



دولة ليبيا

وزارة التعليم

مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية

# الفيزياء

الجزء الثاني (الميكانيكا)

للسنة الثالثة

بمرحلة التعليم الثانوي

(القسم العلمي)

1440 - 1441 هـ

2019 - 2020 م



دَوْلَة لِيْبِيَا

وَزَارَة التَّعْلِيم

مَرْكَز المَنَاهِج التَّعْلِيمِيَّة وَالبَحْث التَّرْبَوِيَّة

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





# فهرس

## الفصل الأول: تحليل القوى

7	التحليل أفقياً ورأسياً	1.1
8	القوى المائلة	2.1
12	تمارين A-1	
15	بعض العلاقات المثلثية المفيدة	3.1
16	التحليل في اتجاهات أخرى	4.1
19	تمارين B-1	

## الفصل الثاني: الاحتكاك

21	الخواص الأساسية لقوة الاحتكاك	1.2
24	حد الاحتكاك	2.2
28	بعض التجارب	3.2
29	الحركة والاحتكاك	4.2
30	تمارين A-2	
31	مسائل تحتوي الاحتكاك	5.2
34	تمارين B-2	

## الفصل الثالث: الحركة بفعل الجاذبية

36	الأجسام الساقطة من ارتفاع	1.3
38	تمارين A-3	
39	الأجسام المقذوفة إلى أعلى	2.3
43	تمارين B-3	
45	الحركة على مستوى مائل	3.3
48	الحركة الراسية مع المقاومة الهوائية	4.3
51	تمارين C-3	

### الفصل الرابع: قانون نيوتن الثالث

53	1 4	أزواج القوى
54		قوى الانتشار العمودية
55		قوى الاحتكاك
56		قوى تجاذبية
56	2 4	استخدام قانون نيوتن الثالث في الحسابات
60		تمارين A-4
62	3 4	الخطوط والعيان والسلاسل والكبلات
64	4 4	التأثير والبركارات
68		تمارين B-4
69	5 4	"القوى" الداخلية والخارجية
73		تمارين C-4

### الفصل الخامس: الشغل والطاقة والقدرة

75	1 5	معادلة الشغل - علاقة
77	2 5	بدائل التعميمات
78	3 5	الحركة في حقل منحني
79		تمارين A-5
80	4 5	المسافة
82	5 5	القدرة والشدة و"السرعة"
83		تمارين B-5

### الفصل السادس - طاقة الوضع

85	1 6	تعبير آخر للشغل
87	2 6	ثلاث مسائل وحواشٍ واحد
88	3 6	القوى المحافظة والقوى غير المحافظة
89	4 6	بدائل الطاقة
92		تمارين A-6
93	5 6	تطبيقات على الأنظمة المرتبطة مع بعضها البعض
94	6 6	تصميم القوى غير المحافظة في الحياة
95		تمارين B-6

الملاحق. إجابات التمارين الواردة في الكتاب

# 1

## Resolving forces

## الفصل الأول:

# تحليل القوى

يتناول هذا الفصل تأثير جميع القوى على الجسم، والتي تتضمن القوى التي لا تكون أفقية ولا عمودية، وعند الانتهاء من دراسته يجب أن:

- تفهم فكرة تحليل القوى في أي اتجاه.
- تعرف كيف تجد الجزء المحلل من القوى في الاتجاه المعطى.
- تكون قادراً على حل مسائل من خلال التحليل في اتجاهات مختلفة.

### 1.1 التحليل أفقياً ورأسياً (Resolving horizontally and vertically)



الشكل (1.1)

افرض أن راكب دراجة بدأ الحركة من سكون وتسارع بمعدل  $(0.4\text{m/s}^2)$  وكانت الكتلة الكلية للدراجة وراكبها تساوي  $(75\text{kg})$ ، وحيث أن راكب الدراجة والدراجة تحركا بعجلة واحدة فيمكن اعتبارهما جسم واحد.

فما هي القوى المؤثرة على هذا الجسم؟

بشكل واضح هناك قوة تقود الدراجة إلى الأمام والتي نتجت بقبضة العجلة الخلفية على الطريق ولنرمز لها بـ  $(D)$ ، لربما هناك بعض المقاومة للهواء  $(R)$  وهي التي ستكون صغيرة بالمقارنة بالقوة الدافعة، وفي نموذج مبسط ربما نقرر إهمالها. وهناك أيضاً الوزن الكلي للدراجة وراكبها وهي  $(750\text{ N})$  والتي تكون عكس قوة الاتصال العمودية المؤثرة على العجلتين الأمامية والخلفية  $(p)$  و  $(Q)$  على التوالي.

ويوضح الشكل (1.1) جميع هذه القوى والعجلة في رسم تخطيطي واحد.

عندما تتعرض إلى مسألة تتضمن قوى وعجلة يلزم البدء برسم تخطيطي لكل القوى والعجلة ويمكن الحصول على معادلتين للقوى، واحدة تستخدم قانون نيوتن الثاني للحركة في الاتجاه الأفقي والأخرى تنص على أن القوى الرأسية في اتزان، وهاتين المعادلتين هما:

$$\begin{array}{rcl} D - R = 75 \times 0.4 & \longrightarrow & 1 \\ P + Q - 750 = 0 & \longrightarrow & 2 \end{array}$$

كتابة المعادلات بهذه الصورة يُسمى تحليل، حيث المعادلة الأولى هي تحليل في الاتجاه الأفقي والثانية تحليل في الاتجاه الرأسي، وهناك طريقة مختصرة للكتابة هي  $F(\rightarrow)$ ،  $F(\uparrow)$  وعليه يمكنك كتابة معادلتَي الدراج (سائق الدراجة) كالتالي:

$$\begin{array}{rcl} F(\rightarrow) & D - R = 75 \times 0.4 \\ F(\uparrow) & P + Q - 750 = 0 \end{array}$$

عندما تكتب معادلة تحليلية، يجب عليك توضيح ذلك إما بالكلام أو باستخدام طريقة الاختزال  $F(\rightarrow)$  والتي تبين الاتجاه المختار. ويمكنك كتابة معادلة الاتزان  $F(\uparrow)$  على الصورة

$$\begin{array}{l} P + Q - 750 = 0 \\ \text{أو} \\ P + Q = 750 \end{array}$$

والاصطلاح هو أن نرسم السهم الذي يمثل الاتجاه في الجانب الأيسر للمعادلة، أما إذا كنت تستخدم قانون نيوتن الثاني فمن الأفضل أن تضع كل القوى في الطرف الأيسر وتضع  $(ma)$  بمفردها في الطرف الأيمن.

## 2.1 القوى المائلة (Forces at an angle)

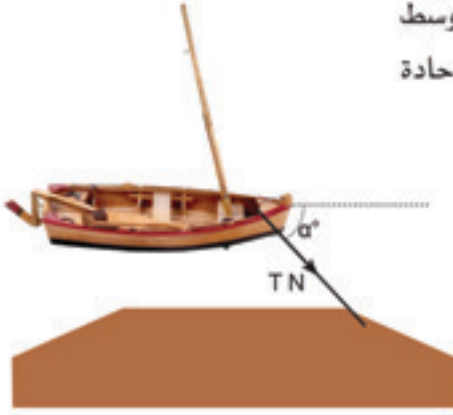
حتى الآن تعاملنا مع القوى الأفقية أو العمودية ولكن في بعض الأحيان تؤثر القوى على الأجسام بزواوية.

افترض أنك كنت في قارب نزهة مع صديقك وعندما توجه القارب إلى رصيف الميناء وتوقف محرك القارب قفز صديقك إلى الرصيف وجذب القارب بحبل، والشكل (2.1) يوضح صورة جوية للحالة، افترض أن الشد في الحبل أفقياً ومقداره  $(T)$ .

ولأسباب واضحة لا يمكن توجيه الحبل على استقامة القارب، وحيث أن الشد في

## 2.1 القوى المائلة

الحبل يحرك القارب إلى الأمام فلا يمكن أن يكون في اتجاه عمودي على خط وسط القارب (الخط المنقطع في الشكل 2.1). وعليه يكون اتجاه الشد يصنع زاوية حادة ( $\alpha^\circ$ ) مع خط وسط القارب.



الشكل (2.1)

والآن كم يكون تأثير الشد في الاتجاه الأمامي؟

الإجابة تعتمد على قيمة كل من الشد ( $T$ ) والزاوية ( $\alpha$ ). فإذا كانت قيمة ( $\alpha=0^\circ$ ) كان التأثير الأمامي يساوي قيمة الشد ( $T$ ) أما إذا كانت قيمة ( $\alpha=90^\circ$ ) كان التأثير الأمامي يساوي صفرًا، لذلك عندما تكون قيم ( $\alpha$ ) بين ( $0$ ) و ( $90^\circ$ ) يكون التأثير الأمامي ( $rT$ ) حيث تكون قيمة ( $r$ ) بين ( $1$ ) و ( $0$ ) ومقدارها يعتمد على قيمة الزاوية.

ويمكن توضيح العلاقة بين ( $r$ ) و ( $\alpha$ ) من خلال بعض التجارب والتي تبين أن

$$r = \cos \alpha$$

ويمكنك ملاحظة هذه العلاقة مع ما تم تناوله في الجزء ما قبل الأخير عندما  $\alpha=0^\circ$  يكون التأثير الأمامي:

$$(\cos 0^\circ) \times (T) = 1 \times (T) = T N$$

أما عند  $\alpha=90^\circ$  يكون التأثير الأمامي  $(\cos 90^\circ) \times (T) = 0$  بين ( $0^\circ$ ) و ( $90^\circ$ ) تكون قيمة ( $\cos \alpha$ ) بين ( $1$ ) و ( $0$ )

يمكنك وضع هذا في قاعدة عامة وهي موضحة في الشكل (3.1).



الشكل (3.1)

إذا صنعت قوة ( $F$ ) زاوية ( $\theta^\circ$ ) مع اتجاه معين يكون تأثيرها في هذا الاتجاه مساوياً لـ ( $F \times \cos \theta$ ) ويسمى هذا الجزء المحلل للقوة في الاتجاه المعين (مركبة القوة).

ويمكن الآن كتابة معادلات الحركة للقارب بفرض أن القارب تحرك بسرعة ثابتة موازياً للمرسى، هناك مقاومة من الماء للحركة الأمامية ( $R$ ) وقوة ( $S$ ) لمنع القارب من الحركة الجانبية ويوضح الشكل (4.1) القوى الثلاث المؤثرة على القارب.



## الفصل الأول: تحلدا القوى

ويمكن الآن تحليل القوى في الاتجاه الموازي والاتجاه العمودي لخط القارب.

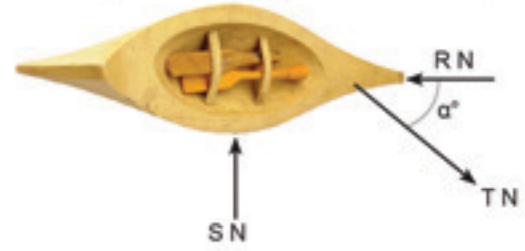
(نخط القارب  $\parallel$ )  $F$

$$T \cos \alpha^\circ - R = 0$$

$$F (\perp \text{ خط القارب}) \quad T \sin \alpha - S = 0$$

لاحظ أن هناك قوة رأسية تؤثر على القارب، وهي وزنه إلى أسفل

وقوة الطفو إلى أعلى والتي يمكن توضيحها في رسم منفصل شكل (5.1).



الشكل (4.1)



الشكل (5.1)

### مثال 1.2.1

سُحب صندوق كتلته (15 kg) على أرضية بسرعة ثابتة (1.2m/s) بواسطة حبل يصنع زاوية قدرها (30°) مع الاتجاه الأفقي وكان الشد في الحبل (50 N). احسب قوة الاحتكاك المقاومة للحركة وقوة الاتصال العمودية من الأرضية.

يوضح الشكل (6.1) القوى الأربع المؤثرة على الصندوق قوة الاحتكاك (f) ووزن الصندوق (150 N)، والشد الذي يصنع زاوية (30°) مع الأفقي و(60°) مع الرأسي، وقوة الاتصال العمودية (R)

حيث إن الصندوق يتحرك بسرعة ثابتة فإن العجلة = 0

$$F (\rightarrow) \quad 50 \cos 30^\circ - f = 15 \times 0 \quad \rightarrow (1)$$

$$F (\uparrow) \quad R + 50 \sin 30^\circ - 150 = 0 \quad \rightarrow (2)$$

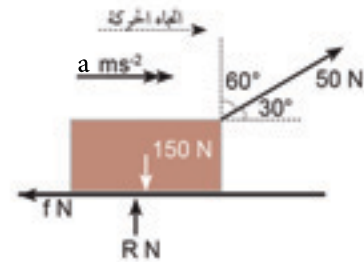
من المعادلة رقم (1)

$$f = 50 \cos 30^\circ = 43.3 \text{ N}$$

ومن المعادلة رقم (2)

$$R = 150 - 50 \sin 30^\circ = 125 \text{ N}$$

وعليه تكون قوة الاحتكاك تساوي (43 N) تقريباً وقوة الاتصال العمودية (125 N).



الشكل (6.1)

## 2.1 القوى المائلة

لاحظ هنا أن قوة الاتصال العمودية أقل من وزن الصندوق لأن الشد في الحبل يساعد في دعم الوزن.

### مثال 2.2.1

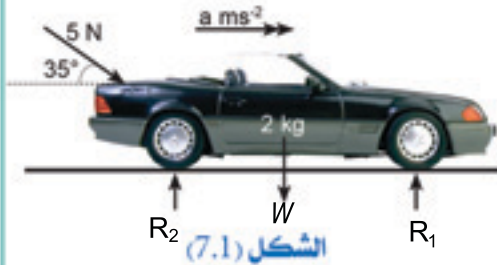
يدفع طفل عربة صغيرة كتلتها (2 kg) على الأرض بقوة مقدارها (5 N) تصنع زاوية (35°) مع الأفقي وبإهمال القوى المقاومة أوجد عجلة العربة.

يوضح الشكل (7.1) جميع القوى والعجلة (a)

$$F (\rightarrow) \quad 5 \cos 35^\circ = 2a$$

$$\therefore a = \frac{5 \cos 35^\circ}{2} = 2.04 \text{ m/s}^2$$

أي أن عجلة العربة (2 m/s<sup>2</sup>) تقريباً.



الشكل (7.1)

### مثال 3.2.1

رُبطت طفلة صغيرة في مقعد أرجوحة مدعومة بواسطة حبلين ولكي تبدأ الحركة جذبها والدها إلى الخلف قليلاً بقوة أفقية بحيث صنع الحبلان زاوية قدرها (20°) مع الرأسى فإذا كانت كتلة الطفلة والأرجوحة (18 kg). احسب الشد في كل حبل وقوة جذب والدها قبل بدء الحركة.

لنفرض أن الشد في كل حبل (T) وقوة جذب الوالد (T). هذه القوى مع الوزن (180 N) موضحة في شكل (8.1).



الشكل (8.1)

تكون القوى في حالة اتزان

$$F (\rightarrow) \quad T = 2T \sin 20^\circ \quad \rightarrow (1)$$

$$F (\uparrow) \quad 2T \cos 20^\circ = 180 \quad \rightarrow (2)$$

من المعادلة رقم (2)

$$T = \frac{180}{2 \cos 20^\circ} = 95.7 \text{ N}$$

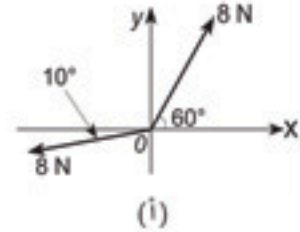
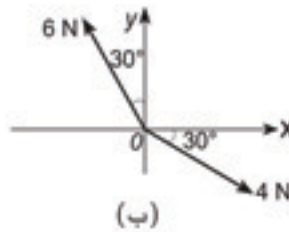
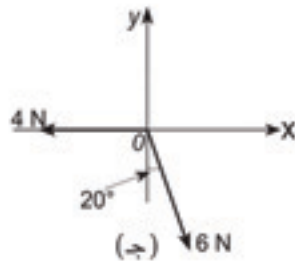
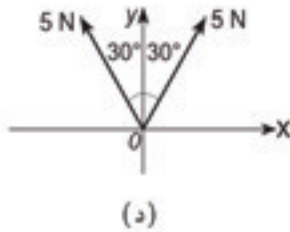
وبالتعويض في المعادلة رقم (1)

$$\begin{aligned} T &= 2 \times (95.7) \sin 20^\circ \\ &= 65.5 \text{ N} \end{aligned}$$

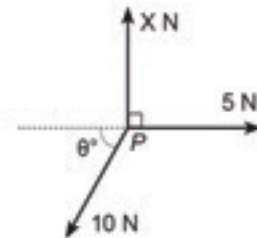
يؤثر على حبل الأرجوحة بقوة شد (96 N) تقريباً، يجذب الوالد الأرجوحة بقوة أفقية مقدارها (66 N) تقريباً.

## تمارين 1 - A

1. أوجد تحليل الأجزاء لكل القوى الموضحة في الأشكال التالية في الاتجاه  $(ox)$ ،  $(oy)$ .



2. تؤثر ثلاث قوى في مستوى على جسم (P) متزن كما هو موضح في الشكل. بالتحليل في اتجاه القوة (5 N). احسب قيمة الزاوية وبالتحليل في اتجاه (X N) احسب قيمة القوة X.



3. تُجذب لعبة كتلتها (1.8 kg) على سطح أفقي بواسطة سلك يصنع زاوية قدرها  $(30^\circ)$  مع الأفقي، فإذا كانت قوة الشد في السلك تساوي (6 N) ولا توجد قوة تعوق الحركة احسب عجلة اللعبة.

4. تُجذب سلة ملابس كتلتها (5 kg) بسرعة ثابتة في ممر بواسطة حبل يصنع زاوية



قدرها ( $20^\circ$ ) مع الأفقي، فإذا علمت أن مقدار قوة الاحتكاك ( $33 \text{ N}$ ) أوجد قوة الشد في الحبل.

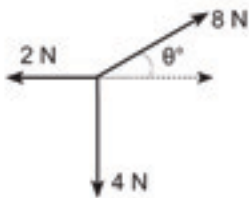
5. تُسحب عربة كتلتها ( $750 \text{ kg}$ ) على طريق أفقي بواسطة عربة جر وكان ذراع التوصيل يميل بزاوية قدرها ( $40^\circ$ ) مع الأفقي بعجلة ( $0.8 \text{ m/s}^2$ ) فإذا كان الشد في هذا الذراع يساوي ( $1000 \text{ N}$ )، احسب مقدار القوة المقاومة لحركة العربة.

6. تدفع عربة كتلتها ( $850 \text{ kg}$ ) بقوة ( $T \text{ N}$ ) تميل بزاوية ( $25^\circ$ ) مع الأفقي وتُشد أيضاً بقوة أفقية قدرها ( $283 \text{ N}$ )، وتوجد قوة قدرها ( $600 \text{ N}$ ) تقاوم الحركة بحيث تتحرك السيارة بسرعة ثابتة. أوجد قوة الدفع ( $T$ ) وقوة الاتصال العمودية من الطريق.

7. يستقر جسم ( $P$ ) كتلته ( $4 \text{ m kg}$ ) على منضدة أفقية أثرت عليه قوة قدرها ( $50 \text{ m N}$ ) بزاوية حادة ( $\theta^\circ$ ) مع الأفقي فإذا كان ( $\tan \theta^\circ = \frac{3}{4}$ ) ومقدار مقاومة الحركة ( $20 \text{ m N}$ )، أوجد العجلة التي يتحرك بها الجسم ( $P$ ) ثم أوجد مقدار قوة الاتصال العمودية على الجسم ( $P$ ) من المنضدة بدلالة  $m$

8. يدفع المتسوق عربة السوق في خط مستقيم نحو سيارته بقوة مقدارها ( $20 \text{ N}$ ) في اتجاه إلى أسفل بزاوية قدرها  $15^\circ$  مع الأفقي فإذا كانت عجلة العربة ( $2.4 \text{ m/s}^2$ ) احسب كتلة العربة ثم احسب قوة الاتصال العمودية على العربة بواسطة الأرض.

9. مصباح مدعوم في حالة توازن بسلسلتين ثبتتا إلى نقطتين ( $A$ ) و ( $B$ ) في نفس المستوى وكان طولهما ( $0.3 \text{ m}$ ) و ( $0.4 \text{ m}$ ) والمسافة بينهما ( $0.5 \text{ m}$ ) فإذا علمت أن الشد في السلسلة الطويلة ( $36 \text{ N}$ )، بيّن بالتحليل الأفقي أن الشد في السلسلة القصيرة ( $48 \text{ N}$ )، وبالتحليل الرأسي أوجد كتلة المصباح.



10. يوضح الشكل المقابل ثلاث قوى أفقية تؤثر على جسم كتلته ( $4 \text{ kg}$ )، فإذا علمت أن الجسم تحرك في اتجاه الخط المنقطع، بيّن أن ( $\theta = 30^\circ$ )، ثم أوجد مقدار العجلة التي يتحرك بها الجسم.

11. يُجر متزلج كتلته ( $90 \text{ kg}$ ) على الماء عن طريق حبل متصل بقارب سريع ويصنع

زاوية ( $20^\circ$ ) مع الأفقي في خط مستقيم وموازيًا لسطح الماء بعجلة قدرها ( $1.2 \text{ m/s}^2$ ) وكان الشد في الحبل ( $250 \text{ N}$ ). احسب مقدار القوة الرأسية المؤثرة على المنزلج وقوة مقاومة الهواء.

12. تُجر لعبة طفل كتلتها ( $5 \text{ kg}$ ) على سطح الأرض بسلك يصنع زاوية ( $30^\circ$ ) مع الأفقي وبمقدار شد ( $T$ ). أوجد مقدار قوة الاتصال العمودية بين اللعبة وسطح الأرض بدلالة ( $T$ ) وبيّن أنها لا يمكن أن تزيد عن ( $100 \text{ N}$ ).

13. تستقر قطعة خشبية كتلتها ( $4.5 \text{ kg}$ ) على سطح منضدة أثرت عليها قوة مقدارها ( $35 \text{ N}$ ) في اتجاه يصنع زاوية ( $\theta^\circ$ ) مع الأفقي ولم تحركها، فإذا علمت أن قوة الاتصال العمودية بين القطعة والمنضدة مقدارها ( $30 \text{ N}$ ).  
احسب: (أ) قيمة الزاوية ( $\theta^\circ$ ).  
(ب) قوة الاحتكاك المؤثرة على القطعة.

14. تُدفع حاوية كتلتها ( $35 \text{ kg}$ ) على ساحة أفقية بقوة ( $130 \text{ N}$ ) في الاتجاه الأسفل بزاوية ( $30^\circ$ ) مع الأفقي ضد قوة احتكاك قدرها ( $60 \text{ N}$ ). احسب عجلة الحاوية ومقدار قوة الاتصال العمودية بين الحاوية وسطح الأرض.

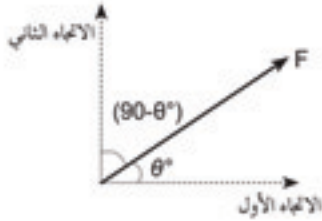
15. قرر طالب أن يقيس عجلة القطار الذي يركبه، حيث علق طرد كتلته ( $2 \text{ kg}$ ) في سقف العربة بواسطة سلك، وقياس الزاوية التي يصنعها السلك مع العمودي وعندما كان القطار متحرك بعجلة ثابتة ( $a \text{ m/s}^2$ ) وجد أن قيمة الزاوية ( $8^\circ$ ) أوجد عجلة القطار (a).

16. تُسحب قطعة خرسانية كتلتها ( $m$ ) إلى أعلى عن طريق حبلين بسرعة ثابتة، يميل أحد الحبلين بزاوية ( $10^\circ$ ) مع الرأسى وكان الشد فيه ( $2800 \text{ N}$ ) والشد في الحبل الآخر ( $2400 \text{ N}$ ). أوجد الزاوية التي يميل بها الحبل الثاني على الرأسى ثم أوجد كتلة الخرسانة ( $m$ ).

17. يَجُرُّ رجل جسمًا كتلته ( $40 \text{ kg}$ ) على سطح أفقي بقوة ( $140 \text{ N}$ ) تميل على الأفقي بزاوية قدرها ( $30^\circ$ ) وتدفع ابنته بقوة ( $50 \text{ N}$ ) في الاتجاه الأسفل بزاوية ( $10^\circ$ ) مع الأفقي فإذا كان الجسم يتحرك بسرعة ثابتة. احسب قوة الاحتكاك ( $f$ ) وقوة الاتصال العمودية بين الجسم والأرض ( $R$ ) ووضح أن النسبة ( $f:R$ ) تقع بين ( $0.50$  و  $0.51$ ).

(Some usefull trigonometry)

## 3.1 بعض العلاقات المثلثية المفيدة



الشكل (9.1)

إذا قمت بتحليل قوة (F) والتي تصنع زاوية ( $\theta^\circ$ ) مع أحد الاتجاهات المتعامدة تكون في اتجاه يصنع زاوية ( $90 - \theta^\circ$ ) مع الأخرى (انظر إلى الشكل (9.1) وبذلك تكون مركبة القوة ( $F \cos \theta^\circ$ ) مع الاتجاه الأول، وتكون مركبة القوة ( $F \cos (90 - \theta^\circ)$ ) مع الاتجاه الثاني.

في بعض الأحيان تكون الزاوية ( $90 + \theta^\circ$ ) كما في شكل (10.1) بدلاً من ( $90 - \theta^\circ$ )، في هذه الحالة يمكن كتابة:

$$\cos (90 + \theta)^\circ = -\sin \theta^\circ$$

ويكون الجزء المحلل من القوة هو ( $-F \sin \theta^\circ$ )

هناك نتيجة أخرى مهمة وهي ( $\frac{\sin \theta^\circ}{\cos \theta^\circ} = \tan \theta^\circ$ ) وعلى سبيل المثال يمكن توضيح ذلك كما رأينا في المثال (3.2.1) أنه يمكن كتابة المعادلة رقم (1)

$$'T = 2 T \sin 20^\circ$$

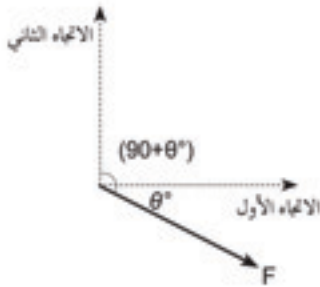
وأن المعادلة (2) يمكن كتابتها كالتالي:

$$2 T = \frac{180}{\cos 20^\circ}$$

وبالتعويض عن (2T) في المعادلة (1) نجد أن:

$$'T = \left( \frac{180}{\cos 20^\circ} \right) \sin 20^\circ = 180 \tan 20^\circ$$

ومنها نحصل على قيمة  $'T = 65.5 \text{ N}$  دون التطرق إلى حساب قيمة الشد (T)



الشكل (10.1)



## 4.1 التحليل في اتجاهات أخرى (Resolving in other directions)

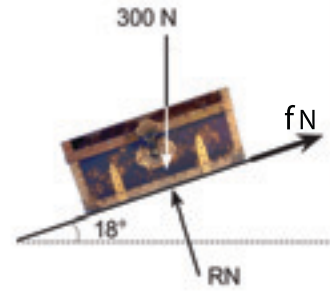
يمكنك اختيار الاتجاهات المناسبة لكتابة المعادلات وليس بالضرورة الاتجاهين الأفقي والرأسي وهذا يكون ملائماً عندما يوضع الجسم على مسار يميل على الأفقي بزاوية.

### مثال 1.4.1

يستقر صندوق كتلته (30 kg) على سطح يميل بزاوية قدرها ( $18^\circ$ ) مع الأفقي ويمنع الاحتكاك الصندوق من الانزلاق على السطح. أوجد قوة الاحتكاك وقوة الاتصال العمودية.

الحل:

لنفرض أن قوة الاحتكاك ( $f$ ) وقوة الاتصال العمودية ( $R$ ) كما في الشكل (11.1) لاحظ إن قوة الاتصال العمودية ليست رأسية ولكنها عمودية على مستوى السطح وأبسط اتجاه يمكن اختياره للتحليل هو الاتجاه الموازي للسطح والاتجاه العمودي عليه ولأجل ذلك تحتاج لإيجاد قيمة الزاوية ( $x^\circ$ ) والزاوية ( $y^\circ$ ) والموضحتين في الشكل (12.1) ومن السهل ملاحظة أن:



الشكل (11.1)

$$F \text{ (للسطح } \parallel) \quad 300 \sin 18^\circ - f = 0$$

$$F \text{ (السطح } \perp) \quad 300 \cos 18^\circ - R = 0$$

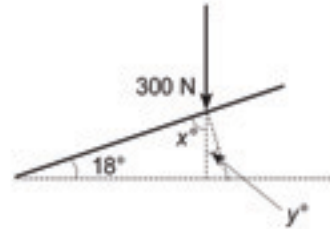
أي أن:

$$f = 300 \sin 18^\circ$$

$$f = 92.7 \text{ N}$$

$$R = 300 \cos 18^\circ = 285.3 \text{ N} \quad \text{و}$$

وعليه تكون قوة الاحتكاك تقريباً (93 N) وقوة الأتصال العمودية (285 N).



