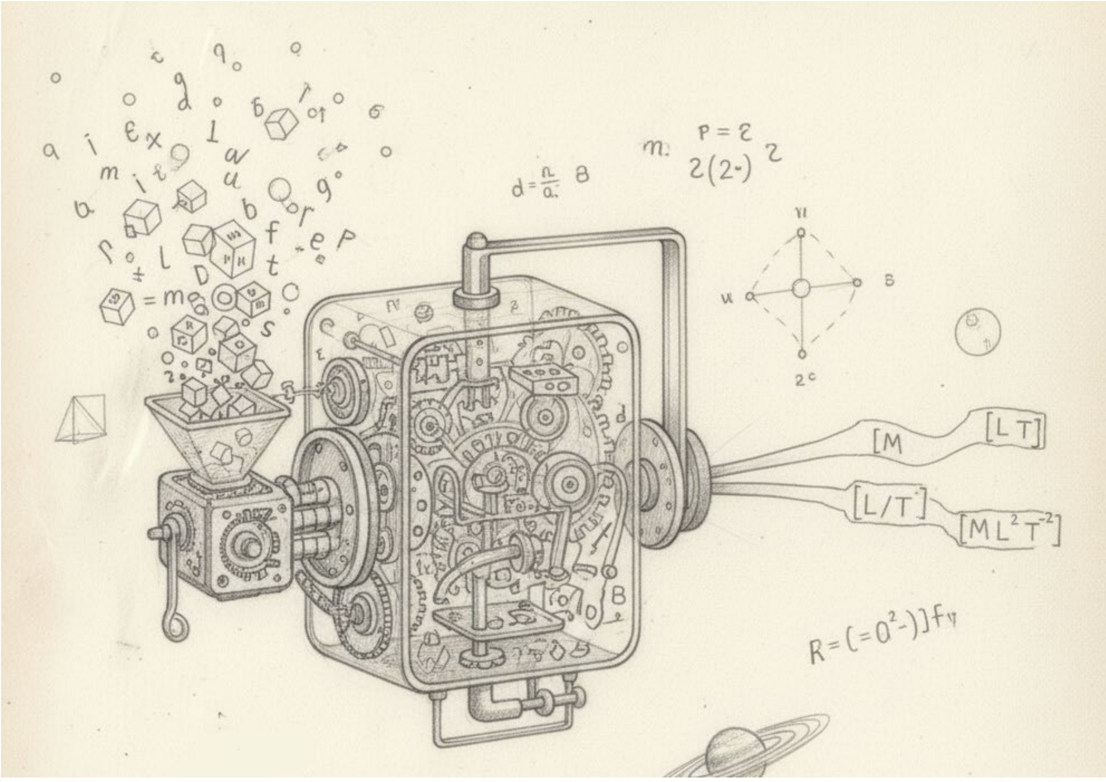
أولمبيـــــــاد العلوم
والرياضيات الوطني

الفيزياء-المرحلة الثانية

جدول المحتويات

1 الفصل الأول: تحليل الأبعاد في الفيزياء



تحليل الأبعاد هو أسلوب فيزيائي رياضي يُستخدم للتحقق من صحة المعادلات الفيزيائية واستنتاج العلاقات بين الكميات المختلفة. وهو يقوم على فكرة أن أي كمية فيزيائية يمكن التعبير عنها من خلال الأبعاد الأساسية التي تتكون منها، فعلى سبيل المثال المسافة والإزاحة والارتفاع ومحيط الدائرة كلها لها بعد واحد وهو بعد الطول ويرمز له بالرمز $[L]$ ، ويمكن أن تكون وحدة هذا البعد أي من الوحدات التالية: $m, cm, km, inch, feet$ ، وعلى الرغم من اختلاف هذه الوحدات إلا أنها تمثل نفس البعد، وبطريقة مماثلة فإن بعد السرعة هو$[L\,T^{-1}]$ بغض النظر عن الوحدات المستخدمة لقياس السرعة.

ملاحظة: الحرف L هو رمز الطول ووضع الحرف بين قوسين $[L]$ يعني أننا نقصد بعد الطول ولسنا بصدد حساب مقدار الطول.

1.1 أبعاد بعض الكميات الفيزيائية:

كميات أساسية	البُعد	كميات مشتقة	البُعد
الطول	[L]	المساحة	$[L^2]$
الكتلة	[M]	الحجم	$[L^3]$
الزمن	[T]	السرعة	$[LT^{-1}]$
التيار الكهربائي	[I]	التسارع	$[LT^{-2}]$
درجة الحرارة	[Θ]	القوة	$[MLT^{-2}]$
كمية المادة	[N]	الكثافة	$[ML^{-3}]$
شدة الإضاءة	[J]	التردد	$[T^{-1}]$

1.2 قواعد أساسية في الأبعاد:

- يمكن جمع أو طرح كميات فقط إذا كانت لها نفس الأبعاد.
- يمكن استنتاج بعد أي كمية من قانون أساسي لها، مع استبدال الكميات في الحد الأيمن من القانون بأبعاد هذه الكميات، وإكمال جمع أو طرح أسس الأبعاد.

على سبيل المثال يمكن إيجاد بعد القوة بالطريقة التالية:

القوة = الكتلة × التسارع وبالتالي بعد القوة = بعد الكتلة × بعد التسارع

$$[F] = [M][LT^{-2}] = [MLT^{-2}]$$

ملاحظة: الثوابت العددية مثل 2، ½، π لا تمتلك أبعادًا، وبالتالي لا تؤثر على نتيجة التحليل الأبعادي.

مثال 1-1

أوجد أبعاد كل من: مساحة الدائرة، مساحة المثلث، مساحة المستطيل.

الحل:

a. لإيجاد بعد مساحة الدائرة نستخدم قانون مساحة الدائرة:

$$A = \pi r^2$$

نصف القطر r له بُعد الطول[L] والثابت π بلا أبعاد

إذن:

$$[A] = [L^2]$$

بعد مساحة الدائرة $[L^2]$

b.   مساحة المثلث

$$A = \frac{1}{2}bh$$

بعد طول القاعدة (b)هو$[L]$ وبعد الارتفاع (h) هو[L] والثابت $\frac{1}{2}$ بلا أبعاد

إذن:

$$[A] = [L][L] = [L^2]$$

بعد مساحة المثلث $[L^2]$

c.   وبالمثل البعد لمساحة المستطيل $[L^2]$

نتيجة: جميع المساحات لها نفس البعد الفيزيائي $[L^2]$ بغض النظر عن طريقة حساب المساحة أو وحدة القياس المستخدمة.

1.3   أهمية تحليل الأبعاد

التحقق من صحة المعادلات الفيزيائية:

يمكن التأكد من أن المعادلة صحيحة من حيث الأبعاد، أي أن طرفيها لهما نفس الأبعاد.

مثال 1-2

تحقق من صحة المعادلة التالية:

$$d = v_i t + \frac{1}{2}at^2$$

البعد للطرف الأيسر$[d]$ هو[L]

والطرف الأيمن:

$$[\mathrm{v_i}][\mathrm{t}] = [\mathrm{LT^{-1}}][\mathrm{T}] = [\mathrm{L}]$$
$$[a][\mathrm{t^2}] = [\mathrm{LT^{-2}}][\mathrm{T^2}] = [\mathrm{L}]$$

بالتالي المعادلة متجانسة أبعاديًا لكن إذا اختلفت الأبعاد بين طرفي المعادلة، فالمعادلة خاطئة.

اشتقاق العلاقات بين الكميات الفيزيائية

يستخدم تحليل الأبعاد لتقدير شكل العلاقة العامة بين المتغيرات أو نوع التناسب بينها، حتى لو لم تكن المعادلة معروفة بدقة.

مثال 31-

لنفرض أنك لا تعرف قوانين السقوط الحر، فكيف يمكنك أن تعرف العوامل التي يعتمد عليها زمن السقوط الحر من خلال تحليل الأبعاد؟

الحل:

منطقيًا، يعتمد الزمن على:

- ارتفاع السقوط h
- تسارع الجاذبية الأرضية g

وقد يظن بعض الطلاب بالخطأ أنه يعتمد أيضًا على كتلة الجسم m، لذا سنضع هذا الاحتمال كذلك.

الخطوة 1: افتراض العلاقة العامة

نفترض أن:

$$t \propto m^{\alpha} h^{\beta} g^{\gamma}$$

سوف نستنتج قيمة الأسس لمعرفة هل التناسب طردي أم عكسي أم تربيعي......

ملاحظة: الطالب الذي يظن أن الكتلة عامل مؤثر في زمن السقوط الحر يتوقع أن قيمة الأس α ستكون سالبة أي أن الكتلة في المقام.

الخطوة 2: تحديد الأبعاد للكميات المتناسبة

الأبعاد الفيزيائية لكل كمية هي:

الكمية	الرمز	البعد
الزمن	t	[T]
الكتلة	m	[M]
الارتفاع	h	[L]
الجاذبية	g	$[L\,T^{-2}]$

بالتعويض في العلاقة: $t \propto m^{\alpha} h^{\beta} g^{\gamma}$

$$[T] = [M]^{\alpha}[L]^{\beta}[LT^{-2}]^{\gamma}$$

$$[T] = [M]^{\alpha}[L]^{\beta+\gamma}[T]^{-2\gamma}$$

الخطوة 3: مساواة الأبعاد في الطرفين

بمساواة الأسس للأبعاد في الطرفين:

- لبعد الكتلة M:

$$0 = \alpha \Rightarrow \alpha = 0$$

بالتالي زمن السقوط لا يعتمد على الكتلة.

- لبعد الزمن T:

$$1 = -2\gamma \Rightarrow \gamma = -\frac{1}{2}$$

لبعد الطول L:

$$0 = \beta + \gamma \Rightarrow \beta = \frac{1}{2}$$

الخطوة 4: النتيجة النهائية

بالتعويض عن القيم:

$$[T] = [M]^{0}[L]^{\frac{1}{2}}[T]^{\frac{-1}{2}}$$

$$t \propto \sqrt{\frac{h}{g}}$$

أي أن:

- زمن السقوط يعتمد على الارتفاع وتسارع الجاذبية الأرضية.
- ولا يتأثر بالكتلة (عند إهمال مقاومة الهواء).

ملاحظة: عند استبدال علامة التناسب بعلامة يساوي مع الضرب في ثابت نحصل على العلاقة:

$$t = k\sqrt{\frac{h}{g}}$$

وأنت تعرف أن قيمة هذا الثابت:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

من المعادلة الثالثة للحركة بتسارع ثابت $h = v_0 t + ½at^2$

تذكر أن الثابت 2 لا يؤثر على الأبعاد لأنه عددي.

مثال 41-

من معادلة الطاقة الحركية، احسب بعد الطاقة.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

تحليل الأبعاد:

بعد الكتلة: [M] بعد السرعة: $[L\ T^{-1}]$

إذن:

$$[E_k] = [M][LT^{-1}]^2 = [ML^2T^{-2}]$$

تقاس الطاقة بوحدة (الجول)، ولكن بعد الطاقة نكتبه بدلالة الأبعاد الأساسية.

1.4 أسئلة إضافية

1- باستخدام تحليل الأبعاد، أوجد بعد الضغط من معادلة الضغط: $P = \frac{F}{A}$

2- استخدام تحليل الأبعاد، بيّن العوامل التي يتناسب معها الزمن الدوري للبندول البسيط، مع العلم أن الزمن الدوري للبندول يعتمد على الطول $[L]$وتسارع الجاذبية $[LT^{-2}]$.

3- يستطيع أي يجسم أن يخرج مجال جاذبية الكوكب عند اطلاقه بسرعة معينة تسمى سرعة الافلات v_{esc} ، إذا كانت كتلة الكوكب M، ونصف قطره R، وثابت الجذب العام G. باستخدام تحليل الأبعاد، حدِّد كيف ترتبط هذه الكميات معًا.

تلميح: استخدم قانون الجذب العام لنيوتن $F = \frac{GMm}{R^2}$ لإيجاد بُعد ثابت الجذب الكوني G قبل الحل.

a) $v \propto \frac{GM}{R^2}$

b) $v \propto \sqrt{\frac{GM}{R}}$

c) $v \propto \frac{G^2M^2}{R}$

d) $v \propto \sqrt{\frac{GR}{M}}$

4- عندما تضغط النابض يختزن النابض طاقة، وتعتمد الطاقة الكامنة المرنة U المختزنة في النابض على ثابت النابض k والتغير في طوله x. باستخدام تحليل الأبعاد، حدِّد أي من العلاقات التالية صحيحة.

تلميح: من قانون هوك، القوة المؤثرة في النابض تُعطى بالعلاقة: $F = kx$ استخدم هذه العلاقة لإيجاد بُعد ثابت

النابض k قبل الحل.

a) $U \propto kx$

b) $U \propto kx^2$

c) $U \propto k^2x$

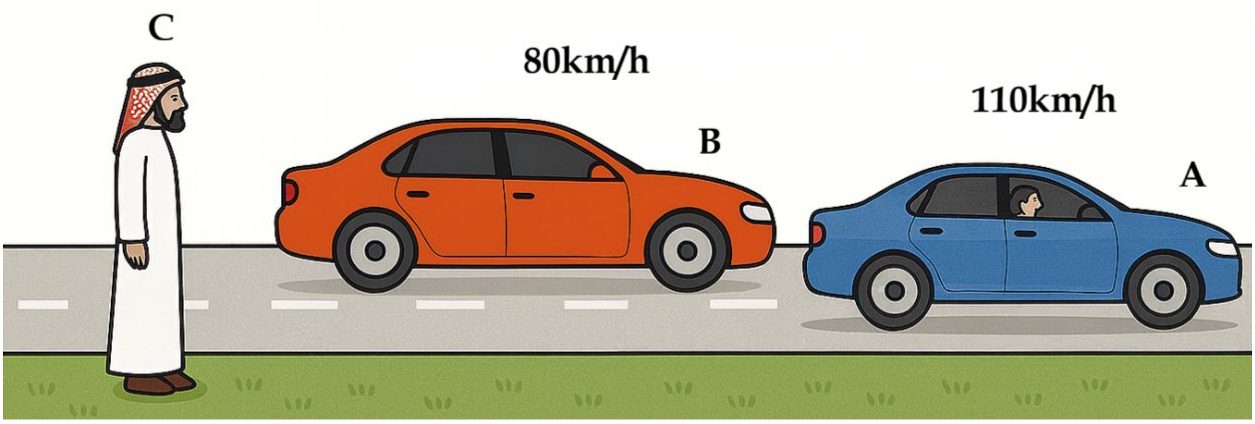
d) $U \propto k^2x^2$

2 الفصل الثاني: الحركة النسبية

2.1 السرعة النسبية في بعد واحد

كيف ترتبط قياسات راصدين مختلفين يتحرك أحدهما بالنسبة للآخر؟ وكيف يمكن أن تختلف الإزاحات والسرعات والتسارعات التي يقيسانها لنفس الجسم؟ سنكتشف أن نتائج القياس تعتمد على إطار الإسناد الذي يُجرى فيه الرصد. نتعامل مع الحركة النسبية يومياً في حياتنا، فالراكب في السيارة يرى أعمدة الإضاءة بجانب الطريق تتحرك إلى الخلف، والكتاب الذي يبدو ساكناً بالنسبة إليك يتحرك بسرعة كبيرة مع حركة الأرض.

نعني بإطار ببساطة أي المراقب أو المشاهد لحدث ما، تعتمد قيمة السرعة التي تقاس لحركة جسم ما على إطار الإسناد الذي تقاس منه أو بمعنى آخر المراقب (الراصد)



في الصورة أعلاه عندما تتحرك سيارتان على طريق مستقيم وباتجاه واحد، ولتكن سرعة السيارة الأولى A هي 110 km/h وسرعة السيارة الثانية B هي 80 km/h فإنه يمكن التمييز بين راصدين:

راصد C (مراقب) واقف على الرصيف (ساكن) يرى أن سرعة السيارة A هي 110 km/h ، ونسميها: السرعة النسبية للسيارة A بالنسبة للأرض (المراقب على الرصيف) : $v_{AC} = 110$ km/h بينما راصد يستقل السيارة B يرى أن سرعة السيارة A هي 30 km/h ونسميها: السرعة النسبية للسيارة A بالنسبة للسيارة B : $v_{AB} = 30$ km/h

ولذلك فإن:

السرعة النسبية: هي السرعة المقاسة لجسم ما بالنسبة لإطار مرجعي (مراقب-نقطة مرجعية) معين.

الحركة النسبية: هي الحركة التي توصف بالنسبة لإطار مرجعي (مراقب – نقطة مرجعية) معين.

