الفصل الثالث

القوة والحركة

Physical Measurements

بعد أن يكمل القارئ هذا الفصل، ويستوعب المفاهيم والأفكار والمبادئ التي وردت خلاله، من المتوقع أن يكون قادراً على:

1. أن يصف الفروق بين كلٍ من الإزاحة والمسافة، والسرعة المتوسطة والسرعة الآنية، والتسارع المتوسط والتسارع الآني.
2. أن يفسّر العلاقات الرياضية التي تصف حركة الجسم على خط مستقيم بتسارع ثابت، بدلالة الكميات الفيزيائية المعبِّرة عنها.
3. أن يتذكر دائماً المفهوم الصحيح للقوة على أنَّها كمية اتجاهية تنطبق عليها الصفات الأربع للكمية المتجهة.
4. أن يميّزَ بين قوانين نيوتن الثلاثة ولاسيَّما عند استخدامها عملياً، وذلك من خلال حالة الجسم الساكنة أو الحركية عندما يخضع لتأثير القوة.
5. أن يصف كلاً من الاحتكاك الحركي والاحتكاك الساكن، ويستوعب الفرق بينهما.
6. أن يشرح معنى الكتلة القصورية وكتلة الجذب للجسم.

القوة والحركة

Force & Motion

3-1 المقدمة *Introduction*:

يهدف هذا الفصل إلى تقديم المفهوم المناسب لقوانين الحركة على خط مستقيم بتسارع ثابت، كما تهدف إلى بيان علاقة القوة بالحركة، وذلك من خلال تقديم المفاهيم المناسبة لجميع الكميات الفيزيائية المساهمة فيها كالإزاحة والسرعة والتسارع وربط ذلك بقوانين نيوتن في ا لحركة[1].

إنَّ علم الميكانيك *mechanics* يعتمد أساساً على مفهومي القوة *force* والحركة *motion* وعلاقتهما ببعضهما البعض، وبيان مفهوم القوة يعتمد على توضيح قوانين نيوتن الثلاثة وإدراك معانيها وربطها بقوانين الحركة.

ولا بد من التأكيد في هذا المقام أنَّ قوانين نيوتن الثلاثة تبقى صحيحة وتُطبق على نطاق واسع جداً باستثناء حالتين، نوردها هنا على سبيل التذكير فقط، وهما:

---

(1) تخصص عادة وحدة مستقلة لدراسة قوانين نيوتن في الحركة، وأخرى خاصة لأنماط الحركة، ولكننا اقتصرنا على نوع من أنماط الحركة، وارتأينا دمجها مع قوانين نيوتن، لصلتها المباشرة بها.

1- الحالة الأولى: إذا كانت الأجسام متناهيةً في الصغر *microscopic*، وهي تلك الأجسام التي يتعذر رؤيتها بالعين المجردة كالذرات مثلاً *atoms*، أو الجزيئات *molecules*، إذ أن ميكانيكا هذه الأجسام تتم دراستها باستخدام ما يعرف بـ "ميكانيك الكم *quantum mechanics*".

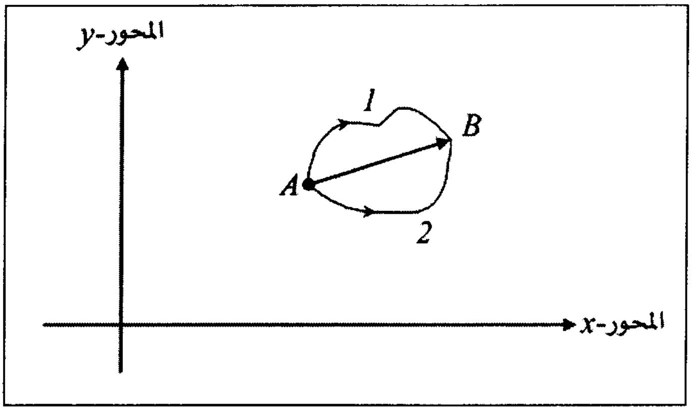
2- الحالة الثانية: إذا كانت الأجسام تسير بسرعة عالية جداً بحيث تكون سرعتها قريبة من سرعة الضوء *speed of light*، عندئذ تعالج حركة هذه الأجسام وفقاً لقوانين النسبية *relativity*.

وسنعرض فيما يلي المفاهيم الأساسية المطلوبة لدراسة الحركة على خط مستقيم بتسارع ثابت، كما سنعرض قوانين نيوتن الثلاثة، ونوضح علاقتها بهذا النوع من الحركة.

3-2 الإزاحة *Displacement*:

عندما يتحرك جسم مادي بين نقطتين معلومتين مثل *A* و*B*، انظر الشكل (3-1)، فإن إزاحته *displacement* هي الخط المستقيم الواصل بين النقطتين المذكورتين، وذلك للانتقال من النقطة *A* إلى النقطة *B*.

فعلى سبيل المثال بإمكان الجسم المادي المتحرك أن يسلك الطريق (1) أو الطريق (2) الموضحين في الشكل (3-1)، حيث يمثل كلٌّ منهما ما نطلق عليه المسافة *distance*، ولكن تبقى إزاحته معرَّفة على النحو الآتي: هي المتجه الواصل بين النقطتين *A* و*B*، بدايته عند النقطة *A*، ونهايته عند النقطة *B*، أي أنّها عبارة عن التغيير الصافي في موضع الجسم المادي المتحرك.



الشكل (3-1) يبين الفرق بين متجه الإزاحة ومفهوم المسافة

3-3 السرعة المتوسطة *Average Velocity*:

السرعة المتوسطة *average velocity* والتي عادة ما نشير إليها بالرمز $(\overline{v})$ ، وهي عبارة عن النسبة بين إزاحة الجسم المتحرك (Δx) والزمن المحدد (Δt) الذي يستغرقه الجسم كي يقطع تلك الإزاحة. أي أنّ:

$$\boxed{\overline{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}} \tag{3-1}$$

وهذا ما يشير رياضياً إلى أن السرعة المتوسطة $(\overline{v})$ هي عبارة عن ميل الخط البياني للمتغيرين (x, t) الإزاحة والزمن، حيث أن النقطة النهائية تمثلها الإحداثيات (x_2, t_2) والنقطة الابتدائية تمثلها الإحداثيات (x_1, t_1) ، وهاتان هما نقطتان يمر بهما الخط المستقيم المطلوب معرفة ميله، ويمكن التعبير عن ذلك بصفة عامة بالمعادلة الآتية:

$$x = f(t) \tag{3-2}$$

ومعنى ذلك أن (x) هي تابع *function* للزمن (t) ، ومن الواضح أن (x)

تمثل الإزاحة. وأخيراً لا بد من التأكيد على أن السرعة المتوسطة هي كمية اتجاهية *vector*.

Example (3-1) مثال

إذا كان موقع الجسم المادي المتحرك كتابع للزمن تمثله العلاقة الرياضية الآتية:

$$x = 3t - 4t^2 + t^3$$

1- حدد موقع الجسم المتحرك بعد زمن قدره $(1,2,3,4)$ ثانية.

2- حدد إزاحة الجسم المتحرك بين الزمنين $(t_1 = 0)$ و $(t_2 = 4s)$.

3- حدد السرعة المتوسطة للجسم بين الفترتين $(t_1 = 2s)$ و $(t_2 = 4s)$.

الحل *Solution*:

-1

$$x(1\,s) = 3(1) - 4(1)^2 + (1)^3 = 0$$

$$x(2\,s) = 3(2) - 4(2)^2 + (2)^3 = -2\,m$$

$$x(3\,s) = 3(3) - 4(3)^2 + (3)^3 = 0$$

$$x(4\,s) = 3(4) - 4(4)^2 + (4)^3$$

$$= 12 - 64 + 64 = 12\,m$$

-2

$$\Delta x = x(4\,s) - x(0\,s)$$

$$\Delta x = 12\,m - 0 = 12\,m$$

-3

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{12\,m}{4\,s} = 3(m/s)$$

$$\Delta x = x(4\,s) - x(2\,s) = 12 - (-2) = 14\,m$$

$$\Delta t = 4\,s - 2\,s = 2\,s$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{14\,m}{2\,s} = 7(m/s)$$

3-4 السرعة الآنية *Instantaneous Velocity*:

إن مفهوم السرعة الآنية *instantaneous velocity* يعتبر مفهوماً متأتياً عن مفهوم السرعة المتوسطة *average velocity* وذلك عندما يتقلص المجال الزمني للحركة ليصبح عند لحظة بدايتها، ويمكن التعبير عن ذلك رياضياً بالعلاقة الآتية:

$$\boxed{\vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}} \qquad (3\text{-}3)$$

وهكذا نجد أن السرعة الآنية (v) في المعادلة *(3-3)* هي عبارة عن المشتقة الأولى لتابع الإزاحة (x) بالنسبة للزمن (t)، وذلك عند زمن محدد، ولبيان ذلك تأمل المثال الآتي:

مثال (3-2) *Example*

جزيئة متحركة على المحور السيني، تمّ تحديد موقعها بالعلاقة الرياضية:

$$x = 2 - 2t + 4t^2$$

حيث تقاس الإزاحة (x) بالأمتار والزمن (t) بالثواني.