الشكل (12.1)

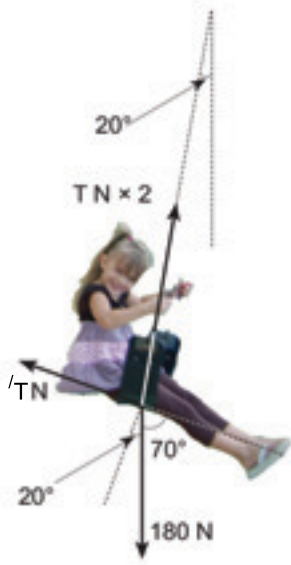
### مثال 2.4.1

كرر حل المثال (3.2.1) إذا جذب والد الطفلة الأرجوحة في اتجاه عمودي على الحبل بدلاً من الاتجاه الأفقي.

#### 4.1 التحليل في اتجاهات أخرى

الحل :

يوضح الشكل (13.1) الرسم التخطيطي للقوى. لاحظ اختلاف الشكل بعض الشيء عن المثال السابق إلا أن القوى الثلاث لها نفس العلاقة كما في الشكل (11.1) وهذا يلائم أن يجري التحليل كما في المثال (1.4.1) أي في الاتجاه العمودي على الحبل.



الشكل (13.1)

$$F (\perp \text{ الحبل}) \quad T = 180 \cos 70^\circ = 61.6 \text{ N}$$

$$F (\parallel \text{ السطح}) \quad 2 T = 180 \cos 20^\circ$$

$$T = 90 \cos 20^\circ = 84.6 \text{ N}$$

لذلك يجب على الوالد أن يجذب الأرجوحة بقوة (62 N) تقريباً ويؤثر كل حبل على الأرجوحة بقوة (85 N) تقريباً.

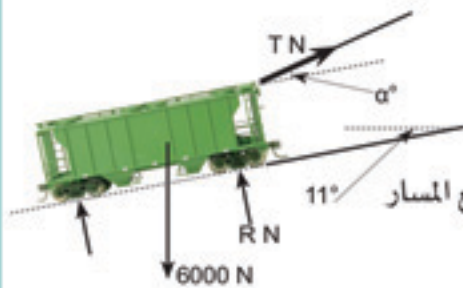
#### 3.4.1 مثال

تستقر عربة سكة على أرضية مقطع حجارة يميل بزاوية (11°) مع الأفقي إلى جانب منحدر فإذا كانت كتلة العربة (600 kg) عندما تكون مملوءة بالحجارة وهي ممنوعة من الانحدار بواسطة حبل من سيارة أعلى المنحدر كما هو موضح في الشكل (14.1) ولا يجب أن تزيد قوة الشد في الحبل عن (1600 N) ولأجل السلامة أوجد

ما يلي:

- أكبر زاوية يسمح للحبل أن يصنعها مع المسار.
- أقل قوة اتصال عمودية على العربة.

الحل :



الشكل (14.1)

$$F (\parallel \text{ المسار}) \quad T \cos \alpha^\circ = 6000 \cos 79^\circ$$

$$T \leq 1600 \text{ N} \text{ والشرط أن } \cos \alpha^\circ = \frac{6000 \cos 79^\circ}{T}$$

يعني أن :

$$\cos \alpha^\circ \geq \frac{6000 \cos 79^\circ}{1600} = 0.715$$

وعليه تكون  $\alpha^\circ \leq 44.3^\circ$

أي أن الحبل يجب أن يوضع بزاوية لا تزيد قيمتها عن  $(44^\circ)$  مع المسار.

ب. قوة الاتصال العمودية على العجلات R N

$$F (\perp \text{ المسار}) \quad R + T \cos (90 - \alpha)^\circ = 6000 \cos 11^\circ$$

$$\cos (90 - \alpha)^\circ = \sin \alpha^\circ \quad \text{بما أن}$$

$$R = 6000 \cos 11^\circ - T \sin \alpha^\circ$$

$$R = 5889.7 - T \sin \alpha^\circ$$

أقصى قيمة للشد (1600 N) ، وكذلك أقصى قيمة للزاوية  $(\alpha = 44.3^\circ)$

عليه تكون أقل قيمة لقوة الاتصال العمودية هي

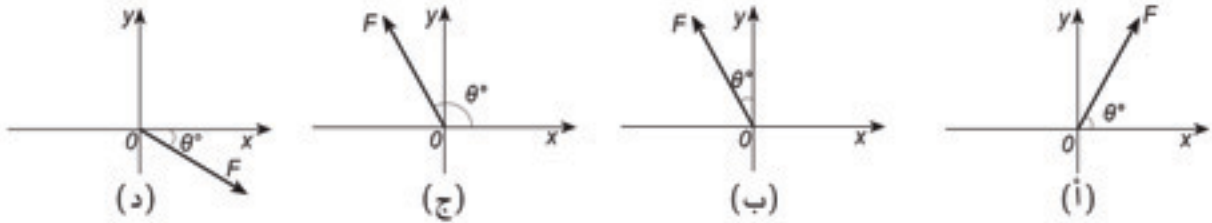
$$R = 5889.7 - 1600 \sin 44.3 = 4772 \text{ N}$$

عليه لا تكون قوة الاتصال العمودية في أي حال أقل من (4772 N)

والمثال الأخير يأخذ صورة تجربة يمكنك عملها لتوضح أن جزء تحليل القوة F التي تصنع زاوية  $\theta^\circ$  يكون  $(F \cos \theta^\circ)$  والذي يمكن أن يكون مطبقاً بشكل ملائم في الملاعب الرياضية المزودة بالقضبان الحائطية الأفقية وتحتاج أيضاً إلى نموذج لسكة حديدية طويلة مثبتة على لوح خشبي وتحتاج إلى عربة صغيرة تكون محملة لجعلها ثقيلة بقدر الإمكان وهذا يقلل من تأثير قوة المقاومة وتحتاج إلى تثبيت أقواس على اللوح الخشبي والذي يمكن أن يعلق على الحائط وبذلك يمكن تغيير نهاية ارتفاع اللوح الخشبي.

## تمارين 1 - B

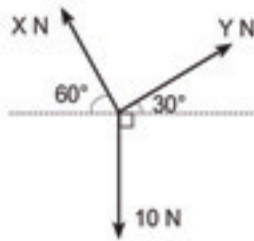
1. حلل القوى الموضحة في الأشكال التالية في الاتجاهات  $OY$ ،  $OX$  على التوالي بدلالة  $F$  و  $\theta^\circ$ .



2. تركت كتلة خشبية قدرها (4 kg) لتتحرك من السكون على مستوى مائل بزاوية  $(30^\circ)$  مع الأفقي ويفرض لا وجود للاحتكاك. احسب عجلة الكتلة الخشبية وسرعتها بعد أن تقطع مسافة قدرها (3m).

3. تتحرك سيارة كتلتها (850 kg) بعجلة قدرها  $(0.3m/s^2)$  على طريق يميل بزاوية قدرها  $(12^\circ)$  مع الأفقي وهناك قوة مقاومة للحركة مقدارها (250 N). احسب مقدار القوة المحركة للسيارة.

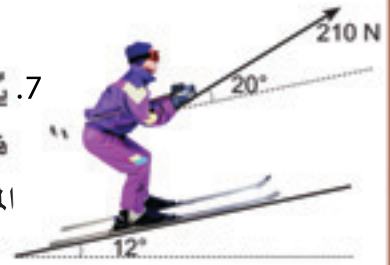
4. تتحرك دراجة كتلتها (60 kg) إلى أسفل منحدر يميل بزاوية قدرها  $(6^\circ)$  مع الأفقي ويفرض لا وجود لمقاومة الحركة. احسب العجلة إلى أسفل المنحدر وبيّن أن سرعتها تزيد من (4 m/s) إلى (16 m/s) عندما تقطع مسافة قدرها (117 m).



5. يتزن جسم تحت تأثير ثلاث قوى والموضحة في الشكل المقابل وبالتحليل في اتجاه القوة (Y N). بيّن أن  $Y = 5 N$  احسب قيمة (X).

6. يستقر صندوق كتلته (6 kg) على مستوى مائل بزاوية قدرها  $(20^\circ)$  مع الأفقي بواسطة قوة أفقية (F). أوجد مقدار هذه القوة ثم احسب مقدار قوة الاتصال العمودية المؤثرة على الصندوق.





7. يُجر متزلج كتلته (78 kg) بسرعة ثابتة إلى أعلى منحدر زاويته ( $12^\circ$ ) بواسطة قوة مقدارها (210 N) تؤثر إلى أعلى بزاوية ( $20^\circ$ ) مع المنحدر (انظر إلى الشكل المقابل). أوجد قوة الاحتكاك وقوة الاتصال العمودية المؤثرة على المتزلج.

8. وضع جسم وزنه (10 N) على مستوى أملس يميل بزاوية قدرها ( $35^\circ$ ) مع الأفقي. أوجد مقدار القوة اللازمة للمحافظة على الجسم في اتزان إذا ما أثرت هذه القوة

في:

(أ) اتجاه يوازي المستوى.

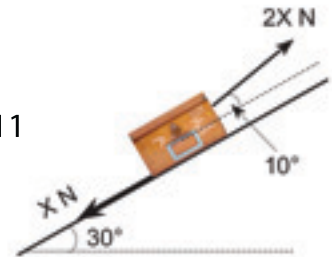
(ب) - اتجاه أفقي.

(ج) - اتجاه إلى أعلى يصنع زاوية ( $25^\circ$ ) مع اتجاه المستوى.

ثم اذكر بدون حسابات الحالات الثلاث التي تكون لها قوة اتصال عمودية أكبر.

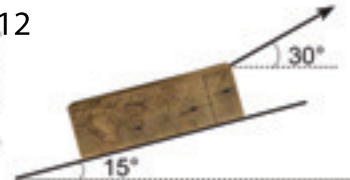
9. عُلقَت كرة معدنية وزنها 500N في نقطة ثابتة بواسطة سلسلة، ثم سُحبت الكرة أفقياً بقوة قدرها (250N) واتزنت الكرة بعد أن صنعت السلسلة زاوية ( $\theta^\circ$ ) مع الرأس. أوجد الشد في السلسلة وقيمة الزاوية ( $\theta^\circ$ ).

10. اتزنت صورة كتلتها (12 kg) بواسطة سلكين يميل الأول بزاوية ( $20^\circ$ ) والثاني بزاوية ( $70^\circ$ ) مع الأفقي. أوجد الشد في كل سلك.



11. يُجر صندوق كتلته (12 kg) بعجلة ثابتة مقدارها ( $1.75 \text{ m/s}^2$ ) إلى أعلى مسار يميل بزاوية ( $30^\circ$ ) مع الأفقي فإذا كانت قوة الجر ( $2X \text{ N}$ ) تصنع زاوية قدرها ( $10^\circ$ ) مع المسار كما هو موضح في الشكل المقابل، ومقدار قوة الاحتكاك ( $X \text{ N}$ ) أحسب قيمة ( $X$ ) وقوة الاتصال العمودية المؤثرة على الصندوق .

12. يُجر لوح خشبي كتلته (20 kg) بواسطة حبل إلى أعلى مستوى يميل بزاوية ( $15^\circ$ ) مع الأفقي فإذا كان الحبل يصنع زاوية قدرها ( $30^\circ$ ) مع الأفقي كما هو موضح في الشكل المقابل:



وضح لماذا يجب أن تكون قيمة الشد في الحبل أكثر من (53.6 N) فإذا كان الشد في الحبل (65 N) وتحرك اللوح بسرعة ثابتة أحسب

(أ) مقدار قوة الاتصال العمودية المؤثرة على اللوح بواسطة الأرض.

(ب) مقدار قوة الاحتكاك.



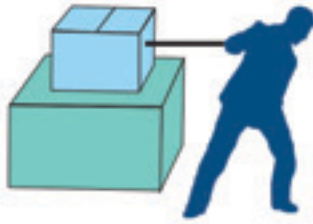
# الاحتكاك

يتناول هذا الفصل بالتفصيل قوى الاحتكاك وعند الانتهاء من دراسته يجب أن :

- تتعود الصيغ الرياضية للاحتكاك وتفهم خواص قوى الاحتكاك.
- تفهم فكرة ومعنى نهاية الاتزان.
- تعرف المقصود بمعامل الاحتكاك وتكون قادراً على استخدامه.
- تكون قادراً على حل مسائل تتضمن الحركة والاتزان والتي تكون قوى الاحتكاك أحد القوى المؤثرة على الجسم.

## 1.2 الخواص الأساسية لقوة الاحتكاك (Basic properties of frictional forces)

تخيل أنك تحاول جر صندوق ثقيل على مستوى أفقي (شكل 1-2)، عندها ربما يحدث أحد الأمرين، فإذا كان الشد قوياً سوف يبدأ الصندوق الحركة في اتجاه قوة الشد، أما إذا كان الشد ضعيفاً فسوف يبقى الصندوق في مكانه وفي الحالتين توجد قوة احتكاك عكس قوة الشد وهذه القوة تؤثر أفقياً في المستوى الذي تتصل به قاعدة الصندوق مع المستوى الأفقي، ويكون اتجاه قوة الاحتكاك عكس اتجاه الحركة، كما هو موضح في الشكل (2-2)، والذي يوضح أربع قوى تؤثر على الصندوق في حالة كونه متحركاً أو ساكناً.



الشكل (1.2)



الشكل (2.2)

فإذا لم يبدأ الصندوق في الحركة، تكون القوى في حالة اتزان وهذا يعني أن قوة الاحتكاك تتزن مع قوة الشد عندما تتغير قوة الشد بالزيادة فإن قوة الاحتكاك تزيد تبعاً لذلك وإذا لم تشد بقوة فإن الاحتكاك سيتناقص وعندما تتلاشى قوة الشد فإن قوة الاحتكاك سوف تتلاشى.

عند جر الصندوق بقوة كافية لتحريكه تكون قوة الإحتكاك أقل من قوة الشد وهناك حدود لقيمة قوة الإحتكاك التي تنتجها قاعدة الصندوق مع المستوى فإذا جُر الصندوق بقوة أكبر من هذه الحدود فسوف يبدأ في الحركة.

عندما يلامس سطح لجسم ما سطحاً ثابتاً، وهناك قوة تحاول تحريك هذا الجسم على السطح ستقاوم قوة الإحتكاك هذه الحركة بقوة معاكسة لاتجاه الحركة. ولا تتعدى قوة الإحتكاك مقداراً معيناً يُعرف بنهاية الإحتكاك، فإذا كان جسم في حالة سكون واتزان مع قوة الإحتكاك التي يكون مقدارها أقل من نهاية قيمتها فسوف يبقى الجسم في حالة اتزان.

فإذا كان الجسم في حالة استقرار وكانت القوى في حالة اتزان مع نهاية الإحتكاك عندها يقال أن الجسم في نهاية الاتزان ويكون على وشك الحركة.

### مثال 1.1.2

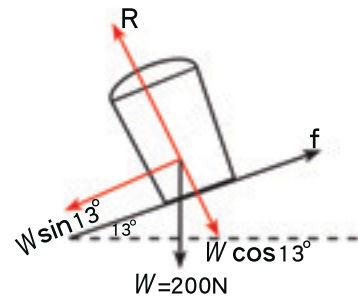
وضع حاوية كتلتها (20 kg) على مسار يميل بزاوية ( $13^\circ$ ) مع الأفقي وكانت نهاية قوة الإحتكاك بين الحاوية و سطح المستوى (50 N).

- (أ) هل تنزلق الحاوية على المستوى؟  
 (ب) فإذا أثرت قوة موازية لسطح المستوى على الحاوية جعلتها على وشك الحركة إلى أعلى المستوى، أوجد مقدار هذه القوة.

الحل:

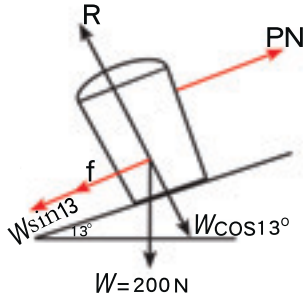
- (أ). توجد ثلاث قوى تؤثر على الحاوية وهي وزنها ، قوة الاتصال العمودية، قوة الإحتكاك تؤثر على المسار كما هو موضح في الشكل (3.2).

إلا أن الوزن وقوة الإحتكاك لهما تأثير موازي للمسار، وبتحليل الوزن إلى مُركبتين إحداهما في اتجاه المسار والأخرى عمودية عليه تكون مُركبته في اتجاه المستوى تساوي ( $200 \sin 13^\circ$ ) ، والتي تساوي (45 N) وهي أقل من قيمة نهاية الإحتكاك، وبذلك تكون قوة الإحتكاك في اتزان مع القوة (45 N) (مركبة الوزن الموازية للمستوى) عليه سوف لن تنزلق الحاوية أسفل المستوى.



الشكل (3.2)

## 1.2 الخواص الأساسية لقوة الاحتكاك



الشكل (4.2)

(ب). حيث إن الحاوية على وشك الانزلاق إلى أعلى المستوى وأن قيمة قوة الاحتكاك القصوى تساوي (50 N) تؤثر في اتجاه عكس الحركة إلى أسفل المستوى لنفرض أن قيمة القوة المطبقة (P N) إلى أعلى المستوى عليه تكون القوى المؤثرة على الحاوية والموضحة في الشكل (4.2).

$$F_{\parallel} \text{ (أعلى المستوى)} \quad P - f - w \sin 13^\circ = ma$$

$$F_{\parallel} \text{ (أعلى المستوى)} \quad P - 50 - 45 = 0$$

$$P = 50 + 45 = 95 \text{ N}$$

والتي تُعطي

هذا يعني إذا كانت القوة المؤثرة على الحاوية إلى أعلى المستوى تساوي (95 N) تكون الحاوية في هذه الحالة على وشك الحركة إلى أعلى المستوى.

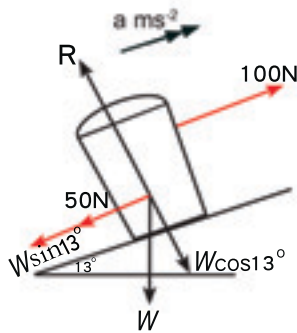
كم تكون قيمة قوة الاحتكاك عندما يبدأ الجسم في الحركة؟

نظرياً ربما تبقى قيمتها النهائية القصوى لها، وربما تكون أقل أو ربما تكون أكبر بمقدار قليل خلال الحركة.

تدل التجارب العملية على أنه في حالة الحركة تكون قوة الاحتكاك أقل بقليل من القيمة القصوى لقوة الاحتكاك.

إلا أنه تقريباً في أغلب الأحيان تُحسب قوة الاحتكاك مساوية لقيمة النهاية القصوى وهذا النموذج هو المعتمد إلا إذا نص على عكس ذلك.

عندما ينزلق جسم على سطح ثابت تكون قيمة قوة الاحتكاك مساوية للنهاية القصوى وتؤثر في اتجاه عكس الحركة.



الشكل (5.2)

### مثال 2.1.2

باستخدام المعلومات في المثال السابق (1.1.2) وبفرض أن مقدار القوة (100 N) تؤثر على الحاوية إلى أعلى توازي المستوى. احسب العجلة التي تتحرك بها الحاوية.

الحل:

يمثل الشكل (5.2) القوى المؤثرة على الحاوية مثل ما هو موجود في الشكل (4.2) باستثناء قيمة القوة (P) التي تساوي الآن (100 N)، عندما تبدأ الحاوية في الحركة تكون قيمة قوة الاحتكاك قيمتها القصوى (50 N).



لنفرض أن العجلة  $(a \frac{m}{s^2})$

$$F_{||} \text{ (إلى أعلى المستوى) } \quad 100 - 50 - 200 \sin 13^\circ = 20a$$

$$100 - 50 - 45 = 20 a \quad \text{والتي تُعطي}$$

$$5 = 20 a$$

$$a = \frac{5}{20} = 0.25 \text{ m/s}^2$$

عليه سوف تتسارع الحاوية إلى أعلى بمعدل  $0.25 \frac{m}{s^2}$

إن هذه الخاصية للاحتكاك والتي تم وصفها هنا تطبق في حالة أن الأسطح المتلامسة جافة وصلبة وإذا كان هناك طبقة من زيت أو ماء يفصل السطحين عندها تحتاج إلى نموذج مختلف .

## 2.2 حد الاحتكاك (limiting friction)

والسؤال المطروح الآن ماهو حد قوة الاحتكاك؟

يعتمد حد قوة الاحتكاك على مجموعة من العوامل مثل:

- نوع المواد التي تتلامس أسطحها.
- شكل ومساحة المناطق المتلامسة بين السطحين.
- قوى أخرى تؤثر على الجسم المتلامس.

ومن الواضح أن أول هذه العوامل يعد ذا أهمية عكس العوامل الأخرى المتشابهة حيث نلاحظ انزلاق الخشب على الحصى ينتج قوة احتكاك أكبر من انزلاق حديد مصقول على ثلج وعند وضع نموذج الاحتكاك يجب الانتباه والأخذ في الحسبان الفرق في خشونة المواد المختلفة.

دلت التجارب العملية على أن كلاً من الشكل والمساحة لا تغير كثيراً في قيمة النهاية القصوى لقوة الاحتكاك إلا أن هناك بعض الحالات، مثل الإطارات الجديدة للعربات المصممة بشكل معين تنتج قوة احتكاك أكبر من الإطارات المستعملة رغم صنعها من نفس المادة.

وإذا أجريت تجارب دقيقة فإنك ستلاحظ أن هناك علاقة مباشرة بين حد قوة الاحتكاك وقوة الاتصال العمودية وعلى سبيل المثال إذا ما ضوعفت قوة الاتصال العمودية فإن حد قوة الاحتكاك سيتضاعف.

ويمكن تلخيص قاعدة حساب حد قوة الاحتكاك كما يلي:

حد قوة الاحتكاك بين سطحين يتناسب طردياً مع قوة الاتصال العمودية فإذا

كان حد قوة الاحتكاك ( $f_{\text{حد}}$ ) وقوة الاتصال العمودية ( $R$ ) فإن:

$$f_{\text{حد}} \propto R$$

$$f_{\text{حد}} = \mu R$$

حيث ( $\mu$ ) مقدار ثابت

يدعى الثابت ( $\mu$ ) معامل الاحتكاك وتعتمد قيمته بالأساس على المواد التي يتكون منها السطحان.

الحرف ( $\mu$ ) هو أحد الأحرف الإغريقية وينطق «إميو» وهو يستخدم دائماً لمعامل الاحتكاك، وتكون قيمة ( $\mu$ ) لمعظم الأسطح بين (0.3) و (0.9)، إلا أن قيم أصغر أو أكبر (ربما أكبر من 1) يمكن حدوثها.

وإذا ما كانت قيمة ( $\mu$ ) صغيرة جداً يمكن أن تحصل على نتائج تقريبية بإهمال قوة الاحتكاك. وفي هذه الحالة يمكن اعتبار السطح بأنه أملس.

أما إذا كانت قيمة ( $\mu$ ) أكبر من (0) ففي هذه الحالة تعتبر الأسطح خشنة وعندها تحتاج إلى اعتبار قوة الاحتكاك.

وفي بعض الأحيان يستخدم مصطلح (very rough) كثير الخشونة لوصف أسطح تكون قيمة ( $\mu$ ) كبيرة بحيث ليس هناك إمكانية عملية في انزلاق سطح على آخر.

مثال 1.2.2

يحاول شخص جر خزانة على أرضية، فإذا كانت كتلة الخزانة (76 kg) ومعامل الاحتكاك (0.5).

صف ماذا يحدث للخزانة إذا ما تم جرها بقوة أفقية مقدارها:

أ. (200 N) ب. (400 N)

يوضح الشكل (7.2) القوى المؤثرة على الخزانة قوة الاتصال العمودية (R N) تساوي وزن الخزانة والتي تساوي (760 N). حد قوة الاحتكاك يكون (0.5 R N) والتي تساوي (380 N).

الحل:

أ. في هذه الحالة قوة الشد (200 N) أقل من حد قوة الاحتكاك (380 N). وقوة الشد ستقاوم بقوة الاحتكاك والتي تساوي (200 N) وعليه سوف لن تتحرك الخزانة.

$$F_{(\rightarrow)} \quad T < f$$

ب. في هذه الحالة قوة الشد (400 N) أكبر من حد قوة الاحتكاك (380 N) عليه فإن قوة الاحتكاك تكون في نهايتها وسوف تبدأ الخزانة في الحركة، بفرض أنه

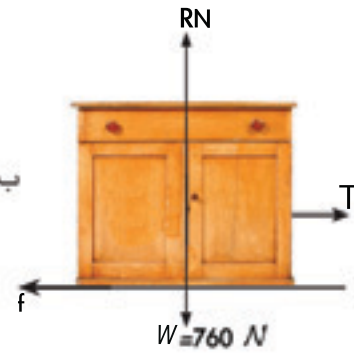
$$F_{(\rightarrow)} \quad T - f = ma \quad \left(a \frac{m}{s^2}\right)$$

$$F_{(\rightarrow)} \quad 400 - 380 = 76 a$$

$$a = \frac{20}{76}$$

$$a = 0.263 \frac{m}{s^2} \text{ والتي تُعطي}$$

عليه تتحرك الخزانة بعجلة قدرها  $0.26 \frac{m}{s^2}$  لأقرب رقمين عشريين.



الشكل (7.2)

## مثال 2.2.2:

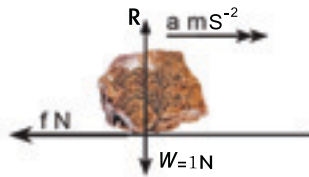
ركل ولد حجر كتلته (100 g) على أرضية ملعب وكان معامل الاحتكاك بين الحجر وأرضية الملعب يساوي (0.25)، فإذا توقف الحجر على بعد (31 m) أوجد السرعة التي ركل بها الولد الحجر.

## الحل:

لنفرض أن أرضية الملعب مستوية لكي تبقى الحجر على اتصال مع أرضية الملعب كتلة الحجر (100 g) والتي هي (0.1 kg) وعليه يكون وزنه (1 N) وبذلك تكون القوى الأخرى قوة الاتصال العمودية R N وقوة الاحتكاك f N كما هو موضح في الشكل (8.2) بالتحليل رأسياً نحصل على (R = 1 N).

وحيث أن الحجر في حالة حركة يعني هذا أن قوة الاحتكاك عند نهاية قيمتها وهي

$$f = \mu R \\ 1 \times 0.25 = 0.25 \text{ N}$$



الشكل (8.2)

ويمكن استخدام قانون نيوتن الثاني لإيجاد قيمة العجلة

$$F (\rightarrow) - f = ma \\ F (\rightarrow) - 0.25 = 0.1 a$$

$$a = - \frac{0.25}{0.1}$$

$$a = - 2.5 \frac{m}{s^2}$$

ولحل المسألة تحتاج إلى علاقة بين السرعة والمسافة المقطوعة، حيث إن العجلة

$$v^2 = u^2 + 2 as \text{ ثابتة يمكن استخدام المعادلة:}$$

$$\therefore a = - 2.5 \frac{m}{s^2}$$

$$v^2 = u^2 - (2 \times 2.5)s \text{ في حالة حركة الحجر}$$

$$v^2 = u^2 - (5)s$$

والآن نحاول حساب قيمة السرعة الابتدائية (u) بمعرفة المسافة المقطوعة قبل

أن يصل الحجر إلى السكون (v = 0).

$$0 = u^2 - (5 \times 31)$$

$$u^2 = 155$$

$$u = \sqrt{155}$$

$$\therefore u = 12.4 \frac{m}{s}$$



### 3.2 بعض التجارب (some experiments)

لقد تم وصف قوة الاحتكاك في الأجزاء السابقة عن طريق أسباب مختلفة وتجارب. إليك تجربة يمكنك محاولة إجرائها بنفسك:

#### تجربة 3.2

في هذه التجربة تحتاج إلى عدة كتب مختلفة الكتل لها أغلفة من مواد متشابهة ومنضدة.

- ضع أحد الكتب على المنضدة.
- أمّل المنضدة تدريجياً بوضع مجسمات تحت رجلين متجاورين.
- استمر في إمالة المنضدة على سطح الأرض حتى يكون الكتاب على وشك الحركة ومنها أوجد قيمة زاوية الميل.
- أعد التجربة لبقية الكتب المعدة للاستخدام.

لنفرض أن كتلة الكتاب ( $m$ ) فعلية تكون القوى المؤثرة على الكتاب هي وزنه ( $mg$ )، وقوة الاتصال العمودية ( $R$ ) وقوة الاحتكاك ( $f$ ) والتي تكون عند نهاية قيمتها عندما بدأ الكتاب في الانزلاق كما هو موضح في الشكل (2-10).

تفترض النظرية أن قوة الاحتكاك  $f$  تساوي  $R$ .

لنفرض أن زاوية الميل تساوي ( $\alpha^\circ$ ).

$$mg \cos \alpha^\circ = R \quad (\text{أعلى المنضدة } \perp)$$

$$F \quad (\text{أعلى المنضدة } \parallel) \quad mg \cos (90 - \alpha^\circ) = \mu R$$

حيث إن :

$$\cos (90 - \alpha)^\circ = \sin \alpha^\circ$$

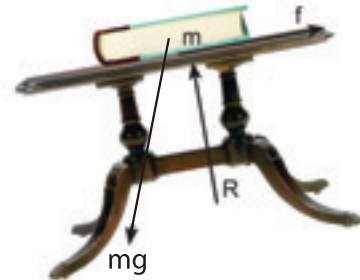
$$mg \sin \alpha^\circ = \mu R$$

$$mg \sin \alpha^\circ = \mu mg \cos \alpha^\circ$$

$$\sin \alpha^\circ = \mu \cos \alpha^\circ$$

$$\therefore \frac{\sin \alpha^\circ}{\cos \alpha^\circ} = \tan \alpha^\circ$$

$$\therefore \tan \alpha^\circ = \mu$$



الشكل (10.2)



وإذا صحت النظرية يجب أن تكون الزوايا التي تبدأ فيها الكتب بالانزلاق متساوية لكل الكتب بغض النظر عن كتلتها وبذلك يكون معامل الاحتكاك يساوي ظل الزاوية ( $\alpha^\circ$ )

$$\mu = \tan \alpha^\circ$$

كما يمكن الاستمرار في هذه التجربة بتغيير وضع الكتب على سطح المنضدة أو باستخدام كتب لها أغلفة مختلفة الحجم لترى إذا ما كان هذا يسبب أي اختلاف في زاوية الميل.