بملاحظة الشكل السابق: نجد ان العلاقة بين الإزاحات كالتالي:

$$\vec{x}_{AC} = \vec{x}_{AB} + \vec{x}_{BC}$$

وبالتفاضل (الذي ستتعلمه لاحقاً بإذن الله تعالى)

$$\frac{d}{dt}x_{AC} = \frac{d}{dt}x_{AB} + \frac{d}{dt}x_{BC}$$

$$\vec{v}_{AC} = \vec{v}_{AB} + \vec{v}_{BC}$$

$$\vec{v}_{AB} = \vec{v}_{AC} - \vec{v}_{BC}$$

معادلة 2.1

يمكن حساب السرعة النسبية كمحصلة لسرعتين (لاحظ كيف يتم تجزئة الرموز في المعادلة):

(قانون السرعة النسبية)

$$\vec{v}_{AB} = \vec{v}_{AC} + \vec{v}_{CB}$$

معادلة 2.2

وبالتطبيق على المثال السابق: سرعة السيارة A بالنسبة للسيارة B :

هي محصلة سرعة السيارة A بالنسبة للمراقب C وسرعة المراقب C بالنسبة للسيارة B

$$\vec{v}_{AB} = 110 \text{ km/h} - 80 \text{ km/h} = 30 \text{ km/h}$$

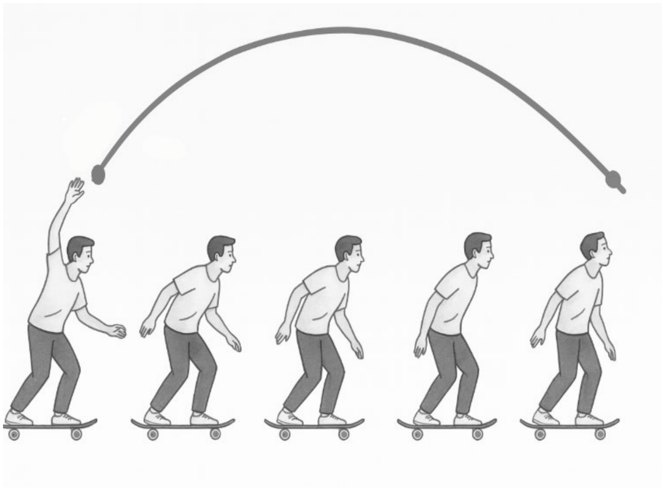
لاحظ أن سرعة المراقب C بالنسبة للسيارة B سالبة لأن المراقب C يبدو متحركا إلى اليسار (الاتجاه السالب) بالنسبة للسيارة B.

بافتراض أن السيارة A تتسارع وسرعة السيارة B ثابتة، وبتفاضل معادلة السرعة بالنسبة للزمن:

$$\frac{d}{dt}\vec{v}_{AB} = \frac{d}{dt}\vec{v}_{AC} + \frac{d}{dt}\vec{v}_{CB} = \vec{a}_{AB} = \vec{a}_{AC}$$

لأن $\frac{d}{dt}\vec{v}_{CB} = 0$ (سرعة المراقب C ثابتة بالنسبة للسيارة B)

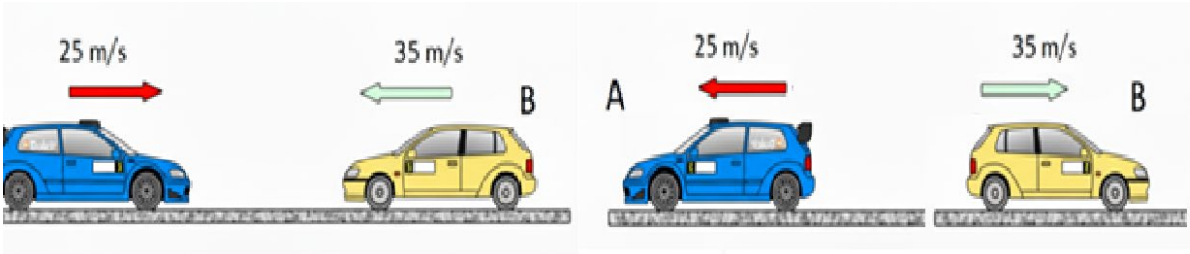
ملاحظة مهمة: المراقبون على أطر مرجعية مختلفة تتحرك بسرعة ثابتة بالنسبة لبعضهم البعض سيقيسون نفس التسارع لجسيم متحرك.



المتزلج يرمي كرة لأعلى فيراها تصعد للأعلى وتهبط في مسار مستقيم أي أنه يرصد السرعة الأفقية للكرة صفر، بينما يرى المراقب الثابت مسار حركة على شكل قطع مكافئ لنفس الكرة .

مثال 2-1

تتحرك سيارتان كما في الشكل، احسب سرعة السيارة A بالنسبة للسيارة B.



باعتبار الاتجاه نحو اليمين موجب

الحالة الأولى عندما تتحرك السيارتان باتجاه بعضهما البعض

$$v_{a/g} = +25\, m/s, v_{b/g} = -35\, m/s$$

$$\boldsymbol{v}_{a/b} = \boldsymbol{v}_{a/g} + \boldsymbol{v}_{g/b}$$

$$v_{a/b} = 25 + [-(-35)] = 60\, m/s, rightward$$

الحالة الثانية عندما تتحرك السيارتان مبتعدتان عن بعضهما البعض

$$v_{a/g} = -25\, m/s, v_{b/g} = +35\, m/s$$

$$\boldsymbol{v}_{a/b} = \boldsymbol{v}_{a/g} + \boldsymbol{v}_{g/b}$$

$$v_{a/b} = -25\, m/s, v_B = +35\, m/s$$

$$v_{a/b} = -25 - 35 = -60\, m/s\ (or\ 60\, m/s\ to\ the\ left)$$

لاحظ أن: $\boldsymbol{v}_{g/b} = -\boldsymbol{v}_{b/g}$

مثال 2-2

سيارة شرطة تسير بسرعة 95.0 km/h متجهة غربًا، تطارد سائق سيارة يسير بسرعة $80.0\, km/h$. إذا كانت المسافة بينهما 250 m، في أي فترة زمنية ستتجاوز سيارة الشرطة السائق؟

الحل

المعطيات:

$$Police\ car\ speed,\ v_{p/g} = 95.0\, km/h$$

$$Motorist\ speed, v_{m/g} = 80.0\, km/h$$

$$Initial\ separation, d = 250\, m$$

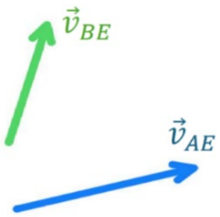
نحسب السرعة النسبية بين السيارتين

$$v_{p/m} = v_{p/g} + v_{g/m} = 95km/h - 80km/h = 15km/h = 4.17\ m/s$$

نحسب الزمن:

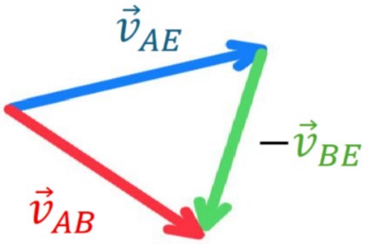
$$t = \frac{d}{v_{p/m}} = \frac{250\ m}{4.17\ s} = 59.95\ s = 6.0 \times 10^1 s$$

2.2 السرعة النسبية في بعدين:



تتحرك سيارتان بالسرعات الموضحة بالشكل، السرعات مرسومة بالنسبة لمراقب على الأرض.

إذا أردنا حساب سرعة السيارة A بالنسبة للسيارة B، أي كما يراها راصد موجود في B فإننا نستخدم المعادلات الرئيسية:

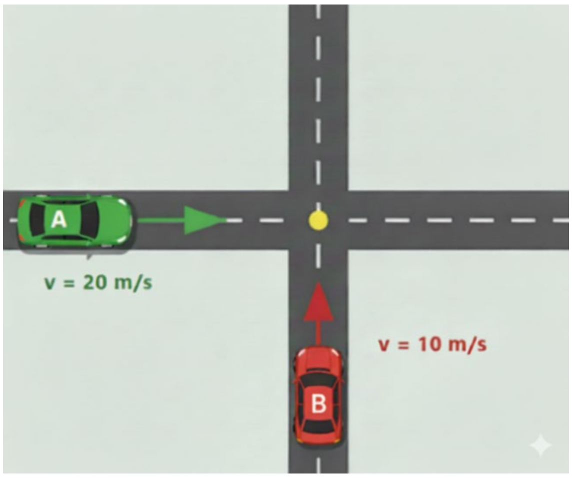


$$\vec{v}_{AB} = \vec{v}_{AE} + \vec{v}_{EB}$$

$$\vec{v}_{AB} = \vec{v}_{AE} - \vec{v}_{BE}$$

مثال 3-2

تتحرك سيارتان كما في الشكل، أوجد سرعة السيارة A بالنسبة للسيارة B



الحل:

$$\boldsymbol{v}_{a/b} = \boldsymbol{v}_a + \boldsymbol{v}_b$$

نلاحظ أن السرعتين متعامدتان، فنستخدم نظرية فيثاغورس لجمع المتجهات في بعدين

$$v_{A/B} = \sqrt{(20)^2 + (10)^2} = \sqrt{400 + 100} = \sqrt{500} = 22.36 \text{ m/s} = 22.4\ m/s$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{20}{10}\right) = \tan^{-1}(2) = 63.4°$$ غرب الشمال

مثال 2-4

تمشي فتاة فوق طوافة خشبية صغيرة بحيث تتحرك الفتاة على الطوافة باتجاه عموديٍّ على ضفة النهر بسرعة مقدارها 0.90 m/s بينما يجرفها تيار النهر بشكل موازٍ للضفة بسرعة مقدارها 1.40 m/s.

(a) احسب مقدار السرعة المحصلة للفتاة بالنسبة لضفة النهر.

(b) احسب زاوية ميل اتجاه الحركة المحصلة بالنسبة لاتجاه تيار النهر.

الحل:

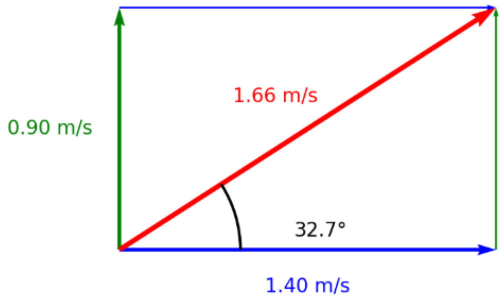
(a) سرعة الفتاة بالنسبة لضفة النهر

$$\vec{v}_{gb} = \vec{v}_{gr} + \vec{v}_{rb}$$

$$v_{gb} = \sqrt{(0.90)^2 + (1.40)^2} = \sqrt{0.81 + 1.96} = \sqrt{2.77} \approx 1.66 \text{ m/s}$$

(b) زاوية اتجاه الحركة بالنسبة لاتجاه تيار النهر

$$\theta = \tan^{-1}(0.643) \approx 32.7°$$



2.3 أسئلة إضافية:

-1 يتحرك قارب باتجاه الشمال عبر نهر بسرعة مقدارها 12.0 km/h بالنسبة إلى الماء، بينما يجري تيار النهر باتجاه الشرق بسرعة مقدارها 4.00 km/h بالنسبة إلى الأرض.

(a) ما سرعة القارب بالنسبة لراصد على ضفة النهر.

(b) إذا كان عرض النهر 2.50 km فاحسب الزمن اللازم لقطع النهر.

-2 في السؤال السابق:

(a) ما هو الاتجاه الذي يجب أن يأخذه القارب حتى يتحرك نحو الشمال مباشرةً؟

(b) إذا كان عرض النهر $2.50\ km$ ، ما الزمن الذي يستغرقه المركب لعبوره؟

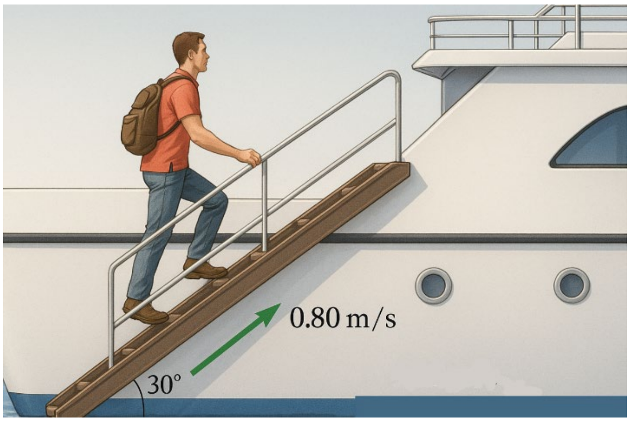
-3 تطير طائرة باتجاه الشرق تمامًا، لكن يجب على الطيار أن يوجه الطائرة قليلًا نحو الجنوب الشرقي لمواجهة رياح ثابتة تهب باتجاه الشمال الشرقي. سرعة الطائرة بالنسبة للرياح هي $240\ km/h$، وتتجه بزاوية θ جنوب الشرق .أما الرياح فلها سرعة $70.0\ km/h$، وتتجه بزاوية $25.0°$ شرق الشمال.

(a) ما مقدار سرعة الطائرة بالنسبة للأرض؟

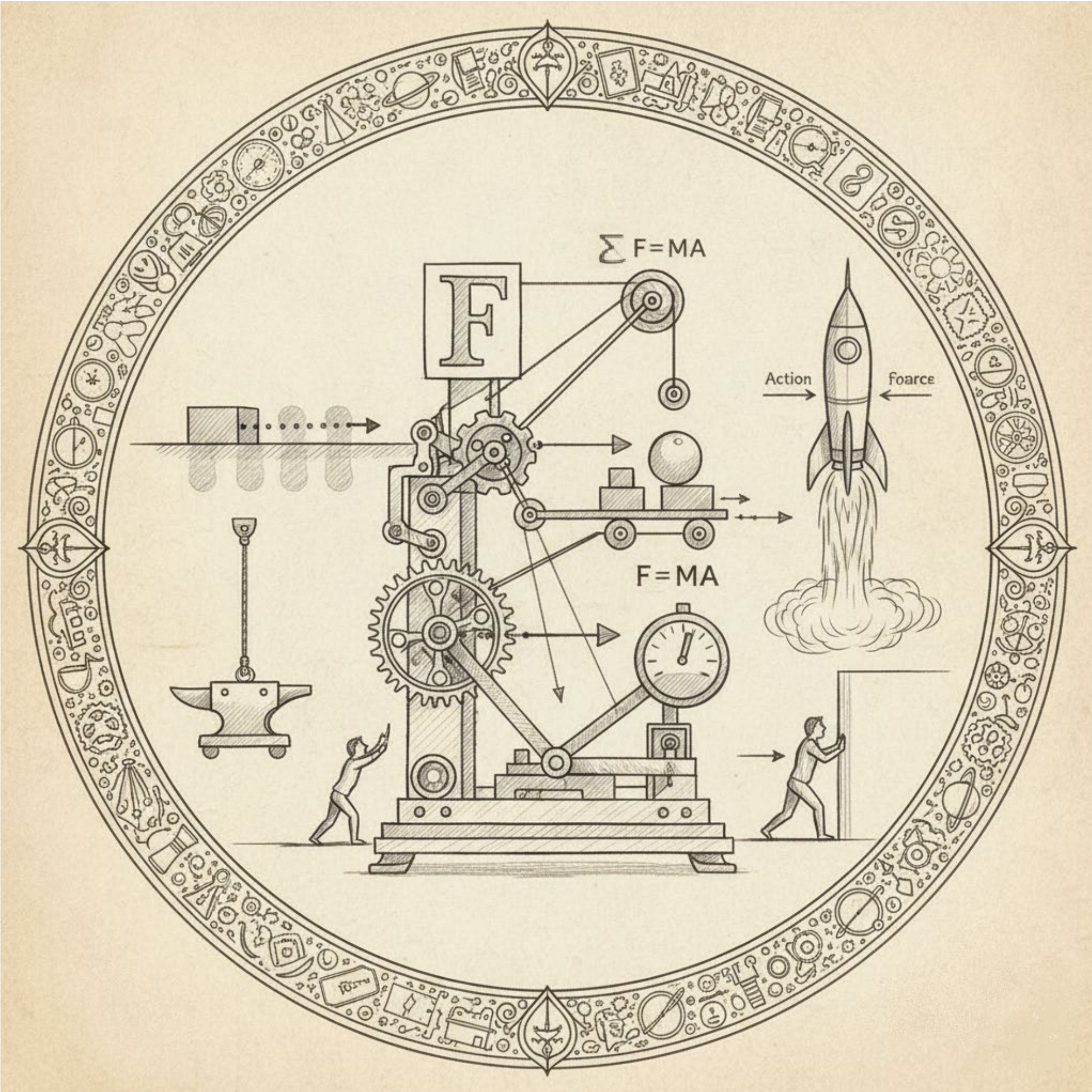
(b) ما الزاوية θ التي يجب أن يوجه بها الطيار الطائرة جنوب الشرق لكي تسير باتجاه الشرق تمامًا؟

-4 تطير طائرة باتجاه الشرق بسرعة 750 km/h ، ما مقدار السرعة التي يجب أن تطير بها طائرة متجهة بزاوية $60°$ شرق الشمال بحيث تظهر دائمًا باتجاه الشمال بالنسبة للطائرة الأولى؟

-5 يمشي شخص على عبارة (قارب نقل) صاعدًا على سلم بسرعة 0.80 m/s بالنسبة إلى العبّارة. إذا كان السلم مائلاً بزاوية $30°$ فوق سطح العبّارة، بينما تتحرك العبّارة نفسها فوق الماء الراكد بسرعة 2.20 m/s في اتجاه الشرق. ما مقدار واتجاه سرعة الشخص بالنسبة للماء؟



3 الفصل الثالث: قوانين الحركة



في الفصول السابقة في الميكانيكا، قمنا بوصف الحركة بدلالة الإزاحة والسرعة المتجهة والتسارع، ولم نتطرق لدراسة الأسباب الكامنة وراءها. فلم نسأل: ما الذي يسبب الحركة؟ ولماذا يكون جسم ما ساكنا وآخر متحركاً؟ وما الذي يجعل جسم يتسارع او يتباطأ؟ إن الإجابة على ذلك تعني أننا سندرس القوة ونربطها بالحركة، وهو ما يعرف بعلم التحريك Dynamics، وبذلك فإننا سنعرِف القوة، ونناقش أنواع مختلفة منها مثل الوزن والقوى العمودية وقوى الاحتكاك، وستعرض لقوانين نيوتن الثلاث والتي وضعت منذ ثلاثة قرون بواسطة العالم إسحاق نيوتن Isaac Newton، وشكلت تحولاً هاماً ساعدنا في فهم الحركة أكثر، وسنطبق قوانين نيوتن على مسائل واقعية.

3.1 مفهوم القوة

تُعدّ القوة (Force) من المفاهيم الأساسية في الفيزياء، إذ تُستخدم لوصف التفاعل الذي يمكن أن يغيّر حالة حركة جسمٍ ما أو شكله. فعندما تؤثر قوة على جسم ساكن قد تجعله يتحرك، وعندما تؤثر على جسم متحرك قد تغيّر سرعته أو اتجاهه. القوة ليست شيئًا ملموسًا، بل هي مؤثر خارجي يظهر أثره من خلال تسارع الجسم أو تغيّر شكله.

