الفصل الأول

المبادئ الأساسية في علم الميكانيك

General principles in mechanics and numerical calculations

المبادئ الأساسية في علم الميكانيك
General principles in mechanics and numerical calculations

1.1 مقدمة

يقسم علم الميكانيك التطبيقي إلى ميكانيك الجسم الصلب، ميكانيك الأجسام القابلة للتشوه وميكانيك الموانع. ويقسم أيضاً ميكانيك الجسم الصلب إلى علم التوازن وعلم الديناميك. وفي هذا المنهاج سوف ندرس علم التوازن. والذي يختص بدراسة شروط التوازن الأجسام الصلبة في حالة السكون أو في حالة الحركة بسرعة ثابتة والخاضعة لجملة من القوى الخارجية التي لا تغير من الحالة الحركية لهذه الأجسام.

إن أهم المبادئ الأساسية في علم الميكانيك هي المبادئ التي قدمها العالم نيوتن منذ ثلاثة قرون مضت. هذه القوانين الأساسية ساهمت بشكل كبير في تطوير علم الهندسة والتطبيقات الهندسية.

2.1 الفرضيات والكميات الأساسية في الميكانيك

1.2.1 الكميات الأساسية في الميكانيك

الكميات الأساسية للميكانيك هي الطول والزمن والكتلة والقوة، ثلاث من هذه الكميات وهي الطول والزمن والكتلة هي كميات مطلقة. ومعنى هذا أنها مستقلة واحدة عن الأخرى، ولا يمكن التعبير عنها على أساس كميات أخرى أو وفق صيغ أكثر بساطة. إن الكمية التي نطلق عليها اسم القوة ليست مستقلة عن الكميات الثلاثة الأخرى بل إنها ترتبط بكتلة الجسم وبطريقة تبدل سرعة الجسم مع الزمن. سنورد فيما يلي وصفا موجزا لكل واحدة من هذه العناصر:

الطول

الفراغ هو المنطقة الهندسية التي تشهد الحوادث الفيزيائية ذات الأهمية الميكانيكية، وتمتد هذه المنطقة بدون حدود بكافة الاتجاهات. ونطلق على المقياس المستخدم لوصف حجم النظام الفيزيائي اسم الطول. ويمكن إيجاد موقع نقطة في الفضاء نسبة إلى نقطة مرجعية (مبدأ الإحداثيات) باستخدام القياسات الخطية والزاوية فيما يخص نظام إحداثيات يتقاطع في النقطة المرجعية.

إن النظام الإحداثي الأساسي المستخدم كوسيلة لحل مسائل الميكانيك هو نظام جملة المحاور الإحداثية الديكارتية المتعامدة.

الزمن

يمكن تعريف الزمن على إنه الفترة التي تفصـــل بين حادثتين. ويتم قياس هذا الفاصـــل الزمني (الحيز الزمني) اعتمادا على إجراء مقارنات مع حادثة ذات حيز زمني محدد. مثلا الزمن اللازم لدوران الأرض حول الشـــمس أو الزمن اللازم لتدور الأرض حول محورها. يكون الزمن الشمسي هو زمن دوران الأرض مقاسا بالنسبة إلى الشمس ويمكن استخدامه لأعمال البحار على الأرض ولأجل مسائل حياتية يومية. نطلق اسم الساعة (Clock) على أي جهاز نستخدمه لقياس مرور الزمن. وتشـمل الحوادث المتكررة المنتظمة ذات العلاقة بآلية عمل السـاعة حركة تذبذب النواس واهتزاز النابض اللولبي. ونطلق تسـمية المدة أو الدور على الزمن اللازم لأحد هذه الأجهزة كي تكمل دورة حركتها، ويكون تردد الحركة هو عداد الدورات الحاصلة خلال وحدة زمن معينة.

الكتلة

هي أي عنصر يشغل حيزاً. والجسم هو كتلة محاطة بسطح مغلق. نطلق اسم العطالة على خاصية الجسم الذي تمكنه من مقاومة أي تبدل في حركته، والكتلة هي مقياس كمي للعطالة. وتكون مقاومة الجسم لتغير الحركة الانتقالية مستقلة عن حجم وشكل الجسم، وهي تعتمد فقط على كتلة الجسم. كما أن الكتلة هي عامل الجاذبية بين جسمين.

القوة

يمكن تعريف القوة بأنها تأثير جسـم على جسـم آخر وتنتج عن تأثير جذب، مثل حقل جاذبية أو تلامس بين جسـمين. فعند محاولتنا لشد أو دفع جسم آخر يحدث شد أو ضـغط لعضـلاتنا. وهذا مثال على القوة الناتجة عن التماس المباشر بين الأجسـام. كما ويمكن أن تنشـأ القوة بين جسـمين متباعدين فيزيائيا. كمثال على ذلك قوى الجاذبية الأرضـية على القمر والأقمار الصناعية لإبقائها في مسارها الأرضي. وحيث إن الجسم لا يستطيع أن يؤثر بقوة على جسم ثان إلا إذا قاوم الجسم الثاني فالقوة لا توجد لوحدها. وتحدث القوى دائماً بشكل زوجي ويكون للقوتين مقدارين متساويين أو اتجاهين متعاكسين. ورغم عدم وجود قوة بمفردها فمن المعتاد أن يتم دراسة حركات الجسم باعتبار فقط تأثيرات الأجسام الأخرى على الجسـم المدروس بدون اعتبار ردود فعل الجسـم تسـارعا أو تشـكل قوى مقاومة (ردود أفعال) على الجسـم. خلال دراسة توازن الأجسام ستصادفنا بعض المفاهيم الأساسية مثل النقطة المادية والجسم الصلب.

النقطة المادية

هي جسم يمكن إهمال حجمه وشكله وأبعاده لدى دراسة حركته ونهتم فقط بموقع مركز كتلته. إن اتجاه الجسم أو دورانه لا أهمية له في تحديد حركة النقطة المادية. قد تكون الأجسام بالغة الصغر أو كبيرة جداً.