## 4.2 الحركة والاحتكاك (Friction and motion)

بعد أن أدركت وأصبح لديك الانطباع بأن الاحتكاك دائماً له أفعال تمنع الحركة. كما يعد الاحتكاك ضرورياً لبعض أنواع الحركة تخيل المحاولة للجري على رصيف أملس، أو ركوب دراجة على ثلج، أو قيادة عربة على طريق وحلة في جميع هذه الحالات المعضلة بأن مقدار قوة الاحتكاك ليس كبيراً بما فيه الكفاية للحركة. فالاحتكاك هو الذي يجعل من الممكن الركض على رصيف أملس أو ركوب دراجة أو قيادة السيارة.

سوف ينزلق الرياضي إذا لم يوجد احتكاك بين قدميه والأرض، وحركة إطارات الدراجة إلى الخلف تدفعها للحركة إلى الأمام بفعل الاحتكاك بين العجلات والأرض، ويعمل محرك السيارة على دوران عجلاتها وبفعل الاحتكاك بين العجلات والأرض تتحرك السيارة، عليه يعد الاحتكاك ضرورياً لحركة السيارة. كل هذه الحالات موضحة في الأشكال : (11.2) و (12.2) و (13.2).



الشكل (11.2)



الشكل (13.2)



الشكل (12.2)

## تمارين 2 - A

1. يوضح الشكل المقابل قوى أفقية مقدارها (PN) و (QN) تؤثر في إتجاه معاكس على كتلة مقدارها (5 kg) والتي تستقر على سطح أفقي. أوجد مقدار قوة الاحتكاك المؤثرة على الكتلة بدلالة (P) و (Q) عندما تكون:

(أ)  $P > Q$       (ب)  $Q > P$



2. يوضح الشكل المقابل قوى أفقية مقدارها (PN) و (100 N) تؤثر في إتجاه معاكس على كتلة وزنها (50 N) التي تستقر على سطح أفقي، فإذا علمت أن معامل الاحتكاك بين الكتلة والسطح يساوي (0.4)، أوجد مدى القيم المحتملة للقوة (P).



3. يوضح الشكل المقابل قوة مقدارها (8 N) تؤثر إلى أسفل وتصنع زاوية قدرها (30°) مع الأفقي على كتلة مقدارها (3 kg) التي تستقر على سطح أفقي. احسب قوة الاحتكاك على الكتلة.



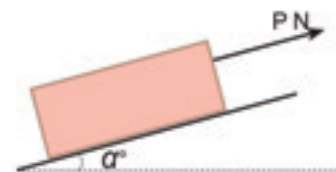
4. دفع راكب طائرة بقدمه حقيبة كتلتها (15 kg) على الأرض بقوة مقدارها (60N) أوجد معامل الإحتكاك لجعل الحقيبة على وشك الحركة . وما مقدار القوة اللازمة لتحريك الحقيبة بعجلة (  $0.2 \frac{m}{s^2}$  ).

5. تتسارع كتلة مقدارها (6 kg) بمقدار (  $1.25 \frac{m}{s^2}$  ) على سطح أفقي بفعل قوة قدرها (22.5 N). احسب معامل الاحتكاك بين الكتلة والسطح.

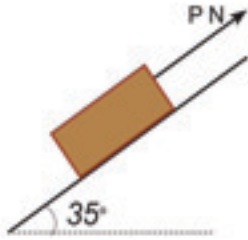
6. وصل حبل أفقي من رافعة بقارب صغير كتلته (800 kg) يستقر على أرض أفقية فإذا كان معامل الاحتكاك يساوي (  $\frac{3}{4}$  ) ويتغير الشد في الحبل بمقدار (100 N) في كل مرة. أوجد قوة الاحتكاك عندما تكون قيم الشد الآتية:

(أ) (5900 N). (ب) (6000 N). (ج) (6100 N).

صف ما يحدث في كل حالة.



7. يوضح الشكل المقابل كتلة وزنها (50 N) تستقر على سطح يميل بزاوية (α°) مع الأفقي بفعل قوة مقدارها (PN) تؤثر إلى أعلى السطح. أوجد مقدار واتجاه قوة



الاحتكاك بدلالة  $(P)$  عندما تكون قيم  $(P)$  الآتية:

(أ)  $(P > 50 \sin \alpha^\circ)$  . (ب)  $(P < 50 \sin \alpha^\circ)$  .

8. يوضح الشكل المقابل كتلة مقدارها  $(4 \text{ kg})$  تستقر على سطح يميل بزاوية  $(35^\circ)$  مع الأفقي بفعل قوة مقدارها  $(PN)$  تؤثر إلى أعلى السطح. فإذا كان معامل الاحتكاك بين الكتلة والسطح يساوي  $(0.45)$ . أوجد القيم الممكنة للقوة  $(P)$ .

9. ضربت عملة معدنية كتلتها  $(5 \text{ g})$  وانزلت على لوحة خشبية أفقية. فإذا كان معامل الاحتكاك يساوي  $(0.4)$  وتحركت العملة بسرعة  $(1.5 \frac{m}{s})$ . إلى أي بعد تتحرك العملة قبل أن تقف؟

## 5.2 مسائل تحتوي الاحتكاك (Problems involving friction)

عندما تتعامل مع مسائل تحتوي الاحتكاك عليك أن تستخدم طريقة التحليل التي وصفت في الفصل الأول مع المعادلات التي تعبر عن قوة الاحتكاك والتي تلخص كما يلي باستخدام  $(f)$  و  $(R)$  للتعبير عن قوة الاحتكاك وقوة الاتصال العمودية.

❖ إذا كان الجسم على وشك الحركة فإن قوة الاحتكاك تكون في نهاية قيمتها وتؤثر في اتجاه عكس الاتجاه المزمع الحركة فيه.

❖ إذا حدثت الحركة (بسرعة ثابتة أو بعجلة) فإن قوة الاحتكاك تكون في نهاية قيمتها وتؤثر في اتجاه عكس الحركة.

❖ إذا كانت قوة الاحتكاك في قيمتها النهائية فإن  $(f = \mu R)$  حيث  $(\mu)$  معامل الاحتكاك.

❖ سواءً كانت قوة الاحتكاك في قيمتها النهائية أم لا فإن  $(f \leq \mu R)$ .

مثال 1.5.2

تستقر كتلة وزنها  $(20 \text{ N})$  على سطح أفقي أثرت عليها قوة  $(12 \text{ N})$  في اتجاه يصنع زاوية  $(30^\circ)$  فوق الأفقي فكانت الكتلة على وشك الحركة. أوجد معامل الاحتكاك بين الكتلة والسطح.



الحل:

القوى المؤثرة على الكتلة موضحة في الشكل (2-14). حيث إن الكتلة على وشك الحركة إلى اليمين فإن قوة الاحتكاك تؤثر إلى اليسار في عكس اتجاه الحركة، وتكون في قيمتها النهائية متزنة مع القوة المؤثرة.

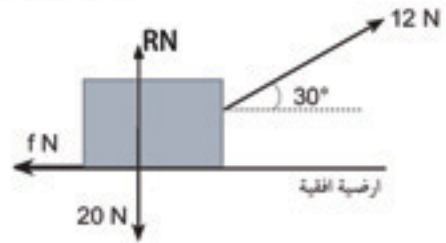
$$f = \mu R$$

$$F (\rightarrow) \quad f = 12 \cos 30^\circ = 10.39$$

$$F (\uparrow) \quad R + 12 \sin 30^\circ = 20$$

$$\therefore R = 14 \text{ N}$$

$$\mu = \frac{f}{R} = \frac{10.39}{14} = 0.74$$



الشكل (2.14)

عليه يكون معامل الاحتكاك يساوي (0.74).

وهناك خطأ شائع في هذه الحالة حيث يُظن أن ( $R = 20 \text{ N}$ ) عندما نحلل في الاتجاه الرأسي، بل يجب أن يتضمن جميع مركبات القوى في الاتجاه الرأسي.

## مثال 2.5.2

تميل هضبة على الأفقي بزاوية ( $13^\circ$ ) مغطاة بالثلج، وضعت زلاجة تزن ( $75 \text{ N}$ ) على أعلى الهضبة، فإذا علمت أن معامل الاحتكاك بين الزلاجة والهضبة يساوي (0.15)، أوجد مدى امكانية إنزلاق الزلاجة إلى أسفل الهضبة.

الحل:

يوضح الشكل (2-15) ثلاث قوى تؤثر على الزلاجة

$$F (\perp \text{ الهضبة}) \quad R = 75 \cos 13^\circ = 73.07 \text{ N}$$

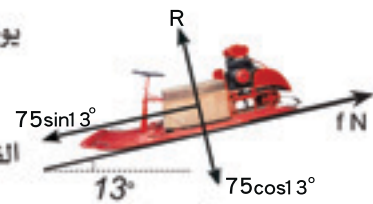
القيمة القصوى لقوة الاحتكاك تكون ( $\mu R \text{ N}$ ) حيث:

$$f = \mu R = 0.15 \times 73.07 = 10.96 \text{ N}$$

مركبة الوزن والتي تؤثر إلى أسفل الهضبة تساوي

$$75 \sin 13^\circ = 16.87 \text{ N}$$

حيث إن مركبة الوزن المؤثرة إلى أسفل الهضبة أكبر من القيمة القصوى لقوة الاحتكاك فإن الزلاجة سوف تنزلق أسفل الهضبة.



الشكل (2.15)

حبل طوله (25 m) مشدود بزاوية (35°) مع الأفقي يستخدم كجزء من خط هجوم جيش. وضعت حلقة خفيفة في أعلى نهاية الحبل، تعلق بها عسكري كتلته (80kg) وإنزلق إلى أسفل الحبل فإذا كان معامل الاحتكاك بين الحبل والحلقة يساوي (0.4). أوجد سرعة العسكري عندما يصل إلى أسفل الحبل.

الحل:

يوضح الشكل (16.2) القوى المؤثرة على العسكري والحلقة عند نقطة من هبوطه، قوة الإتصال العمودية تكون (RN)، قوة الاحتكاك (fN) والعجلة ( $a \frac{m}{s^2}$ ).

وزن العسكري (800 N) يمكن إهمال وزن الحلقة

$$F (\parallel \text{ الحبل}) \quad 800 \sin 35^\circ - f = 80a$$

$$F (\perp \text{ الحبل}) \quad 800 \cos 35^\circ = R$$

حيث إن هناك حركة تكون القيمة القصوى لقوة الاحتكاك تساوي ( $f = 0.4 R$ ) عليه:

$$800 \sin 35^\circ - 0.4 \times 800 \cos 35^\circ = 80a$$

$$\therefore a = 10 \sin 35^\circ - 4 \cos 35^\circ = 2.459 \frac{m}{s^2}$$

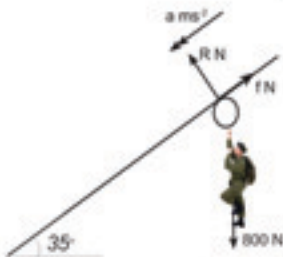
حيث إن قيمة العجلة ثابتة ونرغب في الحصول على سرعة العسكري بعد أن يقطع مسافة (25 m) إلى أسفل الحبل نستخدم المعادلة:  $v^2 = u^2 + 2as$

$$s = 25 \text{ m} \quad a = 2.45 \frac{m}{s^2} \quad u = 0 \quad \text{بسرعة ابتدائية}$$

$$v^2 = 0^2 + 2 \times 2.459 \times 25 = 122.9$$

$$\therefore v = \sqrt{122.9} = 11.08 \frac{m}{s}$$

عليه سوف يصل العسكري إلى أسفل الحبل بسرعة قدرها ( $11.1 \frac{m}{s}$ ) تقريباً .



الشكل (16.2)

## تمارين B.2

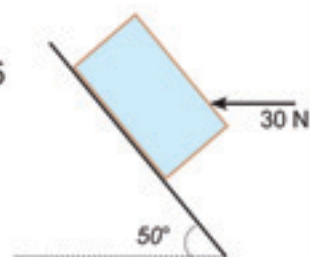
1. صندوق موضوع على أرضية قطار متحرك يميل للانزلاق خلفياً بالنسبة للقطار، اذكر اتجاه قوة الاحتكاك سواءً كان القطار متسارعاً أو متباطئاً، فإذا كانت قيمة التسارع أو التباطؤ  $(4 \frac{m}{s^2})$  وكان الصندوق على وشك الانزلاق . أوجد معامل الاحتكاك بين الصندوق وأرضية القطار.

2. يتحرك دراج بدراجته بسرعة  $(7 \frac{m}{s})$  عندما استعمل الكابح على العجلتين فتوقف بعد أن قطع مسافة  $(5 m)$  فإذا كانت كتلتاهما (الدراج والدراجة) تساوي  $(90 kg)$  . أوجد معامل الاحتكاك بينهما وبين الأرض.

3. حاوية كتلتها  $(500 kg)$  ومعامل الاحتكاك بينها وبين الأرض يساوي  $(0.6)$  . أوجد الحمولة القصوى للمواد في الحاوية إذا أريد تحريكها بقوة أفقية مقدارها  $(7350 N)$  .

4. تتحرك سيارة على طريق أفقية بسرعة  $(12 \frac{m}{s})$  ، عندما استعملت المكابح على الإطارات الأربعة كان معامل الاحتكاك بين الإطارات والأرض يساوي  $(0.8)$  ، أوجد المسافة المقطوعة من لحظة استعمال المكابح حتى توقفت السيارة .

5. تستقر كتلة مقدارها  $(2 kg)$  على مستوى يميل على الأفقي بزاوية قدرها  $(50^\circ)$  ، أثرت قوة أفقية مقدارها  $(30 N)$  على الكتلة كما هو موضح في الشكل. أوجد مقدار واتجاه قوة الاحتكاك المؤثرة على الكتلة.



6. يتحرك قطار بسرعة  $(50 \frac{m}{s})$  بدون عربات خلفه، وعند توقف المحرك باستخدام المكابح على عجلات القطار توقف القطار بعد  $(25s)$  . احسب معامل الاحتكاك بين العجلات والسكة.

## 5.2 مسائل على الاحتكاك

7. تتسارع كتلة قدرها (5 kg) بمقدار ( $0.8 \frac{m}{s^2}$ ) إلى أسفل مستوى يميل بزاوية ( $15^\circ$ ) مع الأفقي بفعل قوة مقدارها (30 N) تؤثر إلى أسفل المستوى. احسب معامل الاحتكاك بين الكتلة والمستوى.

8. صندوق كتلته (350 kg) بدأ الانزلاق من السكون على منحدر طوله (80 m) يميل بزاوية ( $20^\circ$ ) مع الأفقي، فإذا كان معامل الاحتكاك بين الصندوق والمنحدر (0.36). احسب قوة الاحتكاك على الصندوق وسرعته عندما يصل نهاية المنحدر في الحالات الآتية:

(أ). الصندوق فارغاً. (ب). الصندوق يحتوي مواد كتلتها (150 kg).

9. يبدأ طفل الانزلاق من السكون على مستوى لعب منزلق وتصل سرعته ( $5.5 \frac{m}{s}$ ) أسفل المستوى الذي يميل بزاوية ( $35^\circ$ ) مع الأفقي، فإذا كان معامل الاحتكاك بين الطفل والمستوى (0.25)، أوجد طول المستوى المنزلق عليه، والزمن المستغرق لذلك.

10. تتحرك سيارة أسفل هضبة تميل بزاوية ( $6^\circ$ ) مع الأفقي توقف المحرك، وعندما وصلت سرعة السيارة ( $10 \frac{m}{s}$ ) استخدم السائق الفرامل لكبح العجلات الأربعة توقفت السيارة بعد قطع مسافة (8 m). أوجد معامل الاحتكاك بين الإطارات والطريق.



# 3

## Motion due to gravity

## الفصل الثالث:

# الحركة بفعل الجاذبية

يتناول هذا الفصل الحركة بعجلة ثابتة في حالة خاصة والناجمة عن قوة الجاذبية، إما إلى أعلى أو أسفل أو بميل، في نهاية الفصل يجب أن:

- تعرف أن الحركة إلى أعلى أو أسفل مرتبطة بمجموعة من المعادلات تتضمن السرعة والإزاحة موجبة أو سالبة.
- تقدر دور الاحتكاك في الحركة على منحني ومقاومة الهواء في الحركة الرأسية.

### (Objects falling from a height)

### 1.3 الأجسام الساقطة من ارتفاع

تناولنا في دراستنا السابقة أن الأجسام الحرة تسقط بفعل قوة الجاذبية بعجلة ثابتة قدرها  $(10 \frac{m}{s^2})$  والتي يرمز لها بـ  $(g)$ ، وهذه العجلة متساوية لجميع كتل الأجسام المختلفة، وهذا النموذج يفترض أن مقاومة الهواء صغيرة جداً يمكن إهمالها في الحسابات.

حيث إن العجلة ثابتة يمكننا استخدام المعادلات السابقة للحركة بعجلة ثابتة وهي:

$$v = u + gt \quad \longrightarrow \quad 1$$

$$s = ut + \frac{1}{2} gt^2 \quad \longrightarrow \quad 2$$

$$v^2 = u^2 + 2gs \quad \longrightarrow \quad 3$$

#### مثال 1.1.3:

تتحرك سباحة على لوح للغطس فوق مسبح ارتفاعه  $(4 m)$  فوق سطح الماء. أوجد سرعتها عندما تصل قدميها سطح الماء.



الحل:

السرعة الابتدائية للسباحة ( $u = 0$ ) والعجلة ( $10 \frac{m}{s^2}$ ) عليه نحتاج إلى معادلة تربط السرعة النهائية بالمسافة المقطوعة.

$$v^2 = u^2 + 2gs \quad \text{بالرجوع إلى المعادلة:}$$

$$v^2 = 0 + 2 \times 10 \times 4 = 80 \quad \text{لنحصل على:}$$

$$\therefore v = \sqrt{80} = 8.94 \frac{m}{s}$$

عندما تصل قدميها إلى سطح الماء فإنها تتحرك بسرعة أقل بقليل من ( $9 \frac{m}{s}$ ).

مثال 2.1.3:

سقطت طوبه من أعلى عمارة مكونة من عدة أدوار، شاهد أحد سكان الدور العاشر من شرفته مرور الطوبه وسمع صوت ارتطامها بالأرض بعد (1s) فإذا كان ارتفاع كل دور من العمارة (2.5 m).

كم يكون إرتفاع العمارة، وكم تكون سرعة الطوبه عندما ارتطمت بالأرض.

الحل:

السرعة الابتدائية للطوبه ( $u = 0$ )، والعجلة ( $10 \frac{m}{s^2}$ )، لكي نعرف إرتفاع العمارة يلزمنا معرفة المسافة المقطوعة بواسطة الطوبه، عليه يمكن استخدام المعادلة:

$$s = ut + \frac{1}{2} gt^2 \quad u = 0$$

$$\therefore s = \frac{1}{2} \times 10 \times t^2 = 5t^2$$

لنفرض أن إرتفاع العمارة ( $h$ ) وتحتاج الطوبه إلى زمن قدره ( $T$  s) لأجل السقوط إلى سطح الأرض، فإن ارتفاع الشرفة في الدور العاشر  $25 m = 10 \times 2.5$ .

$$t = T \quad \text{عندما:} \quad s = h \quad \text{وعليه تكون:}$$

$$t = (T - 1) \quad \text{عندما:} \quad s = h - 25 \quad \text{وتكون:}$$

$$s = 5t^2 \quad \text{بوضع هذه القيم في المعادلة:}$$

$$h = 5T^2 \quad \longrightarrow \quad 1$$

$$h - 25 = 5(T - 1)^2 \quad \longrightarrow \quad 2$$

ب طرح المعادلة الثانية من المعادلة الأولى

$$h - (h - 25) = 5T^2 - 5(T - 1)^2$$

$$25 = 5 T^2 - 5 T^2 + 10 T - 5$$

$$25 + 5 = 10 T$$

$$\therefore T = \frac{30}{10} = 3 \text{ s}$$

عليه يكون ارتفاع العمارة

$$h = 5 T^2 = 5 \times (3)^2 = 45 \text{ m}$$

لكي تجد السرعة التي تصل بها الأرض

$$v = u + a t$$

$$v = 0 + 10 \times 3 = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### تمارين 3-A

يجب إهمال مقاومة الهواء للحركة مع افتراض أن الأجسام المتحركة لا تواجه أي مشاكل إلا إذا نص على عكس ذلك في المسائل.

1. سقط حجر من السكون أوجد سرعته والمسافة المقطوعة بعد (3 s).
2. سقطت كرة من السكون من ارتفاع (10 m) فوق سطح الأرض. أوجد سرعة الكرة لحظة اصطدامها بالأرض.
3. أسقطت طفلة حجر من فوق جسر على نهر فارتطم الحجر بماء النهر بعد (1.4 s). أوجد ارتفاع الجسر فوق النهر.
4. قذفت كرة إلى أسفل بسرعة (3.5  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ) واصطدمت بالأرض بسرعة (17.5  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ). أوجد الارتفاع الذي قذفت منه الكرة.
5. قذف حجر إلى أسفل من ارتفاع (14.7 m) فاصطدم بالأرض بعد (1.4 s). أوجد سرعة الحجر لحظة اصطدامه بالأرض.

## 2.3 الأجسام المقذوفة إلى أعلى (Objects projected upwards)

في لعبة الكريكت عندما يمسك اللاعب الكرة فإنه يفرح بهذا الإنجاز ويرمي الكرة إلى أعلى في الهواء، ولكي ينجز ذلك عليه أن يكسب الكرة سرعة ابتدائية بفضل القوة من يديه إلا أنه عندما تصبح الكرة في الهواء مع إهمال مقاومة الهواء فالقوة الوحيدة التي تؤثر على الكرة هي قوة الجاذبية .

عندما تكون الكرة مرتفعة تكون إزاحتها وسرعتها إلى أعلى ولكن القوة تكون إلى أسفل. تنتج الجاذبية عجلة تقصيرية مقدارها  $(10 \frac{m}{s^2})$ .  
عليه عند استخدام معادلات الحركة بعجلة ثابتة إلى أعلى يجب أن تستخدم قيمة العجلة  $(g = -10 \frac{m}{s^2})$ .

مثال 1.2.3:

قذفت كرة إلى ارتفاع قدره  $(12.8 m)$ ، أوجد السرعة الابتدائية للكرة وكم تكون سرعتها عند الارتفاع  $(11 m)$ .

الحل:

في هذه الحالة لا نرغب في حساب الزمن فعليه نستخدم المعادلة  $(v^2 = u^2 + 2 gs)$ .  
حيث:

$u$  السرعة الابتدائية ،  $s$  المسافة المقطوعة،

$v$  السرعة عند تلك المسافة،  $g = -10 \frac{m}{s^2}$  ،

$$\therefore v^2 = u^2 - 2 \times 10 \times s = u^2 - 20 s$$

حيث إن الكرة ارتفعت إلى مسافة  $(12.8 m)$  ثم توقفت عليه فإن السرعة النهائية  $(v = 0)$

$$0 = u^2 - 20 \times 12.8$$

$$u^2 = 256 \quad \therefore u = 16 \frac{m}{s}$$

عليه تكون الكرة قد قذفت إلى أعلى بسرعة  $(16 \frac{m}{s})$ .

الآن يمكننا استخدام قيمة  $(u = 16 \frac{m}{s})$  في المعادلة  $(v^2 = u^2 - 20 s)$

$$\therefore v^2 = 256 - 20 \times 11 = 36 \quad \text{حيث: } s = 11 m$$

$$\therefore v = \sqrt{36} = 6 \frac{m}{s}$$

عليه عندما تصل الكرة إلى مسافة (11 m) فوق سطح الأرض تكون سرعتها  $(v = 6 \frac{m}{s})$  تعرض هذا المثال إلى حركة الكرة إلى أعلى فقط ولكن ما ارتفع شيء إلا ورجع إلى أسفل.

وهنا يمكننا دراسة حركة الكرة من لحظة القذف إلى أعلى إلى حين رجوعها إلى يدي اللاعب ونسأل كم بقت الكرة في الهواء وما مقدار سرعتها عندما يمسكها اللاعب مرة أخرى بعد الرجوع.

يمكنك دراسة الموضوع بتقسيم الحركة إلى جزئين إلى أعلى وإلى أسفل، ففي المثال السابق سقطت الكرة من ارتفاع (12.8 m) إلا أنه ليس من الضروري بل يمكنك استخدام معادلات الحركة والتي تطبق على الحركة إلى أعلى أو الحركة إلى أسفل.

اعتبر معادلة الحركة في السرعة والزمن:  $v = u + gt$

والتي تأخذ الصيغة:  $v = 16 - 10t$

وهذا صحيح في حالة الحركة إلى أعلى حتى أن تصل سرعة الكرة إلى السكون في أعلى نقطة ( $v = 0$ )

حيث:  $0 = 16 - 10t$

$$\therefore t = \frac{16}{10} = 1.6 \text{ s}$$

عليه سوف تصل الكرة إلى أقصى ارتفاع (12.8 m) بعد زمن قدره (1.6 s)، بعدها المعادلة تُعطي قيمة سالبة للسرعة ( $v$ ).

في هذا النموذج للحركة عندما وضعت قيمة السرعة الابتدائية ( $u = 6 \frac{m}{s}$ ) والعجلة ( $g = -10 \frac{m}{s^2}$ ) كان الاتجاه إلى أعلى موجباً، عليه عندما تغير الكرة من اتجاه حركتها تُصبح ( $v$ ) سالبة، وهذا يدل على أن الكرة متحركة إلى أسفل.

وهذا يوضح الفرق بين مقدار السرعة القياسية (الارقال) والسرعة الاتجاهية وعلى سبيل المثال إذا كانت ( $t = 2 \text{ s}$ )

$$v = 16 - 10 \times 2 = 16 - 20$$

$$\therefore v = -4 \frac{m}{s}$$

عندها تقول: إن سرعة الكرة ( $-4 \frac{m}{s}$ ) إلى أعلى، إلا أنها متحركة بسرعة مقدارها ( $4 \frac{m}{s}$ ).



### 2.3 الأجسام المقذوفة إلى أعلى

لندرس الإزاحة باستخدام المعادلة:  $s = ut + \frac{1}{2} gt^2$

والتي تأخذ الصيغة الآتية في هذا المثال:  $s = 16t - 5t^2$

ويمكنك التأكد عندما تكون  $(t = 1.6 \text{ s})$  تكون  $(s = 12.8 \text{ m})$ ، والذي يؤكد وصول الكرة إلى أقصى ارتفاع بعد زمن قدره  $(1.6 \text{ s})$ .

بعدها تبدأ الإزاحة في التقلص، فعندما تكون  $(t = 2 \text{ s})$  فإن الإزاحة:

$$s = 16 \times 2 - 5 \times 4 = 32 - 20 = 12 \text{ m}$$

عليه بعد مرور زمن قدره  $(2 \text{ s})$  سوف تكون الكرة على ارتفاع  $(12 \text{ m})$  فوق سطح الأرض.

وبالرجوع إلى المعادلة:

$$s = 16t - 5t^2 = t(16 - 5t)$$

يمكن ملاحظة أن  $(s = 0)$  عندما:

$$t = \frac{16}{5} = 3.2 \text{ s}$$

هذا يعني بعد مرور زمن قدره  $(3.2 \text{ s})$  تكون إزاحة الكرة تساوي صفراً، أي أنها رجعت إلى نقطة البداية وبهذا استغرق قذف الكرة زمن  $(3.2 \text{ s})$ . وأخيراً بالتعويض عن الزمن  $(t = 3.2 \text{ s})$  في المعادلة:

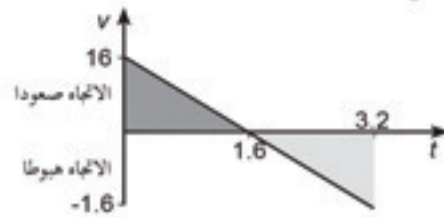
$$v = 16 - 10t = 16 - 10 \times 3.2 = 16 - 32$$

$$\therefore v = -16 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

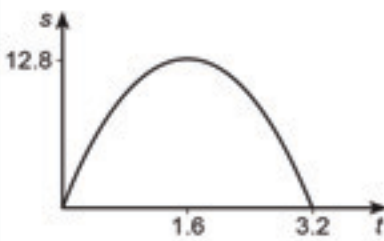
وهذا يدل على أن سرعة الكرة عندما أمسكها اللاعب كانت  $(-16 \frac{\text{m}}{\text{s}})$

أي أنها هابطة بسرعة مقدارها  $(16 \frac{\text{m}}{\text{s}})$ .

ومن الملاحظ أيضاً أن الكرة استغرقت نفس الزمن صعوداً وهبوطاً، وأنها رجعت إلى اللاعب بنفس السرعة التي قذفت بها إلى أعلى، وهذا صحيح دائماً في حالة أنها قذفت تحت تأثير قوة الجاذبية فقط عند القذف والمسك بها في نفس المستوى.