أوجد حسابياً سرعة الجزيئة الآنية عند الزمن $t = 1\,s$.

الحل **Solution**:

السرعة عند الزمن $t = 1\,s$ هي سرعة الجزيئة الآنية إذاً:

$$v(1s) = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}(2 - 2t + 4t^2)$$
$$= -2 + 8t = -2 + 8(1)$$
$$= 6\,(m/s)$$

3-5 التسارع *Acceleration*:

عندما تتغير سرعة جسم متحرك من السرعة الابتدائية (v_1) إلى السرعة النهائية (v_2) فإننا نقول في هذه الحالة بأن الجسم قد خضع لعملية تعجيل أو تسارع، ومن الممكن عندئذٍ تعريف التسارع المتوسط *average acceleration* والذي يشار إليه عادة بالرمز $(\bar{a})$ على النحو الآتي:

$$\boxed{\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}} \qquad (3\text{-}4)$$

أما التسارع اللحظي *instantanous acceleration* فهو عبارة عن:

$$\boxed{\vec{a} = lim_{\Delta t \to o} \ \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}} \qquad (3\text{-}5)$$

أي أن التسارع اللحظي كما هو واضح من المعادلتين *(3-3)* و*(5-3)* يعبِّر عن المشتقة الأولى لتابع السرعة اللحظية (v) بالنسبة للزمن (t)، والمشتقة الثانية لتابع الإزاحة (x) بالنسبة للزمن (t)، وذلك عند زمن محدد، ولبيان ذلك تأمل المثال الآتي:

مثال (3-3) *Example*

جسم يتحرك على المحور السيني حيث تمّ تحديد موقعه بالعلاقة الرياضية:

$$x = 50t + 10t^2$$

حيث تقاس الإزاحة (x) بالأمتار والزمن (t) بالثواني، وذلك بدءاً من الزمن $(t_1 = 0)$.

أوجد حسابياً:

1- السرعة المتوسطة للجسم خلال الثواني الثلاثة الأولى.

2- السرعة الآنية للجسم عند الزمن $t_2 = 3\ s$.

3- التسارع الآني للجسم عند الزمن $t_2 = 3\ s$.

الحل *Solution*:

1- السرعة المتوسطة تحسب بين الزمنين الابتدائي $t_1 = 0$ والنهائي $t_2 = 3\ s$.

$$\bar{v} = \frac{x(t=3s) - x(t=0)}{\Delta t}$$

$$x(t=3s) = 50(3) + 10(3)^2 = 240(m)$$

$$x(t=0) = 0$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 3 - 0 = 3(s)$$

$$\bar{v} = \frac{240(m)}{3(s)} = 80(m/s)$$

2- السرعة الآنية هي عبارة عن:

$$v = \frac{d}{dt}(50t + 10t^2)$$
$$v_{t=3} = 50 + 20t$$
$$v_{t=3} = 50 + 20 \times 3 = 110(m/s)$$

3- التسارع الآني هو عبارة عن:

$$a = \frac{dv}{dt}$$
$$a = \frac{d}{dt}(50 + 20t)$$
$$a_{t=3} = 20(m/s^2)$$

ملاحظة: نلاحظ من خلال هذا المثال أنَّ التسارع اللحظي هو المشتقة الثانية لتابع الإزاحة بالنسبة للزمن، وهو المشتقة الأولى لتابع السرعة اللحظية بالنسبة للزمن.

3-6 قوانين الحركة على خط مستقيم بتسارع ثابت

Constant Acceleration Motion:

كثيرة هي الحالات الحركية التي يكون فيها التسارع ثابتاً أو قريباً من الثبات، عندها فإن معنى التغير في الزمن يكون موضع تفكير عميق ولا سيما في حالة التسارع الآني، إذ أنَّ العلاقة الرياضية التي تعبّر عنه هي:

$$a = \frac{dv}{dt} = a_o = const.$$

أي أنه المشتقة الأولى للسرعة بالنسبة للزمن، حيث (a_o) هو التسارع عند لحظة بدء الزمن $t = 0$، وهو مقدار ثابت أي أنَّ $(a = a_o)$

وبضرب الوسطين بالطرفين، نجد أن:

$$dv = a\,dt$$

وبإجراء التكامل للطرفين (تكامل غير محدد) نجد أنَّ:

$$\int dv = \int a\,dt \qquad (3\text{-}6)$$
$$v = at + const.$$

ومن الممكن إيجاد مقدار الثابت *const.* وذلك بالرجوع إلى الشروط الابتدائية للحركة وهي:

$$v = v_o$$
$$t = o$$
$$v_o = a(o) + const$$

وهكذا، نجد أنَّ الثابت هنا هو عبارة عن السرعة الابتدائية للجسم، وقد تكون مساوية إلى الصفر وقد لا تكون كذلك.

$$v_o = const$$

إذاً بعد تعويض مقدار الثابت في المعادلة *(3-6)* فإنها تأخذ الشكل الآتي:

$$v = at + v_o$$

في هذه المعادلة تمثل (v) السرعة النهائية للجسم المتحرك بتسارع ثابت (a) ولذلك سوف نعطيها ومنذ الآن الرمز (v) أما (v_o)، فهي السرعة الابتدائية وسنعطيها الرمز (v_o) وبملاحظة أنَّ $(a = a_o)$ تصبح المعادلة *(3-7)* على النحو الآتي:

$$\boxed{v = v_o + at} \qquad (3\text{-}7)$$

وهي أول المعادلات للجسم المتحرك على خط مستقيم بتسارع ثابت.

ومعلوم لدينا أيضاً أن السرعة الآنية للجسم هي المشتقة الأولى للإزاحة بالنسبة للزمن، إذاً:

$$v = \frac{dx}{dt} = at + v_o$$

وبضرب الوسطين بالطرفين نجد أنَّ:

$$dx = at\,dt + v_o\,dt$$

وبإجراء التكامل -أيضاً- غير المحدد للطرفين نجد أن:

$$\int dx = a\int tdt + v_1\int dt$$
$$x = a\frac{t^2}{2} + v_o\,t + const \qquad (3\text{-}8)$$

ومن الممكن إيجاد مقدار الثابت من الشروط الابتدائية للحركة وهي:

$$t = o$$
$$x = x_o$$

وهكذا نجد أنّ الثابت هنا هو عبارة عن الإزاحة الابتدائية للجسم، وقد تكون مساوية إلى الصفر وقد لا تكون كذلك:

$$x_o = a(o) + v_o(o) + const$$

إذاً:

$$x_o = const$$

وهكذا تصبح المعادلة *(3-8)* على النحو الآتي:

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_o\,t + x_o$$

في هذه المعادلة تمثل *(x)* الإزاحة النهائية للجسم المتحرك وسنشير دائماً

بالرمز (x) بينما تشير (x_o) إلى الإزاحة الابتدائية وسنشير لها دائماً بالرمز (x_o) ، وعليه تصبح المعادلة على الشكل الآتي:

$$\boxed{(x-x_o)=\frac{1}{2}at^2+v_o t} \qquad (3\text{-}9)$$

وبالإمكان دمج المعادلتين (3-7) و(3-9) مع بعضهما ، وذلك على النحو الآتي:

من المعادلة (3-7) نجد أن الزمن (t) يساوي إلى:

$$t=\frac{v-v_o}{a} \qquad (3\text{-}10)$$

وبالتعويض في المعادلة (3-9) نجد أن:

$$\begin{aligned}(x-x_o)&=\frac{1}{2}a\frac{(v-v_o)^2}{a^2}+v_o\frac{(v-v_o)}{a}\\&=\frac{1}{2}\frac{(v^2+v_o^2-2v\,v_o)}{a}+\frac{v\,v_o-v_o^2}{a}\\&=\frac{v^2+v_o^2-2v\,v_o+2v\,v_o-2v_o^2}{2a}\\&=\frac{v^2-v_o^2}{2a}\end{aligned}$$

ملاحظة: لاحظ أننا وحدنا المقامات على الطرف الأيمن للمعادلة.

$$\boxed{v^2-v_o^2=2a(x-x_o)} \qquad (3\text{-}11)$$

وخلاصة القول: أننا نستطيع وصف حركة الجسم على خط مستقيم بتسارع ثابت وصفاً كاملاً بالمعادلات الآتية[1]:

---

(1) يمكننا التعبير عن صافي مقدار الإزاحة $(x-x_o)$ في معادلات الحركة على خط مستقيم بتسارع ثابت بالرمز (d) ، أي أنّ: $(x-x_o)=d$.

$$\left.\begin{aligned} v &= v_o + at \\ (x-x_o) &= \frac{1}{2}at^2 + v_o t \\ (v^2 - v_o^2) &= 2a(x-x_o) \end{aligned}\right\}$$

معادلات جسم متحرك على خط مستقيم بتسارع ثابت:

مثال (3-4) Example

بدأ قطار حركته من السكون بتسارع ثابت، وعند زمن معين كانت سرعته $(30\ m/s)$، ارتفعت بعد ذلك إلى $(50\ m/s)$ وذلك بعد أن قطع مسافة قدرها $(160\ m)$ أوجد حسابياً:

1- تسارع القطار.

2- الوقت الذي استغرقه القطار حتى أصبحت سرعته $(30\ m/s)$.

3- المسافة التي قطعها القطار من السكون إلى أن أصبحت سرعته $(30\ m/s)$.

الحل Solution:

1- من المعادلة *(3-11)*

$$a = \frac{v^2 - v_o^2}{2(x-x_o)}$$

$$= \frac{\left[(50^2) - (30)^2\right]\left(\frac{m}{s}\right)^2}{2(160)m} = 5(m/s^2)$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{(v - v_o)}{a} = \frac{(50-30)m/s}{5\,m/s^2}$$

$$= 4(s)$$

2- الوقت الذي استغرقه القطار حتى أصبحت سرعته *(30 m/s)* هو:

$$t = \frac{v}{a} = \frac{30(m/s)}{5(m/s^2)}$$
$$= 6.5\ (s)$$

3- عند السكون تكون كل من:

$$x - x_o = \frac{1}{2}at^2 + v_o t$$
$$x_o = 0$$
$$v_o = 0$$
$$x = \frac{1}{2}at^2$$
$$x = \frac{1}{2}(5\,m/s^2)(6.5\,s)^2$$
$$= 90\ (m)$$

3-7 قانون نيوتن الأول في الحركة *Newton's First Law*:

في محاولة لبلورة المفاهيم الفيزيائية وتحديد العلاقة بين الأجسام وحالتها الحركية، استطاع نيوتن أن يحدد أول هذه المفاهيم عندما عزل القوة عن الجسم الذي تؤثر عليه، وذلك عندما افترض أن محصلة هذه القوى المؤثرة على الجسم تساوي الصفر، وما دام الأمر كذلك فإن تسارع الجسم يساوي الصفر أيضاً وبناء على هذا الافتراض شخّص نيوتن حالتين اثنتين:

الحالة الأولى: إذا كانت محصلة القوى الخارجية المؤثرة على جسم ساكن تساوي الصفر فإن الجسم سوف يبقى ساكناً.

الحالة الثانية: إذا كانت محصلة القوى الخارجية المؤثرة على جسم

تساوي الصفر ولكنه في هذه الحالة يتحرك بسرعة ثابتة، فإنه يستمر بحركته وبسرعة ثابتة، ما لم تؤثر عليه قوة خارجية جديدة.

وهذه المفاهيم كان لا بد لها من أن تستقر وتأخذ مكانتها وذلك بأن تنسب إلى نظام إسناد أو جملة إسناد *reference system*، كي تأخذ شكلها العملي المطلوب، كما أن ذلك النظام لا بد أن يكون متجانساً تماماً مع طبيعة هذا القانون الذي أخذ بعد ذلك تسمية نظام القصور الذاتي *inertia law*، أو قانون القصور الذاتي، أو كما تسميه بعض المراجع "قانون العطالة".

إن الحالة الأولى تأتي متوافقة مع ملاحظاتنا اليومية مباشرة ولا صعوبة على الإطلاق في إدراك مفهومها، ولعلنا نتأمل مجموعة من الأجسام الساكنة في المحيط الذي نتواجد فيه بهدف تعميق فهمنا ومطابقة هذا القانون واقعياً.

أما الحالة الثانية فهي الحالة التي تفترض انعدام محصلة القوى التي تعيق حركة الجسم بسرعة ثابتة، وهذا أمر يصعب تحقيقه في سياق الواقع، ولكن القانون يبقى صحيحاً ضمن نصه وفرضياته، كما أن الحالة الأولى لهذا القانون "قانون القصور الذاتي" تشير إشارة هامة إلى شروط التوازن في علم الحركة *equilibrium conditions*، وذلك بمقتضى أن محصلة القوى الخارجية المؤثرة على الجسم تساوي صفراً، يعني بالضرورة أن يبقى الجسم ساكناً أي أن:

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

وكذلك فإن كمية العزم الخطي للجسم تساوي:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

حيث إن $(\vec{p})$ تمثل كمية العزم الخطي للجسم *momemtum*، كتلته (m)، و $(\vec{v})$ هي سرعته الثابتة.

3-8 قانون نيوتن الثاني في الحركة *Newton's Second Law*:

إذا كانت محصلة القوى الخارجية $\left(\sum \vec{F}\right)$ المؤثرة على جسم كتلته (m) لا تساوي الصفر، فإنها سوف تكسبه تسارعاً مقداره $(\vec{a})$ يتناسب تناسباً طردياً مع مقدار هذه القوة، ويكون اتجاهه بنفس اتجاهها.

$$\sum \vec{F} \propto \vec{a} \qquad (3\text{-}12)$$

وهذا يعني أنَّ:

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2} = \frac{F_3}{a_3} = const.$$

إن هذا الثابت هو عبارة عن كتلة الجسم (m)، والكتلة كما نعلم هي كمية قياسية تعتمد على مقدار ما يحتويه الجسم من مادة، وهي التي تمانع القوة الخارجية المؤثرة التي تعمل على تغيير الحالة الحركية للجسم. وهكذا فإن العلاقة الرياضية *(3-12)* تصبح على الشكل الآتي:

$$\boxed{\sum \vec{F} = m\vec{a}} \qquad (3\text{-}13)$$

ومن الضروري هنا أن نتأمل جيداً ونعيِّن القوى الخارجية *external forces* المؤثرة على الجسم، مع ضرورة إهمال القوى الداخلية *internal forces*، مثل تلك القوى التي يؤثر بها جزء من الجسم على بقية أجزائه الأخرى، وعكس ذلك.

والعلاقة أو القانون (3-13) شأنها شأن أي معادلة أخرى يمكننا إعادة صيغتها الرياضية العامة. مستخدمين الأبعاد الفراغية الثلاثة (x, y, z) كي تأخذ الشكل التحليلي الآتي:

$$\left.\begin{aligned}\sum \vec{F}_x &= m\vec{a}_x\\ \sum \vec{F}_y &= m\vec{a}_y\\ \sum \vec{F}_z &= m\vec{a}_z\end{aligned}\right\} \qquad (3\text{-}14)$$

إن هذه المعادلات الثلاث (3-14) تبيّن لنا كيف تتأثر محصلة القوة المؤثرة على الكتلة (m) بمركبات التسارع الثلاث (a_x, a_y, a_z)، باعتبارها هي الأخرى كميات اتجاهية.