إن صغر حجم الجسم لا يعني دائماً إمكانية تمثيله على شكل نقطة مادية. يضاف إلى أن كبر حجم الجسم لا يمنع دائماً من تمثيل الجسم على شكل نقطة مادية. مثلا عند دراسة حركة دوران الأرض حول الشمس يمكن اعتبار الأرض كنقطة مادية حيث يكون لدوران البنية الداخلية للأرض تأثير طفيف على حركة دورانها. وحين يمكن معاملة الجسم (صغيراً أو كبيراً) في مسائل الميكانيك على شكل نقطة مادية يمكن تبسيط عملية التحليل إلى أبعد حد نظراً لقابلية افتراض تركيز الكتلة في نقطة وعدم وجود علاقة لعملية الدوران في حل المسألة.

الجسم الصلب

يمكن تمثيل الجسم الصلب على شكل مجموعة نقاط مادية. ويبقى حجم وشكل الجسم وكذلك تبقى الوضعية النسبية المادية(الجسيمات) ثابتة في كل الأوقات وتحت كافة شروط التحميل.

وتمثل فكرة الجسم الصلب الحالة الحقيقية نظراً لأن كافة الأجسام الحقيقية يتبدل شكلها إلى درجة معينة حين تعرضها لجملة قوى. وتكون هذه التبدلات ضئيلة في معظم العناصر الإنشائية وأجزاء الآلات التي نصادفها في العمل الهندسي ولذلك يكون لها فقط تأثير بسيط على التسارع الناتج عن جملة القوى أو على ردود الأفعال المطلوبة. للمحافظة على توازن الجسم، سنعتبر الأجسام التي سندرسها في هذا الكتاب أجساماً صلبة غير قابلة للتشوه.

2.2.1 القوة المركزة

تعمل القوة المركزة (سحب أو دفع) على امتداد خط مستقيم يسمى بخط العمل، وهذا الخط يتقاطع مع الجسم في نقطة، فالقوة المطبقة على هذا الجسم في تلك النقطة تدعى بالقوة المركزة. في الواقع أي قوة مطبقة سوف تتوزع على مساحة منتهية. على سبيل المثال، إذا قمنا بتطبيق قوة بدفع قلم كتابة على سطح صفيحة ورقية موضوعة على مقعد، عندئذ، هذه القوة تكون مطبقة على مساحة صغيرة، لكن من أجل التبسيط يمكننا أن نعدّ القوة المطبقة تؤثر في نقطة واحدة. يعدّ التعامل مع القوة المركزة أبسط بكثير من التعامل مع القوى الموزعة على مساحة محددة.

تعتمد شدة القوى الموضعية والتشوهات على مساحة توزع هذه القوى، لكن مثل هذه المسائل خارج موضوع كتابنا هذا وهي تدّرس في فرع آخر من علم الميكانيك التطبيقي الذي يختص بعلم خواص المواد ومقاومة المواد. سوف يقتصر استخدامنا للقوى المركزة في الحالات التي تكون فيها مساحة توزع القوى صغيرة جداً مقارنة مع الحجم الكلي للجسم المدروس.

3.1 قوانين نيوتن

تعد قوانين نيوتن في الحركة أساس علم الميكانيك الهندسي، وقبل التعرف على هذه القوانين فلا بد من التعرف على ما يسمى بالإطار المرجعي النيوتني الذي تنسب إليه المقادير الشعاعية كافة وذلك لتحديدها بشكل دقيق ولنتمكن من تحديد الحالة الحركية للجسم المدروس بالنسبة للإطار.

الإطار المرجعي النيوتني هو عبارة عن جملة محاور إحداثية التي تمكننا قوانين نيوتن الثلاث من تقدير الحركات المتوافقة عند مقارنتها بالنتائج التجريبية. تفرض عادة جملة المحاور الإحداثية متصلة مع الجسم الصلب المدروس والمحدد مسبقاً. من أجل المسائل الهندسية الأرضية يتم اختيار الإطار المرجعي متصل بالأرض.

وصف نيوتن الإطار المرجعي المرتبط بالفضاء، حيث تتحقق قوانين نيوتن، لكننا تعلمنا أنه لا يوجد مثل هذه الإطارات المرجعية. فإن تقييمنا للحالات الحركية باستخدام قوانين نيوتن والإطار المرجعي المرتبط بالأرض هي مقبولة من أجل التطبيقات الهندسية. إن أي إطار مرجعي مبدأه يتحرك بسرعة ثابتة بالنسبة للإطار المرجعي النيوتني ومحاوره تبقى موازية لمحاور هذا الإطار المرجعي المعروف يعد أيضاً مرجعا نيوتنياً. حيث بينت التجارب أن الأخطاء الناجمة عن اعتماد جملة محاور إحداثية مرتبطة بالأرض تكون صغيرة ومهملة في أغلب التطبيقات الهندسية والعملية.

وسوف نذكر فيما يلي قوانين نيوتن الأساسية المتعلقة في علم الميكانيك الهندسي:

قانون نيوتن الأول

يبقى الجسم في حالة السكون أو يتحرك بسرعة مستقيمة منتظمة ما لم تؤثر عليه قوى خارجية غير متوازنة.

