

الفصل الرابع

قوانين نيوتن في الحركة (Newton Laws In Motion)

((4))

1-4 القوة (Force)

2-4 قوانين نيوتن في الحركة (Newton Laws In Motion)

1-2-4 قانون نيوتن الأول (First Newton Law)

2-2-4 قانون نيوتن الثاني (Second Newton Law)

3-2-4 قانون نيوتن الثالث (Third Newton Law)

3-4 الاحتكاك (Friction)

1-3-4 الاحتكاك الحروبي أو السكوني (Static Friction)

2-3-4 الاحتكاك الإنزلاقي أو الحركي (Kinetic or Sliding Friction)

4-4 قانون نيوتن للجاذبية (Newton Gravitational Law)

5-4 تسجيل (تسارع) السقوط الحر وقوة الجاذبية

(Acceleration of Free Fall and Gravitational Force)

الفصل الرابع

قوانين نيوتن في الحركة (Newton Laws In Motion)

1-4 القوة (Force)

يُمكن تعريف القوة بصورة عامة بكونها فعل يؤثر به جسم على جسم آخر فيغيّر أو يحاول أن يغيّر حالته الحركية أو شكله ، فمثلاً عندما نقذف جسم فإننا نؤثر عليه بقوة تغيّر حالته الحركية أما إذا ضغطنا على جسم فإننا نغيّر من شكله .

تؤثر القوة على الأجسام إما عن طريق التلامس مثل قوى الاحتكاك والضغط ، وهناك نوع آخر من القوة يؤثر بها جسم على آخر عن بعد وبدون تلامس مثل القوى الكهربائية والمغناطيسية .

إن القوة المسلطة على جسم معين من قبل أجسام أخرى تسمى بالقوى الخارجية أما تلك القوى التي يسلطها جزء من الجسم على الأجزاء الأخرى منه فتسمى بالقوى الداخلية .

2-4 قوانين نيوتن في الحركة (Newton Laws In Motion)

1-2-4 قانون نيوتن الأول (First Newton Law)

ينص قانون نيوتن الأول على أن ((يبقى الجسم في حالة سكون إذا كان ساكناً والجسم المتحرك في حركته ما لم تؤثر عليه قوة خارجية تُغيّر حالته الحركية)) .

إذا أثرت قوة فصي إما أن تغيّر شكله أو حالته الحركية ، وحركة الأجسام العامة يمكن أن تعتبر حركة مركبة من الحركة الانتقالية والحركة الدورانية والقوة المفردة المؤثرة على جسم تغيّر عادة حالته الحركية .

قد تؤثر عدد من القوى على جسم بحيث لا يحدث تغيّر في حالة الجسم الحركية سواء كانت إنتقالية أو دورانية وعندئذ يكون الجسم في حالة توازن ، والتوازن في الحركة يعني أن الجسم يكون ساكناً أو متحركاً بإنتلاق ثابت ،

ومن ذلك يتضح أن هنالك شرطين للتوازن هما :

أولاً : شرط التوازن في الحركة الإنتقالية ((محصلة القوى المؤثرة على الجسم تساوي صفراً)) .

أ- إذا كانت القوى المؤثرة نحو اليمين تساوي القوى المؤثرة نحو اليسار وكالاتي :

$$\sum \vec{F}_x = 0 \dots (1-4)$$

ب- إذا كانت القوى المؤثرة نحو الأعلى تساوي القوى المؤثرة نحو الأسفل وكالاتي :

$$\sum \vec{F}_y = 0 \dots (2-4)$$

ولذلك فإن محصلة القوى المؤثرة على الجسم تساوي صفراً وبالتالي فإن تعجيله يساوي صفراً أيضاً وكالاتي :

$$\sum \vec{F} = 0 \dots (3-4)$$

ثانياً : شرط التوازن في الحركة الدورانية ((المجموع الجبري لعزوم القوى المؤثرة على جسم حول أي محور اختياري

يساوي صفراً ، على إعتبار أن العزوم التي تدور الجسم باتجاه عقارب الساعة تكون سالبة وبالعكس عقارب الساعة تكون

موجبة)) .

2-2-4 قانون نيوتن الثاني (Second Newton Law)

لقد أوضح قانون نيوتن الأول ماذا يحدث للجسم عندما تكون محصلة القوى الخارجية المؤثرة عليه مساوية للصفر ، أما قانون نيوتن الثاني فيجب على السؤال ماذا يحدث للجسم إذا لم تكن محصلة القوى المؤثرة عليه مساوية للصفر ؟

كما هو الحال عندما تؤثر قوة (\vec{F}) على قطعة من الجليد على سطح عديم الاحتكاك فإن القطعة سوف تتحرك بتعجيل (\vec{a}) وإذا ضاعفنا القوة المسلطة فإن التعجيل أيضا يتضاعف وهكذا ، ومن مثل هذه الملاحظات نستنتج أن (تعجيل الجسم يتناسب خطياً مع محصلة القوى المؤثرة عليه) أي أن :

$$\vec{a} \propto \sum \vec{F} \quad (4-4)$$

ويمكن ملاحظة أن تعجيل الجسم يعتمد أيضا على كتلته فعندما تكون القوة المسلطة (\vec{F}) على قطعة من الجليد كتلتها (m) فإن التعجيل يساوي (\vec{a}) فإذا تضاعفت الكتلة وأصبحت ($2m$) فإن التعجيل يصبح ($\frac{1}{2} \vec{a}$) على فرض أن القوة ثابتة بمعنى (تعجيل الجسم يتناسب عكسياً مع كتلة الجسم) أي أن :

$$\vec{a} \propto \frac{1}{m} \quad (5-4)$$

ينص قانون نيوتن الثاني على أن ((تعجيل الجسم يتناسب طردياً مع محصلة القوى المؤثرة عليه وعكسياً مع كتلته)) وكالآتي :

$$\vec{a} \propto \frac{\sum \vec{F}}{m} \quad (6-4)$$

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} (kg.m/s^2) N \quad (7-4)$$

$$\sum \vec{F}_x = m\vec{a}_x, \sum \vec{F}_y = m\vec{a}_y, \sum \vec{F}_z = m\vec{a}_z \quad (8-4)$$