وإذا ما عدنا إلى المعادلة (3-13) واستخدمنا النظام الدولي للقياس (SI) الذي درسناه في الفصل الأول من هذا الكتاب، نجد أن:

$$IN = (1\,kg)\,(1\,m/s\,2)$$

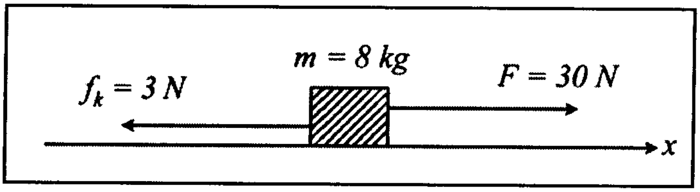
مثال Example (3-5)

جسم كتلته $(8\,kg)$ يستقر على سطح أفقي خشن، تَعرض لتأثير قوة خارجية أفقية مقدارها $(30\,N)$، أوجد حسابياً تسارع هذا الجسم إذا علمت أنَّ:

1- يؤثر السطح الخشن على الجسم بقوة احتكاك مقدارها $(3\,N)$.

2- هل يتغير مقدار التسارع إذا كان السطح أملساً؟ أوجد مقداره حسابياً.

الحل **Solution**:



الشكل (2-3)، مثال (5-3)

1- باستخدام قانون نيوتن الثاني وبملاحظة أنّ كل من القوتين (f_k, F) تعملان في اتجاهين متعاكسين وتقعان على الخط الأفقي (x) نجد أنَّ:

$$\sum F_x = F - f_k$$
$$30 - 3 = 8\ (a_x)$$
$$a_x = \frac{27}{8} = 3.375\ (m/s^2)$$

2- من الواضح أنّ قوة الاحتكاك في هذه الحالة تساوي الصفر وهذا يعني أنَّ:

$$\sum F_x = ma$$
$$30 = 8\ (a_x)$$
$$a_x = \frac{30}{8} = 3.75\ (m/s^2)$$

مثال (6-3) Example

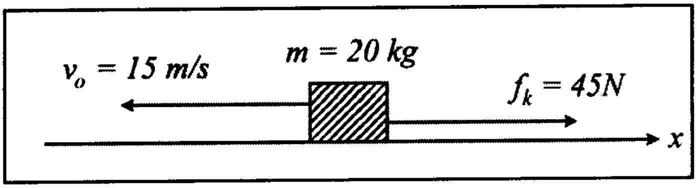
جسم كتلته $(20\ kg)$ ينزلق بسرعة ابتدائية مقدارها $(15\ m/s)$ على سطح أفقي خشن، إذا كان هذا الجسم المنزلق يعاني من تأثير قوة احتكاك مقدارها $(45\ N)$.

1- كيف تصف حركة هذا الجسم؟ مثّل ذلك بالرسم المناسب.

2- أوجد حسابياً تسارع الجسم.

3- أوجد حسابياً الزمن اللازم كي تصبح سرعته النهائية مساوية إلى الصفر.

الحل **Solution**:



الشكل (3-3)، مثال (3-6)

1- من الواضح أن الجسم يتحرك نحو اليسار وبسرعة $(v_o = 15 m/s)$، ولا توجد قوة تدفعه بهذا الاتجاه $(F = 0)$.

2- باستخدام قانون نيوتن الثاني نجد أنَّ:

$$\sum \vec{F}_x = m\vec{a}_x$$
$$F - f_k = ma_x$$
$$0 - 45 = 20\ (a_x)$$
$$a = \frac{-45}{20} = -2.25\ (m/s^2)$$

أي أنه تسارع تباطئي.

3- لحساب الزمن اللازم كي تصبح سرعته النهائية مساوية للصفر، نستطيع الاستفادة من تعريف التسارع، حيث أنَّ:

$$a = \frac{v - v_o}{t}$$

$$t = \frac{v - v_o}{a} = \frac{0 - 15}{-2.25} = 6.6\,(s)$$

أي أن الجسم سوف يتوقف بعد مرور $(6.6\,s)$.

Example (3-7) مثال

إلكترون كتلته $(9.1 \times 10^{-31}\,kg)$، يسير بسرعة ابتدائية مقدارها $(v_o = 10^6\,m/s)$ في الاتجاه الأفقي، دخل بين لوحي مكثف حيث أثرت عليه قوة مقدارها $(8 \times 10^{-17}\,N)$ وفي الاتجاه العمودي، وذلك لفترة مقدارها $(10^{-8}\,s)$.

أوجد حسابياً سرعته عندما يخرج من المكثف الكهربائي.

الحل **Solution:**

هذا المثال يجمع بين قانون نيوتن الثاني، وقانون الحركة على خط مستقيم بتسارع ثابت، ومن الواضح أنّ التسارع في الاتجاه العمودي باتجاه تأثير القوة. إذاً:

$$v = v_o + at$$

وبما أنه يسير بسرعة ثابتة على المحور الأفقي فإن تسارعه بهذا الاتجاه يساوي الصفر

$$a_x = 0$$

$$v_{oy} = 0$$

وبتطبيق قانون نيوتن الثاني على الإلكترون ذي الكتلة (m_e) نجد أن:

$$\sum F_y = m_e a_y$$

$$F_y = m_e a_y$$

$$a_y = \frac{F_y}{m_e}$$

$$v_y = v_{oy} + \left(\frac{F_y}{m_e}\right)t$$

$$= 0 + \left(\frac{8\times 10^{-17}}{9.1\times 10^{-31}}\right)\times 10^{-8}$$

$$= 8.79\times 10^{5}\ (m/s)$$

3-9 الوزن *Weight*:

يعتبر الوزن *weight* من التطبيقات الهامة والمباشرة لقانون نيوتن الثاني في صيغته المعروفة $(\vec{F} = m\vec{a})$، وذلك عندما نعتبر أنّ تسارعَ الجاذبية الأرضية ثابت، والوزن لجسم ما هو القوة التي تشده أو تسحبه في كل الظروف نحو مركز الأرض، وهذه القوة يمكن حسابها بواسطة قانون نيوتن للجذب العام، وذلك للتأكيد على أن سببها هو الشد أو الجذب الأرضي *gravitational attraction* بين كتلة الأرض وكتلة الجسم، أما مقدار وزن الجسم فنعبّر عنه بالعلاقة الرياضية:

$$\vec{W} = m\vec{g} \qquad \text{(وزن الجسم)} \qquad (3\text{-}15)$$

وهذا الوصف ينطبق على كل جسم موجود داخل مجال تأثير الجاذبية الأرضية حيث تعبّر (m) عن كتلة الجسم، و $(\vec{g})$ عن تسارع الجاذبية

الأرضية، ويُلاحظ من خلال المقارنة بين هذه العلاقة وقانون نيوتن الثاني، أن $(\vec{g})$ قد حلت بدلاً من $(\vec{a})$ وهو التسارع الناشئ عن القوة بصفة عامة.

ومن المناسب إعادة صياغة العلاقة (3-15) باستخدام متجه الوحدة للمحور العمودي (y) الموازي لمحور تأثير الأرض والمتجه نحو مركزها $(\hat{j})$ على النحو الآتي:

$$\boxed{\vec{W} = -m\vec{g}\hat{j}} \qquad \text{(الوزن بدلالة متجه الوحدة)} \qquad (3\text{-}16)$$

وواضحٌ أنَّ الإشارة السالبة تدل على أن متجه الوزن يكون دائماً في المنطقة السالبة من المحور الصادي $(y\text{-}axis)$، وهو باتجاه مركز الأرض.

ولقد أثبتت الدراسات التجريبية الحقائق الآتية:

1- يتناسب وزن الجسم تناسباً طردياً مع كتلته.

2- إن ثابت التناسب هو عبارة عن (g)، أي تسارع الجاذبية الأرضية.

وتأسيساً على ذلك فإنه يتوجب علينا الإشارة إلى نوعين من الكتلة هما:

أ- الكتلة القصورية للجسم *inertia mass*: وهي عبارة عن ثابت التناسب بين محصلة القوى المؤثرة في الجسم والتسارع الذي يكتسبه نتيجة لذلك، وفقاً لقانون نيوتن الثاني في الحركة، أي أن:

$$m_{inertia} = \frac{\sum F}{a} \qquad \text{(الكتلة القصورية)} \qquad (3\text{-}17)$$

ب- كتلة الجذب للجسم *attraction mass*: وهي عبارة عن مقياس لمقدار استجابة الجسم لقوة الجاذبية الأرضية. ولتبسيط المسألة، افرض أن

لـدينا جسـمان وزناهمـا متسـاويان $(\vec{W}_1, \vec{W}_2)$ ، فهـذا يقتضـي بالضـرورة أن كتلتي الجاذبية لهما متساويتان (m_{1g}, m_{2g}).