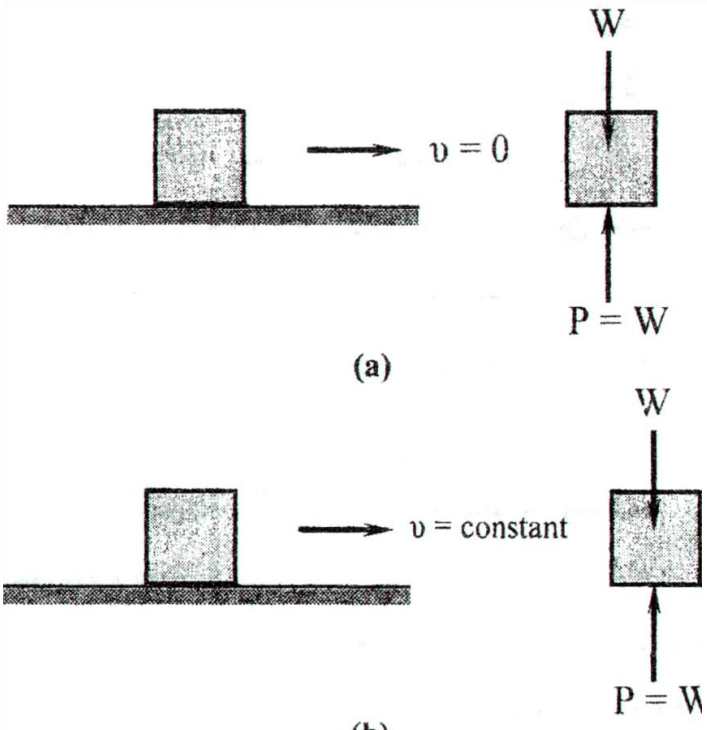
العبارة يبقى في حالة السكون تعني أن الجسم لا يتحرك بالنسبة للإطار المرجعي النيوتني. فإذا كان الإطار المرجعي متصلاً بالأرض عندئذ عبارة يبقى في حالة السكون تعني أن الجسم لا يتحرك بالنسبة للأرض.

العبارة يتحرك بسرعة ثابتة تعني أن الجسم يتحرك على طول مسار مستقيم بسرعة ثابتة. السرعة لها قيمة عددية ومنحى لذلك تعد مقداراً شعاعياً. إذا بقي شعاع السرعة ثابتاً هذا يعني أنه لا يحدث تغير في قيمته العددية أو منحاه.

العبارة ما لم تؤثر عليه قوى غير متوازنة تعني أن الجسم الذي يبقى ساكناً أو يتحرك بسرعة ثابتة يخضع لقوى مساوية للصفر. فقط إذا كانت القوى المؤثرة على الجسم لا تساوي الصفر عندها سوف يبدأ الجسم بالحركة بسرعة غير ثابتة. وهذه الاستنتاجات موضحة في الشكل (1-1).

يبين الشكل (1-1-a) جسم مستقر على سطح أفقي ، حيث إن القوى المؤثرة عليه هي فقط وزن الجسم $\overrightarrow{W}$ وقوة دفع السطح نحو الأعلى $\vec{P} = \overrightarrow{W}$ ، تبقى هاتان القوتان في وضعية توازن تام، ما دام لا توجد قوى غير متوازنة تؤثر على الجسم، لذلك سوف يبقى الجسم في حالة السكون (هذا يعني أن سرعته تساوي الصفر $\upsilon = 0$).

يبين الشكل (1-1-b) جسم صلب يتحرك على طول سطح أفقي أملس بسرعة ثابتة υ. إنه من غير الضروري معرفة كيف يحافظ الجسم على السرعة الثابتة. لكن ما دامت القوى المؤثرة عليه هي فقط وزنه W وقوة دفع السطح نحو الأعلى P، والتي هي في وضعية توازن تام، فإن الجسم سوف يستمر في الحركة بسرعة ثابتة على طول السطح الأفقي.



الشكل1 -1

قانون نيوتن الثاني

إن معدل تزايد كمية الحركة لجسم معين بالنسبة للزمن وفي اتجاه معين يساوي محصلة القوى الخارجية المؤثرة على هذا الجسم وفي نفس الاتجاه. وبتعبير آخر إذا خضع جسم ما لقوى خارجية غير متوازنة أكسبته تسارعاً باتجاه هذه القوى، وقيمة هذا التسارع متناسبة مع قيمة هذه القوى الغير متوازنة.

من أجل فهم قانون نيوتن الثاني نحتاج لفهم معنى التسارع. يعرف تسارع الجسم بأنه معدل تغير شعاع السرعة بالنسبة للزمن. التسارع هو مقدار شعاعي يعكس التغيرات في القيمة والمنحى لشعاع السرعة. والصيغة الرياضية لقانون نيوتن الثاني تعطى بالعلاقة التالية:

$$\vec{F} = k\,m\,\vec{a} \qquad (1)$$

حيث:

$\vec{F}$: القوى الخارجية الغير متوازنة والمؤثرة على الجسم الصلب.

m: كتلة الجسم الصلب.

$\vec{a}$: تسارع الجسم الصلب.

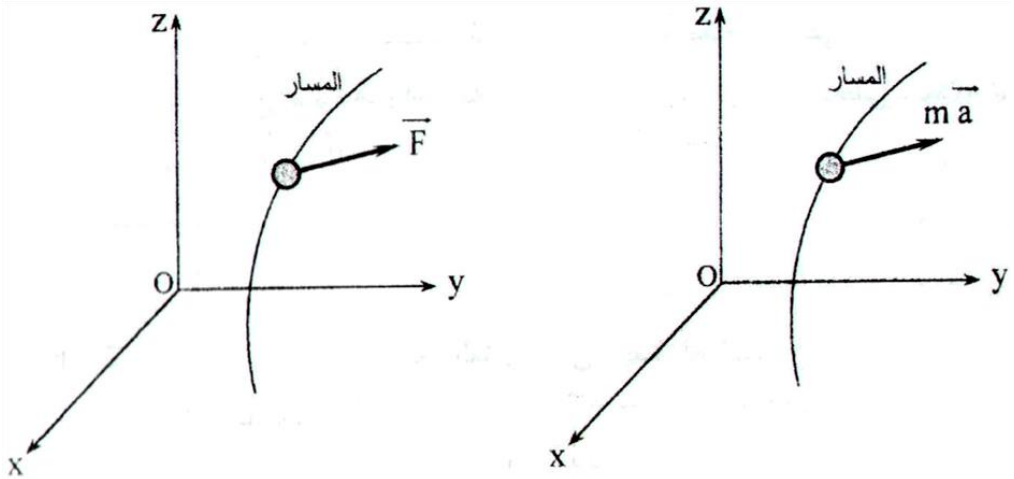
k: ثابت التناسب والذي يعتمد على نظام الواحدات المستخدم. إما SI أو U.S والتي سندرسها لاحقاً، ومن أجل كلا