إن الأجسام القريبة من سطح الأرض تسقط بتعجيل ثابت يسمى التعجيل الأرضي (g) ، فإذا عوّضنا عن محصلة القوة

($\sum \vec{F}$) في قانون نيوتن الثاني بالوزن (\vec{w}) وعن التعجيل (\vec{a}) بالتعجيل الأرضي (g) نحصل على :

$$\text{Weight} = \text{Mass} \times \text{Gravitational Acceleration}$$

$$\vec{w} = mg \dots (9-4)$$

3-2-4 قانون نيوتن الثالث (Third Newton Law)

ينص على أن ((لكل فعل رد فعل يساويه في المقدار ومعاكسه في الاتجاه)) ، فإذا أثر جسم بقوة على جسم آخر فإن

الجسم الثاني يؤثر على الجسم الأول بقوة مساوية للأولى في المقدار ومعاكسة له في الاتجاه ولها نفس خط التأثير .

مثال 4 - 1 : عربة في حالة سكون كتلتها (1200kg) ، فإذا أثرت عليها محصلة قوة مقدارها (535N) وحركتها

على خط مستقيم ، أحسب :

1- تسارع العربة (\vec{a}) ؟

2- الإزاحة التي تقطعها العربة بعد مرور (15s) ؟

الحل :

قبل البدء بحل المثال يتم كتابة المعطيات والمجهول الواردة في منطوق المثال .

$$\sum \vec{F} = 535\text{N} , m = 1200\text{kg} , \vec{v}_o = 0 \text{ المعطيات}$$

$$\vec{x} = 0 , \vec{a} = ? \text{ المجهول}$$

1- من المعادلة $(7 - 4)$:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} (\text{kg.m/s}^2) \text{N} \dots (7 - 4)$$

$$535 = 1200\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{535}{1200}$$

$$\Rightarrow \vec{a} = 0.446\text{m/s}^2$$

2- من المعادلة $(6 - 2)$:

$$\vec{x} = \vec{v}_o t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2 \dots (6 - 2)$$

$$\vec{x} = (0)(15) + \frac{1}{2} (0.446)(15)^2$$

$$\vec{x} = (0) + \frac{(100.35)}{2}$$

$$\Rightarrow \vec{x} = 50.2\text{m}$$

مثال 4 - 2 : ينزلق مكعب كتلته (4kg) على مسار مستقيم وبسرعة مقدارها (6.5m/s) ، أثرت قوة على الجسم

وأحدثت تسريعاً تباطني مقدارها (1.6m/s²) ، احسب :

1- مقدار القوة المؤثرة على الجسم ؟

2- المسافة اللازمة لإيقاف الجسم ؟

الحل :

قبل البدء بحل المثال يتم كتابة المعطيات والمجهول الواردة في منطوق المثال .

$$\text{المعطيات / } m = 4kg , \vec{v}_o = 6.5m/s , \vec{a} = -1.6m/s^2$$

$$\vec{F} = ? , \vec{x} = ? \text{ المجهول}$$

1 - من المعادلة (4 - 7) :

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} (kg.m/s^2) N \dots (7-4)$$

$$\sum \vec{F} = (4).(-1.6)$$

$$\therefore \sum \vec{F} = -6.4N$$

2 - من المعادلة (2 - 8) :

$$\vec{v}^2 = \vec{v}_o^2 + 2\vec{a}\vec{x} \dots (8-2)$$

$$(0)^2 = (6.5)^2 + 2(-1.6)\vec{x}$$

$$\Rightarrow (0) = (42.25) - (3.2)\vec{x}$$

$$\therefore \vec{x} = (42.25)/(3.2)$$

$$\Rightarrow \vec{x} = 13.2m$$

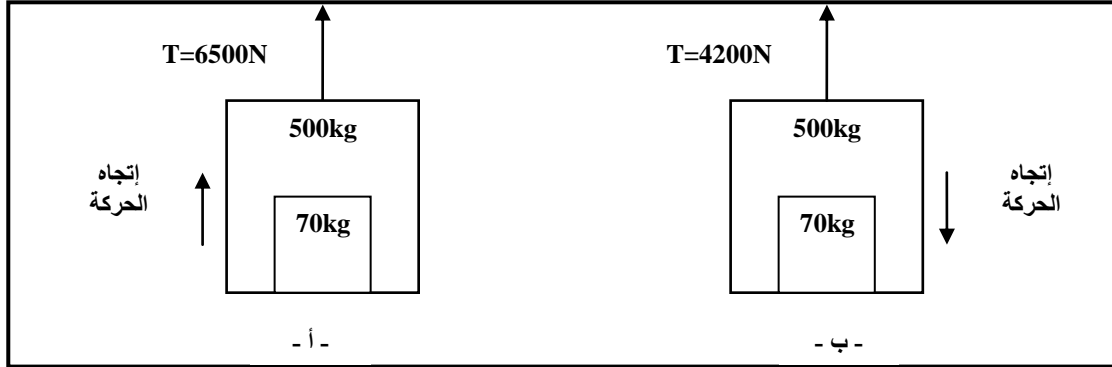
مثال 4 - 3 : رجل كتلته (70kg) في مقصورة مصعد كتلتها (500kg) ، عندما يتحرك المصعد إلى الأعلى

بتسارع (تعجيل) ثابت ، تكون قوة الشد في الكابل مساوية إلى (6500N) كما في الشكل الموضح أدناه ، احسب :

1- قيمة تسارع (تعجيل) المصعد ؟

2- أعد حل الفرع (1) إذا كانت قوة الشد في الكابل تساوي (4200N) عندما يتسارع المصعد إلى الأسفل بقيمة

