



دَوْلَةُ لِيْبِيَا
وَزَارَةُ التَّعْلِيمِ
مَرْكَزُ الْمَنَاهِجِ التَّعْلِيمِيَّةِ وَالْبَحْثِ التَّربِيَّيِّ

الفيزياء

الجزء الثاني (الميكانيكا)

للسنة الثالثة
بمرحلة التعليم الثانوي
(القسم العلمي)

1441 - 1440 هـ
2020 - 2019 م



جميع الحقوق محفوظة: لا يجوز نشر أي جزء من هذا الكتاب، أو تخزينه، أو تسجيله، أو تصويره بأية وسيلة داخل ليبيا دون موافقة خطية من إدارة المناهج مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية بليبيا .

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فهرس

الفصل الأول: تحليل القوى

| | | |
|----|-------------------------------|-----|
| 7 | التحليل أفقياً ورأسياً | 1.1 |
| 8 | قوى 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 | أبو حاتم البصري | 14 |
| 54 | فوق الانساني العمودية | |
| 55 | فوق لاحتك | |
| 56 | فوي تحادييه | |
| 56 | استخدم شنون ميونز لتالث في "تعادل" | 24 |
| 60 | نهارين 4-4 | |
| 62 | الخروف والجبار والسلال والكلبات | 34 |
| 64 | الأخوة والبركة | 44 |
| 68 | نهارين 8-4 | |
| 69 | "فوي" لـ"الأخلاص والخرافة | 54 |
| 73 | نهارين 0-4 | |

الفصل الخامس: التغلب والطائفه والقدرة

| | | |
|----|-----------------------|----|
| 75 | معادلة التعلم لطاقة | 15 |
| 77 | بعدم التعميمات | 25 |
| 78 | الحركة في خط منحن | 35 |
| 79 | تمارين A-5 | |
| 80 | المفرد | 45 |
| 82 | إندرود وانتوك و"سرعة" | 55 |
| 83 | تمارين B-5 | |

الفصل السادس - حلقة الوضع

| | | |
|----|--|----|
| 85 | غير آخر التفوي | 16 |
| 87 | ثلاث مدارس وحواب واحد | 26 |
| 88 | التفوي المحافظة والتفوي غير المحافظة | 36 |
| 89 | بعد المراجعة | 46 |
| 92 | تعاريف A-6 | |
| 93 | تطبيقات غير لأحكام المرتبطة مع بعضها البعض | 56 |
| 94 | تصنيف التفوي غير المحافظة في تعادلة | 66 |
| 95 | تعاريف B-6 | |

الملاحق. إجابات التمارين الواردة في الكتاب

تحليل القوى

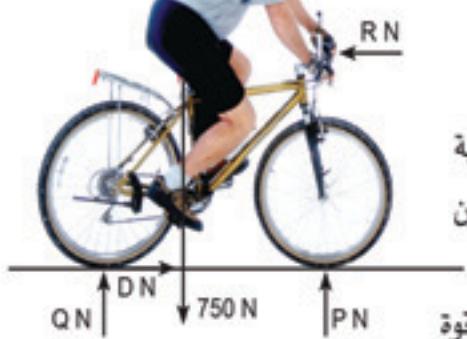
يتناول هذا الفصل تأثير جميع القوى على الجسم، والتي تتضمن القوى التي لا تكون أفقية ولا عمودية، وعند الانتهاء من دراسته يجب أن:

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

1.1 التحليل أفقياً ورأسياً

(Resolving horizontally and vertically)

0.4 ms^{-2}



الشكل (1.1)

افرض أن راكب دراجة بدأ الحركة من سكون وتسارع ب معدل (0.4 m/s^2) وكانت الكتلة الكلية للدراجة وراكبها تساوي (75kg)، وحيث أن راكب الدراجة والدراجة تحركا بمجلة واحدة فيمكن اعتبارهما جسم واحد.

فما هي القوى المؤثرة على هذا الجسم؟

يشكل واضح هناك قوة تقود الدراجة إلى الأمام والتي نتجت بقبضية 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 تقرر إهمالها.
وهناك أيضاً الوزن الكلي للدراجة وراكبها وهي (750 N) والتي تكون عكس قوة الاتصال العمودية المؤثرة على العجلتين الأمامية والخلفية (P) و(Q) على التوالي.