النظامين فإن ثابت التناسب يأخذ قيمة الواحد وبالتالي تصبح العلاقة السابقة كما يلي:

$$\vec{F} = m\vec{a} \qquad (2)$$

تبين هذه العلاقة تكافئ الشعاعين. الشعاع الأول $\vec{F} = m\vec{a}$ هو القوى غير المتوازنة المؤثرة على الجسم. بينما يمثل الشعاع الثاني قوة العطالة والتي هي جداء كتلة الجسم m كمقدار سلمي وتسارعه $\vec{a}$ كمقدار شعاعي. يملك شعاع القوة العطالة ذات منحى شعاع التسارع. يملك شعاع قوة العطالة قيمة عددية مساوية لجداء الكتلة m والقيمة العددية a لشعاع التسارع $\vec{a}$ يبين الشكل (2-1) قانون نيوتن الثاني.

يعد قانون نيوتن الأول حالة خاصة من قانون نيوتن الثاني. إذ بدأنا بأن $\vec{F} = m\vec{a}$ واعتبرنا الحالة الخاصة لشعاع التسارع المتلاشي أي عندما $\vec{a} = \vec{0}$ حيث $\vec{0}$ يمثل شعاع صفري، عندئذ $\vec{F} = 0$. بسبب أن شعاع التسارع هو شعاع صفري، فإن شعاع السرعة $\vec{V}$ يبقى ثابتاً. الشعاع الثابت هو إما شعاع صفري أو شعاع لا تتغير قيمته العددية أو منحاه مع الزمن. هذا يقود إلى النتيجة بأن الجسم إما أن يبقى في حالة السكون (هذا يعني شعاع السرعة صفري) أو يتحرك بسرعة ثابتة(هذا يعني شعاع التسارع صفري) ما لم يخضع الجسم لقوى غير متوازنة (هذا يعني $\vec{F} \neq 0$).



قوى غير متوازنة قوى العطالة

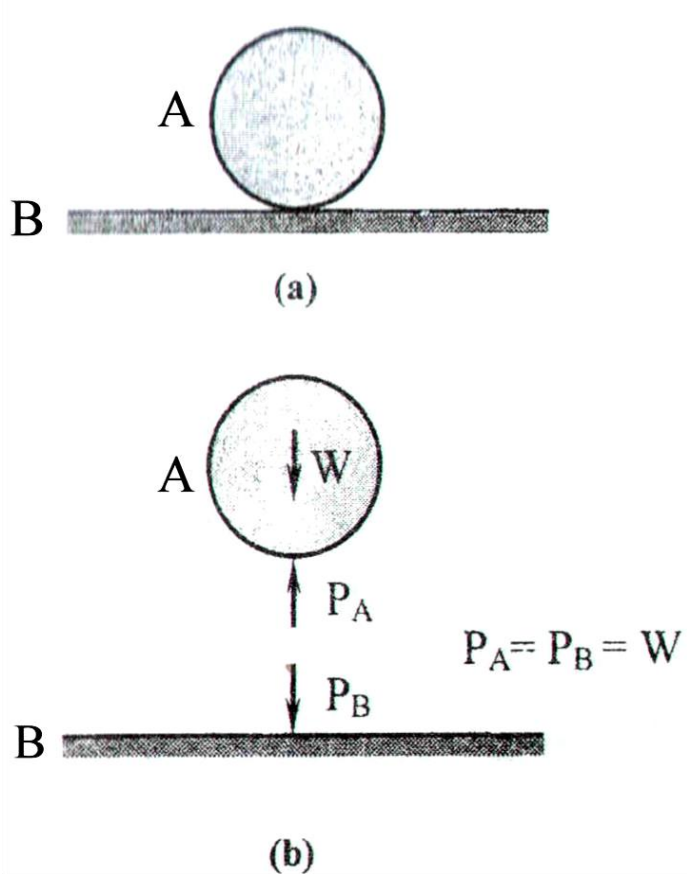
الشكل 2-1

قانون نيوتن الثالث

ينص إلى أنه إذا كان جسمان A وB في وضعية تماس عندئذ القوى المبذولة من قبل الجسم B على الجسم A تساوي بالقيمة العددية وتعاكس بالاتجاه القوى المبذولة من قبل الجسم A على الجسم B.

يمكن التعبير عن قانون نيوتن الثالث بطريقة ثانية كما يلي: لكل فعل رد فعل مساو له بالقيمة ومعاكس له في الاتجاه. قوى الفعل ورد الفعل هي عبارة عن أشعة مشتركة بخط عملها (أي لها خط عمل واحد). يطبق هذا القانون على القوى المطبقة في نقاط التماس وعلى محصلة القوى الموزعة المؤثرة على مساحات التماس. يبين الشكل (3-1) قانون نيوتن

الثالث حيث يبين الشكل (1-3-a) كرة A وزنها W مستندة على سطح أفقي B. توجد عند نقطة تلامسهما قوى فعل ورد فعل وفقاً لقانون نيوتن الثالث. يبين الشكل (1-3-b) قوى الفعل ورد الفعل في منطقة التماس بعد فصل الجسمين عن بعضهما بعضاً، حيث تمثل $\mathbf{P_A}$ القوة التي يؤثر بها السطح الأفقي على الكرة بينما القوة $\mathbf{P_B}$ تمثل القوة التي تؤثر بها الكرة على السطح الأفقي. وفقاً لقانون نيوتن الثالث فإن هاتين القوتين متساويتين أي $\mathbf{P_A = P_B}$ وبما أن W= $\mathbf{P_A}$ ينتج أن $\mathbf{P_A = P_B}$ =W .