ثابتة ؟



الحل :-

1- من المثال نلاحظ بأنه لا توجد هناك قوة مؤثرة في المصعد في الإتجاه الأفقي (نحو اليمين ونحو اليسار) أي أن :

$$\sum \vec{F}_x = 0 \dots (1-4)$$

لذلك فمحصلة القوة المؤثرة في المصعد ($\sum \vec{F}$) تساوي القوة المؤثرة في المصعد في الإتجاه الشاقولي

(نحو الأعلى ونحو الأسفل) ($\sum \vec{F}_y$) والمتمثلة بقوة الشد في الكابل نحو الأعلى تقابلها قوة مؤثرة نحو الأسفل متمثلة

بوزن المصعد مضافا إليه وزن الرجل الموجود فيه ، أي أن :

$$\sum \vec{F} = \sum \vec{F}_y = T - w_{\text{المصعد} + \text{الرجل}}$$

من المعادلة (4-9) :

$$\vec{w} = mg \dots (9-4)$$

$$\sum \vec{F} = \sum \vec{F}_y = T - (m_{\text{المصعد} + \text{الرجل}})g$$

من المعادلة (4-7) :

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \dots (7-4)$$

$$\sum \vec{F} = \sum \vec{F}_{\vec{y}} = T - (m_{\text{المصعد}} + m_{\text{الرجل}})g = (m_{\text{المصعد}} + m_{\text{الرجل}})\vec{a}$$

$$\sum \vec{F} = (6500) - (500 + 70).(9.8) = (500 + 70)\vec{a}$$

$$6500 - 5586 = 570\vec{a}$$

$$\Rightarrow \vec{a} = 1.60 m/s^2$$

2- عندما يتسارع المصعد نحو الأسفل :

$$\sum \vec{F} = \sum \vec{F}_{\vec{y}} = w_{\text{المصعد}} + w_{\text{الرجل}} - T$$

من المعادلة (9 - 4) :

$$\vec{w} = mg...(9-4)$$

$$\sum \vec{F} = \sum \vec{F}_{\vec{y}} = (m_{\text{المصعد}} + m_{\text{الرجل}})g - T$$

من المعادلة (7 - 4) :

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}...(7-4)$$

$$\sum \vec{F} = \sum \vec{F}_{\vec{y}} = (m_{\text{المصعد}} + m_{\text{الرجل}})g - T = (m_{\text{المصعد}} + m_{\text{الرجل}})\vec{a}$$

$$\sum \vec{F} = (500 + 70).(9.8) - (4200) = (500 + 70)\vec{a}$$

$$(570).(9.8) - (4200) = 570\vec{a}$$

$$\Rightarrow \vec{a} = 2.43 m/s^2$$

3-4 الإحتكاك (Friction)

تتبع قوى الإحتكاك دوراً مهماً في الميكانيك سواء كانت الأجسام ساكنة أو متحركة ، حيث عندما ينزلق جسم على سطح بسرعة ثابتة فإن قوة الإحتكاك تكون دائماً موازية للسطح ومعاكسة لإتجاه الحركة ، ويعزى سبب القوة المعرقلية إلى تشابك النتوءات والفتحات بين السطحين وإلى قوة التلاصق بينهما وتعتمد على طبيعة السطحين .

ويقسم الإحتكاك إلى نوعين هما :

1-3-4 الإحتكاك السكوني أو الساكن (Static Friction)

$$\vec{F}_s = \mu_s \vec{N} \dots (10-4)$$

حيث أن :

\vec{F}_s : قوة الإحتكاك السكوني ، وتمثل أصغر قوة لازمة لعرقلة شروع الجسم الساكن بالحركة .

μ_s : ثابت التناسب ويسمى معامل الإحتكاك السكوني (Static Friction Coefficient) ، وهو عدد مجرد من الوحدات .

\vec{N} : القوة الضاغطة بين السطحين .

2-3-4 الإحتكاك الإنزلاقي أو الحركي (Kinetic or Sliding Friction)

$$\vec{F}_k = \mu_k \vec{N} \dots (11-4)$$

حيث أن :

\vec{F}_k : قوة الإحتكاك الحركي ، وتمثل أصغر قوة لازمة لعرقلة حركة الجسم المتحرك خلال الإنزلاق .

μ_k : ثابت التناسب ويسمى معامل الإحتكاك الحركي (Kinetic Friction Coefficient) ، وهو عدد مجرد من الوحدات .

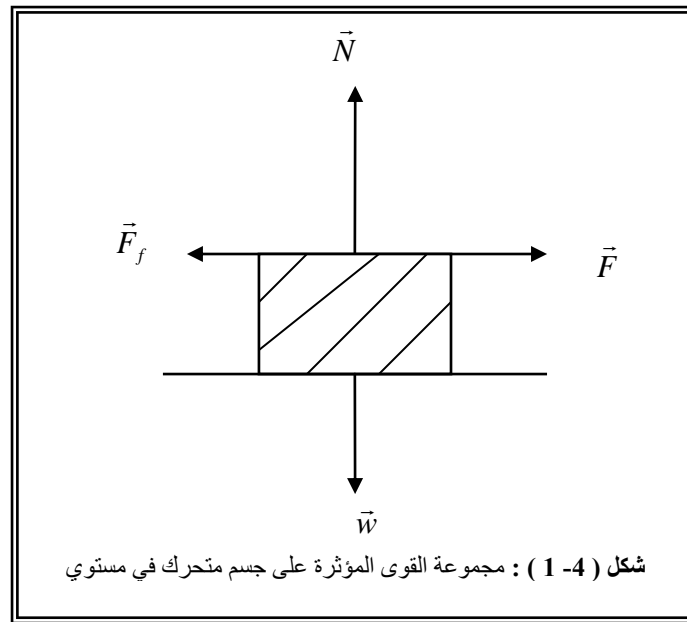
\vec{N} : القوة الضاغطة بين السطحين .

