المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

# تخصص ميكانيكا إنتاج

# مدخل إلى التقنية الميكانيكية

116 ميك

طبعة ١٤٢٩ هـ

# مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني و المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعإلى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني و المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " **مدخل إلى التقنية الميكانيكية** " لمتدربي قسم" **ميكانيكا إنتاج** " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص. والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه: إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

# المقدمة

مما لاشك فيه أن فهم أساسيات أي علم من العلوم يعتبر هو السبيل الأقصر لفهم هذا العلم واستيعابه على الوجه المطلوب ، ومن هذا المنطلق جاء اعتماد هذا المقرر ضمن مقررات تخصص الإنتاج في قسم التقنية الميكانيكية في الكليات التقنية بالمملكة. ويقدم هذا المقرر أساسيات التقنية الميكانيكية بصورةٍ مبسطة ومباشرة دون التعمق في النظرية التي قد تتسبب في الإخلال بأهداف المقرر.

وقد تم الحرص في إعداد هذه الحقيبة قدر الإمكان على البساطة والوضوح واستخدام الأمثلة التي بالإمكان تصورها واستيعابها من قبل المتدربين.

ولكن يجب التنبيه إلى إن هذا المقرر بطبيعته يحتاج إلى متابعة مستمرة من قبل المتدرب ولذلك فقد حاولت الإكثار من الأمثلة ومن التمارين في نهاية كل وحدة حيث أرغب من زملائي المدربين حث المتدربين على متابعة المقرر من خلال التمارين المتعلقة بالمحاضرات أولا باول حتى يتحقق الهدف بإذن الله.

هذا وأسأل الله تعالى للجميع التوفيق والسداد.

# مدخل إلى التقنية الميكانيكية

## مقدمة في الاستاتيكا والديناميكا

مقدمة في الاستاتيكا والديناميكا

1

# الوحدة الأولى : : مقدمة في الاستاتيكا والديناميكا

## الأهداف

بعد دراسة هذه الوحدة يصبح المتدرب قادراً على:

- معرفة الكميات القياسية والمتجهة والتفريق بينها.
- تحليل القوى المائلة إلى مركباتها و حساب محصلة مجموعة من القوى تتلاقى خطوط عملها في نقطة.
- معرفة عزم القوة
- معرفة وتطبيق شروط اتزان مجموعة من القوى تتلاقى خطوط عملها في نقطة.
- معرفة أساسيات الحركة المستقيمة والدورانية.
- فهم قوانين نيوتن وبعض تطبيقاتها الأساسية.

## الوقت المتوقع للتدريب

8 ساعات

## المتطلبات السابقة

مبادئ الفيزياء والرياضيات (المتجهات والدوال المثلثة ونظرية فيثاغورس)

# الوحدة الأولى : مقدمة في الاستاتيكا والديناميكا
# Introduction to Statics and Dynamics

**مقدمة**

تتناول هذه الوحدة موضوع الميكانيكا التطبيقية حيث يتم التطرق إلى كلٍ من الاستاتيكا وهو علم السكون والديناميكا وهو علم الحركة

وتبدأ الوحدة بتناول موضوع القوى المتركزة في نقطة حيث تتم دراستها ومعرفة طرق حساب محصلتها وكذلك تحليلها إلى مركباتها وإسقاطها على المحاور. ثم يتم تناول موضوع اتزان مجموعة من القوى تتلاقى خطوط عملها في نقطة حيث تتم معرفة شروط الاتزان والتطرق إلى بعض الامثلة والتمارين التطبيقية في هذا المجال. بعد ذلك يتم التطرق لموضوع الديناميكا وهو علم الحركة حيث تتم دراسة سرعة وتسارع الجسيمات مع التطرق إلى نوعين من أنواع الحركة وهما الحركة في خط مستقيم والحركة الدائرية. وبعد ذلك يتم إدخال مسببات الحركة في الدراسة من خلال التطرق إلى قوانين نيوتن وبعض تطبيقاتها.

## 1- 1 متجهات القوى Force Vectors

حيث إن القوة هي كمية متجهة فمن المناسب أن يسبق الحديث عن القوى تعريفاً بالكميات المتجهة والكميات القياسية.

### 1- 1- 1 الكميات القياسية والكميات المتجهة: Vectors and Scalars

تنقسم الكميات الطبيعية بوجهٍ عام إلى نوعين هما الكميات القياسية والكميات المتجهة ، **فالكميات القياسية (Scalar Quantities)** هي الكميات التي يعبر عنها بواسطة قياس واحد فقط يمثل المقياس (magnitude) ومثال ذلك الطول ودرجة الحرارة والكتلة والحجم وغيرها.

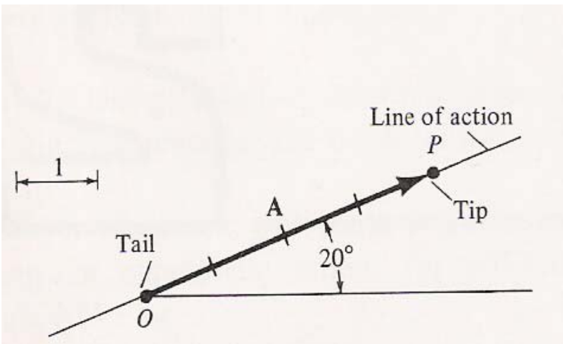
مثلاً درجة حرارة جسم ما 21 درجة مئوية و طول شخص ما 170 سم.

أما الكميات المتجهة **(Vector Quantities)** فهي الكميات التي يعبر عنها بكلٍ من المقدار أو المقياس (magnitude) والاتجاه (direction) فلو عبر عنها بالمقياس فقط أو الاتجاه لما اكتمل تعريفها.

**مثلاً** السرعة ، القوة ، العجلة ... وغيرها

فلو قلنا أن شخصاً تحرك بسيارته بسرعة 120 كلم بالساعة وسألنا كم ستستغرق رحلته؟ فمن الواضح أن المعلومة غير مكتملة ولا يمكن الإجابة على السؤال ولكن لو أضفنا أن الشخص يسير بسرعة 120 كلم بالساعة منطلقاً من القصيم باتجاه الرياض لأصبحت المعلومة مكتملة وأمكن الإجابة على السؤال. فهنا لابد لكي نعرف السرعة أن يتم تحديد مقدارها ( 120 كلم بالساعة ) واتجاهها (من القصيم إلى الرياض).

تمثل المتجهة بالرسم بواسطة خط سهمي يدل طوله على مقدار المتجهة وتدل الزوايا التي يصنعها مع الإحداثيات على اتجاه المتجهة وفي الميكانيكا المستوية تكفي زاوية واحدة في المستوى لتحديد الاتجاه .الشكل 1- 1 يبين متجهة A قياسها أربع وحدات وتصنع زاوية مقدارها 20 درجة مع المحور الأفقي.




شكل 1- 1 (تمثيل المتجهة)

**ضرب كمية متجهة بكمية قياسية:**

عند ضرب كمية متجهة **A** بكمية قياسية n فإن الناتج كمية متجهة جديدة **B**

$$\mathbf{B} = n\,\mathbf{A} \qquad (1\text{-}1)$$

ويكون مقدار **B** يساوي مقدار **A** مضروباً في n واتجاهها كالتالي:

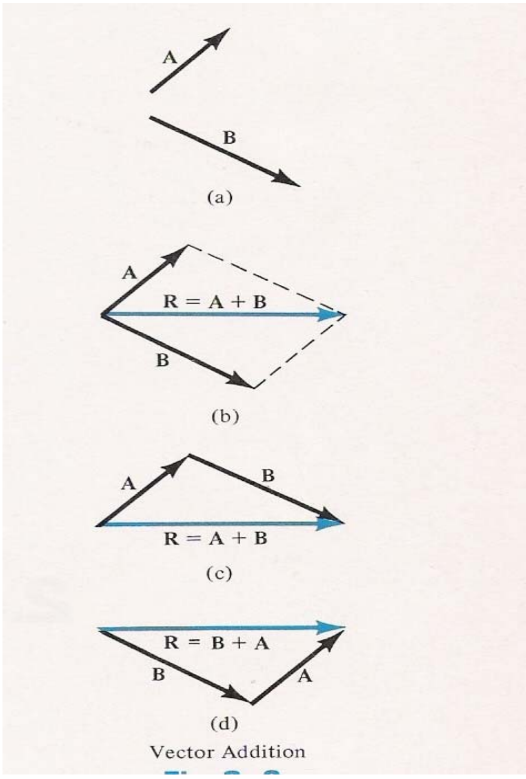
أ) **B** في نفس اتجاه **A** إذا كانت $n > 0$

ب) **B** عكس اتجاه **A** إذا كانت $n < 0$

ج ) $\mathbf{B} = 0$ إذا كانت $n = 0$

## جمع الكميات المتجهة:

يمكن جمع متجهتين **A** و **B** للحصول على محصلتهما **R = A + B** باستخدام طريقة متوازي الأضلاع حيث يتم رسم المتجهتين من نقطة واحدة لتكونا ضلعي متوازي الأضلاع ومن ثم استكمال متوازي الأضلاع. وبكون حاصل جمع المتجهتين أو المحصلة **R** هي الضلع من نقطة بداية المتجهتين إلى الركن المقابل لها كما هو موضح بالشكل 1- 2.




(d)و (c)او بطريقة التتابع (b) بطريقة متوازي الأضلاع (a)الشكل 1- 2 جمع متجهتين

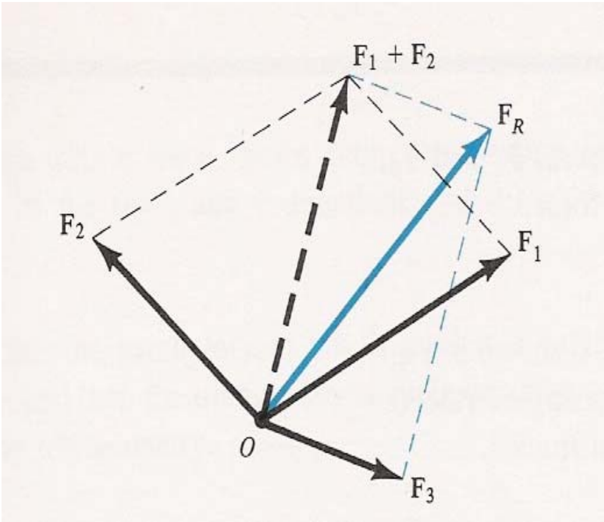
من الممكن أيضاً إيجاد حاصل الجمع أو المحصلة **R** برسم المتجهات باتجاهاتها متتابعة وتكون المحصلة هي الضلع الواصل من نقطة بداية المتجهة الأولى إلى نقطة نهاية المتجهة الأخيرة كما هو موضح بالشكل1- 2. ويمكن أيضاً إيجاد حاصل الجمع بطريقة التحليل وسيتم التعرف على هذه الطريقة في الموضوع التالي.

**1- 1- 2** محـصلة القـوى المـستوية ( اتجـاهين فقـط): Force Resultant in Two Dimensions

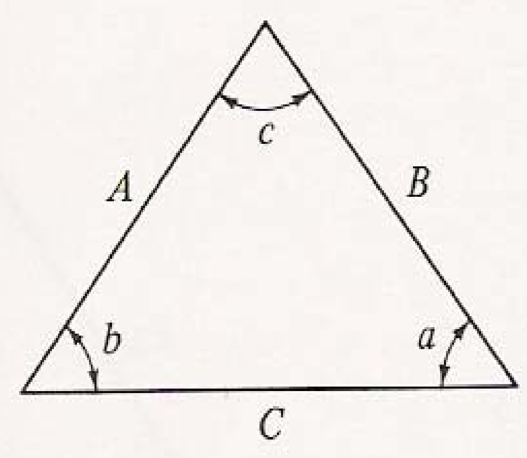
أ - طريقة متوازي أضلاع القوى:

حيث إن القوة كمية متجهة فإن ما سبق تقديمه ينطبق على متجهات القوى (انظر الشكل 1- 3) وسنأخذ أمثلة توضيحية تبين طريقة إيجاد محصلة مجموعة من القوى المستوية باستخدام طريقة متوازي الأضلاع ولكن من المناسب قبل ذلك أن نسترجع بعض القوانين الرياضية المفيدة في هذا الموضوع.

الشكل 1- 4 يبين قانون جيب الزاوية وقانون جيب تمام الزاواية للمثلث




الشكل 1- 3 (إيجاد محصلة مجموعة من القوى باستخدام طريقة متوازي الاضلاع)




قانون جيب الزاوية

Sine law:

$$\frac{A}{\sin a} = \frac{B}{\sin b} = \frac{C}{\sin c}$$

قانون جيب تمام الزاوية

Cosine law:

$$C = \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB\ \cos c}$$

الشكل 1- 4 قانون جيب الزاوية Sine Law و قانون جيب تمام الزوايا Cosine law

ب- طريقة تحليل القوى إلى مركباتها:

في هذه الطريقة يتم تحليل كل قوة إلى مركباتها باتجاه المحاور x و y ومن ثم يتم جمع المركبات باتجاه المحور x مع ملاحظة اتجاهها بحيث تكون المركبة التي بالاتجاه الموجب للمحور موجبة والتي بالاتجاه السالب للمحور تكون إشارتها سالبة وبذلك يتم الحصول على المركبة المحصلة باتجاه المحور x (FRx) وبنفس الطريقة باتجاه المحور y للحصول على المركبة المحصلة باتجاه المحور y (FRy) أو بعبارة رياضية:

$$\underline{FRx = \Sigma Fx} \qquad (2\text{-}1)$$
$$\underline{FRy = \Sigma Fy}$$

و تكون المحصلة

$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} \qquad (3 - 1)$$

وتكون زاوية المحصلة التي تصنعها مع المحور X

$$\theta_R = \tan^{-1}\frac{F_{Ry}}{F_{Rx}} \qquad (4 - 1)$$

تذكير:

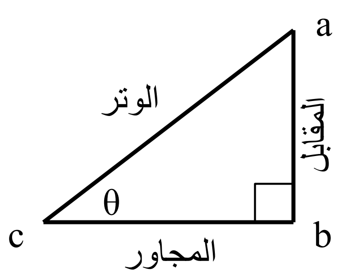
من المفيد هنا أن تتذكر تعريف الدوال المثلثية الأساسية ( جيب الزاوية ، وجيب تمام الزاوية ، و ظل الزاوية)

بالنسبة لأي مثلث قائم الزاوية فإن:

جيب الزاوية = المقابل / الوتر $\sin\theta = ab/ac$

جيب تمام الزاوية = المجاور / الوتر $\cos\theta = bc/ac$

ظل الزاوية = المقابل / المجاور $\tan\theta = ab/bc$



## 1- 1- 3 محصلة القوى بثلاثة اتجاهات: Force Resultant in Three Dimensions

سيتم اقتصار الحديث هنا على طريقة تحليل القوى إلى مركباتها باتجاه المحاور ولكن يجب الانتباه إلى أن اتجاه القوة هنا يحدد بمعرفة الزوايا الثلاث التي تعملها القوة مع المحاور الثلاثة x و y و z ولذلك عند الرغبة في إيجاد محصلة مجموعة من القوى فإنه يتم تحليل كل قوة إلى مركباتها على المحاور الثلاثة ومن ثم جمع المركبات على كل محور للحصول على المركبات المحصلة على المحاور الثلاثة وتكون المحصلة كالتالي:

$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2 + F_{Rz}^2} \qquad (5-1)$$

والزوايا التي تصنعها المحصلة مع المحاور هي

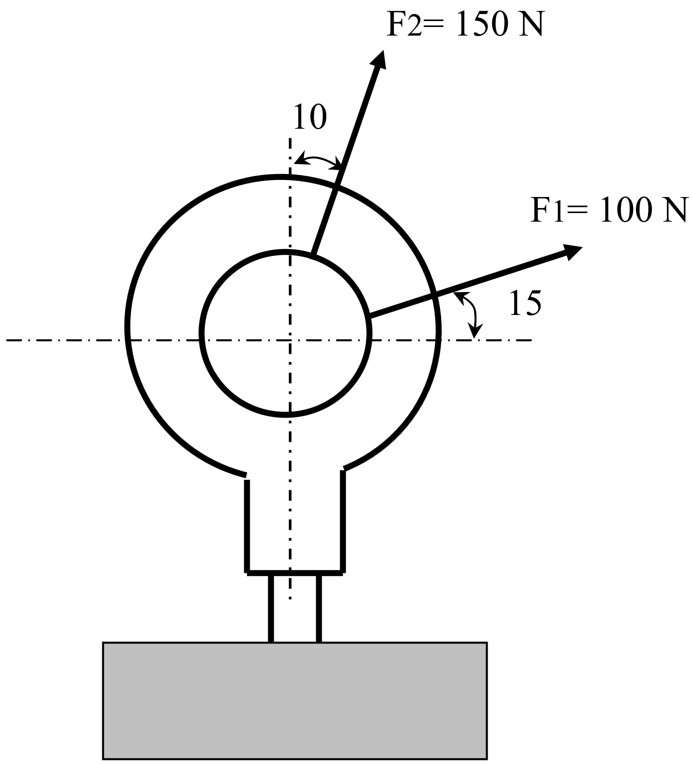
$$\theta_{Rx} = \cos^{-1}\frac{F_{Rx}}{F_R}\ ,\ \theta_{Ry} = \cos^{-1}\frac{F_{Ry}}{F_R},\ \theta_{Rz} = \cos^{-1}\frac{F_{Rz}}{F_R} \qquad (6-1)$$

والآن من المناسب أن نأخذ بعض الأمثلة التوضيحية

**أمثلة:**

مثال1- 1

يتعرض المسمار الموضح في الشكل إلى قوتين F1 و F2. احسب مقدار واتجاه محصلتهما باستخدام طريقة متوازي الأضلاع وباستخدام طريقة التحليل؟

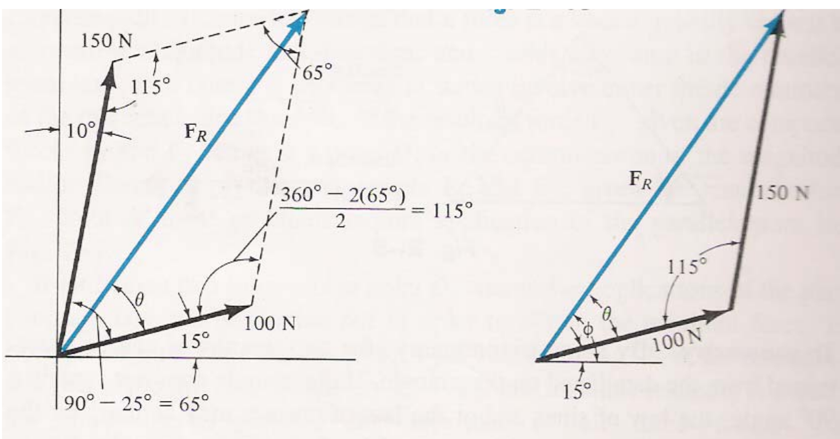



الحل:

أولاً: طريقة متوازي أضلاع القوى:

نرسم القوتين باتجاهاتهما كضلعين لمتوازي الأضلاع ومن ثم استكمال متوازي الأضلاع وتوصيل نقطة بداية القوى إلى النقطة المقابلة كما في الشكل ثم ندرس أحد المثلثين لإيجاد المحصلة كالتالي:

باستخدام قانون جيب تمام الزاوية فتكون المحصلة



$$F_R = \sqrt{100^2 + 150^2 - 2\times 100\times 150\times \cos 115} = 212.6 \quad N$$

لإيجاد زاوية المحصلة نستخدم قانون جيب الزاوية

$$\frac{150}{\sin \theta} = \frac{212.6}{\sin 115}$$

$$\sin \theta = \frac{150}{212.6} \sin 115 = 0.639$$

$$\theta = \sin^{-1} 0.639 = 39.7$$

إذا تكون زاوية المحصلة

$$\theta_R = \phi = \theta + 15 = 39.7 + 15 = 57.4^o$$

ثانياً: طريقة التحليل

FRx = Σ Fx = 100 cos 15 + 150 sin 10 = 122.64 N

FRy = Σ Fy = 100 sin 15 + 150 cos 10 = 173.60 N

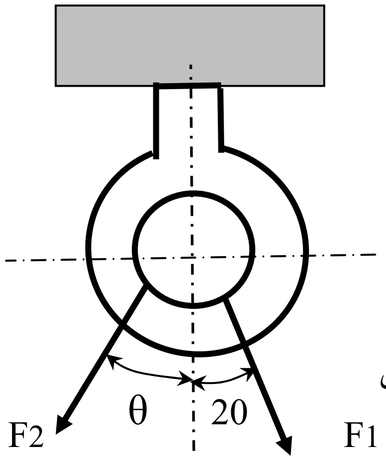
$$F_R = \sqrt{122.64^2 + 173.60^2} = 212.6 \quad N$$

$$\theta_R = \tan^{-1} \frac{173.60}{122.64} = 57.4^o$$

( نفس النتائج السابقة)

مثال1- 2

تتعرض الحلقة الموضحة بالشكل إلى قوتين F1 و F2. إذا كان المطلوب أن تكون مقدار محصلة هاتين القوتين هي 1 kN واتجاهها رأسية إلى الأسفل فاحسب

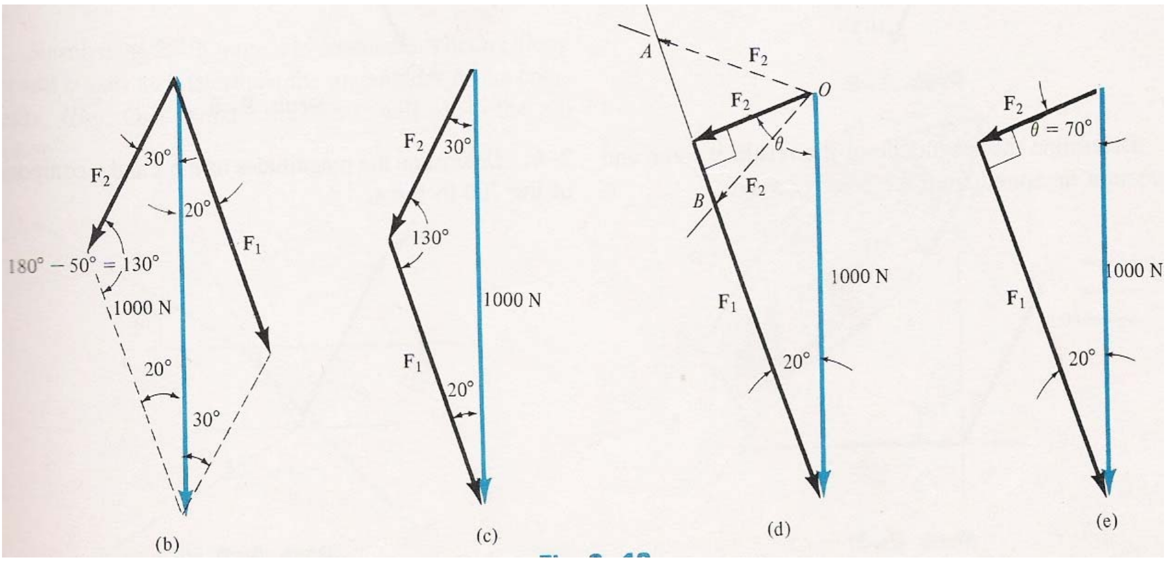



أ) مقدار القوى F1 و F2 إذا كانت θ = 30 ؟

ب) مقدار F1 و F2 بحيث تكون F2 أقل ما يمكن؟

الحل:

أ) لو رسمنا خطي عمل القوتين باتجاهاتهما ومن ثم رسمنا المحصلة أفقية إلى أسفل من نقطة البداية لاستطعنا استكمال متوازي الأضلاع كما بالشكل (b) وبعد ذلك ندرس أحد المثلثين كما بالشكل (c) كالتالي:




باستخدام قانون جيب الزاوية نستطيع الحصول على القوى

$$\frac{F_1}{\sin 30} = \frac{1000}{\sin 130} \qquad F_1 = \sin 30 \times \frac{1000}{\sin 130} = 652.7 \quad N$$

$$\frac{F_2}{\sin 20} = \frac{1000}{\sin 130} \qquad F_2 = \sin 20 \times \frac{1000}{\sin 130} = 446.7 \quad N$$

ب) بالنظر إلى الشكل d يتضح أن القوة F2 تكون أقل مايمكن عندما تكون عمودية على F1 أي يكون المثلث في الشكل (e) قائم الزاوية

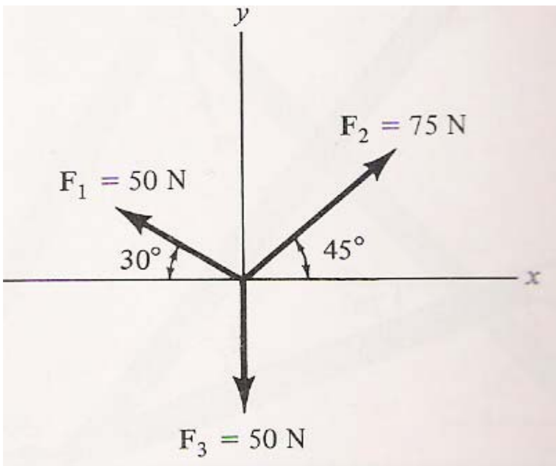
نحسب قيمتها بتطبيق قانون الجيب على المثلث بالشكل e كالتالي:

$$\frac{F_1}{\sin 70} = \frac{1000}{\sin 90} \qquad F_1 = \sin 70 \times \frac{1000}{\sin 90} = 939.6 \quad N$$

$$\frac{F_2}{\sin 20} = \frac{1000}{\sin 90} \qquad F_2 = \sin 20 \times \frac{1000}{\sin 90} = 342 \ \ N$$

مثال1- 3

احسب مقدار واتجاه محصلة القوى الثلاث الموضحة بالشكل




الحل:

سيتم الحل باستخدام طريقة التحليل

$$FRx = \Sigma Fx = -50 \cos 30 + 75 \cos 45 = 9.73 \quad N$$

$$FRy = \Sigma Fy = 50 \sin 30 + 75 \sin 45 - 50 = 28.03 \ N$$

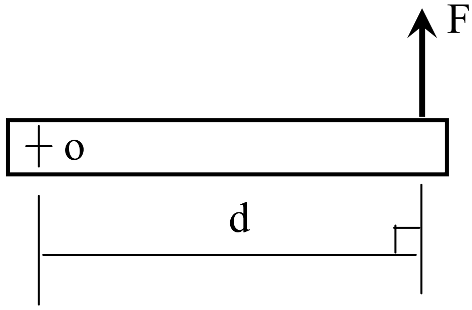
$$F_R = \sqrt{9.73^2 + 28.03^2} = 29.67 \quad N$$

$$\theta_R = \tan^{-1} \frac{28.03}{9.73} = 70.85^o$$

## 1- 2 عزم القوة: Moment of a Force

يعرف عزم القوة حول نقطة على أنه حاصل ضرب مقدار القوة في ذراعها ويقصد بالذراع هو المسافة العمودية بين خط عمل القوة و النقطة المطلوب حساب العزم حولها (انظر الشكل1- 5).

وقد اتفق على أن العزم إذا كان عكس عقارب الساعة فهو موجباً وإذا كان مع عقارب الساعة فهو سالبا.



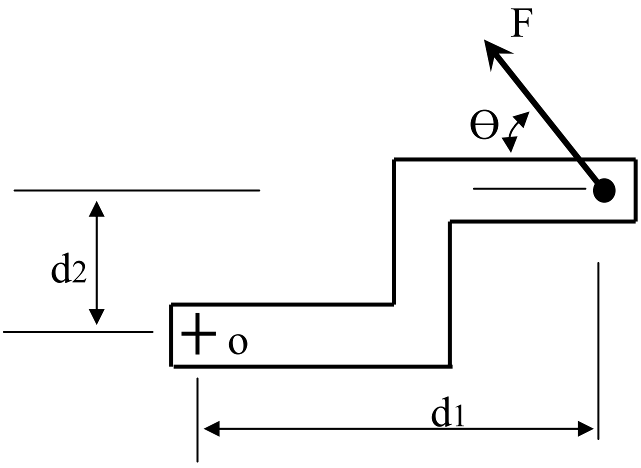

عزم القوة هو حاصل ضرب مقدارها في ذراعها

$$M_o = F \times d$$

الشكل1- 5 عزم القوة

**قانون العزوم:**

ينص قانون العزوم على أن عزم القوة حول نقطة يساوي مجموع عزوم مركبات تلك القوة حول نفس النقطة مع أخذ اتجاه العزم بالاعتبار. ولتوضيح هذا القانون فإن عزم القوة المائلة الموضحة بالشكل1- 6 حول النقطة o هو مجموع عزوم مركباتها الأفقية والرأسية حول النقطة o.