وهذا يؤدي إلى أن:

$$\frac{m_{1g}}{m_{2g}} = \frac{\vec{W}_1}{\vec{W}_2} \tag{3-18}$$

وبمـا أن الجسـم خاضـع لتـأثير قـوة الـوزن، فـإن ذلـك سـيؤدي إلى وجـود تسـارع بسـبب هـذا التـأثير نطلق عليـه تسـارع الجاذبيـة الأرضـية *gravitational acceleration* أو تسـارع السقوط الحر *free falling acceleration* وهـو مـا نرمـز له عادة بالحرف (g). وباستخدام قانون نيوتن الثاني نجد أن:

$$\left.\begin{aligned} \vec{W}_1 &= (m_1)(g) \\ \vec{W}_2 &= (m_2)(g) \end{aligned}\right\} \tag{3-19}$$

وبتعويض معادلتي الوزن *(3-19)* في المعادلة *(3-18)* نجد أن:

$$\frac{m_{1g}}{m_{2g}} = \frac{m_1}{m_2} = const.$$

وبصورة عامة نجد أن:

$$m \propto m_g$$

ومعنى ذلك أن الكتلة القصورية للجسم تتناسب طردياً مع كتلة الجاذبية له وفي حال استخدام الكيلوغرام كوحدة لقياس الكتلتين فإننا نجد:

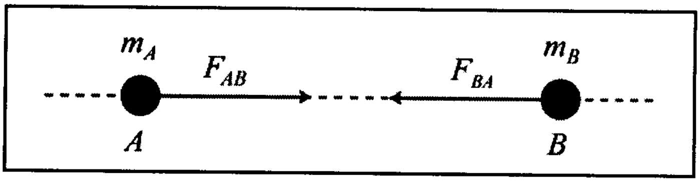
$$\frac{m}{m_g} = 1 \quad , \quad m = m_g$$

أي أنهما متساويتان.

3-10 قانون نيوتن الثالث *Newton's Third Law*:

من الممكن دائماً أن نتذكر المفهوم العام لقانون نيوتن الثالث، وذلك إذا ما تذكرنا المثال البسيط والذي يمكن أن يكون قد مر بأي واحد منا عند الطرق على مسمار بقوة باستخدام المطرقة، والفكرة هنا هي: أن محصلة القوة التي تؤثر بها المطرقة على المسمار تقابلها قوة تأثير المسمار على المطرقة، وهما قوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه. ولبيان المفهوم العام لقانون نيوتن الثالث، انظر الشكل (4-3)، افرض أن الجسم (A) يؤثر بقوة مقدارها $(\vec{F}_{AB})$ على الجسم (B)، لقد دلت التجارب على أن الجسم (B) يؤثر بقوة مقدارها $(\vec{F}_{BA})$ على الجسم (A) وهاتان القوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه، وهذا ما يمكن التعبير عنه بالعلاقة الرياضية الآتية:

$$\boxed{\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}} \qquad (3\text{-}20)$$



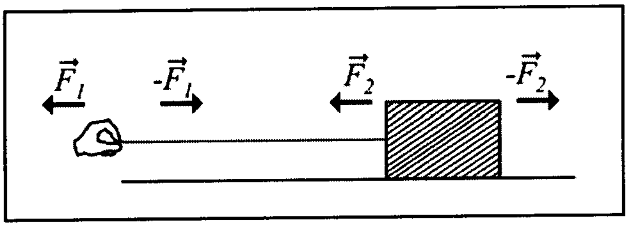
الشكل (4-3) ويبين قانون نيوتن الثالث

وبصفة عامة يمكن إعادة صياغة قانون نيوتن الثالث على النحو الآتي:

لكل فعل[1] رد فعل يساويه في المقدار ويعاكسه في الاتجاه. ومن المهم جداً التأكيد على أن هذا القانون ممكن التطبيق فقط في إطار القصور الذاتي *intertial frames* أو بعبارة أخرى فإنه يفسر تأثير القوى الحقيقية التي

(1) من المناسب استخدام تعبير لكل قوة فعل بدلاً من استخدام كلمة فعل لوحدها.

ترافقها ردود فعل واضحة وأساسية. إن القوة الأولى هي ما تعرف بقوة الفعل *action*، أما القوة الثانية فهي ما تعرف بقوة رد الفعل *reaction*. ولا بد من التأكيد على أن القوى في الطبيعة توجد على شكل أزواج متساوية في المقدار ومتعاكسة في الاتجاه، ولا وجود للقوة المفردة، والقوتان تمتلكان الطبيعة والخصائص نفسها، انظر الشكل (5-3).



الشكل (5-3) قانون نيوتن الثالث وتظهر فيه أزواج القوى $(F_1,-F_1)$ و $(F_2,-F_2)$

ومن الأمثلة على قانون نيوتن الثالث:

أ- إذا تأملنا القوة التي يؤثر بها جسم موجود على سطح الأرض على الأرض نفسها، نجد أن قوة تأثير الجسم هي $(\vec{W})$ باتجاه مركز الأرض، تقابلها الأرض بقوة رد فعل هي $(\vec{N})$ تتجه من مركز الأرض نحو الجسم، ولهما خط التأثير نفسه.

ب- قوى الجذب المتبادلة بين الأجرام السماوية فالشمس تجذب الأرض نحوها بقوة الفعل $(\vec{F})$ والأرض تجذب الشمس نحوها بقوة رد الفعل $(\vec{N})$، مع بقاء كل منها في مداره.

جـ- النواة تجذب الإلكترون نحوها أيضاً بقوة فعل $(\vec{F})$ والإلكترون يجذب النواة نحوه بقوة رد فعل $(\vec{N})$، مع بقاء الإلكترون في مداره والنواة في موقعها.

3-11 الاحتكاك Friction:

عندما تعمل قوة ما ولتكن $(\vec{F})$ على سحب جسم موجود على سطح جسم ما، فإن قوة مماسية تنشأ بين الجسم والسطح الموجود عليه تعرقل وتعيق حركة الجسم الأول على الجسم الثاني نتيجة لتشابك النتوءات المجهرية للجسمين ببعضهما البعض، وهذا ما يمكن التعبير عنه بقوة معيقة للحركة أثّر بها الجسم الثاني (السطح) على الجسم الأول (الجسم المتحرك) والتي نسميها قوة الاحتكاك *friction force*، إن أقل قيمة لهذه القوة تساوي الصفر ثم تبدأ بالازدياد التدريجي إلى أن تصل إلى قيمتها القصوى وذلك عندما يكون الجسم على وشك الانزلاق.

إن هذه القوة تأخذ تسميتين مختلفتين بحسب الحالة الحركية للجسم الخاضع لتأثير القوة الخارجية، وسنتداول في دراستنا هذه حالتين مختلفتين معروفتين لسطح الجسم الذي يحصل عليه الاحتكاك.

1- الاحتكاك على سطح أفقي.

2- الاحتكاك على سطح مائل.

3-11-1 الاحتكاك على سطح أفقي:

وبهدف توضيح هذا الأمر واستبعاد مواطن اللبس فيه، سنناقش حالتين مختلفتين لمفهوم قوة الاحتكاك:

أ- قوة الاحتكاك الساكن *static frictional force*:

إذا كان الجسم المراد تحريكه ساكناً على الرغم من تأثير القوة الخارجية $(\vec{F})$ عليه، فإن قوة الاحتكاك في هذه الحالة تسمى قوة

الاحتكاك الساكن *static frictional force* واختصاراً نشير إليها بالرمز (f_s) وذلك كدليل على بقاء الجسم ساكناً، ومن المناسب ذكره هنا أن القوة (f_s) تعتمد على مقدار القوة العمودية $(\vec{N})$ التي يؤثر بها السطح على الجسم المنزلق، وهي كما نعلم من مفهومنا لقانون نيوتن قوة رد الفعل.

ب- قوة الاحتكاك الحركي *kinetic frictional force*:

إذا تحرك الجسم بعد خضوعه لتأثير القوة الخارجية $(\vec{F})$ عليه، فإن قوة الاحتكاك في هذه الحالة تسمى قوة الاحتكاك الحركي *kinetic frictional force* واختصاراً نشير إليها بالرمز (f_k)، وذلك كدليل على تحرك الجسم.