الشكل (1.3)



الشكل (2.3)

ويوضح الشكلين (1.3 و 2.3) (السرعة - الزمن) و(الإزاحة - الزمن)

اللازم لحركة الكرة.

يوضح الشكل (1.3) أن قيمة السرعة  $(v)$  موجبة حتى يصل الزمن

$(t = 1.6 \text{ s})$  وسالبة للزمن بين  $(t = 1.6 \text{ s})$  إلى  $(t = 3.2 \text{ s})$  وهو يوضح

الحركة مستمرة.

كما يوضح الشكل (2.3) زيادة الإزاحة (s) إلى أن تصل قيمتها القصوى إلى (12.8 m) حيث (t = 1.6 s) وتتناقص حتى تصل إلى الصفر (0) عندما يكون (t = 3.2 s).

ومن المهم الآن ملاحظة كيف يمكن إيجاد الإزاحة من رسم (السرعة - الزمن). يتكون جزء من الرسم ومحور الزمن (t) من مثلثين أحدهما غامق والآخر خفيف التظليل ولهما مساحة (12.8 =  $\frac{1}{2} \times 1.6 \times 16$ )

ويوضح المثلث الغامق أن الإزاحة زادت بمقدار (12.8) خلال زمن (t = 0) إلى (t = 1.6 s). إلا أن المثلث الخفيف الذي يقع تحت محور الزمن نقص من (12.8) إلى (0) خلال الفترة (t = 1.6 s) إلى (t = 3.2 s) عليه ببلوغ الزمن الكلي (3.2 s) تكون الإزاحة (12.8 + (-12.8)) والتي تساوي صفراً، هذا يوضح الفرق بين المسافة والإزاحة خلال قذف كرة قد تكون قطعت مسافة (12.8 + 12.8 = 25.6 m)، حيث انتهت عند نقطة البداية فتكون الإزاحة المحصلة تساوي صفراً.

مثال 2.2.3:

قذف حجر إلى أعلى بسرعة ابتدائية قدرها ( $15 \frac{m}{s}$ ) من أعلى قمة جرف. فوصل الحجر إلى قاع الجرف بعد زمن قدره (5.4 s). أوجد ارتفاع الجرف.

الحل

$$t = 5.45 \text{ s} , \quad u = 15 \frac{m}{s}$$

$$\therefore v = u + gt$$

$$\therefore 0 = 15 - 10t_1 \Rightarrow t_1 = 1.5 \text{ s}$$

$$\therefore t_1 = t_2 = 1.5 \text{ s}$$

$$\therefore t_3 = t - (t_1 + t_2)$$

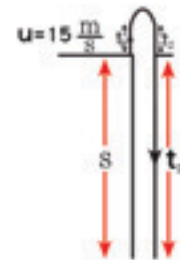
$$t_3 = 5.4 - (1.5 + 1.5)$$

$$\therefore t_3 = 2.4 \text{ s}$$

$$\therefore s = ut_3 + \frac{1}{2}gt_3^2$$

$$\therefore s = 15(2.4) + \frac{1}{2} \times 10 \times (2.4)^2$$

$$s = 64.8 \text{ m}$$



الشكل (3.3)

ملاحظة أخيرة:

لا يوجد أي سبب لان نأخذ الاتجاه الموجب إلى أعلى بل يمكنك أخذ موجب إلى أسفل إلا أنه في هذه الحالة يجب تغير إشارة كل من  $(u)$ ، و  $(v)$ ، و  $(s)$  مع الزمن  $(t)$ .

إلا أنه من المعتاد أخذ الاتجاه الموجب إلى أعلى وحيث أن الجسم بدأ الحركة إلى أعلى أولاً ففي الفقرة (1.3) حيث كانت الحركة إلى أسفل فقط كان جلياً اختيار الاتجاه الموجب إلى أسفل.

### تمارين 3. B

1. تقذف آلة كرات تنس الكرة إلى أعلى رأسياً بسرعة ابتدائية قدرها  $(25 \frac{m}{s})$ ، أوجد سرعة وارتفاع الكرة بعد زمن قدره  $(2 s)$ .
2. يقذف لاعب السرك كرة إلى أعلى رأسياً بسرعة  $(6 \frac{m}{s})$ ، أوجد أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة.
3. تقذف كرة رأسياً إلى أعلى لتصل إلى أقصى ارتفاع قدره  $(22 m)$ ، أوجد السرعة الابتدائية للكرة.
4. قذف حجر إلى أعلى ليصل إلى أقصى ارتفاع قدره  $(35 m)$ ، احسب الزمن المستغرق لكي يصل إلى أقصى ارتفاع.
5. ضربت كرة الكريكيت رأسياً إلى أعلى فوصلت أقصى ارتفاع في زمن قدره  $(2.2 s)$ ، أوجد أقصى ارتفاع وصلت إليه كرة الكريكيت.
6. قذف طفل كرة إلى أعلى بسرعة ابتدائية قدرها  $(8 \frac{m}{s})$  من نقطة أسفل سقف بمقدار  $(3 m)$ ، أوجد الزمن بين لحظة القذف وزمن اصطدام الكرة بالسقف.
7. قذف حجر إلى أعلى بسرعة ابتدائية قدرها  $(20 \frac{m}{s})$ ، أوجد سرعة وارتفاع الحجر بعد  $(3 s)$ .



8. قذفت كرة إلى أعلى وأمسك بها (على نفس الارتفاع) بعد زمن قدره (3.2 s).  
أوجد السرعة الابتدائية للكرة.

9. قذف حجر إلى أعلى بسرعة ابتدائية قدرها  $(18 \frac{m}{s})$ ، أوجد الزمن المستغرق لكي يرجع الحجر إلى نفس نقطة القذف وسرعته في تلك النقطة.

10. قذفت كرة إلى أعلى بسرعة ابتدائية قدرها  $(15.5 \frac{m}{s})$ ، أوجد الزمن الذي تقضيه الكرة فوق الارتفاع (10.5 m).

11. قذفت كرة إلى أعلى بسرعة ابتدائية قدرها  $(12 \frac{m}{s})$  من نقطة على ارتفاع (2.5 m) فوق سطح الأرض. أوجد سرعة الكرة عندما تصل إلى الأرض والزمن المستغرق في ذلك.

12. قذف جسم إلى أعلى بسرعة ابتدائية (u)، بين أنه سيصل إلى أقصى ارتفاع بعد زمن قدره  $(\frac{u}{g})$ ، وإلى أقصى ارتفاع قدره  $(\frac{u^2}{2g})$ . وبين أيضاً أنه سوف يرجع إلى نقطة الانطلاق بعد مرور زمن قدره  $(\frac{2u}{g})$ ، ثم أوجد سرعته في هذه الحالة (السرعة التي يصل بها نقطة الانطلاق).

استنتج أن الزمن المستغرق في الصعود يساوي زمن الهبوط، وكذلك أن سرعة الجسم عند رجوعه إلى نقطة الانطلاق تساوي سرعته الابتدائية عند بدء الحركة إلى أعلى.

13. لاعبة جمباز تقفز وترجع (في نفس المستوى) بعد زمن قدره (1.8 s). أوجد السرعة الابتدائية للاعبة وأقصى ارتفاع تصل إليه.

14. قذف حجر إلى أعلى بسرعة ابتدائية قدرها  $(25 \frac{m}{s})$  من نقطة أعلى من سطح الأرض بمقدار (30 m). أوجد:

(أ) أقصى ارتفاع يصل إليه الحجر فوق سطح الأرض.

(ب) الزمن الذي ينقضي حتى يرجع الحجر إلى سطح الأرض.

- (ج). ارسم المنحني ( $t, v$ ) لحركة الحجر حتى يرجع إلى سطح الأرض.  
 (د). ارسم منحني يوضح ارتفاع الحجر كدالة في الزمن.

### 3.3 الحركة على مستوى مائل (Motion on a sloping plane)

يمكن استخدام نفس الطريقة السابقة لدراسة حركة جسم يتحرك إلى أعلى أو إلى أسفل على مستوى مائل بفعل قوة الجاذبية، وفي هذه الحالة تكون قيمة العجلة غير كبيرة والمثالان الآتيان يوضحان ذلك، في المثال الأول المنحدر أملس، ويتضمن المثال الثاني الاحتكاك.

#### مثال 1.3.3

يمتد ممر أعلى هضبة تميل مع الأفقي بزاوية قدرها ( $\alpha^\circ$ ) بحيث ( $\sin \alpha^\circ = 0.6$ ) و ( $\cos \alpha^\circ = 0.8$ )، وضعت كتلة على الممر ومنعت من الانزلاق إلى أسفل بواسطة رصيف حجري، ضربت الكتلة وبدأت الحركة إلى أعلى بسرعة ( $12 \frac{m}{s}$ ). وكان على الطريق ثلج عليه يمكن إهمال تأثير الاحتكاك، أوجد إلى أي مدى سوف تتحرك الكتلة إلى أعلى، والسرعة التي ستصطدم بها مع الرصيف عندما ترجع والزمن الذي تستغرقه الكتلة في الحركة.

الحل:

هناك قوتان تؤثران على الكتلة أثناء حركتها على المستوى، وهما وزن الكتلة وقوة الاتصال العمودية الموضحة في الشكل (3-4) لنفرض أن كتلتها ( $M \text{ kg}$ ).

$$\text{عليه يكون الوزن } (w = 10 \text{ MN})$$

وتحليل هذا الوزن إلى أسفل المستوى يساوي:

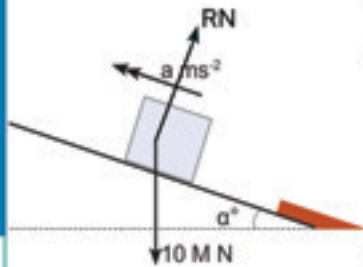
$$F \text{ (للمستوى II)} - W \sin \alpha^\circ = Ma$$

$$- 10 M \sin \alpha^\circ = - 6 M$$

$$\text{لنفرض أن العجلة } = a \frac{m}{s^2}$$

$$F \text{ (للمستوى II)} - 6 M = Ma \quad \therefore a = - 6 \frac{m}{s^2}$$

عليه يمكن الإجابة على الفقرتين من خلال استخدام المعادلة ( $v^2 = u^2 + 2as$ )



الشكل (4.3)

حيث  $(u = 12 \frac{m}{s})$ ، و  $(a = -6 \frac{m}{s^2})$

$$v^2 = 144 - 12s$$

في أقصى نقطة على المستوى تكون سرعة الحجر  $(v)$  تساوي صفراً.

$$\therefore 0 = 144 - 12s$$

$$\therefore s = 12m$$

فيما بعد عندما يضرب الحجر الأرض تكون الإزاحة  $(s = 0)$

$$\therefore v^2 = 144$$

$$\therefore v = \pm 12 \frac{m}{s}$$

فبعد رجوع الحجر إلى الرصيف سوف تكون سرعته  $(v = -12 \frac{m}{s})$

وهناك عدة طرق يمكن بواسطتها إيجاد زمن الحركة للحجر أحدها معادلة السرعة والزمن:

$$v = u + at = 12 - 6t$$

وعندما يرجع الحجر إلى الرصيف  $(v = -12)$

$$\therefore -12 = 12 - 6t \quad \therefore 24 = 6t \quad \therefore t = 4s$$

عليه سوف يتحرك الحجر مسافة  $(12m)$  إلى أعلى المستوى، وبعد مرور  $(4s)$

يصطدم بالرصيف وبسرعة قدرها  $(-12 \frac{m}{s})$ .

### مثال 2.3.3

كرر المثال السابق (1.3.3) عندما يذوب الثلج وكان معامل الاحتكاك بين الكتلة والطريق يساوي  $(0.45)$ .

الحل:

يوضح الشكل (5-3) القوى التي تؤثر على الكتلة وهي تتحرك إلى أعلى المستوى،

ولكي تجد قوة الاحتكاك، نحتاج لحساب قوة الاتصال العمودية  $(RN)$ .

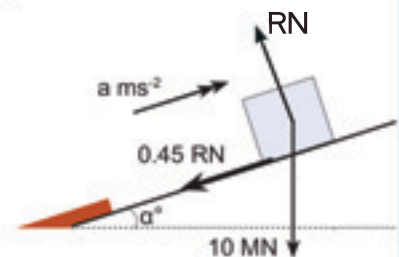
$$R = W \cos \alpha$$

$$R = 10M \cos \alpha$$

$$\therefore R = 8M$$

حيث إن الكتلة في حالة حركة فإن الاحتكاك في نهاية قيمته:

$$f = \mu R \quad \therefore f = 0.45 \times 8M = 3.6MN$$



الشكل (5.3)

### 3.3 الحركة على مستوى مائل

$$\begin{aligned} F (\parallel \text{ للمستوى}) & - W \sin \alpha = Ma \\ F (\parallel \text{ للمستوى}) & - 6 M - 3.6 M = Ma \\ - 9.6 M & = a M \quad \therefore a = - 9.6 \frac{m}{s^2} \end{aligned}$$

باستخدام المعادلة:  $v = u + at$   
 عند أقصى نقطة على الطريق  $v = 0$   
 $0 = 12 - 9.6 t$

$$t = \frac{12}{9.6} \quad \therefore t = 1.25 \text{ s}$$

باستخدام المعادلة  $v^2 = u^2 + 2as$   
 $0 = 144 - 19.2s$

$$\therefore s = \frac{144}{19.2} = 7.5 \text{ m}$$

وفي حالة الرجوع سوف يتغير اتجاه قوة الاحتكاك والشكل (3-6) يوضح القوى المؤثرة على الكتلة ويكون من الأسهل اختيار الاتجاه الموجب للحركة إلى أسفل الطريق حيث إن كل من السرعة والإزاحة في هذا الاتجاه، لنفرض أن العجلة ( $a'$ )

$$\begin{aligned} F (\parallel \text{ للمستوى}) & W \sin \alpha - f = Ma \\ F (\parallel \text{ للمستوى}) & 6 M - 3.6 M = M a' \end{aligned}$$

$$\therefore a' = 2.4 \frac{m}{s^2}$$

في هذا الجزء من الحركة ( $u = 0$ )، و ( $a' = 2.4 \frac{m}{s^2}$ )

$$v^2 = u^2 + 2as \quad \text{ومن المعادلة:}$$

$$s = ut + \frac{1}{2} a t^2 \quad \text{وكذلك:}$$

$$v^2 = 2 \times 2.4 s = 4.8 s \quad \text{ومنهما نحصل على:}$$

$$s = \frac{1}{2} \times 2.4 \times t^2 = 1.2 t^2$$

بما أن الحجر سوف يصطدم بالرصيف بعد قطع مسافة ( $s = 7.5 \text{ m}$ )

$$v^2 = u^2 + 2as \quad v^2 = 0 + 4.8 \times 7.5$$

$$\therefore v^2 = 4.8 \times 7.5$$

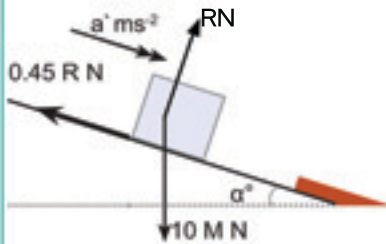
$$v = \sqrt{4.8 \times 7.5} = \sqrt{36} = 6 \frac{m}{s}$$

$$s = ut + \frac{1}{2} a t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{7.5}{1.2}} = \sqrt{6.25} = 2.5 \text{ s} \quad \text{والزمن}$$

وبذلك يكون الحجر قد قطع مسافة ( $7.5 \text{ m}$ ) إلى أعلى المستوى واستمر لفترة

زمنية قدرها ( $2.5 + 1.25$ ) أو ( $3.75 \text{ s}$ ) واصطدم بالرصيف الحجري بسرعة قدرها ( $6 \frac{m}{s}$ ).



الشكل (6.3)



### 4.3 الحركة الرأسية مع المقاومة الهوائية

(Vertical motion with air resistance)

عندما يتحرك جسم إلى أعلى لا يوجد احتكاك بين الأجسام الصلبة إلا أنه يوجد احتكاك بفعل الهواء، وهناك فرق مهم بين الحالتين (حركة الأجسام الصلبة على أسطح خشنة وحركتها في الهواء).

ففي الحالة 1- لا تعتمد قيمة قوة الاحتكاك على سرعة الجسم، بينما تزداد مقاومة الهواء مع زيادة سرعة الجسم. 2- تعتمد هذه المقاومة أيضاً على شكل الجسم ومساحته السطحية. 3- نوع المادة المصنوع منها. 4- كثافة الهواء وتعطي جميع هذه العوامل ثابت التناسب ( $k$ ) في نموذج المعادلة المقترحة ففي السرعة البطيئة تتناسب مقاومة الهواء مع سرعة الجسم

$$R \propto v$$

$$R = kv$$

أما في حالة السرعة العالية فإن مقاومة الهواء تتناسب مع مربع السرعة.

$$R \propto v^2$$

$$R = kv^2$$

وفي حالة الأجسام الساقطة هناك سرعة تكون فيها مقاومة الهواء كبيرة جداً ومساوية لوزن الجسم، عندما يحدث هذا لا يوجد تسارع للجسم بل يتحرك بسرعة ثابتة، وتسمى هذه السرعة بالسرعة النهائية.

$$W - R = 0$$

$$W = R$$

#### مثال 1.4.3

قفز ثلاثة رجال من طائرة وهبطوا رأسياً إلى أسفل قبل أن يفتحوا مظلاتهم. كانت كتلة الأول ( $80 \text{ kg}$ ) بقي معتدلاً إلى أعلى أثناء الهبوط بسرعة نهائية ( $50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ). وكان الثاني عسكرياً يرتدي ملابس ثقيلة وأجهزة وكانت كتلته ( $120 \text{ kg}$ ) وبقي أيضاً معتدلاً إلى أعلى أثناء الهبوط. أما الثالث فكان رياضياً وكتلته ( $70 \text{ kg}$ ) اتخذ وضع أفقي بفرد قدميه ويديه وهذا مكنه من زيادة مقاومة الهواء (12) مرة. أوجد السرعة النهائية لكل من العسكري والرياضي.

الحل :

يوضح الشكل (7-3) القوى المؤثرة على الرجال الثلاثة، لنفرض أن مقاومة الهواء على الرجل الأول تعطي بالعلاقة  $(kv^2 N)$ ، حيث  $(v)$  سرعته  $(\frac{m}{s})$  ولا تتغير مقاومة الهواء على العسكري حيث إنه استمر على الوضع قائماً أما في حالة الرياضي فإن مقاومة الهواء تعطي بالعلاقة  $(12 kv^2 N)$ .

لنفرض أن السرعة النهائية للعسكري  $(x \frac{m}{s})$  وللرياضي  $(y \frac{m}{s})$  على التوالي.

و بمساواة الوزن بالمقاومة في كل حالة نجد أن:

$$80 \times 10 = k 50^2 \quad \longrightarrow \quad 1$$

$$120 \times 10 = kx^2 \quad \longrightarrow \quad 2$$

$$70 \times 10 = 12 ky^2 \quad \longrightarrow \quad 3$$

تُعطي المعادلة (1) مقدار  $k$

$$k = \frac{80 \times 10}{50^2} = 0.32$$

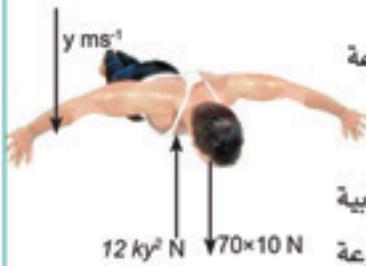
بوضع هذه القيمة لـ  $(k)$  في المعادلتين (2)، و(3)

$$x = \sqrt{\frac{120 \times 10}{0.32}} = 61.2 \frac{m}{s}$$

$$y = \sqrt{\frac{70 \times 10}{12 \times 0.32}} = 13.5 \frac{m}{s}$$

عليه ستكون السرعة النهائية للعسكري أكثر من  $(60 \frac{m}{s})$  بقليل بينما سرعة

الرياضي أقل من ربع سرعة العسكري، لاحظ أنه رغم أن قيمة عجلة الجاذبية واحدة لجميع الرجال بغض النظر عن كتلتهم، سبب وزن العسكري سقوطه بسرعة نهائية أعلى من الرجل الأول، ومن جهة أخرى مكنه من المحافظة على مساحة كبيرة للسطح المعرض للتيارات الهوائية قلل من السرعة النهائية وسمح الوقت للتمتع بالسقوط ولتنفيذ المناورات المكانية قبل أن يحتاج لفتح مظلته.



الشكل (7.3)

مثال 2.4.3

قذفت قذيفة رأسياً إلى أعلى من مدفع بسرعة ابتدائية قدرها  $(40 \frac{m}{s})$  من حافة منحدر ارتفاعه  $(100 m)$  فوق سطح البحر، وعند رجوعها أخطأت المنحدر بقليل وكانت السرعة النهائية للقذيفة  $(50 \frac{m}{s})$ .  
احسب تسارع القذيفة مباشرة بعد مغادرة اسطوانة المدفع، وأقصى ارتفاع تصل إليه. ثم ارسم رسماً لمقارنة الحركة الحقيقية بالحركة المتوقعة إذا لم توجد مقاومة للهواء.

الحل:

في حالة الحركة بدون مقاومة للهواء  $(u = 40 \frac{m}{s})$  و  $(g = -10 \frac{m}{s^2})$   
العجلة الثابتة

$$v = u - gt$$

$$0 = 40 - 10t \quad \therefore t = 4s \quad \text{عند أقصى إرتفاع}$$

$$s = ut - \frac{1}{2} gt^2$$

$$s = 40t - 5t^2$$

$$\therefore s = 80m$$

عندما تصل القذيفة إلى أعلى نقطة تكون سرعتها  $(v = 0)$  والتي تحدث عندما تكون  $(t = 4 s)$  وعندها تكون المسافة  $(s = 80 m)$  وسوف تدخل سطح البحر عندما  $(s = -100 m)$  وعندها يكون قد مضى من الزمن  $(t = 10 s)$  أي بعد  $(10 s)$  من زمن القذف، والتي وضحت في الشكل (3-9).

لكي تجد العجلة للحركة الحقيقية تحتاج لمعرفة العلاقة لمقاومة الهواء، لنفرض أن صيغتها  $(kv^2 N)$  وكتلة القذيفة  $(M kg)$ ، حيث إن السرعة النهائية  $(50 \frac{m}{s})$  والوزن  $(10 MN)$  يجب أن يتزن مع مقاومة  $(kv^2)$  حيث  $(V = 50 \frac{m}{s})$  التي يعبر عنها بالمعادلة  $(10 M = 2500 k)$  حيث نحصل على قيمة  $(k = 0.004 M)$ .

ويوضح الشكل (3-8) القوى المؤثرة على القذيفة عند مغادرتها لاسطوانة المدفع. وحيث إن السرعة  $(u = 40 \frac{m}{s})$  عليه تكون مقاومة الهواء

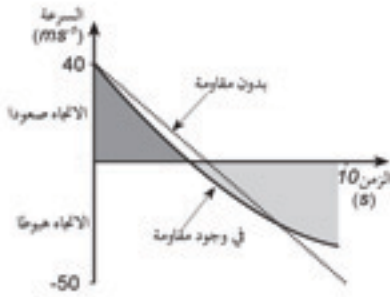
$$(0.004 M) \times (40)^2 = 0.004 M \times 1600 = 6.4 MN$$



الشكل (8.3)



### 4.3 الحركة الرأسية مع المقاومة الهوائية



$$F(\uparrow) - 10M - 6.4M = Ma$$

$$a = -16.4 \frac{m}{s^2}$$

عليه تكون عجلة القذيفة  $a = -16.4 \frac{m}{s^2}$  عند أقصى ارتفاع للقذيفة تكون ( $v = 0$ ) وبذلك تكون مقاومة الهواء تساوي صفراً أيضاً.

وبذلك تكون عجلة القذيفة عبارة عن عجلة الجاذبية ( $10 \frac{m}{s^2}$ )

الشكل (9.3)

## تمارين 3. C

1. وضع جسم كتلته ( $\frac{1}{2} kg$ ) عند نقطة (0) على مسار يميل بزاوية ( $\sin^{-1} \frac{1}{2}$ ) مع الأفقي، قذف إلى أعلى المسار بسرعة ( $12 \frac{m}{s}$ ) وكان مقدار قوة الاحتكاك ( $2 N$ ) والذي يؤثر في اتجاه عكس اتجاه الحركة.
  - أ. أوجد قيمة العجلة عندما يتحرك الجسم إلى أعلى المسار وكذلك قيمة العجلة عندما يتحرك الجسم إلى أسفل المسار.
  - ب. أوجد أقصى ارتفاع يصل إليه الجسم والزمن المستغرق لذلك.
  - ج. أوجد الزمن الذي استغرقه الجسم حتى يرجع إلى نقطة الأصل (0) وسرعته عندما يصل إلى النقطة (0).

2. قذف جسم كتلته ( $m kg$ ) من النقطة (0) على مستوى أملس يميل بزاوية ( $\sin^{-1} \frac{3}{5}$ ) بسرعة ( $24 \frac{m}{s}$ ).
  - أ. أوجد أقصى مسافة يصل إليها الجسم، والسرعة التي يعود بها إلى النقطة (0) والزمن المستغرق من لحظة القذف حتى العودة إلى نقطة القذف (0) مرة أخرى.
  - ب. كم تكون الإجابات السابقة إذا كان المسار خشن وكان معامل الاحتكاك يساوي  $(\frac{9}{20})$ .

3. يسقط حجر كتلته ( $20 kg$ ) من ارتفاع، خلال السقوط تعرض لمقاومة الهواء بمقدار ( $0.08 v^2 N$ ) حيث ( $v$ ) السرعة بوحدة ( $\frac{m}{s}$ ). أوجد السرعة النهائية للحجر؟ وكم يكون مقدار تسارعه عندما يسقط بسرعة مقدارها ( $25 \frac{m}{s}$ ).

4. سقطت قطة من على غصن شجرة عالية وبعد زمن قدره (3s) وصلت الأرض، بإهمال مقاومة الهواء قدر ارتفاع غصن الشجرة والسرعة التي تصل بها إلى الأرض.



أ). إذا لم تهمل مقاومة الهواء وأخذ في الحسبان، هل الارتفاع والسرعة تكون أكبر من القيمة المحسوبة أولاً أو أقل؟  
 ب). وإذا اعتبرت مقاومة الهواء تأخذ الصيغة  $(kvN)$  حيث  $(v)$  سرعة القطة بوحدة  $(\frac{m}{s})$ . فإذا كانت كتلة القطة  $(2.5\text{ kg})$  وسرعتها النهائية  $(50\frac{m}{s})$ . أوجد قيمة الثابت  $(k)$ ؟ ثم احسب مقدار تسارع القطة عندما تكون ساقطة بسرعة  $(10\frac{m}{s})$ .

5. يقف طفل في شرفة منزل ترتفع  $(9.8\text{ m})$  فوق سطح الأرض، أسقط الطفل حجر من شرفة المنزل إلى الأرض، أهمل مقاومة الهواء واحسب الزمن المستغرق في السقوط والسرعة التي وصل بها الحجر إلى سطح الأرض.  
 فإذا كانت كتلة الحجر  $(1\text{ kg})$ ، وكانت مقاومة الهواء  $(vN)$  عندما كانت سرعة الحجر  $(v\frac{m}{s})$  أوجد السرعة النهائية للحجر؟ ثم أوجد صيغة رياضية للتسارع عندما يتحرك الحجر بسرعة  $(v\frac{m}{s})$ .

6. بدأ مظلي كتلته  $(m\text{ kg})$  بالسقوط من طائرة، وكانت مقاومة الهواء له عندما كانت سرعته  $(v\frac{m}{s})$  تساوي  $(kv^2N)$  فإذا كانت سرعته النهائية  $(40\frac{m}{s})$  أوجد تعبيراً بدلالة  $(m\text{ kg})$  للثابت  $(k)$ ؟  
 عندما وصلت سرعة المظلي إلى  $(16\frac{m}{s})$  غير وضعه لتصل مقاومة الهواء إلى القيمة  $(4kv^2N)$ . أوجد قيمة سرعته النهائية الجديدة؟  
 ثم أوجد قيمة تسارعه الذي يسقط به:  
 أ). قبل أن يُغير من وضعه بقليل. ب). بعد أن يغير وضعه بقليل.

7. قذف طفل كرة كتلتها  $(0.1\text{ kg})$  إلى أعلى بسرعة مقدارها  $(8\frac{m}{s})$  من ارتفاع قدره  $(0.5\text{ m})$  على سطح الأرض، وأمسك بها على نفس المستوى بإهمال مقاومة الهواء احسب أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة والزمن الذي تستغرقه الكرة حتى ترجع مرة أخرى لنقطة القذف؟  
 افترض أن مقاومة الهواء تأخذ الصيغة  $(0.02vN)$  حيث  $(v)$  سرعة الكرة بوحدة  $(\frac{m}{s})$ . احسب قيمة تسارع الكرة:  
 أ). بعد القذف مباشرة. ب). عند أقصى نقطة في المسار.  
 في هذا النموذج لمقاومة الهواء ماذا يمكنك قوله بالنسبة:  
 ج). لأقصى ارتفاع فوق سطح الأرض تصل إليه الكرة.  
 د). للسرعة التي تهبط بها الكرة إلى سطح الأرض قبل أن تُمسك.

