الداخلية؟.

ب. اذكر أمثلة لهذا النوع من العمليات.

(٥-١٩) القانون الثاني للديناميكا الحرارية والقصور الحراري (الأنتروبى):

إذا سخنا جسماً ما وتوزعت الحرارة في كل اجزائه بحيث أصبحت درجة حرارة كل أجزائه واحدة فإن حالة الجسم هذه تسمى بحالة الاتزان الحرارى. وفي هذه الحالة لا يحدث انتقال للحرارة بين اجزاء الجسم المختلفة.

أما إذ اختلفت درجات حرارة أجزاء الجسم المختلفة فإن الحرارة تنتقل من الأجزاء الساخنة إلى الأجزاء الباردة ويعاني الجسم في هذه الحالة من فوضى حرارية وهي تشبه الفوضى التي يحدثها الطلاب عند انتقالهم من مكان لآخر داخل الفصل. ويهتم القانون الثاني للديناميكا الحرارية بقياس هذه الفوضى الحرارية وتقاس هذه الفوضى الحرارية.بما يسمى بدالة القصور الحراري والتي تسمى بالإنتروبى والتي نرمز لها بالرمز (أ).

وهذه الدالة يجب أن تساوي الصفر في حالة عدم وجود فوضى أي عندما تتساوى درجات حرارة كل أجزاء الجسم فلا تنتقل حرارة من جزء لآخر.

كما يجب أن تكون هذه الدالة موجبة أي أكبر من الصفر عند حدوث قصور حراري عند اختلاف درجات حرارة اجزاء الجسم المختلفة وانتقال الحرارة بين هذه الأجزاء.

ينص القانون الثاني للديناميكا الحرارية على:

إنه من المستحيل لأي آلة نقل حرارة من جسم لآخر أعلى منه درجة حرارة ما لم يبذل شغل.

تقويم ذاتي :

١ . متى تحدث الفوضى الحرارية؟.
٢ . مما عرفت من معلومات عرِّف الإنتروبي.
٣ . هل يمكن الربط بين الإنتروبي والقانون الثاني للديناميكا الحرارية؟.
إذا كانت الاجابة نعم وضح كيف.

تمرين

١ . ما الفرق بين السعة الحرارية والحرارة النوعية لجسم ما ؟ أيتهما تأخذ قيمة ثابتة وأيتهما تكون قيمتها متغيرة ؟ ولماذا ؟
٢ . عندما يسخّن جسم حار جسماً آخر بارداً ، هل يتساويان في مقدار تغير درجة حرارتيهما في النهاية ؟ اشرح اجابتك مع ذكر الأمثلة.
٣ . هل يمكن اضافة الحرارة إلى مادة دون التسبب في رفع درجة حرارتها ؟ فسّر إجابتك.
٤ . اشرح تجربة عملية تبين فيها كيف يمكنك تعيين الحرارة النوعية لمادة الألمنيوم باستخدام كوب من الألمنيوم.
٥ . عرف المفاهيم التالية :
درجة الانصهار ، الحرارة الكامنة ، التصعيد ، نقطة الغليان ، الانتروبي
(الفوضى الحرارية).
٦ . كيف يتم تعيين درجة انصهار المادة ؟
٧ . ما العلاقة بين الضغط ودرجة الانصهار للمواد المختلفة ؟
٨ . وضح الآتي :

أ. متى يكون الشغل المبذول موجباً ومتى يكون سالباً.
ب.ماذا يحدث في محرك السيارة على ضوء القانون الأول للديناميكا الحرارية.
ج. التغيرات التي تحدث للثلج باستمرار التسخين عندما توضع كمية منه على إناء فوق لهب.

٩. ما العلاقة بين ضغط بخار الماء المشبع عند نقطة الغليان و الضغط الجوي الواقع على سطح الماء الذى يغلي ؟ كيف تثبت ما تقوله عملياً؟

١٠. علل ما يلي:
(أ) لا يوجد للزجاج درجة انصهار معينة كما لايمكن قياس حرارة انصهاره الكامنة.
(ب) عندما يبدأ الشمع في الانصهار يبقى الشمع الجامد تحت الشمع المصهور.
(ج) عند زيادة الضغط على الجليد تنخفض درجة إنصهاره وعند زيادة الضغط على سطح الماء ترتفع درجة غليانه.

١١. يدور قمر مصنوع من الألمنيـــــوم حول الأرض بسرعة ثابتة ٩٠٠٠ م/ث أحسب النسبة بين طاقته الحرارية والطاقة اللازمة لرفع حرارته مقدار ٦٠٠ جول / كجم /°م علماً بأن الحرارة النوعية للألمنيوم ٩٠٠ جول / كجم / °م.

١٢. ثلاجة تحول كجم ماء بدرجة ١٥°م إلى ثلج بدرجة –٤ ° م في ١٠ دقائق أحسب كمية الطاقة الحرارية التي يفقدها الماء في الدقيقة علماً بأن الحرارة النوعيـــــة للثلج ٢١٠٠جول/ كجم/ °م وللمـاء ٤٢٠٠ جول / كجم /° م والحرارة الكامنة لانصهار الثلج ٣٣٦ كيلو جول / كجم.

١٣. القيت ٥ جم من الثلج بدرجة –٥ ° م في مُسعِّر سعته الحرارية ٠,٠٥ جول / °م ويحتوي على ٩٠ جم بدرجة حرارة ١٣°م ، فإذا بلغت درجة الحرارة النهائية للمزيج ٨ ° م أحسب الحرارة الكامنة لانصهار الثلج علماً بأن الحرارة النوعية للثلج ٢١٠٠ جول/ كجم/°م وللماء ٤٢٠٠ جول/ كجم /°م.

١٤. صُب ١٠٠ جم من العصير في كأس، سعتها الحرارية ٨٥ جول/°م وكانت درجة حرارة الكأس والعصير ١٧°م أحسب كمية الثلج بدرجة صفر° م اللازمة لتبريد العصير إلى ٢°م علماً بأن الحرارة النوعية للعصير ٢٥٢ جول / كجم / ° م والحرارة الكامنة لانصهارالثلج ٣٣٦ جول / كجم ، والحرارة النوعية للماء ٤٢٠٠ جول / كجم /م.

١٥. زود نظام غازي بكمية من الحرارة مقدارها ١٥٠٠ سعر فزاد حجمه بمقدار ٠,٠١م٣ تحت ضغط ثابت يساوي ضغطاً جوياً واحداً، أحسب مقدار التغير في طاقة النظام الداخلي (علماً بأن ١ ضغط جوي يساوي ١,٠١٣ × ١٠ ° باسكال (نيوتن/م٢ ، والسعر يساوي ٤,١٨٤ جول).

١٦. أضيفت كمية من الحرارة مقدارها ١٤٠٠ كيلو سعر إلى غاز محصور في أسطوانة مزودة بمكبس حر الحركة ، فازداد حجم الغاز بالتدريج من ١٢ م٣ إلى ١٨,٢ م٣ أحسب :

- الشغل الذي أنجزه الغاز.
- التغير في الطاقة الداخلية.

(علماً بأن الضغط الجوي ١,٠١٣ × ١٠°١ باسكال).