تقاس القوة في النظام الدولي بوحدة النيوتن(N) ، وهي كمية متجهة، أي أن لها مقدارًا واتجاهًا ونقطة تأثير. وتتنوع القوى في الطبيعة بين الجاذبية التي تسحب الأجسام نحو الأرض، والشدّ في الحبال، والعمودية الناتجة عن السطوح، والاحتكاك الذي يعوق الحركة، والقوة المطبقة الناتجة عن الدفع أو السحب المباشر.

تُعدّ دراسة القوى أساس فهم ديناميكا الأجسام، إذ ترتبط ارتباطًا وثيقًا بقوانين نيوتن للحركة التي تفسر كيف ولماذا تتحرك الأجسام أو تبقى ساكنة.

- القوة كمية متجهة، أي أن لها اتجاهاً كما أن لها قيمة، وهي بذلك تتبع قوانين جمع المتجهات كما تمت مناقشتها سابقاً، وعليه نستطيع أن نمثل أي قوة بسهم على المخطط البياني، بحيث يدل اتجاه السهم على اتجاه القوة، أما طول السهم فيكون متناسباً مع قيمة القوة المؤثرة.
- لا تسبب القوى الحركة دائماً، كمثال على ذلك عندما تجلس لقراءة هذا الكتاب، تؤثر على جسمك قوة الجاذبية الأرضية، ولكنك تظل ساكناً، وكمثال أخر يمكنك التأثير بقوة ضخمة على صخرة، ولكنك لا تستطيع أن تحركها.
- وحدة قياس القوة في النظام الدولي للوحدات SI هي النيوتن (N) ، وفي النظام الفرنسي للوحدات CGS هي الداين (dyne) : $1\ dyne=10^{-5}\ N$

تصنيف القوى

- قوى التلامس: تتطلب تلامس بين جسمين مثل قوى الشد أو الدفع.
- قوى المجال: يكون التأثير عبر المجال بدون تلامس مباشر مثل قوى التجاذب الكهربائية أو التجاذب بين الكتل..

مصطلحات مهمة:

النظام: هو الجسم أو الأجسام موضع الدراسة.

المحيط: كل ما يحيط بالنظام ويؤثر فيه بقوى.

مخطط الجسم الحر: نموذج تخطيطي يعد بالطريقة التالية:

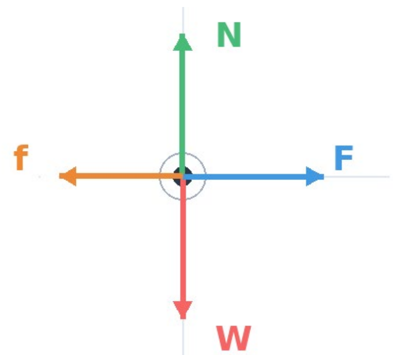
1) نختصر النظام كنقطة ونضعها في مركز نظام الإحداثيات.

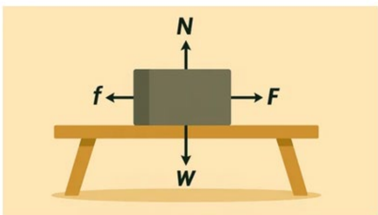
2) نرسم القوى المؤثرة على النظام كمتجهات مع مراعاة الأطوال (متناسبة مع المقادير) والاتجاهات.

3) القوى في اتجاهات $+x, +y$ تكون موجبة، والقوى في اتجاهات $-x, -y$ تكون سالبة.

مثال 1-3

الشكل التالي يوضح مخطط الجسم الحر للقوى المؤثرة على صندوق يتحرك نحو اليمين تحت تأثير قوة شد نحو اليمين:





لاحظ أننا نرسم القوى المؤثر على الصندوق فقط، ولم نهتم بالقوى المؤثرة على الطاولة من الأرض أو من الصندوق نفسه.

3.2 القانون الأول لنيوتن

اعتقد أرسطو (384–322 ق.م) أن القوة ضرورية لإبقاء الجسم متحركًا على سطح أفقي، فكان يرى أن الحالة الطبيعية للجسم هي السكون، وأن الجسم يحتاج إلى قوة مستمرة تؤثر فيه ليبقى متحركًا، كما افترض أن سرعة الجسم تزداد بازدياد القوة المؤثرة عليه.

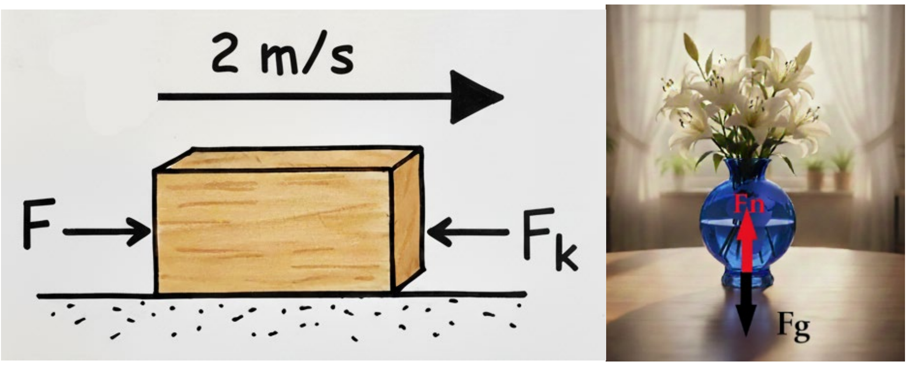
لكن بعد نحو ألفي عام، خالفه جاليليو جاليلي، حيث جادل بأن الحالة الطبيعية للجسم هي الاستمرار في الحركة بسرعة متجهة ثابتة (أي بسرعة واتجاه ثابتين)، أو البقاء ثابتًا في موضعه إذا لم تؤثر عليه قوى خارجية.

وللتوضيح، نتخيل جسمًا موضوعًا على سطح طاولة مدهون بمادة زيتية مثالية بحيث ينعدم الاحتكاك تمامًا .فإذا دُفع الجسم مرة واحدة، فإنه سيستمر بالحركة بسرعة ثابتة دون أن يتأثر بأي قوة احتكاك.

كانت هذه الفكرة العبقرية من جاليليو - فكرة انعدام الاحتكاك- أساسًا مهمًا لفهم أعمق للعالم من حولنا. وبناءً على هذا الأساس الذي وضعه جاليليو، بنى إسحاق نيوتن نظريته العظيمة في الحركة، والتي لخّصها في قوانين الحركة الثلاثة المشهورة ضمن كتابه "المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية" الذي نُشر عام 1687م. وقد أقرّ نيوتن بفضل جاليليو عليه، إذ يتطابق قانون نيوتن الأول في الحركة إلى حدٍّ كبير مع استنتاجات جاليليو، ويُعرف أيضًا باسم قانون القصور الذاتي.

"يظل الجسم الساكن في حالة سكون، والجسم المتحرك يظل متحركًا بسرعة ثابتة وفي خط مستقيم ما لم يتم التأثير عليه بقوى غير متوازنة. أو إذا لم تؤثر عليه قوة محصلة"

لاحظ كيف يتم تطبيق قانون نيوتن الأول على الصندوق عندما يتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم، وعلى المزهرية الساكنة.



وفي الحالتين: $\sum \vec{F} = 0$ و $a = 0$

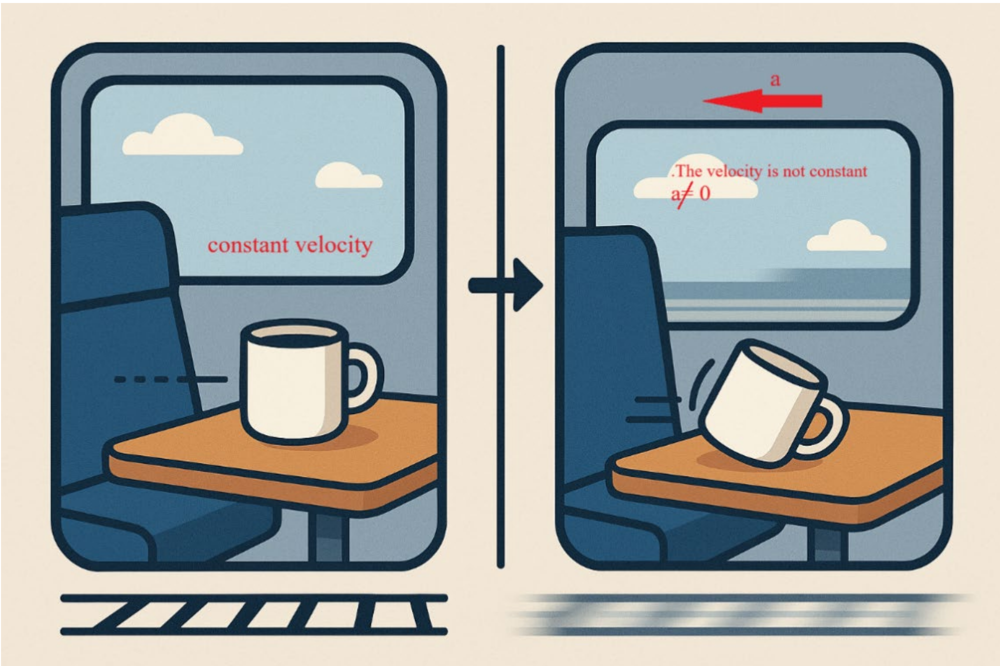
والسرعة أما تساوي الصفر $v = 0$ أو ثابتة $v = constamt$

وتكون الأجسام عند ذلك في حالة توازن ساكن أو حركي انتقالي.

3.2.1 الأطر القصورية

نعني بإطار ببساطة أي المراقب أو المشاهد لحدث ما، مجموعة خاصة من أطر الإسناد تسمى أطر الإسناد القصورية، وهي الأطر غير المتسارعة. وحيث أن قانون نيوتن الأول يتعلق فقط بالأجسام التي ليس لها تسارع، فإنه يتحقق فقط في الأطر الساكنة.

نستطيع أن نقول: من غير الممكن تطبيق قانون نيوتن الاول في الأطر المرجعية جميعها، وعلى سبيل المثال لوكان الإطار المرجعي ثابتاً داخل قطار يتسارع، فهناك احتمال أن يبدا الكوب المثبت على رف السيارة الأمامي بالتحرك باتجاه الراكب (علماً بأن الكوب سيبقى ثابتاً في موضعه طوال فترة تحرك القطار بسرعة ثابتة)، وقد يبدأ الكوب بالتسارع باتجاه الراكب على الرغم من عدم تأثره بأي قوة بذلك الاتجاه.



وعليه فإن قانون نيوتن الأول غير صالح، ولا يمكن تطبيقه خلال الأطر المرجعية المتسارعة. ونستطيع الافتراض في معظم الأوقات بأن الأطر المرجعية الثابتة على الأرض هي أطر قصورية (علماً بأن هذا الكلام غير دقيق تماماً بسبب دوران الأرض، ومع ذلك فهو قريب جداً من الحقيقة). ويعد إي إطار مرجعي يتحرك بسرعة ثابتة (مثل السيارة أو الطيارة) بالنسبة لإطار قصوري إطاراً مرجعياً قصورياً. وتسمى الأطر المرجعية المتسارعة التي لا نستطيع تطبيق قانون القصور الذاتي من خلاها بالأطر المرجعية اللاقصورية.

3.2.2 القصور الذاتي

يعرف ميل الجسم إلى البقاء على حالته من السكون أو من الحركة المنتظمة في خط مستقيم بالـ قصور الذاتي، فمثلاً، من الصعب تحريك جسم ساكن ليبدأ بالحركة، أو إيقاف جسم متحرك، أو تغيير اتجاه سرعته الجانبية بعيداً عن مساره المستقيم.

يعتمد القصور الذاتي على كتلة الجسم؛ فهو يزداد بزيادتها. والكتلة خاصية متأصلة في الجسم، ولا تعتمد على الوسط المحيط به أو على الطريقة المستخدمة في قياسها.

استخدم نيوتن مصطلح الكتلة كمرادف لـ "كمية المادة"، إلا أن هذا الاستخدام غير دقيق تمامًا، لأن مفهوم "كمية المادة" نفسه غير محدد بدقة. ولذلك، يمكننا القول بصورة أدق إن الكتلة هي مقياس لقصور الجسم الذاتي.

الظواهر التالية يمكن تفسيرها بالاعتماد على مفهوم القصور الذاتي: عند توقف السيارة فجأة، يميل الركاب إلى الاندفاع للأمام. ويحدث ذلك لأن أجسامهم تحاول الاستمرار في الحركة بنفس السرعة والاتجاه اللذين كانت عليهما السيارة قبل التوقف، أي أن أجسامهم تقاوم التغير في حالتها الحركية. عند سحب المفرش بسرعة من تحت الأطباق، تبقى الأطباق في مكانها تقريبًا. ويُفسَّر ذلك بأن الأطباق تمتلك قصورًا ذاتيًا يجعلها تقاوم التغير المفاجئ في حالتها من السكون.

عند ركل كرة متوقفة على الأرض، تحتاج إلى قوة لبدء حركتها. فكلما زادت كتلة الكرة، ازدادت صعوبة تحريكها، لأن قصورها الذاتي أكبر. عند تحريك جسم ثقيل مثل خزان ماء أو صندوق كبير، نجد أنه يصعب البدء بحركته أو إيقافه بسرعة، السبب في ذلك أن القصور الذاتي يتناسب طرديًا مع الكتلة.

3.3 القانون الثاني لنيوتن

بين القانون الأول لنيوتن ما يحدث لجسم عندما لا تؤثر عليه قوة، فأما أن يظل ساكناً أو يتحرك في خط مستقيم بسرعة ثابتة، ويجيب القانون الثاني لنيوتن على سؤال: ماذا يحدث لجسم تؤثر عليه قوة محصلة لا تساوي الصفر.

نص القانون الثاني لنيوتن:

بالنظر من إطار مرجعي قصوري، يتناسب تسارع جسم طردياً مع محصلة القوى المؤثرة عليه وعكسياً مع كتلته.

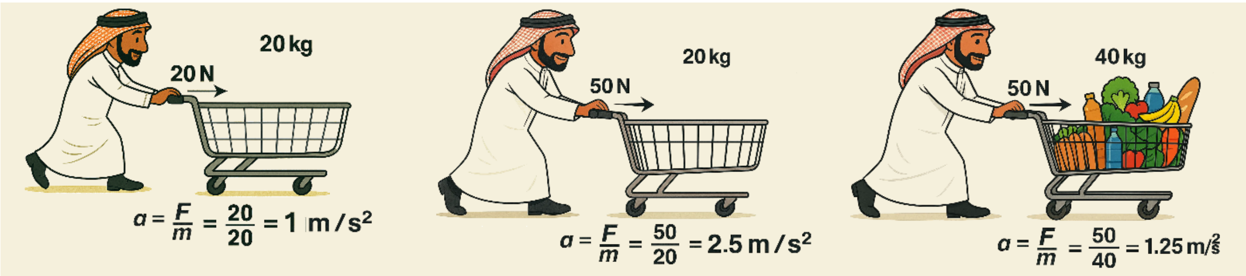
العلاقة الرياضية:

$$\sum \boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$$

معادلة 3.1

$$\sum \boldsymbol{F}_x = m\boldsymbol{a}_x \qquad \sum \boldsymbol{F}_y = m\boldsymbol{a}_y$$

نلاحظ التناسب في مثال حركة عربة بتأثير قوة أفقية على سطح مهمل الاحتكاك، ادرس الشكل.



ملاحظات مهمة

- يطبق قانون نيوتن الثاني على محصلة القوى، وليس للقوة المنفردة.
- نفترض أن الأجسام تتصرف كجسيمات (كتل نقطية)، ولهذا فإننا سوف لا نهتم بالحركة الدورانية في هذه المرحلة.

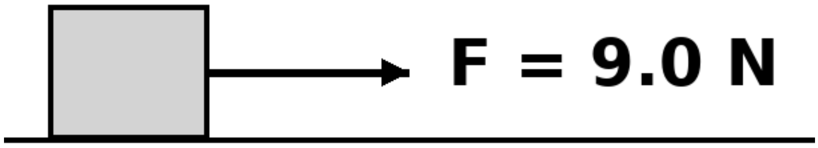
التحقق من المفهوم:

- هل يكون التسارع في اتجاه القوة المحصلة دائما؟ ولماذا؟
- سيارة تتحرك بسرعة ثابتة شمالاً، ما هو اتجاه محصلة القوى المؤثرة عليها؟
- اكتب النيوتن N بدلالة الوحدات الأساسية.

مثال 3-2

يتحرك صندوق كتلته $3.0\ kg$ أفقياً على سطح أملس تحت تأثير القوى الموضحة. احسب التسارع الأفقي.
(أهمل الاحتكاك، واعتبر المركبات الأفقية فقط)

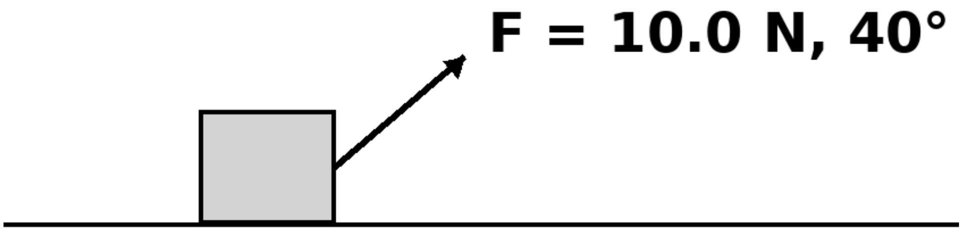
(a) قوة نحو اليمين مقدارها $9.0N$



$$a = F/m = 9.0 / 3.0 = 3.0\ m/s^2$$

التسارع باتجاه اليمين.