علماً أن معامل الإحتكاك الشروعي أكبر من معامل الإحتكاك الإنزلاقي ، أي أن :

$$\mu_s \geq \mu_k$$

أما حركة الجسم خلال سائل أو غاز فتتعرض إلى قوة احتكاك تسمى باللزوجة (Viscosity) وتعتمد على سرعة المائع و طبيعة المائع وأبعاد الجسم .

عموماً يمكن القول بأن أي جسم متحرك بخط مستقيم أو في مستوى يعاني من مجموعة قوى تؤثر عليه وكما موضح في الشكل (4 - 1) :



حيث أن :

\vec{F} : القوة المحركة .

\vec{F}_f : قوة الاحتكاك .

\vec{N} : قوة رد الفعل (متجه نحو الأعلى) .

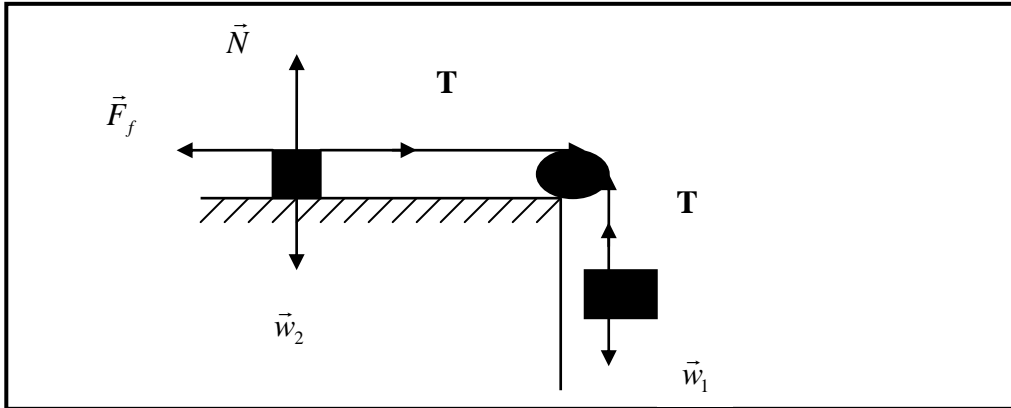
\vec{w} : قوة الوزن (متجه نحو الأسفل) .

مثال 4 - 4 : الشكل الآتي يُمثل جسمان كتلتهما $(2kg, 4kg)$ على التوالي مربوطان بحبل مهمل الكتلة ويمر ببكرة

ملساء ، إذا كان السطح خشبياً بمعامل احتكاك $(\mu = 0.2)$ ، احسب :

1- مقدار تسجيل (تسارع) المجموعة (\vec{a}) ؟

2- الشد في الخيط (T) ؟



الحل :

1 - لحل مثل هذا النوع من المسائل نتعامل مع كل جسم على حدى وكما الآتي :

نأخذ الجسم الأول $4kg$:

$$\vec{w}_1 - T = m_1 \vec{a}$$

$$m_1 \cdot g - T = m_1 \vec{a}$$

$$(4) \cdot (9.8) - T = (4) \vec{a}$$

$$(39.2) - T = (4) \vec{a} \dots (1)$$

نأخذ الجسم الثاني 2kg :

$$\vec{N} - \vec{w}_2 = 0 \Rightarrow N = m_2 \cdot g$$

$$\vec{N} = (2) \cdot (9.8) = 19.6N$$

$$\vec{F}_f = \mu \vec{N}$$

$$\vec{F}_f = (0.2)(19.6) = 3.92N$$

$$T - \vec{F}_f = m_2 \cdot \vec{a}$$

$$T - (3.92) = (2)\vec{a}$$

$$T = (2)\vec{a} + (3.92) \dots (2)$$

من خلال تعويض قيمة (T) من المعادلة (2) في المعادلة (1) نحصل على مقدار تسارع المجموعة (\vec{a}) :

$$(39.2) - (2)a - (3.92) = (4)\vec{a}$$

$$(39.2) - (3.92) = (4)\vec{a} + (2)\vec{a}$$

$$\Rightarrow 35.28 = 6\vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{35.28}{6}$$

$$\Rightarrow \vec{a} = 5.88m/s^2$$

2- لغرض إيجاد مقدار الشد في الخيط (T) نعوض قيمة تسارع المجموعة (\vec{a}) في المعادلة (2) :

$$T = (2)\vec{a} + (3.92) \dots (2)$$

$$T = (2)(5.88) + (3.92)$$

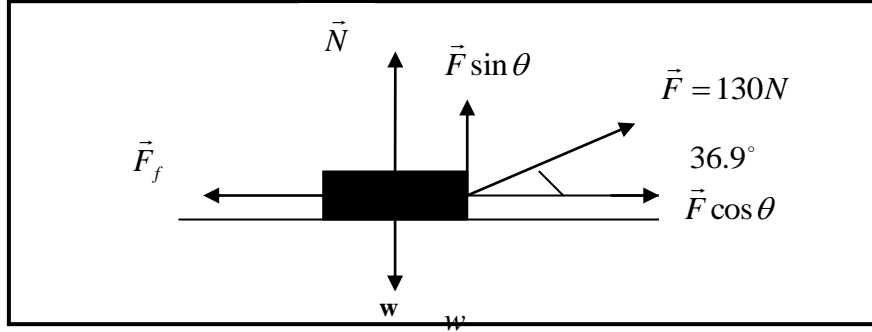
$$\Rightarrow T = 15.68N$$

مثال 4 - 5 : أثرت قوة مقدارها ($130N$) مائلة للأعلى بزاوية (36.9°) عن الأفق على جسم كتلته ($40kg$)

موضوع على سطح أفقي خشن معامل احتكاكه (0.2) ، كما في الشكل أدناه ، فنرّكه من السكون ، إحصج :

1- مقدار قوة الاحتكاك (\vec{F}_f) ؟

2- تعجيل (تسارع) الجسم (\vec{a}) ؟



الحل :- نحلل القوة إلى مركبتيهما السينية والصادية مع ملاحظة أن الجسم ليس له أي حركة

عمودية على السطح.