ومن المهم جداً أن نُذكّر في هذا المقام ببعض خصائص قوى الاحتكاك:

1- إذا لم يتحرك الجسم تحت تأثير القوة الخارجية $(\vec{F})$ فهذا يعني من الناحية العملية أن العلاقة بين القوتين هي:

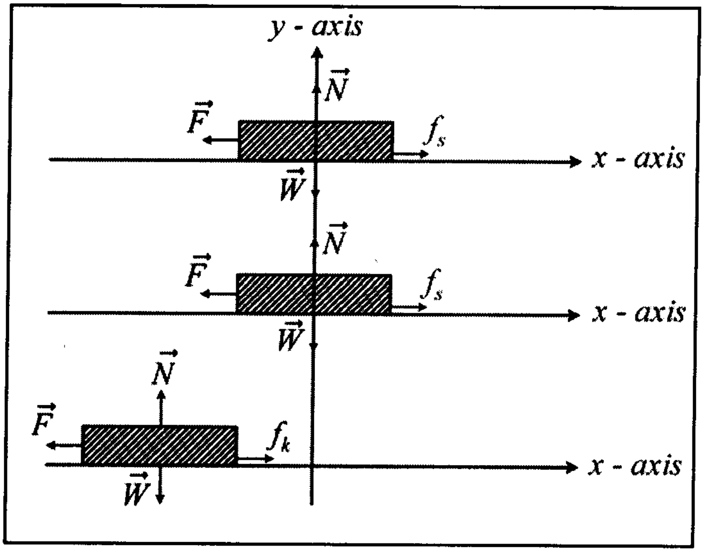
$$\vec{F} \le \vec{f}_s \qquad (3\text{-}21)$$

والقوتان $(\vec{F})$ و $(\vec{f}_s)$ موازيتان تماماً لمحور الحركة، والقوة $(\vec{f}_s)$ معاكسة في الاتجاه للقوة $(\vec{F})$، وهي كما تلاحظ من الشكل (3-6) مماسة للسطح.

2- تصل قوة الاحتكاك الساكن $(\vec{f}_s)$ إلى أقصى قيمة لها (f_{smax}) وذلك قبل لحظة بدء حركة الجسم مباشرة ويعبّر عنها رياضياً بالعلاقة الآتية:

$$\boxed{\vec{f}_{s\,max} = \mu_s \vec{N}}$$ (قوة الاحتكاك الساكن) (3-22)

حيث $(\vec{N})$ هي عبارة عن قوة رد فعل الوزن $(\vec{W})$، والرمز (μ_s) هو معامل الاحتكاك الساكن *coefficient of static friction*.



الشكل (6-3) يبين الاحتكاك، وقوى الاحتكاك (f_s) و(f_k) على سطح افقي

3- إذا بدأ الجسم بالحركة على مستوى السطح، فإن مقدار قوة الاحتكاك يتناقص إلى القيمة $(\vec{f}_s)$ حيث تُعرّف هذه القوة عندئذٍ بالعلاقة الرياضية الآتية:

$$\boxed{\vec{f}_k = \mu_k \vec{N}}$$ (قوة الاحتكاك الحركي) (3-23)

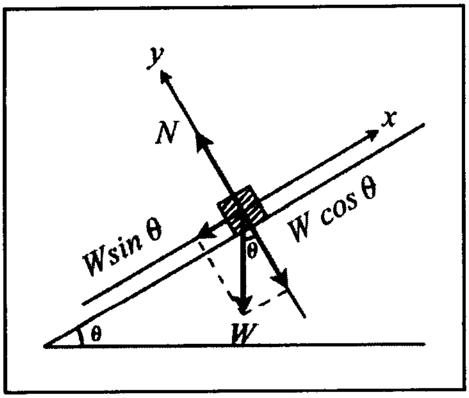
لاحظ هنا أنّ الرمز (μ_k) هو معامل الاحتكاك الحركي *coefficient of kinetic friction*.

3-11-2 الاحتكاك على مستوي مائل:

سندرس هذا النوع من الحركة دراسة متأنية وذلك بهدف التفريق بين حالتين مختلفتين، في الحالة الأولى تكون قوة الاحتكاك مساوية إلى الصفر؛ أي أنها لا تؤثر في حركة الجسم، بينما تكون في الثانية أكبر من الصفر أي أنها ذات قيمة مؤثرة في حركة الجسم.

أ- الحركة على المستوي المائل (بدون احتكاك)

Nonfrictional incline surface motion: تأمل الشكل (3-7).



الشكل (3-7)

نلاحظ من الشكل أنّ الجسم ذو الكتلة (m) والوزن (W)، موجود على سطح أملس تماماً، مائل على الأفق بزاوية (θ)، وبهدف تحليل وزن الجسم استخدمنا محورين متعامدين (x, y) مركزهما، عند مركز ثقل الجسم، والآن نلاحظ أنّ القوى المؤثرة على الجسم المتحرك هي:

1- وزن الجسم: $(\vec{W} = mg)$

حيث (g) هي تسارع الجاذبية الأرضية، ونلاحظ أنّ متجه الوزن يشير رأسياً إلى أسفل.

2- قوة تأثير الجسم عمودياً في المستوي $(\vec{N})$.

ونلاحظ أن القوتان $(\vec{W})$ و$(\vec{N})$ ليستا متوازنتين، ولهذا يبدأ الجسم بالانزلاق.

نقوم الآن بتحليل الوزن إلى مركبتيه العمودية والأفقية فنجد أنّ:

المركبة الموازية للمستوي وهي: $W_x = W \sin \theta$

المركبة العمودية على المستوي وهي: $W_y = W \cos \theta$

ونلاحظ بسهولة أنّ القوتين (N) و(W_y) متساويتان في المقدار ومتعاكستان بالاتجاه، أي أن محصلة هاتين القوتين تساوي الصفر:

$$W_y + N = 0$$

أما القوة (W_x) فهي القوة المحركة للجسم والتي ستكسبه تسارعاً نستطيع إيجاده من قانون نيوتن الثاني، أي أنَّ:

$$W_x = mg \sin \theta = ma$$

$$a = g \sin \theta \qquad (3\text{-}24)$$

ونلاحظ في هذه الحالة ومن خلال العلاقة الرياضية (3-24) أن تسارع الجسم المتحرك على المستوي المائل بدون احتكاك لا يعتمد على كتلة الجسم.

مثال (3-8) *Example*

إذا كانت كتلة الجسم المتحرك على سطح مائل وبدون احتكاك والمبيّن في الشكل (3-7) تساوي $(20\ kg)$، وزاوية الميل تساوي $(45°)$.

أوجد حسابياً تسارع الجسم، معتبراً أن مقدار تسارع الجاذبية الأرضية يساوي $(g = 9.8\ m/s^2)$.

الحل *Solution*:

باستخدام العلاقة الرياضية *(3-24)* نجد أن:

$$\theta = 45°$$
$$a = g \sin \theta$$
$$= (9.8) \sin (45°) = 6.93\ (m/s^2)$$

ونلاحظ مجدداً أنه لا تأثير لكتلة الجسم على تسارعه.

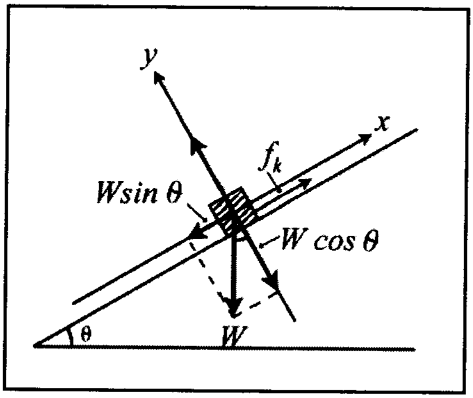
سؤال: متى يتساوى تسارع الجسم المنزلق مع تسارع الجاذبية الأرضية؟ وضّح ذلك مستعيناً بالعلاقة الرياضية *(3-24)*.

ب- الحركة على المستوي المائل (بوجود الاحتكاك)

Frictional incline surface motion:

تأمل الشكل (3-8).

نلاحظ من الشكل أنّ الجسم ذو الكتلة (m) والوزن $(\vec{W})$ موجود على سطح خشن، مائل على الأفق بزاوية (θ)، ومثلما فعلنا في حالة السطح الأملس عديم الاحتكاك، نستخدم محورين متعامدين (x,y) مركزهما عند مركز ثقل الجسم، والآن نجد أنّ القوى المؤثرة على الجسم المتحرك هي:



الشكل (3-8)

1- وزن الجسم: $(\vec{W} = mg)$.