# 4 Newton's third law

## الفصل الرابع:

### قانون نيوتن الثالث

الفصول السابقة تناولت الاتزان أو حركة جسم واحد، وفي هذا الفصل سنتعامل مع جسمين والتي تؤثر على بعضها البعض وعند الانتهاء من الفصل يجب أن:

- تعرف القوى التي تحدث في أزواج متساوية ومتضادة، وتستطيع أن تتعرف على الأجسام التي يؤثر عليها كل زوج من القوى.
- تكون قادراً على تطبيق قانون نيوتن الثالث في الحالات التي تتضمن تفاعل جسمين.
- تفهم ماذا يعني الشد في السلك.
- تكون قادراً على حل مسائل تتضمن جسمين متصلين بسلك والذي يمر على وتد أو بكر خفيفة.

#### ( Forces in pairs )

#### 1.4 أزواج القوى

تخيل سيارتين تسييران في الطريق واحدة أمام الأخرى، قللت السيارة الأمامية من سرعتها عندما زادت الثانية من سرعتها، اصطدمت السيارتان وحدث بهما أضرار، السيارة الأولى متضررة بفعل القوة الكبيرة التي صدمتها من الخلف والسيارة الثانية تعرضت إلى قوى كبيرة معاكسة من السيارة الأمامية وهذه القوى موضحة في الشكل (1-4).



الشكل (1.4)

ينص قانون نيوتن الثالث على أن القوتين متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الإتجاه

**قانون نيوتن الثالث: إذا أثر جسم (A) بقوة على الجسم (B) فإن الجسم (B) يؤثر بقوة على الجسم (A) بنفس المقدار في الاتجاه المعاكس.**

وهذا تقريباً يلخص في بيان نيوتن التي كانت ترجمته «الفعل ورد الفعل دائماً متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه» إلا أنه في حالة اصطدام السيارتين غير واضح أي منهما قوة الفعل وأي منهما قوة رد الفعل، كل من السائقين ساهما في الحادث ويدعي كل منهما بأن الآخر تسبب في الحادث، وتكمن أهمية قانون نيوتن الثالث أنه يطبق على جميع القوى ونورد هنا بعض الأمثلة.

#### قوى الاتصال العمودية ( Normal contact forces )

افتراض أن شخصاً يركب حصاناً شكل (2-4) حيث يوضح الشكل وزن الشخص ( $W$ ) إلى أسفل ورد الفعل ( $R$ ) من الحصان لدعم الشخص، نقول إن القوى المؤثرة على الحصان تتضمن وزنه ورد فعل الأرض (قوة الاتصال) وكذلك يشعر الحصان بالرجل الذي يركبه وعليه توجد قوة اتصال عمودية بين الراكب وظهر الحصان، وكما ينص قانون نيوتن الثالث أن مقدار هذه القوة (رد فعل من الراكب على الحصان) تساوي ( $RN$ ) ومن المهم أن تفهم أن هذه القوة ( $R$ ) ليست معبرة عن وزن الراكب، وكما سبق وأن أوضحنا أن الوزن عبارة عن القوة التي تجذب بها الأرض الراكب وهي قوة تؤثر على الراكب وليس على الحصان.

فإذا تحرك الراكب أفقياً تكون ( $R$ ) تساوي ( $W$ ) وعليه تكون القوة على ظهر الحصان لها نفس مقدار وزن الراكب.

أما إذا كان الراكب متحركاً إلى أعلى وأسفل على السرج فإن الراكب يكون قد تسارع بعجلة رأسياً وفي هذه الحالة ( $R$ ) لن يساوي ( $W$ ).

$$R = W \quad \text{والقوى المؤثرة على الفارس}$$

لاحظ لكي توضح القوى تحتاج إلى شكلين توضيحيين واحد للراكب والآخر للحصان ولا تحاول الاختصار بوضع القوى في شكل واحد لأنه لا يمكن توضيح القوى المؤثرة على الراكب والقوى المؤثرة على الحصان.



القوى المؤثرة على الحصان

الشكل (2.4)



القوى المؤثرة على الفارس

الشكل (3.4)



## (Frictional forces )

## قوى الاحتكاك

هذه تجربة يمكنك محاولتها وتحتاج في تنفيذها إلى عربة سطحها خشن، وإبريق شاي كبير ممتلئ، ضع إبريق الشاي على العربة، واطلب من صديقك أن يمسك العربة، ضع يدك على إبريق الشاي مواجهة لنهاية العربة وزد القوة تدريجياً حتى يتحرك إبريق الشاي على سطح العربة، اطلب من صديقك أن يدعها تتحرك وأعد التجربة بترك العربة حرة الحركة، في هذه الحالة سوف تلاحظ أن دفعك لإبريق الشاي سوف يحرك العربة ويبقى إبريق الشاي في مكانه على العربة.

## ماهي القوة التي جعلت العربة تتحرك ؟

لا يمكن أن تكون قوة دفعك هي التي حركت العربة لأنك دفعت إبريق الشاي لا العربة.

يوضح الشكلان (4-4 و 4-5) القوى المؤثرة على إبريق الشاي والقوى المؤثرة على العربة على التوالي.

في الجزء الأول من التجربة عندما كان صديقك ماسكاً بالعربة كان عليك زيادة قوة الدفع حتى تجتاز النهاية القصوى لقوة الاحتكاك بين إبريق الشاي وسطح العربة. وحيث إن إبريق الشاي ممتلئ وقوة الاتصال العمودية تساوي وزنه، تكون النهاية القصوى لقوة الاحتكاك قوة كبيرة.

هناك قوتان تؤثران على إبريق الشاي من العربة، قوة الاتصال العمودية وقوة الاحتكاك، وحسب قانون نيوتن الثالث توجد قوى مساوية ومعاكسة من إبريق الشاي تؤثر على العربة، قوة الاحتكاك تعادلت مع قوة الدفع من صديقك بزيادة قوة دفعك تزداد قوة الاحتكاك عليه ستزداد قوة دفع صديقك.

حيث أن إبريق الشاي بدأ في الحركة هذا يعني وصول قوة الاحتكاك بين السطحين إلى نهايتها القصوى ولا يجب على صديقك زيادة قوة مسكه للعربة.

عندما كانت العربة حرة الحركة، كان دفعك لإبريق الشاي لازال يُعاكس بقوة احتكاك وتوجد قوة احتكاك معاكسة تؤثر على العربة، وحيث أنه لا توجد أي قوى أفقية تؤثر عليها فأنها سوف تتسارع، وبما أن قوة الاحتكاك أقل من قيمتها النهائية القصوى فإن إبريق الشاي سوف لن ينزلق على سطح العربة بل سيتسارع مع العربة.



الشكل (4.4)



الشكل (5.4)



(Gravity forces)

قوى الجاذبية

تجعل قوة الجاذبية للأرض القمر يدور حولها، وإذا لم توجد هذه الجاذبية فما نعلمه حسب قانون نيوتن الأول أن القمر سوف يتحرك في خط مستقيم بدلاً من الدائرة (تقريباً).

ويكون مقدار القوة المؤثرة على القمر ( $2 \times 10^{20} N$ ). وفقاً لقانون نيوتن الثالث فإن القمر يؤثر على الأرض بقوة جذب مساوية ( $2 \times 10^{20} N$ ).

وأوضح علامة على هذه القوة تظهر في المحيطات على هيئة أمواج بسبب قوة الجاذبية للقمر. ربما يسأل الإنسان لماذا لا تدور الأرض حول القمر بفعل جذب القمر لها؟ والجواب على ذلك يكون بفعل التأثير البسيط وفي الحقيقة أن كل من الأرض والقمر يدوران حول نقطة مشتركة، وحيث إن الأرض كبيرة جداً فإن هذه النقطة تقع تحت سطح الأرض وتحتاج إلى أجهزة دقيقة لقياس هذا التأثير.

إذا سقط حجر يكون وزنه هو قوة جذب الأرض له، حسب قانون نيوتن الثالث فإن الحجر يجذب الأرض بقوة مساوية في الاتجاه المعاكس، وحيث إن كتلة الأرض تساوي قرابة ( $10^{25}$ ) مرة كتلة الحجر عليه يكون تأثير هذه القوة مهملاً.

## 2.4 استخدام قانون نيوتن الثالث في الحسابات

(Calculation using Newton's third law)

### مثال 1.2.4

شاحنة كتلتها ( $1200 kg$ )، تجر مقطورة كتلتها ( $400 kg$ )، فإذا كانت مقاومة الهواء على الشاحنة تساوي ( $140 N$ )، ومقاومة الهواء على المقطورة تكاد تكون مهملة، والقارئة (ساق الجر) توصل الشاحنة بالمقطورة، أوجد قوة القارئة؟ وقوة القيادة على (الشاحنة) عندما تتسارع الشاحنة والمقطورة بمجلة قدرها ( $0.5 \frac{m}{s^2}$ ).

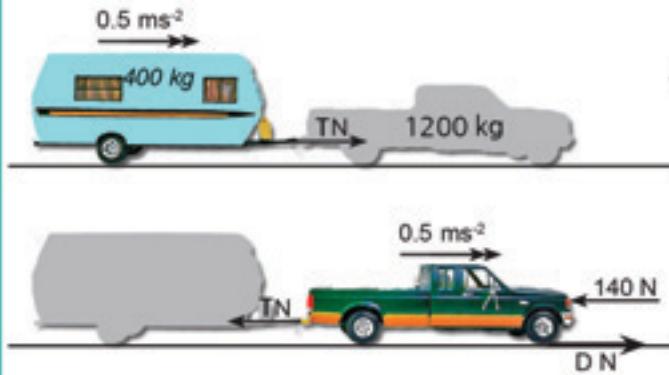
الحل:

يوضح الشكل (4-6) القوة الأفقية المؤثرة على المقطورة والشاحنة (لأجل تقادي التعقيدات في الرسم التوضيحي تركت القوى الرأسية، «الوزن وقوة الاتصال العمودي»).

القوة الأفقية الوحيدة المؤثرة على المقطورة هي القوة الناتجة من القارئة

## 2.4 استخدام قانون نيوتن الثالث في الحسابات

ولنفرض أنها (  $TN$  ) وحسب قانون نيوتن الثالث هناك قوة مساوية ومعاكسة في الاتجاه تؤثر على الشاحنة.



الشكل (6.4)

لنفرض أن قوة القيادة المؤثرة على الشاحنة (  $D N$  ).

$$F (\rightarrow) \quad T = ma$$

$$F (\rightarrow) \quad T = 400 \times 0.5 = 200 N$$

ومعادلة الحركة للشاحنة

$$F (\rightarrow) \quad D - T - 140 = 1200 \times 0.5$$

حيث إن (  $T = 200 N$  )

$$D - 200 - 140 = 600$$

$$D = 200 + 140 + 600 = 940 N \quad \text{عليه نحصل على:}$$

عليه نحصل على قوة القارئة وتساوي (  $200 N$  )، أما قوة القيادة فتساوي (  $940 N$  ).

### مثال 2.2.4



حاول رجل وزنه (  $750 N$  ) دفع خزانة كتب وزنها (  $1200 N$  ) على سطح الأرض فإذا كان معامل الاحتكاك بين خزانة الكتب و سطح الأرض يساوي (  $0.4$  )، فكم معامل الاحتكاك بين حذائه و سطح الأرض ليتمكن من دفع الخزانة؟

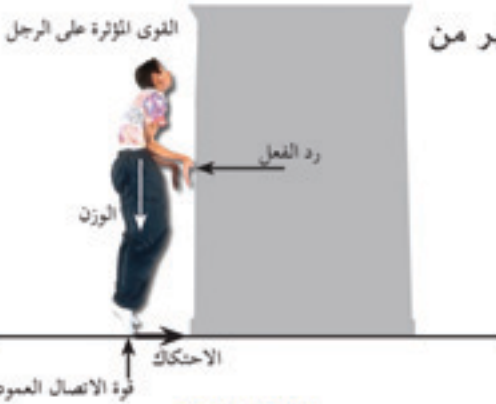
الحل :

يوضح الشكل (7-4) القوى المؤثرة على خزانة الكتب وعلى الرجل.

$$F (\uparrow) \quad R = W \quad \therefore R = 1200 N$$

عليه فإن القوة القصوى للاحتكاك تكون

$$f = \mu R \quad \therefore f = 0.4 \times 1200 = 480 N$$



الشكل (7.4)

عند محاولة الرجل تحريك الخزانة يجب على الرجل أن يدفع بقوة أكبر من (  $480 N$  )، وتوجد هناك قوة مساوية لـ (  $480 N$  ) معاكسة في الاتجاه الأفقي على الرجل وهذه يجب أن تتعادل مع قوة الاحتكاك الناتجة من حذائه

$$\therefore f = \mu R \\ = \mu W (\text{الرجل})$$

$$480 = \mu 750$$

$$\therefore \mu = \frac{480}{750} = 0.64$$

مثال 3.2.4

علق قضيب مغناطيسي كتلته  $(0.2 \text{ kg})$  بسلك في السقف، امسك القضيب المغناطيسي بفعل قوة مغناطيسية قدرها  $(20 \text{ N})$  كرة من الحديد كتلتها  $(0.5 \text{ kg})$ ، جذب السلك إلى أعلى بقوة  $(T \text{ N})$ . أوجد أكبر قيمة ممكنة للشد  $(T)$  بحيث تبقى الكرة متصلة بالمغناطيس.

الحل:

من خلال الاتصال بين الكرة والمغناطيس هناك قوتان بينهما، القوة المغناطيسية  $(R \text{ N})$  وقوة الاتصال العمودية  $(R \text{ N})$ ، حسب قانون نيوتن الثالث فإن هذه القوى تؤثر في اتجاه معاكس على المغناطيس وعلى الكرة لنفرض أن الكرة والمغناطيس تسارعت إلى أعلى بمقدار  $(a \frac{m}{s^2})$ .  
يوضح الشكل (8-4) القوى التي تؤثر على الكرة وكذلك القوى التي تؤثر على المغناطيس والتي أوزانها  $(5 \text{ N})$  و  $(2 \text{ N})$  على التوالي.

$$F \uparrow) \quad R_m - R - w = ma \quad \text{معادلات الحركة للكرة}$$

$$F \uparrow) \quad 20 - R - 5 = 0.5 a$$

معادلات الحركة للمغناطيس

$$F \uparrow) \quad T - w - R_m + R = ma$$

$$F \uparrow) \quad T - 2 - 20 + R = 0.2 a$$

يمكن التعويض على قيمة  $(a)$  أو إهمالها من المعادلتين

$$(2) \quad \text{بضرب المعادلة (1) في (2)} \quad 2(20 - R - 5) = 2 \times 0.5 a \quad \textcircled{1}$$

$$(5) \quad \text{بضرب المعادلة (2) في (5)} \quad 5(T - 2 - 20 + R) = 5 \times 0.2 a \quad \textcircled{2}$$

ب طرح المعادلة الثانية من المعادلة الأولى نحصل على:

$$(40 - 2R - 10) - (5T - 10 - 100 + 5R) = 2 \times 0.5 a - 5 \times 0.2 a$$

$$40 - 2R - 10 - 5T + 10 + 100 - 5R = 0$$

$$5T + 7R = 140$$

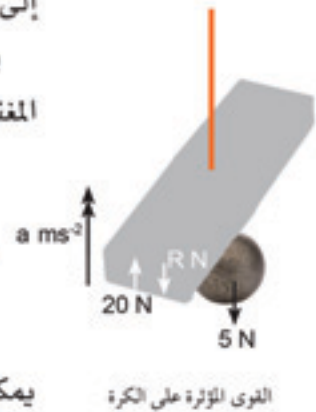
حيث تمت المحافظة على الاتصال بين الكرة والمغناطيس، قوة الاتصال العمودية

لا يمكنها أن تكون سالبة عليه:

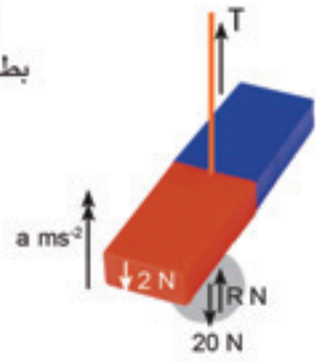
$$5T \leq 140 \quad \therefore T \leq 28$$

إذا أريد للكرة أن تبقى على اتصال بالمغناطيس يلزم على قوة الشد في السلك

أن لا تتجاوز  $(28 \text{ N})$ .



القوى المؤثرة على الكرة



القوى المؤثرة على المغناطيس

الشكل (8.4)



وضع طالب كتابين فوق بعضهما على سطح منضدة، أراد الاستعانة بالكتاب السفلي ولكي يستخلص الكتاب دفعه إلى اليسار بقوة قدرها  $(Q N)$ ، وليمنع الكتاب الأعلى من الحركة بذل قوة مقدارها  $(P N)$  على الكتاب الأعلى إلى اليمين، انزل الكتاب الأسفل إلى الخارج وبقي الكتاب الأعلى ثابتاً، وكان وزن الكتاب الأعلى والكتاب الأسفل  $(8 N)$  و  $(7 N)$  على التوالي، وكان معامل الاحتكاك بين الكتابين  $(0.25)$ ، وبين الكتاب الأسفل وسطح المنضدة  $(0.4)$ . احسب كل من  $(P)$  و  $(Q)$ .

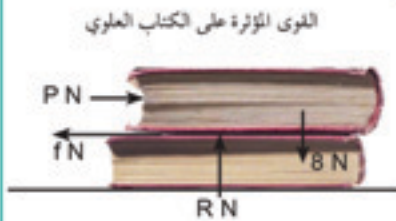
الحل:

الشكل (9-4) يوضح القوى المؤثرة على كل كتاب، تعرضت حركة الكتاب السفلي لقوتي احتكاك من الكتاب الأعلى  $(f N)$  ومن المنضدة  $(G N)$  كل منهما يؤثر في اتجاه اليمين، وحسب قانون نيوتن الثالث توجد قوة احتكاك قدرها  $(f N)$  تؤثر على الكتاب الأعلى إلى اليسار وتوجد قوة اتصال عمودية قدرها  $(R N)$  بين الكتابين وكذلك على الكتاب الأسفل من المنضدة  $(S N)$ .

حيث هناك حركة فإن قوة الاحتكاك تكون قيمتها النهائية القصوى  $(f = 0.25 R)$ ،

و  $(G = 0.4 S)$ .

إذا تحرك الكتاب السفلي بسرعة ثابتة فإن القوى على الكتب تكون متزنة.  
للكتاب العلوي



$$F (\rightarrow) \quad P - f = 0$$

$$F (\uparrow) \quad R - 8 = 0$$

للكتاب السفلي



$$F (\rightarrow) \quad f + G - Q = 0$$

$$F (\uparrow) \quad S - 7 - R = 0$$

ومن هذه المعادلات يمكن الحصول على:

$$R = 8, \quad S = 15, \quad f = 2, \quad G = 6, \quad P = 2, \quad Q = 8$$

الشكل (9.4)

عليه يكون الطالب قد دفع الكتاب السفلي بقوة  $(8 N)$  إلى اليسار ومنع الكتاب

العلوي من الحركة بقوة  $(2 N)$  إلى اليمين.



## تمارين 4 - A

1. وضع قفص وزنه  $(80\text{ N})$  فوق قفص آخر وزنه  $(100\text{ N})$  فوق سطح الأرض كما هو موضح في الشكل. وضع بالرسم القوى المؤثرة على القفص العلوي والقفص السفلي مع وضع مقدار كل قوة على الرسم.



2. مسبح للطيور يتكون من عمود خرساني وزنه  $(1000\text{ N})$  عليه صحن وزنه  $(200\text{ N})$  كما هو موضح في الشكل. اذكر مقدار واتجاه القوى المبذولة بواسطة:  
(أ). العمود على الصحن. (ب). الصحن على العمود.  
(ج). الأرض على العمود.



3. وضع كيس على الأرض أمام جرافة كما هو موضح في الشكل، تتحرك الجرافة إلى الأمام بسرعة ثابتة في خط مستقيم وضع بالرسم في شكلين منفصلين القوى التي تؤثر على: (أ). الكيس. (ب). الجرافة.



4. يصعد رجل كتلته  $(75\text{ kg})$  في مصعد إلى أعلى بتسارع قدره  $(0.4\frac{m}{s^2})$ ، وضع بالرسم القوى التي تؤثر على الرجل، أوجد القوة التي تبذل بواسطة الرجل على أرضية المصعد.

5. يحمل سائق شاحنة صندوقين مئمتلين على شاحنته واحد فوق الآخر كما هو موضح في الشكل ولم يحدث انزلاق أثناء الحركة. وضع بالرسم في شكلين منفصلين القوى التي تؤثر على كل صندوق عندما تتحرك الشاحنة على طريق أفقية مستقيمة:  
(أ). بسرعة ثابتة. (ب). بعجلة تزايدية. (ج). بعجلة تقصيرية.  
(د). إذا كانت كتلة كل صندوق  $(250\text{ kg})$ . احسب مقدار قوة الاحتكاك التي تؤثر على:

- الصندوق العلوي من الصندوق السفلي.
- الصندوق السفلي بفعل السيارة (الشاحنة) عندما تكون مُسرعة بعجلة قدرها  $(1.5\frac{m}{s^2})$ .



## 2.4 استخدام قانون نيوتن الثالث في الحسابات

6. في إعادة تمثيل لواقعة تاريخية حاول مجموعة من الطلاب سحب سفينة حربية قديمة على الشاطئ تحتاج إلى قوة أفقية قدرها (5000 N) ، وكان متوسط وزن الطالب (600 N) ، معامل الاحتكاك بين قدمي الطالب والرمل (0.2) . أوجد عدد الطلاب اللازم مشاركتهم في هذه العملية؟

7. تجر سيارة كتلتها (1200 kg) عربة نقل كتلتها (800 kg) على طريق بسرعة ثابتة قدرها ( $20 \frac{m}{s}$ ) وهناك مقاومة للهواء على كل من السيارة والعربة مقدارها (100 N) و(400 N) على التوالي. احسب مقدار القوة على عربة النقل من ساق الجر والقوة الدافعة للسيارة؟  
بدأت السيارة التسارع بعجلة تقصيرية ( $1.5 \frac{m}{s^2}$ ) وذلك باستخدام المكابح. احسب القوة على السيارة من ساق الجر بإهمال قوة الإحتكاك و ما هو التأثير الذي يشعر به سائق السيارة.

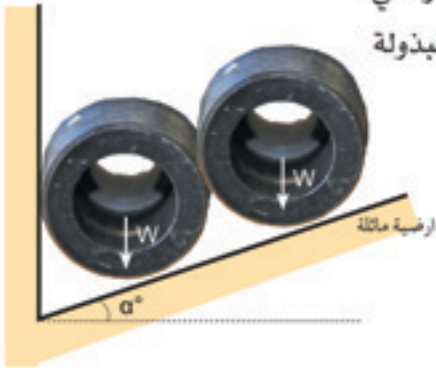
8. اسطوانتان متماثلتان وزن كل منهما (W) تستقران على مستوى أملس ومائل بزاوية ( $\alpha^\circ$ ) مع الأفقي وكانت الأسطوانة السفلى على اتصال مع حائط رأسي أملس والموضح في الشكل . أوجد إجابتك بدلالة (W) و( $\alpha^\circ$ ) لمقدار القوى المبذولة بواسطة:

(أ) . المستوى المائل على الأسطوانة العلوية.

(ب) . الأسطوانة السفلى على الأسطوانة العلوية.

(ج) . الأسطوانة العلوية على الأسطوانة السفلى.

(د) . الحائط على الأسطوانة السفلى.



### 3.4 الخيوط والحبال والسلاسل والكبلات

(Strings, ropes, chains and cables)

يوضح الشكل (10-4) خيط مربوط من أحد طرفيه إلى خطاف مثبت بحائط، وامسك الطرف الثاني لكي يصبح الخيط أفقياً وجذب بقوة (T) إلى اليسار. في العادة يكون وزن الخيط صغيراً جداً بالمقارنة مع القوة (T) ويمكن إهماله في العمليات الحسابية بدون تغير يذكر في النتيجة، والخيط في هذا النموذج يوصف بالخفيف، وهذا يعني أن كلاً من وزنه وكتلته اعتبرتاً مساوية للصفر.



الشكل (10.4)

لندرس الآن حالة اتزان الخيط:

توجد قوة ضد قوة الجذب، وهذه القوة تأتي من الخطاف، عليه يبذل الخطاف قوة على الخيط تساوي (T) في اتجاه اليمين شكل (11-4).

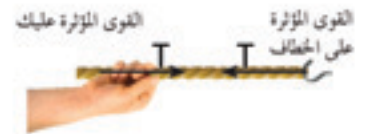
رغم أنك لا تجذب الخطاف بل تجذب الخيط بقوة إلى اليسار وحسب قانون نيوتن الثالث يبذل الخيط عليك قوة مقدارها (T) إلى اليمين.

وبالمثل يطبق قانون نيوتن الثالث على النهاية الأخرى يبذل الخطاف قوة على الخيط مقدارها (T) إلى اليمين وعليه يبذل الخيط قوة قدرها (T) على الخطاف في اتجاه اليسار، ولهذا السبب عندما رسم الخيط في الشكل الذي تم توضيحه رسم بخط عليه اسهم تشير إلى الداخل.

ويوضح الشكل (12-4) هذه الأسهم التي تدل على القوة التي يبذلها الخيط على الأجسام المتصلة به عند طرفيه.



الشكل (11.4)

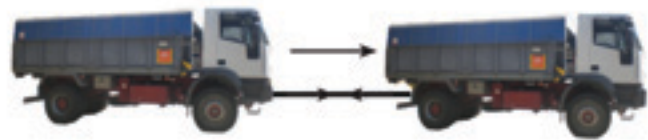


الشكل (12.4)

يبذل الخيط الخفيف قوى متساوية المقدار على الأجسام المتصلة به عند طرفيه وهذه القوى تؤثر في اتجاه الخيط ومتجهتاً إلى داخله عند طرفيه ويسمى مقدار هذه القوى عند الأطراف بالشد في الخيط.

وتطبيق نفس الأفكار على

الحبال والسلاسل والكابلات والقضبان بشرط أنه يمكن إهمال أوزانها بالمقارنة مع القوى المؤثرة عليها، والفرق بين القضبان والخيوط والحبال والكابلات هو أن القضبان يمكنها أن تبذل قوة اتجاهاً إلى الخارج عند طرفيها، ويسمى مقدار



الشكل (13.4)



### 3.4 الخيوط والحبال والسلاسل والكبلات

هذه القوى بالضغط في القضيب والأجسام في نهاية الخيط ربما تكون ساكنة كما هو الحال في المثال السابق، أو ربما تكون متحركة، وعلى سبيل المثال تطبيق نفس الأفكار على الكابل الموصل بين شاحنتين شكل (13-4).

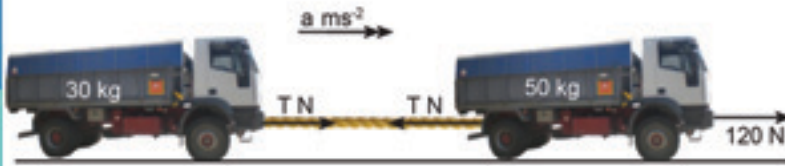
وهناك خاصية مهمة للكابل أو القضبان وهي أن طولهما يبقى ثابت أثناء الحركة للشاحنتين أي أنهما غير قابلتا للتمدد (الزيادة في الطول) وهذا يعني أن الشاحنتين لهما نفس السرعة والعجلة.

#### مثال 3.4

في الشكل (13-4) افترض أن الشاحنة في جهة اليسار كتلتها (30 kg) والشاحنة في جهة اليمين كتلتها (50 kg) وتجر بقوة قدرها (120 N)، احسب الشد في الكابل؟

الحل:

افترض أن العجلة المشتركة لهما تساوي  $(a \frac{m}{s^2})$  ولنفرض أن الشد في الكابل (TN)



الشكل (14.4)

يوضح الشكل (14-4) في الجزء الأوسط الكابل بخط أصفر وذلك لتوضيح المسألة، ولنفصل القوى المؤثرة على الشاحنتين وتم توضيح القوى الأفقية فقط في الشكل.

معادلات الحركة للشاحنة الخلفية

$$F(\rightarrow) \quad T = 30 a$$

معادلات الحركة للشاحنة الأمامية

$$F(\rightarrow) \quad 120 - T = 50 a$$

ربما من الأسهل إيجاد العجلة (a) بالتعويض  $(T = 30 a)$  لتعطي المعادلة الثانية

$$120 - 30 a = 50 a$$

$$\therefore 120 = 80 a$$

$$\therefore a = \frac{120}{80} = 1.5 \frac{m}{s^2}$$

$$T = 30 a = 30 \times 1.5 = 45 N$$

عليه يكون الشد في الكابل يساوي (45 N).



## 4.4 الأوتاد والبكرات (Pegs and Pulleys)

وهناك خاصية أخرى للخيط وهي أنه مرن يمكنه المرور حول وتد ثابت وعليه سيكون للخيط قسمان مستقيمان وقسم منحني عند نقطة التلامس مع الوتد كما هو موضح في الشكل (15-4).

والمناقشة السابقة للقوى في حالة الخطاف يمكن تطبيقها على كل جزء مستقيم من الخيط، وهذا يعني أن الشد في كل جزء مستقيم يؤثر على الجزء المنحني حول الوتد. ونقطة التلامس بين الخيط والوتد تكون خشنة عليه سيكون هناك احتكاك يؤثر على الخيط حول محيط الوتد، وبذلك يكون الشد في الجزئين المستقيمين مختلف، إلا أنه في حالة ما إذا كان التلامس بين الخيط والوتد أملساً فإن الشد في الجزئين المستقيمين متساو.