1- من خلال تحليل القوى نجد أن محصلة القوى المؤثرة بالإتجاه (y) :

$$\sum \vec{F}_y = (\vec{N} + \vec{F} \sin \theta) - \vec{w} = 0$$

$$\vec{N} + \vec{F} \sin 36.9^\circ - mg = 0$$

$$\vec{N} = mg - \vec{F}(0.6) = (40)(9.8) - (130)(0.6)$$

$$\vec{N} = 392 - 78 = 314N$$

$$\boxed{\vec{N} = 314N}$$

إذن مقدار قوة الاحتكاك (\vec{F}_f) تساوي :

$$\vec{F}_f = \mu \vec{N}$$

$$\vec{F}_f = (0.2).(314)$$

$$\Rightarrow \vec{F}_f = 62.8N$$

2- من خلال تحليل القوى نجد أن محصلة القوى المؤثرة بالإتجاه (x) :

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

$$\vec{F} \cos \theta - \vec{F}_f = m\vec{a}$$

$$(130)(0.8) - (62.8) = (40)\vec{a}$$

$$(104) - (62.8) = (40)\vec{a} \Rightarrow 41.2 = 40\vec{a}$$

تسريع (تسارع) الجسم (\vec{a}) يساوي :

$$\vec{a} = \frac{41.2}{40}$$

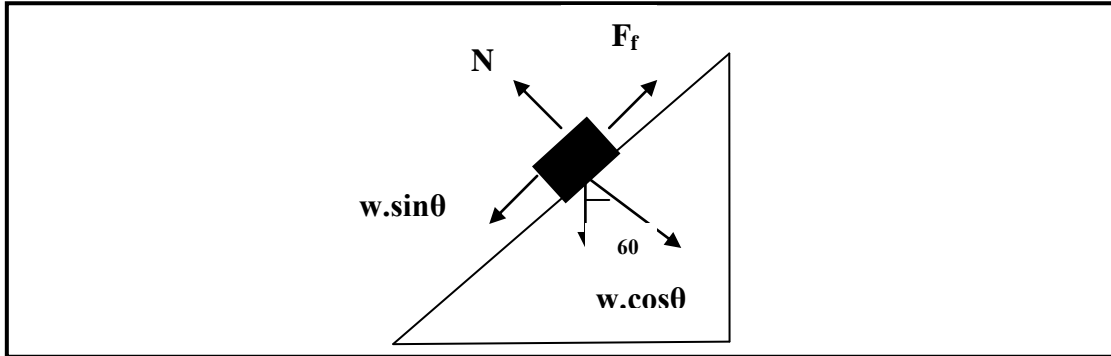
$$\Rightarrow \vec{a} = 1.03m/s^2$$

مثال 4 - 6 : ينزلق جسم كتلته (2 kg) من أعلى سطح خشن معامل احتكاكه $(\mu = 0.2)$ مائل بزاوية (60°)

كما في الشكل أدناه ، احسب :

1- مقدار قوة الاحتكاك (\vec{F}_f) ؟

2- تسارع الجسم (\vec{a}) ؟



الحل : نحلل القوة إلى مركبتيهما السينية والصادية مع ملاحظة أن الجسم ليس له أي حركة عمودية

على السطح.

1 - من خلال تحليل القوى نجد أن معادلة القوى المؤثرة بالإتجاه (y) :

$$\sum \vec{F}_y = \vec{N} - \vec{w} \cos \theta = 0 \Rightarrow \vec{N} = \vec{w} \cos \theta$$

$$\vec{N} = m.g \cos 60 \Rightarrow \vec{N} = (2)(9.8)(0.5)$$

$$\vec{N} = 9.8N$$

إذن مقدار قوة الاحتكاك (\vec{F}_f) تساوي :

$$\vec{F}_f = \mu \vec{N}$$

$$\vec{F}_f = (0.2).(9.8)$$

$$\Rightarrow \vec{F}_f = 1.96N$$

2- من خلال تحليل القوى نجد أن محصلة القوى المؤثرة بالإتجاه (x) :

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

$$w \sin \theta - \vec{F}_f = m\vec{a}$$

$$(2)(9.8)(0.8) - (1.96) = (2)\vec{a}$$

$$(15.68) - (1.96) = (2)\vec{a} \Rightarrow 13.72 = 2\vec{a}$$

تسارع (تسارع) الجسم (\vec{a}) يساوي :

$$\vec{a} = \frac{13.72}{2}$$

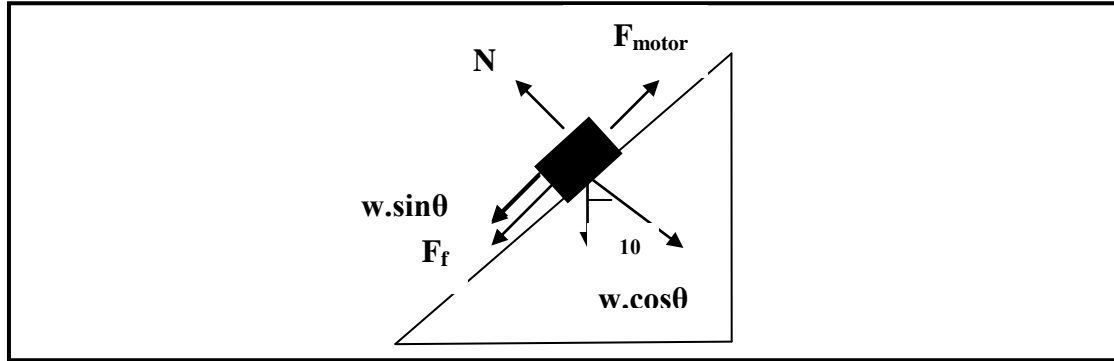
$$\Rightarrow \vec{a} = 6.86m/s^2$$

مثال 4 - 7 : تصعد شاحنة كتلتها (2000kg) طريقاً مائلاً خشناً معامل احتكاكه $(\mu = 0.1)$ ويميل بزاوية (10°)

عن الأفق كما في الشكل أدناه وبقدرة محرك (7000N) ، احسب :

1- مقدار قوة الاحتكاك (\vec{F}_f) ؟

2- تسارع الشاحنة (\vec{a}) ؟



الحل : نُحلّل القوة إلى مركبتيهما السينية والصادية مع ملاحظة أن الجسم ليس له أي حركة عمودية

على السطح.