حيث (g) ترمز إلى تسارع الجاذبية الأرضية، ونلاحظ أيضاً أن متجه الوزن يشير رأسياً إلى الأسفل.

2- قوة تأثير الجسم عمودياً في المستوي $(\vec{N})$.

ونلاحظ هنا كما في الحالة الأولى أن القوتين $(\vec{W})$ و$(\vec{N})$ ليستا متوازنتين ولهذا يبدأ الجسم بالانزلاق، وكما فعلنا في الحالة الأولى نحلل الوزن إلى مركبتيه العمودية والأفقية.

$$W_x = W \sin \theta$$

$$W_y = W \cos \theta$$

والقوتان $(\vec{N})$ و$(\vec{W}_y)$ محصلتهما أيضاً تساوي الصفر كما في الحالة الأولى، ولكن القوة (W_x) تعاكسها قوة الاحتكاك الحركي (f_k) ولهذا نجد أنّ محصلة القوى التي ستُكْسب الجسم تسارعاً، يمكننا إيجاده من قانون نيوتن الثاني، وتكون على النحو الآتي:

$$\sum F_x = W_x - f_k = ma$$
$$mg \sin\theta - f_k = ma$$

$$a = \frac{mg \sin\theta - f_k}{m} \qquad (3\text{-}25)$$

مثال (3-9) Example

إذا كانت كتلة الجسم المتحرك على السطح الخشن المائل المبيّن في الشكل (3-8) تساوي $(12\ kg)$، ومقدار قوة الاحتكاك تساوي $(20\ N)$.

أوجد حسابياً مقدار تسارع الجسم وذلك إذا كانت زاوية ميل المستوي تساوي $(30°)$، وتسارع الجاذبية الأرضية يساوي $(9.8\ m/s^2)$.

الحل Solution:

باستخدام العلاقة الرياضية *(3-24)* نجد أنّ:

$$\theta = 30°$$
$$m = 12\ kg$$
$$f_k = 20\ N$$
$$g = 9.8\ (m/s^2)$$
$$a = \frac{(12)(9.8)\sin(30) - 20}{12}$$
$$= 3.2\ (m/s^2)$$

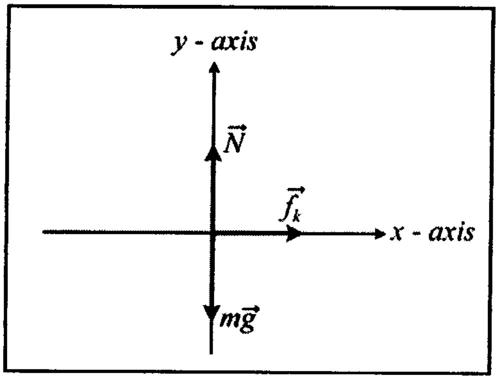
سؤال: هل يمكن أن يتساوى تسارع الجسم مع تسارع الجاذبية الأرضية؟ وضّح ذلك مستعيناً بالعلاقة *(3-25)*.

مسائل عامة محلولة

solved problems

3-1 لاعب بيسبول كتلته *(97 kg)* ينزلق إلى مكان جديد أثناء لعبه يعيق حركته قوة احتكاك مقدارها *(470 N)*. أوجد حسابياً مقدار معامل الاحتكاك الحركي بين اللاعب والأرض، انظر الشكل (9-3).

الحل *Solution*:



الشكل (9-3)

من خلال الشكل، نجد أنَّ:

$\vec{N}$: هي قوة تأثير الأرض العمودية على اللاعب.

$m\vec{g}$: هي قوة شد الأرض للاعب أو هي تمثل وزنه.

وبما أن اللاعب في حالة حركة فإن قوة الاحتكاك الحركي تساوي:

$$f_k = \mu_k \vec{N}$$

$$\mu_k = \frac{f_k}{N} = \frac{470\,N}{(79\,kg)(9.8\,m/s^2)}$$

$$= 0.61$$

$$\mu_k = 0.61$$

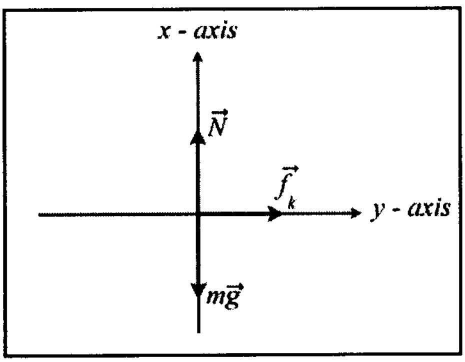
3-2 انزلق الجسم المطاطي للعبة الهوكي على الجليد مسافة قدرها $(15\,m)$، قبل أن يتوقف عن الحركة.

1- إذا كانت السرعة الابتدائية للجسم المطاطي هي $(6\,m/s)$، وكتلته تساوي $(110\,g)$، أوجد حسابياً مقدار قوة الاحتكاك بينها وبين الجليد خلال عملية التزلج، انظر الشكل (3-10).

2- أوجد حسابياً مقدار معامل الاحتكاك بين الكتلة المطاطية للهوكي والجليد.

الحل *Solution*:

انظر الشكل.



الشكل (3-10)

وفقاً لقانون نيوتن الثاني نجد أن:

$$-\vec{f}_k = m\vec{a}$$

يمكننا إيجاد التسارع من معادلات الحركة على خط مستقيم بتسارع ثابت:

$$\vec{v}^2 = \vec{v}_o^2 + 2\vec{a}x$$

$$\vec{v} = 0$$

$$\vec{a} = \frac{-v_o^2}{2x} = -\frac{(6\,m/s^2)^2}{2(15\,m)} = -1.2\,m/s^2$$

$$-\vec{f}_k = (-1.2\,m/s^2)(0.11\,kg) = 0.13\,N$$

$$\vec{f}_k = 0.13\,N$$

$$\vec{f}_k = \mu_k \vec{N}$$

$$\vec{N} - m\vec{g} = 0$$

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

$$\vec{f}_k = \mu_k m\vec{g}$$

$$\mu_k = \frac{\vec{f}_k}{mg} = \frac{0.13\,N}{(0.11\,kg)(9.8\,m/s^2)}$$

$$\mu_k = 0.12$$

مسائل وتمارين الفصل الثالث

Chapter Three Exercises & Problems

3-1 تحركت سيارة بسرعة ابتدائية مقدارها $(v_o = 30 m/s)$ ، واستغرقت زمناً قدره $(20\,s)$ لتصل إلى سرعتها النهائية $(v = 40 m/s)$.

أوجد حسابياً التسارع الذي تتحرك به السيارة على افتراض أن التغير في السرعة كان منتظماً.

3-2 يتحرك قطار بسرعة مقدارها $(40\,m/s)$، فعمد السائق إلى استخدام المكابح لتخفيف سرعة القطار فتباطأت حركته بتسارع مقداره $(-2\,m/s^2)$.

أوجد حسابياً:

أ- مقدار الزمن الذي يستغرقه القطار حتى يتوقف تماماً.

ب- مقدار المسافة التي يقطعها القطار منذ بدأ استخدام المكابح حتى يتوقف.

3-3 عجلة بخارية تبلغ كتلتها $(80\,kg)$ ، قام السائق بزيادة سرعتها من الصفر إلى $(6\,km/h)$.

أوجد حسابياً:

أ- مقدار تسارع الدراجة البخارية.

ب- مقدار القوة المؤثرة عليها خلال زمن قدره $(4\,s)$.

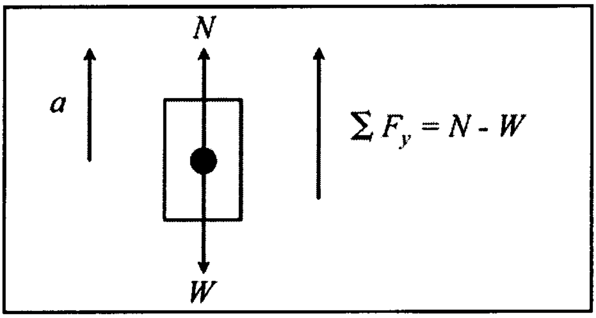
3-4 رجل كتلته $(100\ kg)$، انظر الشكل (3-9)، يقف عمودياً على أرضية مصعد، حيث يبلغ تسارع الجاذبية الأرضية $(g = 9.8\ m/s^2)$.