(b) قوة مقدارها $10.0N$بزاوية $40.0°$ فوق الأفقي.



$$a = (F\ cos\ 40°)/m = (10.0\ cos\ 40°)/3.0 = 2.55\ m/s^2$$

باتجاه اليمين.

مثال 33-

ما مقدار متوسط محصلة القوة اللازمة لإيقاف سيارة كتلتها 1500kg تماماً من سرعة مقدارها 100km/h خلال مسافة قدرها 55 m؟

الحل:

المعطيات: $m = 1500\ \text{kg}, d = 55\ \text{m}, v_f = 0\ \text{m/s}, v_i = 100\ \text{km/h} = \frac{100\times1000}{3600} = 27.78\ \text{m/s}$,

حساب التسارع من معادلات الحركة

$$v_f^2 = v_i^2 + 2ad$$
$$0 = (27.78)^2 + 2a(55)$$
$$a = -\frac{(27.78)^2}{2(55)} = -7.0\,\text{m/s}^2$$

إيجاد القوة المحصلة

$$F_{\text{net}} = ma = 1500 \times (-7.0) = -1.0 \times 10^4\,\text{N}$$

تدريب1: قرص هوكي الجليد كتلته $0.40\ kg$ يتدحرج على سطح أفقي من الجليد الأملس، تؤثر فيه قوتان الأولى $F_1 = 7.5N$ بزاوية قياسية $-30.0°$ ، والثانية $F_2 = 6.0N$ بزاوية قياسية $30.0°$، أوجد تسارع الكرة بمتجهات الوحدة.

3.3.1 قوة الجاذبية والوزن

الوزن: هو مقدار قوة جذب الأرض للجسم. واتجاهه دائماً نحو مركز الأرض أي عمودي على سطح الأرض.

$$F_g = W = mg$$

معادلة 3.2

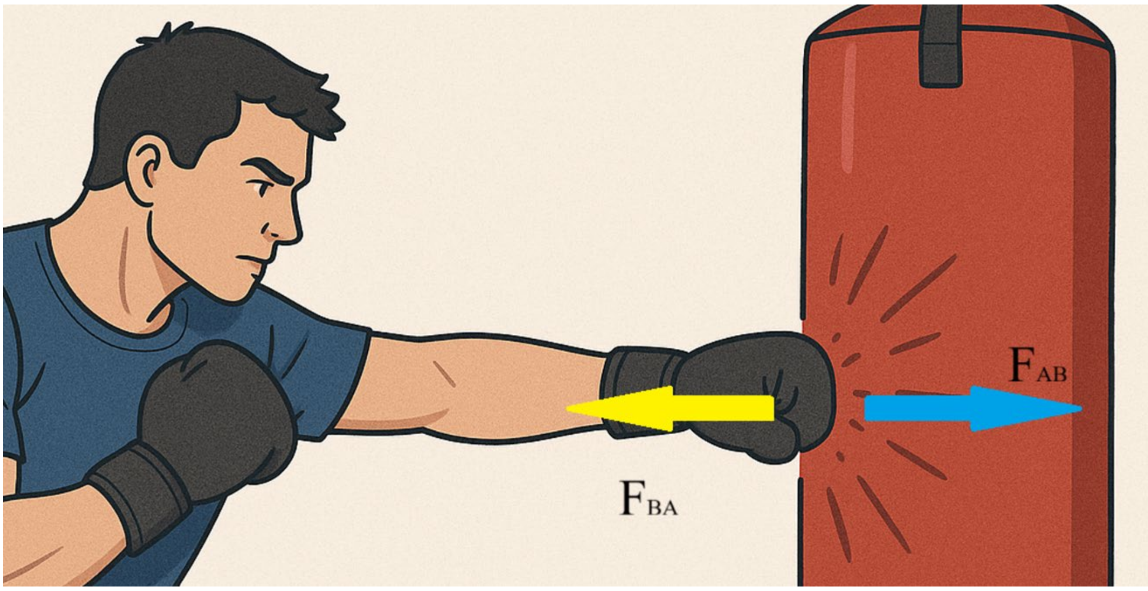
W: الوزن (N) m: كتلة الجسم (kg) g : تسارع الجاذبية الأرضية (m/s^2)

تذكر أن: قيمة تسارع الجاذبية الأرضية عند سطح الأرض g=9.8 m/s^2 ، ويقل مقدارها مع الارتفاع، أي أن الوزن يقل مع الارتفاع.

ملاحظة مهمة

يعد قانون نيوتن الثاني قابلاً للتطبيق تماماً مثل قانون نيوتن الأول خلال الأطر المرجعية القصورية فقط، وعلى سبيل المثال ففي الإطار المرجعي اللاقصوري لسيارة تتسارع، سيبدأ الكوب المثبت على الرف الأمامي للسيارة بالانزلاق من موضعه والتسارع بالرغم من أن محصلة القوى المؤثرة عليه تساوي الصفر، وعليه فإن $\sum F = ma$ لن تعمل في هذا الإطار المرجعي المتسارع ولا يصح تطبيقها هنا.

3.4 القانون الثالث لنيوتن



كان نيوتن متيقناً أنه لا يمكن رؤية الأمور من جانب واحد فقط، فالمطرقة التي تؤثر في المسمار بقوة، لابد لها وأن تتأثر بالمثل بقوة من المسمار بدلالة التناقص السريع لسرعة المطرقة حتى تصل إلى وضع السكون نتيجة لتلامسهما، إذ من غير الممكن للمطرقة أن تقف بهذه الصورة لولا وجود قوة شديدة تسبب ذلك، وعندها أعلن نيوتن ضرورة معاملة الجسمين بالتساوي.

نص القانون الثالث لنيوتن:

إذا تأثر جسمان، فسوف تكون القوة F_{BA} التي يؤثر بها من الجسم A على الجسم B مساوية في المقدار ومضادة في الاتجاه للقوة F_{AB} التي يؤثر بها الجسم B على الجسم A

أو "لكل قوة فعل قوة رد فعل مساوية لها في المقدار ومعاكسة لها في الاتجاه"

العلاقة الرياضية:

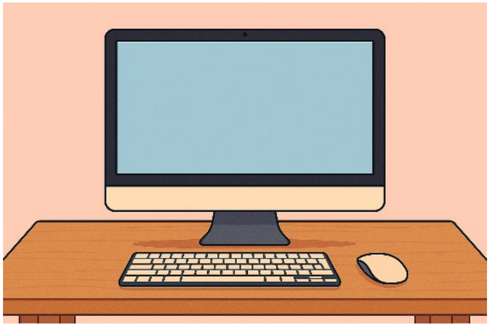
$$\boldsymbol{F}_{AB} = -\boldsymbol{F}_{BA}$$

وتسمى القوتان الفعل ورد الفعل، وأي من القوتين يمكن أن يمثل الفعل أو رد الفعل. تساوي قوة الفعل قوة رد الفعل في المقدار وتعاكسها في الاتجاه.

فكر: ماهي محصلة قوتي الفعل ورد الفعل، ولماذا؟

من نتائج قانون نيوتن الثالث: تؤثر القوى على شكل أزواج، أي أنه لا يمكن أن توجد قوة منفردة معزولة.

التحقق من المفهوم: عندما تكون شاشة الحاسوب ساكنة على منضدة، حدد القوى المؤثرة على الشاشة، ورد الفعل لكل منها.



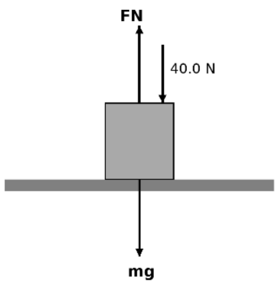
فكر: تصطدم شاحنة ذات كتلة هائلة وجهاً لوجه مع سيارة سباق صغيرة، أي من السيارتين ستتعرض لقوة أكبر ولماذا؟

3.4.1 القوة العمودية

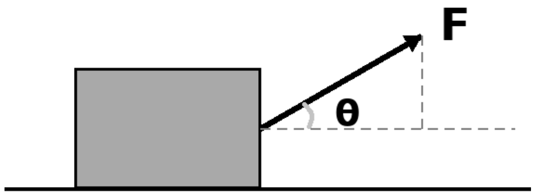
هي قوة يؤثر بها السطح على الجسم الموضوع عليه أو المستند عليه. اتجاهها: عمودية على السطح عند نقطة التلامس.

التحقق من المفهوم: بافتراض أن جميع الأسطح ملساء حدد الصيغة الرياضية لحساب القوة العمودية من الوزن والقوى المؤثرة في الحالات التالية:

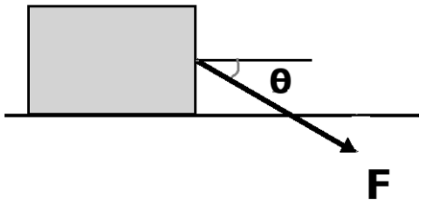
صندوق يدفع للأسفل بقوة



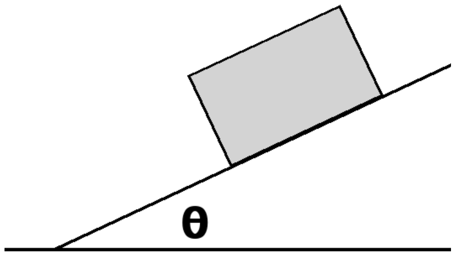
جسم يتحرك أفقياً تحت تأثير القوة الموضحة بالشكل



جسم يتحرك أفقياً تحت تأثير القوة الموضحة بالشكل



جسم ينزلق إلى أسفل مستوى مائل أملس



3.4.2 المصعد والوزن الظاهري

يتعرض الشخص الواقف في المصعد لتأثير قوتين هما وزنه ورد فعل الميزان، ويقيس الميزان رد الفعل.

مثال 43-

حدد الصيغة الرياضية لحساب الوزن الظاهري من الوزن الحقيقي في الحلات التالية:

a) المصعد ساكن

b) المصعد يتحرك بسرعة ثابتة

c) المصعد يتسارع للأعلى

d) المصعد يتسارع للأسفل

الحل:

باعتبار $g = 9.8\,m/s^2$

$N = W = mg$	$(a = 0)$
$N = W = mg$	$a = 0$
$N = m(g + a)$	للأعلى$(\|a\| > 0)$
$N = m(g - a)$	للأسفل$(\|a\| > 0)$

لاحظ: لوكان المصعد يتسارع نحو الأسفل بنفس تسارع الجاذبية الأرضية $a = g$ يصبح الجسم في حالة انعدام للوزن $N = 0$.

ملاحظات مهمة:

- يصبح حل مسائل المنحدر أسهل اخترنا نظام الإحداثيات x-y بحيث يشير المحور x على طول المنحدر (اتجاه الحركة) ويكون المحور y متعامدًا على المنحدر.

- قوة الجاذبية ليست عمودية على المنحدر، بل تشير دائماً باتجاه مركز الأرض.

توجيهات لحل المسائل باستخدام قانون نيوتن الثاني:

اتبع الطريقة التالية عند التعامل مع مسائل تحتوي على قوانين نيوتن:

-ارسم رسم تخطيطي بسيط ودقيق للمسألة.

-اعزل الجسم الذي تحلل حركته، ارسم رسما تخطيطيا لحركة جسم –حر لهذا الجسم، وبالنسبة للأنظمة التي تحتوي على أكثر من جسم، ارسم رسما تخطيطياً منفصلاً لكل جسم كجسم حر، لا تدخل في الرسم التخطيطي القوى المؤثرة بواسطة الجسم على ما يحيط به، انشئ محاور إحداثية مناسبة لكل جسم، ثم أوجد مركبات القوى على هذه المحاور.

-طبق قانون نيوتن الثاني في صورة مركباته.

-حل معادلات المركبات للمجاهيل المطلوبة، وتذكر انه يجب أن يكون لديك عدد من المعادلات بعدد المجاهيل.

-تأكد أن نتائجك تتوافق مع الرسم التخطيطي.

3.5 تطبيقات على قوانين نيوتن

3.5.1 تسارع نظام مكون من عدة أجسام

يمكن تطبيق قوانين نيوتن على نظام مكون من جسم مفرد أو عدة أجسام. بتطبيق قانون نيوتن الثاني لكل جسم، ثم جمع المعادلات للحصول على معادلة حساب التسارع للنظام.

مثال 53-

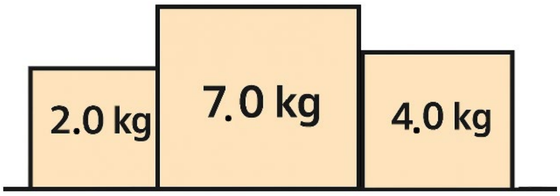
ثلاث كتل متلاصمة $m_a = 2.0\ kg,\ m_b = 7.0\ kg, and\ m_c = 4.0\ kg.$ على سطح أفقي أملس. تؤثر قوة أفقية مقدارها $20.0N$ على الكتلة $2.0kg$ باتجاه اليمين.

a) أوجد تسارع النظام.

b) أوجد القوة المحصلة المؤثرة على كل كتلة.

c) احسب قوة التلامس المتبادلة بين الكتلتين A و B.

d) احسب قوة التلامس المتبادلة بين الكتلتين B و C.



الحل: نرسم مخطط الجسم الحر لكل كتلة على حدة، ثم نطبق قانون نيوتن على كل جسم.

(a)

$$F - F_{AB} = m_A a. \qquad (1)$$
$$F_{AB} - F_{BC} = m_B a. \qquad (2)$$
$$F_{BC} = m_C a. \qquad (3)$$

نجمع الثلاث معادلات

$$(F - F_{AB}) + (F_{AB} - F_{BC}) + (F_{BC}) = m_A a + m_B a + m_C a.$$
$$\Rightarrow F = (m_A + m_B + m_C)\,a.$$
$$a = \frac{F}{m_A + m_B + m_C} = \frac{20}{2.0 + 7.0 + 4.0} = \frac{20}{13} = 1.54\ \text{m/s}^2 \approx 1.5\ \text{m/s}^2$$

(b)

$$F_{\text{net},A} = m_A a = 2.0 \times 1.54 = 3.08\ \text{N} \approx 3.1N$$
$$F_{\text{net},B} = m_B a = 7.0 \times 1.54 = 10.78\ \text{N} \approx 11\text{N}$$
$$F_{\text{net},C} = m_C a = 4.0 \times 1.54 = 6.16\ \text{N} \approx 6.2N$$

c) من المعادلة (1)

$$F - F_{AB} = m_A a$$

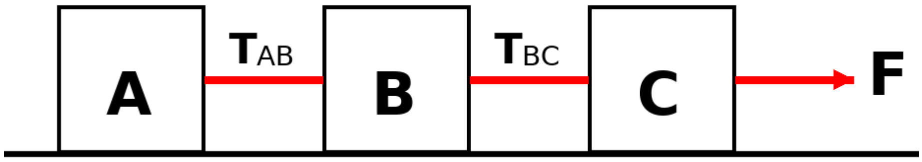
$$F_{AB} = N_{AB} = (20 - 2 \times 1.54) = 16.9\,\text{N} \approx 17\text{N}$$

(d)

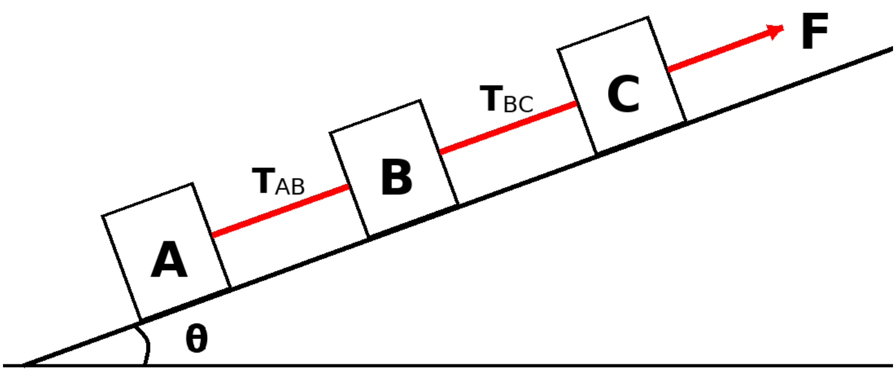
$$N_{BC} = m_C a \approx 6.2\,\text{N}$$

تدريب2: أوجد تسارع النظام علماً بأن الحبال مهملة الكتلة والسطح مهمل الاحتكاك، وتتحرك الكتل بتأثير قوة أفقية ثابتة F في الأنظمة التالية:

.A



.B

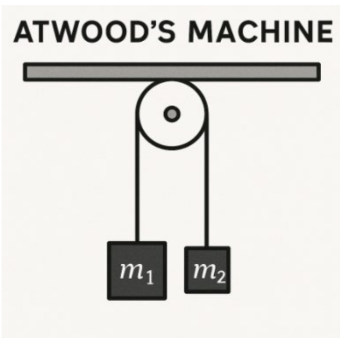


3.5.2 البكرات الملساء:

البكرة هي عجلة تدور حول محور ثابت، يلتف حولها حبل أو خيط، وتُستخدم لتغيير اتجاه القوة في الأساس. عندما تكون البكرة ملساء، فإن قوة الشد في الحبل على طرفيها متساوية في المقدار؛ لعدم وجود تحوُّل للطاقة بسبب الاحتكاك، أو تحوُّل في نوع الحركة (من خطية إلى دورانية مثلًا).