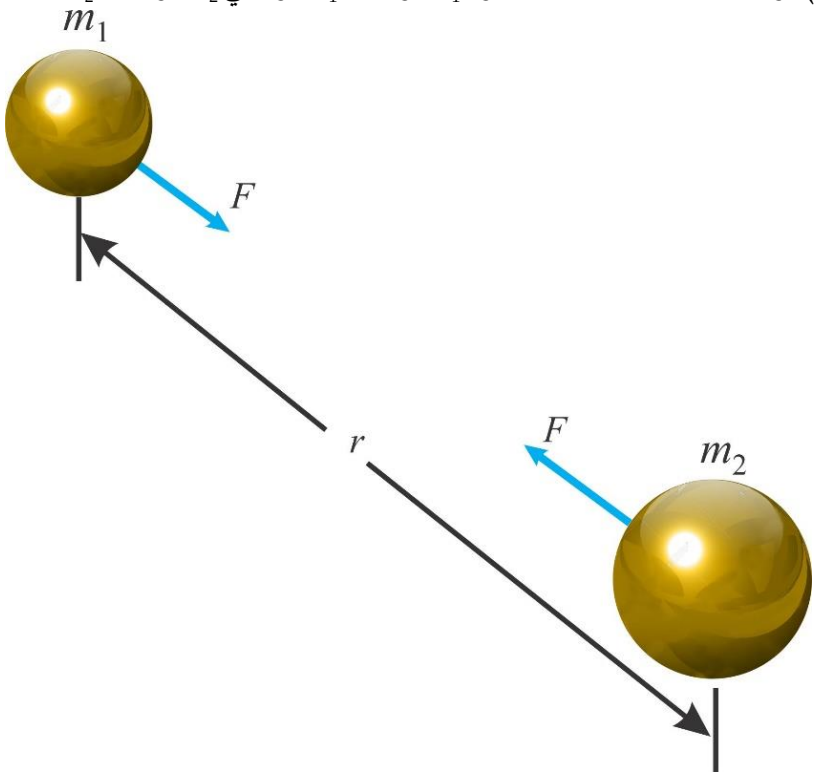
الشكل 3-1

قانون نيوتن في الجاذبية العام

كما هو معروف يوجد هناك تجاذب بين الأرض والأجسام الواقعة عليها كما يوجد بصورة عامة تجاذب بين جميع الأجسام الموجودة في الطبيعة سواء كانت هذه الأجسام بوضعية تماس مباشر أو بعيدة عن بعضها بعضاً، وهذا التجاذب بين الأجسام متبادل وينطبق على قانون نيوتن الثالث.

ينص قانون الجاذبية العام إلى أن قوة التجاذب بين جسمين متجاذبين تنطبق على الخط الواصل بين مركزي الجسمين وتتناسب مباشرة مع جداء الكتلتين وعكساً مع مربع المسافة الواقعة بينهما.

يبين الشكل (4-1) قوة التجاذب F بين جسمين الأول A_1 وكتلته m_1 والثاني A_2 وكتلته m_2 حيث المسافة بينهما r.



الشكل4-1

الصيغة الرياضية لقانون الجاذبية العام تعطى بالعلاقة التالية:

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \qquad (3)$$

حيث:

F: قوة التجاذب

G: ثابت الجاذبية العام وله قيمة عددية وواحدة خاصة وفقاً لنظام الواحدات المستخدم.

m_1, m_2 : كتلتي الجسمين المتجاذبين.

r: المسافة الخطية بين الجسمين.

القيم التقريبية لثابت الجاذبية العام كما يلي:

في الواحدات القياسية الأمريكية: $G = 3{,}439.10^{-8}\ ft^3 / slug.s^2$

في واحدة القياس العالمي: $G = 6{,}673.10^{-11}\ m^3 / kg.s^2$

تبين العلاقة حدوث انخفاضــاً كبيراً في قيمة قوة التجاذب F بزيادة المســافة r بين الجســمين المتجاذبين. حيث زيادة المســافة r إلى الضــعف يؤدي إلى انخفاض قيمة القوة F إلى ربع قيمتها الأصــلية. بينما زيادة المســافة r إلى ثلاثة أضــعاف تؤدي إلى انخفاض قيمة القوة F إلى تســع القيمة الأصــلية. ينتج من ذلك أنه عندما تصــبح المســافة r بين الجسمين كبيرة جداً فإن قوة التجاذب بينهما تصبح عملياً مهملة. بينما كلما أصبحت المسافة r بين الجسمين صغيرة كلما زادت نســبياً قوة التجاذب بينهما. حيث يبين الجدول (1−1) بعض الكميات والمقادير والثوابت ذات العلاقة وذلك بتطبيق قانون الجاذبية العام.

الجدول 1 -1: الكتل والأبعاد في النظام الشمسي

الكتلة	النظام العالمي(SI)	النظام الامريكي (U.S)
للأرض	$5{,}967.10^{24}\,kg$	$4{,}095.10^{23}\,slug$
للقمر	$7{,}350.10^{22}\,kg$	$5{,}037.10^{21}\,slug$
للشمس	$71{,}990.10^{30}\,kg$	$1{,}364.10^{29}\,slug$
نصف القطر الوسطي		
للأرض	$6{,}371.10^{6}\,m$	$2{,}090.10^{7}\,ft$
للقمر	$1{,}738.10^{6}\,m$	$5{,}702.10^{6}\,ft$
للشمس	$6{,}960.10^{8}\,m$	$2{,}284.10^{9}\,ft$
البعد الوسطي من الأرض		
إلى القمر	$3{,}844.10^{8}\,m$	$1{,}261.10^{9}\,ft$
إلى الشمس	$1{,}496.10^{11}\,m$	$4{,}908.10^{11}\,ft$

4.1 الكتلة والوزن

إن كتلة الجسم m كمية مطلقة مستقلة عن موقع الجسم ومستقلة عن المحيط الموجود فيه الجسم. الوزن $\vec{W}$ للجسم يمثل قوة الجاذبية الواقعة أو المؤثرة على الجســم من قبل الأرض أو من أي جســم كبير آخر كالقمر. لذلك فإن وزن الجسم يعتمد على موقع الجسم نسبة إلى جسم آخر. ولذلك فقانون الجاذبية عند سطح الأرض يكتب كما يلي:

$$W = G.\frac{m_e.m}{r_e^2} = m.g \qquad (4)$$

حيث:

m_e : كتلة الأرض.

r_e^2 : متوسط نصف قطر الأرض.