وهناك احتمال آخر وهو أن الخيط يمر حول بكرة التي بدورها تدور حول محور ثابت، فإذا كان السطح خشناً فسوف تدور البكرة مع الخيط (ويطبق هذا على السلاسل عندما تمر على عجلة الترس)، ولكي تدور البكرة يلزم أن تكون قيمة الشد في الجزئين المستقيمين مختلفة ولكن إذا كانت كتلة البكرة صغيرة وتدور حول محور أملس يكون الاختلاف بين الشدين صغيراً جداً، عليه يمكن إهماله في درجة التقريب الأولى.

الأوتاد الملساء والبكرات الخفيفة أمثلة أخرى لنماذج رياضية تستخدم في الرياضيات ولا توجد في الطبيعة، ولكن يمكن استخدامها في الحسابات بفقد قليل من الدقة.



الشكل (15.4)

عندما يمر خيط حول وتد أملس أو بكرة خفيفة بمحور أملس، يكون الشد في طرفي الخيط متساوياً.

### مثال 1.4.4

استخدمت سقالة أثناء إجراء تصليحات في عمارة، فمرر حبل على حافة عجلة مربوط في نهايته دلوان كتلة كل منهما (2 kg)، مليء أحد الدلوين بكتلة (8.5 kg) من الأنقاض وترك لينزل للأرض، بأي عجلة ينزل الدلو؟

الحل:

يجب عمل نموذج تقريب في مثل هذه الحالات لنفرض في هذا المثال أن كتلة

#### 4.4 الأوتاد والبكرات

كل من الحبل والعجلة مهملة وأن العجلة تدور حول محور أملس وأن الحبل متساو وبذلك تكون عجلة الدلو الفارغ إلى أعلى مساوية لعجلة الدلو المعبأ المتحرك إلى أسفل.

لنفرض أن الشد  $(TN)$ ، وأن العجلة  $(\frac{m}{s^2})$ ، ويوضح الشكل (16-4) القوى المؤثرة على كل دلو أثناء الحركة، وزن الدولين  $(20 N)$ ، و  $(105 N)$ .

القوى المؤثرة على الدلو الفارغ

$$F (\uparrow) \quad T - 20 = 2a$$

القوى المؤثرة على الدلو الممتلئ

$$F (\downarrow) \quad 105 - T = 10.5a$$

$$(T - 20) + (105 - T) = 2a + 10.5a \quad \text{بالجمع}$$

$$\therefore 85 = 12.5a$$

$$\therefore a = \frac{85}{12.5} = 6.8 \frac{m}{s^2}$$

عليه سوف ينزل الدلو الممتلئ إلى الأرض بتسارع قدره  $(6.8 \frac{m}{s^2})$ .

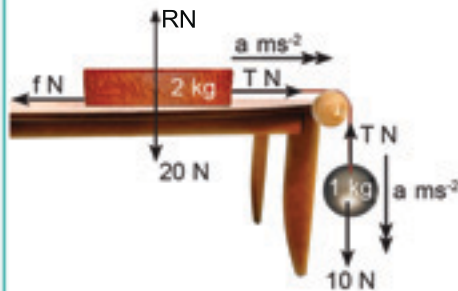


الشكل (16.4)

#### مثال 2.4.4

وضع صندوق كتلته  $(2 kg)$  على منضدة، وصل الصندوق بخيط يمر على وتد أملس في حافة المنضدة، ربطت في النهاية الأخرى للخيط كرة كتلتها  $(1 kg)$  بحيث كان طرفها الخيط مستقيماً أفقياً ورأسياً، فإذا كان معامل الاحتكاك بين الصندوق والمنضدة يساوي  $(0.2)$  فأوجد عجلة الصندوق والكرة؟

الحل :



الشكل (17.4)

يوضح الشكل (17-4) القوى المؤثرة على الصندوق والكرة، وحيث إن الوتد أملس فإن الشد في طرفي الخيط متساو في المقدار  $(TN)$  على كل طرف، وقوة الاتصال العمودية على الصندوق  $(RN)$ ، والاحتكاك  $(fN)$ ، والعجلة  $(\frac{m}{s^2})$ ، والأوزان  $(20 N)$ ، و  $(10 N)$  على التوالي.

بالتحليل رأسياً للصندوق نحصل على  $(R = 20 N)$

$$f = \mu R \\ f = 0.2 \times 20 = 4 N$$

حيث إن الصندوق في حالة حركة، فإن قوة الاحتكاك تكون في قيمتها القصوى

$$F (\rightarrow) \quad T - f = 2a \quad \text{للسندوق}$$

$$F(\downarrow) \quad 10 - T = a \quad \text{للكرة}$$

بجمع المعادلتين والتعويض عن قيمة  $(f = 4 \text{ N})$   
نحصل على:

$$10 - 4 = 3a \quad \therefore a = 2 \frac{m}{s^2}$$

عليه فإن الصندوق والكرة يتسارعان بعجلة قدرها  $(2 \frac{m}{s^2})$ .

المثال القادم يمكن استخدامه كأساس لتجربة لتوضيح قاعدة تحليل القوى والتي سبق دراستها في الجزء (2.1).

#### مثال 3.4.4

يوضح الشكل (18-4) جهازاً به كتلة  $(m)$  مربوطة بخيطين طولهما متساو، ويحمل كل طرف منهما كتلة  $(M)$ ، وضع الخيطان على مسمارين  $(A)$ ، و  $(B)$  أملسين ومثمتين وعلى نفس المستوى. كل النظام كان في حالة اتزان وكانت المسافة بين المسمارين  $(2c)$ ، وكانت الكتلة  $(m)$  عند عمق  $(d)$  تحت نقطة في منتصف  $(AB)$ . أوجد  $(m)$  بدلالة كل من  $(c)$ ، و  $(M)$ ، و  $(d)$ .

الحل:

لنفرض أن الشد في كل خيط  $(TN)$  وكذلك يصنع الخيط زاوية مقدارها  $(\theta^\circ)$  مع الرأسى لكل كتلة  $(M)$

$$F(\uparrow) \quad T - Mg = 0$$

للكتلة  $(m)$

$$F(\uparrow) \quad 2T \cos \theta - mg = 0$$

بالتعويض عن  $(T)$  بالقيمة  $(Mg)$  ووضعها في المعادلة الثانية:

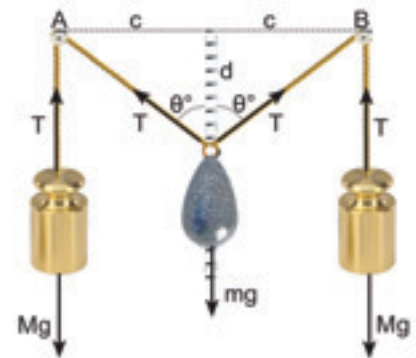
$$2 Mg \cos \theta - mg = 0$$

بالقسمة على  $(g)$

$$2 M \cos \theta - m = 0 \quad \therefore m = 2 M \cos \theta$$

طول الخيط المائل يساوي  $\sqrt{c^2 + d^2}$

$$\cos \theta = \frac{d}{\sqrt{c^2 + d^2}} \quad \text{عليه يكون}$$



الشكل (18.4)

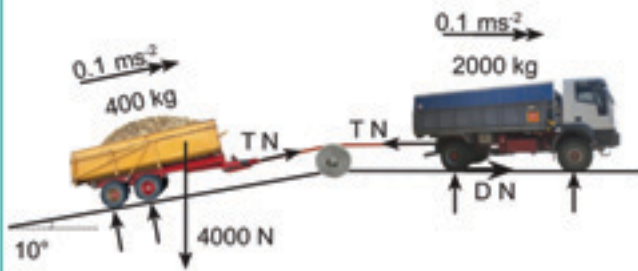


$$m = \frac{2Md}{\sqrt{c^2 + d^2}}$$

ومنها نحصل على:

ولاستخدام هذه كتجربة اجعل الكتل ( $M$ ) ثابتة ولكن غير الكتلة ( $m$ ). ضع تدريجاً على خط التماثل لأجل قياس العمق ( $d$ ) واحسب ( $\cos \theta = \frac{d}{\sqrt{c^2 + d^2}}$ ). فإذا رسمت ( $\cos \theta$ ) ضد ( $m$ ) يجب أن تحصل على مجموعة من النقاط التي تقع على خط يمر بنقطة الأصل بميل قدره ( $\frac{1}{2M}$ ).

#### مثال 4.4.4



الشكل (19.4)

في موقع بناء تُجر شاحنة كتلتها ( $400 \text{ kg}$ ) بسلسلة إلى أعلى منحني بميل بزاوية ( $10^\circ$ ) بحيث تكون السلسلة موازية للمنحني، وتمر على عجلة تروس مهملة الكتلة وترتبط أفقياً بسيارة كتلتها ( $2000 \text{ kg}$ )، أهمل أي مقاومة واحسب القوة اللازمة لتسارع الشاحنة إلى أعلى المنحني بعجلة ( $0.1 \frac{m}{s^2}$ ).

الحل :

يوضح الشكل (19-4) القوى المؤثرة على الشاحنة والسيارة لنفرض أن الشد في السلسلة ( $TN$ ) والقوة الدافعة ( $DN$ ) ووزن الشاحنة ( $4000 \text{ N}$ ). معادلات الحركة للشاحنة

$$F \text{ (للمنحني } \parallel) \quad T - 4000 \sin 10^\circ = 400 \times 0.1$$

والتي تعطي ( $T = 734.5 \text{ N}$ )

والسيارة أيضاً تتحرك بعجلة ( $0.1 \frac{m}{s^2}$ )

$$F \text{ (} \rightarrow) \quad D - T = 2000 \times 0.1 \quad \text{للسيارة}$$

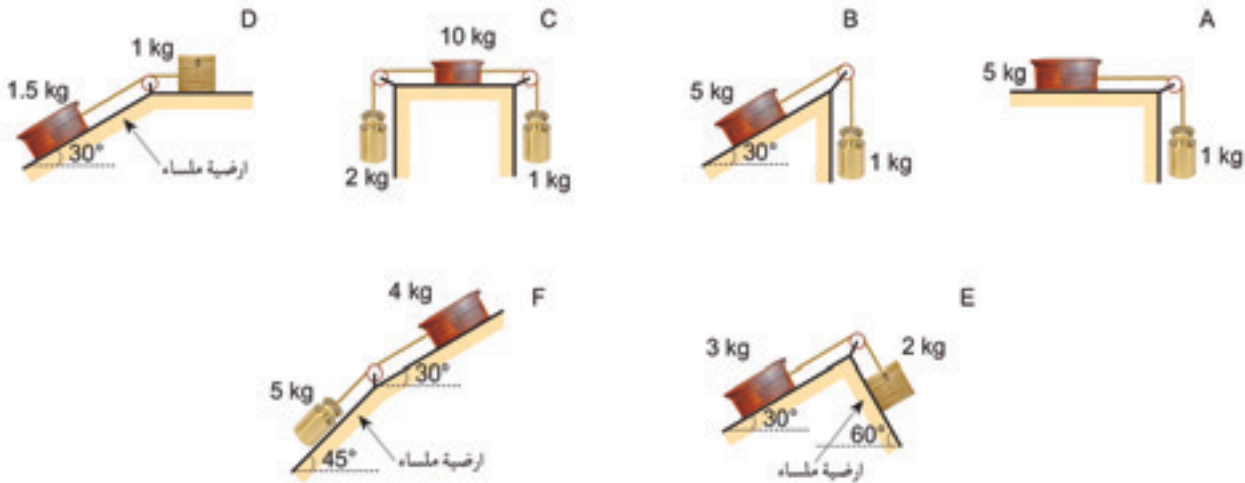
$$\therefore D = T + 200 = 734.5 + 200 = 934.5 \text{ N}$$

عليه يلزم أن تكون القوة الدافعة تساوي ( $934.5 \text{ N}$ ).



## B.4 تمارين

1. في الحالات الموضحة في الأشكال المقابلة، تمر الخيوط على بكرات صغيرة خفيفة، ينتهي طرفا الخيط بكتل والأسطح خشنة، إلا في الحالات المنصوص عليها بشأن السطح أملس (D)، و (E)، و (F)، وكانت الكتل مستقرة والخيوط مشدودة جداً. أوجد الشد في الخيوط وقوة الاحتكاك المبذولة بالأسطح على الكتل التي تصل بها في كل حالة؟



2. لف شريط حول أسطوانتين ملساوتين كما هو موضح، الأسطوانة العليا ثابتة والأسطوانة السفلى متحركة على حلقة شكلت بالشريط تهبط كتلة قدرها (5 kg) بسرعة ثابتة، احسب كتلة الأسطوانة السفلى؟



3. في الشكل الموضح يمر خيط على وتد أملس ثابت. امسكت الأجسام كما في الشكل بخيط مشدود حتى صارت ثابتة. أوجد الشد في الخيط وعجلة الأجسام؟

4. افترض أن كل الحالات في المسألة رقم (1) أن البكرة حرة الدوران، وأن التلامس بين الكتل والسطح أملس، بحيث تكون الكتل في مواضعها وتكون الخيوط مشدودة جداً، تركت الكتل حرة الحركة. أوجد عجلة الكتل في كل حالة؟



5. ربط جسم كتلته (3 kg) في نهاية خيطين ( $s_1$ ) و ( $s_2$ )، وربط جسم كتلته (2.5 kg) في نهاية الخيط ( $s_1$ ) وجسم كتلته (1 kg) في نهاية الخيط ( $s_2$ ) حفظت الأجسام كما في الشكل والخيوط مشدودة جداً والخيط ( $s_1$ ) يمر حول وتد ثابت تركت المجموعة للحركة من السكون. أوجد العجلة لكل جسم والشد في الخيوط ( $s_1$ ) و ( $s_2$ ).

6. في الشكل الموضح في المسألة (2) افترض أن كتلة الأسطوانة السفلى (12 kg) وحفظت المجموعة في سكون في الموقع الموضح بشريط مشدود جداً، ثم تركت. أوجد العجلة لكل من:  
 (أ). الاسطوانة السفلى. (ب): الكتلة (5 kg)

7. رُبط جسمان بخيط خفيف غير مرن ويمر على وتد أملس وثابت أمسك الجسم الأثقل بحيث يكون الخيط مشدوداً جداً بحيث تكون أطراف الخيط رأسية، عندما ترك النظام من السكون تسارع الجسمان بعجلة قدرها ( $\frac{1}{2}g$ ). أوجد النسبة بين الكتلتين؟

8. وضع جسم كتلته ( $m$ ) على مسار خشن حيث يتم صعوده إلى أعلى بزاوية ( $\alpha^\circ$ ) مع الأفقي حيث ( $\sin \alpha^\circ = 0.6$ ) و ( $\cos \alpha^\circ = 0.8$ ) وكان معامل الاحتكاك يساوي (0.5) ربط خيط بالكتلة ( $m$ ) وربطت النهاية الأخرى بكتلة ( $M$ ) يمر الخيط على قضيب أملس من أعلى المسار بحيث يكون رأسياً إلى أعلى. أوجد قيم الكتلة ( $M$ ) التي تقع خارج قيم الاتزان؟

## 5.4 القوى الداخلية والخارجية

(Internal and external forces)

افترض أن سيارة كتلتها (1600 kg) تتسارع بمقدار ( $0.5 \frac{m}{s^2}$ )، وأن الحركة مقاومة بقوة (140 N)، كم تكون القوة الدافعة ( $D$ )؟  
 يمكن إجابة هذا التساؤل باستخدام قانون نيوتن الثاني والذي ينص ( $F = ma$ )

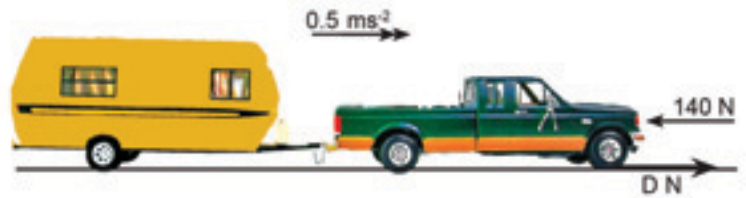
$$D - 140 = 1600 \times 0.5 \quad \therefore D = 940 N$$

قارن هذا مع المثال (1.2.4) حيث شاحنة كتلتها (1200 kg) تجر مقطورة خلفها

كتلتها (400 kg) ضد مقاومة (140 N) بمجلة ( $0.5 \frac{m}{s^2}$ ) وجدت عندها أن القوة الدافعة يجب أن تكون (940 N).

هذا مدهش، إذا كانت السيارة في الجزء الأول تتكون من شاحنة ومقطورة وهنا لا يوجد فرق من معاملة المسألة كجسم واحد أو جسمين متصلين يتحركان بسرعة وعجلة واحدة إلا أنك لا تستطيع إيجاد قوة الربط بين الشاحنة والمقطورة فإذا رسمت شكلاً للسيارة (الشاحنة والمقطورة) تبدو كما هي موضحة في الشكل (4-20).

والقوى الوحيدة التي تؤثر على الحركة هي القوة الدافعة والمقاومة للحركة في الاتجاه الأفقي وتسمى هذه القوى بالقوة الخارجية المؤثرة على الشاحنة والمقطورة والتي تم توضيحها في الشكل (4-6) تصبح قوى داخلية عندما تعتبر الشاحنة والمقطورة كعربة منفصلة.



الشكل (4.20)

عندما يتكون جسم من جزئين كل منهما يتحرك بسرعة وعجلة واحدة، يمكنك استخدام قانون نيوتن الثاني، إما للجسم كاملاً، أو لكل من الأجزاء منفصلة. عندما يكون الجسم كاملاً فتقوى التفاعل بين الجزئين تكون قوى داخلية ولا تدخل في الحسابات، أما في حالة الأجزاء المنفصلة فتقوى التفاعل على كل جزء تكون قوى خارجية وتعتبر من المعادلات.

عند معاملة الكتلتين كجسم واحد فإن معادلة الحركة

$$D - 140 = (1200 + 400) a$$

$$D - 140 = 1600 \times 0.5$$

$$D - 140 = 800$$

$$\therefore D = 940 \text{ N}$$

كجسمين منفصلين ← الجسم الأول

$$D - 140 - T = 120 \times 0.5 \quad \text{--- (1)}$$

← الجسم الثاني

$$T = 400 \times 0.5 \quad \text{--- (2)}$$

$$\therefore T = 200 \text{ N}$$

بالتعويض في المعادلة (1)

$$D - 140 - 200 = 1200 \times 0.5$$

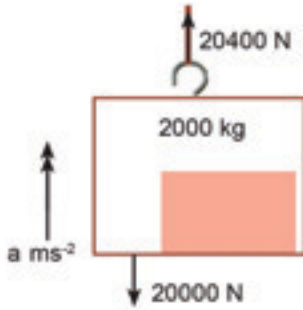
$$\therefore D = 940 \text{ N}$$



مثال 1.5.4

مولد كتلته (1500 kg) موضوع داخل قفص كتلته (500 kg)، رُفِع القفص رأسياً إلى أعلى عن طريق رافعة وكان الشد في الكابل (20400 N)، أوجد عجلة الصندوق وقوة الاتصال العمودية بين المولد والقفص.

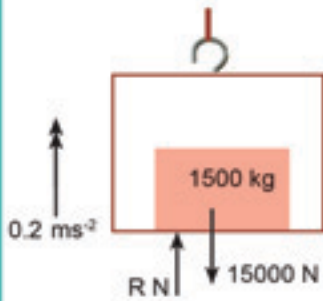
الحل:



الشكل (21.4)

القفص والمولد يتحركان بنفس العجلة ( $a \frac{m}{s^2}$ ) عليه يمكن اعتبارهما جسم واحد الشكل (21-4) والقوى الوحيدة الخارجية هي الشد في الكابل والوزن المشترك لهما ( $2000 \times 10 N = 20000 N$ ) معادلات الحركة للقفص والمولد

$$R (\uparrow) \quad 20400 - 20000 = 2000 a \quad \therefore a = 0.2 \frac{m}{s^2}$$



الشكل (22.4)

كي تجد قوة الاتصال العمودية ( $R N$ ) يجب عليك اعتبار المولد أو القفص منفصلين عن بعضهما البعض، ولعله يكون من الأسهل لو اعتبرنا المولد لأن القوى التي تؤثر عليه أقل (انظر الشكل 22-4).

$$R (\uparrow) \quad R - 15000 = 1500 \times 0.2 \quad \therefore R = 15300 N$$

عليه يتحرك القفص بعجلة ( $0.2 \frac{m}{s^2}$ ) وقوة الاتصال العمودية ( $15300 N$ ).

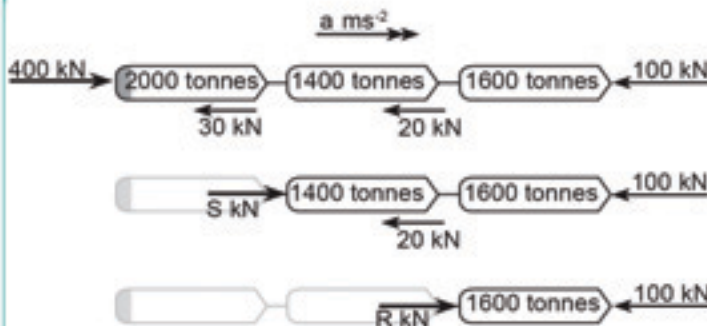
مثال 2.5.4

تتحرك ثلاثة مراكب في نهر، المركب الخلفي له محرك ينتج قوة إلى الأمام (400 kN) وكانت كتلة المراكب الأمامية والوسطى والخلفية (1600 tonnes)، (1400 tonnes) و (2000 tonnes) على التوالي، وتعرض المياه المراكب بقوة مقاومة (100 kN)، و (20 kN)، و (30 kN) على التوالي. أوجد القوى في كابلات التوصيل بين المراكب.

الحل:

يوضح الشكل (23-4) ثلاث صور جوية مبينة للقوى الأفقية على المراكب الثلاثة، وعلى المركبين الأماميين، وعلى المركب الأمامي الأول مرتبة على التوالي فإذا كانت العجلة ( $a \frac{m}{s^2}$ )، والقوى الرابطة ( $R kN$ ) و ( $S kN$ )،

لاحظ أن



الشكل (23.4)

$$1T0n = 10^3 kg$$

$$1kN = 10^3 N$$



وحدات غير دولية وهي وحدات غير مستخدمة في النظام الدولي.  
يوجد ثلاث كميات غير معروفة، إلا أن القوى الرابطة بين المراكب تعد قوى داخلية، وعليه يمكن اعتبار المراكب الثلاثة جسماً واحداً.  
معادلات الحركة للمراكب الثلاثة

$$F \text{ (إلى الأمام)} \quad 400 - 100 - 20 - 30 = (1600 + 1400 + 2000) a$$

والتي تُعطي

$$a = \frac{250}{5000} = 0.05 \frac{m}{s^2}$$

$$F \text{ (إلى الأمام)} \quad s - 100 - 20 = (1600 + 1400) \times 0.05$$

$$s = 270 \text{ kN}$$

وللمركب الأمامي

$$F \text{ (إلى الأمام)} \quad R - 100 = 1600 \times 0.05$$

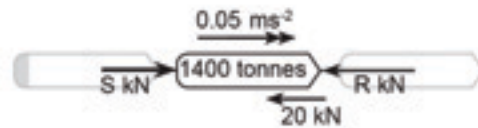
وهذه المعادلة تُعطي:

$$R = 180 \text{ kN}$$

قوة الربط الأمامية والخلفية تكون (180 kN) و (270 kN) على التوالي.  
لاحظ إذا ما استخدمت كل معادلة تحتوي على مجهول بوحدة ، لا يوجد معادلة مشتركة للحل.

يمكنك التأكد من إجابتك بأخذ القوى المؤثرة على مركب واحد فقط، على سبيل المثال يوضح الشكل (4-24) القوى المؤثرة على المركب الأوسط وقوى الربط على الجهتين (الأمام والخلف) تعد قوة داخلية على هذه المركبة والقوة في الاتجاه الأمامي (S - R - 20) kN.

وبأخذ القيم (S) و (R) التي وجدت (70 = 1400 × 0.05)، وعليه تأكدت من صحة المعادلة (F = ma) على المركبة الثانية.



الشكل (24.4)

## تمارين C-4

1. سيارة كتلتها (1000 kg) تجر مقطورة كتلتها (250 kg) على طريق مستقيم، وهناك مقاومة ثابتة للحركة على السيارة والمقطورة مقدارها (150 N)، و(50 N) على التوالي، وقيمة القوة الدافعة (800 N). احسب عجلة السيارة والمقطورة والشد في ساق الجر عندما:

- (أ). يكون الطريق مستقيم.  
 (ب). يميل الطريق بزاوية ( $\sin^{-1} 0.04$ ) مع الأفقي وتتحرك السيارة إلى أعلى الهضبة.

2. تجر سيارة كتلتها (1350 kg) مقطورة كتلتها (250 kg) على طريق مستقيم، ووتتعرضان لمقاومة هواء على السيارة والمقطورة (200 N)، و(50 N) على التوالي، أوجد مقدار القوة الدافعة عندما تتحرك السيارة والمقطورة بسرعة ثابتة؟ واذكر الشد في ساق الجر في هذه الحالة، أوجد قيمة العجلة (تزايدية أو تقصيرية) للسيارة والمقطورة والشد في ساق الجر عندما تبذل قوة الدفع بالمقدار الآتي:

- (أ). (330 N) (ب). (170 N) (ج). (0.0)  
 أوجد قيمة العجلة التقصيرية للسيارة والمقطورة ومقدار القوة في ساق الجر وبيّن هل هذه القوة تعد شداً أم ضغطاً، عندما يستخدم السائق المكابح وكانت قوة المكابح تزيد عن قوة الدفع بمقدار:  
 (د). (30 N) (هـ). (70 N) (و). (150 N)

3. تجر سيارة كتلتها (M) مقطورة كتلتها (m) على هضبة مستقيمة تميل بزاوية ( $\alpha^\circ$ ) مع الأفقي، وقوى المقاومة (P) و(Q) تؤثر على السيارة والمقطورة على التوالي وقوة الدفع للسيارة (F).

- أوجد تعبيراً للعجلة بدلالة (M)، و(m)، و(P)، و(Q)، و(F)، و( $\alpha^\circ$ ). ثم بين أن الشد في ساق الجر لا يعتمد على ( $\alpha^\circ$ ).  
 في حالة ما تكون القوة الدافعة ( $F = P + Q$ ) بين أن العجلة تساوي ( $g \sin \alpha^\circ$ ) والشد في ساق الجر يساوي (Q).



# 5

## Work - energy and power

## الفصل الخامس:

# الشغل - الطاقة والقدرة

- في هذا الفصل نضع المعادلات الأساسية للميكانيكا في قالب جديد حتى يتسنى لنا استعمالها في مجالات مختلفة، وعند الانتهاء من دراسة هذا الفصل يجب أن:
- تعرف الفرق بين الشغل وطاقة الحركة.
  - تكون قادراً على استعمال قاعدة الشغل - الطاقة، ومعرفة الفرق بين الشغل المبذول بواسطة قوة، والشغل المبذول ضد قوة.
  - تعرف أن قاعدة الشغل - الطاقة يمكن استعمالها في الحالات التي لا تكون فيها القوة ثابتة.
  - تعرف أن القوة العمودية على اتجاه الحركة لا تبذل شغلاً.
  - تفهم ما هي القدرة، وأن تكون قادراً على حسابها.
  - تعرف وتكون قادراً على استعمال العلاقة بين القدرة والقوة والسرعة.

### (The work - energy equation)

### 1.5 معادلة الشغل - الطاقة

مثال 1.5:

تتغير سرعة سيارة كتلتها (1000 kg) من ( $7 \frac{m}{s}$ ) إلى ( $13 \frac{m}{s}$ ) بعجلة ثابتة وكانت المسافة المقطوعة في هذه الأثناء (200 m). أوجد قوة محرك السيارة؟

الحل:

الطريقة الأولى:

نجد عجلة السيارة من معادلة الحركة ( $v^2 = u^2 + 2as$ )



وبالتعويض نجد أن

$$(13)^2 = (7)^2 + 2 a (200) \quad \therefore a = 0.3 \frac{m}{s^2}$$

فتكون قوة المحرك ( $F = m a$ )

$$F = 1000 \times 0.3 = 300 N$$

هذه المسألة تتكرر في الميكانيكا، حيث تؤثر قوة مقدارها ( $F$ ) على جسم كتلته ( $m$ ) وتحركه مسافة ( $s$ )، حيث تتغير سرعة الجسم من ( $u$ ) إلى ( $v$ )، وباستعمال قانون نيوتن ( $F = m a$ )، ومعادلة الحركة ( $v^2 = u^2 + 2as$ )، نجد أن:

$$F = m \left( \frac{v^2 - u^2}{2s} \right)$$

والتي يُمكن كتابتها كالتالي:

$$F s = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m u^2$$

يُسمى الطرف الأيسر من المعادلة والذي هو حاصل ضرب القوة في المسافة بالشغل المبذول بواسطة القوة، ووحدات الشغل هي ( $N m$ ) أو ( $Joule$ )، واختصاراً ( $J$ ). أما الطرف الأيمن فهو يتكون من حدين متشابهين، ويُعرف كل منهما بطاقة الحركة وهي طاقة يمتلكها الجسم نتيجة سرعته، فإذا كان الجسم كتلته ( $m$ ) يتحرك بسرعة ( $v$ ) فإن طاقة حركته تكون:

$$E.k \text{ Kinetic energy} = \frac{1}{2} m v^2$$

ووحدات طاقة الحركة هي أيضاً ( $Joule$ ).