آلة اتوود:

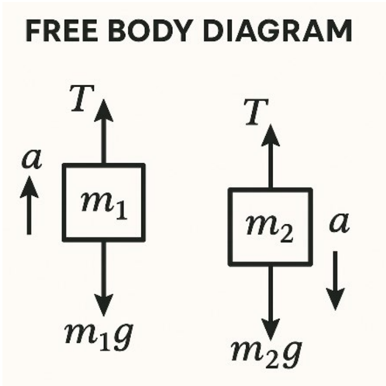
كتلتان متصلتان معاً بحبل خفيف يمر على بكرة ثابتة وملساء ومهملة الكتلة. يستخدم هذا الجهاز في المعمل أحياناً لقياس تسارع السقوط الحر، كما يستخدم في المصعد.



مثال 63-

يرتبط جسمان كتلتهما m_2وm_1 بخيط خفيف غير قابل للتمدد يمر فوق بكرة ملساء عديمة الكتلة كما في آلة أتود.
اشتقّ علاقات كل من: (a)تسارع النظام، (b) الشد في الخيط.

الحل: مخطط الجسم الحر



كل جسم في النظام يتأثر بقوتين فقط: وزنه (mg) المتجه إلى الأسفل، وشد الخيط (T) المتجه إلى الأعلى. ولنفترض أن $m_2 > m_1$، فيتحرك الجسم ذو الكتلة m_2 إلى الأسفل، بينما يتحرك الجسم ذو الكتلة m_1إلى الأعلى بنفس مقدار التسارع a.

بتطبيق قانون نيوتن الثاني (محصلة القوى = الكتلة × التسارع) على الجسمين نحصل على المعادلتين:

$$m_2 g - T = m_2 a$$
$$T - m_1 g = m_1 a$$

بجمع المعادلتين نحصل على:

$$(m_2 - m_1)g = (m_1 + m_2)a$$

ومنها يكون تسارع النظام:

$$\boxed{a = \frac{(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2}}$$

يتجه التسارع نحو الأسفل للجسم الأثقل m_2ونحو الأعلى للجسم الأخف m_1.

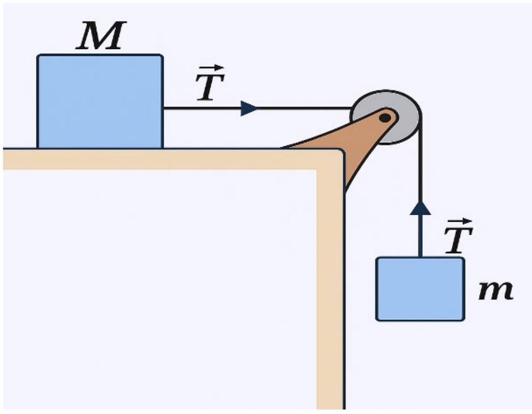
لإيجاد الشد في الخيط نعوض عن قيمة a في إحدى المعادلتين السابقة، ولتكن الثانية:

$$T = m_1(g + a)$$

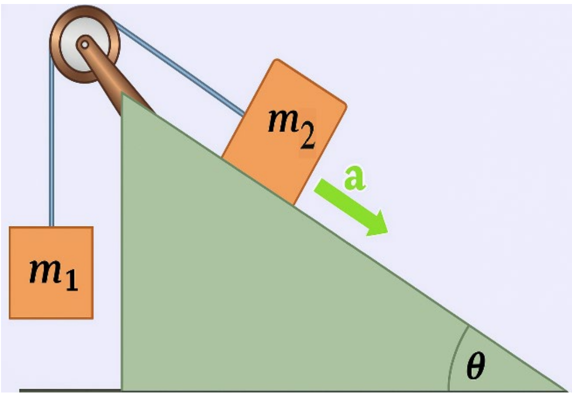
وبالتعويض عن a:

$$\boxed{T = \frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2}\, g}$$

ملاحظة: في حالة تساوي الكتلتين $m_1 = m_2$ يكون التسارع صفراً ويظل النظام في حالة اتزان. أما إذا كانت m_2 أكبر كثيراً من m_1 فإن التسارع يقترب من g ويسقط الجسم الأثقل سقوطاً شبه حر.



تدريب3: يرتبط جسم كتلته M موضوع على سطح أفقي أملس بخيط خفيف غير قابل للتمدد يمر فوق بكرة ملساء إلى جسم آخر كتلته m معلّق كما في الشكل (السطح مهمل الاحتكاك). اوجد (a): تسارع النظام، (b) الشد في الخيط.



تدريب4: قالبان متصلان معاً بحبل خفيف يمر على بكرة ملساء مهملة الكتلة كما في الشكل.

اوجد (a): تسارع النظام، (b) الشد في الخيط.

3.6 قوى الاحتكاك

لقد أهملنا الاحتكاك حتى هذه اللحظة، علماً بأن أخذه بعين الاعتبار ضروري في معظم الحالات العملية. تنشأ قوة الاحتكاك بسبب تصادم النتوءات الخشنة بين السطحين المتلامسين. أو بسبب القوى الكهروسكونية بين الأسطح المتلامسة (لا زال مفهوم القوى الكهروسكونية بين المواد الصلبة غير واضح تماماً حتى الآن).

ويكون اتجاه قوة الاحتكاك موازٍ للأسطح المتلامسة عكس اتجاه الحركة أو محاولة التحرك النسبي بين السطحين. لنفهم ما يحدث في الاحتكاك السكوني والحركي، نعتبر حالة لجسم يتحرك من السكون:

نبذل قوة لتحريك الجسم، الجسم لا يتحرك بسبب قوة الاحتكاك السكوني. نزيد القوة، فتزداد قوة الاحتكاك السكوني حتى تصل إلى قيمة قصوى $f_{s\,max}$. نزيد القوة، فيتحرك الجسم، وتظهر قوة الاحتكاك الحركي (أقل من مقدار قوة الاحتكاك السكوني القصوى).

3.6.1 قوة الاحتكاك السكوني القصوى:

$$f_{s\,max} = \mu_s F_N$$

μ_s: معامل الاحتكاك السكوني $f_{s\,max}$: قوة الاحتكاك السكوني القصوى، تذكر أنه يمكن أن تكون قوة الاحتكاك السكوني أقل من $f_{s\,max}$

3.6.2 قوة الاحتكاك الحركي:

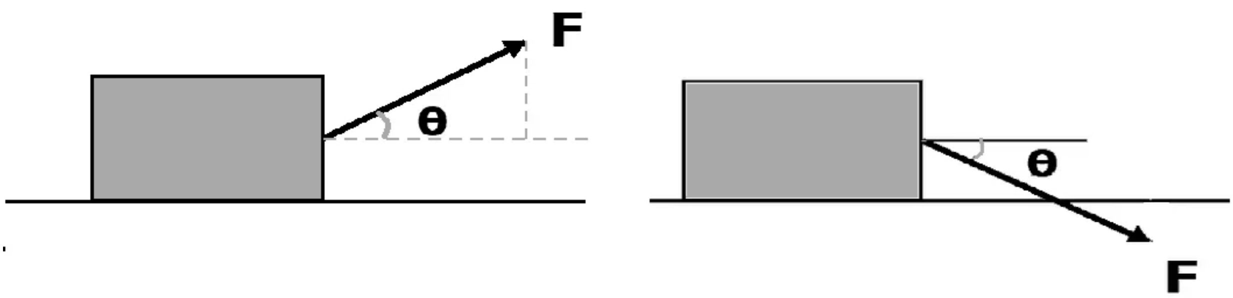
$$f_k = \mu_k F_N$$

μ_k: معامل الاحتكاك الحركي

$\mu_s > \mu_k$ كلاهما بدون وحدة والقيم لهما أقل من واحد عادة

ملاحظة مهمة: لا يعتمد معامل الاحتكاك الحركي μ_k على سرعة الانزلاق أو مساحة التلامس.

فكر: إذا أردت تحريك جسم، فأي الاتجاهين للقوة في الشكل يسهل عليك العمل عند استخدام نفس مقدار القوة ونفس الزاوية θ ؟



جدول معاملات الاحتكاك بين بعض المواد:

المواد المتلامسة	معامل الاحتكاك الحركي(μ_k)	معامل الاحتكاك السكوني (μ_s)
فولاذ على فولاذ	0.57	0.74
ألمنيوم على فولاذ	0.47	0.61
نحاس على فولاذ	0.36	0.53
مطاط على خرسانة	0.80	1.00
خشب على خشب	0.20	0.25–0.50

زجاج على زجاج	0.40	0.94
خشب مشمع على ثلج رطب	0.10	0.14
خشب مشمع على ثلج جاف	0.04	—
معدن على معدن (مُزَلَّق)	0.06	0.15
جليد على جليد	0.03	0.10
تفلون على تفلون	0.04	0.04
المفاصل الزلالية في الإنسان	0.003	0.01

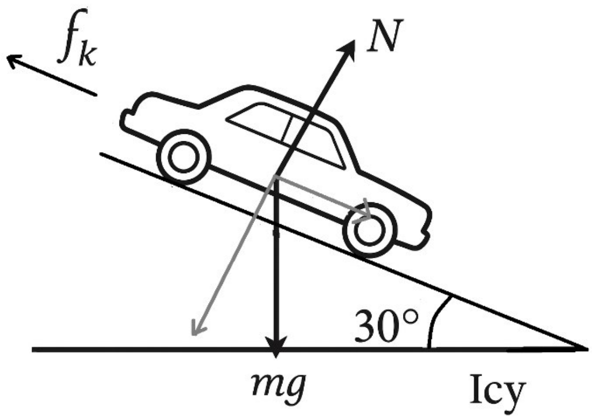
مثال 73-

سيارة متعطلة كتلتها $1.0 \times 10^3\ kg$ على طريق جليدي مائل؛ يميل بزاوية $30.0°$

(a) أوجد تسارع السيارة، افترض أن معامل الاحتكاك الحركي 0.10

(b) افترض أن السيارة انزلقت من السكون عند قمة المستوى المائل، والمسافة بين مصد السيارة الأمامي إلى القاع هي $d = 1.00 \times 10^2\ m$ ، ما الزمن الذي يستغرقه مصد السيارة ليصل إلى أسفل نقطة وماهي سرعته حينها.

الحل:



: $m = 1.0 \times 10^3$ kg, $\theta = 30.0°$, $\mu_k = 0.10$, $g = 9.80$ m/s^2.

(a) لحساب التسارع نحلل وزن السيارة إلى مركبتين باتجاه الحركة وعمودية عليها

$$N = mg\cos\ \theta.$$

Kinetic friction (up the slope): $f_k = \mu_k N = \mu_k mg\cos\ \theta$.

نطبق قانون نيوتن الثاني على المحور الموازي لاتجاه الحركة

$$\Sigma F = \mathrm{mgsin}\,\theta - f_k = \mathrm{mgsin}\,\theta - \mu_k\,\mathrm{mgcos}\,\theta$$

$$a = \frac{\Sigma F}{m} = \frac{\mathrm{mgsin}\,\theta - \mu_k\,\mathrm{mgcos}\,\theta}{m} = g(\sin\theta - \mu_k\cos\theta) = (9.80\ \mathrm{m/s^2})(0.500 - 0.10 \times 0.866)$$

$$a = 4.05\ m/s^2 \approx 4.0\ m/s^2$$

(b) لحساب الزمن والسرعة النهائية نستخدم معادلات الحركة بتسارع ثابت

From rest, distance $d = 1.00 \times 10^2$ m $= 100$ m

$$d = \frac{1}{2}at^2$$

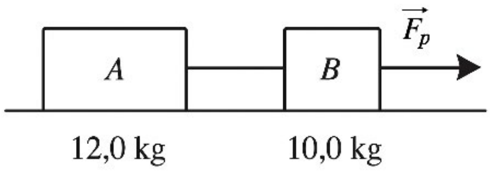
$$t = \sqrt{\frac{2d}{a}} = \sqrt{\frac{2(100\,\mathrm{m})}{4.05\,\mathrm{m/s^2}}} \approx \boxed{7.0\,\mathrm{s}}$$

السرعة النهائية:

$$v = \sqrt{2ad} = \sqrt{2(4.05\,\mathrm{m/s^2})(100\,\mathrm{m})} \approx 28.5\ m/s$$

لاحظ أننا لم نحتج إلى كتلة السيارة في الحل.

تدريب5: صندوقان يرتبطان بحبل: ربط الصندوقان A وB بحبل خفيف الوزن، موضوعان على طاولة ملساء (عديمة الاحتكاك)، وكانت كتلتا الصندوقين $12.0\ kg$ وَ $10.0\ kg$. تم التأثير على الصندوق ذي الكتلة $10.0\ kg$ بقوة أفقية F_p مقدارها $40.0\ N$. احسب: (a) تسارع الصندوقين (b) الشد في الحبل الذي يربط الصندوقين.



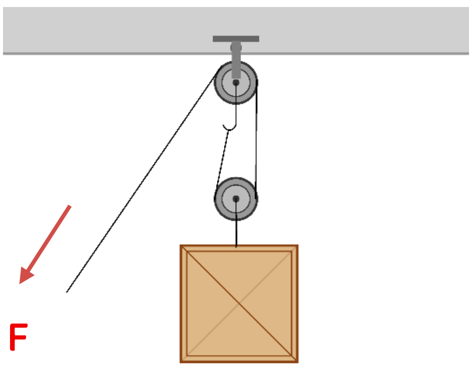
تدريب6: سحب صندوق كتلته $10.0\ kg$ على امتداد سطح أفقي بواسطة قوة F_p مقدارها $40.0\ N$ أثرت بزاوية $30.0°$فوق الأفقي، بافتراض أن معامل الاحتكاك الحركي 0.30 احسب التسارع.

تدريب7: افترض أن كتلة موضوعة على سطح خشن مائل بالنسبة إلى الأفقي، تزداد زاوية الانحدار حتى تبدأ الكتلة في التحرك .بين كيف نوجد من قياس الزاوية الحرجة θ_c التي يحدث عندها هذا الانزلاق معامل الاحتكاك السكوني μ_s .

3.7 أسئلة إضافية:

1- تهبط امرأة كتلتها $65\ kg$ في مصعد يتسارع بهدوء إلى الأسفل بمعدل $0.20g$ وهي تقف على ميزان مدرج بوحدة kg، ما وزن المرأة؟ وما قراءة الميزان؟ ما قراءة الميزان عندما يهبط المصعد بسرعة ثابتة تساوي $2.0\ m/s$ ؟

2- يحاول شخص رفع صندوق بسرعة ثابتة وببطء إلى الأعلى ويستخدم حبلاً يلف حول بكرتين؛ البكرة العلوية ثابتة، والبكرة السفلية قابلة للحركة نحو الأعلى والأسفل كما هو موضح في الشكل، ما مقدار القوة F التي يجب



أن يؤثر فيها على الحبل إذا كان وزن الصندوق $800N$؟

3- بدأت المتزلجة بنزول السطح المائل بزاوية $30.0°$ ، افترض أن معامل الاحتكاك الحركي هو 0.10 واحسب:
أ- تسارعها. ب- السرعة العددية التي ستصل إليها بعد 4.0 sec؟

4- يستقر صندوق كتلته $20\ kg$ ساكناً على طاولة.

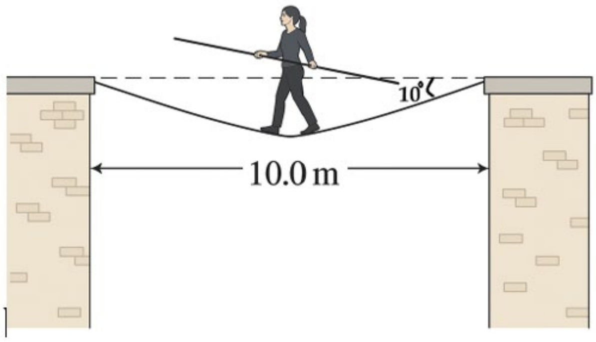
a) ما وزن الصندوق وقيمة القوة العامودية المؤثرة فيه؟

b) عند وضع صندوق أخر كتلته $10.0\ kg$ فوق الصندوق ذي الكتلة $20.0\ kg$. حدد قيمة القوة العامودية التي تؤثر بها الطاولة في الصندوق ذي الكتلة $20.0\ kg$ ، وكذلك القوة العامودية التي يؤثر بها الصندوق ذو الكتلة $20.0\ kg$ في الصندوق الآخر ذو $10.0\ kg$ ؟

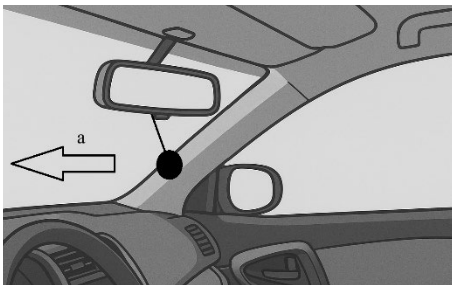
5- ما مقدار متوسط القوة اللازمة لإيقاف سيارة كتلتها $1100kg$ خلال $8.0s$ إذا كانت السيارة تتحرك بسرعة $95\ km/h$؟

6- يقف شخص على الميزان في مصعد متوقف. وعندما يبدأ المصعد بالتحرك، يقرأ الميزان فقط 0.75 من الوزن الحقيقي للشخص. احسب تسارع المصعد وحدد اتجاه التسارع.