1- من خلال تحليل القوى نجد أن معادلة القوى المؤثرة بالإتجاه (y) :

$$\sum \vec{F}_y = \vec{N} - \vec{w} \cos \theta = 0 \Rightarrow \vec{N} = \vec{w} \cos \theta$$

$$\vec{N} = m \cdot g \cos 10 \Rightarrow \vec{N} = (2000)(9.8)(0.98)$$

$$\vec{N} = 19208\text{N}$$

إذن مقدار قوة الاحتكاك (\vec{F}_f) تساوي :

$$\vec{F}_f = \mu \vec{N}$$

$$\vec{F}_f = (0.1).(19208)$$

$$\Rightarrow \vec{F}_f = 1920.8N$$

2 - من خلال تحليل القوى نجد أن محصلة القوى المؤثرة بالإتجاه (x) :

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

$$\vec{F}_{motor} - (F_f + w \sin \theta) = m\vec{a}$$

$$(7000) - (1920.8 + ((2000)(9.8) \sin(10))) = (2000)\vec{a}$$

$$(7000) - (5252.8) = (2000)\vec{a} \Rightarrow (1747.2) = (2000)\vec{a}$$

تسريع (تسارع) الشاحنة (\vec{a}) يساوي :

$$\vec{a} = \frac{1747.2}{2000}$$

$$\Rightarrow \vec{a} = 0.87m/s^2$$

4-4 قانون نيوتن للجاذبية (Newton Gravitational Law)

كان نيوتن أول من أوضح طبيعة القوى المسؤولة عن الحركة من خلال قانونه الأول ، ونظراً لأن الكواكب تتحرك في مدارات دائرية تقريباً فلا بد من وجود قوة جاذبية لكي تسبب انحرافها عن المسار المستقيم ، وقد تبين بالتجربة أن الكرة المربوطة بخيط تتحرك بدائرة وتحتفظ بهذا المسار الدائري بفضل جذب الخيط لها الذي يتجه نحو مركز الدائرة ويسمى هذا الجذب للجسم نحو مركز الدائرة باسم قوة الجذب المركزية .

إستنتج نيوتن أن الكواكب تقع تحت تأثير قوة جاذبية بين الكواكب والشمس وأن هذه القوة تحفظ الكوكب في مساره الدائري حول الشمس ، ويلاحظ أيضاً إن القمر يدور حول الأرض فلا بد من وجود تجاذب بين القمر والأرض وأن هذه القوة هي التي تحفظ القمر في مساره الدائري حول الأرض ، وعليه فإن هذا التجاذب بين جسم وآخر هو ظاهرة عامة .

لذلك وضع نيوتن قانونه في الجاذبية العامة والذي ينص على أن (قوة التجاذب (\vec{F}_g) بين جسمين تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلة الجسم الأول (m_1) مع كتلة الجسم الثاني (m_2) وعكسياً مع مربع المسافة بينهما (r^2) كما مبين أدناه :

$$\vec{F}_g \propto \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (12-4)$$

$$\vec{F}_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (13-4)$$

حيث أن : -

\vec{F}_g : قوة التجاذب .

(G) : ثابت التناسب ويدعى بثابت الجاذبية وقيمته $(6.67 \times 10^{-11} N.m^2 / kg^2)$.

m_1 ، m_2 : كتلة الجسمين الأول والثاني على التوالي .

r^2 : مربع المسافة بين الجسمين .

5-4 تسارع (سقوط الحر وقوة الجاذبية

(Acceleration of Free Fall and Gravitational Force)

إن القوة (\vec{F}) المؤثرة في جسم كتلته (m) يسقط سقوطاً حراً بالقرب من سطح الأرض تكون مساوية إلى

وزن الجسم (mg) :

$$\vec{F}_g = mg \Rightarrow G \frac{M_e m}{R_e^2} = mg$$

$$g = G \frac{M_e}{R_e^2} \dots (14-4)$$

حيث أن :

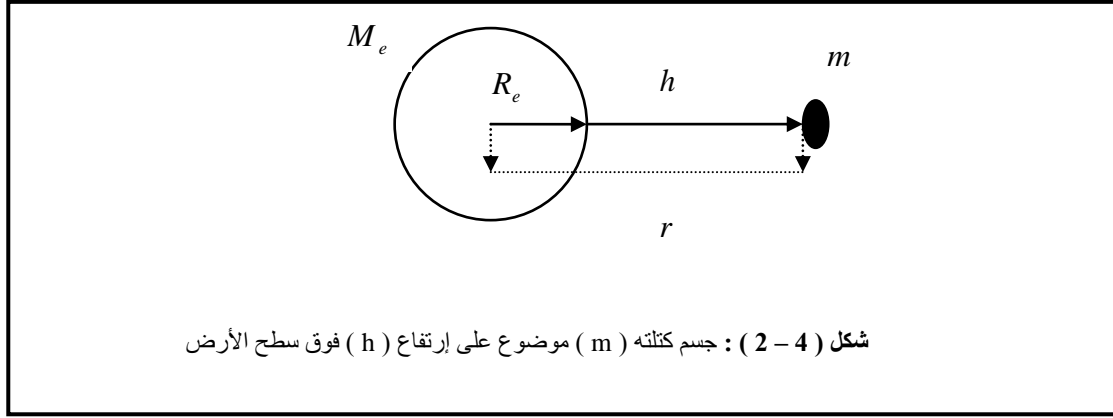
g : التسارع الأرضي بالقرب من سطح الأرض وقيمته ($9.8 m/s^2$).