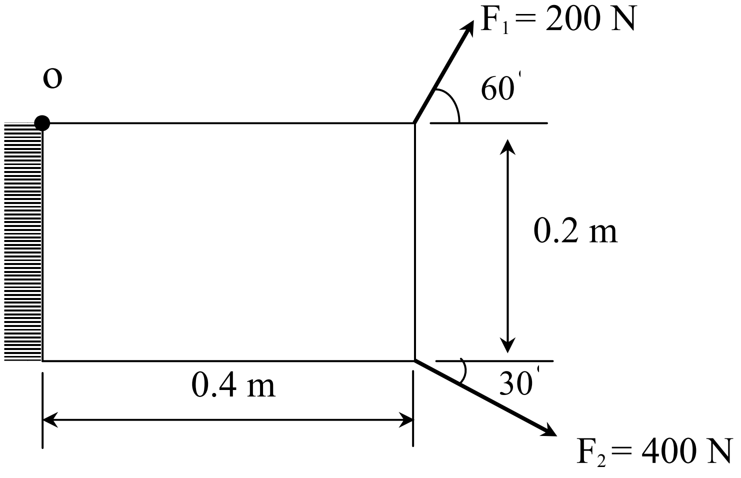

عزم القوة F حول النقطة o يساوي مجموع عزوم مركباتها حول نفس النقطة

$$M_o = F \sin\Theta \times d_1 + F \cos\Theta \times d_2$$

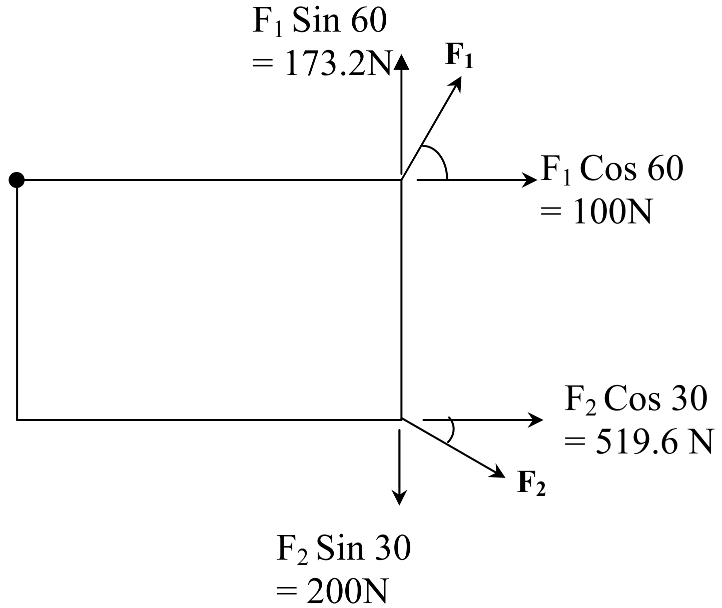
شكل1- 6 قانون العزوم

مثال1- 4

احسب محصلة العزوم حول النقطة O



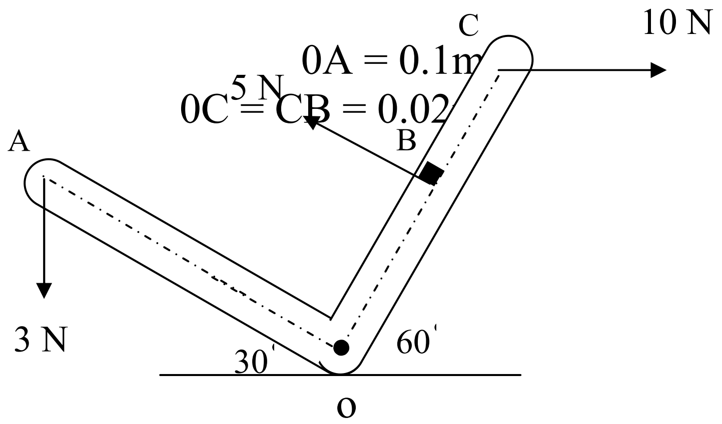

الحل /



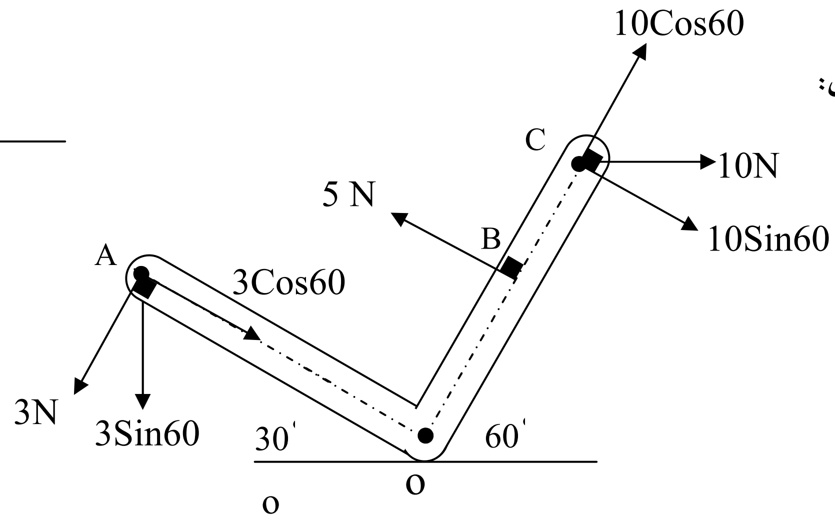

$$M_0 = 173.2 \times 0.4 + 519.6 \times 0.2 - 200 \times 0.4 = 93.36 \ \text{N m}$$

مثال1- 5

احسب محصلة العزوم حول النقطة 0 التي تسببها القوى المؤثرة على الذراع الموضحة؟




الحل:




Mo = 3 Sin 60 × 0.1+5 × 0.02-10 Sin 60× 0.04 = 0.0134 N m

## 1- 3 اتزان الجسيم: Equilibrium of a Particle

ينص قانون نيوتن الأول –كما سنتعلم لاحقاً- على أنه إذا كانت محصلة القوى المؤثرة على جسيمٍ ما تساوي صفراً - والمقصود بالجسيم هو جسم متناهي الصغر مهمل الأبعاد ويمكن تخيله وكأنه نقطة- فإن الجسيم يكون في حالة اتزان. ولهذا فإن الاتزان يقتضي أن يبقى الجسيم على حاله قبل تأثير القوى عليه أي يبقى ساكناً إذا كان في الأصل ساكنا أو متحركا بسرعة ثابتة إذا كان في الأصل كذلك.

إذا شرط الاتزان هو أن تكون محصلة القوى المؤثرة على الجسيم تساوي صفراً وإذا كانت كذلك فإن كل مركبة من مركباتها على المحاور تكون صفراً كذلك أو بعبارةٍ رياضية:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \qquad (1\text{-}7)$$

$$\Sigma F_z = 0$$

حيث الرمز Σ يعني الجمع و F ترمز إلى القوة و x ، y ، z هي المحاور الكارتيزية. وهذا يعني أن مجموع القوى المؤثرة على الجسيم باتجاه كل محور من المحاور يساوي صفراً. وعند تطبيق هذه الشروط يمكن دراسة الجسيم المتزن ومعرفة جميع ما يراد معرفته من هذه الدراسة.

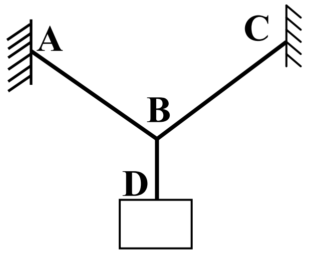
ملحوظة الشرط بصيغته الرياضية أعلاه هو الشرط العام للاتزان في الفراغ (ثلاثي الأبعاد) ولكن عندما تكون الحالة هي الحالة المستوية (ثنائية الأبعاد) فيتم تطبيق الاتزان في محورين فقط هما x ، y .

**طريقة دراسة وحل مسائل اتزان الجسيم تحت تأثير مجموعة من القوى:**

1. يعزل الجسيم الذي تؤثر عليه القوى عما يتصل به ويرسم رسماً تخطيطياً ما يسمى بياني الجسم الحر (Free Body Diagram) موضحاً فيه جميع القوى المعلومة والمجهولة بحيث توضح القوى المعلومة بمقاديرها واتجاهاتها أما القوى المجهولة فيرمز لها بحروف مناسبة وتفترض اتجاهاتها.
2. تطبق شروط الاتزان ليتم الحصول على معادلات خطية في المجاهيل يتم بعد ذلك حلها رياضياً ومعرفة جميع مقادير واتجاهات القوى المجهولة.

بعض النقاط المفيدة لرسم بياني الجسم الحر:

- من المهم أن يتم رسم الجسيم تحت الدراسة فقط أي يعزل عما يحيط به ويرسم لوحده. على سبيل المثال لو أردنا معرفة قوى الشد في الحبال AB و BC في الشكل1- 7 فإن الجسيم الذي يجب عزله ورسمه هو العقدة B وليس غيرها.

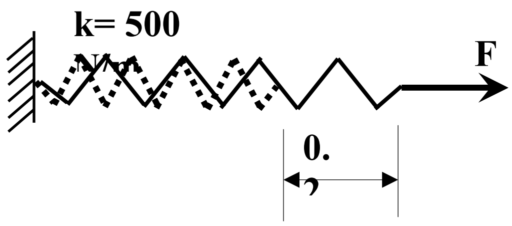



الشكل 1- 7

- الحبال دائما ما يفترض أنها مهملة الوزن وغير قابلة للاستطالة وتستطيع تحمل قوى الشد فقط والحبال التي تلتف على بكرات مهملة الاحتكاك تكون قوة الشد في جهتي البكرة ثابتة وذلك لاتزان البكرة وعلى هذا فإن مقدار قوة الشد في الحبل على طرفي البكرة ثابتاً مهما كانت الزاوية التي يشد بها.
- عند استخدام النوابض الخطية (Linear Springs) فإن التغير في طول النابض s يتناسب طردياً مع القوة المؤثرة على النابض وثابت التناسب هو ثابت النابض k او بعبارة رياضية

$$F = k\,s \qquad (1\text{-}8)$$

فعلى سبيل المثال لو أن ثابت النابض الموضح بالشكل1- 8 هو k = 500 N/m فإن القوة اللازمة لزيادة أو إنقاص طول النابض بمقدار 0.2 m هي F= 500 * 0.2 = 100 N شداً أو ضغطاً.

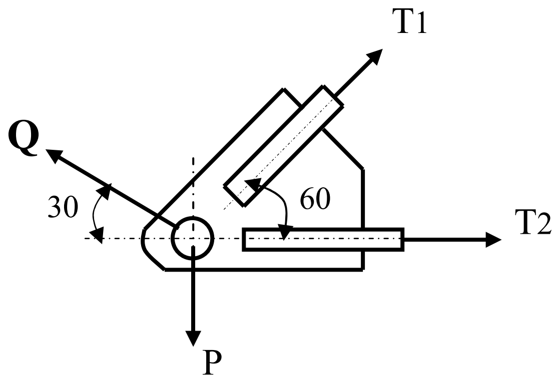



الشكل 1- 8

والآن من المناسب اخذ بعض الأمثلة لتوضيح الموضوع بشكل أكبر.

مثال1- 6

تؤثر القوتان P و Q ومقاديرهما 6 KN و 8 KN في الوصلة المبينة. احسب قيمة الشدين T1 و T2 عند اتزان الوصلة؟




$$\Sigma Fx = 0$$

$$T1 \cos 60 + T2 - Q \cos 30 = 0$$

$$T1 \cos 60 + T2 - 8 \cos 30 = 0$$

$$T1 \cos 60 + T2 = 6.93 \qquad (1)$$

$$\Sigma Fy = 0$$

$$T1 \sin 60 + Q \sin 30 - P = 0$$

$$T1 \sin 60 + 8 \sin 30 - 6 = 0$$

$$T1 \sin 60 = 2 \qquad (2)$$

نحل المعادلة (2)

$$T1 = 2/ \sin 60 = 2.31 \text{ kN}$$

نعوض في (1)

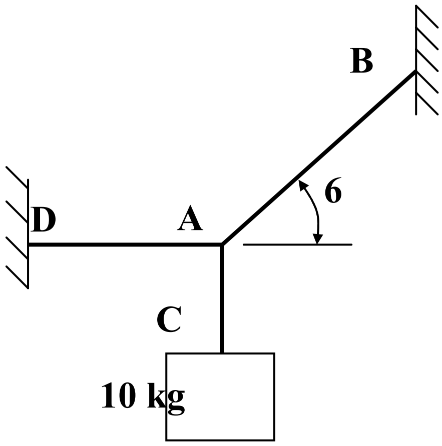
$$2.31 \cos 60 + T2 = 6.93$$

$$T2 = 6.93 - 2.31 \cos 60$$

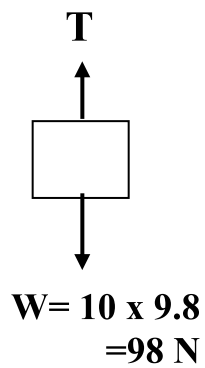
$$T2 = 5.78 \text{ kN}$$

مثال1- 7

احسب الشد في الحبلين AB و AD لاتزان الكتلة 10 kg كما بالشكل



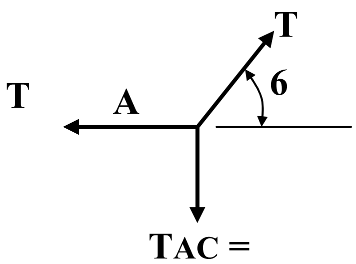

أولاً: نرسم بياني الجسم الحر للكتلة




$$\Sigma F_y = 0$$

$$T_{AC} = 98\ N$$

الآن نرسم بياني الجسم الحر للنقطة A




$$\Sigma F_x = 0$$
$$T_{AB} \cos 60 - T_{AD} = 0 \quad (1)$$

$$\Sigma F_y = 0$$
$$T_{AB} \sin 60 - 98 = 0 \quad (2)$$

الآن نحل المعادلة (2)

$$T_{AB} = 98/ \sin 60 = 113.2 \text{ N}$$

نعوض في (1)

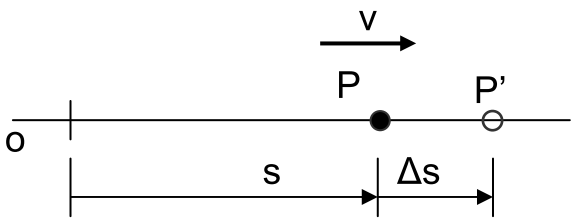
$$T_{AD} = 113.2 \cos 60 = 56.6 \text{ N}$$

## 1- 4 مدخل إلى الديناميكا وقوانين الحركة: Introduction to Dynamics and Laws of Motion

### 1- 4- 1 الحركة في خط مستقيم:

تعتبر الحركة المستقيمة أبسط أنواع الحركة ومن الضروري قبل الحديث عن قوانين هذه الحركة معرفة بعض التعاريف الهامة في هذا الصدد.

الموقع **(Position)** لمعرفة المقصود بالموقع انظر إلى الجسيم الذي يتحرك بسرعة V الموضح بالشكل1- 9. عندما يكون الجسيم عند النقطة P فإنه يعبر عن موقعه بالإحداثي S أي أن S تمثل موقع الجسيم. لاحظ أنه عندما يكون الموقع S موجبا فإن الجسيم يكون على يمين نقطة الأصل O وعندما يكون الموقع S سالبا فإن الجسيم يكون على يسار نقطة الأصل O.




الشكل 1- 9

الإزاحة ( Displacement ) هي التغير في موقع الجسيم. بالنظر إلى الشكل1- 9 مرة أخرى نجد أن Δs تمثل الإزاحة حيث كان الجسيم عند النقطة P ثم انتقل إلى النقطة P'. لاحظ أنه إذا كانت النقطة P' تقع يمين النقطة P فإن الإزاحة موجبة أما إذا كانت على يسارها فتكون الإزاحة سالبة.

يجب التفريق بين الإزاحة وبين المسافة المقطوعة فالمسافة هي مجموع طول ما قطعه الجسيم وهي دائما موجبة.

وحدات قياس الإزاحة هي وحدات الطول فعلى سبيل المثال لو كان الطول بالمتر فإن الإزاحة تقاس بالمتر m.

السرعة ( Velocity ) انظر إلى الشكل1- 9 مرة أخرى فلو أردنا معرفة السرعة المتوسطة للجسيم الذي انتقل من النقطة P إلى النقطة P' بزمن قدره Δt لكانت عبارة عن التغير في الموقع بالنسبة للزمن أو الإزاحة مقسومة على الزمن أو بعبارة رياضية

$$v_{avg} = \Delta s/\Delta t \qquad (9-1)$$

وعندما يصغر الزمن Δt وبالتالي تصغر الإزاحة Δs فإن السرعة تكون هي السرعة اللحظية وليست المتوسطة والمعادلة السابقة تكون بالصورة الرياضية التالية:

$$v = ds/dt \qquad (10-1)$$

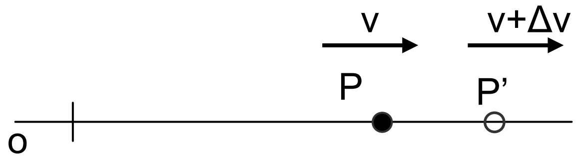
أي ان السرعة اللحظية هي تفاضل الموقع بالنسبة للزمن.

للمعلومية فإن كلاً من السرعة المتوسطة والسرعة اللحظية يمكن أن تكون موجبة أو سالبة على حسب الاتجاه. وحدات قياس السرعة هي وحدات طول على وحدات زمن فلو كان الطول بالمتر والزمن بالثانية فإن وحدات السرعة تكون متر لكل ثانية m/s .

التسارع ( **Acceleration** ) إذا كانت السرعات اللحظية لجسيم ما معروفة في موقعين مختلفين مثلا عند النقاط P و ’P في الشكل1- 10 فإن التسارع المتوسط هو عبارة عن التغير في السرعة بالنسبة للزمن أو بعبارة رياضية

$$a_{avg} = \Delta v / \Delta t \qquad (11\text{-}1)$$

حيث $\Delta v$ تمثل التغير في السرعة خلال زمن قدره $\Delta t$.




الشكل 1- 10

إذا قل الزمن $\Delta t$ واقترب من الصفر فإن المعادلة السابقة تتحول إلى معادلة تفاضلية لتعبر عن التسارع اللحظي a كما يلي:

$$a = dv / dt \qquad (12\text{-}1)$$

**ولو أردنا تعريف التسارع اللحظي بمعادلة تضم الموقع والزمن لأصبحت المعادلة كالتالي ( انظر إلى المعادلات 1-10 و 1-12 )**

$$a = \frac{d^2 s}{d t^2} \qquad (13\ \text{-}1)$$

وكما هو الحال بالنسبة للسرعة فإن كلاً من التسارع المتوسط والتسارع اللحظي يمكن أن يكون موجباً أو سالباً على حسب الاتجاه فإذا كان موجبا أصبح تسارعاً وإذا كان سالبا أصبح تباطؤا.
من الضروري ملاحظة أنه عندما تكون السرعة ثابتة فإن التسارع يساوي صفراً والسبب بالطبع هو لكون التغير في السرعة يساوي صفراً.

وحدات قياس التسارع هي وحدات طول على وحدات زمن مربعة فلو كان الطول بالمتر والزمن بالثانية فإن التسارع يقاس بالمتر على الثانية المربعة.

بالإمكان الحصول على معادلة تفاضلية تعطي علاقة بين الموقع والسرعة والتسارع ولا تحتوي على الزمن ويتم ذلك بواسطة حل المعادلتين (1-10) و (1-12) للحصول على dt ومن ثم مساواتهما معاً لنحصل على المعادلة الهامة التالية:

$$a\,ds = v\,dv \qquad (14\text{-}1)$$

**حالة خاصة: حركة مستقيمة بتسارع ثابت**

عندما يكون التسارع ثابتاً فبالإمكان الحصول على معادلات للحركة كما يلي:

1- للتوصل لمعادلة تعطي السرعة كدالة في الزمن يمكن إجراء التكامل للمعادلة $a = dv / dt$ وذلك بافتراض أن السرعة الابتدائية $v_0$ عند بداية الانطلاق أي عند $t = 0$

$$\int_{v_0}^{v} dv = \int_0^t a\,dt$$

**وحيث إن التسارع ثابتا فإنه بالإمكان إجراء التكامل لتكون المعادلة**

$$v - v_0 = a\,t$$

أو

$$v = v_0 + a\,t \qquad (15\text{-}1)$$

2- للتوصل لمعادلة تعطي الموقع يمكن إجراء التكامل للمعادلة $v = ds / dt$ وافتراض أن الموقع الابتدائي $s_0$ عند بداية الحركة أي عند $t = 0$

$$\int_{s_0}^{s} ds = \int_0^t v \, dt$$

وبالتعويض عن $v = v_0 + at$ تكون المعادلة

$$\int_{s_o}^{s} ds = \int_0^t (v_0 + a\,t)\, dt$$

وحيث إن التسارع ثابتاً فبالإمكان إجراء التكامل لنحصل على

$$s - s_0 = v_0\,(t - 0) + a\left(\frac{t^2}{2} - 0\right)$$

أو

$$s = s_0 + v_0\,t + \frac{1}{2}a\,t^2 \qquad (16\text{-}1)$$

3 – للتوصل لمعادلة تعطي السرعة كدالة في الموقع يمكن حل المعادلة (15-1) للزمن $t$ ومن ثم التعويض في المعادلة (16-1) أو إجراء التكامل للمعادلة $v\,dv = a\,ds$ وافتراض أن السرعة الابتدائية هي $v_0$ عند الموقع الابتدائي $s_0$

$$\int_{v_0}^{v} v\,dv = \int_{s_0}^{s} a\,ds$$

وحيث إن التسارع ثابتاً فبالإمكان إجراء التكامل لتصبح المعادلة

$$\frac{v^2}{2} - \frac{v_0^2}{2} = a\,(s - s_0)$$

أو

$$v^2 = v_0^2 + 2\,a\,(s - s_0) \qquad (17\text{-}1)$$

من المهم الانتباه إلى أن المعادلات (1-15) و (1-16) و (1-17) تستخدم فقط عندما يكون التسارع ثابتا ومن تطبيقات التسارع الثابت العمل في مجال الجاذبية الأرضية حيث يكون تسارع الجاذبية الأرضية ثابتا وهو $9.81 \ m/s2$ وذلك عند إهمال مقاومة الهواء وعندما تكون مسافات الارتفاع عن سطح الأرض صغيرة.

**طريقة دراسة وحل مسائل الحركة في خط مستقيم:**

عند وجود علاقة بين أي متغيرين من المتغيرات الأربعة ( التسارع a والسرعة v والموقع s والزمن t ) فإنه بالإمكان الحصول على العلاقات التي تصف كنماتيكا باقي المتغيرات بإجراء تكاملات أو تفاضلات مناسبة للمعادلات $a= dv/dt$ و $v= ds/dt$ و $a\ ds = v\ dv$ . ولكن من الضروري الانتباه إلى أن كل واحدة من هذه المعادلات تصف العلاقة بين ثلاثة متغيرات ولذلك فعندما تكون العلاقة بين أي متغيرين معروفة فإنه بالإمكان الحصول على المتغير الثالث باختيار المعادلة المناسبة التي تصف العلاقة بين المتغيرات الثلاثة معاً. على سبيل المثال لنفترض أن التسارع معلوم كدالة في الموقع فبالإمكان الحصول على السرعة عن طريق المعادلة $a\ ds = v\ dv$ وتجب ملاحظة أننا لا نستطيع الحصول على السرعة عن طريق المعادلات $v= ds/dt$ او $a=dv/dt$ . ويوجد هناك أربع أنواع شائعة لمسائل الحركة في خط مستقيم وهي مايلي:

1- يكون التسارع معروفاً كدالةٍ في الزمن $a = f(t)$

- لمعرفة السرعة كدالة في الزمن يتم التعويض عن التسارع في المعادلة $a = dv/dt$ لتصبح $dv = f(t)\ dt$ ومن ثم إجراء التكامل للحصول على المطلوب (السرعة كدالة في الزمن) $v = h(t)$
- للحصول على الموقع s كدالة في الزمن يتم التعويض عن السرعة في المعادلة $v= ds/ dt$ لتصبح $ds = g(t)\ dt$ ومن ثم إجراء التكامل للحصول على المطلوب (الموقع كدالة في الزمن) $s = g(t)$

2- يكون التسارع معروفاً كدالةٍ في السرعة $a = f(v)$

- لمعرفة السرعة كدالة في الزمن يتم التعويض عن التسارع في المعادلة $a = dv/dt$ لتصبح $dv = f(v)\ dt$ أو $f(v) / dv = dt$ ويمكن بعد ذلك إجراء التكامل للحصول على المطلوب (السرعة كدالة في الزمن) $v = h(t)$
- للحصول على الموقع كدالة في الزمن يتم التعويض عن السرعة في المعادلة $v = ds/dt$ لتصبح $ds = h(t)\ dt$ ومن ثم إجراء التكامل للحصول على المطلوب (الموقع كدالة في الزمن) $s = g(t)$

3- يكون التسارع معروفاً كدالةٍ في الموقع $a = f(s)$

- لمعرفة السرعة كدالة في الموقع يتم التعويض عن التسارع في المعادلة $a\ ds = v\ dv$ لتصبح

$f(s)\ ds = v\ dv$ ومن ثم إجراء التكامل للحصول على المطلوب (السرعة كدالة في الزمن) $v = h(s)$

- للحصول على الموقع كدالة في الزمن يتم التعويض عن السرعة في المعادلة $v = ds/dt$ لتصبح $ds / h(s) = dt$ ومن ثم إجراء التكامل للحصول على المطلوب (الموقع كدالة في الزمن) $s = g(t)$

4- يكون التسارع ثابتاً

وهنا تستخدم المعادلات الخاصة بالتسارع الثابت المذكورة سابقاً ( المعادلات 1-15 و1-15 و 1-17 )

والآن من المناسب أخذ بعض الأمثلة التوضيحية.

مثال1- 8

جسم يتحرك وفق المعادلة $s = 10\,t + 6\,t^2 - 2\,t^3$ حيث s هو الموقع بالمتر و t هو الزمن بالثانية. احسب الزمن الذي يمر حتى يصل الجسم إلى وضع السكون ثم حدد موقع الجسم واحسب تسارعه عند هذه اللحظة؟

الحل:

معنى أن يصل الجسم إلى وضع السكون أي تكون سرعته صفراً وحيث إن السرعة هي تفاضل الموقع بالنسبة للزمن فإننا نفاضل معادلة الموقع بالنسبة للزمن لنحصل على السرعة ثم نساويها بالصفر ونحل للزمن

$$v = ds/dt = 10 + 12\,t - 6\,t^2 = 0$$

$$6t^2 - 12\,t - 10 = 0$$

$$t = \frac{12 \pm \sqrt{12^2 + 4 \times 6 \times 10}}{2 \times 6} = 2.63s \quad \delta \ \text{-}\ 0.64s$$

ونظراً لأن الزمن لايمكن أن يكون سالبا فإن الإجابة هي $t = 2.63$ s

موقع الجسم

$$s = 10 * 2.63 + 6\,(2.63)^2 - 2 *(2.63)^3 = 31.42\ m$$

التسارع هو تفاضل السرعة بالنسبة للزمن لذلك نفاضل السرعة بالنسبة للزمن ثم نعوض عن الزمن لنحسب التسارع

$$a = dv/dt = 12 - 12\,t = 12 - 12 * 2.63 = -19.56\ m/s^2$$

الإشارة السالبة تعني أن الجسم يتباطئا في هذه اللحظة

مثال1- 9

قذف حجر راسياُ إلى اعلى بسرعةٍ ابتدائية قدرها 18 m/s احسب أقصى ارتفاع يصل إليه الحجر والزمن الذي يستغرقه للرجوع إلى الأرض.