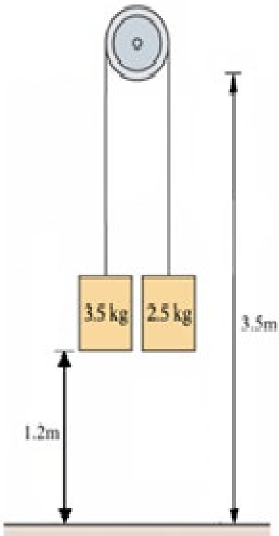
7- تسير ليلى على "حبل معلق" مثبت أفقياً بين جدارين يبتعدان مسافة $10.0\ m$ عن بعضهما البعض. يصنع الحبل زاوية مقدارها $10.0°$ درجات إلى الأسفل عندما تصل ليلى إلى منتصف الحبل، كما هو موضح في الشكل، إذا كانت كتلة ليلى $50.0\ kg$ ، فما مقدار الشد في الحبل عند تلك النقطة؟



8- تعلق كرة بواسطة حبل يتدلّى من مرآة سيارة. ما الزاوية التي سيصنعها الحبل مع الرأسي أثناء تسارع السيارة من السكون عند الإشارة الضوئية إلى سرعة $18.0 m/s$ خلال $6.0s$؟



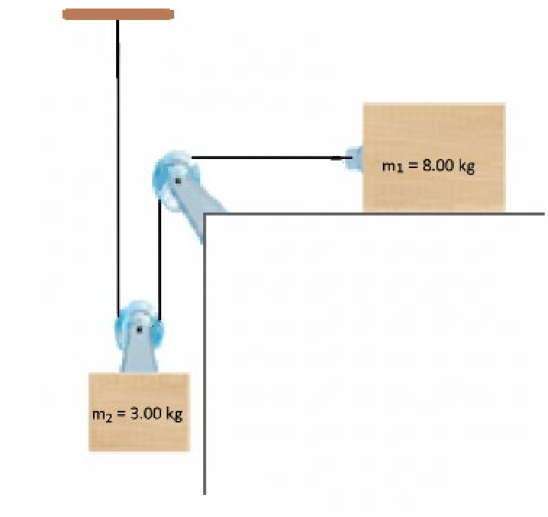
9- عند تحرير النظام في الشكل ما أقصى ارتفاع ستصل إليه الكتلة $2.5\ kg$ مع إهمال مقاومة الهواء؟



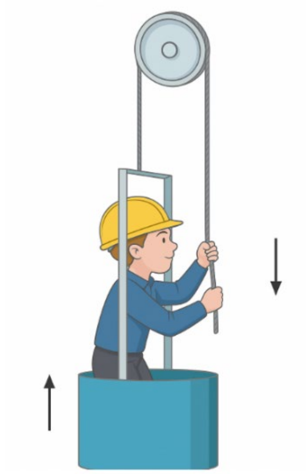
10- يقفز شخص من على منصة لتصل قدماه الأرض بسرعة $7.00\ m/s$، وعند الهبوط يثني ركبتيه، مما يسمح لجذعه بالتباطؤ لمسافة $0.40\ m$. إذا كانت كتلة جسمه العلوي (باستثناء الساقين) $38kg$، أوجد متوسط القوة التي تمارسها الساقان على الجزء العلوي من الجسم أثناء مرحلة التباطؤ.

11- في الشكل لا يوجد أي احتكاك والحبل والبكرات مهملة الكتلة، أوجد:

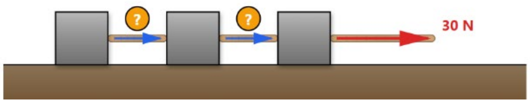
(a)قوة الشد في الحبل.(b) تسارع كل صندوق.



12- يسحب عامل تنظيف الشبابيك نفسه إلى الأعلى باستخدام آلة (مكونة من البكرة والدلو)، كما هو موضح في الشكل. (a) ما القوة التي يجب أن يسحب بها إلى الأسفل لكي يرتفع ببطء وبسرعة ثابتة؟ (b) ما مقدار تسارعه عند زيادة القوة بـ %20؟ اعتبر أن وزن عامل النظافة مع الدلو يساوي $7.00 \times 10^2\ N$.



-13 تسحب ثلاث مكعبات متماثلة كما هو موضح في الشكل على سطح أفقي عديم الاحتكاك إذا كان الشد في الحبل الذي تمسك به اليد هو $30.0\ N$ ما قيمة الشد في الحبلين الآخرين؟

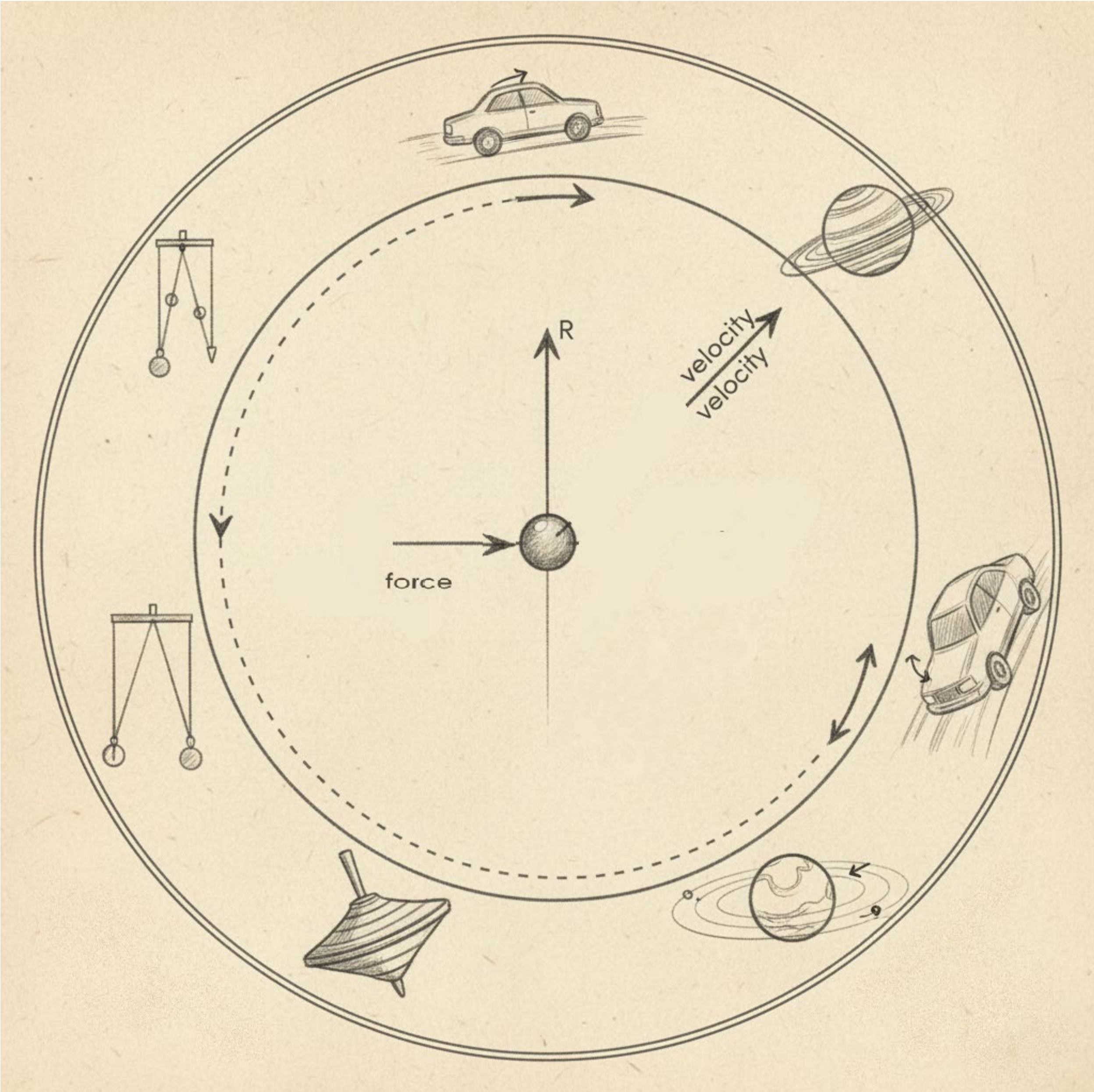


-14 تتسارع دراجة نارية بمقدار $3.0\ m/s^2$ صعوداً على منحدر يميل بزاوية $10.0°$ فوق المستوى الأفقي. احسب مقدار كلٍّ من:

(a) محصلة القوى المؤثرة على راكب الدراجة الذي كتلته $60.0\ kg$.

(b) مقدار القوة التي تؤثر بها الدراجة النارية على الراكب.

4 الفصل الرابع: الحركة الدائرية



الحركة الدائرية هي حركة جسم يدور في مسار دائري حول نقطة ثابتة أو محور ثابت. في هذه الحركة يتغير اتجاه السرعة باستمرار رغم أن مقدارها (السرعة الخطية) قد يبقى ثابتاً، ولهذا يكون للجسم تسارع مركزي (أو تسارع نحو المركز) يجعل الجسم يستمر في الدوران حول المركز.

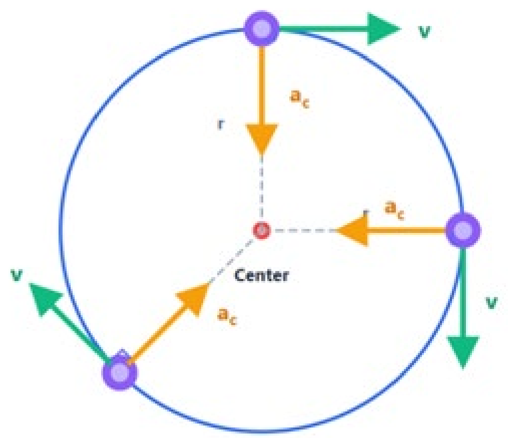
4.1 الحركة الدائرية المنتظمة:

نشاهد العديد من الحركات الدائرية في حياتنا اليومية مثل: حركة سيارة في منعطف دائري، وحركة القمر ودولاب لعبة الهواء وغيرها، وهي أحد أشكال الحركة في بعدين التي تعلمناها سابقاً.

تعرف الحركة الدائرية المنتظمة بأنها:

حركة جسم على مسار دائري نصف قطره r بسرعة مماسية (خطية) vثابتة مقداراً ومتغيرة اتجاهاً.

إن تغير اتجاه السرعة يعني وجود: تسارع، ووجود التسارع يعني وجود قوة محصلة.



كميات الحركة الدائرية المنتظمة:

السرعة المماسية v: تكون دائماً عمودية على نصف قطر الدوران.

التسارع المركزي أو العمودي a_c : يكون دائماً في اتجاه مركز الدائرة، يتسبب في تغيير اتجاه السرعة.

القوة المركزية F_c: تكون دائماً في اتجاه مركز الدائرة، تتسبب في نشوء التسارع.

الزمن الدوري T: زمن عمل دورة كاملة ويقاس بوحدة الثانية في النظام الدولي للوحدات (s)

التردد f: عدد الدورات في وحدة الزمن، ويقاس بالهيرتز(Hz)   ويعادل الهيرتز دورة لكل ثانية: Hz=rps

قوانين الحركة الدائرية المنتظمة:

التسارع المركزي

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

القوة الجاذبة المركزية

$$F_c = ma_c = m\frac{v^2}{r}$$

الزمن الدوري

$$f = \frac{1}{T} = \frac{v}{2\pi r}$$

التردد:

$$T = \frac{2\pi r}{v}$$

السرعة المماسية بدلالة التردد

$$v = 2\pi r f$$

التحقق من المفهوم: يتحرك جسم في المستوى الأفقي xy بسرعة ثابتة وعلى مسار دائري، عندما يكون في الموضع $x = -2m$ تكون سرعته $(-4\ m/s)j$. احسب (a سرعته (b تسارعه عندما يكون موضعه $y = 2\ m$

مثال 14-

مدار القمر حول الأرض هو تقريباً مدار دائري، بمتوسط نصف قطر $3.84 \times 10^8 m$ ، يأخذ القمر 27.3 يوماً ليكمل دورة كاملة حول الأرض. احسب:

(a)متوسط السرعة المدارية للقمر.

(b)عجلته العمودية (في اتجاه المركز).

الحل:

المعطيات

$$r = 3.84 \times 10^8\, m$$

$$T = 27.3\, days = 27.3 \times 24 \times 3600 = 2.35872 \times 10^6\, s$$

(a)

$$v = 2\pi r\, /\, T$$

$$v = (2 \times \pi \times 3.84 \times 10^8)\, /\, (2.35872 \times 10^6)$$

$$v = 1.023 \times 10^3\, m/s \approx 1.02\, km/s$$

(b)

$$a_c = v^2 / r$$

$$a_c = (1.023 \times 10^3)^2 / (3.84 \times 10^8)$$

$$a_c = 2.72 \times 10^{-3}\ m/s^2$$

مثال 24-

وضح مصدر القوة المركزية في كل من:

(a) حركة سيارة بشكل دائري في دوار.

(b) حجر مربوط في حبل ويدور بشكل موازٍ لسطح لأرض تقريباً

(c) دوران الأقمار الصناعية حول الأرض.

الحل:

(a) قوة الاحتكاك السكوني بين العجلات وسطح الأرض.

(b) قوة الشد في الحبل.

(c) قوة الجاذبية الأرضية (قوة التجاذب الكتلي).

تدريب1: يدور إطار نصف قطره $0.500\ m$ بمعدل $2.00 \times 10^2\ rev/min$، اوجد السرعة العددية والتسارع لحجر صغير موجود في إحدى الفراغات الخارجية للإطار (على حوافه الخارجية)

تدريب2: أوجد القوة الواجب أن يؤثر بها شخص ما في حبل مثبت بطرفه الآخر كرة كتلتها $0.150\ kg$ لكي تتحرك الكرة في دائرة أفقية نصف قطرها $0.600\ m$ علماً بأن الكرة تكمل 2.00 دورة خلال الثانية الواحدة. (أهمل كتلة الحبل).

4.1.1 الحركة الدائرية العمودية

هي حركة جسم في مسار دائري عمودي، مثل حركة جسم مربوط في خيط، حيث يقوم الرجل بتدويره بقوة شد T .

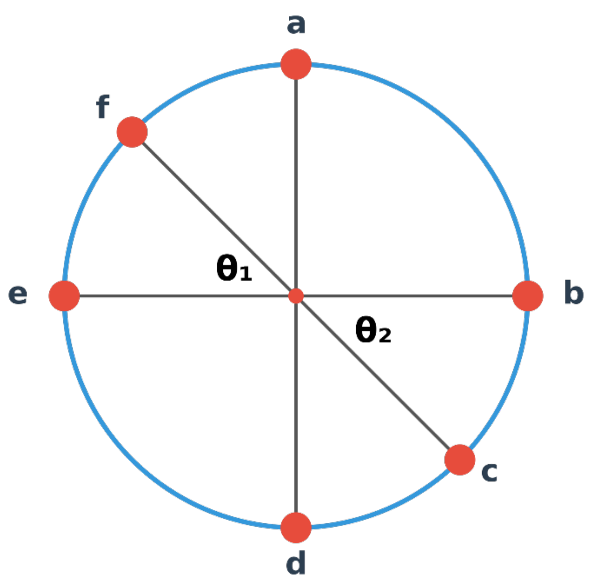
القوة المركزية F_c هي محصلة القوى في الاتجاه القطري (أي الوزن mg وقوة الشد للرجل T) ولذلك تتخذ القوة المركزية قيم مختلفة عند النقاط المختلفة، تذكر أن القوة المركزية عند أي موقع ترتبط بسرعة الجسم بالعلاقة:

$$F_c = m\frac{v^2}{r}$$

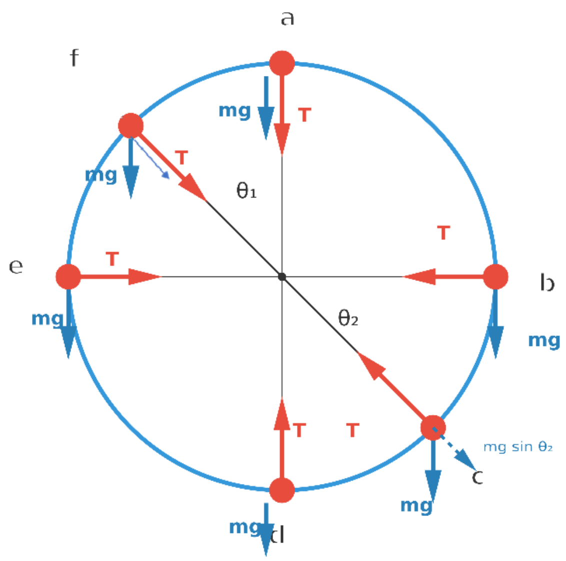
ملاحظة مهمة: القوة المركزية ليست قوة منفصلة، وإنما هي محصلة القوى في الاتجاه القطري(المركزي).

مثال 34-

يبين الشكل مواقع كرة صغيرة مربوطة بخيط مهمل الوزن تدور في مسار دائري عمودي، اكتب القوة المركزية F_c بدلالة الوزن أو مركباته وقوة الشد لكل موقع.



الحل: نحسب مقدار F_c لكل موضع، واتجاهها نحو مركز الدوران دوماً.



(a) $Fc = T + mg$

(b) $Fc = T$

(c) $Fc = T - mg\sin\theta_2$

(d) $Fc = T - mg$

(e) $Fc = T$

(f) $Fc = T + mg\cos\theta_1$

مثال 44-

أوجد أقل قيمة لسرعة الجسم المطلوبة للدوران عند قمة المسار الدائري العمودي.

الحل: عند أعلى نقطة تتحقق أقل سرعة مطلوبة للدوران عندما تكون القوة المركزية هي وزن الجسم؛ أي تنعدم قوة الشد في الحبل:

$$F_c = m\frac{v^2}{r} = mg$$

$$v_{min} = \sqrt{rg}$$

التحقق من المفهوم:

- ماذا يحدث لو قلت السرعة عن $\sqrt{rg}$ لجسم يدور في مسار دائري عمودي؟
- هل لوزن الجسم علاقة بالسرعة الدنيا جسم يدور في مسار دائري عمودي؟

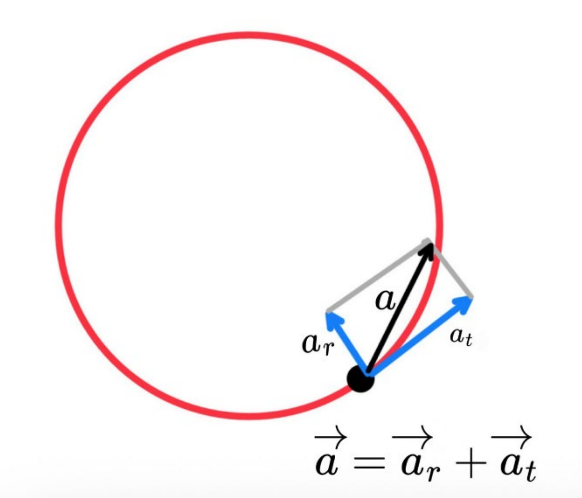
تدريب3: كرة صغيرة كتلتها $0.200\ kg$ مربوطة بخيط خفيف طوله $1.25\ m$ وتدور في مسار دائري عمودي.