$g = G.\frac{m_e}{r_e^2}$: تسارع الجاذبية الأرضية.

إن القيمة القياسية المعتمدة عالمياً لتسارع الجاذبية الأرضية عند مستوي سطح البحر وخط عرض $45°$ هي: $g = 9.80665\ m/s^2$ أو $g = 32{,}1740\ ft/s^2$ والقيم التقريبية لمعظم الحسابات الهندسية هي: $g = 32{,}17\ ft/s^2 = 9{,}807\ m/s^2$

في هذا الكتاب سنستخدم الباوند *(lb)* كواحدة للقوة و *(slug)* كواحدة للكتلة من أجل الأمثلة عند استخدام نظام الواحدات الأميركي المعروف (U.S) . كذلك سوف نستخدم واحدة نيوتن *(N)* كواحدة للقوة والكيلوغرام *(kg)* كواحدة للكتلة لأجل الأمثلة عند استخدام واحدات النظام العالمي (SI).

5.1 واحدات القياس

إن اللبنة الأساسية في علم الميكانيك هي الكميات الفيزيائية المستخدمة للتعبير عن قوانين الميكانيك. بعض هذه الكميات هي الكتلة، الطول، الزمن، السرعة والتسارع. غالباً ما يمكن تقسيم الكميات الفيزيائية إلى كميات أساسية وأخرى مشتقة. لا يمكن تحديد الكميات الأساسية على أساس كميات فيزيائية أخرى. وعدد الكميات المحدد على أنه أساس هو أصغر عدد لازم لتقديم وصف ثابت وكامل لكافة الكميات الفيزيائية التي نتعامل معها. مثال على الكميات الأساسية في علم الميكانيك لدينا الطول والزمن.

الكميات المشتقة هي التي تعتمد عملياتها المحددة على قياس كميات فيزيائية أخرى. مثال على الكميات المشتقة في علم الميكانيك نجد المساحة، الحجم، السرعة والتسارع. إن بعض الكميات يمكن عدّها أساسية أو مشتقة، الكتلة والقوة هما مثالان على هذه الكميات. في نظام الواحدات العالمي (SI)، يتم عدّ الكتلة كمية أساسية والقوة كمية مشتقة. وفي نظام واحدات القياس الأمريكية يتم اعتبار القوة كمية أساسية والكتلة كمية مشتقة.

يتحدد مقدار كل من الكميات الأساسية عن طريق واحدة يتم اختيارها كيفياً. ويأتي استخدام واحدات الياردة، القدم والإنش من استخدام ذراع الإنسان قدمه وإبهامه كمقاييس للطول. ولكن لأجل أي نوع من الحسابات الدقيقة لا تعدّ واحدات الطول هذه مقبولة. كان أول مقياس طول حقيقي عبارة عن قضيب من خليط الاريديوم مع البلاتينيوم وسمي المتر النظامي واعتمده المكتب الدولي للأوزان والمقياس في مدينة (سيفر) في فرنسا. من الناحية التاريخية يعدّ المتر واحد من عشر أجزاء من المليون للمسافة التي تقع بين القطب إلى خط الاستواء على امتداد خط السمت مروراً بباريس. ويتضح من القياسات الدقيقة التي تمت بعد استخدام قضيب المتر النظامي أنه يختلف عن قيمته المحددة بحوالي 0,023% .

في عام 1961 تم اعتماد مقياس أطوال ذري على نطاق عالمي. وتم اختيار الطول الموجي في الخلاء لخط برتقالي أحمر من طيف إشـــعاع نظير غاز الكريبتون86 وتم اعتبار المتر الواحد يســـاوي 1650763,73 الطول الموجي لهذا الضوء.

إلى جانب الدقة المتزايدة في قياســـات الأطوال فإن اختيار المقياس الذري يحمل العديد من المزايا الأخرى عند قياس الطول. يتوفر عنصـــر غاز الكر يبتون 86 في كل مكان ويمكن الحصـــول عليه بســـهولة وتكاليفه قليلة كما وأن كافة ذرات المادة متشـابهة وتولد ضـوء في نفس الطول الموجي. ويتم تعريف اليارد عالمياً على أنه 0,9144 m تماماً لذلك فإن الإنش الواحد يساوي 25,4 mm تماماً وواحد قدم يساوي 0,3048 m تماماً.

كذلك يمكن قياس الزمن بطرق عديدة ومنذ أقدم العصـور كان طول اليوم مقياسـاً مقبولاً لقياس الزمن. وتم تحديد الثانية وهي مقياس عالمي للزمن على أنها تساوي 1/86400 من يوم شمسـي وسطي أو 1/31557700 من سـنة متوسـطة شمسية. يجب اللجوء إلى الملاحظات الفلكية لقياس الزمن المحدد على أساس دوران الأرض وحيث إن هذه الملاحظات تحتاج إلى بضـعة أسـابيع يتم اسـتخدام مقياس أرضـي ثانوي جيد معير على أسـاس الملاحظات الفلكية. تم اسـتخدام الســـاعات ذات بلورات الكوارتز التي تقوم على أســـاس اهتزازات دورية طبيعية مداومة كهربائياً لرقاقة الكوارتز، لتكون مقياسـاً زمنياً ثانوياً. وأفضـل سـاعات الكوارتز هذه تمكنت من المحافظة على الوقت لمدة سـنة وبنسـبة خطأ لا يتجاوز 0.02.

ولتلبية الطلب على وجود مقياس زمني أفضل تم تطوير ساعة ذرية تستخدم الاهتزازات الذرية الدورية لعنصر سيزيوم 133 وتم قبول الثانية التي تقوم على ســـاعة الســـيزيوم هذه كمقياس زمني في المؤتمر العام الثالث عشـــر للأوزان والمقاييس عام 1967. تم تعريف الثانية بأنها عدد 9192631770 دورة اهتزاز لعنصـر السـيزيوم 133. تؤمن سـاعة السيزيوم زيادة في الدقة المرتبطة بالطرق الفلكية بعامل يقارب الـــ 200. وتختلف ساعتان سيزيوم بما لا يتجاوز ساعة واحدة بعد العمل 3000 سنة.