G : ثابت الجاذبية وقيمته ($6.67 \times 10^{-11} N.m^2 / kg^2$).

M_e : كتلة الأرض وقيمته ($6 \times 10^{24} kg$).

R_e : نصف قطر الأرض وقيمته ($6.4 \times 10^6 m$).

إذا أخذنا الآن جسماً كتلته (m) وضع على إرتفاع (h) فوق سطح الأرض أو مسافة (r) من مركز الأرض حيث ($r = R_e + h$) كما موضح بالشكل (2 - 4) ، فإن قوة الجاذبية في هذه الحالة تساوي :



$$\vec{F}_g = mg' \Rightarrow G \frac{M_e \cdot m}{r^2} = mg'$$

$$g' = G \frac{M_e}{r^2} \dots (15-4)$$

g' : التعجيل الأرضي على إرتفاع (h) فوق سطح الأرض .

G : ثابت الجاذبية وقيمته ($6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2 / \text{kg}^2$) .

M_e : كتلة الأرض وقيمته ($6 \times 10^{24} \text{ kg}$) .

r : مسافة الجسم الموضوع على إرتفاع (h) من مركز الأرض ، ويساوي ($R_e + h$) .

وبما أن (R_e^2 أقل من r^2) لذلك فإن (g أكبر من g') ، أي أن قيمة التعجيل الأرضي تتناقص مع الإرتفاع .

مثال 4 - 8 : إذا علمت أن مقدار التجهيل الأرضي $(9.8m/s^2)$ ، ونصف قطر الأرض $(6.4 \times 10^6 m)$ ، وثابت

الجذب الأرضي $(6.67 \times 10^{-11} N.m^2 / kg^2)$ ، احسب كتلة الأرض ؟

الحل :

نفرض أن جسماً كتلته (m) موضوع على سطح الأرض عند ذلك فإن وزنه يساوي (mg) ، وعليه فإن

القوة (\vec{F}) المؤثرة في الجسم تكون مساوية إلى وزن الجسم :

$$\vec{F}_g = mg \Rightarrow G \frac{M_e \cdot m}{R_e^2} = mg$$

$$g = G \frac{M_e}{R_e^2} \dots (14-4)$$

$$\Rightarrow M_e = \frac{g \cdot R_e^2}{G}$$

$$\therefore M_e = \frac{(9.8)(6.4 \times 10^6)^2}{(6.672 \times 10^{-11})}$$

$$\Rightarrow M_e = 6 \times 10^{24} kg$$

مثال 4 - 9 : إذا كان وزن الجسم على سطح القمر هو سدس وزنه على سطح الأرض ، احسب التجهيل الجذبوي

على سطح القمر ، إذا علمت أن مقدار التجهيل الأرضي $(9.8m/s^2)$ ؟

الحل :

$$\vec{w}_{(moon)} = \frac{1}{6} \vec{w}_{(earth)} \Rightarrow \frac{\vec{w}_{(moon)}}{\vec{w}_{(earth)}} = \frac{1}{6}$$

$$\frac{mg_{(moon)}}{mg_{(earth)}} = \frac{1}{6} \Rightarrow \frac{g_{(moon)}}{g_{(earth)}} = \frac{1}{6}$$

$$g_{(moon)} = \frac{g_{(earth)}}{6} \Rightarrow g_{(moon)} = \frac{9.8}{6}$$

$$\Rightarrow g_{(moon)} = 1.6m/s^2$$

مثال 4 - 10 : احسب تسارع الجاذبية الأرضي (التجهيل الأرضي) على إرتفاع ($500km$) من سطح الأرض ،

إذا علمت أن ثابت الجذب الأرضي ($6.67 \times 10^{-11} N.m^2 / kg^2$) ، كتلة الأرض ($6 \times 10^{24} kg$) ،

ونصف قطر الأرض ($6.4 \times 10^6 m$) ؟

الحل :

من المعادلة (4 - 15) :

$$g' = G \frac{M_e}{r^2} \dots (15 - 4)$$

وبما أن (r) يمثل المسافة بين الجسم الموضوع على إرتفاع (h) من مركز الأرض ويساوي ($R_e + h$) .

$$r = R_e + h$$

$$r = (6.4 \times 10^6 + 500 \times 10^3)m = (6.4 \times 10^6 + 0.5 \times 10^6)m$$

$$r = 6.9 \times 10^6 m$$

$$\therefore g' = (6.672 \times 10^{-11}) \frac{(6 \times 10^{24})}{(6.9 \times 10^6)^2}$$