الحل:

$$v_0=18\ m/s \qquad v = 0 \quad a= -9.81\ m/s^2 \quad s_0 = 0 \quad s=?\ \ t=?$$

$$v = v_0 + a\,t$$

$$t = (v- v_0) / a = (0 - 18) /-9.81 = 1.83\ s$$

هذا هو الزمن ليصل الحجر إلى أقصى ارتفاع والزمن الكلي هو ضعف هذا الزمن

$$t_{tot} = 2\,t = 3.67\ s$$

لمعرفة أقصى ارتفاع

$$v^2 = v_0^{\ 2} + 2\,a\,(s- s_0)$$

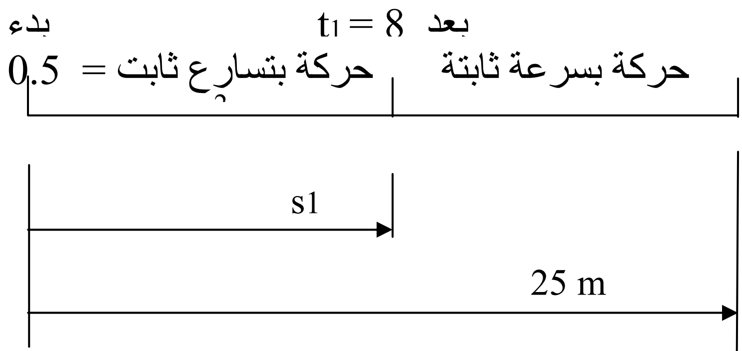
$$0 =18^2 -2 * 9.81\ s$$

$$s = 18^2 / ( 2 * 9.81) = 16.5\ \ m$$

مثال1- 10

جسم يتحرك بعجلة منتظمة $0.5\ m/s^2$ من السكون لمدة 8 s ثم يستمر في الحركة بسرعةٍ منتظمة حتى يقطع مسافة 25 m من نقطة بدء الحركة. احسب الزمن الكلي الذي يستغرقه الجسم في الحركة.

الحل:




$$v = v0 + a\,t = 0 + 0.5 * 8 = 4\ m/s$$

$$s1 = so + vo\,t + (1/2)\,a\,t^2 = 0 + 0 + (1/2) * 0.5 * 8^2 = 16\ m$$

$$t\,2 = (s - s1)/v = (25 - 16)/4 = 2.25\ s$$

$$t = t1 + t\,2 = 8 + 2.25 = 10.25\ s$$

### ***1- 4- 2 الحركة الدائرية:***

إذا تحرك جسيم على مسار دائري فإن **موقعه** يتعين بزاوية ميل نصف القطر الواصل بين الجسيم وبين مركز المسار الدائري ويرمز لهذه الزاوية بالرمز $\theta$ وتسمى الزاوية التي يقطعها الجسيم بين موضعين **بالإزاحة الزاوية.**

ويسمى معدل تغير الإزاحة الزاوية بالنسبة للزمن ب **السرعة الزاوية** للجسيم ويرمز لها بالرمز $\omega$ كما يسمى معدل تغير السرعة الزاوية بالنسبة للزمن ب **التسارع الزواي** ويرمز له بالرمز $\alpha$

$$\omega = d\theta / dt \qquad (18\text{-}1)$$

$$\alpha = d\omega / dt \qquad (19\text{-}1)$$

وهنا سنقتصر الحديث على نوعين من الحركة في مسار دائري وهما الحركة على مسار دائري بسرعة زاوية ثابتة والحركة على مسار دائري بتسارع زاوي ثابت

**أ - الحركة على مسار دائري بسرعة زاوية ثابتة:**

عندما يتحرك جسيم على مسار دائري بسرعة زاوية ثابتة فمن الممكن إجراء التكامل للمعادلة (1-18) حيث إن السرعة الزاوية ω ثابتة كالتالي:

$$\int_{\theta_0}^{\theta} d\theta = \int_{0}^{t} \omega \, dt$$

$$\theta = \theta_0 + \omega t \qquad (20-1)$$

حيث $\theta_0$ هي زاوية ابتداء الحركة و t هو الزمن.

وترتبط سرعة الجسيم المماسية v مع سرعته الزاوية ω بالعلاقة:

$$v = r\omega \qquad (21-1)$$

وهنا r تمثل نصف قطر الدائرة التي يتحرك عليها الجسيم وذلك لأن قوس الدائرة يساوي حاصل ضرب الزاوية المقابلة له بالتقدير الدائري في نصف قطر الدائرة.

ولو أجرينا التفاضل للمعادلة (1-21) لوجدنا أن التسارع المماسي يساوي صفرا وذلك لأن السرعة الزاوية ثابتة.

ولكن هناك مركبة أخرى للتسارع تسمى التسارع العمودي اتجاهها باتجاه مركز الدوران ومقدارها هو

$$a_n = r\omega^2 = \frac{v^2}{r} \qquad (1-22)$$

**ب - الحركة على مسار دائري بتسارع زاوي ثابت:**

باتباع نفس الطريقة يمكن إجراء التكامل للمعادلة (3-11) حيث إن التسارع الزاوي α ثابت كالتالي:

$$\int_{\omega_0}^{\omega} d\omega = \int_{0}^{t} \alpha \, dt$$

$$\omega = \omega_0 + \alpha t \qquad (23-1)$$

حيث $\omega_0$ هي السرعة الزاوية الابتدائية و t هو الزمن.

وللحصول على المعادلة التي تعطي الزاوية في أي لحظة من الزمن يتم التعويض عن السرعة الزاوية $\omega =$ $d\theta/ dt$ في هذه المعادلة وإجراء التكامل كالتالي:

$$\int_{\theta_0}^{\theta} d\theta = \int_{0}^{t} (\omega_0 + \alpha\ t)\ dt$$

$$\theta = \theta_0 + \omega_0\ t + \frac{1}{2}\alpha\ t^2 \qquad (24\text{-}1)$$

أما السرعة المماسية والتسارع العمودي فهما كما في الحالة السابقة في المعادلات 1-21 و 1-22 إلا أنهما هنا غير ثابتين وذلك نظرا لأن السرعة الزواية ليست ثابتة.
ونظرا لان السرعة المماسية ليست ثابتة فيوجد مركبة مماسية للتسارع يتم الحصول عليها من العلاقة التالية:

$$a_t = r\,\alpha \qquad (25\text{-}1)$$

واتجاهها كما يدل اسمها مماسية للمسار الدائري الذي يتبعه الجسيم.

مثال1- 11

حذافة تدور بسرعة 210 RPM فإذا تزايدت سرعتها بعجلة منتظمة لمدة 4 s لتصبح 560 RPM فحدد قيمة هذه العجلة وعدد الدورات التي دارتها الحذافة خلال هذه الفترة الزمنية

الحل:

$$\omega_o = (2\pi / 60) \times N1 = (2\pi / 60) \times 210 = 22 \quad rad/s$$

$$\omega = (2\pi / 60) \times N2 = (2\pi / 60) \times 560 = 58.65 \quad rad/s$$

$$\omega = \omega o + \alpha\ t$$

$$\alpha = (\omega - \omega o) / t = (58.65 - 22) / 4 = 9.16 \quad rad/s^2$$

$$\theta = \theta_o + \omega_o t + (1/2)\,\alpha\, t^2$$
$$= 0 + 22 * 4 + (1/2) * 9.16 * 4^2 = 161.28 \text{ rad}$$
$$= 161.28/(2\pi)$$
$$= 25.67 \text{ rev}$$

مثال1- 12

نقطة على محيط قرص دائر وصلت سرعتها الخطية إلى 40 m / s وقطر القرص 350 mm احسب السرعة الزاوية الابتدائية والنهائية للقرص والعجلة الزاوية له إذا وصلت سرعة هذه النقطة إلى 85m/s بعد 20s

الحل:

$$\omega_o = v_o / r = 40 / 0.35 = 114.3 \text{ rad/s}$$

$$\omega = v / r = 85 / 0.35 = 242.8 \text{ rad/s}$$

$$\alpha = (\omega - \omega_o) / t = (242.8-114.3)/20 = 6.43 \text{ rad/s}^2$$

**1- 4- 3 قوانين نيوتن للحركة:**

الآن من المناسب أن ندرس مسببات الحركة حيث تم في الجزء السابق التركيز على علم وصف الحركة من إزاحة وسرعة وعجلة دون النظر إلى مسبباتها وهذا العلم يسمى علم الكينماتيكا Kinematics ، وفي هذا الجزء سوف ندرس مسبب الحركة وهو - بطبيعة الحال- القوة Force ، والعلم الذي يدرس العلاقة بين حركة الجسم والقوة المؤثرة عليه هو من علوم الميكانيكا الكلاسيكية Classical mechanics والتي تعرف باسم الديناميكا Dynamics ، وكلمة كلاسيك هنا تدل على أننا نتعامل فقط مع سرعات أقل بكثير من سرعة الضوء وأجسام أكبر بكثير من الذرة.

نتعامل في حياتنا اليومية مع العديد من أنواع القوى المختلفة التي قد تؤثر على الأجسام المتحركة فتغير من سرعتها مثل شخص يدفع عربة أو يسحبها أو أن تؤثر القوة على الأجسام الساكنة لتبقيها ساكنة مثل الكتاب على الطاولة أو الصور المعلقة على الحائط. ويكون تأثير القوة مباشر Contact force مثل سحب زنبرك أو دفع صندوق ويمكن أن يكون تأثير القوة عن بعد Action-at-a-distance مثل تنافر أو تجاذب قطبي مغناطيسي.

كما ذكرنا سابقاً فإن الجسم الساكن يعرف بأنه في حالة اتزان equilibrium عندما تكون محصلة القوى المؤثرة عليه تساوي صفراً. ويوجد العديد من أنواع القوى الموجودة في الطبيعة وهي إما أن تكون ميكانيكية أو جاذبية أو كهربائية أو مغناطيسية أو نووية. وسيقتصر الحديث هنا على النوعين الأول والثاني.

لقد وضع العالم نيوتن ثلاثة قوانين أساسية تعتمد على الملاحظات التجريبية التي أجراها منذ أكثر من ثلاثة قرون والقوانين هي:

القانون الأول: وينص على أن الاتزان يقتضي أن الجسم يبقى ساكناً إذا كان في الأصل ساكناً أو يبقى متحركاً بسرعة ثابتة إذا كان في الأصل متحركاً بسرعة ثابتة مالم تؤثر عليه قوة خارجية.

القانون الثاني: وبنص على أنه إذا كان الجسم يتحرك بتسارع ما فإن التسارع يتناسب طردياً مع محصلة القوى المؤثرة عليه باتجاه التسارع ويتناسب عكسياً مع كتلة الجسم.

القانون الثالث: وينص على أنه لكل فعلٍ رد فعل مساوٍ له في المقدار ومعاكس له في الاتجاه.

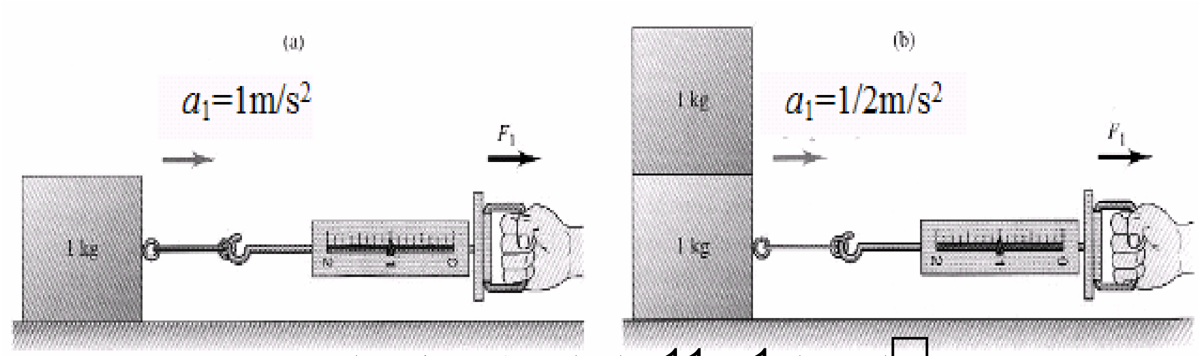
يشرح القانون الأول لنيوتن حالة الأجسام التي تؤثر عليها مجموعة قوى محصلتها تساوي صفراً ، حيث يبقى الجسم الساكن ساكناً والجسم المتحرك يبقى متحركاً بسرعة ثابتة. أما قانون نيوتن الثاني فيختص بالأجسام التي تؤثر عليها قوة خارجية تؤدي إلى تحريكها بعجلة $a$ أو أن تغير من سرعتها إذا كانت الأجسام متحركة. وهنا تجدر الإشارة إلى أن القانون الثاني يحتوي القانون الأول بتطبيق أن العجلة تساوي صفراً $a = 0$.

$$\sum F = 0 \qquad (26\text{-}1)$$

$$\sum F = ma \qquad (27\text{-}1)$$

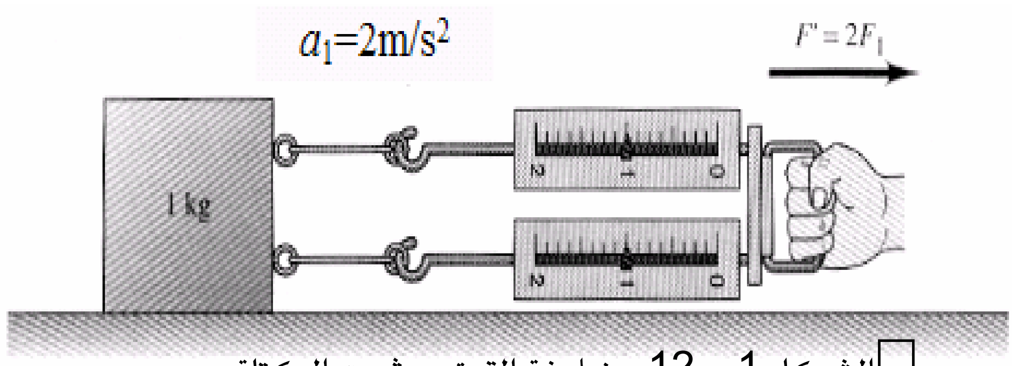
حيث $m$ هي الكتلة و $a$ هو التسارع.

وحدات القوة هي ( $kg \ \ m/s^2$ ) وهي ماتسمى بالنيوتن وقد سميت وحدة القوة بنيوتن تكريماً للعالم نيوتن.




الشكل 1- 11 زيادة الكتلة مع ثبوت القوة

في الشكل1- 11 إذا زادت الكتلة بمقدار الضعف مع ثبوت قوة الشد فإن العجلة تقل بمقدار النصف.



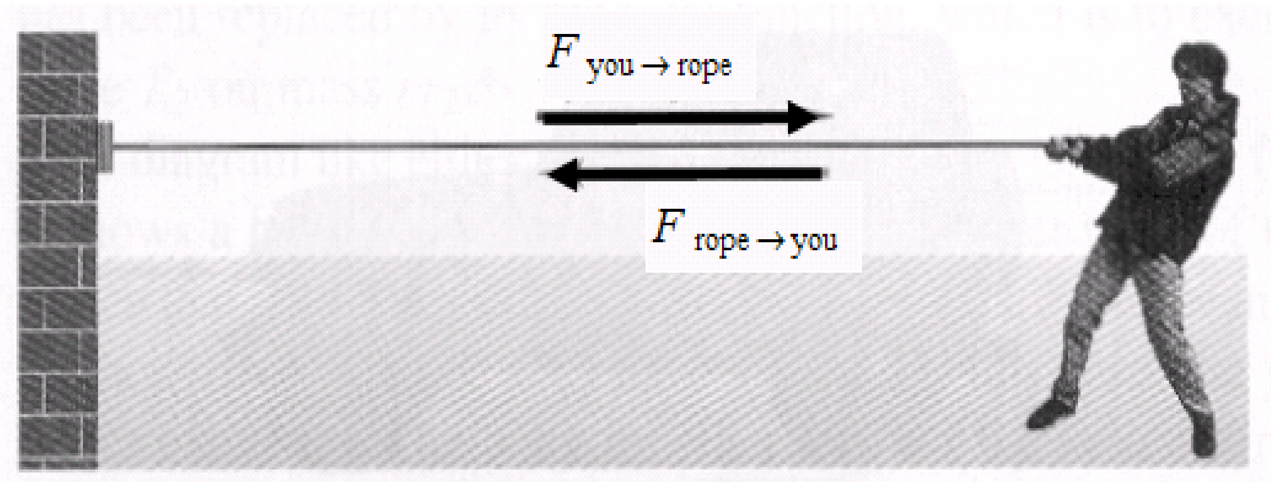

الشكل 1- 12 مضاعفة القوة مع ثبوت الكتلة

في الشكل1- 12 إذا تضاعفت قوة الشد فإن العجلة تزداد بمقدار الضعف.

يختص القانون الثالث لنيوتن على القوة المتبادلة بين الأجسام حيث إنه إذا أثرت بقوة على جسم ما وليكن كتاب ترفعه بيدك فإن الكتاب بالمقابل يؤثر بنفس مقدار القوة على يدك وفي الاتجاه المعاكس.

$$F_{12} = - F_{21} \qquad (27\text{-}1)$$

الرمز $F_{12}$ يعني القوة التي يؤثر بها الجسم الأول على الجسم الثاني.

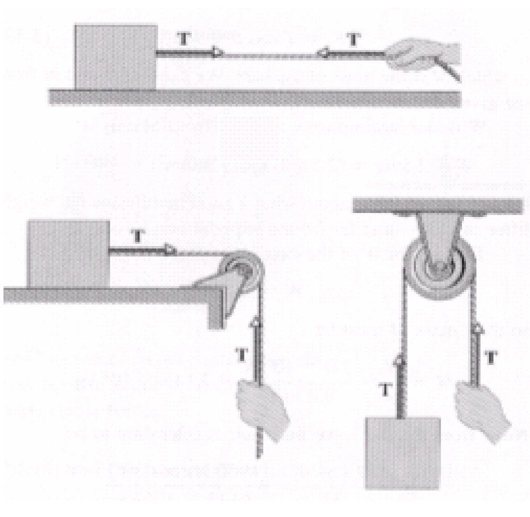



الشكل1- 13 مفهوم قانون نيوتن الثالث

يتضح من الشكل1- 13 مفهوم قانون نيوتن الثالث للفعل ورد الفعل، حيث يشد الشخص الجدار بواسطة الحبل وبالمقابل فإن الحبل يشد الشخص كرد فعل.

**الشد في الخيوط:**

عند سحب جسم بواسطة حبل فإن القوة المؤثرة على الجسم من خلال الحبل تدعى قوة الشد Tension




الشكل 1- 14 الشد في الخيوط

ويرمز لها بالرمز T ووحداته N. ويظهر في الشكل1- 14 صور مختلفة من قوة الشد وكيفية تحديدها على الشكل.

الوزن:

من المعلوم أن الوزن Weight هو كمية فيزيائية لها وحدة القوة N وهي ناتجة من تأثير عجلة الجاذبية الأرضية g على كتلة الجسم m ، وبتطبيق قانون نيوتن الثاني على جسم موجود على بعد قريب من سطح الأرض حيث يتأثر بقوة الجاذبية الأرضية ومقدارها كتلة الجسم في عجلة الجاذبية الأرضية، وبالتالي فإن الوزن

$$\mathbf{W = m\,g} \qquad \mathbf{(29\text{-}1)}$$

الآن من المناسب أن نأخذ بعض الأمثلة التوضيحية

**مثال1- 13**

**جسم كتلته 5 Kg تؤثر عليه قوة مقدارها 5 N إذا بدأ هذا الجسم حركته من السكون ما هي المسافة التي يتحركها خلال خمس ثوانٍ (5 s)**

الحل:

$$a = F/m = 5/5 = 1\ m/s^2$$

$$s = v_o\,t + \tfrac{1}{2} a\,t^2$$

$$s = 0 + \tfrac{1}{2} x 1 x 25 = 12.5\ m$$

مثال1- 14

تتحرك سيارة كتلتها 1500 Kg بسرعة 108 Km/hr ما هي قوة الاحتكاك الثابتة التي توقف السيارة في (5 s)

الحل:

$$v_o = 108 \times 5/18 = 30\ m/s$$

$$v = v_o + a\,t$$

$$0 = 30 + 5\,a$$

$$a = -30/5 = -6\ m/s^2 \qquad F = m\,a = 1500 \times 6 = 9000\ N$$

مثال1- 15

تؤثر قوة معينة على كتلة مقدارها 2 Kg فتعطيها عجلة 3 m/s2 ماهو التسارع الناتج من نفس القوة عندما تؤثر على كتلة مقدارها 1 Kg وأخرى مقدارها 4 Kg

الحل:

$$F = ma = 2x3 = 6\ N$$

$$a = F/m$$

$$a = 6/1 = 6\ m/s^2$$

$$a_2 = F/m_2$$

$$a_2 = 6/4 = 1.5\ m/s^2$$

مثال1- 16

يتدلى ثقل - في حالة سكون - من حبل بحيث كانت قوة الشد في الثقل 5 N احسب كتلة الثقل المعلق بالحبل

الحل:

$$T = w = mg \qquad m = w/g = 5 / 9.8 = 0.5\ Kg$$

مثال1- 17

قوة مقدارها 5 N تؤثر على جسم كتلته 2 Kg احسب العجلة التي تسببها القوة على الجسم

الحل:

$$a = F\ m \qquad a = 5/2 = 2.5\ m/s^2$$

مثال1- 18

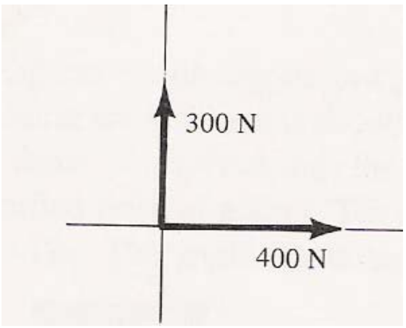
احسب القوة التي لو أثرت على جسم كتلته 30 Kg تكسبه عجلة مقدارها $3\ m/s^2$

الحل:

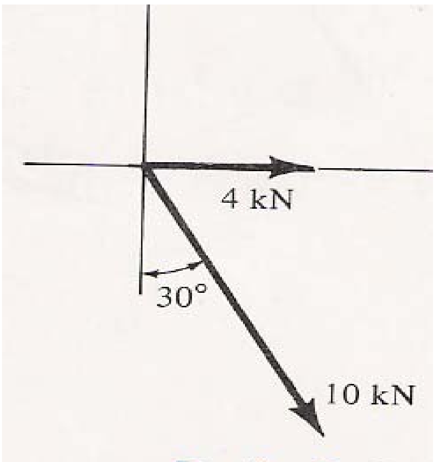
$$F = m\ a = 30x3 = 90\ N$$

# تمارين على الوحدة الأولى

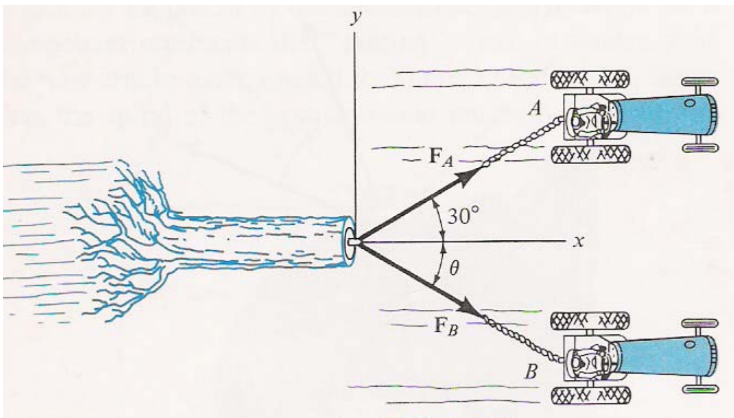
1- احسب مقدار واتجاه محصلة القوتين الموضحتين بالشكل




2- احسب مقدار محصلة القوتين الموضحتين بالشكل وزاويتها مقاسة من المحور الأفقي.

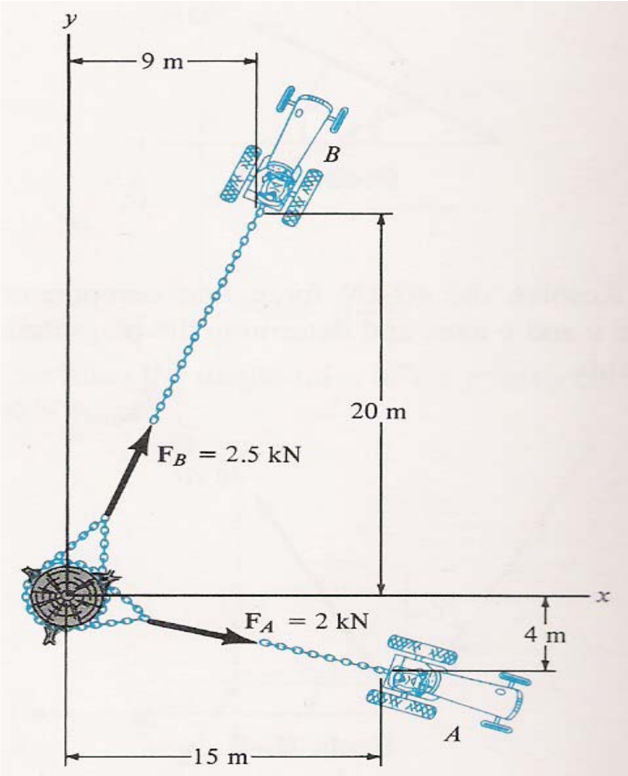



3- يتم سحب الشجرة بواسطة التراكتورين A و B كما هو موضح بالشكل. احسب مقدار القوتين FA و FB إذا كان المطلوب أن تكون محصلتهما FR = 10 kN واتجاهها باتجاه المحور x. = θ




.20

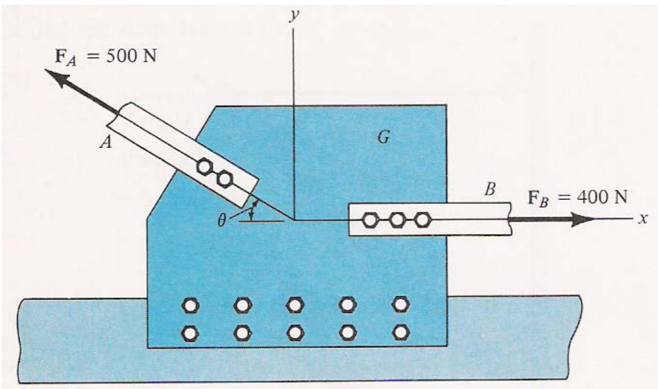
4- يبذل التراكتوران الموضحان بالشكل قوتين FA و FB على جذع الشجرة لاقتلاعه.




أ) احسب مقدار واتجاه محصلة هاتين القوتين؟

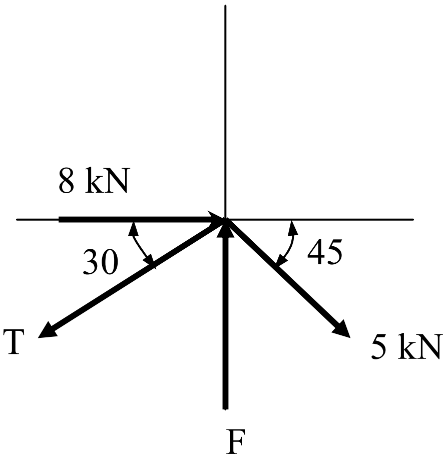
ب) إذا ثبت مقدار القوتين FA و FB وأراد السائقان تغيير اتجاههما بحيث تكون المحصلة أكبر ما يمكن فما هي اتجاهاتهما؟ وما هو مقدار هذه المحصلة من القصوى؟

5- اللوح G يمثل لوحاً في جسر ما. تؤثر الأعضاء A و B بقوتين كما هو موضح بالشكل. إذا كانت القوة من العضو B أفقية إلى اليمين والقوة من العضو A تميل بزاوية قدرها 30 = θ

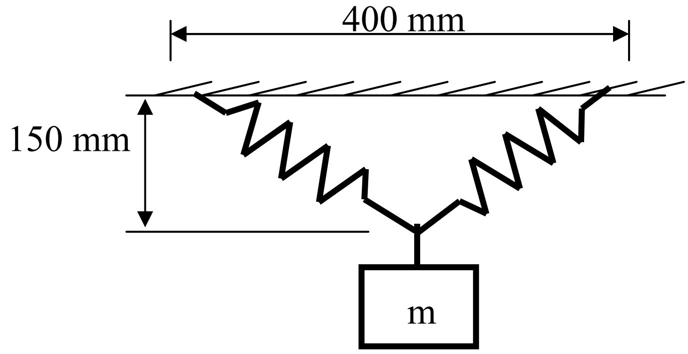



فاحسب مقدار واتجاه المحصلة على اللوح G.