أوجد حسابياً القوة التي تؤثر بها أرضية المصعد في الرجل وذلك:

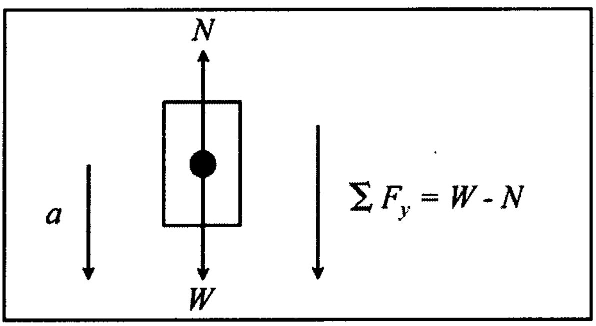
أ- إذا تحرك المصعد إلى الأعلى بتسارع مقداره $(3\ m/s^2)$، الشكل (3-11 أ).

ب- إذا تحرك المصعد بسرعة ثابتة مقدارها $(3\ m/s)$.

جـ- إذا تحرك المصعد إلى الأسفل بتسارع مقداره $(3\ m/s^2)$، الشكل (3-11 ب).



الشكل (3-11 أ)



الشكل (3-11 ب)

3-5 صندوق كتلته $(16\ kg)$ يستقر على سطح مستوى أفقي خشن، أثرت فيه قوة أفقية مقدارها $(40\ N)$، فأدت إلى تحريكه من السكون وبتسارع مقداره $(4\ m/s^2)$.

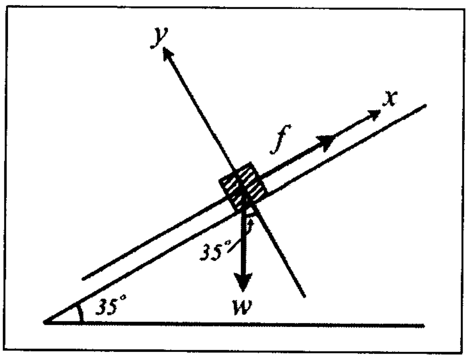
أ- أيٍ من قوانين نيوتن الثلاثة في الحركة يفسّر هذه المسألة؟ اذكره، ثم اذكر نصه.

ب- أوجد حسابياً مقدار قوة الاحتكاك التي تعيق حركة الصندوق.

3-6 جسم كتلته $(15\ kg)$ موجود على سطح مستوي خشن، يميل على الأفق بزاوية قدرها $(35°)$ انظر الشكل (3-12)، يبلغ مقدار قوة الاحتكاك التي تعيق حركته $(50\ N)$، أوجد حسابياً:

أ- مقدار أقل قوة تكفي لتحريك الجسم.

ب- هل سيتحرك الجسم بدون تأثير قوة خارجية عليه أم لا؟ وضّح إجابتك. وذلك بتحديد قوة الاحتكاك هل هي حركية أم ساكنة (f_s أم f_k)؟



الشكل (3-12)

3-7 إذا كانت العلاقة بين موقع جسم متحرك على المحور السيني (x) والزمن الذي يستغرقه للحركة (t) هي:

$$x = 2 + 10t + t^2$$

حيث تقاس (x) بالأمتار، و (t) بالثواني.

أوجد حسابياً:

1- مقدار الإزاحة (Δx) بين الفترتين $(t_2 = 3s)$ و $(t_1 = 1s)$.

2- مقدار السرعة المتوسطة بين الفترتين $(t_2 = 3s)$ ، $(t_1 = 1s)$.

3- مقدار التسارع المتوسط بين الفترتين $(t_2 = 3s)$ ، $(t_1 = 1s)$.

4- مقدار السرعة اللحظية عند الزمن $(t = 2s)$.

5- مقدار التسارع اللحظي عند الزمن $(t = 2s)$.

الخلاصة
Summary

- **قانون نيوتن الأول**: إنَّ أهمية هذا القانون تكمن في استخدامه لتعريف القوة، إذ أنها كل مؤثر خارجي يغيِّر أو يعمل على تغيير الحالة الحركية للجسم مقداراً أو اتجاهاً أو مقداراً واتجاهاً في الوقت ذاته. وهو ما يعرف بقانون القصور الذاتي، أي أنَّ الجسم من الناحية الفيزيائية يفتقر إلى القدرة على تغيير حالته الحركية. إنَّ انعدام محصلة القوى المؤثرة في الجسم يؤدي إلى أنَّ:

$$\Delta\vec{v} = 0$$

وهذا يعني أنَّ الجسم إما أن يبقى ساكناً، أو متحركاً بسرعة ثابتة.

- **قانون نيوتن الثاني**: إنَّ أهمية هذا القانون تكمن في أنَّ محصلة القوى الخارجية المؤثرة على الجسم ذي الكتلة (m) لا تساوي الصفر، وستؤدي إلى إكسابه تسارعاً يتناسب مقداره تناسباً طردياً مع مقدار هذه المحصلة من القوى، ويكون اتجاهه في اتجاهها نفسه، أي أنَّ:

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

ومن الممكن أن يكون هذا التسارع موجباً أو سالباً، وفقاً لطبيعة الحركة.

- **قانون نيوتن الثالث:** وينص قانون نيوتن الثالث على: "لكل قوة فعل قوة رد فعل تساويها في المقدار وتعاكسها في الاتجاه".

ومن المعاني الكبيرة لهذا القانون، أنَّ القوى توجد في الطبيعة على شكل أزواج متساوية في المقدار ومتضادة في الاتجاه وذات طبيعة واحدة، تنشأ نتيجة لتأثير الأجسام على بعضها البعض بغض النظر عن حالتها الحركية، أي أنَّه يحتاج إلى جسمين أو أكثر، على خلاف قانون نيوتن الأول والثاني.

- **الكتلة القصورية للجسم:** هي ثابت التناسب بين محصلة القوى المؤثرة فيه والتسارع الذي يكتسبه نتيجة لهذا التأثير.

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

- **كتلة الجذب للجسم:** هي مقياس لمقدار استجابة الجسم لقوة الجاذبية الأرضية، فلو افترضنا أن لدينا جسمان متساويان وزناهما $(W_1, \ W_2)$ فإن كتلتي الجاذبية لهما (m_{1g}, m_{2g}) حيث إنّ:

$$\frac{m_{1g}}{m_{2g}} = \frac{W_1}{W_2}$$

- **قوة الاحتكاك:** هي القوة التي تنشأ بين الجسم والسطح الموجود عليه، وهي قوة مماسية اتجاهها بعكس اتجاه حركة الانزلاق، تنشأ بسبب تداخل النتواءات بين السطحين المنزلقين على بعضهما البعض. ويزداد مقدارها تدريجياً إلى أن تصل إلى أقصى مقدار لها، وذلك عندما يكون الجسم على وشك الانزلاق وفقاً للمعادلة:

$$F \le f_s \ , \qquad \vec{f}_{s\,max} = \mu_s \vec{N}$$

حيث (μ_s) هو معامل الاحتكاك الساكن، وتسمى في هذه الحالة قوة الاحتكاك الساكن، أما بعد أن يتحرك الجسم فتأخذ اسم قوة الاحتكاك الحركي (f_k)، وهي بالتعريف:

$$\vec{f}_k = \mu_k \vec{N}$$

حيث (μ_k) هو معامل الاحتكاك الحركي.

- **قوانين الحركة على خط مستقيم بتسارع ثابت $(\vec{a})$:**

$$\left.\begin{array}{l} v = v_o + at \\ (x - x_o) = \dfrac{1}{2}at^2 + v_o t \\ (v^2 - v_o^2) = 2a(x - x_o) \end{array}\right\}$$

حيث إنَّ:

(v_o): السرعة الابتدائية. (v): السرعة النهائية.

(x_o): الإزاحة الابتدائية. (x): الإزاحة النهائية.

(t): زمن الحركة. (a): تسارع الحركة.

أي أننا نستطيع دراسة حركة الجسم على خط مستقيم بتسارع ثابت من خلال معرفة الكميات الفيزيائية المذكورة أعلاه في صيغة القوانين الرياضية التي تصف حركته.