#### قاعدة الشغل - الطاقة:

إذا أثرت قوة ثابتة على جسم لمسافة معينة، فإن الشغل المبذول يكون مساوياً لمقدار طاقة الحركة المكتسبة بواسطة الجسم.

#### الطريقة الثانية:

باستخدام قاعدة الشغل - الطاقة يمكن الحصول على القوة وذلك كالتالي:

$$F s = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m u^2$$

$$F (200) = \frac{1}{2} \times 1000 \times (13)^2 - \frac{1}{2} \times 1000 \times (7)^2 = 60000$$

$$F = \frac{60000}{200} = 300 N \quad \text{أو:}$$

من المثال السابق

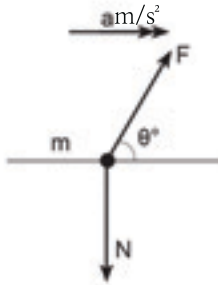
إذا تحرك جسم بسرعة ابتدائية ( $u$ ) ثم تغيرت سرعته إلى ( $v$ )

فإن الشغل المبذول = التغير في طاقة الحركة

## 2.5 بعض التعميمات (Some generalization)

يمكن تعميم قاعدة الشغل - الطاقة بعدة طرق، وهذه أحد الأسباب، لماذا هذه القاعدة مهمة؟

أولاً: افترض أن القوة ليست في اتجاه الحركة، ولكن تؤثر بزاوية ( $\theta$ ) كما في الشكل (1-5)، حيث تؤثر المركبة ( $F \cos \theta$ ) على الجسم ( $m$ ) وتجعله يتحرك بعجلة (a).



الشكل (1.5)

$$F \cos \theta = m a$$

ويكون الشغل المبذول ( $F \cos \theta s$ )، حيث ( $s$ )، المسافة التي تحركها الجسم، فتكون:

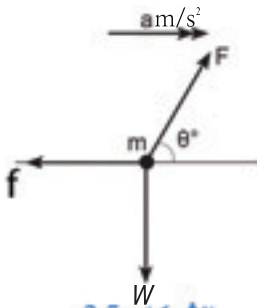
$$F \cos \theta s = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m u^2$$

حيث ( $v$ ) سرعة الجسم النهائية، و( $u$ ) سرعة الجسم الابتدائية، ويمكن تلخيص ما سبق في التالي:

إذا تحرك جسم مسافة ( $s$ ) في خط مستقيم تحت تأثير قوة ( $F$ ) تصنع زاوية مقدارها ( $\theta^\circ$ ) مع اتجاه الحركة، فإن الشغل المبذول بواسطة هذه القوة يكون ( $F s \cos \theta$ ).

ثانياً:

من المهم أن نلاحظ أن قوة الاتصال العمودية ( $R$ ) لا تظهر في معادلة الشغل - طاقة، وهذا بسبب أنه لا توجد حركة في الاتجاه العمودي،



الشكل (2.5)

أي أن الشغل المبذول بواسطة قوة عمودية على اتجاه الحركة يكون صفراً.

ثالثاً: هو الأخذ في الاعتبار القوة المقاومة للحركة ( $f$ ) كما في شكل (2-5)، وباستخدام قانون نيوتن الثاني نجد أن ( $F \cos \theta - R = m a$ ) ويكون الشغل المبذول في هذه الحالة:

$$F s \cos \theta - f s = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m u^2$$

ونصف الحد ( $- f s$ ) بأنه هو الشغل المبذول بواسطة المقاومة وهو شغل سالب،

و نلخص ماسبق في التالي :

**الفرق بين الشغل المبذول بواسطة القوة المؤثرة والشغل المبذول بواسطة قوة المقاومة يساوي التغير في طاقة الحركة.**

مثال 2.5:

ينحدر جسم كتلته (100 kg) على مستوى مائل بزاوية (3°) ، فإذا بدأ الانحدار بسرعة (5  $\frac{m}{s}$ ) وقطع مسافة (500 m) ، وكان مقدار المقاومة (40 N) ، أوجد سرعته عند أسفل المنحدر؟

الحل:

$$\cos (90-\theta) = \sin \theta \quad \text{حيث أن}$$

$$Fs \sin 3^\circ - fs = \frac{1}{2} mv^2 - \frac{1}{2} mu^2$$

وحيث (F = m g) ، وبالتعويض نجد أن:

$$(100 \times 10 \times 500) \cos 87 - 40 \times 500 = \frac{1}{2} (100)v^2 - \frac{1}{2} (100) (5)^2$$

$$26167.9 - 20000 = 50 v^2 - 1250$$

$$50 v^2 = 7417.9 \quad \therefore v^2 = 148.358$$

$$\text{أو } (v = 12.18 \frac{m}{s})$$

أي أن سرعة الجسم أسفل المنحدر (12.18  $\frac{m}{s}$ ) .

### 3.5 الحركة في خط منحن (Motion round curved paths)

تعميم آخر لقاعدة الشغل - الطاقة، وهو أنه يمكن استعمالها في مسار منحن، فمثلاً إذا اعتبرنا قمراً صناعياً يدور حول الأرض في مدار دائري، فإن قوة الجاذبية الأرضية تكون دائماً عمودية على مساره، مما يعني أن الشغل المبذول بواسطتها يكون صفراً، أي أنه لا يوجد تغير في طاقة الحركة، أي أن القمر الصناعي يتحرك في مسار دائري بسرعة منتظمة.

مثال آخر: إذا تحرك جسم على منحن أملس، فإن وزن الجسم وقوة الإتصال العمودية يكونان عموديين على حركة الجسم، وبالتالي فإن الجسم يتحرك بسرعة منتظمة.

## تمارين A-5

1. أوجد طاقة الحركة للآتي:

- أ. شخص كتلته (90 kg) ويجري بسرعة  $(6 \frac{m}{s})$ .  
 ب. فيل كتلته (6 tonnes) يجري بسرعة  $(10 \frac{m}{s})$ .  
 ج. سيارة سباق كتلتها (1.5 tonnes) تسير بسرعة  $(300 \frac{km}{hr})$ .  
 د. رصاصة كتلتها (20 g) تنطلق بسرعة  $(400 \frac{m}{s})$ .  
 هـ. نيزك كتلته (20 kg) يتحرك بسرعة  $(8 \frac{km}{s})$ .

2. يُسحب جسم كتلته (20 kg) مسافة (7 m) بسرعة منتظمة على سطح خشن بواسطة خيط، فإذا كان الشد في الخيط (100 N)، أوجد الشغل المبذول بواسطة الخيط والشغل المبذول بواسطة قوة الإتصال العمودية؟ والشغل المبذول بواسطة القوى المقاومة؟

3. شخص يدفع صندوقاً مسافة (30 m)، فإذا كان الشغل المبذول بواسطة الشخص (120 J)، وكان الصندوق في البداية والنهاية ساكناً، احسب متوسط القوة المقاومة للحركة؟

4. يُسحب صندوق بسرعة منتظمة بواسطة خيط، فإذا كان الشغل المبذول لسحب الصندوق مسافة (16 m) هو (800 J)، احسب الشد في الخيط.

5. كرة كتلتها (1.2 kg) تتحرك بسرعة  $(20 \frac{m}{s})$  وتقف بعد أن تقطع مسافة (30 m)، أوجد الشغل المبذول ضد قوة الاحتكاك؟ ومنه احسب متوسط قوة الاحتكاك؟

6. رجل يسحب عربة بواسطة خيط، وكان الخيط يصنع زاوية مقدارها  $(20^\circ)$  مع الأفقي، وكانت قوة الشد في الخيط (30 N)، احسب الشغل المبذول لجر العربة مسافة (40 m) بسرعة منتظمة؟



7. تُدفع دراجة كتلتها (30 kg) على مستوى مائل إلى أعلى بزاوية مقدارها (15°)، احسب الشغل المبذول لدفع الدراجة مسافة (70 m)؟
8. سيارة كتلتها (600 kg) تُدفع على سطح أفقي من السكون حتى تصل سرعتها (4  $\frac{m}{s}$ )، احسب الشغل المبذول؟
9. يُسحب صندوق كتلته (20 kg) على مستوى مائل إلى أعلى بزاوية (30°) مع الأفقي، فإذا كان مقدار الشغل المبذول لسحب الصندوق مسافة (10 m) هو (1200 J)، أوجد مقدار متوسط القوة المقاومة؟
10. ينحدر دراج على مستوى مائل بزاوية (15°) مع الأفقي فتتزايد سرعته بعد أن يقطع مسافة (50 m) من (4  $\frac{m}{s}$ ) إلى (10  $\frac{m}{s}$ )، احسب متوسط القوة المقاومة إذا علمت أن كتلة الدراج والدراجة (60 kg)؟

## 4.5 القدرة (Power)

يدفع شخص عربة بقوة (75 N) مسافة (60 m) في زمن قدره (90 s)، بينما يدفع شخص آخر عربة مماثلة بنفس القوة ولنفس المسافة، ولكن في زمن قدره (100 s). نلاحظ أن الاثنين قد بذلا نفس الشغل وهو (4500 J)، لكن الأول أقوى من الثاني حيث إنه استطاع أن يبذل نفس الشغل في زمن أقصر، ومعدل بذل الشغل يُسمى بالقدرة (Power)، ووحدات القدرة هي ( $\frac{J}{s}$ ) أو (Watt)، واختصاراً تكتب (W)، أي أن:

$$P = \frac{W}{t}$$

$$W = \frac{J}{s}$$

$$\left(\frac{4500}{90} = 50W\right) \text{ وعليه فإن قدرة الشخص الأول}$$

$$\left(\frac{4500}{100} = 45W\right) \text{ بينما قدرة الثاني}$$

مثال 1.3.5:

مصعد فندق كتلته (1200 kg) يصعد مسافة (60 m) في (20 s) أوجد قدرة محرك المصعد؟

الحل:

الشغل المبذول بواسطة محرك المصعد ضد الجاذبية الأرضية هو:

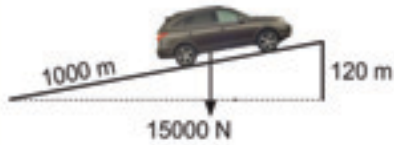
$$W = (mg)s = 1200 \times 10 \times 60 = 720000 \text{ J}$$

ولبذل هذا الشغل في (20 s) فإن قدرة محرك المصعد تكون:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{720000}{20} = 36000 \text{ W} = 36 \text{ kW}$$

مثال 2.4.5:

تصعد سيارة كتلتها (1500 kg) هضبة بسرعة ابتدائية  $(30 \frac{m}{s})$  وتصل إلى أعلى الهضبة بعد زمن قدره (40 s) بسرعة  $(10 \frac{m}{s})$  فإذا كان طول الهضبة (1000 m) وارتفاعها (120 m)، وكان متوسط المقاومة للحركة (500 N) أوجد قدرة محرك السيارة؟



الشكل (3.5)

الحل:

الشغل المبذول بواسطة المقاومة :

$$W = fs = 500 \times 1000 = 5 \times 10^5 \text{ J}$$

والشغل المبذول بواسطة وزن السيارة يكون وزن السيارة في اتجاه الحركة مضروباً في المسافة، ومن الشكل (3-5) يكون الشغل المبذول:

$$W = (mg \sin \theta)s = 1500 \times 10 \times \frac{120}{1000} \times 1000 = 18 \times 10^5 \text{ J}$$

فيكون الشغل المبذول الكلي بواسطة القوى الخارجية هو :

$$W_1 = 5 \times 10^5 + 18 \times 10^5 = 23 \times 10^5 \text{ J}$$

أمامقدار الشغل المبذول بواسطة التغير في طاقة الحركة:

$$W = \frac{1}{2} mu^2 - \frac{1}{2} mv^2$$

$$W_2 = \frac{1}{2} \times 1500 \times 30^2 - \frac{1}{2} \times 1500 \times 10^2 = 6 \times 10^5 \text{ J}$$

فيكون الشغل المبذول بواسطة محرك السيارة:

$$W_1 = 6 \times 10^5 - 23 \times 10^5 = 17 \times 10^5 \text{ J}$$

فيكون مقدار قدرة محرك السيارة:

$$P = \frac{W_1}{t} = \frac{1700000}{40} = 42.5 \times 10^3 \text{ W} = 42.5 \text{ kW}$$

## 5.5 القدرة والقوة والسرعة (Power, force and velocity)

أفرض أن سيارة تتحرك بسرعة منتظمة ( $v$ )، أي أن قوة محرك السيارة ( $F$ ) تساوي تماماً القوة المقاومة للحركة ( $R$ )، فتكون السيارة قد تحركت بعد فترة زمنية ( $t$ ) مسافة ( $vt$ )، ويكون الشغل المبذول بواسطة القوة ( $F$ ) هو ( $F \times vt$ )، وعليه تكون قدرة محرك السيارة ( $Fv$ ) =  $\frac{Fvt}{t}$ ، ويمكن إثبات أن هذا القانون صحيح حتى في حالة السرعة غير المنتظمة، وبصفة عامة:

إذا كان الجسم يتحرك بسرعة ( $v$ ) تحت تأثير القوة ( $F$ )، فإن القدرة تكون ( $Fv$ ) .

مثال 5.5:

تبدأ سباحة كتلتها ( $50 \text{ kg}$ ) السباحة بسرعة ( $0.8 \frac{m}{s}$ )، فإذا كانت قدرة السباحة ( $200 \text{ W}$ )، ومقاومة الماء ( $220 \text{ N}$ ) أوجد العجلة التي تبدأ بها السباحة؟

الحل:

نجد أقصى قوة للسباحة وذلك من العلاقة ( $P = Fv$ )

$$F = \frac{P}{v} = \frac{200}{0.8} = 250 \text{ N} \quad \text{أي أن:}$$

فتكون القوة المسببة للعجلة ( $F$ ) هي الفرق بين قوة السباحة ومقاومة الماء وهي ( $F = ma$ )، ولإيجاد العجلة نستخدم قانون نيوتن الثاني ( $F = ma$ )

$$30 = 50 a$$

$$a = \frac{30}{50} = 0.6 \frac{m}{s^2} \quad \text{أي أن العجلة}$$

## تمارين 5-B

1. تستخدم رافعة لرفع صندوق كتلته (2 tonnes) إلى ارتفاع (75 m) في (45 s). أوجد متوسط القدرة للرافعة؟
2. يتسلق رجل كتلته (90 kg) جبلاً ارتفاعه (1200 m) في (160 min) أوجد قدرة الرجل؟
3. إذا كانت القدرة التي يبذلها محرك دراجة نارية تتحرك بسرعة منتظمة مقدارها  $(20 \frac{m}{s})$  هو (12 kW). أوجد قوة المقاومة؟
4. أوجد قدرة محرك سيارة تتحرك بسرعة منتظمة مقدارها  $(40 \frac{m}{s})$  بفرض أن مقدار القوة المقاومة (400 N).
5. يتحرك دراج بسرعة منتظمة مقدارها  $(11 \frac{m}{s})$ . فإذا كانت المقاومة (80 N). أوجد القدرة التي يبذلها الدراج؟
6. يتحرك سائق دراجة نارية بقدرة (8 kW). فإذا كانت كتلة السائق والدراجة (160 kg). أوجد عجلة الدراجة عندما تصل سرعتها إلى  $(20 \frac{m}{s})$  (أهمل القوى المقاومة للحركة)؟
7. تدفع رافعة قدرتها (1 kW) صندوقاً وزنه (980 N) على مستوى مائل بسرعة منتظمة مقدارها  $(2 \frac{m}{s})$ . أوجد زاوية ميل المستوى؟
8. إذا كانت القوة المقاومة لحركة سيارة كتلتها (800 kg) هي (300 N). أوجد قدرة السيارة عندما تكون سرعتها  $(10 \frac{m}{s})$  وعجلتها  $(0.6 \frac{m}{s^2})$ ؟



9. تتحرك سيارة كتلتها  $(950 \text{ kg})$  بقدرة  $(25 \text{ kW})$ ، أوجد الزمن الذي تزداد فيه سرعة السيارة من  $(14 \frac{\text{m}}{\text{s}})$  إلى  $(18 \frac{\text{m}}{\text{s}})$  بفرض إهمال القوة المقاومة للحركة؟

10. قدرة محرك سيارة  $(18 \text{ kW})$ ، أوجد عجلة السيارة عندما تكون سرعتها  $(25 \frac{\text{m}}{\text{s}})$ ، علماً بأن كتلة السيارة  $(1200 \text{ kg})$  وأن قوة المقاومة  $(200 \text{ N})$ .

## 6

## Potential energy

## الفصل السادس:

## طاقة الوضع

- يُميز هذا الفصل بين نوعين من القوى: القوى المحافظة والقوى غير المحافظة ويوضح كيف أن القوة المحافظة هي مصدر تخزين الطاقة. وعندما تنتهي من دراسة الفصل يجب أن:
- تعرف كيف تحسب الشغل المبذول بواسطة قوة ثابتة مؤثرة على جسم يتحرك في مسار منحني.
  - تعرف الفرق بين القوى المحافظة والقوى غير المحافظة.
  - تعرف أن الشغل المبذول ضد قوة محافظة ينتج عنه طاقة وضع.
  - تفهم تطبيق قانون بقاء الطاقة.
  - تعرف أن الطاقة الكلية (طاقة الوضع وطاقة الحركة) يمكن أن تتغير بواسطة الشغل المبذول الناتج عن قوى غير محافظة.

## ( Another expression for work )

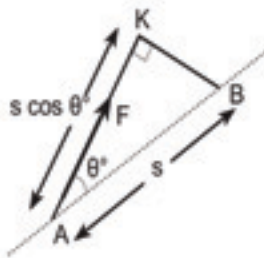
## 1.6 تعبير آخر عن الشغل

سبق وأن ذكرنا أن الشغل المبذول بواسطة قوة يمكن تعريفه بـ  $(F \cos \theta) \times s$ ، أي القوة في اتجاه المسافة مضروبة في المسافة التي يتحركها الجسم.

ويمكن التعبير بطريقة أخرى عن الشغل المبذول بـ  $(F \times s \cos \theta)$ ، وهذا مبين في الشكل (1-6). فإذا تحرك الجسم من النقطة (A) إلى النقطة (B) تحت تأثير القوة (F) فإن  $(s \cos \theta)$  تكون المسافة (AK) وهي الإزاحة في اتجاه القوة.

فإذا تحرك جسم مسافة تحت تأثير قوة مقدارها (F)، فإن الشغل المبذول يكون حاصل ضرب القوة في المسافة التي يتحركها الجسم في اتجاه القوة، وهذا ما يُعرف بالضرب العددي لكميتين متجهتين، ويُكتب كالآتي:

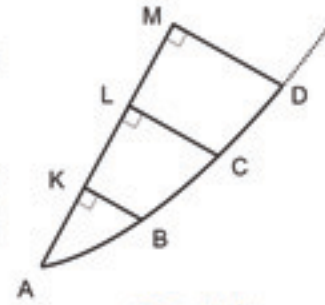
$$(F, S) \text{، حيث تعبر } (\vec{S}) \text{ عن الإزاحة } (\vec{A} \vec{B}).$$



الشكل (1.6)

وهذا لا ينطبق فقط على الحركة في خط مستقيم، ولكن أيضاً عندما يتحرك الجسم في مسار منحن كما في شكل (2-6). ولنوضح ذلك، نقسم المسار المنحني إلى أجزاء صغيرة مثل (AB)، و(BC)، و(CD) ... الخ، والتي يمكن اعتبارها خطوطاً مستقيمة، فتكون الإزاحات الصغيرة في اتجاه القوة هي (AK)، و(KL)، و(LM) ... الخ، ويكون الشغل المبذول:

$$F \times AK + F \times KL + F \times LM + \dots = F (AK + KL + LM + \dots)$$



الشكل (2.6)

إذا تحرك جسم في مسار منحن تحت تأثير قوة ثابتة مقدارها (F) فإن الشغل المبذول بواسطة القوة يكون حاصل ضرب القوة في المسافة التي يتحركها الجسم في اتجاه القوة.

وتعرف طاقة الوضع : هي الطاقة التي يمتلكها الجسم نتيجة لوضعه ( إرتفاعه عن سطح الأرض )

$$E_p = W = mgh$$

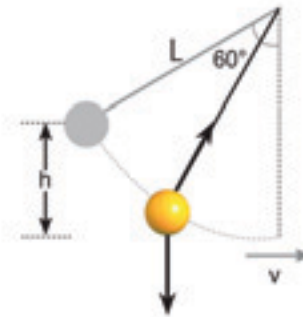
وتقاس في النظام الدولي بالجول J

مثال 1.6:

كرة صغيرة كتلتها (m) معلقة بواسطة خيط كما في شكل (3-6). جُذبت الكرة جانباً حتى صنع الخيط مع العمودي زاوية مقدارها (60°)، ثم أطلقت، أوجد سرعة الكرة عندما يكون الخيط عمودياً؟

الحل:

تؤثر على الكرة قوتان، هما قوة الشد في الخيط، ووزن الكرة، وحيث أن الكرة ستتحرك في جزء من الدائرة فإن حركتها تكون دائماً عمودية على الخيط، وعليه يكون الشغل المبذول بواسطة الشد يساوي صفراً، أما الوزن فإنه يؤثر عمودياً إلى أسفل، ويكون الشغل المبذول هو حاصل ضرب القوة في المسافة التي تحركتها الكرة إلى أسفل. وهذه المسافة هي (h) الموضحة في الشكل (3-6).



الشكل (3.6)

يمكن إيجاد سرعة الكرة (v) عند أسفل نقطة باستخدام قاعدة الشغل -

$$E_k = W \quad E_k = E_p \quad \text{الطاقة، وهي}$$

$$\therefore (mg) h = \frac{1}{2} mv^2$$

$$v^2 = 2gh, \quad v = \sqrt{2gh} \quad \rightarrow (1)$$

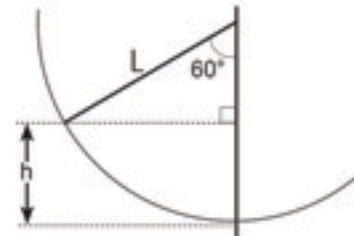
ونجد (h) باستخدام حساب المثلثات، فمن الشكل (4-6) نرى أن:

$$h = L - L \cos 60^\circ = L \left(1 - \frac{1}{2}\right) = \frac{1}{2}L$$

وبالتعويض في المعادلة (1) عن (h) نجد أن:

$$v = \sqrt{2g \left(\frac{1}{2}L\right)} = \sqrt{gL}$$

أي أنه عندما يكون الخيط عمودياً، تكون سرعة الكرة (√gL).



الشكل (4.6)

## 2.6 ثلاث مسائل وجواب واحد (Three problems with one answer)

مثال 2.6 :

1. قُذِفَ حجر إلى أعلى بسرعة ابتدائية ( $u$ ). أوجد سرعته عندما يكون على ارتفاع ( $h$ ).
2. صُدمت قطعة حجر وبدأت حركتها إلى أعلى سطح أملس مائل بزاوية مقدارها ( $\alpha$ ) مع الأفقي، فإذا كانت سرعتها الابتدائية ( $u$ )، أوجد سرعتها عندما تكون على ارتفاع ( $h$ ) من نقطة حركتها.

الحل:

1. هذا تطبيق مباشر للمعادلة ( $v^2 = u^2 + 2as$ )، حيث ( $a = -g$ )، و ( $s = h$ )، فتكون ( $v^2 = u^2 - 2gh$ )

2. يوضح الشكل (5-6) قوتين تؤثران على القطعة، هما وزن القطعة ( $mg$ ) وقوة الإتصال العمودية ( $R$ )، ومن قانون نيوتن الثاني:

$$-mg \sin \alpha = ma$$

أي أن القطعة تتحرك بعجلة ثابتة مقدارها ( $-g \sin \alpha$ ) على السطح المائل، ولكي تصل إلى ارتفاع ( $h$ )، فإن المسافة التي يجب أن تتحركها إلى أعلى المستوى هي ( $\frac{h}{\sin \alpha}$ )، وباستخدام معادلة الحركة ( $v^2 = u^2 + 2as$ ) نجد أن:

$$v^2 = u^2 + 2(-g \sin \alpha) \frac{h}{\sin \alpha} = u^2 - 2gh$$

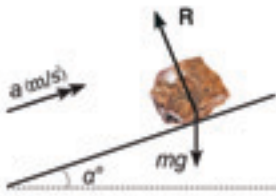
وتشرح قاعدة الشغل - الطاقة لماذا للمسألتين جواب واحد؟ كالتالي:  
إذا ضربنا كل حد في المعادلة ( $v^2 = u^2 - 2gh$ ) بالمقدار ( $\frac{1}{2}m$ ) فأننا

نحصل على:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mu^2 - mgh$$

الحدان ( $\frac{1}{2}mu^2$ )، و ( $\frac{1}{2}mv^2$ ) هما طاقة حركة الجسم الابتدائية، وطاقة حركة الجسم عندما يصل إلى ارتفاع ( $h$ )، وعلينا الآن أن نفسر لماذا كان الفرق في طاقة الحركة ( $-mgh$ ) في كل حالة؟

ويرجع السبب في ذلك إلى أن الحجر قد تحرك إلى ارتفاع ( $h$ ) في عكس اتجاه القوة ( $mg$ )، فيكون الشغل المبذول ضد الجاذبية الأرضية هو ( $mgh$ ).



الشكل (5.6)



أما بالنسبة للقطعة المتحركة على المستوى المائل، فإنها تحت تأثير قوتين هما قوة الإتصال العمودية، والتي لا تبذل شغلاً، لأنه لا توجد حركة في الاتجاه العمودي على المستوى، والقوة  $(mg)$ ، والتي تبذل شغلاً مقداره  $(mgh)$ .

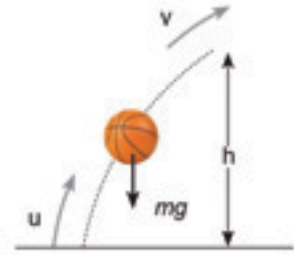
3. قُذفت كرة بسرعة ابتدائية  $(u)$  بزاوية مع الأفقي، بإهمال مقاومة الهواء، أوجد سرعة الكرة عندما تكون على ارتفاع  $(h)$  عن سطح الأرض؟

الحل:

في هذه المسألة تتحرك الكرة في مسار منحني، فتكون السرعة الابتدائية والسرعة النهائية في اتجاهين مختلفين (انظر الشكل 6-6)، والقوة الوحيدة التي تؤثر على الكرة هي وزنها  $(mg)$  واتجاهها دائماً عمودياً إلى أسفل. وباستخدام قاعدة الشغل - الطاقة نجد أن:

$$- mgh = \frac{1}{2} mv^2 - \frac{1}{2} mu^2$$

والتي يمكن كتابتها كالتالي  $(v^2 = u^2 - 2gh)$ ، وبمعلمية  $(u)$ ، و  $(h)$  نستطيع إيجاد  $(v)$ .



الشكل (6.6)

### 3.6 القوى المحافضة والقوى غير المحافضة

(Conservative and non – conservative forces)

مثال 3.6:

هذه مسألة أخرى لها نفس إجابة المسائل السابقة:

4. بدأ جسم حركته على سطح خشن بسرعة ابتدائية  $(u)$ ، فإذا كانت قوة الاحتكاك  $(f)$ ، أوجد سرعة الجسم عندما يكون قد تحرك مسافة أفقية  $(h)$ .

الحل:

باستخدام قانون نيوتن الثاني  $(-f = ma)$  نجد أن مقدار العجلة هو  $(-\frac{f}{m})$ ، وباستخدام معادلة الحركة  $(v^2 = u^2 + 2as)$ ، وبالتعويض عن العجلة بـ  $(-\frac{f}{m})$ ، و  $(s = h)$  نجد أن:

$$v^2 = u^2 - 2 \frac{f}{m} h$$

فإذا فرضنا أن  $(f = mg)$ ، فإن المعادلة الأخيرة تُصبح  $(v^2 = u^2 - 2gh)$

### 3.6 القوى المحفوظة والقوى غير المحفوظة

وهذا يمكن أن نعبر عنه بقاعدة الشغل - الطاقة، إذا ضربنا المعادلة بالمقدار  $(\frac{1}{2} m)$  لتصبح:

$$\frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} mu^2 - mgh$$

ولكن  $(mgh)$  في هذه الحالة هو الشغل المبذول ضد قوة الاحتكاك  $(mg)$ .

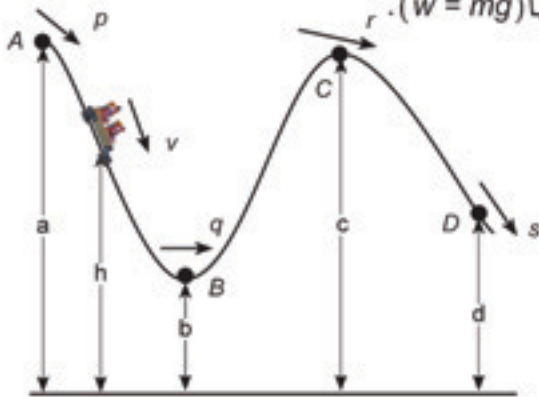
يوجد فرق هام بين هذه المسألة، والمسائل التي في الفقرة السابقة، فالجسم الذي قُذف إلى أعلى، أو الذي تحرك على السطح المائل الأملس قد فقد مؤقتاً طاقة الحركة، ولكن سيسترد هذه الطاقة إذا عاد إلى النقطة التي بدأ منها حركته، ولهذا السبب يُقال عن قوة الجاذبية الأرضية بأنها قوة محفوظة.