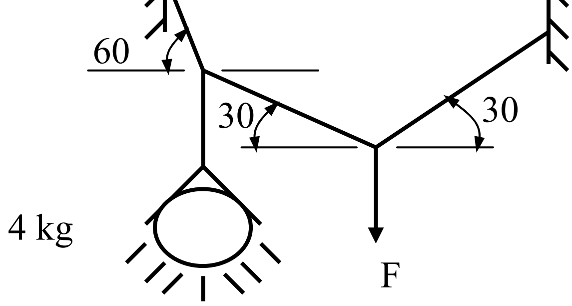
6- أوجد القوتين F و T في الشكل الموضح وذلك لاتزان القوى المؤثرة على النقطة A.




7- إذا كان الطول الأصلي لكلٍ من النابضين هو 200 mm قبل وضع الكتلة m كما بالشكل. أوجد مقدار الكتلة m اللازمة للاتزان كما بالشكل. ثابت النابض هو $k = 50$ N/m




8- احسب القوة في كل خيط وكذلك احسب القوة F اللازمة للاتزان كما بالشكل علماً بأن كتلة المصباح هي 4 kg




9- سيارة تتحرك من السكون على طريق أفقي مستقيم بحيث تتزايد سرعتها بعجلة منتظمة قدرها $0.6\ m/s^2$ حتى تصل إلى 100 km/hr بعد ذلك تستمر في الحركة بهذه السرعة فترة

زمنية محددة ثم تأخذ سرعتها بالتناقص المنتظم بمعدل $2\ m/s^2$ حتى تتوقف تماماً فإذا كانت المسافة الكلية التي قطعتها السيارة هي $3\ km$ فما هو الزمن الذي تحركت أثناءه السيارة بسرعة ثابتة.

10- مستوى أملس يميل على الأفقي بزاوية مقدارها 30 درجة تحرك جسم في أعلاه فقطع المسافة بين رأس المستوى وقاعدته خلال 5 ثوان احسب أ ) طول المستوى ب ) سرعة الجسم عند وصوله القاعدة.

11- تتزايد سرعة حذافة بانتظام من 210 RPM إلى 250 RPM خلال 5 s حدد عجلة التزايد الزاوية وعدد الدورات التي تكملها الحذافة خلال هذه الفترة.

12 – حجر جلخ قطع عنه التيار الكهربائي أثناء دورانه عند سرعة 2800 RPM فاستغرق 4 min حتى توقف تماما. احسب التباطؤ الزاوي للحجر بافتراض أنه تباطؤ منتظم.

13 – بكرة ونش قطرها 0.2 m تدور لتخفض ثقلاً بسرعةٍ منتظمة قدرها 2 m / s بواسطة حبل متصل بالثقل وملفوف على محيطها. احسب السرعة الزاوية للبكرة وعدد الدورات التي تدورها البكرة عندما ينخفض الثقل مسافة 15 m

14- احسب العجلة التي يتحرك بها جسم كتلته 50 Kg عندما تؤثر عليه قوة قدرها 1 kN رأسياً إلى أعلى.

15- قفص حديدي كتلته 1000 kg يرتفع من قاع منجم بعجلة منتظمة لمسافة 100 m خلال 20s احسب الشد في الحبل الذي يرفعه.

16- قفص شحن كتلته 80 Kg يتدلى من حبل أوجد قوة الشد في الحبل عندما يتحرك القفص أ) بعجلة $2.5\ m/s^2$ إلى أعلى ب ) بنفس العجلة السابقة إلى أسفل .

17- يقف رجل كتلته 72 Kg على أرضية مصعد يهبط بعجلة منتظمة قدرها $0.2\ m/s^2$ ما هي القوة التي تؤثر بها قدماه على أرضية المصعد .

18- سيارة صغيرة تسير بسرعة 50 Km/hr على طريق منحن قطر انحنائه 80 m احسب العجلة الزاوية.

# ملخص الوحدة الأولى

تناولنا في هذه الوحدة موضوعي الاستاتيكا وهو علم السكون والديناميكا وهو علم الحركة وبدأنا في هذه الوحدة بتناول موضوع القوى المتركزة في نقطة حيث تمت دراستها ومعرفة طرق حساب محصلتها وكذلك تحليلها إلى مركباتها وإسقاطها على المحاور. ثم تم التعرف على عزم القوة وكيفية حسابه وقانون العزوم وحساب محصلة العزوم. بعد ذلك تم التطرق إلى موضوع اتزان مجموعة من القوى تتلاقى خطوط عملها في نقطة وتمت معرفة شروط تحققه. بعد ذلك تم تناول موضوع الديناميكا وهو علم الحركة حيث تمت دراسة كيفية حساب سرعة وتسارع الجسيمات مع التطرق إلى نوعين من أنواع الحركة وهما الحركة في خط مستقيم والحركة الدائرية. وقد ختمت الوحدة بدراسة الربط بين الحركة ومسبباتها من خلال التطرق إلى قوانين نيوتن. وقد تم كذلك التطرق إلى بعض الأمثلة والتمارين التطبيقية في هذا المجال.

# مدخل إلى التقنية الميكانيكية

## ميكانيكا الموائع

# الوحدة الثانية : ميكانيكا الموائع

## الأهداف

بعد دراسة هذه الوحدة يصبح المتدرب قادراً على:

- معرفة بعض المصطلحات والتعريفات في مجال ميكانيكا الموائع.
- معرفة وحساب الضغط الناشيء عن السوائل الساكنة.
- معرفة أنواع السريان وحساب معدله.
- معرفة معادلة الاستمرارية وبعض حساباتها.
- معرفة معادلة برنولي وبعض حساباتها.

## الوقت المتوقع للتدريب

6 ساعات

## المتطلبات السابقة

مبادئ الفيزياء والرياضيات الأساسية

# الوحدة الثانية : مقدمة في ميكانيكا الموائع
# Introduction to Fluid Mechanics

**مقدمة :**

ميكانيكا الموائع هو العلم الذي يدرس ميكانيكا السوائل والغازات في الحركة والسكون حيث إن كلمة مائع Fluid تشمل كلا من السوائل والغازات. وتتناول هذه الوحدة مقدمة لهذا العلم حيث يتم تقديم بعض المصطلحات والتعريفات الهامة في هذا المجال ودراسة بعض خواص السوائل الساكنة والمتحركة وأنواع السريان وحساباته وكذلك سيتم التطرق لمعادلة الاستمرارية ومعادلة برنولي وبعض تطبيقاتها.

**2- 1 الكثافة : ( Density )**

من المعروف أنه إذا أخذنا أحجاما متساوية من مواد مختلفة مثل الألمونيوم و النحاس و الرصاص و البلاتين سنجد أن كتل هذه الأحجام المتساوية مختلفة . لذلك يقال إن البلاتين أثقل من الرصاص و الرصاص أثقل من النحاس و النحاس أثقل من الألومنيوم . و الكمية الفيزيائية التي تعبر عن ذلك هي الكثافة ووحداتها هي وحدات الكتلة/وحدة الحجم والوحدات الدارجة للكثافة هي الكيلوجرام/ متر3 . و لذلك فإن الكثافة تعتبر خاصية من خواص المادة مرتبطة بها .
الجدول2- 1 يعطي كثافة بعض المواد.

الحجم النوعي: (Specific Volume)

**وهذه خاصية مهمة وتستخدم كثيراً في علم الديناميكا الحرارية وهي مقلوب الكثافة أي حجم مقسوم على الكتلة للمادة ووحداتها بطبيعة الحال هي وحدة حجم / وحدة كتلة والوحدات الدارجة لها هي المتر3 / كيلو جرام.**

الكثافة النسبية: (Relative Density)

هي النسبة بين كثافة المادة عند درجة حرارة معينة إلى كثافة الماء عند نفس درجة الحرارة و تسمى أيضا الثقل النوعي للمادة

أي أن:

جدول 2- 1 كثافة بعض المواد

| المادة | الكثافة ( كجم/م3 ) | المادة | الكثافة ( كجم/م3 ) |
|---|---|---|---|
| ألمونيوم | 2700 | الدم عند 37.5 م | 1060 |
| نحاس أصفر | 8470 | زئبق | 13600 |
| نحاس | 8890 | زيت | 800 |
| خرسانة | 2200 | ماء عند 54م | 1000 |
| ألماس | 3520 | هواء | 1.29 |
| ذهب | 19300 | هيليوم | 0.179 |
| ثلج | 917 | نيتروجين | 1.25 |
| حديد صلب | 7860 | ثاني أكسيد الكربون | 1.98 |
| كوارتز | 2660 | هيدروجين | 0.0899 |
| فضة | 10500 | أكسجين | 1.43 |
| خشب | 550 | كحول إيثيلي | 806 |

الكثافة النسبية لمادة ما = كثافة المادة عند درجة حرارة معينة/ كثافة الماء عند نفس درجة الحرارة

أو = كتلة حجم معين من المادة عند درجة حرارة معينة/ كتلة نفس الحجم من الماء عند نفس درجة الحرارة

وحيث إن الكثافة النسبية أو الثقل النوعي نسبة بين كميتين متماثلتين فهي ليس لها وحدات.

وتحسب كثافة الغازات من القانون العام للغازات وهو:

$$P\,V = m\,R\,T \qquad (1\text{-}2)$$

حيث

m الكتلة kg

V الحجم $m^3$

P الضغط المطلق وسنتطرق له لاحقاً ووحداته هي $N/m^2$

R هو الثابت العام للغازات $R = 287\ J / kg\ K$

T درجة الحرارة المطلقة K

كثافة الغاز $\rho$ $(kg / m^3)$

ويمكن إعادة كتابة المعادلة

$$P = (m / V)\,R\,T$$

ولكن $\rho = m / V$

إذاً

$$\rho = P / RT \qquad (2\text{-}2)$$

مثال 2- 1:

مكعب طول ضلعه 2 m مليء بسائل كتلته 6000 kg ماهي كثافة هذا السائل؟

الحل:

نعلم أن الكثافة هي الكتلة مقسومة على الحجم إذا لابد من حساب الحجم أولاً

$$V = 2^3 = 8\ m^3$$

$$\rho = m / V = 6000 / 8 = 750\ kg/ m^3$$

مثال 2- 2:

إذا كانت كتلة لتر من سائلٍ ما تساوي 0.9 kg فاحسب الثقل النوعي لهذا السائل؟

الحل:

نعلم أن الثقل النوعي هو النسبة بين كثافة السائل إلى كثافة الماء إذا لابد من حساب كثافة هذا السائل أولاً

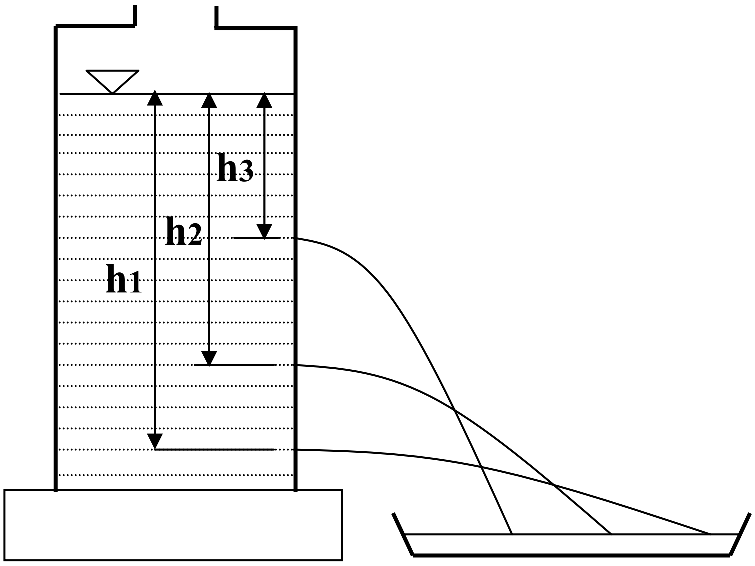
$$1 \text{ liter} = 0.001 \text{ m}^3$$

$$\rho = 0.9/0.001 = 900 \text{ kg/ m}^3$$

$$sg = \rho / \rho w = 900 / 1000 = 0.9$$

## 2-2 الضغط في الموائع: Pressure in Fluids

يعرف الضغط عند أي نقطة على أنه القوة المؤثرة عموديا على وحدة المساحات حول هذه النقطة. ولكي نتفهم الضغط في الموائع نتصور أن لدينا إناءً على شكل متوازي مستطيلات مملوءاً بسائل ما ولو اعتبرنا نقطة ما داخل الإناء فإن ضغط السائل عند هذه النقطة سيكون مؤثراً في جميع الاتجاهات. و الدليل على ذلك أننا لو ثقبنا ثقوبا في جدار الإناء الذي يحتوي على السائل، نجد أن السائل يندفع خارجا من هذه الثقوب مما يدل على أن السائل يؤثر بضغط على جدران الإناء الذي يحتويه. بالإضافة إلى ذلك ستجد أن سرعة اندفاع السائل تكون أكبر كلما كان الثقب قريبا من القاع شكل(2- 1) ، وهذا بالطبع يدل على أن ضغط السائل يزداد مع زيادة العمق.




الشكل2- 1 تأثير العمق على الضغط

مثال آخر : تصور حوضاً مملوءاً بالماء و أنك دفعت قطعة من الفلين تحت سطح الماء و تركتها. ستجد أن قطعة الفلين ترتفع مرة ثانية إلى سطح الماء. مما يدل على أن هناك قوة قد أثرت عليها من أسفل إلى أعلى. هذه القوة ناشئة عن الفرق في الضغط على سطحي قطعة الفلين السفلي و العلوي.

مثال ثالث: إذا أحضرت كرة من المطاط مملوءةً بالماء و ثقبت بعض الثقوب في جدارها ثم ضغطت بيدك على الكرة ستجد أن الماء يخرج من جميع الثقوب مما يدل على أن ضغط الماء يؤثر في جميع الاتجاهات.

وحيث إن الضغط عند نقطة يعرف بأنه القوة المتوسطة المؤثرة عموديا على وحدة المساحات المحيطة بهذه النقطة فمن الممكن كتابة هذا التعريف رياضياً كالتالي:

$$P = F / A \qquad (3\text{-}2)$$

حيث:

P هو الضغط

F هي القوة العمودية

A المساحة تحت الضغط

مثال2- 3

تم ضغط غاز بواسطة مكبس قطره 60 mm بقوة عمودية مقدارها 2 kN احسب الضغط على الغاز بوحدات Pa

الحل:

وحدات Pa تعني $\left[\frac{N}{m^2}\right]$ أي أن القوة با N والمساحة بال $m^2$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} \left(\frac{60}{1000}\right)^2 = 2.83 \times 10^{-3} \quad m^2$$

$$F = 2 \times 1000 = 2000 \ \ N$$

$$P = \frac{F}{A} = \frac{2000}{2.83 \times 10^{-3}} = 7.07 \times 10^5 \quad Pa$$

**الضغط الجوي:**

من المعروف أن الضغط الجوي على سطح الأرض ينشأ من وجود الغلاف الجوي المكون من الغازات (الهواء) الذي يغلف الكرة الأرضية. وحيث إن الهواء مادة لها كتلة و ثقل.فإننا نحمل فوق رؤوسنا عمودا من الهواء ارتفاعه يساوي ارتفاع الغلاف الجوي علما بأن كثافة الهواء في الغلاف الجوي تقل مع الارتفاع عن سطح الأرض.

و من تعريف الضغط على أنه القوة المؤثرة على وحدة المساحات فإن : الضغط الجوي سيساوي ثقل عمود من الهواء مساحة مقطعه وحدة المساحات و يمتد من سطح الأرض إلى نهاية الغلاف الجوي.

وهناك العديد من التجارب البسيطة التي تدل على أن للهواء الجوي ضغطاً. من أشهر هذه التجارب تلك التي أجراها عام 1615 م أوتو فون جيريك عمدة مدينة ماجدبورج أمام الامبراطور فرديناند الثالث ، وقد كان في ذلك الوقت قد تم اختراع مضخات التفريغ.

أحضر فون جيريك نصفي كرة معدنية جوفاء و وضعهما بحيث تتلامس حافتيهما و لا ينفذ الهواء خلال الحد الفاصل بينهما. ثم تم تفريغ الهواء فيهما و محاولة جذب نصفي الكرة بعيدا عن بعضهما.

و قد احتاج الأمر ثمانية أحصنة على كل جانب لفصل نصفي الكرة عن بعضهما مما يدل على كبر مقدار القوة الناشئة عن الضغط الجوي المؤثرة على سطحي نصفي الكرة من الخارج بعد تفريغ الهواء من الداخل.

من الجدير بالذكر هنا أن نعرف أنه لا يوجد ضغط جوي على سطح القمر و السبب في ذلك هو عدم وجود غلاف غازي حول القمر. و لهذا السبب يحتاج رواد الفضاء إلى ملابس خاصة توفر لهم الضغط المعتاد و الأكسجين اللازم للتنفس و بدون ذلك سيغلي الماء و الدم و قد ينفجر الجسم في الفراغ المحيط به.

**العلاقة بين الضغط وعمق السائل و كثافته :**

تصور حوضاً مملوءاً بسائل كثافته $\rho\ kg/m^3$ و تصور كذلك أن لوحاً مستطيل الشكل مساحته $A\ m^2$ موضوعاً أفقياً على عمق قدره $h\ m$ تحت سطح السائل. سيكون هذا اللوح هو قاعدة لعمود من السائل على شكل متوازي مستطيلات يمتد رأسيا من قاعدة اللوح إلى سطح السائل.

حجم السائل في متوازي المستطيلات = $A\,h$ $[m^3]$

كتلة السائل في متوازي المستطيلات = $A\,h\,\rho$ $[kg]$

هذه الكمية من السائل تؤثر عموديا على قاعدة اللوح بقوة $W$ نيوتن تساوي وزنها أي ثقلها حيث :

$$W = A\,h\,\rho\,g$$

وبالطبع وحدات الوزن هي [N]

ومن تعريف الضغط P على أنه القوة المؤثرة رأسيا على وحدة المساحات فإن:

$$P = \rho g h \qquad (4\text{-}2)$$

ووحداته هي $[N/m^2]$

و إذا أخذنا في الاعتبار أن سطح السائل الخالص يتعرض للضغط الجوي و مقداره Patm فإن الضغط الكلي ويسمى **بالضغط المطلق** على اللوح سيساوي :

$$P = P_{atm} + \rho g h \qquad (5\text{-}2)$$

من هذه العلاقة نرى أن ضغط السائل عند نقطة في باطنه يزداد كلما زاد عمق النقطة تحت سطح السائل و كلما زادت كثافة السائل.

مثال2- 4:

نقطتان A و B على عمق 100 m و 120m في قاع البحر. احسب الفرق في الضغط بين النقطتين إذا علمت أن كثافة ماء البحر هي $1023\ kg/m^3$ ؟

الحل:

$$P_A = \rho g h_A$$

$$P_B = \rho g h_B$$

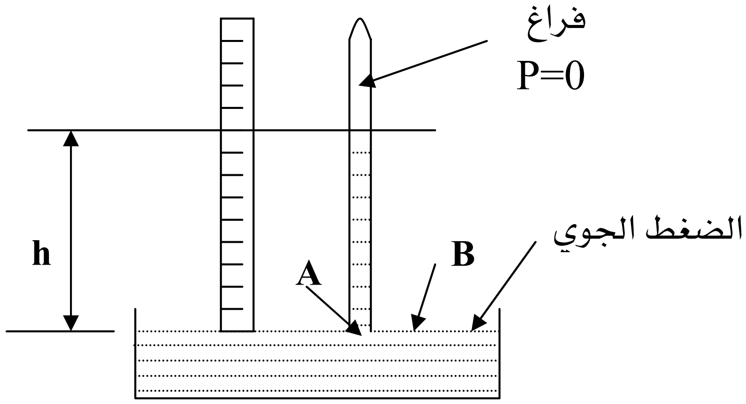
$$P_A - P_B = \rho g h_A - \rho g h_B = \rho g ( h_A - h_B )$$

$$= 1023 \times 9.81 \times ( 120 - 100)$$

$$= 200.7\ kN / m^2$$

**قياس الضغط الجوي :**

يتم قياس الضغط الجوي باستخدام البارومتر. و البارومتر البسيط قام باختراعه تورشيللي و سمي باسمه. و هو عبارة عن أنبوبة زجاجية مغلقة من أحد طرفيها طولها من 90سم إلى متر. تملأ الأنبوبة تماما بالزئبق بحيث تكون خالية من الفقاعات الهوائية.




الشكل2- 2 البارومتر البسيط

يغلق طرف الأنبوبة بالإصبع و تنكس في حوض به زئبق الشكل(2- 2). ينخفض الزئبق في الأنبوبة إلى مستوى معين. وعند مستوى سطح البحر يكون ارتفاع الزئبق حوالي 0.76 متر و يترك الزئبق عند انخفاضه في الأنبوبة فوقه منطقة خالية من الهواء أى مفرغة تماما إلا من بعض بخار الزئبق الذي يمكن إهماله عادة. و يسمى هذا الحيز فراغ تورشيللي.

والآن نعتبر نقطتين A و B في مستوى أفقى واحد أحدهما B على سطح الزئبق في الحوض و الأخرى A في نفس المستوى و لكن داخل الأنبوبة.

الضغط عند نقطة B التي تقع على السطح الخالص للزئبق أي المعرض للضغط الجوي هو الضغط الجوي المراد قياسه. أما عند A فهو ضغط عمود الزئبق و ليكن ارتفاعه هو h متر علما بأن فوق الزئبق في الأنبوبة فراغ و أن ضغط بخار الزئبق يمكن إهماله. و حيث إن A وB في مستوى أفقي واحد في نفس السائل فإن :

الضغط عند A يساوي الضغط عند B أي أن : $P_A = P_B$

وحيث إن الضغط عند B هو الضغط الجوي Patm فهذا يعني الضغط الجوي يساوي الضغط عند B

$$P_{atm} = P_B = \rho g h \qquad (6\text{-}2)$$

حيث h ارتفاع الزئبق في البارومتر و ρ كثافة الزئبق و g عجلة الجاذبية .

لذلك يقال أن الضغط الجوي يكافئ الضغط الناشئ عن عمود من الزئبق ارتفاعه $h$ . أو أن الضغط الجوي يساوي $h$ متر زئبق أي أنه يساوي ثقل عمود من الزئبق ارتفاعه $h$ متر و مساحة مقطعه ا متر مربع . و الضغط الجوي المعتاد أي عند سطح البحر و عند درجة الصفر المئوي يساوي 0.67 م ز. و لحساب قيمته نعوض بكثافة الزئبق عند درجة الصفر المئوي

$$Patm = 0.76 \times 13595 \times 9.81 = 1.013 \times 10^5 \ N/m^2$$

**الوحدات التي يقاس بها الضغط:**

وحدات قياس الضغط هي وحدات قوة/ وحدات مساحة و الوحدات مشهورة الاستخدام هي:

1- نيوتن / م2 و تسمى باسكال و يرمز لها بالرمز Pa

$$\text{pascal} = 1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

و بالتالي فإن الضغط الجوي المعتاد ( 1 atm ) يساوي

$$\text{atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

2- البار Bar و هي وحدة تساوي $10^5$ N/m$^2$ و بذلك يكون الضغط الجوي المعتاد 1.013 بار .

3- الميللي متر زئبق mm Hg و تسمى تور Torr .

وحدات المتر زئبق ومشتقاته حيث يقاس الضغط بطول عمود الزئبق الذي يحدث ضغطاً يكافئه .

يطلق على الضغط المكافئ لضغط عمود من الزئبق طوله 1مم أسم التور.

**ملخص لوحدات قياس الضغط:**

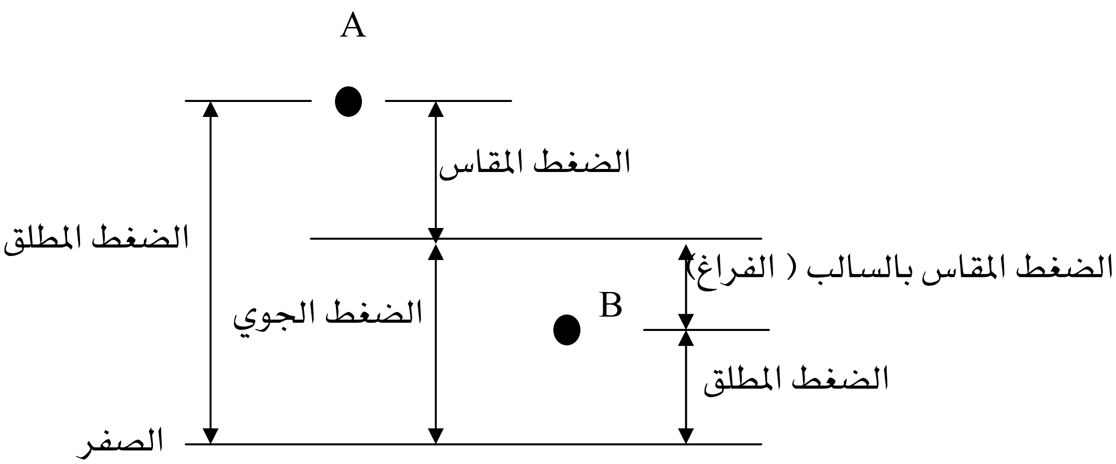
$$1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 1.013 \text{ bar} = 0.76 \times 10^3 \text{ Torr} = 0.76\text{m Hg}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2 \ \& \ 1\text{Torr} = 1.333 \times 10^2 \text{ N/m}^2 = 1.333 \times 10^{-3} \text{ bar}$$

**الضغط المطلق والضغط المقاس والفراغ:**

الضغط الجوي الذي تم وصف طريقة قياسه أعلاه يمثل قيمة الضغط الجوي الحقيقي أو ما يسمى بالضغط الجوي المطلق أي قيمة الضغط فوق مستوى الصفر ومستوى الصفر هو الحالة التي لا يوجد فيها أي هواء جوي مطلقاً وبالتالي لا يكون فيها أي ضغط ( الفراغ الذي يتكون فوق عمود الزئبق داخل الانبوبة الرأسية للبارومتر).

وهذه الطريقة هي الوحيدة تقريباً التي يتم فيها قياس الضغط المطلق (Absolute Pressure) فمعظم - إن لم يكن جميع- الوسائل الأخرى يتم فيها قياس الضغط منسوباً إلى قيمة الضغط الجوي وليس إلى الصفر، أي إن قياس الضغط يتم بقياس الفرق بين الضغط المطلوب والضغط الجوي وهذا الفرق هو مايسمى بالضغط المقاس (Gauge Pressure).




الضغط المطلق = الضغط الجوي + الضغط المقاس

Absolute Pressure = Atmospheric Pressure + Gauge Pressure

الشكل 2- 3 الضغط المطلق والضغط المقاس والفراغ

ويوضح الشكل2- 3 العلاقة بين الضغط المطلق والضغط المقاس حيث الضغط عند النقطة A أعلى من الضغط الجوي فيكون ضغطها المقاس موجباً بينما الضغط عند النقطة B أقل من الضغط الجوي فيكون ضغطها المقاس سالباً وهو مايسمى بالفراغ.

مثال2- 5:

حاوية مكشوفة ذات ارتفاع قدره 3.5 m ملئت بالماء حتى ارتفاع 2 m وماتبقى مليء بالزيت. احسب الضغط المطلق والمقاس عند قاع الحاوية وكذلك عند سطح الماء. كثافة الماء $1000\ kg/m^3$ وكثافة الزيت $920\ kg/m^3$ .