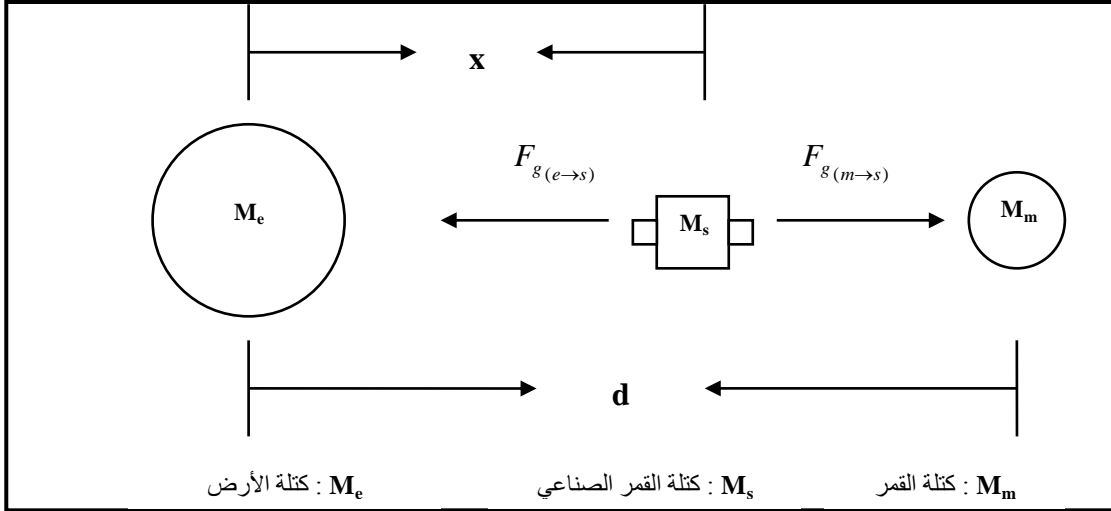
$$\Rightarrow g' = 8.4 m / s^2$$

مثال 4 - 11 : عند أي مسافة بين الأرض والقمر ينعدم وزن قمر صناعي ، علما بأن كتلة الأرض تساوي

81 مرة كتلة القمر ؟

الحل :

نفرض أن المسافة بين الأرض والقمر يساوي (d) ، إن وزن القمر الصناعي ينعدم عندما يكون على بعد (x) من الأرض ، مع ملاحظة إن إنعدام وزن القمر الصناعي يعني أن قوة جذب القمر للقمر الصناعي ($\vec{F}_{g(m \rightarrow s)}$) تساوي بالمقدار وتعاكس بالإتجاه قوة جذب الأرض للقمر الصناعي ($\vec{F}_{g(e \rightarrow s)}$) أي أن :



$$\vec{F}_{g(e \rightarrow s)} = \vec{F}_{g(m \rightarrow s)}$$

$$G \frac{M_e M_s}{x^2} = G \frac{M_m M_s}{(d-x)^2}$$

$$\frac{x^2}{(d-x)^2} = \frac{M_e}{M_m}$$

$$\frac{x}{(d-x)} = \sqrt{\frac{M_e}{M_m}}$$

$$\frac{x}{(d-x)} = \sqrt{81}$$

$$\Rightarrow \frac{x}{(d-x)} = 9$$

$$\therefore x = 0.9d$$

أي أن وزن القمر الصناعي ينعدم عندما يكون على بعد يساوي (0.9) من المسافة بين الأرض والقمر .

مسائل الفصل الرابع
قوانين نيوتن في الحركة
(Newton Laws In Motion)
((4))

س1 : قوة ثابتة تؤثر على جسم كتلته (5 kg) وتنخفض سرعته من (7 m/s) إلى (3 m/s) في زمن مقداره (3 s) . احسب مقدار القوة المؤثرة ؟

الإجابة: $\vec{F} = -6.7\text{ N}$

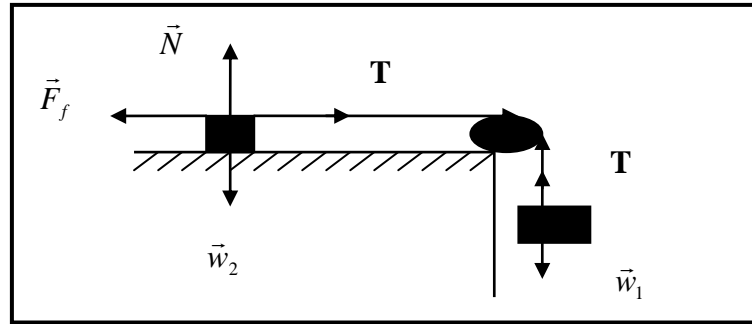
س2 : كتلة رائد فضاء (75 kg) . ما وزنه في الحالات الآتية :

1- على الأرض $(g = 9.8\text{ m/s}^2)$. 2- على القمر $(g = 1.6\text{ m/s}^2)$.

الإجابة: $\vec{w}_{onmoon} = 120\text{ kg.m/s}^2$ ، $\vec{w}_{oneartg} = 735\text{ kg.m/s}^2$

س3 : الشكل الآتي يُمثل جسمان كتليهما $(2\text{ kg}, 5\text{ kg})$ على التوالي مربوطان بحبل متصل الكتلة ويمر ببكرة ملساء ، إذا كان السطح خشبياً بمعامل احتكاك $(\mu = 0.2)$ ، احسب :

1- مقدار تعجيل (تسارع) المجموعة (\vec{a}) ؟ 2- الشد في الخيط (T) ؟



الإجابة: $\vec{T} = 16.8\text{ N}$ ، $\vec{a} = 1.4\text{ m/s}^2$

س4 : صندوق كتلته (70 kg) ينزلق على أرضية أفقية بقوة مقدارها (400 N) ، فإذا كان معامل الاحتكاك بين الصندوق والأرضية هو (0.5) أثناء إنزلاق الصندوق ، أوجد محلة (تعجيل) الصندوق ؟

الإجابة: $\vec{a} = 0.8\text{ m/s}^2$

س5 : جسم كتلته على الأرض (20 kg) أخذ إلى إرتفاع (160 km) فوق سطح الأرض ، فإذا علمت أن نصف قطر الأرض يبلغ حوالي (6370 km) ، وثابت الجذب الأرضي $(6.67 \times 10^{-11}\text{ N.m}^2/\text{kg}^2)$ ، وكتلة الأرض $(6 \times 10^{24}\text{ kg})$. احسب :

1- كتلة الجسم عند هذا الإرتفاع ؟ 2- وزن الجسم عند هذا الإرتفاع ؟

الإجابة: $\vec{w} = 0.19\text{ kN}$ ، $m = 20\text{ kg}$