(a)احسب أقل سرعة يجب أن تمتلكها الكرة عند أعلى نقطة في مسارها لكي يبقى الخيط مشدودًا (أي لكي تستمر الكرة في الحركة الدائرية).

(b)إذا كانت الكرة تتحرك عند أسفل المسار بسرعة تساوي ثلاثة أضعاف السرعة التي وجدتها في الجزء (a)، فاحسب قوة الشد في الخيط عند أسفل المسار.

4.2 الحركة الدائرية غير المنتظمة

في الحركة الدائرية غير المنتظمة يتغير مقدار السرعة المماسية مع تغير اتجاهها، ، وعندها تكون المركبتان العمودية للتسارع a هما المركبة المماسية a_t والمركبة العمودية a_r



تعمل المركبة المماسية a_t على: تغيير مقدار سرعة الجسم، وتكون موازية لها.

فكر: متى تكون a_t في اتجاه v؟ ومتى تكون عكس اتجاهها؟

تعمل المركبة العمودية a_r على: تغيير اتجاه سرعة الجسم، وتكون عمودية عليها.

التسارع الكلي يساوي:

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_t + \boldsymbol{a}_r$$

$$a = \sqrt{{a_t}^2 + {a_r}^2}$$

$$a_r = \frac{v^2}{r}$$

حيث: r : نصف قطر منحنى المسار عند النقطة المطلوبة.

وبالتالي يؤثر على الجسم قوتان: مماسية F_t تتسبب في نشوء التسارع المماسي a_t

وقوة عمودية (مركزية) F_r تتسبب في نشوء التسارع العمودي a_r

فكر: عندما تكون الحركة الدائرية منتظمة، ماهي قيمة F_t؟

مثال 54-

تسير دراجة نارية فوق قمة تل صغير. يمكن تقريب شكل التل كقوس دائرة نصف قطرها $350m$. عند اللحظة التي تصل فيها الدراجة إلى أعلى نقطة في التل تكون سرعتها $8.0m/s$. في اللحظة نفسها، يكون السائق متسارعًا إلى الأمام على طول الطريق بتسارع مماسي مقداره $0.450\ m/s^2$

(a)احسب مقدار المركبة العمودية (المركزية) للتسارع عند هذه النقطة.

(b)أوجد مقدار التسارع الكلي.

(c)حدِّد اتجاه التسارع الكلي بالنسبة للمحور الأفقي.

المعطيات:

نصف قطر التقوّس:

$$R = 350\ \text{m}$$

السرعة عند القمة:

$$v = 8.0\ \text{m/s}$$

التسارع المماسي:

$$a_t = 0.450\ m/s^2$$

(a) التسارع المركزي (نحو مركز التقوّس)

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{(8.0)^2}{350} = \frac{64}{350} = 0.183\, m/s^2$$

(b) مقدار التسارع الكلي

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{(0.450)^2 + (0.183)^2} = \sqrt{0.2025 + 0.0335} = 0.486\ \text{m}/s^2$$

(c) اتجاه التسارع الكلي

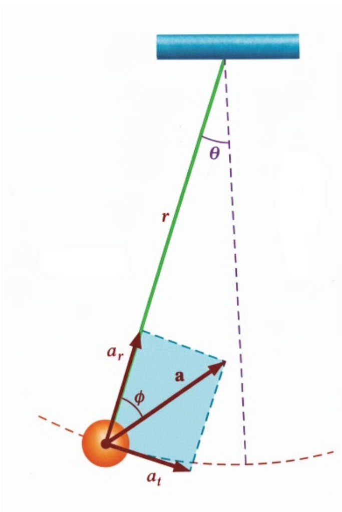
$$\theta = \tan^{-1}(\frac{a_n}{a_t}) = \tan^{-1}(\frac{0.183}{0.450}) = 22°$$

تدريب4: كرة صغيرة مربوطة بخيط طوله $0.80m$ تتأرجح في دائرة رأسية. عندما يصنع الخيط زاوية $\theta = 35°$ مع الاتجاه الرأسي، تكون سرعة الكرة $v = 2.2m/s$. احسب:

(a) احسب مركبة التسارع العمودي (المركزي) عند تلك اللحظة.

(b) احسب التسارع المماسي عند تلك اللحظة.

(c) احسب مقدار التسارع الكلي والزاوية التي يصنعها بالنسبة للاتجاه القطري.

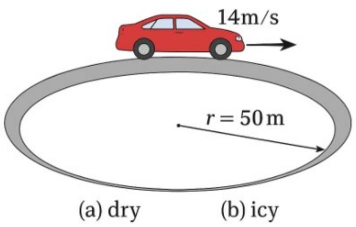


4.3 أسئلة إضافية

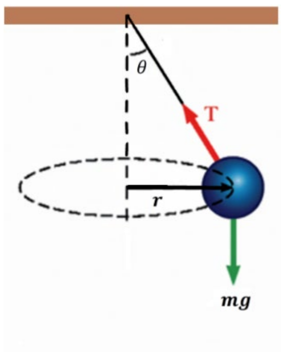
1- رائد فضاء يقف على القمر ويطلق رصاصة من بندقية بحيث تترك الرصاصة ماسورة البندقية في اتجاه أفقي. (a) ماهي سرعة الرصاصة عند فوهة البندقية بحيث تدور دورة كاملة حول القمر وتعود ثانية لموضع بدايتها؟ (b) كم تستغرق هذه الرحلة حول القمر؟ افترض أن عجلة التسارع على سطح القمر تساوي سدس عجلة الجاذبية الأرضية وأن نصف قطر القمر $1740\ km$.

2- احسب مقدار التسارع المركزي لطيار بدأ الطيران في دائرة أفقية بسرعة $v_i = (400i + 500j)\ m/s$ وبعد $24.0\ s$ خرج من الدائرة بسرعة: $v_f = (-400i - 500j)\ m/s$

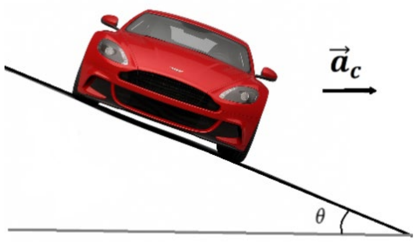
3- هل ستنزلق سيارة كتلتها $1.0 \times 10^3\ kg$ تسير على طريق أفقي عندما تلف حول منعطف نصف قطره $5.0 \times 10^1\ m$ بسرعة مقدارها $14\ m/s$ أم لا، افرض أن: (a) سطح الطريق جاف ومعامل الاحتكاك السكوني $\mu_s = 0.60$ (b)سطح الطريق مغطى بالصقيع ومعامل الاحتكاك السكوني $\mu_s = 0.25$.



4- جسم صغير كتلته m معلق في خيط طوله L، يدور الجسم بسرعة ثابتة في دائرة أفقية نصف قطرها r، أوجد v بدلالة L وَ g وجيب وظل الزاوية θ



-5 (a) ما هي الزاوية θ لميل طريق بحيث تنعدم الحاجة إلى قوة الاحتكاك لسيارة تتحرك بسرعة v حول منعطف نصف قطره r، أوجد الزاوية بدلالة (v, r, g) (b) احسب زاوية ميل طريق على شكل منعطف نصف قطره $70.0\ m$ تم تصميمه لقيادة السيارات بأمان عند سرعة $60.0\ km/h$



-6 يقوم طيّار استعراضي كتلته m بقيادة طائرته في مناورة حلقة رأسية. تتحرك الطائرة في مسار دائري رأسي نصف قطره 2.10 km وبسرعة ثابتة مقدارها 240 m/s. أوجد القوة التي يؤثر بها المقعد على الطيار في:

(a) أسفل الحلقة.

(b) أعلى الحلقة.

-7 يدخل قطار مقطعًا منحنيًا من السكة ويبدأ في التباطؤ، حيث تنخفض سرعته من $72.0\ km/h$ إلى $40.0\ km/h$ خلال $12.0\ s$، وهي المدة اللازمة لعبور المنحنى. إذا كان نصف قطر المنحنى $200\ m$.

(a) احسب التسارع المماسي للقطار خلال هذه الفترة، بافتراض أن معدل التباطؤ ثابت.

(b)احسب مقدار التسارع المركزي عند اللحظة التي تصل فيها السرعة إلى $40.0\ km/h$.

(c)أوجد مقدار التسارع الكلي للقطار عند هذه اللحظة.

الاختبار التجريبي – المرحلة الثانية

1) إذا كان موضع جسم r كدالة في الزمن يعطى من خلال العلاقة :

$(r = \beta t^3 + \alpha)$، حيث t هو الزمن، ما هي أبعاد β و α على التوالي؟

A) $[\beta] = [\mathrm{L\,T^{-3}}], [\alpha] = [\mathrm{L}]$

B) $[\beta] = [\mathrm{L\,T^{-2}}], [\alpha] = [\mathrm{L}]$

C) $[\beta] = [\mathrm{L\,T^{-3}}], [\alpha] = [\mathrm{T}]$

D) $[\beta] = [\mathrm{T^{-3}}], [\alpha] = [\mathrm{L\,T^{-1}}]$

---

2) تُعطى العلاقة بين طاقة الجسيم E ودرجة حرارته T بالعلاقة $E = k_B\,T$ ، حيث E هي الطاقة وأبعادها $[M\,L^2\,T^{-2}]$، و T هي درجة الحرارة بوحدة الكلفن. ما أبعاد ثابت بولتزمان k_B ؟

A) $[M\,L\,T^{-2}]$

B) $[M\,L^2\,T^{-2}]$

C) $[M\,L^2\,T^{-2}K]$

D) $[M\,L^2\,T^{-2}K^{-1}]$

---

3) افترض أن كتلة أكبر جسيم (M) يمكن أن يحمله الهواء تعتمد على سرعة الهواء v ، وكثافة الهواء ρ، وتسارع الجاذبية g فقط.

A) $M \propto \rho\, v^3 / g^2$

B) $M \propto \rho\, v^4 / g^2$

C) $M \propto \rho\, v^6 / g^3$

D) $M \propto \rho\, v^5 / g^2$

---

4) سقطت صامولة من سقف عربة قطار. القطار متحرك باتجاه الشمال وتزداد سرعته بمعدَّل $3.20\, m/s^2$ (الصامولة داخل عربة القطار). بافتراض أن الاتجاه الموجب نحو الشمال وللأعلى، ما تسارع الصامولة بالنسبة إلى راصد يجلس في نفس العربة؟

A) (0 î − 9.80 ĵ) m/s²

B) (3.20 î − 9.80 ĵ) m/s²

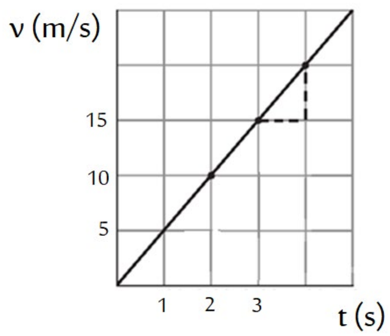
C) (−3.20 î − 9.80 ĵ) m/s²

D) (−9.80 î − 3.20 ĵ) m/s²

(5---

يتحرك جسم كتلته 5 kg على سطح خشن وفي خط مستقيم، وتتغير سرعته كما في الرسم البياني المقابل.

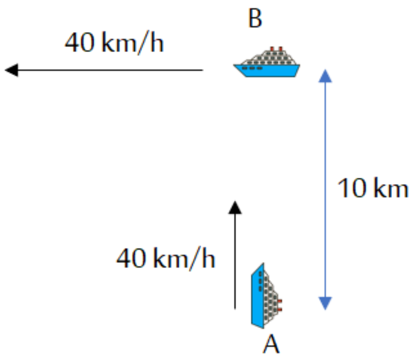
إذا كان الجسم يتحرك بتأثير قوة شد أفقية مقدارها 30 نيوتن، فإن مقدار قوة الاحتكاك يساوي:



A (25 N   (B 10 N   (C 5 N   (D 3 N

----

6) سفينتان A و B تبعدان عن بعضهما 10.0 km على خط من الجنوب إلى الشمال، كما في الشكل.



تبدأ السفينة B بالحركة غرباً بسرعة ثابتة 40.0 km/h، وتبدأ السفينة A بالحركة باتجاه الشمال بسرعة ثابتة

40.0 km/h ، أقرب مسافة بينهما أثناء حركتهما ستكون:

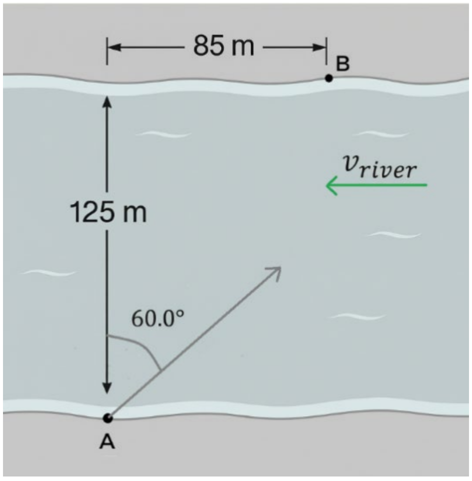
تلميح: يمكنك أن تبدأ بحساب سرعة السفينة A بالنسبة للسفينة B

5.00 km (A　　6.40 km (B　　7.07 km (C　　10.0 km (D

---

7) قارب سرعته في المياه الراكدة تساوي $0.80\ m/s$ ، يوجه السباح قاربه بزاوية 60^0 عن العمودي ليقطع نهر عرضه 125 m، من النقطة A إلى النقطة B في خط مستقيم كما في الشكل.

سرعة مياه النهر تساوي:



A) 0.96 m/s

B) 0.69 m/s

C) 0.40 m/s

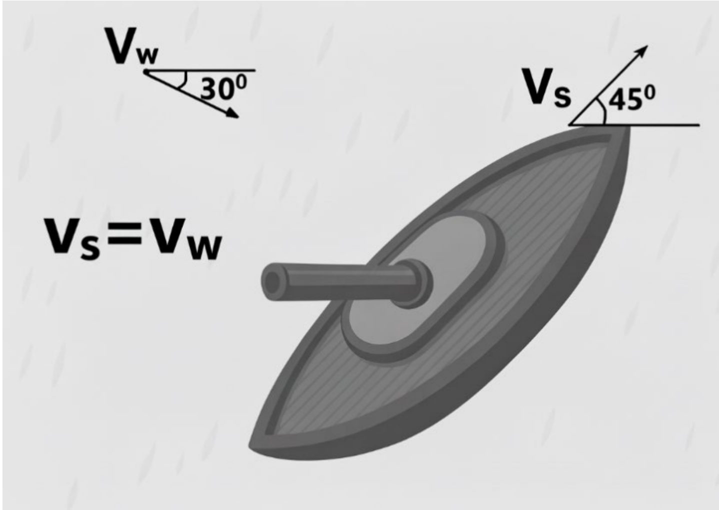
D) 0.42 m/s

---

8) تتحرك سفينة بسرعة ثابتة بالنسبة للأرض v_s، تهب رياح بسرعة v_w بالنسبة للأرض، كما في الشكل.

أي المتجهات يمثل سرعة دخان السفينة كما يُرى من مراقب على السفينة ؟

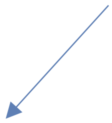
افترض أن للدخان سرعة صعود لأعلى سطح الماء مهملة. بمعنى آخر، أن الدخان يتحرك بالتوازي مع سطح الماء فقط.



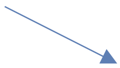
A)

B)

C)



D)



---

9) أي الحقائق التالية تصف بشكل صحيح مفهومي الكتلة والوزن لجسم ما:

A) النسبة بينهما في أي مكان على سطح الأرض هي 9.8

B) النسبة بينهما تعادل النسبة بينهما أيضا لجسم آخر موضوع في نفس المكان.

C) مفهومان لهما نفس المعنى في الفيزياء ويختلفان في الوحدات

D) كلاهما يعبران عن مقدار القصور الذاتي للجسم.

---

10) أثرت قوة محصلة F لمدة ١٠ ثوان على جسم كتلته 10^{-2} kg ، كان في البداية ساكنًا، ثم توقفت عن التأثير، قطع الجسم مسافة 0.5 m خلال الثواني الخمس التالية بسرعة ثابتة، مقدار القوة F هو:

A) 10^{-1} N   B) 10^{-2} N   C) 10^{-3} N   D) 10^{-4} N

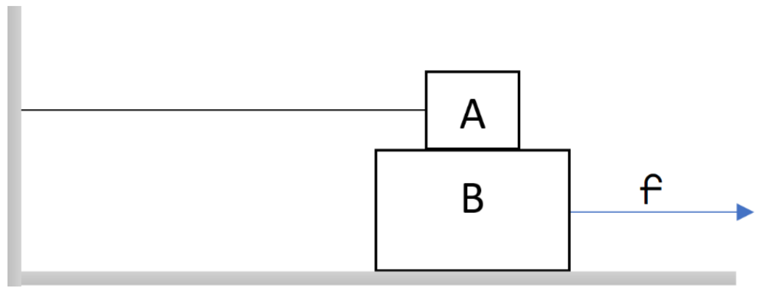
---

11) جسم كتلته 2.00 kg يتحرك غرباً بسرعة منتظمة مقدارها 4.00 m/s ، أثرت عليه قوة مقدارها 4.00 N باتجاه الشمال .مقدار إزاحة الجسم بعد 4.00 ثواني من تطبيق القوة يساوي :

A) 5.66 m   B) 16.0 m   C) 22.6 m   D) 32.0 m

---

12) قالب A كتلته m_A يرتكز على قالب B كتلته m_B ، القالب A مربوط بجدار بواسطة حبل مهمل الكتلة كما هو موضح في الشكل.