الحل:

الضغط المطلق عند قاع الحاوية

$$Pa1 = \rho o\ g\ ho + \rho w\ g\ hw + Patm$$

$$= 920 * 9.81 * (3.5 - 2) + 1000 * 9.81 * 2 + 1.013 \times 10^5$$

$$= 1.344 \times 10^5\ N/m^2 = 134.4\ kPa$$

الضغط المطلق عند سطح الماء

$$Pa2 = \rho o\ g\ ho + Patm = 920 * 9.81 * (3.5 - 2) + 1.013 \times 10^5$$

$$= 1.151 \times 10^5\ N/m^2 = 115.1\ kPa$$

الضغط المقاس عند قاع الحاوية

$$Pg1 = Pa1 - Patm = 1.344 \times 10^5 - 1.013 \times 10^5$$

$$= 0.331 \times 10^5\ N/m^2 = 33.1\ kPa$$

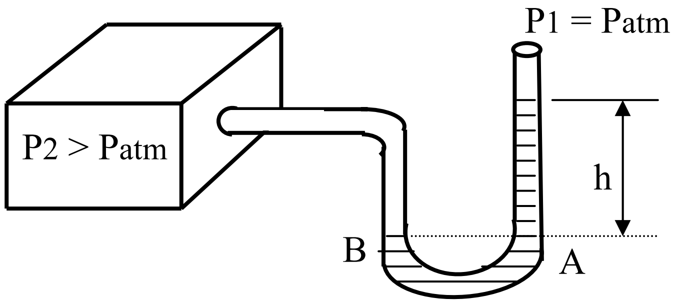
الضغط المقاس عند سطح الماء

$$Pg2 = Pa2 - Patm = 1.151 \times 10^5 - 1.013 \times 10^5$$

$$= 0.138 \times 10^5\ N/m^2 = 13.8\ kPa$$

**اتزان سائل في أنبوبة ذات شعبتين :**

تستخدم الأنبوبة ذات الشعبتين عل شكل حرف U كوسيلة لقياس ضغط الغاز وتسمى المانومتر و شكل (2- 4) يوضح أنبوبة ذات شعبتن بها كمية من سائل كثافته ρ (يستخدم الزئبق عادة) متصلة بخزان به غاز المراد قياس ضغطه P .




شكل 2- 4 المانومتر لقياس الضغط

إذا كان ضغط الغاز في الخزان مساويا للضغط الجوي فإن مستوى السائل في فرعي الأنبوبة يكون واحدا. أما إذا كان ضغط الغاز في الخزان أكبر من الضغط الجوي فإن مستوى سطح السائل في فرعي الأنبوبة لا يكون واحدا لأن الغاز يضغط على السائل في الفرع المتصل بالخزان إلى أسفل بينما يرتفع السائل في الفرع الآخر.

و الآن نعتبر النقطتين A , B و هما في مستوى واحد في نفس السائل فإن الضغط عندهما يكون واحدا .

أي أن :

$$P_B = P_A = P_{atm} + \rho g\, h$$

حيث Patm هو الضغط الجوي و h الفرق في ارتفاع السائل في فرعي الأنبوبة و لكن $P_B$ هو ضغط الغاز المراد قياسه أي أن ضغط الغاز P يساوي

$$P = P_{atm} + \rho g\, h \qquad (7\text{-}2)$$

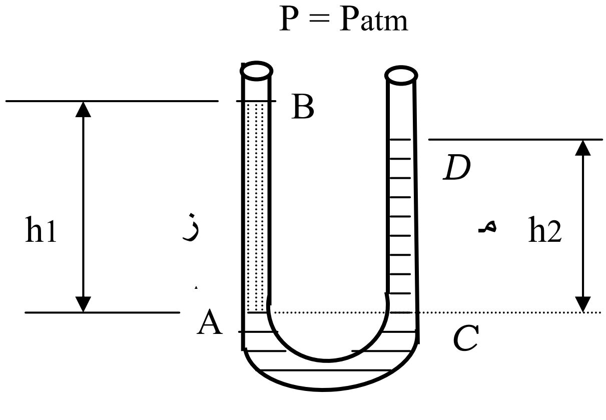
و تعطي الكمية ρg h مقدار زيادة ضغط الغاز عن الضغط الجوي.

أما إذا كان ضغط الغاز في المستودع أقل من الضغط الجوي، فإن السائل يرتفع في فرع الأنبوبة المتصل بالمستودع و ينخفض في الفرع المفتوح . في هذه الحالة فإن ضغط الغاز (P) في الخزان يساوي :

$$P = Patm - \rho g\, h \qquad (8\text{-}2)$$

**أنبوبة ذات شعبتين تحتوي على سائلين :**

الأنبوبة ذات شعبتين الموضحة في شكل (2- 5) تحتوي على كمية مناسبة من الماء. مضافاً إليه كمية من الزيت في أحد فرعي الأنبوبة - الفرع الأيسر - كما في الشكل. حيث إن كثافة الزيت أقل من كثافة الماء فإنه سوف يطفو فوق الماء ويصل سطحه العلوي إلى نقطة مثل B و ليكن ارتفاع الزيت فوق السطح الفاصل بينه وبين الماء هو $h_1$ .




شكل 2- 5

والآن نعتبر النقطتين A و C و هما نقطتين في مستوى واحد في الماء، حيث A هي الحد الفاصل بين الماء و الزيت فيكون :

الضغط عند C = الضغط عند A

$$Patm + \rho_1\, g\, h_1 = Patm + \rho_2\, g\, h_2$$

حيث Patm الضغط الجوي و $\rho_1$ كثافة الزيت و $\rho_2$ كثافة الماء . أي أن :

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$$

من هذه العلاقة يمكن تعيين الثقل النوعي للزيت وهو يساوي النسبة بين كثافة الزيت إلى كثافة الماء أي :

$$\rho_1 / \rho_2 = h_2 / h_1 \qquad (9\text{-}2)$$

## 2- 3 اللزوجة : Viscosity

هناك مشاهدات يومية كثيرة توضح لنا معنى اللزوجة منها :

1- إذا صب سائلان مثل الماء و الجلسرين على لوح زجاجي نشاهد أن حركة الجلسرين أبطأ من حركة الماء على اللوح الزجاجي .

2- إذا صب الماء والجلسرين في قمعين متماثلين ووضعنا أسفل كل منهما كأساً نجد أن سرعة انسياب الجلسرين أقل كثيرا من سرعة انسياب الماء الساقط من القمع.

3- إذا أحضرنا كأسين متماثلين وملأنا أحدهما بالماء والآخر بنفس الحجم من العسل ثم حركنا ساقا زجاجية في كل من الكأسين سنجد أن الساق الزجاجية تتحرك في الماء بسهولة أكبر وإذا أخرجنا الساق من كل منهما ستجد أن الماء يستمر في الحركة فترة زمنية أكبر.

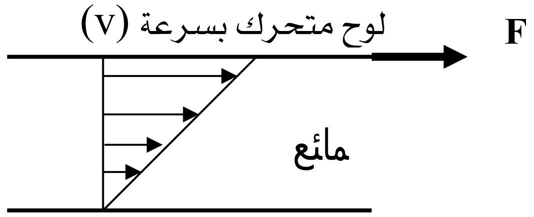
4- إذا أحضرنا مقدارين طويلين أحدهما مملوءاً بالماء والآخر بالجلسرين أو العسل واسقطنا في كل منهما كرة معدنية متماثلة نلاحظ أن الكرة تتحرك في الماء بسرعة أكبر من سرعة الكرة في الجلسرين أو العسل.

كل هذه المشاهدات وغيرها تدل على أن السوائل تختلف فيما بينها في قابليتها للانسياب وفي مقاومتها لحركة الأجسام الصلبة فيها وكلما قلت القابلية للانسياب وزادت مقاومة السائل لحركة الأجسام الصلبة فيه يقال أن لزوجة السائل أكبر .

والمائع المثالي ( Ideal Fluid ) هو سائل أو غاز غير قابل للانضغاط ولا يوجد احتكاك بين جزيئاته غير دوامي ويسير في خطوط انسياب محددة وتسارعه يساوي صفرا .

وحيث إنه لا لزوجة له تعوق طبقاته من الانزلاق فوق بعضها فإذا كان هذا المائع المثالي يتحرك في أنبوبة فإن جميع طبقات هذا المائع ستتحرك بنفس السرعة حتى تلك الطبقات الملامسة لجدار الأنبوبة، وهذا لا يحدث في الطبيعة . أما الواقع فهو أن للمائع لزوجة وبالتالي فإن طبقات المائع المختلفة لا تتحرك بنفس السرعة . فطبقة المائع الملامسة للجدار لا تتحرك مطلقا كما يحدث بينما تقول للطبقة المركزية (على طول المحور) ذات أعلى سرعة وكمثال ملاحظ على أن الطبقة الملاصقة للجدار لا تتحرك مطلقاً ما يحدث لطبقة الغبار الملاصقة لسطح السيارة فمهما تحركت السيارة بسرعة عالية تبقى هذه الطبقة الرقيقة من الغبار لأن طبقة الهواء الملامسة لسطح السيارة ليس لها سرعة بالنسبة للسيارة وبذلك لا تنزع طبقة الغبار عنها.

ولكي ندرس اللزوجة بطريقة كمية نتصور سائلا لزجا بين لوحين متوازيين كما في شكل(2- 6) اللوح العلوي حر الحركة بينما السفلي ثابت في مكانه .إذا أردنا أن نحرك اللوح العلوي بسرعة ولتكن V بالنسبة للوح السفلي سنحتاج إلى قوة F . هذه القوة تكون كبيرة في حالة السوائل عالية اللزوجة كالعسل أو الجلسرين مثلا بينما تكون أقل في حالة السوائل الأقل لزوجة مثل الماء .




شكل 2- 6 اللزوجة

يمكن أن نتصور أن السائل مكون من طبقات رقيقة، الطبقة الملامسة للوح العلوي تكون ملاصقة له وتتحرك بنفس سرعته بينما الطبقة الملامسة للوح السفلي الساكن تكون ساكنة أي أن سرعتها = الصفر .

وعندما يتحرك اللوح العلوي فإن طبقات السائل تنزلق فوق بعضها وتتحرك بسرعات مختلفة تتغير بانتظام من V بالنسبة للطبقة العلوية وصفر بالنسبة للطبقة السفلية

وعندما تتحرك طبقات السائل فإن كل طبقة تلاقي قوة لزوجة بينها وبين الطبقة التي تعلوها وهي قوة شبيهة بقوة الاحتكاك تعوق انزلاق بعضها فوق بعض فينشأ عن ذلك فرق نسبي في السرعة بين كل

طبقة والتي تليها والقوة F هي التي تعادل تأثير هذه القوى لكي تبقى كل طبقة متحركة بسرعة ثابتة وتعتمد القوة F المطلوبة على عدة عوامل هي :

1- المساحة A فالمساحة الأكبر تكون ملاصقة لكمية أكبر من السائل أي أن القوة تتناسب طردياً مع المساحة $F \ \alpha \ A$

2- السرعة v فالسرعة الأعلى تحتاج إلى قوة أكبر أي أن القوة تتناسب طردياً مع السرعة $F \ \alpha \ v$

3- المسافة العمودية بين اللوحين S والقوة تتناسب تناسبا عكسيا مع المسافة الفاصلة بين اللوحين حيث إنه كلما زادت هذه المسافة بعدت الطبقة العلوية عن تأثير الطبقة السفلية الساكنة في هذه الحالة نحتاج إلى قوة أقل أي أن $F \ \alpha \ 1/s$

أو

$$F = \eta \, A \, v / s \qquad (10\text{-}2)$$

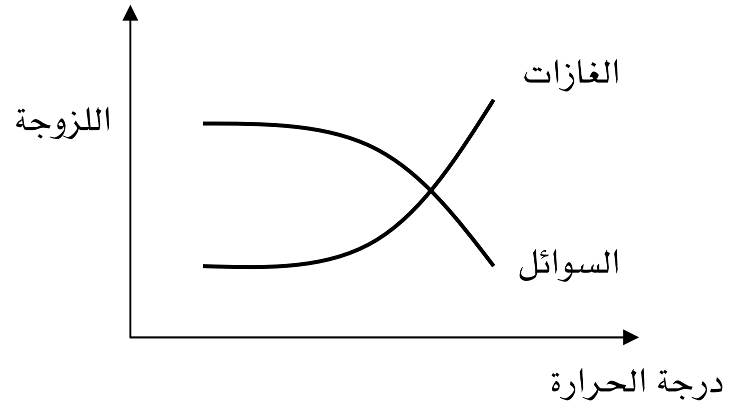
ويسمى ثابت التناسب η معامل اللزوجة

$$F \, s/A \, v = F/ Av / s = \eta \qquad (11\text{-}2)$$

ويعرف معامل اللزوجة على أنة القوة المماسية المؤثرة على وحدة المساحات التي ينتج عنها فرق في السرعة مقداره الوحدة بين طبقتين من السائل المسافة العمودية بينهما الوحدة ووحدته هي kg/ m s

**تأثير الحرارة على اللزوجة:**

تتأثر اللزوجة كثيرا بتغير درجة الحرارة فعندما تزيد درجة الحرارة تقل لزوجة السوائل وتزيد لزوجة الغازات ويرجع ذلك إلى أن قوى التماسك بين جزيئات السائل تقل مع زيادة درجة الحرارة وبالتالي تقل اللزوجة بينما في الغازات يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى زيادة معدل تصادم الجزيئات مع بعضها وهذا يزيد قوى الاحتكاك بينها مما يؤدي إلى زيادة في اللزوجة ( انظر الشكل2- 7)




شكل 2- 7 تأثير درجة الحرارة على اللزوجة

## 2- 4 **الطفو:** Bouynacy

الجسم المغمور بالماء يبدو أخف وزناً من الجسم المغمور بالهواء ، والجسم الذي تكون كثافته أقل من كثافة المائع المغمور فيه يطفو فوق سطح المائع. ومن الأمثلة على ذلك جسم الإنسان في الماء والثلج في الماء والمنطاد المملوء بالهيليوم في الهواء. هذه الظاهرة تسمى ظاهرة الطفو ومن أهم تطبيقاتها مبدأ أرخميدس.

**مبدأ أرخميدس:**

وينص على أنه عندما يغمر جسم في مائعٍ ما ، فإن المائع يبذل قوةً إلى أعلى على الجسم مقدارها مساوياً لوزن المائع الذي أزاحه ذلك الجسم.

مثال2- 6

كرة معدنية مفرغة كتلتها 9 kg تطفو فوق سطح الماء احسب القطر الخارجي لهذه الكرة الذي يجعل نصفها مغموراً تحت سطح الماء.

الحل:

القوة التي يبذلها المائع على الكرة يساوي وزن المائع المزاح وهي تساوي وزن الكرة

وزن السائل المزاح = $0.5 * \rho * g * (4/3)\, \pi\, (d/2)^3$

وزن الكرة = $M\, g$

بمساواة هاتين القوتين والحل للحصول على القطر المطلوب

$$0.5 * \rho * g * (4/3)\,\pi\,(d/2)^3 = Mg$$

$$d^3 = 12\,M / (\pi\,\rho) = 12 * 9 / (\pi * 1000) = 0.0344$$

$$d = 0.325 \text{ m}$$

## 2- 5 **الشد السطحي**: *Surface Tension*

تنشأ ظاهرة الشد السطحي عن قوى التماسك والتجاذب بين جزيئات السائل عند السطح. أي أنها خاصية سطحية لاوجود لها داخل السائل. ويعرف الشد السطحي بأنه القوة المؤثرة على وحدة الأطوال من أي خط من خطوط سطح السائل.

جدول2- 2 الشد السطحي لبعض السوائل الملامسة للهواء

| السائل | درجة الحرارة (درجة مئوية) | الشد السطحي dyn/cm |
|---|---|---|
| *البنزين* | 20 | 28.9 |
| *الكحول الايثيلي* | 20 | *22.3* |
| *الجليسيرين* | 20 | *63.1* |
| *الزئبق* | 20 | *465.0* |
| *زيت الزيتون* | 20 | *32.0* |
| *محلول الصابون* | 20 | *25.0* |
| الماء | 0 | *75.6* |

| | | |
|---|---|---|
| الماء | 20 | *72.8* |
| الماء | 60 | *66.2* |
| الماء | 100 | *58.9* |
| الأكسجين | -193 | *15.7* |
| النيون | -247 | *5.15* |
| الهيليوم | -269 | *0.12* |

وحدات الشد السطحي هي وحدات قوة/ وحدات طول ، والوحدة شائعة الاستعمال هي داين/سم (dyn/cm).

ومعامل التحويل من dyn/cm إلى N/m هو 1 N/m = 1000 dyn/cm ، ويوضح الجدول2- 2 قيم الشد السطحي لبعض السوائل مع الهواء عند درجات حرارة مختلفة.

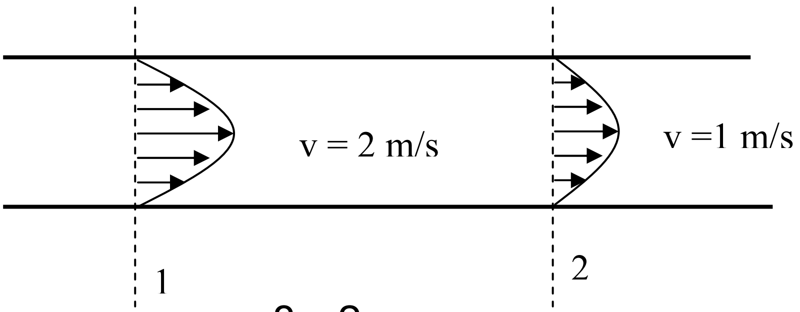
## 2- 6 **خواص السوائل المتحركة :** *Fluids in Motion*

هناك أمثلة مختلفة لحركة الموائع بصفة عامة سوائل كانت أم غازات . فالماء مثلا ينساب برفق و ببطء في جدول هادئ بينما يتحرك بعنف في مساقط المياه . والهواء يمكن أن يكون نسيما ويمكن أن يكون رياحا عاتية . ولهذا السبب لابد أن نفرق بين الأنواع المختلفة لسريان الموائع . فسريان المائع يمكن أن يكون سرياناً مستقراً (هادئاً) أو سرياناً غير مستقر (مضطرب) .

**السريان المستقر** : في حالة السريان المستقر تكون سرعة جسيمات أو جزيئات السائل عند أي نقطة ما ثابتة مع الزمن وهذا هو الشرط الأساسي للسريان المستقر .

وعلى سبيل المثال يمثل شكل( 2- 8) مائعاً متحركاً . الجسم الذي يمر في نقطة 1 يتحرك بسرعة v1 = 2 m / s وفي حالة السريان المستقر فإن كل جسيم يمر بنقطة 1 يكون له نفس السرعة . أما عند أي نقطة أخرى فإن السرعة تختلف وهذا هو الحال بالنسبة لسرعة الماء في النهر حيث تكون السرعة على طول المركز أو المحور أعلى من السرعة بالقرب من الضفة وفي الشكل (2- 8) عند نقطة 2 مثلا فإن

السرعة $v2 = 1\ m/s$ وفي حالة السريان المستقر فإن كل جسيم يمر بهذه النقطة يكون له نفس هذه السرعة $1\ m/s$ أي أن السرعة قد تتغير من نقطة إلى أخرى في حالة السريان المستقر ولكنها تبقى ثابتة عند كل نقطة في القيمة ولا تتغير مع مرور الزمن .




شكل 2- 8

**السريان غير المستقر :**

في حالة السريان غير المستقر تكون السرعة عند أي نقطة ما متغيرة مع الزمن ويعتبر السريان الدوامي هو أقصى أنواع السريان غير المستقر ويتولد عندما تكون هناك عوائق حادة في مسار المائع المتحرك بسرعة عالية وفي هذه الحالة تتغير السرعة عند أي نقطة تغيرا حادا من لحظة إلى أخري في كل من القيمة والاتجاه .

**خطوط الانسياب :**

السريان المستقر –كما أشرنا- هو ذلك السريان الذي تكون فيه سرعة المائع عند كل نقطة ثابتة مع الزمن و يسمى هذا السريان أيضاً السريان الطبقي أو السريان الانسيابي ويتميز هذا النوع من السريان أيضاً بأن كل جزء من السائل يتبع أثناء حركته مسارا متصلا يسمى خط الانسياب. وخط الانسياب هو خط وهمي في السائل يكون المماس له عند أي نقطة موازيا لسرعة المائع عند هذه النقطة ويمكن أن تتغير سرعة السائل في المقدار أو الاتجاه من نقطة إلى نقطة على خط الانسياب ولكن مقدار السرعة واتجاهها عند أي نقطة يظل ثابتا مع الزمن حتى يتحقق الشرط الأساسي للسريان المستقر .

خصائص خطوط الانسياب :

1- يعطي المماس لخط الانسياب عند نقطة ما اتجاه السرعة عند هذه النقطة .

2- خطوط الانسياب لا تتقاطع مع بعضها لأنها إذا تقاطعت فإن جزيئات السائل التي تصل عند نقطة التقاطع ستتحرك بعدها في أي اتجاه كما أن سرعته لن تكون ثابتة مع الزمن وهذا عكس شرط السريان المستقر .

3- يحدد عدد خطوط الانسياب التي تمر عموديا بوحدة المساحات حول نقطة معينة معدل سريان السائل عند هذه النقطة . لذلك فإن خطوط الانسياب تتزاحم في حالة السرعات العالية وتتباعد في حالة السرعات المنخفضة .

معدل التدفق:

**يقصد بمعدل التدفق هو حجم المائع الذي يقطع المساحة العمودية على اتجاه السريان في وحدة زمنية معينة ويعبر عنه بمعدل التدفق الحجمي (Volume Flow Rate) ويحسب كالتالي:**

$$\dot{Q} = A \times v \qquad (12 - 2)$$

حيث A هي مساحة المقطع الذي يمر خلاله المائع و v هي سرعة مرور المائع.

**أما معدل التدفق الكتلي (Mass Flow Rate) فهو**

$$\dot{m} = \rho \times \dot{Q} \qquad (13 - 2)$$

مثال2- 7

أنبوب قطره 20 mm ينساب فيه الماء بسرعة 0.5 m/s ، احسب معدل التدفق الحجمي والكتلي؟

الحل:

$$\dot{Q} = A \times v = \frac{\pi}{4} 0.02^2 \times 0.5 = 157.1 \times 10^{-6} \quad \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$$

$$\dot{m} = \rho \times \dot{Q} = 1000 \times 157.1 \times 10^{-6} = 0.157 \quad \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}}$$

معادلة الاستمرارية:

إذا كان لدينا نظاما مفتوحاً - والنظام المفتوح هو النظام الذي يسمح بانتقال الطاقة والكتلة خلاله إلى الوسط المحيط- فعندما نطبق قانون حفظ المادة على هذا النظام فإننا نجد أن معدل تغير كتلة المادة داخل الحجم المفتوح بالنسبة للزمن مساوياً لمعدل دخول المادة للحجم المفتوح مطروحاً منه معدل خروج المادة من الحجم المفتوح.

ولكن لو افترضنا وجود نظام مفتوح من طرفيه فقط ولا يسمح بدخول المادة من جوانبه فإنه يمكننا أن نقول أن معدل تغير كتلة المادة داخل النظام المفتوح بالنسبة للزمن تساوي صفراً أي أن **كمية المادة ( المائع ) الداخلة عند المقطع الأول خلال زمن معين = كمية المادة ( المائع ) الخارجة عند المقطع الثاني خلال نفس الزمن** أو بعبارة رياضية

$$A_1 v_1 \rho_1 \Delta t = A_2 v_2 \rho_2 \Delta t$$

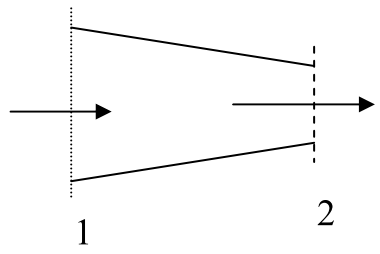
حيث ρ كثافة المائع ، A مساحة المقطع الذي تكون سرعة التدفق عمودية عليه ، v سرعة تدفق المائع وبالنسبة للموائع غير القابلة للانضغاط تكون الكثافة ثابتة والتغير في الزمن متساوٍ يمكننا أن نكتب المعادلة كالتالي:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{constant} \qquad (14\text{-}2)$$

ويتضح من هذه المعادلة أنه كلما زادت مساحة مقطع الأنبوبة كلما قلت سرعة السائل والعكس صحيح.

مثال2- 8

يسري مائع غير قابل للانضغاط في أنبوب ذي مقطع دائري متناقص القطر. قطر الأنبوب عند المدخل 0. 5 m وعند المخرج 0.2 m إذا علمت أن معدل التدفق الحجمي هو $0.3\ m^3/s$ فاحسب سرعة المائع عند مدخل ومخرج الأنبوب.




**الحل:**

$$\dot{Q} = A \times v \quad \rightarrow \quad v_1 = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{0.3}{(\frac{\pi}{4} \times 0.5^2)} = 1.53 \qquad \frac{m}{s}$$

$$v_2 = \frac{\dot{Q}}{A_2} = \frac{0.3}{(\frac{\pi}{4} \times 0.2^2)} = 9.54 \qquad \frac{m}{s}$$

معادلة برنولي:

تنص نظرية برنولي على أن مجموع طاقة الضغط والطاقة الحركية وطاقة الوضع لوحدة الحجوم لأي جسيم من مائع ما يسري في مسار معين يظل ثابتاً عند أي مقطع على طول ذلك المسار إذا لم يكن هناك فقد أو اكتساب للطاقة من البيئة المحيطة بذلك المسار.

وبعبارة رياضية

$$P + \frac{1}{2} m V^2 + m g h = \text{constant} \qquad (15 - 2)$$

ولأن المعادلة لوحدة الحجوم فإن الكتلة تساوي عددياً الكثافة وبالقسمة على الكثافة تكون المعادلة كالتالي:

أو عند تطبيقها على نقطتين في المائع تكون على الصيغة التالية:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 \qquad (16-2)$$

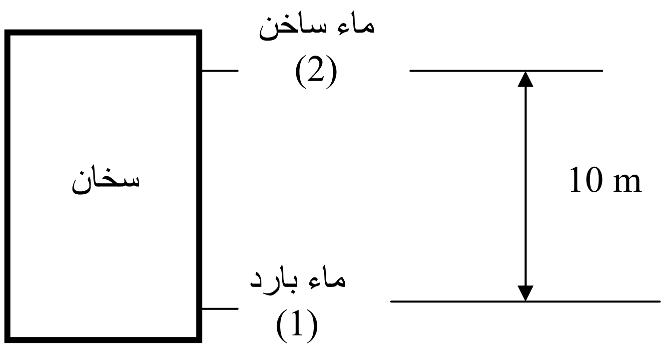
حيث P1 الضغط الداخل P2 الضغط الخارج وv1 سرعة المائع الداخل وv2 سرعة المائع الخارج وh1 الارتفاع عند النقطة الأولى وh2 الارتفاع عند النقطة الثانية.