ولكن الأمر مختلف بالنسبة لقوة الاحتكاك، فإذا سمحنا للقطعة التي تتحرك على السطح الخشن بالاستمرار في الحركة، فإنها ستفقد سرعتها تدريجياً حتى تقف، وتفقد بالتالي كل طاقتها الحركية، ولا يمكن استعادتها مرة أخرى، ولهذا يُقال عن قوة الاحتكاك بأنها قوة غير محفوظة.

### (The conservation of energy)

### 4.6 بقاء الطاقة

يوضح الشكل (7-6) جزءاً من سكة حديدية في مدينة ملامي، نفترض أولاً أنه لا توجد مقاومة هواء ولا توجد قوة احتكاك. تكون سرعة العربة في النقاط (A) و (B)، و (C) و (D) هي (p) و (q) و (r) و (s) على التوالي، وارتفاع العربة فوق سطح الأرض (a) و (b) و (c) و (d) على التوالي، وكتلة العربة (m) ووزنها  $(w = mg)$ .



الشكل (7.6)

تؤثر قوتان على العربة، هما وزنها وقوة الإتصال العمودية، قوة الإتصال العمودية لا تبذل شغلاً، حيث أنها دائماً تؤثر عمودياً على اتجاه حركة العربة.

نلاحظ أن سرعة العربة تزداد عندما تنحدر من النقطة (A) إلى النقطة (B)، وأن العربة تفقد ارتفاعاً مقداره  $(a - b)$ ، فيكون الشغل المبذول بواسطة الوزن هو  $(w_{a..b})$ ، وباستخدام قاعدة الشغل - الطاقة نجد أن:

$$w_{a..b} = \frac{1}{2} mq^2 - \frac{1}{2} mp^2$$

والمعادلة الأخيرة يمكن كتابتها كالتالي:

$$mgh_a + \frac{1}{2} mp^2 = mgh_b + \frac{1}{2} mq^2$$

ونلاحظ أيضاً أن سرعة العربة تنقص عندما ترتفع من النقطة (B) إلى النقطة (C) ويكون الشغل المبذول بواسطة قوة الوزن هو  $(w_{c-b})$ ، وباستخدام قاعدة الشغل - الطاقة نجد أن:

$$\frac{1}{2} mq^2 - \frac{1}{2} mr^2 = w_{c-b}$$

وهذه المعادلة يمكن كتابتها كالتالي:

$$mgh_b + \frac{1}{2} mq^2 = mgh_c + \frac{1}{2} mr^2$$

بين النقطتين (C) و(D)، تنحدر العربة مرة أخرى، ويكون:

$$mgh_c + \frac{1}{2} mr^2 = mgh_d + \frac{1}{2} ms^2$$

تمثل المعادلات السابقة حركة العربة ارتفاعاً وانخفاضاً، وتكون العلاقة بين الارتفاع

$$E_k + E_p = E = W \quad (h) \text{ وسرعة العربة } (v) \text{ عند أي نقطة هي:}$$

$$mgh + \frac{1}{2} mv^2 = \text{constant}$$

أي أن مجموع طاقتي الوضع  $(mgh)$ ، وطاقة الحركة  $(\frac{1}{2} mv^2)$  عند أي نقطة يساوي مقداراً ثابتاً.

#### قانون بقاء الطاقة:

يكون مجموع طاقتي الحركة والوضع لجسم متحرك مقداراً ثابتاً، ما لم تؤثر عليه قوى خارجية.

فكرة تخزين الطاقة كطاقة وضع لها عدة تطبيقات، مثلاً يمكن تخزين المياه في خزانات فوق سطح الأرض، وعند الحاجة يمكن تفريفها فتتحول الطاقة إلى طاقة حركة والتي يمكن أن تدير محركات لتنتج طاقة كهربائية.

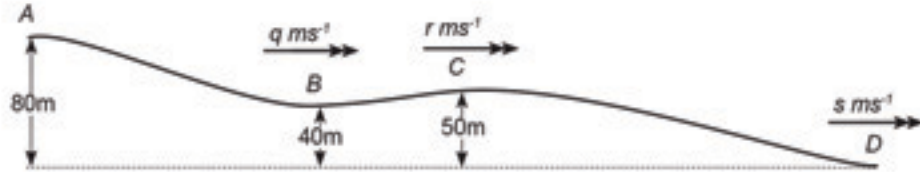
#### مثال 4.6:

يمثل الشكل (8-6) جانباً من هضبة. النقاط (A)، و(B)، و(C) على الارتفاعات  $(80 \text{ m})$ ، و $(40 \text{ m})$ ، و $(50 \text{ m})$  على التوالي بالنسبة للنقطة (D). تبدأ عربة من دون محرك كتلتها  $(250 \text{ kg})$  انحدارها من السكون من النقطة (A)، أهمل كل المقاومات، وأوجد سرعتها عند النقاط (B)، و(C)، و(D).

الحل :

أفرض أن سرعتها عند النقاط (B)، و(C)، و(D) هي (q)، و(r)، و(s) على التوالي . حيث أن وزن العربة (2500 N) ، فتكون طاقة الوضع عند أي ارتفاع (h) هو (2500 h) ، وتكون طاقة الحركة للعربة عندما تكون سرعتها (v) هي:

$$\frac{1}{2} 250 v^2 = 125 v^2$$



الشكل (8.6)

ومن قانون بقاء الطاقة نحصل على:

$$E_A = E_B = E_C = E_D$$

$$2500 \times 80 = 2500 \times 40 + 125 q^2 = 2500 \times 50 + 125 r^2 = 125 s^2$$

لاحظ أنه في البداية لا توجد طاقة حركة وفي النهاية لا توجد طاقة وضع ، وفي

النقطتين (B) و(C) يوجد كلاهما .

من المعادلات السابقة نجد أن:

$$q^2 = 800 \frac{m^2}{s^2}, \quad r^2 = 600 \frac{m^2}{s^2}, \quad s^2 = 1600 \frac{m^2}{s^2}$$

أي أن:

$$q = 28.2 \frac{m}{s}, \quad r = 24.4 \frac{m}{s}, \quad s = 40 \frac{m}{s}$$

♦ يفرض أن عجلة الجاذبية تساوي ( $10 \frac{m}{s^2}$ )



## تمارين A-6

• افرض أن عجلة الجاذبية الأرضية  $(10 \frac{m}{s^2})$ .

1. يسقط جسم كتلته  $(2 \text{ kg})$  سقوطاً حراً من ارتفاع قدره  $30 \text{ m}$  أوجد طاقته الكلية بعد أن يسقط مسافة قدرها  $(20 \text{ m})$  ؟
2. قُذف حجر كتلته  $(0.8 \text{ kg})$  إلى أعلى بسرعة  $(10 \frac{m}{s})$ . احسب طاقة حركته الابتدائية، وأقصى ارتفاع يصل إليه؟
3. ينزلق طفل كتلته  $(25 \text{ kg})$  على منحدر مائل بزاوية  $(30^\circ)$  مع الأفقي من السكون . أوجد سرعة الطفل عند أسفل المنحدر بفرض أن طول المنحدر  $(15 \text{ m})$  ؟
4. تتسلق فتاة كتلتها  $(65 \text{ kg})$  جبلاً إلى ارتفاع  $(3.2 \text{ km})$ . احسب طاقة وضعها؟
5. ينحدر متزلج على مستوى مائل طوله  $(40 \text{ m})$ . ويصل أسفل المستوى بسرعة  $(15 \frac{m}{s})$ . احسب الزاوية التي يميل بها المستوى على الأفقي؟
6. ينحدر طفل على مستوى مائل ويصل أسفله بسرعة  $(7 \frac{m}{s})$ . فإذا فقد الطفل  $(25\%)$  من طاقة وضعه بسبب الاحتكاك، احسب المسافة العمودية التي تحركها؟
7. رُفع صندوق كتلته  $(160 \text{ kg})$  عمودياً إلى أعلى بواسطة آلة قدرتها  $(2 \text{ kW})$ . احسب المسافة التي سيتحركها الصندوق في  $(7 \text{ s})$  بفرض أن سرعته منتظمة؟
8. يجري طفل كتلته  $(30 \text{ kg})$  أعلى هضبة في زمن قدره  $(6 \text{ s})$ . فإذا كان ارتفاع الهضبة  $(3 \text{ m})$ . وسرعة الطفل عند هذا الارتفاع  $(2 \frac{m}{s})$ . أوجد القدرة التي بذلها الطفل؟

## 5.6 تطبيقات على الأنظمة المرتبطة مع بعضها البعض

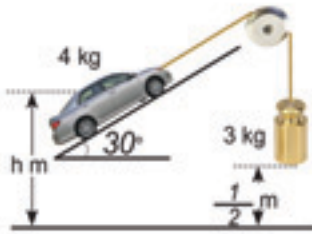
9. قذف جسم على سطح أملس مائل بزاوية مقدارها  $(30^\circ)$  إلى أعلى المستوى بسرعة  $(4 \frac{m}{s})$ ، فوصل إلى أعلى نقطة في المستوى بسرعة  $(1.2 \frac{m}{s})$ ، أوجد طول المستوى؟

## 5.6 تطبيقات على الأنظمة المرتبطة مع بعضها البعض (Application to systems of connected objects)

يتكون النظام من جسم أو أكثر، وهنا نستخدم قانون بقاء الطاقة لحل المسائل التي يتحرك فيها جسمان مرتبطان مع بعضهما البعض بواسطة خيط.

مثال 5.6 :

لعبة طفل على شكل سيارة كتلتها  $(4 \text{ kg})$  على مستوى مائل بزاوية مقدارها  $(30^\circ)$  مربوطة بخيط يمر على بكرة إلى قطعة كتلتها  $(3 \text{ kg})$ . بدأ النظام حركته من السكون عندما كانت الكتلة على ارتفاع  $(0.5 \text{ m})$  من سطح الأرض (انظر الشكل 9-6). أوجد سرعة اللعبة عندما تصطدم القطعة بالأرض؟



الشكل (9.6)

الحل :

افرض أن ارتفاع اللعبة  $(h)$  من سطح الأرض، افرض أن سرعتها  $(v)$  عندما تصطدم القطعة بالأرض، وإذا كان الخيط غير مرن فإن سرعة القطعة تكون أيضاً  $(v)$  عندما تصطدم بالأرض.

في البداية، ليس للعبة ولا للقطعة طاقة حركة، ولكن لها طاقة وضع مقدارها  $E_{P1}$  و  $E_{P2}$  على التوالي، عندما تصطدم القطعة بالأرض تكون قد تحركت عمودياً إلى أسفل مسافة  $(0.5 \text{ m})$  واللعبة قد تحركت أعلى المستوى مسافة  $(0.5 \text{ m})$  أيضاً، أي أن ارتفاعها على الأرض يكون  $(\frac{1}{2} \sin 30^\circ)$ ، أي  $(\frac{1}{4} \text{ m})$ ، وباستخدام قانون بقاء الطاقة نجد أن:

$$E_{P1} + E_{P2} = E_{P1} + E_{K1} + E_{K2}$$

$$4gh + \frac{3}{2}g = 4g\left(h + \frac{1}{4}\right) + \frac{1}{2} \times 4 \times v^2 + \frac{1}{2} \times 3 \times v^2$$

والتي يمكن كتابتها كالتالي:

$$\left(\frac{3}{2} - 1\right)g = \frac{7}{2}v^2, \quad v^2 = \frac{1}{7}g = \frac{10}{7}, \quad v = 1.195 \frac{m}{s}$$

## 6.6 تضمين القوى غير المحافظة في المعادلة

(Including non-conservative forces in the equation)

في المثال (4.6)، وجدنا سرعة العربة عند النقاط (B)، و(C)، و(D)، ولأتنا أهملنا المقاومة فإن مقدار هذه السرعات ليست واقعية، في المثال التالي سنأخذ المقاومة في الاعتبار.

مثال 6.6:

افرض في المثال (4.6) أن المسافات هي (AB)، و(BC)، و(CD) مقاديرها (200m، 100m، و300m) على التوالي، وكان متوسط المقاومة في كل مسافة على التوالي هي (95 N)، و(140 N)، و(210 N)، وافرض أن للعربة محرك قوته (700 N) وشغل في المسافة من (B) إلى (C). أوجد سرعة العربة عند (B)، و(C)، و(D).

الحل:

الشغل المبذول بين (A)، و(B) ضد قوة المقاومة هو (95 × 200 J)، ويُسبب هذا الشغل في نقصان الطاقة الكلية (الطاقة الحركية وطاقة الوضع) عند النقطة (B)، وعليه فإن المعادلة الأولى في المثال (4.6) تُصبح:

$$2500 \times 80 - 95 \times 200 = 2500 \times 40 + 125 q^2$$

$$125 q^2 = 81000 \quad \text{أو:}$$

$$q = 25.46 \frac{m}{s} \quad \text{أو:}$$

بين النقطتين (B) و(C) توجد قوتان إضافيتان في المعادلة، هما قوة المحرك، والتي تبذل شغلاً مقداره (700 × 100 J)، وقوة المقاومة التي تبذل شغلاً مقداره (140 × 100 J)، فتصبح المعادلة:

$$2500 \times 40 + 125 q^2 + 700 \times 100 - 140 \times 100 = 2500 \times 50 + 125 r^2$$

$$\text{وبالتعويض عن } (q) \text{ نجد أن: } r = 29.93 \frac{m}{s}$$

ومن النقطة (C) إلى النقطة (D) يكون الشغل المبذول ضد قوة المقاومة (210 × 300 J)، فتصبح المعادلة الأخيرة:

$$2500 \times 50 + 125 r^2 - 210 \times 300 = 125 s^2$$

$$\text{وبالتعويض عن } (r) \text{ نجد أن } (s = 37.3 \frac{m}{s})$$



نلاحظ في هذا المثال أن قانون بقاء الطاقة قد عدل ليأخذ في الحسبان قوة المحرك والمقاومة، وهما قوتان غير محافظتين، ونلاحظ أيضاً أن الشغل المبذول بواسطة المحرك موجب، والشغل المبذول بواسطة المقاومة سالب.

## تمارين 6 - B

1. جسمان كتلتاهما  $(0.3 \text{ kg})$ ، و  $(0.5 \text{ kg})$  مربوطان بسلك غير مرن يمر على بكرة. بدأ الجسمان حركتهما من السكون عمودياً عندما كانا على نفس المستوى. أوجد سرعة الجسمين بعد أن يتحركا مسافة  $(1.3 \text{ m})$ ؟

2. جسمان كتلتاهما  $(1.2 \text{ kg})$ ، و  $(1.4 \text{ kg})$  مربوطان بسلك غير مرن يمر على بكرة. بدأ حركتهما من السكون عندما كانا على نفس المستوى، أوجد المسافة بينهما عندما تكون سرعتهما  $(0.5 \frac{m}{s})$ ؟

3. قطعة كتلتها  $(1.2 \text{ kg})$ ، موضوعة فوق طاولة، وتبعد  $(2 \text{ m})$  من حافتها. رُبطت بخيط مار فوق بكرة على حافة الطاولة إلى قطعة أخرى كتلتها  $(0.7 \text{ kg})$  متدلية. بدأ النظام حركته من السكون، أوجد:  
 (أ). المسافة التي تحركتها القطعتان عندما كانت سرعتهما  $(3 \frac{m}{s})$ .  
 (ب). سرعة القطعتين قبيل أن تصل القطعة التي على الطاولة إلى حافتها.

4. وضع جسم كتلته  $(1.6 \text{ kg})$  على سطح مائل بزاوية مقدارها  $(10^\circ)$ ، وربط بسلك غير مرن يمر على بكرة في نهاية السطح المائل إلى جسم كتلته  $(0.8 \text{ kg})$ . بدأ الجسمان حركتهما من السكون، أوجد:  
 (أ). سرعتهما بعد أن يتحركا مسافة  $(0.5 \text{ m})$ .  
 (ب). المسافة التي تحركها عندما كانت سرعتهما  $(3 \frac{m}{s})$ .



5. جسمان كتلتاهما  $(0.1 \text{ kg})$  و  $(0.2 \text{ kg})$ ، مربوطان بخيط غير مرن يمر على بكرة. بدأ الجسمان حركتهما عمودياً من السكون، أوجد سرعتهما بعد أن يقطعا مسافة  $(0.6 \text{ m})$ . ثم استنتج مقدار الشغل المبذول على الجسم  $(0.1 \text{ kg})$  بواسطة الخيط، ومنه استنتج الشد في الخيط؟

6. المسافة بين النقطتين  $(A)$  و  $(B)$  هي  $(1 \text{ km})$ ، والنقطة  $(B)$  أعلى من  $(A)$  بمقدار  $(60 \text{ m})$ . تمر سيارة كتلتها  $(1200 \text{ kg})$  بالنقطة  $(A)$  بسرعة  $(25 \frac{\text{m}}{\text{s}})$ . بين النقطتين  $(A)$  و  $(B)$  تكون قوة محرك السيارة  $(1600 \text{ N})$ ، والمقاومة للحركة  $(1150 \text{ N})$ . أوجد سرعة السيارة عندما تمر بالنقطة  $(B)$ .

## 7 Exercises answers

## إجابات التمارين الواردة في الكتاب

## أولاً: إجابات الفصل الأول: تحليل القوى

## تمارين A-1

- السؤال (1) (أ)  $-1.39 N, -7.88 N, 6.93 N, 4 N$  . (ب)  $5.20 N, -3 N, -2 N, 3.46 N$  .  
 (ج)  $-5.64 N, 2.05 N, 0 N, -4 N$  . (د)  $4.33 N, -2.5 N, 4.33 N, 2.5 N$  .
- السؤال (2)  $8.66 N, 60^\circ$  السؤال (3)  $2.89 \frac{m}{s^2}$  السؤال (4)  $35.1 N$   
 السؤال (5)  $166 N$  السؤال (6)  $8350 N, 350$  السؤال (7)  $10m N, 5 \frac{m}{s^2}$   
 السؤال (8)  $85.7 N, 8.05 kg$  السؤال (9)  $6 kg$  السؤال (10)  $1.23 \frac{m}{s^2}$   
 السؤال (11)  $127 N, 986 N$  السؤال (12)  $(50 - \frac{1}{2} T) N$  السؤال (13)  $31.6 N, 25.4$   
 السؤال (14)  $1.5 \frac{m}{s^2}, 415 N$  السؤال (15)  $1.41 \frac{m}{s^2}$  السؤال (16)  $511 kg, 11.7^\circ$   
 السؤال (17)  $822 N, 21.9^\circ$  السؤال (18)  $339 N, 170 N$

## تمارين B-1

- السؤال (1) (أ)  $F \cos(90-\theta) = F \sin \theta, F \cos \theta$  . (ب)  $F \cos \theta, F \cos(90+\theta) = -F \sin \theta$  .  
 (ج)  $F \cos(\theta-90) = F \sin \theta, F \cos \theta$  . (د)  $F \cos(90+\theta) = -F \sin \theta, F \cos \theta$  .
- السؤال (2)  $5.48 \frac{m}{s}, 5 \frac{m}{s^2}$  السؤال (3)  $2270 N$  السؤال (4)  $1.05 \frac{m}{s^2}$   
 السؤال (5)  $8.66 N$  السؤال (6)  $63.9 N, 21.8 N$  السؤال (7)  $691 N, 35.2 N$

- السؤال (8) أ.  $5.74 N$  . ب.  $7.0 N$  . ج.  $6.33 N$  .  
 حالة (ب) مركبة القوة المطبقة تضاف إلى  $10 \cos 35^\circ$  بينما في الحالة (ج) تطرح.  
 السؤال (9)  $26.6^\circ, 559 N$  .  
 السؤال (10)  $113 N, 41.0 N$  .  
 السؤال (11)  $74.9 N, 83.5$  .  
 السؤال (12) أ. لمنع اللوح من الانزلاق إلى أسفل المنحدر . ب.  $176 N$  . ج.  $11.0 N$  .  
 السؤال (13)  $52.3$  . السؤال (14)  $4620 N, 470 N$  .

## ثانياً: إجابات الفصل الثاني: الاحتكاك

### تمارين A-2

- السؤال (1) أ.  $(P - Q) N$  في اتجاه القوة التي مقدارها  $Q N$  .  
 ب.  $(Q - P) N$  في اتجاه القوة التي مقدارها  $P N$  .  
 السؤال (2)  $80 \leq P \leq 120$  . السؤال (3)  $6.93 N$  . السؤال (4)  $63 N, 0.4$  .  
 السؤال (5)  $0.25$  .  
 السؤال (6) أ.  $5900 N$  . ب.  $6000 N$  . ج.  $6000 N$  .  
 في الحالتين أ. بقى القارب في حالة السكون. ب. على وشك الحركة جـ. يتحرك بعجله  
 السؤال (7) أ.  $(P - 50 \sin \alpha^\circ) N$  تؤثر إلى أسفل المستوى.  
 ب.  $(50 \sin \alpha^\circ - P) N$  تؤثر إلى أعلى المستوى.  
 السؤال (8)  $8.2 \leq P \leq 37.7$  . السؤال (9)  $28.1 cm$  .

### تمارين B-2

- السؤال (1) في اتجاه حركة القطار  $\mu = 0.4$  . السؤال (2)  $0.49$  .  
 السؤال (3)  $725 kg$  . السؤال (4)  $9 m$  . السؤال (5)  $3.96 N$  إلى أسفل المستوى.  
 السؤال (6)  $0.2$  . السؤال (7)  $0.806$  .  
 السؤال (8) أ.  $2.44 \frac{m}{s}, 1184 N$  . ب.  $2.44 \frac{m}{s}, 16914 N$  .  
 السؤال (9)  $1.49 s, 4.1 m$  . السؤال (10)  $0.733$  .

## ثالثاً: إجابات الفصل الثالث: الحركة بفعل الجاذبية

### تمارين A-3

السؤال (3)  $9.8 \text{ m}$

السؤال (2)  $14.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

السؤال (1)  $45 \text{ m}$  ,  $30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

السؤال (5)  $17.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

السؤال (4)  $14.7 \text{ m}$

### تمارين B-3

السؤال (3)  $21.0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

السؤال (1)  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  إلى أعلى  $30 \text{ m}$  السؤال (2)  $1.8 \text{ m}$

السؤال (6)  $0.6 \text{ s}$

السؤال (5)  $24.2 \text{ m}$

السؤال (4)  $2.65 \text{ s}$

السؤال (9)  $3.6 \text{ s}$  ,  $18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  إلى أسفل.

السؤال (7)  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  إلى أسفل  $15 \text{ m}$  السؤال (8)  $16.0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

السؤال (11)  $2.59 \text{ s}$  ,  $13.9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  إلى أسفل

السؤال (10)  $1.1 \text{ s}$

السؤال (13)  $4.05 \text{ m}$  ,  $9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

السؤال (12)  $4$  إلى أسفل.

ب.  $6 \text{ s}$

السؤال (14) أ.  $61.25 \text{ m}$

### تمارين C-3

ج.  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ,  $4 \text{ s}$

السؤال (1) أ.  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  ,  $9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  ب.  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ,  $8 \text{ m}$

السؤال (3)  $7.5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  ,  $50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

السؤال (2)  $7.5 \text{ s}$  ,  $12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ,  $30 \text{ m}$  ,  $8 \text{ s}$  ,  $24 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ,  $48 \text{ m}$

السؤال (4)  $30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ,  $45 \text{ m}$  كل منهما أصغر و  $0.5$  ,  $8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

السؤال (5)  $1.4 \text{ s}$  ,  $14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ,  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ,  $(10-v) \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

ب.  $3.6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

السؤال (6) أ.  $20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  ,  $\frac{1}{160} \text{ m}$  ب.  $8.4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

ب.  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  إلى أسفل.

السؤال (7)  $1.6 \text{ s}$  ,  $3.7 \text{ m}$  أ.  $11.6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  إلى أسفل.

ج. أقل من  $3.7 \text{ m}$  د. أقل من  $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$



## رابعاً: إجابات الفصل الرابع: قانون نيوتن الثالث

### تمارين A-4

السؤال (1) الوزن  $80\text{ N}$  و  $100\text{ N}$  على التوالي وقوة الاتصال العمودية  $80\text{ N}$  إلى أعلى على القفص العلوي،  
 $80\text{ N}$  إلى أسفل و  $180\text{ N}$  إلى أعلى على القفص السفلي.

السؤال (2) (أ)  $200\text{ N}$  إلى أعلى. (ب)  $200\text{ N}$  إلى أسفل. (ج)  $1200\text{ N}$  إلى أعلى.

السؤال (4)  $780\text{ N}$  السؤال (5) (د)  $i - 375\text{ N}$  . (ii)  $750\text{ N}$

السؤال (6)  $42$

السؤال (7)  $400\text{ N}$  ،  $500\text{ N}$  ،  $800\text{ N}$  إلى الأمام والذي يبدو أن السيارة تكون مدفوعة من الخلف.

السؤال (8) (أ)  $W \cos \alpha^\circ$  . (ب)  $W \sin \alpha^\circ$  . (ج)  $W \sin \alpha^\circ$

(د)  $2W \tan \alpha^\circ$

### تمارين B-4

السؤال (1) (أ)  $10\text{ N}$  ،  $10\text{ N}$  . (ب)  $15\text{ N}$  ،  $10\text{ N}$  إلى أعلى الميل. (ج)  $10\text{ N}$  ،  $10\text{ N}$  ،  $20\text{ N}$

(د)  $7.5\text{ N}$  ،  $7.5\text{ N}$  . (هـ)  $2.32\text{ N}$  ،  $17.3\text{ N}$  . (و)  $55.4\text{ N}$  ،  $35.4\text{ N}$

السؤال (2)  $10\text{ kg}$  السؤال (3)  $2 \frac{m}{s^2}$  ،  $24\text{ N}$

السؤال (4) (أ)  $1.67 \frac{m}{s^2}$  . (ب)  $2.5 \frac{m}{s^2}$  . (ج)  $0.769 \frac{m}{s^2}$

(د)  $3 \frac{m}{s^2}$  . (هـ)  $0.464 \frac{m}{s^2}$  . (و)  $6.15 \frac{m}{s^2}$

السؤال (5)  $7.69\text{ N}$  ،  $30.8\text{ N}$  ،  $2.31 \frac{m}{s^2}$

السؤال (6) (أ)  $0.625 \frac{m}{s^2}$  . (ب)  $1.25 \frac{m}{s^2}$  . السؤال (7)  $3:1$

السؤال (8)  $0.2\text{ m} \leq M \leq m$  إذا كانت  $\frac{(M-m)g}{M+m}$  ،  $M > m$

إذا كانت  $\frac{(0.2m - M)g}{M+m}$  ،  $M < 0.2\text{ m}$

### تمارين C-4

السؤال (1) (أ)  $170\text{ N}$  ،  $0.48 \frac{m}{s^2}$  . (ب)  $170\text{ N}$  ،  $0.08 \frac{m}{s^2}$

السؤال (2) 50 N, 250 N

ب.  $0.05 \frac{m}{s^2}$  العجلة تقصيرية ، 37.5 N

أ.  $0.05 \frac{m}{s^2}$  العجلة تسارعية ، 62.5 N

د.  $0.175 \frac{m}{s^2}$  ، 6.25 N الشد

ج.  $0.156 \frac{m}{s^2}$  العجلة تقصيرية ، 10.9 N

و.  $0.25 \frac{m}{s^2}$  ، 12.5 N ضغط

هـ.  $0.2 \frac{m}{s^2}$  ، صفر (0)

السؤال (3)  $\frac{F-(P+Q)}{M+m} + g \sin \alpha^\circ$

### إجابات الفصل الخامس: الشغل والطاقة والقدرة :

#### تمارين A-5

ج.  $5.21 \times 10^6 J$

ب. 300 kJ

السؤال (1) أ. 1620 J

هـ.  $6.4 \times 10^8 J$

د. 1600 J

السؤال (3) 4 N

السؤال (2) 700 J, 0 J, 0 J, 700 J

السؤال (6) 1127.6 J

السؤال (5) 8N, 240 J

السؤال (4) 50 N

السؤال (9) 20 N

السؤال (8) 4800 J

السؤال (7) 5435.2 J

السؤال (10) 105 N

#### تمارين B-5

السؤال (2) 112.5 W

السؤال (1) 33.3 kW

السؤال (5) 880 W

السؤال (4) 16 kW

السؤال (3) 600 N

السؤال (8) 7.8 kW

السؤال (7) 30.7°

السؤال (6)  $2.5 \frac{m}{s^2}$

السؤال (10)  $0.433 \frac{m}{s^2}$

السؤال (9) 2.432 s

## سادساً: إجابات الفصل السادس: طاقة الوضع

### تمارين A-6

السؤال (1) $400 J$	السؤال (2) $5 m, 40J$	السؤال (3) $12.2 \frac{m}{s}$
السؤال (4) $2.08 \times 10^6 J$	السؤال (5) $16.33^\circ$	السؤال (6) $9.8 m$
السؤال (7) $8.75 m$	السؤال (8) $160 W$	
السؤال (9) $1.456 m$		

### تمارين B-6

السؤال (1) $2.55 \frac{m}{s}$	السؤال (2) $0.325 m$	السؤال (3) $3.84 \frac{m}{s}, 1.22 m$
السؤال (4) (أ) $1.47 \frac{m}{s}$	السؤال (5) (ب) $2.07 m$	السؤال (6) $13.23 \frac{m}{s}$
السؤال (5) $1.33 N, 0.8 J, 2 \frac{m}{s}$		