معامل الاحتكاك بين A و B هو 0.2، وبين B والأرض هو 0.3 ، تسارع الجاذبية الأرضية g . ما أقل قوة F لازمة لتحريك الكتلة B ؟

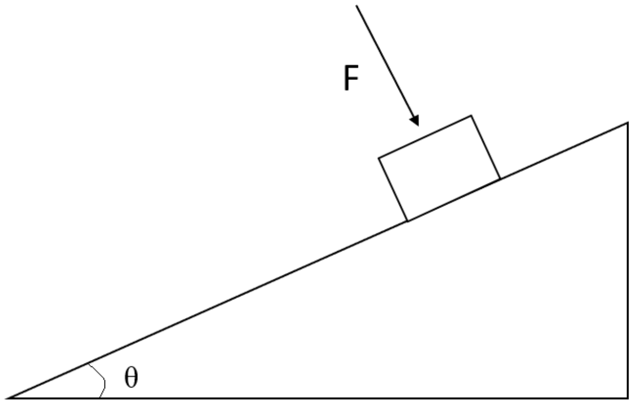
A) $0.2\, m_A\, g + 0.3\,(m_A + m_B)g$ B) $0.3\,(m_A + m_B)g - 0.2\, m_A\, g$

C) $0.2\, m_A\, g + 0.3\, m_B\, g$ D) $(m_A + m_B)g$

---

13) استخدمت قوة F لإبقاء قالب كتلته m ساكناً على سطح خشن مائل عن الأفق بزاوية θ

إذا كان معامل الاحتكاك السكوني بين القالب والسطح المائل μ ، فإن أقل قيمة مطلوبة للقوة F هي:



A) $\frac{mg(sin\theta - \mu cos\theta)}{\mu}$

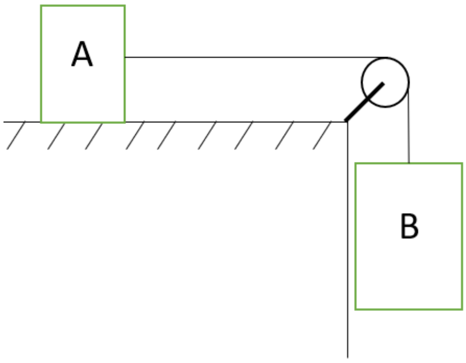
B) $\frac{mg(cos\theta - \mu sin\theta)}{\mu}$

C) $\frac{mg(sin\theta + \mu cos\theta)}{\mu}$

D) $\frac{mg(cos\theta + \mu sin\theta)}{\mu}$

---

14) قالبان مربوطان بحبل خفيف يمر على بكرة ثابتة وملساء، الأول كتلته m_A موضوع على مستوى أفقي خشن معامل احتكاكه السكوني μ_s ، والثاني معلق وكتلته m_B ، لكي يبدأ القالب الأول بالحركة من السكون، يجب أن تكون قيمة كتلة القالب المعلق: (اعتبر g عجلة الجاذبية الأرضية)



A) $\mu_S m_A + 1$

B) $\mu_S m_A$

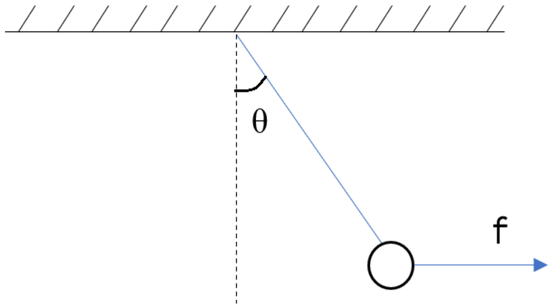
C) $g\mu_S m_A$

D) $\frac{\mu_S m_A}{g}$

---

15) تم تثبيت بندول وزنه 1.0 N بزاوية θ من الوضع الرأسي بواسطة قوة أفقية F = 2.0 N

الشد في الخيط الذي يدعم البندول (بالنيوتن) يساوي:



A) $cos\theta$

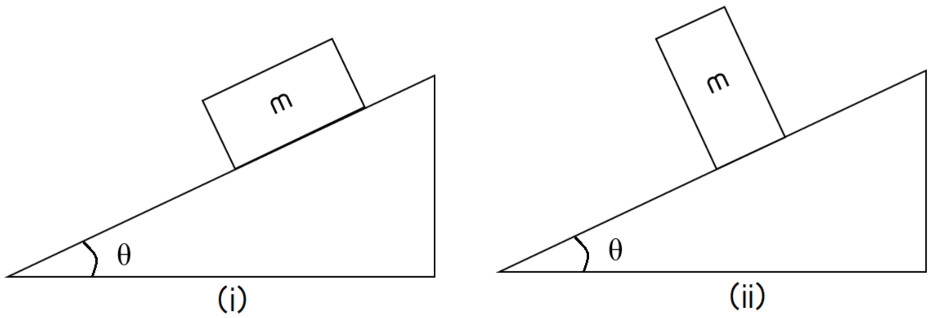
B) $2/cos\theta$

C) $\sqrt{5}$

D) 1

---

16) يتم وضع نفس القالب المتجانس أولًا على جانبه الطويل، ثم على جانبه القصير على نفس المستوى المائل، كما هو موضح في الشكل، يتسارع القالب لأسفل المستوى المائل. (افترض أن الصندوق لن ينقلب)



مقدار تسارع القالب في الحالة (ii) مقارنة بتسارعه في الحالة (i) يكون:

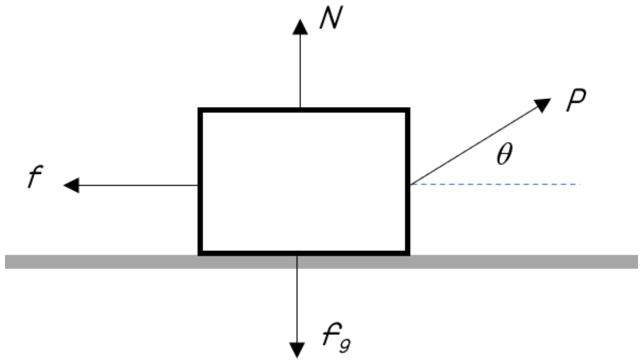
A) نفسه B) أكبر C) أصغر D) الضعف

---

17) يسحب صبي صندوقًا خشبياً على طول أرضية أفقية خشنة بسرعة ثابتة بواسطة القوة P كما هو موضح في الشكل.

Fهي قوة الاحتكاك، وN هي القوة العمودية، و F_g هي قوة الجاذبية.

أي مما يلي يجب أن يكون صحيحا؟ ملاحظة: أطوال الأسهم قد لا تمثل القيم الدقيقة للقوى.



A) $P = F$ and $N = F_g$

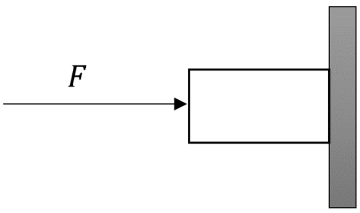
B) $P = F$ and $N > F_g$

C) $P > F$ and $N < F_g$

D) $P > F$ and $N = F_g$

---

18) كتاب كتلته m موضوع متلامساً مع حائط، ويدفع بقوة أفقية مقدارها F كما هو موضح في الشكل، ينزلق الكتاب إلى أسفل متلامساً مع الحائط، إذا كان معامل الاحتكاك الاستاتيكي μ_s ومعامل الاحتكاك الحركي μ_k ، فإن القوة المحصلة المؤثرة عليه تساوي:



A) $mg - \mu_s F$

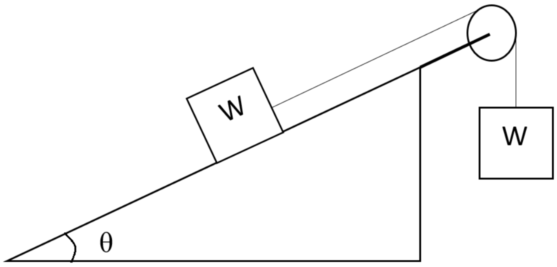
B) $mg - (\mu_s - \mu_k)F$

C) $mg - \mu_k F$

D) $mg - (\mu_s + \mu_k)F$

---

19) قالبان لهما نفس الوزن W مربوطان بحبل خفيف يمر على بكرة ثابتة وملساء كما في الشكل، إذا كان القالبان في حالة سكون، فإن القالب على المستوى المائل يتعرض لقوة احتكاك مقدارها:



W (1-sin θ) (A

W (1+sin θ) (B

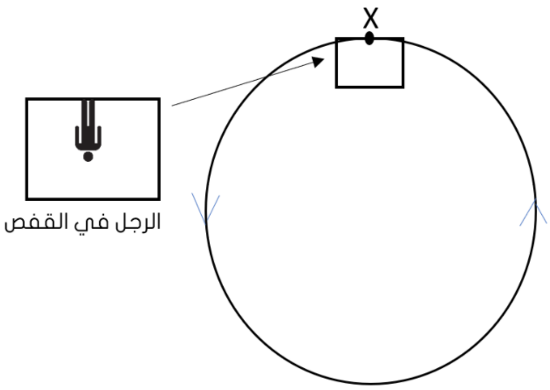
W (1-cos θ) (C

W (1+cos θ) (D

---

20) عجلة عملاقة قطرها 40.0 m مزودة بقفص ومنصة يقف عليها رجل كتلته m ، يتم تدوير العجلة في مستوى رأسي بسرعة تجعل القوة التي يؤثر بها الرجل على المنصة مساوية لوزنه عندما يكون القفص عند النقطة X ،

سرعة الرجل عند النقطة X تساوي: اعتبر : $g = 10.0\ m/s^2$



14.0 m/s A

20.0 m/s (B

28.0 m/s (C

80.0 m/s (D

---

21) حُرك حجر في دائرة أفقية نصف قطرها 1.50 m بواسطة خيط على ارتفاع 2.00 m فوق سطح الأرض، انقطع الخيط، فتطاير الحجر أفقيًا، ضاربًا الأرض على بُعد 10.0 m أفقياً من نقطة ترك الحجر للمسار الدائري.

التسارع المركزي أثناء الحركة الدائرية يساوي: اعتبر $g = 10.0\ m/s^2$

$10.5\ m/s^2$ (A

$15.8\ m/s^2$ (B

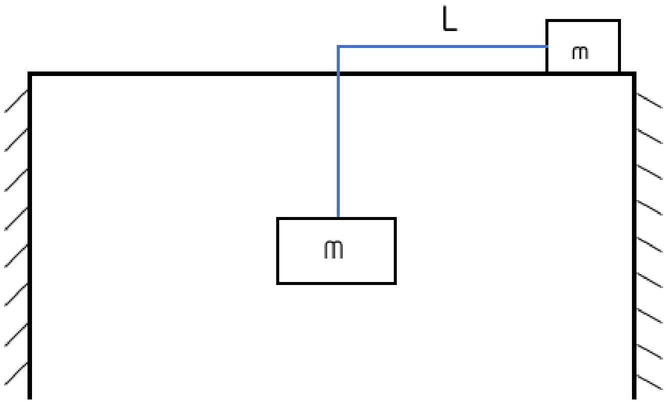
$112.2\ m/s^2$ (C

$166.6\ m/s^2$ (D

---

22) كتلتان m و M متصلتان بخيط خفيف يمر عبر ثقب أملس O في مركز طاولة، الكتلة m موضوعة على الطاولة، والكتلة Mمعلقة رأسيًا، وتتحرك m في دائرة أفقية مركزها O ، إذا كان طول الخيط من O إلى m يساوي L

وجميع الاسطح مهملة الاحتكاك، فإن سرعة دوران الكتلة m تساوي:



A) $\sqrt{\frac{m}{M} lg}$

B) $\sqrt{\frac{M}{m} lg}$

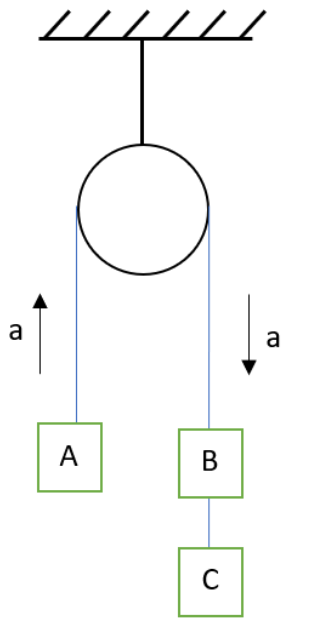
C) $\sqrt{\frac{m}{lM} g}$

D) $\sqrt{\frac{M}{lm} g}$

---

23) ثلاث كتل A، B، C، كتلة كل منها 2 kg، معلقة فوق بكرة ثابتة، وتتسارع بمقدار a كما هو موضح في الشكل.

شد الخيط الذي يربط القالب B والقالب C يساوي:

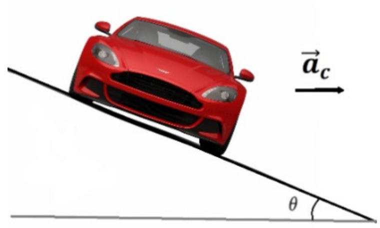


a (A　　2a (B　　3a (C　　4a (D

---

24) منحدر دوار بأرضية زلقة، يسمح بسرعة قصوى للسيارات التي تدور فيه مقدارها 13 m/s ، تخرج السيارات من الدوار إلى منحدر خروج له نفس زاوية ميلان المنحدر الأول، إذا أردنا لمنحدر الخروج الثاني أن يسمح بسرعة قصوى للسيارات مقدارها 26 m/s ، فإنه يجب تغيير نصف قطره إلى:

A) الربع　　B) النصف　　C) الضعف　　D) أربعة أمثال



الدرجة	الاختيار الصحيح	رقم السؤال

.1	A	2
.2	D	3
.3	C	5
.4	C	5
.5	C	5
.6	C	6
.7	D	6
.8	A	5
.9	B	3
.10	D	5
.11	C	5
.12	A	6
.13	A	5
.14	B	5
.15	C	5
.16	A	2
.17	C	2
.18	C	4
.19	A	3
.20	B	5
.21	D	3
.22	B	5
.23	D	2
.24	D	3
		100

وزارة التعليم
Ministry of Education

موهبة
Mawhiba

نسمو
NSMO
أولمبياد العلوم والرياضيات الوطني

الفصل الأول:

1- $[ML^{-1}T^{-2}]$. **2**- $T \propto L^{\frac{1}{2}} \times g^{-\frac{1}{2}}, T \propto \sqrt{\frac{L}{g}}$. **3**- B. 4- B.

الفصل الثاني:

1a- 12.6 km/h at 71.6° north of east. **1b**- minutes. **2a**- 19.5° west of north. **2b**- 13.3 minutes. **3a**- 261 km/h. **3b**- 15.3° south of east. **4**- 866 km/h. **5**- 2.92 m/s, 7.9° above the east direction.

الفصل الثالث:

Exercises: **1**- $\boldsymbol{a} = (29.3\hat{\imath} - 1.88\hat{\jmath})m/s^2$. **2a**- $a = \frac{F}{m_A+m_B+m_C}$ **2b**- $a = \frac{F-(m_A+m_B+m_C)gsin\theta}{m_A+m_B+m_C}$. **3a**- $a = \frac{mg}{m+M}$. **3b**- $T = \frac{Mmg}{m+M}$. **4a**-$a = \frac{(m_1-m_2\sin\theta)g}{m_1+m_2}$. **4b**- $T = \frac{m_1m_2g(1+\sin\theta)}{m_1+m_2}$. **5**- $a = 1.82$m/s²,5b- $T = 21.8$N. **6**- $a = 1.12$m/s². **7**- $\mu_s = \tan\theta_c$.

Additional problems: **1**- Weight = 637 N; Scale reads 510 N or 52 kg. **2**- 400N. **3a**- m/s² down the slope **3b**- $v = 16.2$m/s **4a**- Weight = 196 N (down); Normal force = 196 N (up) **4b**- 294 N, 98N. **5**- 3.63 × 10³ N. **6**- 2.45 m/s² downward. **7**- 1.41 × 10³ N. **8**- 17.0° (backward). **9**- 2.6m. **10**- 2.7×10^3N (upward) **11a**- $a_1 = 1.68\ m/s^2, a_2 = 0.840\ m/s^2$ **11b**- 13.4N. **12a**- 350N **12b**- 1.96 m/s² **13**- 20N,10N. **14a**- 180N , **14b**- 644N

الفصل الرابع:

Exercises: **1**- 219m/s, 219 m/s². **2**- 14.2 N. **3a**- 3.50m/s, **3b**- 19.6N. **4a**- 6.05 m/s^2, **4b**- 5.62 m/s^2, **4c**- 8.26 m/s^2, $\phi \approx 43°$

Additional problems: **1**- 1684 m/s, 1 hour 48 minutes. **2**- $a_c = 83.8\ m/s^2$ **3a**- $F_c = 3920N, f_{smax} = 5880N\ so\ no\ skid$. **3b**- $F_c = 3920N, f_{smax} = 2450N\ so\ the\ car\ will\ skid$. **4**- $v = \sqrt{gLsin\theta tan\theta}$. **5a**- $tan\theta = \frac{v^2}{gr}$, **5b**- 22°. **6a**-$3.80mg$, **6b**$- 1.80mg$. **7a**- $0.74m/s^2$, **7b**- $0.62m/s^2$, **7c**- $0.96m/s^2$.