من الضروري الانتباه إلى أن معادلة برنولي بصورتها السابقة لاتعطي وزناً للطاقة المكتسبة $h_{g(12)}$ بين النقطتين ولا المفقودة بينهما $h_{L(1-2)}$ ولأخذ هذه الطاقة بالاعتبار من الممكن تعديل معادلة برنولي لتصبح كالتالي:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 + h_{g(12)} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + h_{L(12)} \qquad (17-2)$$

مثال2- 9

يدخل الماء البارد في سخان لإنتاج الماء الحار بسرعة قدرها 2 m/s ويخرج الماء الساخن بسرعة 10 m/s ، إذا كان مخرج الماء الساخن أعلى من مدخل الماء البارد ب 10 m فاحسب ضغط الماء الساخن إذا كان ضغط الماء البارد 200 kPa ، افترض أن كثافة الماء ثابتة وقدرها 1000 kg/m3




الحل:

بتطبيق معادلة برنولي بين النقطتين (1) و (2)

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2$$

بحل المعادلة للمجهول P2 يكون كالتالي:

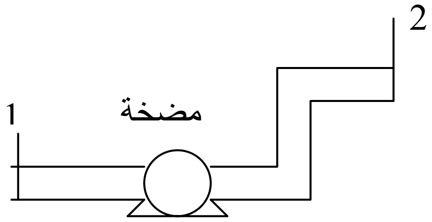
$$P_2 = P_1 + \rho \left(\frac{v_1^2 - v_2^2}{2}\right) - \rho g h_2$$

$$= 200 \times 10^3 + 1000 \left(\frac{2^2 - 10^2}{2}\right) - 1000 \times 9.81 \times 10$$

$$= 53900 \text{ Pa} = 53.9 \text{ kPa}$$

مثال2- 10:

الأنبوب الموضح بالشكل ذو قطر 50 cm ينقل الماء بتدفق قدره $0.5\ m^3/s$ ، إذا كان $h_1=30$ m و $h_2=40$m و $P_1=70$ kPa . ما هي قدرة الرفع للمضخة لكي ترفع الماء ويصبح الضغط $P_2=350$kPa افترض أن الفقد يساوي 3m




الحل:

بتطبيق معادلة برنولي العامة بين النقطتين 1 و 2 مع الانتباه إلى أن الطاقة من المضخة تعتبر طاقة مكتسبة

$$\frac{P_1}{\rho g}+\frac{v_1^2}{2g}+h_1+h_{g(12)}=\frac{P_2}{\rho g}+\frac{v_2^2}{2g}+h_2+h_{L(12)}$$

نحل هذه المعادلة للمجهول مع ملاحظة أنه نظراً لأن قطر الأنبوب ثابت فإن السرعة ثابتة أي $v_1=v_2$

$$h_{g(12)}=\frac{P_2-P_1}{\rho g}+\frac{v_2^2-v_1^2}{2g}+(h_2-h_1)+h_{L(12)}$$

$$=\frac{(350-70)\times 10^3}{1000\times 9.81}+0+(40-30)+3$$

$$=41.6\ m$$

# تمارين على الوحدة الثانية

1- حاوية حجمها $2\,m^3$ مليء نصفها بالماء ونصفها الآخر بالزيت احسب كتلة الماء وكتلة الزيت والكثافة المتوسطة للخليط ( خذ كثافة الماء $1000\ kg/\ m^3$ وكثافة الزيت $920\ kg/\ m^3$ )

2- أسطوانة هيدروليكية قطرها 8 cm ماهو ضغط المائع الهيدروليكي لتعطي الأسطوانة قوة مقدارها 8 kN مع إهمال الاحتكاك داخل الأسطوانة.

3- ما هو الضغط المقاس والضغط المطلق الواقع على قاعدة خزان ارتفاعه 6 m مملوء بسائل كثافته $1200\ kg/\ m^3$ ( الضغط الجوي 101.3 kPa ).

4- ماهو ارتفاع عمود الماء المكافئ لضغط جوي قدره 101.3 kPa خذ كثافة الماء $1000\ kg/\ m^3$

5- هواء تحت ضغط مطلق مقداره 1.5 bar ودرجة حرارة 30 C يمر داخل مجرى هوائي مستطيل الشكل عند A طوله 40 cm وعرضه 30 cm ومربع الشكل عند B طول ضلعه 25 cm فإذا كان انخفاض الضغط من A إلى B قدره 0.2 bar فاحسب سرعة الهواء في المجرى عند B علما بأن درجة حرارة الهواء ثابتة وسرعة الهواء عند A تساوي $20\ m/s$ ، ثابت الهواء يساوي $R = 287\ J/\ kg\ K$

6- يجري الماء في أنبوب دائري المقطع قطره 5 cm متصل بأنبوب آخر قطره 8cm والذي يتفرع إلى أنبوبين قطر كل منهما 3 cm فإذا كان معدل التدفق الحجمي عند مدخل الأنبوب الأول $0.02\,\dfrac{m^3}{s}$ فاحسب مايلي:

أ) معدل التدفق الكلي في الأنبوب الأول وفي فرعي الأنبوب الثاني

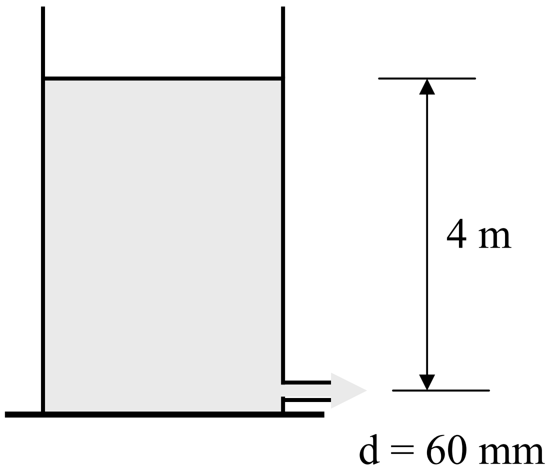
ب) السرعة في الأنبوب الأول وفي فرعي الأنبوب الثاني.

7- الماء الذي يخرج من فوهة خرطوم الحديقة يملأ إناء في $30\ s$ . فإذا كان حجم الإناء يساوي $8\times10^{-3}\ m^3$ أوجد سرعة الماء عند خروجه من فوهة الخرطوم في الحالتين التاليتين :

أ- دون أي انسداد في فوهة الخرطوم حيث مساحة مقطعها تساوي $2.85\times10^{-4}\ m^2$

ب- عندما نسد نصف مساحة الفوهة .

8- ماهي سرعة الماء خلال فوهة الخزان الموضح بالشكل. احسب أيضاً معدل التدفق الحجمي خلال الفوهة.



# ملخص الوحدة الثانية

تم التطرق في هذه الوحدة إلى موضوع ميكانيكا الموائع حيث تم تناول مقدمة لهذا العلم تم فيها تقديم بعض المصطلحات والتعريفات الهامة في هذا المجال ودراسة بعض خواص السوائل الساكنة والمتحركة وأنواع السريان وحساباته وكذلك تم التطرق لمعادلة الاستمرارية ومعادلة برنولي وبعض تطبيقاتها. وقد تم في هذه الوحدة التطرق إلى بعض الأمثلة والتمارين التطبيقية في هذا المجال.

# مدخل إلى التقنية الميكانيكية

## الديناميكا الحرارية

الديناميكا الحرارية

3

# الوحدة الثالثة : الديناميكا الحرارية

## الأهداف

بعد دراسة هذه الوحدة يصبح المتدرب قادراً على:

- معرفة بعض المفاهيم الثيرموديناميكية ( درجة الحرارة و الحرارة و الطاقة و الشغل)
- معرفة القانون الصفري للديناميكا الحرارية
- معرفة القانون الأول للديناميكا الحرارية
- المقدرة على إجراء بعض الحسابات وحل بعض التمارين التطبيقية

## الوقت المتوقع للتدريب

5 ساعات

## المتطلبات السابقة

مبادئ الرياضيات والفيزياء

# الوحدة الثالثة : مقدمة في الديناميكا الحرارية
# Introduction to Thermodynamics

**مقدمة**

الديناميكا الحرارية علم تجريبي يهتم بدراسة العلاقة بين الحرارة والشغل ، وتحويل أحدهما إلى الآخر كما يبحث عن كيفية إنتاج الحرارة وانتقالها من موقع إلى آخر وتأثيرها على المادة وكيفية تخزينها. ويستخدم علم الديناميكا الحرارية في التطبيقات الهندسية في تصميم المحركات ومولدات الطاقة الكهربائية وأجهزة التبريد والتكييف ويدخل هذا العلم في التطبيقات الصناعية المختلفة.

وسيتم في هذه الوحدة معرفة بعض المفاهيم الثيرموديناميكية وكذلك قوانين الديناميكا الحرارية والتي تربط بين التدفق الحراري Heat flow والشغل Work والطاقة الداخلية Internal energy للنظام.

## 3- 1 **الحرارة**: Heat

توصف الأشياء، تبعاً لسخونتها بأنها حارة، وساخنة، وباردة؛ فيقال يوم قائظ، أو يوم حار، أو شديد الحرارة؛ كما يقال للطبيب، إن المريض ارتفعت حرارته. وهذا التصنيف، نسبي؛ فالشاي يتناول ساخناً، بينما تتناول المشروبات الغازية باردة؛ ولو كان الشاي أقل سخونة من المعتاد، لقيل إنه بارد، ويحتاج إلى تسخين.

ويوجد هناك خلطاً بين مفهومَي الحرارة ودرجتها؛ على الرغم من أهميتهما وشيوع استعمالهما. لذا، فإنه من المناسب إيضاح الفرق بينهما، وكيفية قياس كلٍّ منهما؛ وتبيان الآلية، التي تنتقل بها الحرارة من جسم إلى آخر.

**الفرق بين الحرارة ودرجة الحرارة:**

إن جميع المواد مكونة من جزيئات وذرات، دائمة الاهتزاز والحركة؛ ولكنها متفاوتة السرعة، في المادة الواحدة. فلو أمكن رؤية جزيئات غاز الأكسجين، مثلاً، في حاوية، لتبيّن أن بعضها لا يكاد يتحرك، وبعضاً آخر يتحرك بسرعة عالية، وبعضها الأكبر حركته متوسطة. ولو كانت درجة حرارة Temperature غاز الأكسجين صفراً مئوياً، فإن 1.3٪ من الجزيئات، سيراوح معدل حركتها بين صفر و360 كيلومتراً، في الساعة؛ و7.7٪ ستتجاوز سرعتها 2670 كيلومتراً، في الساعة؛ ونحو 91٪ منها، ستراوح سرعتها بين الرقمين 360 و2670 كيلومتراً، في الساعة. وبذلك فإن متوسط سرعة جزيئات الأكسجين، في هذه الحالة، يساوي 1660 كيلومتراً، في الساعة.

ولكن، ما الذي يحدث لمتوسط سرعة جزيئات الأكسجين، لو ارتفعت درجة الحرارة؟ عند درجة حرارة 30 ْمئوية، سيكون متوسط سرعتها 1750 كيلومتراً في الساعة؛ وعندما تصل درجة الحرارة إلى 100 ْ مئوية، يرتفع إلى 1941 كيلومتراً في الساعة. إذا، كلما ارتفعت درجة الحرارة، ازداد متوسط سرعة الجزيئات. وحركة الجزيئات، تعبّر عن الطاقة الحركية Kinetic energy ؛ فدرجة الحرارة لأي مادة، هي مقياس لمتوسط طاقتها الحركية، أو متوسط سرعة حركة جزيئاتها.

والحرارة Heat شكل من أشكال الطاقة. وتعرَّف بأنها **إجمالي الطاقة الحركية**، لكل الذرات والجزيئات المكونة للمادة. ويمكن أن ينظر إليها، على أنها طاقة في حالة انتقال بين جسمَين، مختلفَين في درجة حرارتهما. ولإيضاح الفرق بين الحرارة ودرجتها قارن بين كوب ساخن من الشاي، وحوض سباحة مملوء بالماء الدافئ. لا شك أن درجة حرارة السائل، في كوب الشاي، سيكون أعلى؛ ولكن كميته، ستكون أقل كثيراً مما في حوض السباحة؛ وستختزن طاقة، أقلّ، كذلك، من الطاقة في مياه الحوض. واستطراداً، فإن إجمالي الطاقة في الكوب، يقل كثيراً عنه في حوض السباحة. ويمكن أن يستدل على ذلك، بوضع مكعب صغير من الثلج في الأول، وآخر في الثاني، والمؤكد أن درجة حرارة الشاي، ستنخفض كثيراً، بعد ذوبان مكعب الثلج؛ بينما لن يتأثر الماء في حوض السباحة؛ إذ إن الطاقة المختزنة في الكوب قليلة، استُهلك جزء كبير منها في إذابة مكعب الثلج الصغير؛ بينما لم يظهر أثر مكعب الثلج في ماء الحوض.

ويمكن إيضاح هذه الحقيقة بمثال آخر: لو وُضع إناءان، بحجم واحد، على النار؛ الأول مملوء كله بالماء، والثاني مملوء ربعه فقط، لبدأت الحرارة تنتقل إلى السائل فيهما، بمعدل انتقال واحد؛ لأن قوة النار تحتهما واحدة. إلا أن ارتفاع درجة الحرارة، سيكون أكثر سرعة في الإناء الأقل ماءً، منه إلى الإناء الممتلئ، الذي سيغلي ماؤه، حكماً، بعد غليان نظيره؛ أي أنه سيحتاج إلى كمية أكبر من الطاقة (الحرارة) تعجّل غليانه. كمية الحرارة، إذا، تعتمد على كتلة المادة؛ ولكن درجة الحرارة، لا تعتمد عليها. وعلى الرغم من أن مفهومَي الحرارة ودرجتها مميزان ومختلفإن أحدهما عن الآخر؛ إلا أنهما مترابطان. فالمؤكد أن زيادة حرارة المادة، تؤدي رفع درجة حرارتها.

إضافة إلى ذلك، فإن وجود فارق في درجة الحرارة، يحدد اتجاه سريانها. فعندما يوجد اتصال بين جسمَين، مختلفَين في درجة الحرارة، تنتقل الحرارة من الجسم الأعلى في درجة حرارته إلى الأدنى، حتى يتحقق التوازن.

### قياس الحرارة:

تمثل الحرارة الطاقة الحرارية، المنتقلة من جسم، درجة حرارته أعلى، إلى جسم، درجة حرارته أقل. ويقاس مقدار الطاقة الحرارية، المنقولة إلى أي جسم، بالسعرات الحرارية Calories. ويعرَّف السعر الحراري بأنه مقدار الحرارة (الطاقة)، اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء، درجة مئوية واحدة. مثلاً، لو رفعت درجة حرارة جرام من الماء، من 30° إلى 35° درجة مئوية؛ فإن ذلك يعني، أن جرام الماء، زود بخمسة سعرات حرارية. وبالمثل، يلزم خمسة سعرات حرارية، لرفع درجة حرارة خمسة جرامات من الماء، من 30° إلى 31° درجة مئوية. وفي المقابل، يلزم التخلص من خمسة سعرات حرارية، لخفض درجة حرارة جرام واحد من الماء، من 35° إلى 30° درجة مئوية، مثلاً؛ أو لخفض درجة حرارة خمسة جرامات من الماء، من 35° إلى 34° درجة مئوية.

لقد سبق القول، إن تزويد المادة بالحرارة، يؤدي لرفع درجة حرارتها. ولكن، هناك حالات، تستهلك فيها المادة الحرارة، من دون أن يظهر أثر ذلك في درجة حرارتها. فتعريض الماء لمزيد من الحرارة، عند درجة الغليان، لا يزيد حرارته، بل يبخره. من الواضح هنا أن الطاقة المكتسبة، بعد الغليان، لا تظهر على شكل ارتفاع في درجة الحرارة، بل تستهلك في فك الروابط البينية بين جزيئات الماء، لتتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية (بخار ماء). ويطلق على الحرارة المستهلكة في هذه العملية، الحرارة الكامنة للتبخر Latent heat of Vaporization . وكذلك لو غُمس ثرمومتر في قالب من الثلج، درجة حرارته - 20م تحت الصفر؛ وعُرِّض الثلج للحرارة، فإنها ستؤدي لارتفاع درجة حرارته، بالتدريج، حتى يصل إلى درجة الصفر المئوي، حيث سيتوقف، على الرغم من استمرار التزويد بالقدر نفسه من الحرارة! في هذه المرحلة، الطاقة الواصلة، لا يظهر لها أثر في درجة الحرارة؛ لأنها تستهلك في فك الروابط البينية بين الجزيئات، عند تحوِّل البلورات الثلجية إلى ماء سائل. ويطلق على الحرارة المستهلكة في هذه العملية، الحرارة الكامنة للإذابة Latent heat of melting.

### قياس درجة الحرارة:

للتعبير عن درجة الحرارة، كَمّاً، كان لا بدّ من وجود مقاييس معيارية، وخاصة أن الشعور ببرودة الأشياء أو سخونتها، نسبي إلى حدٍّ كبير. فلو أن هناك ثلاثة أكواب من الماء، في الأول ماء بارد، وفي الثاني ماء دافئ، وفي الثالث ماء ساخن. فإن الإنسان، الذي يضع يده في الكوب الثالث، وينقلها إلى الكوب الثاني، سيشعر أن الماء في الكوب الثاني بارد. وعلى العكس من ذلك، لو أنه وضع يده في الكوب الأول، ثم وضعها في الكوب الثاني، فسيشعر أن الماء في الكوب الثاني ساخن. وتنطلق مقاييس

درجة الحرارة من نقاط مرجعية؛ وأحياناً، تسمى نقاط الضبط، من هذه النقاط، مثلاً، درجة حرارة ذوبان الثلج، ودرجة حرارة غليان الماء تحت ضغط جوي محدد. هناك ثلاثة مقاييس شائعة، تقاس بها درجة الحرارة: مقياس كالفن، والمقياس الفهرنهايتي، والمقياس المئوي. ولكل مقياس من هذه المقاييس ميزات معينة . ويمكن تحويل الدرجات المقيسة بأحد هذه المقاييس إلى المقياسَين الآخرَين، من دون عناء.

أ- مقياس كالفن

يميل معظم العلماء والباحثين، عندما يشيرون إلى درجات الحرارة في أبحاثهم، إلى استخدام درجة الحرارة المطلقة، أو ما يسمى مقياس كالفن، الذي استمد اسمه من مبتكره، العالم البريطاني، اللورد كالفن Lord Kelvin (1824 - 1907).

يبدأ مقياس كالفن من الصفر المطلق، ويخلو من القيم السالبة؛ لذا، يفضل كثير من العلماء الباحثين، استخدامه في حساباتهم العلمية. إلى جانب ذلك، فإنه عند درجة الصفر المطلق، تكون حركة جزيئات المادة في أضعف حالاتها، والطاقة الحركية في الحضيض؛ والجزيئات في أبرد ما يمكن أن تكون عليه. وعلى الرغم من ذلك، فإن بعض المواد، مثل الهيليوم، يبقى فيها، عند هذه الدرجة، بعض الحركة، على شكل اهتزازات أو تذبذب مكاني Vibrations بين الذرات، تمنعها من التجمد. ويطلق على هذه الاهتزازات، اهتزازات نقطة الصفر Zero point vibrations. وتسمى الطاقة المرتبطة بهذه الاهتزازات، طاقة نقطة الصفر Zero Point Energy. ولا يوجد درجة حرارة تحت الصفر المطلق.

وفي مقياس كالفن، لا توضع علامة الدرجة، كتلك الدائرة الصغيرة، التي توضع على أرقام درجات الحرارة، المقيسة بالمقياس المئوي أو الفهرنهايتي؛ وإنما يشار إلى الوحدات بالاسم المفرد كالفن، ويرمز إليها بالرمز المجرد K.

ودرجة ذوبان الثلج على هذا المقياس، هي 273.16 كالفن. ودرجة غليان الماء، هي 373.16 كالفن. ويفصل بين هاتَين القيمتَين مائة درجة متساوية.

ب- مقياس فهرنهايت

ابتكر هذا المقياس في أوائل القرن الثامن عشر الميلادي، وبالتحديد عام 1714. وسمي نسبة إلى مبتكره، العالم الفيزيائي الألماني، جبريل دانييل فهرنهايت Gabriel Daniel Fahrenheit. وفي هذا المقياس، جعل فهرنهايت الرقم 32، هو درجة الحرارة، التي يتجمد عندها الماء؛ والرقم 212، وهو درجة الحرارة لتبخره. وجعل الصفر أقلّ درجة حرارة، حصل عليها من خليط من الثلج والماء والملح. وقسم المدى، بين درجة التجمد ودرجة الغليان، إلى 180 قسماً متساوياً؛ كلٌّ منها هو درجة. ويرمز إلى الدرجات بالرمز

F°. وقد استخدم فهرنهايت ثرمومتراً زئبقياً، في أنبوب زجاجي. وكانت نقطتا الضبط عنده، هما نقطة الصفر، ودرجة حرارة جسم الإنسان، في الظروف العادية، وقد قدرها بـ96°. ولكن، لأن نقطتَي الضبط عنده، تصعب إعادة تمثيلهما بدقة، فإن المقياس الفهرنهايتي، يضبط، حالياً، بدرجة تجمد الماء ودرجة تبخره. إضافة إلى ذلك، فإنه مع التقدم التقني، أصبح المعروف، أن متوسط درجة حرارة جسم الإنسان 98.6° فهرنهايت.

## ج- المقياس المئوي

بعد ابتكار فهرنهايت لمقياسه بثمانٍ وعشرين سنةً، وبالتحديد سنة 1742م، قدم عالم الفلك السويدي، أندرس سيلسيوس Anders Celsius ، مقياساً عشرياً لدرجات الحرارة. جعلت فيه نقطة ذوبان الثلج عند الدرجة الصفر، وجعلت درجة غليان الماء عند الدرجة 100°؛ وقسم المدى، بين درجتَي التجمد والغليان، إلى 100 درجة متساوية. وقد اشتهر هذا المقياس، سنوات عديدة، باسم سينتجراد Centigrade Scale ؛ ولكنه، حالياً، مشهور باسم مبتكره، ويطلق عليه سيلسيوس Celsius Scale وهو معروف، باللغة العربية، بالمقياس المئوي لدرجات الحرارة. ويطلق على الثرمومتر، المستخدم فيه، الثرمومتر المئوي.

تقسيمات الدرجات في المقياس المئوي، تساوي، بالضبط، تقسيمات الدرجات في مقياس كالفن؛ فهناك 100° درجة في المقياسَين، بين نقطة ذوبان الثلج، ونقطة غليان الماء. ودرجات الحرارة فيهما، تلتقي عند درجة - 40°، إذ تتساوى القراءة في المقياسَين.

إن كان استخدام مقياس كالفن؛ مقتصراً على الأغراض العلمية، في الوقت الحاضر؛ فإن استخدام المقياس المئوي، هو الأكثر شيوعاً في العالم، ويستخدم في كل البلدان، التي تستخدم النظام المتري. ويقتصر استخدام المقياس الفهرنهايتي على عدد محدود جداً من الدول حالياً، واستخدامه في تلاش.

**معادلة درجة الحرارة:**

**أ- معادلة درجة المقياس المئوي بدرجة المقياس الفهرنهايتي**

هناك عاملان مهمان يؤثران في عملية المعادلة بين المقياسَين: المئوي والفهرنهايتي:

ـ الفارق بين نقطة ذوبان الثلج ودرجة غليان الماء، يساوي 100 درجة في المقياس الأول؛ و180 درجة، في الثاني؛ ما يجعل الدرجة المئوية C، أكبر من الدرجة الفهرنهايتية F، بما يساوي 100/180 أو 1.8. ولا بدّ من مراعاة هذا الفارق، عند معادلة درجة أحد المقياسَين بدرجة الآخر. فيجب أن يؤخذ ذلك الفارق في الاعتبار.

ـ الأخذ في الحسبان، عند المعادلة، أن درجة التجمد، في المقياس المئوي، هي الصفر؛ وفي المقياس الفهرنهايتي، هي 32 ، ويمكن استخدام إحدى المعادلتَين التاليتَين، في المعادلة بين درجات المقياسَين:

للتحويل من المئوي إلى الفهرنهايتي:

$$^{0}F = \frac{9}{5}{}^{0}C + 32 \qquad (1\text{-}3)$$

للتحويل من الفهرنهايتي إلى المئوي:

$$^{0}C = \frac{5}{9}(^{0}F - 32) \qquad (2\text{-}3)$$

ب- معادلة درجة المقياس المئوي بدرجة مقياس كالفن

يشبه مقياس كالفن المقياس المئوي؛ إذ إن تقسيماتهما متساوية تماماً. فهناك 100 درجة، في المقياسَين، تفصل بين درجة ذوبان الثلج ودرجة غليان الماء. ولكن التجمد، المقياس الأول، يكون عند درجة 273.16، والغليان عند درجة 373.16 (الشكل الرقم 92) . ويكونان، في الثاني، على التوالي الدرجتَين: الصفر والمائة. لذا، فالعلاقة بين المقياسَين، يعبَّر عنها، ببساطة، بإضافة 273.16، أو طرحها، من الدرجة، عند المعادلة، كما يلي:

للتحويل من كالفن إلى المئوي:

$$^{0}C = K - 273.16 \qquad (3\text{-}3)$$

وللتحويل من المئوي إلى كالفن:

$$K = {}^{0}C + 273.16 \qquad (4-3)$$

ج- معادلة درجة المقياس الفهرنهايتي بدرجة مقياس كالفن

إن معادلة درجة مقياس كالفن بدرجة المقياس الفهرنهايتي، تمر، عادة، عبْر المقياس المئوي. ونظراً إلى أن طول الوحدات متساوٍ في المقياسَين: المئوي وكالفن، فإن المعامل 1.8 يجب أخذه في الحسبان، لأن الفارق بين درجة ذوبان الثلج ودرجة غليان الماء، في مقياس كالفن، هو 100 درجة؛ و180 درجة، في المقياس الفهرنهايتي، فكل درجة بمقياس كالفن تساوي 1.8 درجة في القياس الفهرنهايتي. ولمعادلة درجات مقياس كالفن بتلك الفهرنهايتية، تستخدم المعادلة التالية:

وللتحويل من الدرجات الفهرنهايتية إلى مقاس كالفن، تستخدم المعادلة التالية:

$$K = \frac{5}{9}({}^{0}F - 32) + 273.16 \qquad (5-3)$$

## 3- 2 مصطلحات هامة في علم الديناميكا الحرارية :

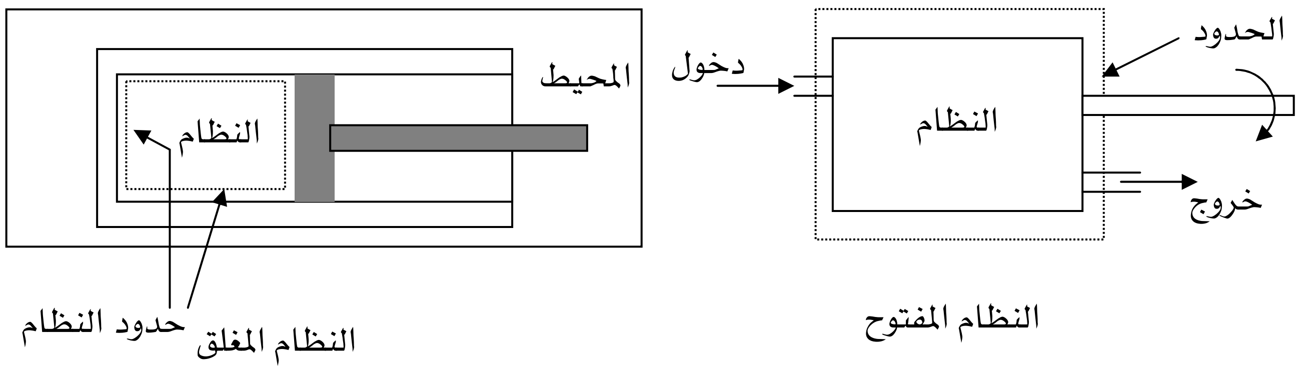
كل علم من العلوم وكل تخصص من التخصصات له مفاهيمه الأساسية وهذه المفاهيم هي اللغة التي تستخدم لفهم مواضيع هذا العلم ومن هذه المصطلحات ما يلي:

**النظام:** system

يقصد به جزء محدد من المادة له حدود معينة سواء كانت حقيقة أم وهمية ينصب الاهتمام عليه . وبمعنى آخر : كمية محدود وموصوفة من مادة تكون محاطة بغلاف أو حدود حقيقي أو تخيلي ، يمكن أن يكون ثابتا أو متحركا . ويلعب النظام دورا أساسيا في دراسة العلاقة بين الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية. . وهناك ثلاثة أنواع للأنظمة هي النظام المفتوح Open System وهو الذي تسمح حدوده بتبادل المادة و الحرارة مع المحيط والنظام المغلق Closed system وهو الذي لا تسمح حدوده بتبادل المادة ولكن تسمح بتبادل الشغل والحرارة مع محيط النظام والنظام المعزول Isolated system وهو الذي لا تسمح حدوده بتبادل أي من المادة أو الطاقة أو الشغل مع محيطه.

**المحيط:** Surroundings

هو الجزء الذي يحيط بالنظام ويتبادل معه الطاقة ويمكن أن يكون حقيقياً أو وهمياً




الشكل3- 1 النظام المفتوح والنظام المغلق

**الإجراء:** Process

هو أي تغير يحدث على النظام ويحدث تغييراً في الضغط أو درجة الحرارة أو الحجم.