ويتم تحديد وحدة الكتلة القياســية وهي الكيلوغرام (kg) بواســطة قضــيب من خليط معادن اريديوم – بلاتينيوم واعتمده المكتب الدولي للأوزان والمقاييس في مدينة (سيفر) في فرنسا.

1.5.1 نظام الواحدات الأمريكي (U.S)

كان معظم مهندسو الولايات المتحدة حتى فترة قريبة يستخدمون نظام الواحدات الأمريكي حيث الواحدات الأساسية هي القدم للطول والباوند(*lb* ليبره) للقوة والثانية للزمن.

و يتحدد القدم في هذا النظام بأنه يســاوي 0,3048m تماماً. كما يتحدد الباوند بأنه الوزن عند مســتوي ســطح البحر وخط عرض 45 درجـه لمقياس بلاتينيوم ولهذا المقياس كتلـة وزنهـا 0,45359243 kg، يتم تحـديـد الثـانيـة بنفس الطريقة كما في النظام العالمي SI .

نطلق في النظام الأمريكي على واحدة الكتلة اسم *slug* ، حيث أن *1 slug* يمثل الكتلة التي تتسارع قدم واحد بالثانية المربعة بتأثير قوة مقدارها باوند واحد أو أن *1 slug* يساوي $1\,lb.s^2 / ft$.

2.5.1 نظام الواحدات العالمية (SI)

اهتم النظام الأصلي بتأمين مجموع واحدات لقياس الطول، المساحة، الحجم، الاستطاعة والكتلة على أساس واحدتين أساسيتين: المتر والكيلوغرام. مع إضافة واحدة الزمن بدأت القياسات العملية تعتمد على نظام واحدات المتر، الكيلوغرام والثانية (MKS). في عام 1960 اعتمد المؤتمر العام الحادي عشر للأوزان والمقاييس بشكل رسمي نظام الواحدات العالمي (SI) كمقياس عالمي. وشارك في المؤتمر 36 دولة منها الولايات المتحدة. ويشمل نظام الواحدات العالمي الذي اعتمده المؤتمر ثلاث فئات الواحدات وهي:

1- الواحدات الأساسية. 2- الواحدات الملحقة. 3- الواحدات المشتقة، الجدول (2-1).

الجدول 2 -1: الواحدات الأساسية ورموزها

الكمية	اسم الواحدة	الرمز
الطول	متر	*m*
الكتلة	كيلوغرام	*kg*
الزمن	ثانية	*s*
تيار كهربائي	أمبير	*A*
درجة حرارة ترموديناميكية	كلفين	*K*
مقدار المادة	مول	*Mol*
شدة السطوع	كانديلا	*cd*

وهناك واحدات معينة في النظام العالمي لم يتم تصنيفها كواحدات أساسية أو مشتقة. نطلق على هذه الواحدات الواردة في الجدول (3-1) اسم الواحدات الملحقة ويمكن تصنيفها بأنها إما واحدات أساسية أو مشتقة. يتم التعبير عن الواحدات المشتقة جبرياً على أساس الواحدات الأساسية أو الواحدات الملحقة. وتتحدد رموزها بواسطة إشارات الضرب والتقسيم الرياضية. مثلاً تكون واحدة السرعة في النظام العالمي (SI) متر بالثانية (*m/s*) وواحدة السرعة الزاوية في النظام العالمي (SI) (*rad/s*).

الجدول 3-1: الواحدات الملحقة ورموزها

الكمية	اسم الواحدة	الرمز
الزاوية المستوية	راديان	rad
الزاوية المجسمة	ستيراديان	sr

في نظام الواحدات العالمي (SI) تم اشتقاق واحدة القوة وأطلق عليها اسم واحدة نيوتن N ، حيث إن $1\ N$ يمثل القوة المطلوبة لإعطاء $1\ kg$ كتلة تسارع مقداره متر واحد بالثانية المربعة ومنه يكون $1\ N = 1\ kg.m/s^2$. وتوجد أسماء ورموز خاصة لأجل بعض الواحدات المشتقة. وهذه الواحدات ذات الأهمية الخاصة في علم الميكانيك مبينة في الجدول (4-1).

الجدول 4-1: الواحدات المشتقة مع رموزها وأسمائها الخاصة بها

الكمية	واحدات SI المشتقة	الرمز	الاسم الخاص
المساحة	متر مربع	m^2	-
الحجم	متر مكعب	m^3	-
السرعة الخطية	متر /الثانية	m/s	-
السرعة الزاوية	راديان /ثانية	rad/s	-
التسارع الخطي	متر /ثانية مربعة	m/s^2	-
التردد	دورة/ ثانية	Hz	هرتز
الكثافة	كغ/ متر مكعب	$kglm^3$	-
القوة	كيلوغرام. متر/ثانية مربعة	N	نيوتن
عزم القوة	نيوتن.متر	$N.m$	-
الضغط	نيوتن/ متر مربع	Pa	باسكال
الإجهاد	نيوتن/ متر مربع	Pa	باسكال
العمل	نيوتن. متر	J	جول
الطاقة	نيوتن. متر	J	جول
الاستطاعة	جول/ثانية	W	واط

لتكوين أسماء ورموز للمضاعفات (مضاعفات عشرية ومضاعفات فرعية) نستخدم رموز حرفية (بادئات) لأسماء في النظام العالمي (SI). ويجب أن يتم اختيار المضاعف المناسب بحيث تكون القيم العددية بين $(0{,}1-1000)$. ويجب استخدام رمز حرفي واحد فقط لتشكيل مضاعف لواحدة مركبة الجدول (5-1).