**الحرارة النوعية:** Specific Heat

هي كمية الحرارة التي تتبادلها المادة التي تشغل النظام مع الوسط المحيط بها عندما تتغير درجة حرارة وحدة الكتلة للمادة التي تشغل النظام درجة واحدة. وهناك نوعان من الحرارة النوعية للغازات هما الحرارة النوعية عند ضغط ثابت cp والحرارة النوعية عند حجم ثابت cv وتكون الحرارة النوعية للغازات المثالية ثابتة لغاز المعين عند مختلف درجات الحرارة والضغوط. أما الغازات الحقيقية فتختلف حرارتها النوعية باختلاف الضغط ودرجة الحرارة. ويرمز للنسبة (cp/cv) بالحرف k ويوضح الجدول3- 1 الحرارة النوعية لبعض المعادن والغازات.

**الشغل:** Work

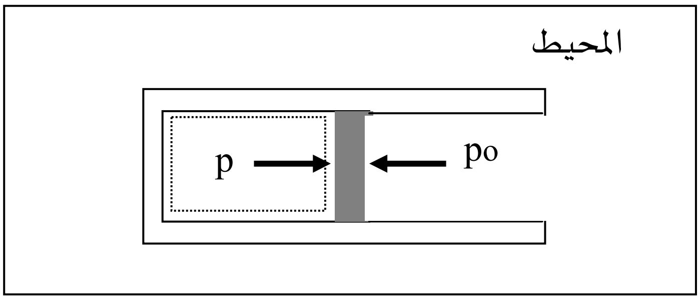
يحدث الشغل عندما تكون هناك قوة تتسبب في تحريك أو تغيير وضع جسمٍ ما. ويحدث الشغل الميكانيكي عندما تتسبب قوة أو عزم في تحريك جسم ما مسافة معينة. والشغل هو حاصل ضرب القوة في المسافة التي تحركها الجسم باتجاه القوة. ومن المتفق عليه في الديناميكا الحرارة أنه إذا كان الشغل يبذل على النظام فيكون شغلاً سالباً أما إذا كان النظام هو الذي يبذل الشغل فيكون شغلاً موجبا.

**الشغل الثيرموديناميكي:**

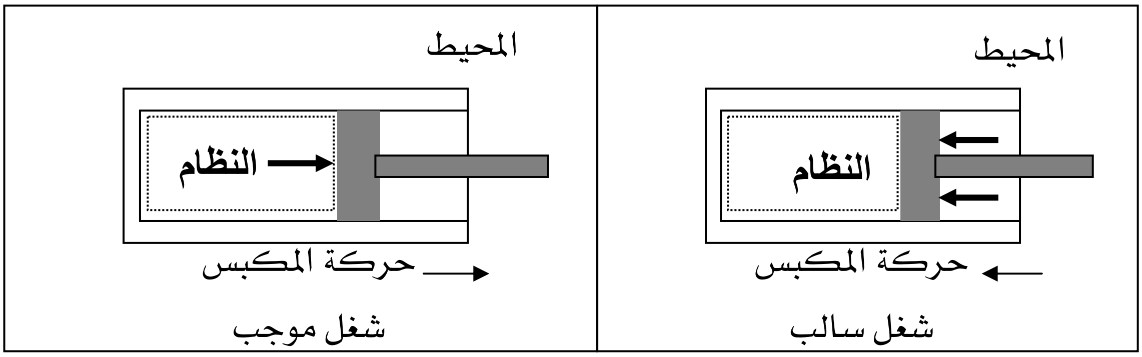
لشرح مفهوم الشغل الثيرموديناميكي نعتبر المكبس الموضح بالشكل3- 3 ، إذا كان ضغط المادة داخل المكبس هو p وضغط الوسط المحيط بالمكبس هو po وكان p أكبر من po فإن المكبس سيتقدم ويؤدي النظام شغلاً موجباً يرمز له بالرمز Wout ، أما إذا كان p أصغر من po فإن المحيط سيؤدي شغلاً على النظام ويكون الشغل سالباً ويرمز له بالرمز Win ( انظر الشكل3- 3)

جدول3- 1 الحرارة النوعية لبعض المعادن والغازات

| المادة | cp kJ/kg K | k |
|---|---|---|
| الألمونيوم | 0.91 | - |
| الحديد | 0.47 | - |
| النحاس | 0.39 | - |
| الفضة | 0.23 | - |
| الزئبق | 0.14 | - |
| الرصاص | 0.13 | - |
| الهواء | 1.00 | 1.40 |
| ثاني أكسيد الكربون | 0.84 | 1.30 |
| الهيليوم | 5.19 | 1.66 |
| الهيدروجين | 14.22 | 1.41 |
| النيتروجين | 1.04 | 1.40 |
| الأكسجين | 0.92 | 1.40 |
| الميثان | 2.21 | 1.31 |




الشكل3- 2 الشغل الثيرموديناميكي




الشكل3- 3 الشغل الموجب والشغل السالب

وعندما يتمدد النظام ويكون تحت ضغط p من الحجم V1 إلى الحجم V2 فإنه يؤدي شغلاً يعطى بالمعادلة التالية:

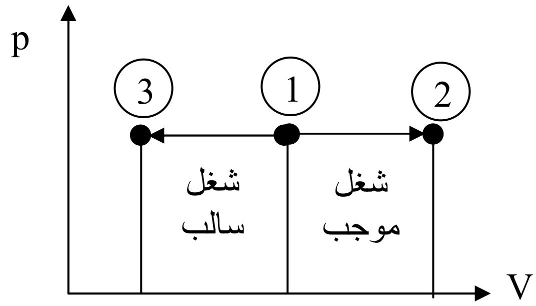
$$W = \int_{V_1}^{V_2} p \, dV \qquad (6-3)$$

من الضروري الانتباه إلى أنه في العمليات الثيرموديناميكية التي ينتقل فيها النظام من حالة ابتدائية إلى حالة نهائية يعتمد الشغل المبذول بواسطة النظام وكذلك الحرارة المضافة للنظام على كلٍّ من الحالة الابتدائية والحالة النهائية وكذلك على المسار الذي تم سلكه للوصول إلى الحالة النهائية.

أنواع الشغل المختلفة لكل الإجراءات:

**1**. إجراء ثبوت الضغط ( الايزوباري): Constant Pressure Process ( Isobaric)

عند رسم هذا الإجراء على منحنى الضغط والحجم تبدو كما في الشكل3- 4. الإجراء من 1 إلى 2 زيادة في الحجم وبذلك يكون الشغل موجباً والإجراء من 1 إلى 3 نقص في الحجم وبذلك يكون الشغل سالباً.




شكل3- 4 إجراء ثبوت الضغط

وحيث إن الضغط ثابت أثناء التمدد أو الانكماش فإنه بالإمكان إجراء التكامل للمعادلة 6-3 فيكون الشغل

$$W_{1\text{-}2} = p\,(V_2 - v_1)$$

$$W_{1\text{-}3} = p\,(V_3 - V_1)$$

أو بشكل عام

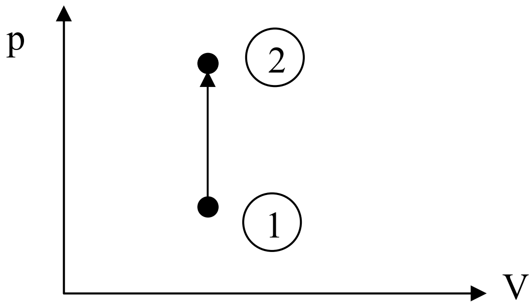
$$W = p\,\Delta V \qquad (7\text{-}3)$$

حيث $\Delta V$ هي التغير في الحجم.

**2**. إجراء ثبوت الحجم ( الايزوكوري): Constant Volume Process (Isochoric)

هذه العملية يعبر عنها بالمعادلة $V = C$ حيث C ثابت.

ولو رسمنا مايسمى منحنى الضغط والحجم لهذه العملية لظهرت بالشكل الموضح بالشكل3- 5 .



شكل3- 5 إجراء ثبوت الحجم

وحيث إن الحجم ثابت في هذه العملية فإن الشغل يساوي صفراً وذلك من المعادلة 3-6

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p\, dV = 0 \qquad (8 - 3)$$

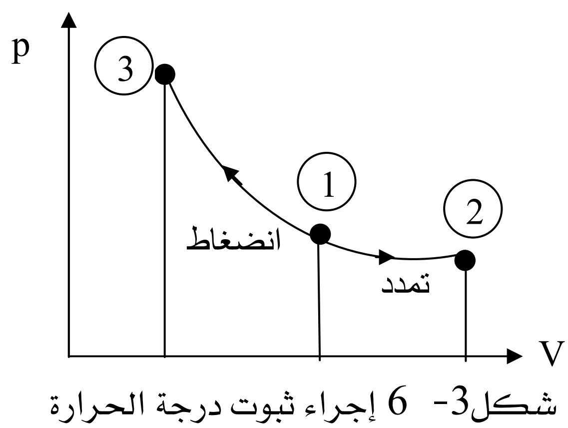
**3**. إجراء ثبوت درجة الحرارة ( الايزوثيرمال): Isothermal Process

وفي هذا الإجراء تبقى درجة الحرارة ثابتة وبذلك تكون الطاقة الداخلية للنظام ثابتة وسيأتي ذكر الطاقة الداخلية لاحقاً ويتغير كل من الضغط والحجم حسب العلاقة التالية:

$$p\, V = C$$

حيث C ثابت.

وشكل هذا الإجراء على منحنى الضغط والحجم هو الموضح بالشكل3- 6



شكل3- 6 إجراء ثبوت درجة الحرارة

ولحساب الشغل في هذا الإجراء تستخدم المعادلة (6-3) مع معادلة الغازات المثالية التي تم التطرق إليها في الوحدة الثانية المعادلة (2-1) وهي

$$p = \frac{m\ R\ T}{V}$$

فيكون الشغل

$$W = m\ R\ T \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

$$W = m\ R\ T\ \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$W = pV\ \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \qquad (9-3)$$

**3**

. **الإجراء الادياباتيكي:** Adiabatic Process

وهذا الإجراء هو الذي يكون فيه النظام معزولاً تماماً بحيث لا يحصل انتقال أي حرارة من أو إلى النظام ويعبر عن هذا الإجراء بالمعادلة التالية:

$$p\,V^k = C$$

حيث C ثابت.

ولو تم استخدام هذه المعادلة والمعادلة (6-3) يمكن التوصل إلى المعادلة التالية للشغل:

$$W = \frac{p_1V_1 - p_2V_2}{k-1} \qquad (10-3)$$

مثال3- 1

غاز حجمه $0.2\ m^3$ وضغطه 2 bar يتمدد عند ضغط ثابت حتى يصل حجمه إلى $0.5\ m^3$ احسب الشغل الناتج من هذا الإجراء.

الحل:

$$W = p\,(V_2 - V_1) = 2 \times 10^5\,(0.5 - 0.2) = 6 \times 10^5 \quad J$$

مثال3- 2

هواء حجمه $0.3\ m^3$ و ضغطه $2\ bar$ ودرجة حرارته $27\ ^oC$ يتمدد مع ثبوت درجة الحرارة حتى يصل حجمه إلى $0.5\ m^3$ احسب الشغل الناتج من هذا الإجراء.

الحل:

من المعادلة (3-9)

$$W = pV\ \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 2\times10^5\times0.3\ \ln\left(\frac{0.5}{0.3}\right) = 30649.5 \quad J$$

مثال3- 3

هواء عند درجة حرارة $27\ ^oC$ وضغط $2\ bar$ يشغل حجما قدره $0.02\ m^3$ في بداية عملية الانضغاط. إذا تم ضغط هذا الهواء خلال إجراء ادياباتيكي وانعكاسي بواسطة مكبس إلى ضغط $7\ bar$ فاحسب الحجم عند نهاية هذا الاجراء واحسب كذلك الشغل المبذول.

الحل:

حيث إن هذا إجراء ادياباتيكي فيمكن اسنخدام المعادلة

$$p\,V^k = C$$

أو

$$p_1\,V_1^{\,k} = p_2\,V_2^{\,k}$$

ومن جدول الحرارة النوعية نجد أن $k = 1.40$ للهواء

$$V_2 = V_1\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{k}} = 0.02\left(\frac{2}{7}\right)^{\frac{1}{1.4}} = 0.0082 \quad m^3$$

وبالإمكان حل هذه المعادلة للحصول على V2

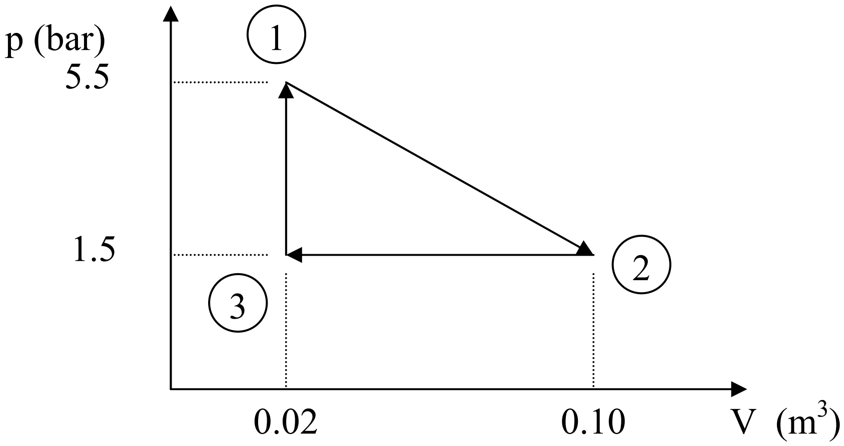
الشغل من المعادلة (3-10)

$$W = \frac{p_1V_1 - p_2V_2}{k\text{-}1} = \frac{2\times10^5\times0.02 - 7\times10^5\times0.0082}{1.4-1} = \text{-}4350 \text{ J}$$

لاحظ أن الإشارة السالبة تعني أن الشغل يبذل على النظام.

مثال3- 4

يوضح الشكل علاقة الضغط بالحجم خلال عملية عكسية مغلقة. احسب الشغل المبذول بواسطة النظام للإجراءات 2-1 و 3-2 و 1-3 وكذلك للدورة المغلقة 1-3-2-1




الحل:

$$W_{1\text{-}2} = \frac{1}{2}(0.10-0.02)\times(5.5-1.5)\times10^5 + (0.10-0.02)\times1.5\times10^5 = 28000 \quad \text{J}$$

$$W_{2\text{-}3} = (0.02 - 0.10)\times1.5\times10^5 = -12\,000 \quad \text{J}$$

$$W_{3\text{-}1} = 0$$

$$W_{1\text{-}2\text{-}3\text{-}1} = 28000 - 12000 = 16000 \text{ J}$$

## 3-3 قوانين الديناميكا الحرارية:

**القانون الصفري للديناميكا الحرارية: The zeroth law of thermodynamics**

يحدث الاتزان الحراري بين جسمين إذا كان بينهما اتصال حراري وكان صافي التبادل الحراري بينهما يساوي صفراً

وينص القانون الصفري أنه إذا وجد جسمين معزولين وكلاً منهما في حالة اتزان حراري مع جسم ثالث فإن ذلك يؤدي إلى أن الجسمين أيضا في حالة اتزان حراري مع بعضهما البعض. وسمي بالقانون الصفري للديناميكا الحرارية لأنه من المسلمات البديهية ويعتبر هذا القانون الأساس لفكرة الثيرمومتر المستخدم لقياس درجات الحرارة.

**القانون الأول للديناميكا الحرارية: First law of thermodynamics**

يفيد القانون الأول للديناميكا الحرارية أن الطاقة محفوظة أي أنه في أي إجراء ثيرموديناميكي فإن الحرارة المضافة للنظام Q يستفاد من جزء منها لأداء الشغل W وما يتبقى يكون تغيراً في الطاقة الداخلية U أو بعبارةٍ رياضية

$$Q = \Delta U + W \qquad (11\text{-}3)$$

وهذه الصيغة من القانون تستخدم للأنظمة الثيرموديناميكية المغلقة وبالإمكان كتابة القانون لوحدة الكتلة كالتالي:

$$q = \Delta u + w \qquad (12\text{-}3)$$

حيث $q = Q/m$ و $\Delta u = \Delta U/m$ و $w=W/m$

تجب ملاحظة أنه إذا كانت الحرارة مضافة للنظام فهي موجبة أما إذا كانت حرارة مفقودة فتكون إشارتها سالبة.

إذا كانت درجة الحرارة ثابتة في إجراء معين فكما ذكر سابقاً لا يحصل أي تغير في الطاقة الداخلية. أي أن $\Delta u= 0$ للإجراء الايزوثيرمي، وهذا يعني أن $Q = W$

وإذا كان الاجراء ادياباتيكياً فكما ذكر سابقاً لا يحصل أي انتقال لأي حرارة من أو إلى النظام. أي أن $Q = 0$ وهذا يعني أن $\Delta U + W=0$

مثال3- 5

احسب التغير في الطاقة الداخلية لمحرك احتراق داخلي في شوط الانضغاط إذا كانت الحرارة المفقودة لماء التبريد 45 kJ/kg والشغل المبذول على النظام 90 kJ/kg

الحل:

باستخدام القانون الأول للثيرموديناميكا

$$q = \Delta u + w$$

$$\Delta u = q - w$$

$$q = -45 \text{ kJ/kg} \ \& \ w = -90 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta u = -45 - (-90) = -45 + 90 = 45 \text{ kJ/kg}$$

وحيث إن $\Delta u$ موجبة فهذا يعني زيادة في الطاقة الداخلية.

مثال3- 6

احسب مقدار الحرارة المفقودة أو المكتسبة من أسطوانة هوائية إذا كان الهواء المضغوط بها له طاقة داخلية قدرها 420 kJ/kg عند بداية مشوار التمدد وطاقة داخلية قدرها 200 kJ/kg عند نهاية مشوار التمدد وكان الشغل المعمول بواسطة الأسطوانة 100 kJ/kg أثناء شوط التمدد.

الحل:

$$\Delta u = u2 - u1 = 200 - 420 = -220 \text{ kJ/kg}$$

$$q = \Delta u + w = -220 + 100 = -120 \text{ kJ/kg}$$

النظام يفقد حرارة مقدارها 120 kJ/kg

مثال3- 7

تدور عجلة ذات ريش بداخل خزان معزول به هواء إذا كانت العجلة تؤدي شغلاً على النظام مقداره 5kJ فاحسب التغير في الطاقة الداخلية للهواء

الحل:

$$Q = \Delta U + W$$

$$\Delta U = Q - W$$

وحيث إن الخزان معزولاً فإن $Q = 0$

ونعلم كذلك أن $W = -5\ kJ$

$$\Delta U = 0 - (-5) = 5\ kJ$$

تزيد الطاقة الداخلية بمقدار 5 kJ

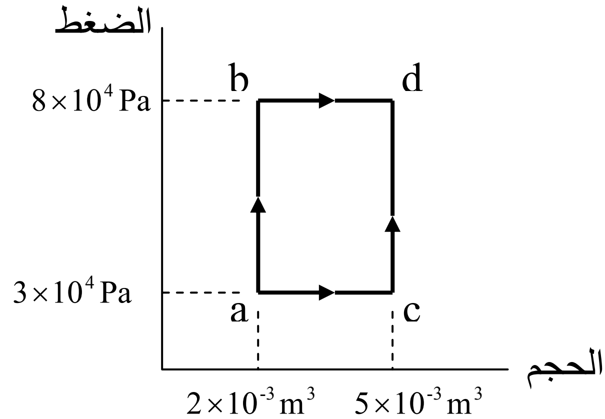
مثال3- 8

منحنى الضغط والحجم موضح بالشكل. تضاف 600 J من الحرارة للنظام في الإجراء ab و تضاف 200 J من الحرارة للنظام في الإجراء bd. أوجد مايلي:

أ ) التغير في الطاقة الداخلية في الإجراء ab.

ب) التغير في الطاقة الداخلية في الإجراء abd.

ج ) كمية الحرارة المضافة في الإجراء acd.




الحل:

أ ) الإجراء ab إجراء ثابت الحجم وبالتالي يكون الشغل فيه يساوي صفرا

$$Q = \Delta U + W$$
$$W = 0$$
$$Q = \Delta U$$
$$\Delta U = Q = 600\ J$$

ب) الإجـراء abd عبـارة عـن إجـرائين الأول ab (ثبـوت الحجـم) والثـاني bd (ثبـوت الضغط)

$$W = 8 \times 10^4 \times (5-2) \times 10^{-3} = 240 \ \text{J}$$
$$\Delta U = Q - W = (600 + 200) - 240 = 560 \ \text{J.}$$

ج) الإجراء acd عبارة عن إجرائين الأول ac (ثبوت الضغط) والثاني cd (ثبوت االحجم)

$$W = 3 \times 10^4 \times (5-2) \times 10^{-3} = 90 \ \text{J}$$
$$Q = \Delta U + W = 560 + 90 = 650 \ \text{J.}$$

لاحظ أن التغير في الطاقة الداخلية لا يتأثر بالمسار

# تمارين على الوحدة الثالثة

1- غاز تحت ضغط ثابت مقداره $3\times10^5\ \frac{N}{m^2}$ وحجم ابتدائي قدره $0.05\ m^3$ تم تبريده حتى أصبح حجمه $0.04\ m^3$ احسب الشغل في هذا الإجراء

2- برد غاز درجة حرارته 27 C تحت ضغط ثابت حتى أصبحت درجة حرارته 7 C فإذا كان الحجم الابتدائي للغاز $8\ m^3$ ماهو الحجم النهائي وماهو الشغل المبذول علماً بأن كتلة الغاز هي 10 kg ، خذ ثابت الغازات R= 320 J/kg K

3- إذا كان ضغط المائع في إجراء ذي درجة حرارة ثابتة يساوي 200 kPa والحجم $2\ m^3$ فاحسب الشغل لهذا الإجراء إذا كان الحجم النهائي يساوي $4\ m^3$

4- يتم تبريد وضغط غاز ما في أسطوانة بضغط ثابت مقداره $2\times10^5\ Pa$ من حجم $1.2\ m^3$ إلى $0.8\ m^3$ وتؤخذ في هذا الإجراء من الغاز حرارة قدرها $2.4\times10^5\ J$

أ) احسب الشغل المعمول بواسطة الغاز

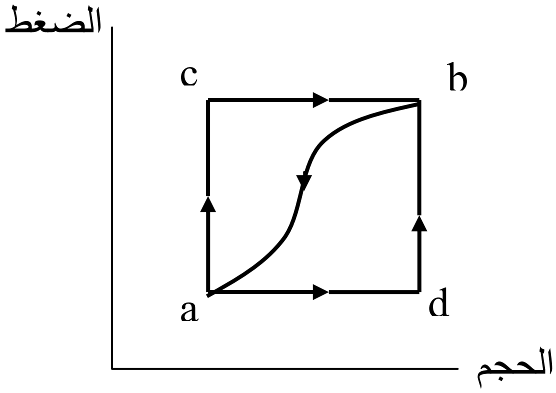
ب) احسب التغير في طاقة الغاز الداخلية

5- يتمدد غاز مثالي ببطىء إلى ضعف حجمه قبل التمدد ويؤدي شغلاً مقداره 500 J في هذا الإجراء. احسب الحرارة المضافة والتغير في الطاقة الداخلية إذا كان

أ) الإجراء إجراء ثبوت درجة الحرارة.

ب) الإجراء إجراء ادياباتيكي

6- في منحنى الضغط والحجم موضح بالشكل عندما ينتقل النظام من a إلى b عبر المسار acb يتم إضافة حرارة مقدارها 80 J إليه ويؤدي النظام شغلاً قدره 30 J




أ) ما هي الحرارة التي يمتصها النظام في الإجراء adb

ب) إذا كان الشغل 10J عندما يعود النظام إلى النقطة a عن طريق المنحنى ba يكون الشغل 20J فما هي كمية الحرارة وهل تضاف للنظام أم أنها تؤخذ منه؟

ج) إذا كانت $Ua = 0$ و $Ud = 40\ J$ فاحسب الحرارة التي يمتصها النظام خلال الإجرائين ad و db

# ملخص الوحدة الثالثة

تم في هذه الوحدة التطرق إلى موضوع الديناميكا الحرارية حيث تم تقديم بعض المفاهيم الثيرموديناميكية وكذلك قوانين الديناميكا الحرارية والتي تربط بين التدفق الحراري Heat flow والشغل Work والطاقة الداخلية Internal energy للنظام. وقد تم في هذه الوحدة التطرق إلى بعض الأمثلة والتمارين التطبيقية في هذا المجال.

# مدخل إلى التقنية الميكانيكية

## انتقال الحرارة

# الوحدة الرابعة : انتقال الحرارة

## الأهداف

بعد دراسة هذه الوحدة يصبح المتدرب قادراً علي:

- معرفة آلية انتقال الحرارة
- فهم طرق انتقال الحرارة بالتوصيل والحمل والإشعاع
- المقدرة على إجراء بعض الحسابات وحل بعض التمارين التطبيقية في مجال انتقال الحرارة

## الوقت المتوقع للتدريب

6 ساعات

## المتطلبات السابقة

مبادئ الرياضيات والفيزياء

# الوحدة الرابعة : طرق انتقال الحرارة
# Modes of Heat Transfer

**مقدمة**

تنتقل الحرارة من جسم إلى آخر، أو من مادة إلى أخرى، بطرائق ثلاث: التوصيل (أو الملامسة)، والحمل (أو الاختلاط)، والإشعاع. وقد يكون انتقال الحرارة مستقراً أو غير مستقر. فإذا قيل أن انتقال الحرارة مستقراً فإن ذلك يعني أنه لا يحصل أي تغير في خواص المادة مع الزمن عند أي نقطة في الوسط الذي تنتقل فيه الحرارة. أما إذا كان غير مستقر فإنه يحصل تغيراً مستمراً مع الزمن . وفي انتقال الحرارة المستقر تكون درجة الحرارة ومعدل انتقال الحرارة كميتان ثابتتان لا يتغيران مع الزمن عند أي نقطة في الوسط الذي تنتقل فيه الحرارة ولكن بالإمكان أن تتغير الكميتان من نقطة إلى أخرى في الوسط.

وفي هذه الوحدة سيقتصر الحديث على انتقال الحرارة المستقر نظراً لأن انتقال الحرارة غير المستقر يتعدى أهداف هذا المقرر.

## 4- 1 التوصيل Conduction

التوصيل هو انتقال الحرارة من جُزَيْء إلى آخر داخل المادة، أو انتقال الحرارة من مادة إلى أخرى عندما تكونان متماستان مباشرة. ويسمح التوصيل الحراري بانتقال الحرارة عبر المواد الصلبة، وآلية التوصيل الحراري عبر المواد الصلبة لم تتضح بعد كليا، ولكنها تنتج في مجملها عن تحرك الجزيئات المكونة للجسم وهذا يخلق مباشرة فرق في درجات الحرارة.

وانتقال الطاقة بطريقة التوصيل مألوف لدى معظم الناس. فالقضيب المعدني، الذي طرفه في النار، سيسخن طرفه الآخر، بالتوصيل. والملعقة المعدنية، في القدر، يسخن مقبضها، بالتوصيل. والجدار الذي تسقط عليه أشعة الشمس، من الخارج، يسخن جانبه الداخلي، بالتوصيل. التوصيل، إذا، هو انتقال الحرارة من جزيء إلى جزيء في المادة؛ فإنتقال النشاط الجزيئي في المادة، بين الجزيئات المتجاورة، يؤدي إلى سريان الحرارة من طرف القضيب المعدني المعرض للهب إلى الطرف الآخر. ويكون سريان الحرارة دائماً من الطرف أو الجزء الدافئ، الأعلى حرارة، إلى الجزء الأبرد.

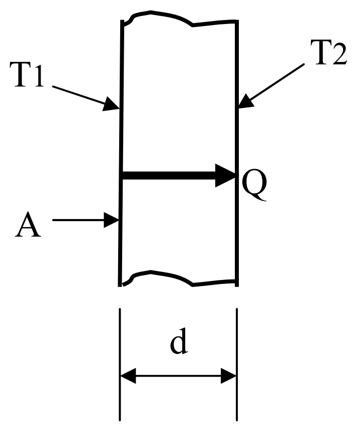
قدرة المواد على التوصيل الحراري، تختلف اختلافاً بيناً؛ فالمعادن، مثلاً، تعَد موصلات جيدة للحرارة؛ والهواء، موصل رديء جداً للحرارة. ويعتمد التوصيل الحراري، في المواد، على بناء جزيئاتها وترابطها.