الجدول 5-1: مضاعفات واحدات النظام العالمي (SI)

الرمز	الاسم	معامل المضاعفة
E	*exa*	10^{18}
P	*peta*	10^{15}
T	*tera*	10^{12}
G	*giga*	10^{9}
M	*mega*	10^{6}
k	*kilo*	10^{3}
h	*hecto*	10^{2}
da	*deca*	10
d	*deci*	10^{-1}
c	*centi*	10^{-2}
m	*milli*	10^{-3}
μ	*micro*	10^{-6}
n	*nano*	10^{-9}
p	*pico*	10^{-12}
f	*femto*	10^{-15}
a	*atto*	10^{-18}

بعد أن انتشـر اسـتخدام نظام الواحدات العالمية (SI) في الولايات المتحدة أصـبح مطلوباً من المهندسـين أن يحسـنوا اسـتخدام النظامين الأميركي والعالمي معاً. ولتفسـير الأهمية الفيزيائية للأجوبة في واحدات (SI) لأولئك المعتادين على الواحدات الأميركية نجد في الجدول (6-1) بعض معاملات التحويل لبعض الكميات التي نتداولها في علم الميكانيك.

في المسـتقبل المنظور مطلوب من المهندسـين أن يعملوا على نظامي واحدات (SI) والواحدات الأميركية (U.S) ولذلك أوردنا مجموعتي الواحدات في الأمثلة والمسائل.

الجدول 6-1 : معاملات التحويل بين النظام العالمي (SI) والنظام الأميركي (U.S)

المقدار	التحويل من SI إلى U.S	التحويل من U.S إلى SI
الطول	$1\ m = 39{,}37in$ $1\ m = 3{,}281\,ft$ $1\ km = 0{,}6214mi$	$1\ in = 25{,}40mm$ $1\ ft = 0{,}3048m$ $1\ mi = 1{,}609km$
المساحة	$1\ m^2 = 1550in^2$ $1\ m^2 = 10{,}76\,ft^2$	$1\ in^2 = 645{,}2mm^2$ $1\ ft^2 = 0{,}0929m^2$
الحجم	$1\ mm^3 = 61{,}02.10^{-6}in^3$ $1\ m^3 = 35{,}31\ ft^3$ $1\ L = 0{,}2642gal$	$1\ in^3 = 16{,}39.10^3 mm^3$ $1\ ft^3 = 0{,}02832m^3$ $1\ gal = 3{,}785L$
السرعة	$1\ m/s = 39{,}37in/s$ $1\ m/s = 3{,}281\,ft/s$ $1\ km/h = 0{,}2614\ mi/h$	$1\ in/s = 0{,}0254m/s$ $1\ ft/s = 0{,}3048m/s$ $1\ mi/h = 1{,}609km/h$
التسارع	$1\ m/s^2 = 39{,}37in/s^2$ $1\ m/s^2 = 3{,}281ft/s^2$	$1\ in/s^2 = 0{,}0254m/s^2$ $1\ ft/s^2 = 0{,}3048m/s^2$
الكتلة	$1\ kg = 0{,}06854slug$	$1\ slug = 14{,}59kg$
العزم الثاني للمساحة	$1\ mm^4 = 2{,}402.10^{-6}in^4$	$1\ in^4 = 0{,}4162.10^6 mm^4$
القوة	$1\ N = 0{,}2248lb$	$1\ lb = 4{,}448N$
الحمولة الموزعة	$1\ kN/m = 68{,}54lb/\ ft$	$1\ lb/\ ft = 14{,}59N/m$
الضغط	$1\ kPa = 0{,}1450\,psi$ $1\ Mpa = 145.0ksi$	$1\ psi = 6{,}895kPa$ $1\ ksi = 6{,}895Mpa$
عزم الانحناء أو الفتل	$1\ N.m = 0{,}7376\,ft.lb$	$1\ ft.lb = 1{,}356N.m$
العمل أو الطاقة	$1\ J = 0{,}7376\,ft.lb$	$1\ ft.lb = 1{,}356\ J$
الاستطاعة	$1\ W = 0{,}7376\,ft.lb/s$ $1\ kW = 1{,}341hp$	$1\ ft.lb/s = 1{,}365W$ $1\ hp = 745{,}7W$

ينبغي الإشارة في نهاية هذه الفقرة إلى وجود أنظمة واحدات قياس أخرى مستخدمة في التكنيك، نذكر منها نظام واحدات القياس المتري. في هذا النظام تعدّ القوة، الطول والزمن كميات أساسية، أما الكتلة فتعدّ كمية مشتقة.

يقاس الطول في هذا النظام بالمتر (m) والقوة بالكيلوغرام - قوة (kgf) والزمن بالثانية (s) وواحدة قياس الكتلة في هذا النظام هي $1\ kgf.s^2/m$ أي الكتلة التي إذا أثرت عليها قوة مقدارها $1\ kgf$ تكسبها تسارعاً مقداره $1m/s^2$.

العلاقة بين واحدات قياس القوة في النظامين المتري والعالمي كالآتي:

$$1\ kgf = 9.81\ N \quad 1\ N \approx 0{,}102\ kgf$$ أو

- *Lecture title: General principles in mechanics and numerical calculations*
- *Lecture syllabus:*
  -Introduction
  -Fundamental concepts
  -Newton's three laws of motion
  -Units of measurement (U.S) and (S.I)
  -Applications

- *Conclusion:*
  Provide an introduction to basic quantities and idealizations of mechanics.
  Give a statement of Newton's laws of motion and Gravitation.
  Review the principals for applying the SI system of units.

- *References:*
  - Engineering Mechanics Statics, R. C. Hibbeler, 11th edition in SI Units.
  - Engineering Mechanics Statics, A. Bedford and W. Fowler, Fifth edition in SI Units.
  - الميكانيك الهندسي، د. عهد سليمان- د. ياسر حسن، منشورات جامعة تشرين، 2008- 2009

- ***Name: Dr. Eng. Ahed SULEIMAN***
- *Email: sulahed@yahoo.fr*

إضافات مدرس المقرر