المواد الصلبة، كالمعادن، موصلات جيدة للحرارة؛ ولكن، قد يصعب الحكم على حرارة المعدن. فمثلاً، ملامسة صنبور ماء، معدني، بدرجة حرارة الغرفة، تعطي شعوراً بأنه أبرد كثيراً مما هو في الواقع. والسبب أن توصيل المعدن العالي للحرارة، يجعل جزيئاته، تنقل الحرارة إليه من أصابع اليد، بسرعة، مما يعطي شعوراً بالبرودة.

ولأن الهواء موصل رديء جداً للحرارة، فإن التوصيل الحراري لأي مادة، ينخفض بمقدار ما تحويه من فراغات وفقاقيع هوائية. وبسبب الانخفاض الشديد للتوصيل الحراري للهواء فإن حرارة سطح الأرض، تُسَخِّن الطبقة الرقيقة فقط من الهواء (بضعة سنتيمترات)، الملامسة لسطح الأرض، بالتوصيل.

**انتقال الحرارة بالتوصيل المستقر باتجاه واحد: Steady State One Dimensional Conduction**

لو أردنا حساب معدل انتقال الحرارة خلال الحائط المستوى البسيط الموضح في الشكل4- 1 فنستخدم قانون فورير للتوصيل الحراري والمتمثل في المعادلة التالية:




$$Q = k\,A\,\frac{T_1 - T_2}{d} = k\,A\,\frac{\Delta T}{d} \qquad (1\text{-}4)$$

شكل4- 1 انتقال الحرارة خلال الحائط المستوى البسيط

حيث

Q – كمية الحرارة (W)

d - سمك الحائط (الجدار) (m)

A - مساحة سطح الحائط الذي تنتقل الحرارة من خلاله (m2)

T1 و T2 – درجات حرارة السطح الساخن والسطح البارد (C°).

k - معامل التوصيل الحراري لمادة الحائط (W/m. C°) .

وكما ذكر سابقاً فإن موصلية المادة الحرارية Thermal Conductivity تختلف باختلاف المادة. والجدول4- 1 يعطي معاملات انتقال الحرارة بالتوصيل لبعض المواد

جدول4- 1 معاملات التوصيل الحراري لبعض المواد

| المادة | معامل التوصيل الحراري (k) $W / m\ ^0C$ |
|---|---|
| الألماس | 2300 |
| الفضة | 429 |
| النحاس | 401 |
| الذهب | 317 |
| الألمونيوم | 237 |
| الحديد | 80 |
| الزجاج | 0.78 |
| الطوب | 0.72 |
| الماء | 0.613 |
| الخشب | 0.17 |
| الهواء | 0.026 |

يلاحظ من الجدول أن المواد جيدة التوصيل للحرارة لها معامل توصيل حراري مرتفع والعكس بالعكس.

مثال4- 1

سقف منزل على شكل مستطيل أبعاده 6 m x 8 m . إذا كانت درجة الحرارة للسطح الداخلي للسقف $15^0 C$ وللسطح الخارجي $5^0 C$ احسب معدل فقد الحرارة إذا كان سمك بلاطة السطح هو 0.25 m ومعامل التوصيل الحراري لمادة السقف (الخرسانة) هو $0.8\ \frac{w}{m\ ^0C}$

الحل:

$$Q = k\,A\,\frac{\Delta T}{d}$$

$$A = 6 \times 8 = 48\ m^2\ ,\ k = 0.8\ W/\,m\,C\ ,\ \Delta T = 15 - 5 = 10\ C$$

$$d = 0.25\ m$$

$$Q = 0.8 \times 48 \times 10 / 0.25 = 1536\ \ W$$

مثال4- 2

تنتقل الحرارة خلال مادة عازلة مساحتها $1\,m^2$ وسمكها $0.1\ m$ بمعدل $50\ W$ فإذا كان معامل التوصيل الحراري لمادة العازل $0.2\ W/m\ C$ فاحسب فرق درجات الحرارة بين سطحي مادة العزل.

الحل:

$$Q = k\,A\,\frac{\Delta T}{d}$$

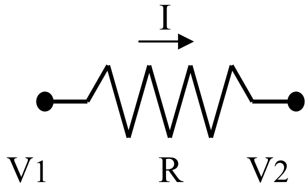
$$\therefore\ \Delta T = \frac{Q\ d}{k\ A}$$

$$Q = 50\ W,\ d = 0.1m,\ k = 0.2\ W/m\ C,\ \ A = 1\ m^2$$

$$\Delta T = 50 \times 0.1 / (0.2 \times 1) = \ 25\ C$$

**التشابه بين انتقال الحرارة بالتوصيل وسريان التيار الكهربائي:**

من المعلوم أن التيار الكهربائي ( I ) إذا مر عبر مقاومة ما (R ) فإن قيمة التيار تتناسب طردياً مع فرق الجهد الكهربائي ( V ) بين طرفي المقاومة وعكسياً مع قيمة المقاومة (انظر الشكل4- 2 أدناه)




$$\boxed{I = \frac{V_2 - V_1}{R} = \frac{\Delta V}{R}}$$

شكل4- 2 مرور تيار كهربائي عبر مقاومة

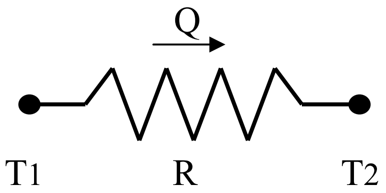
وعند مقارنة انتقال الحرارة بسريان التيار الكهربائي نجد أن هناك تشابه بينهما ويتم الوصول إلى هذا التشابه عن طريق إعادة صياغة قانون فورير ليصبح كالتالي:

$$Q = \frac{\Delta T}{\left(\frac{d}{k\,A}\right)}$$

أو

$$Q = \frac{\Delta T}{R} \qquad (2-4)$$

حيث R هي المقاومة الحرارية للمادة $R = \frac{d}{k\,A}$

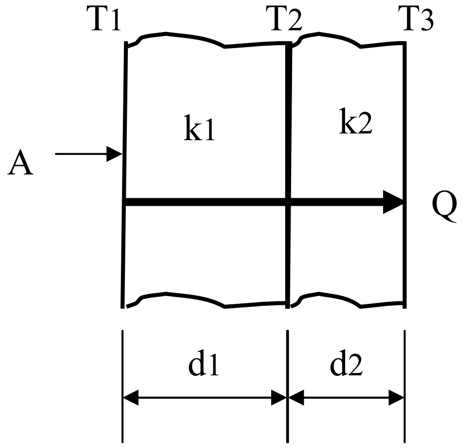



$$Q = \frac{T_2 - T_1}{R} = \frac{\Delta T}{R}$$

شكل4- 3 انتقال الحرارة خلال حائط ذي مقاومة R

**انتقال الحرارة بالتوصيل خلال جدار مركب:**

يوضح الشكل4- 4 جدار مركب من طبقتين مختلفتين. معامل التوصيل الحراري لهما k1 وk2 . يمكن معرفة معدل انتقال الحرارة بالتوصيل بين السطحين الداخلي والخارجي عبر هذا الجدار كالتالي:




شكل4- 4 انتقال الحرارة بالتوصيل خلال جدار من

تم التوصل إلى أن معدل انتقال الحرارة خلال جدار مكون من طبقة واحدة

$$R = \frac{d}{k\,A} \quad \& \quad Q = \frac{\Delta T}{R}$$

وحيث إن الجدار تحت الدراسة الآن مركب من طبقتين ومعدل انتقال الحرارة ثابت فيمكن كتابة معدل انتفال الحرارة كالتالي:

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{R_1}$$

$$Q = \frac{T_2 - T_3}{R_1}$$

ولكي ننسب معدل انتقال الحرارة إلى درجات الحرارة الداخلية والخارجية فقط فمن السهل التوصل إلى المعادلة التالية

$$Q = \frac{T_1 - T_3}{R_1 + R_2} \qquad (3\text{-}4)$$

حيث

$$R_1 = \frac{d_1}{k_1\,A} \;\&\; R_2 = \frac{d_2}{k_2\,A}$$

وبالإمكان تعميم هذه المعادلة لحساب معدل انتقال الحرارة بالتوصيل خلال جدار مكون عدد n من الطبقات لتكون كالتالي:

$$Q = \frac{T_1 - T_{n+1}}{\sum_{i=1}^{i=n} R_i} \qquad (4\text{-}4)$$

حيث $R_i = \dfrac{d_i}{k_i\,A}$

مثال4- 3

شباك منزل أبعاده 1.5 m x 0.9 m مكون من طبقتين من الزجاج سمك كل منهما 4mm وبينهما طبقة هواء بسمك 10mm ، إذا كان معاملي انتقال الحرارة بالتوصيل للزجاج والهواء هما $0.8 \ \frac{w}{m\ ^0C}$ و $0.03 \ \frac{w}{m\ ^0C}$ بالترتيب وكانت درجات الحرارة للسطحين الداخلي والخارجي للنافذة هما $15^0\,C$ و $3^0\,C$ فاحسب معدل انتقال الحرارة

الحل:

$$Q = \frac{T_1 - T_{n+1}}{\sum_{i=1}^{i=n} R_i} \quad \& \quad R_i = \frac{d_i}{k_i\ A} \quad \& \ n = 3$$

$$R_1 = R_3 = \frac{d_1}{k_1\ A} = \frac{0.004}{0.8 \times 1.5 \times 0.9} = 0.0037 \qquad \frac{^0C}{W}$$

$$R_2 = \frac{d_2}{k_2\ A} = \frac{0.01}{0.03 \times 1.5 \times 0.9} = 0.247 \qquad \frac{^0C}{W}$$

$$Q = \frac{T_1 - T_4}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{15 - 3}{0.0037 + 0.247 + 0.0037} = 47.17 \ \ W$$

## 4- 2 الحمل Convection

وهو أساس انتقال الحرارة في الأجسام المائعة. ففي مجال الجاذبية ، كل فرق في درجة الحرارة في سائل أو غاز يغير من تركيزه، فتنتج عن ذلك حركة داخل الجسم المائع بفعل قوة الطفو لأرخميدس. تطفو الأجزاء الساخنة والأجزاء الباردة تحل محلها وينتج عن هذه العملية تبادل حراري يُسمى الحمل الحراري. ولتوضيح المقصود هنا، تصور إناء فيه ماء يغلي على النار. تنتقل الحرارة، في البداية، من النار إلى قاع القدر (بالإشعاع)، ومنه تنتقل إلى الماء، الذي يلامسه (بالتوصيل). ومع ارتفاع حرارة الماء، في قاع القدر، يبدأ بالتمدد، وتنخفض كثافته، لتصبح أقلّ من كثافة الماء الأبرد منه، في أعلى القدر. وذلك يدفع الماء من القاع إلى أعلى، في تيارات حمل؛ ويندفع ماء أقلّ حرارة، من أعلى القدر إلى الأسفل (لأنه أثقل)، ليسخن ثم يعود إلى الأعلى. وما دام تسخين الماء غير متساوٍ، ومصدر الحرارة من الأسفل فقط،

فإن الماء سيستمر في الدوران، مكوناً ما يسمى دورة الحمل Convective Circulation وتستمر هذه الدورة حتى يصل الماء إلى درجة الغليان.

كثير من عمليات نقل الحرارة، التي تحدث في الغلاف الغازي، تحدث بطريقة الحمل Convection. وتعرَّف هذه الآلية بأنها انتقال الحرارة بتحرك الكتلة، أو بالدورات الداخلية للمادة. لذا، فهذه الطريقة، تحدث في الموائع فقط وذلك لأن الموائع حرة الحركة، ومن السهل أن يحدث فيها تيارات حمل، تنقل الحرارة.

ومعظم الطاقة، التي تكتسبها غازات الغلاف الغازي، في الطبقة السفلى، القريبة من سطح الأرض، سواء التي تصل إليها بالإشعاع، أو تلك التي تكتسبها بالتوصيل الحراري من سطح الأرض ـ تنتقل بالحمل.فالحمل، إذا، يحدث طبيعياً في الغلاف الغازي؛ ففي يوم مشمس، دافئ، تكتسب بقع من سطح اليابس حرارة أكثر من الأجزاء المجاورة. ونتيجة لذلك، فإن الهواء الملامس لسطح الأرض، يسخن بشكل غير متساوٍ؛ إذ تكتسب جزيئاته، الملامسة لتلك البقع الأكثر سخونة، حرارة أكثر بالتوصيل الحراري. فيتمدد الهواء الساخن، ويصبح أقلّ كثافة من الهواء المحيط به، فيرتفع إلى الأعلى، ويحل محله هواء أبرد منه، من الجانبَين. وبهذه الطريقة، تتحرك فقاقيع كبيرة من الهواء الساخن إلى الأعلى حاملة معها الحرارة، بل الرطوبة كذلك. ولا يلبث الهواء البديل أن يسخن، فيتحرك إلى الأعلى.... وهكذا.

وهناك نوعان للحمل هما **الحمل الحر والحمل الإجباري** فالحمل الحر Natural Convection هو انتقال الحرارة بالحمل بدون تدخل أي وسيلة خارجية أما عند استخدام وسيلة خارجية (مثلاً مروحة لتحريك الهواء لتبريد لوح ساخن) يصبح انتقال الحرارة بما يسمى الحمل الإجباري Forced Convection وتجدر الإشارة إلى أن معدلات انتقال الحرارة بالحمل الإجباري أكبر بكثير من معدلات انتقالها بالحمل الحر.

يستخدم قانون نيوتن للتبريد للتعبير عن انتقال الحرارة بالحمل بين سطح ما ومائع يسري حوله وهو

$$Q = h\,A\,(T_w - T_\infty) \qquad (5-4)$$

حيث h هو معامل انتقال الحرارة بالحمل ووحداته $\frac{w}{m^2\ ^0C}$ و A هي المساحة السطحية للسطح التي تنتقل منها الحرارة $m^2$

ويمكن إعادة صياغة قانون نيوتن ليصبح بصيغة المقاومة الحرارية كالتالي:

$$Q = \frac{T_w - T_\infty}{\left(\dfrac{1}{h\,A}\right)}$$

حيث $\left(\dfrac{1}{hA}\right)$ هي مقاومة المائع R لانتقال الحرارة وبذلك تصبح المعادلة كالتالي:

$$Q = \frac{T_w - T_\infty}{R} \qquad (6-4)$$

ويبين الجدول4- 2 التالي بعض قيم معامل انتقال الحرارة بالحمل

جدول4- 2 بعض قيم معامل انتقال الحرارة بالحمل

| $h\ \left(\dfrac{w}{m^2\ {}^0C}\right)$ | نوع الحمل |
|---|---|
| 5 – 25 | حمل حر (هواء) |
| 10 - 500 | حمل إجباري (هواء) |
| 100 - 15000 | حمل إجباري (ماء) |
| 2500 - 25000 | غليان ماء |
| 5000 - 100000 | تكثيف بخار |

مثال4- 4

لوح معدني درجة حرارته $120\ {}^oC$ ودرجة حرارة الهواء المحيط به $20\ {}^oC$ احسب معدل انتقال الحرارة للمتر المربع الواحد من مساحة اللوح إذا كان معامل انتقال الحرارة بالحمل $10\ \dfrac{w}{m^2\ {}^0C}$

الحل:

$$Q = h\,A\,(T_w - T_\infty)$$

$$Q = 10\,(120 - 20) = 1000 \quad W$$

مثال4- 5

خزان ماء سمك جداره 10 mm وبه ماء درجة حرارته $90\ ^{o}C$ يحيط به هواء درجة حرارته $15\ ^{o}C$ ، احسب معدل كمية الحرارة للمتر المربع الواحد من مساحة سطح الجدار إذا كان معامل التوصيل الحراري لمادة الجدار $50\ \frac{w}{m\ ^{0}C}$ ومعامل الحمل الحراري للماء وللهواء $2800\ \frac{w}{m^2\ ^{0}C}$ و $11\ \frac{w}{m^2\ ^{0}C}$ بالترتيب.

الحل:

معدل كمية الحرارة بالحمل الداخلي هي نفسها معدل كمية الحرارة بالتوصيل وهي نفسها معدل كمية الحرارة بالحمل الخارجي أو بعبارة رياضية

$$Q = \frac{(T_w - T_1)}{R_{CONVI}} = \frac{k\,(T_1 - T_2)}{R_{COND}} = \frac{(T_2 - T_a)}{R_{CONVO}}$$

حيث $R_{CONVI} = \frac{1}{h_W A}$ و $R_{COND} = \frac{d}{kA}$ و $R_{CONVO} = \frac{1}{h_A A}$ هي المقاومات الحرارية للحمل الداخلي من الماء والتوصيل والحمل الخارجي إلى الهواء و hW و hA هما معاملي الحمل الحراري للماء والهواء بالترتيب، k هو معامل التوصيل الحراري للجدار ، d هو سمك الجدار ، Tw و Ta هما درجتا حرارة الماء داخل الخزان والهواء خارجه بالترتيب ، T1 و T2 هما درجتي حرارة الجدار الداخلية والخارجية بالترتيب.

وحيث إن درجات الحرارة المعلومة هي درجتا حرارة الماء داخل الخزان والهواء خارجه فقط فمن الممكن حذف درجات الحرارة المجهولة للتوصل إلى المعادلة التالية:

$$Q = \frac{(T_w - Ta)}{R_{CONVI} + R_{COND} + R_{CONVO}}$$

$$= \frac{90 - 15}{\frac{1}{2800 \times 1} + \frac{0.01}{50 \times 1} + \frac{1}{11 \times 1}} = 820\ \ w$$

## 4- 3 الإشعاع الحراري: Radiation

يختلف تنقل الحرارة بفعل الإشعاع عن سابقيه بأنه لا يحتاج أن يكون تماس بين الجسمين الذين يتبادلان الطاقة الحرارية، حتى ولو كان بينهم فراغ تام. فالطاقة الحرارية يمكنها إن تتنقل في شكل موجات كهرومغناطيسية بطول موجي في مدى 0.1 إلى 100 مايكرومتر (واحد ميكرون متر) وبسرعة الضوء حتى تصل إلى الجسم الذي يمتص الحرارة أو يعكسها كلها أو جزء منها. وهذه الموجات لا تسخن المحيط الذي تمر به إلا إذا امتص هذا الأخير جزء منها. ولهذا عندما نكون أمام كانون من النار نحس بأشعة منبعثة منه تلفح الوجه.

ويسمى السطح الإشعاعي المثالي المرجعي الذي يشع أكبر كمية ممكنة من الحرارة لوحدة المساحة بالجسم الأسود، حيث يبث إشعاعا حراريًا طبقًا لمعادلة سيتفإن - بولتزمان التالية:

$$Q = A\,\sigma\,T_s^{4} \qquad (7-4)$$

حيث :

Q هي شدة البث للجسم الأسود وهي الطاقة المنبعثة بالوات (w)

A هي المساحة السطحية للجسم المشع m2

σ ثابت ستيفإن – بولتزمان وهو يساوي

$$\sigma = 5.6699 \times 10^{-6}\ \frac{w}{m^2\ K^4}$$

Ts درجة الحرارة المطلقة للسطح المشع (K=°C+273)

ولكن نظراً أنه لا يوجد في الحقيقة سطح إشعاعي مثالي مرجعي أو ما يسمى بالجسم الأسود فإن المعادلة (7-4) تعدل لكي تكون عملية بضربها بمعامل جديد عليها يسمى عامل الإشعاع (emissivity) e لتصبح المعادلة كالتالي:

$$Q = A\, e\, \sigma\, T_s^{\,4} \qquad (8-4)$$

ويكون عامل الإشعاع e عادة أكبر للأسطح الداكنة منه للأسطح الفاتحة. الجدول4- 3 يعطي بعض قيم عامل الإشعاع لبعض الأسطح.

الجدول4- 3 بعض قيم عامل الإشعاع لبعض الأسطح

| المادة | عامل الإشعاع | المادة | عامل الإشعاع |
|---|---|---|---|
| شرائح الألمونيوم | 0.07 | طلاء أسود | 0.98 |
| نحاس مصقول | 0.03 | طلاء ابيض | 0.90 |
| ذهب مصقول | 0.03 | إسفلت | 0.85-0.93 |
| فضة مصقولة | 0.02 | طوب أحمر | 0.93-0.96 |
| حديد صلب مصقول | 0.17 | خشب | 0.82-0.92 |
| الماء | 0.96 | الجسم البشري | 0.95 |

المعادلة (8-4) تعطي الطاقة التي يشعها سطح ما ، ولكن إذا كان هذا السطح يتلقى في نفس الوقت طاقةً إشعاعية من سطحٍ آخر محيط فإن صافي الطاقة التي يشعها هذا السطح تكون كالتالي:

$$Q = A\, e\, \sigma\, (T_s^{\,4} - T_{surr}^{\,4}) \qquad (9-4)$$

حيث Tsurr هي درجة الحرارة المطلقة للسطح المحيط.

مثال4- 6

يقف شخص في غرفة درجة حرارتها $22 \quad C$ ، إذا علمت أن متوسط درجة حرارة الجدران والسقف والارضية هي $10 \ C$ شتاءً و $25 \ C$ صيفاً فاحسب معدل انتقال الحرارة بالإشعاع بين الشخص والبيئة المحيطة به. افترض أن درجة حراراة الشخص $35 \quad C$ والمساحة السطحية له $1.4 \, m^2$ وانبعاثية جسم الإنسان $0.95$

الحل:

$$Q_{winter} = \varepsilon \, \sigma \, A \, ( T_s^4 - T_{surr}^4 ) = 0.95 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (308^4 - 283^4) = 193.24 \quad W$$

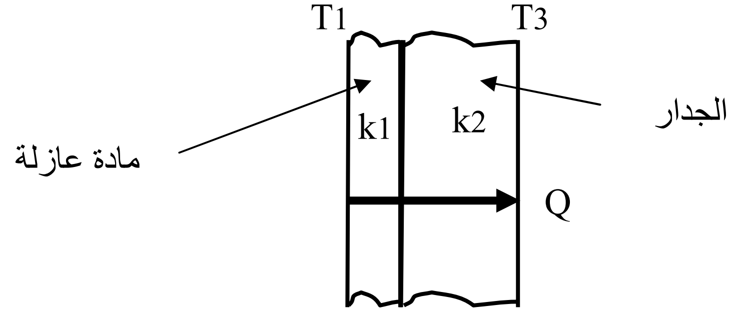
$$Q_{summer} = \varepsilon \, \sigma \, A \, ( T_s^4 - T_{surr}^4 = 0.95 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (308^4 - 298^4) = 59.95 \quad W$$

# تمارين على الوحدة الرابعة

1- جدار أحد سطحيه عند درجة حرارة 20 C والسطح الآخر 20 أيضاً فهل تنتقل الحرارة بين السطحين ولماذا؟

2- شباك مستطيل الشكل أبعاده 2 m x 1.5 m وسمكه 10 mm ماهي المتغيرات A و d في معادلة انتقال الحرارة بالتوصيل؟

3- الشكل يبين جداراً معزولا. احسب المقاومة الحرارية ومعدل انتقال الحرارة لكل متر مربع من الجدار. خذ $T_1 = 50$ C و $T_3 = 20$ C و $k_1 = 0.04$ و $k_2=1.37$ سمك الجدار 20 cm وسمك العزل 5 cm




4- حائط ارتفاعه 3m وعرضه 5m وسمكه 0.3m له معامل انتقال حرارة $0.9 \ \frac{w}{m\ ^0C}$ إذا كانت درجات الحرارة للسطح الداخلي وللسطح الخارجي $15^0$ C و $6^0$ C على الترتيب فاحسب معدل فقدان الحرارة عبر هذا الحائط.

5- جدار سمكه 15 cm ومعامل التوصيل الحراري لمادته k = 0.7 W/m C يتعرض لريح باردة درجة حرارتها 3- C ومعامل انتقال الحرارة بالحمل مقداره $40 \frac{w}{m^2\ ^0C}$ فإذا كان في الجهة الداخلية من الجدار هواء دافئ عند درجة حرارة 30 C ومعامل انتقال الحرارة بالحمل مقداره $10 \frac{w}{m^2\ ^0C}$ فاحسب

أ) معدل انتقال الحرارة لوحدة المساحة

ب) الفرق في درجات الحرارة بين سطحي الجدار الداخلي والخارجي

6- احسب معدل انتقال الحرارة بالإشعاع المنبعثة من جسم بشري ذي مساحة سطحية قدرها $1.2\ m^2$ ودرجة حرارة 30 C ،

وإذا كانت درجة حرارة المحيط 20 C فاحسب معدل انتقال الحرارة بالإشعاع من الجسم.

7- كرة مصنوعة من التنجستون نصف قطرها 1 cm معلقة داخل حيز مغلق ومفرغ درجة حرارة جدرانه 300 K إذا علمت أن الانبعاثية لمادة التنجستون تقريبا 0.35 فاحسب القدرة اللازمة لتكون درجة حرارة الكرة 3000 K مع اهمال انتقال الحرارة بالتوصيل.

## ملخص الوحدة الرابعة

تم في هذه الوحدة دراسة آليات انتقال الحرارة من جسم إلى آخر، أو من مادة إلى أخرى. وقد اقتصر الحديث في هذه الوحدة على انتقال الحرارة المستقر الذي لا يحصل معه أي تغير في خواص المادة مع الزمن حيث تم تقديم الطرق الثلاث لانتقال الحرارة وهي التوصيل والحمل والإشعاع. وقد تم أيضاً في هذه الوحدة تقديم المعادلات الأساسية لهذه الطرق وكذلك تقديم بعض الأمثلة والتمارين التطبيقية للحسابات الأساسية في هذا المجال.

## المراجع العربية

1- الدكتور خالد يوسف حماد ، الديناميكا الهندسية الجزء الأول (الجسيمات) ـ دار المعارف ، جمهورية مصر العربية.

2- د ابراهيم فوزي ، مبادىء الميكانيكا الهندسية ، مكتبة عين شمس ، الطبعة الثانية ، 1992/1991

3- الحقيبة التدريبية لمادة " أساسيات الحراريات والموائع"- تخصص التبريد وتكييف الهواء - الكليات التقنية - المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني- المملكة العربية السعودية.

## المراجع الأجنبية

4. Meriam J. L. & Kariage L. G. Engineering Mechanics- Statics, John Wiley, New York, 1998.

5. Meriam J. L. & Kariage L. G. Engineering Mechanics-Dynamics, John Wiley, New York, 1998.

6. R. C. Hibbeler. Engineering Mechanics - Statics, Macmillan Publishing Co., Inc, New York, USA.

7. R. C. Hibbeler. Engineering Mechanics - Dynamics, Macmillan Publishing Co., Inc, New York, USA.

8. Roberson & Crowe, Engineering Fluid Mechanics, Houghton Mifflin Company, USA

9. Incropera F. P. & De Witt D. P., Fundmentals of Heat Transfer, John Wiley & Sons, New York, USA

10. Sears F. W. & Zemansky M. W. & Young H. D., University Physics, Addison-Wesley Publishing Co., 7th ed. 1987.

# المحتويات

1. مقدمة في الإستاتيكا والديناميكا
1-1 متجهات القوى ........ 2
2-1 عزم القوة ........ 11
3-1 اتزان الجسيم ........ 13
4-1 مدخل إلى الديناميكا وقوانين الحركة ........ 18
تمارين ........ 35
ملخص الوحدة الأولى ........ 40

2. ميكانيكا الموائع
1-2 الكثافة ........ 43
2-2 الضغط في الموائع ........ 46
3-2 اللزوجة ........ 56
4-2 الطفو ........ 58
5-2 الشد السطحي ........ 59
6-2 خواص السوائل المتحركة ........ 61
تمارين ........ 67
ملخص الوحدة الثانية ........ 69

3. الديناميكا الحرارية
1-3 الحرارة ........ 72
2-3 مصطلحات هامة في الديناميكا الحرارية ........ 78
3-3 قوانين الديناميكا الحرارية ........ 86
تمارين ........ 90
ملخص الوحدة الثالثة ........ 92

**4.** انتقال الحرارة

4- 1 التوصيل ........................................ 95
4- 2 الحمل ........................................ 101
4- 3 الإشعاع الحراري ........................................ 105
تمارين ........................................ 108
ملخص الوحدة الرابعة ........................................ 110

المراجع

المراجع العربية ........................................ 111
المراجع الأجنبية ........................................ 112