ويوضح الشكل (1.1) جميع هذه القوى والعملة 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 والآخر تنص على أن القوى الرأسية في اتزان، وهاتين المعادلتين هما:

$$D - R = 75 \times 0.4 \longrightarrow 1$$

$$P + Q - 750 = 0 \longrightarrow 2$$

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

$$F(\rightarrow) D - R = 75 \times 0.4$$

$$F(\uparrow) P + Q - 750 = 0$$

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

$$P + Q - 750 = 0$$

$$P + Q = 750 \quad \text{أو}$$

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)

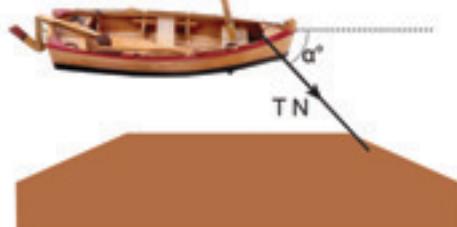
حتى الآن تعاملنا مع القوى الأفقية أو العمودية ولكن في بعض الأحيان تؤثر القوى على الأجسام بزاوية.

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

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

2.1 القوى المائمة

العجل يحرك القارب إلى الأمام فلا يمكن أن يكون في اتجاه عمودي على خط وسط القارب (الخط المتقطع في الشكل 2.1). وعليه يكون اتجاه الشد يصنع زاوية حادة α مع خط وسط القارب.



الشكل (2.1)

والآن كم يكون تأثير الشد في الاتجاه الأمامي؟

الإجابة تعتمد على قيمة كل من الشد (T) والزاوية (α). 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 (α) بين (0) و(90°) يكون التأثير الأمامي ($T\cos\alpha$) حيث تكون قيمة ($T\cos\alpha$) بين (0) و(0) ومقدارها يعتمد على قيمة الزاوية.

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

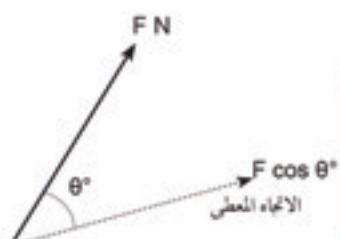
$$T\cos\alpha = T$$

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

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

أما عند $\alpha=90^\circ$ يكون التأثير الأمامي $0 = (\cos 90^\circ) \times (T) = 0$
بين (0°) و(90°) 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 (θ) مع اتجاه معين يمكن تأثيرها في هذا الاتجاه مساوياً لـ ($F \times \cos\theta$) ويسمى هذا الجزء المحلول 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.

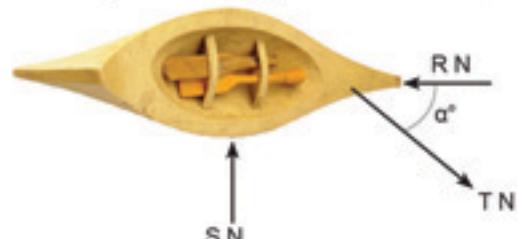
الفصل الأول: تحليل القوى

ويمكن الآن تحليل القوى في الاتجاه الموازي والاتجاه العمودي لخط القارب.
 F (خط القارب II)

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

$$F (خط القارب I) - T \sin \alpha^\circ - S = 0$$

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



الشكل (4.1)

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



الشكل (5.1)

مثال 1.2.1

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

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

حيث إن الصندوق يتحرك بسرعة ثابتة فإن العجلة = 0

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

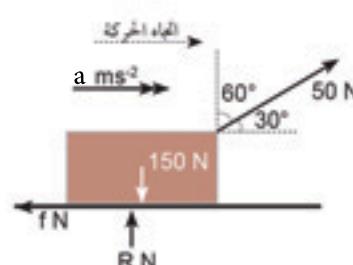
$$F (\uparrow) \quad R + 50 \sin 30^\circ - 150 = 0 \quad \rightarrow \quad (2)$$

من المعادلة رقم (1)

$$f = 50 \cos 30^\circ = 43.3 N$$

ومن المعادلة رقم (2)

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



الشكل (6.1)

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

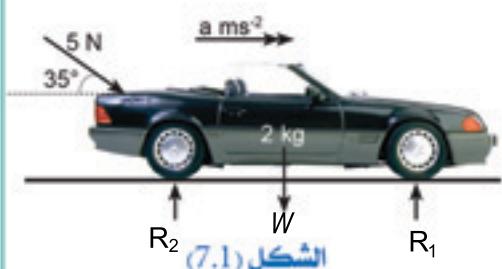
2.1 القوى المائلة

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

2.2.1 مثال

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)



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

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

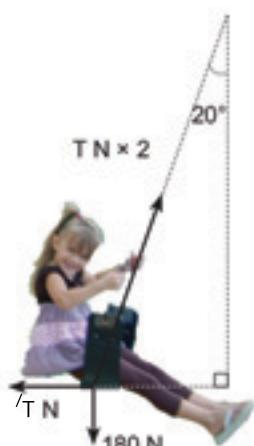
أي أن عجلة العربة (2 m/s^2) تقريباً.

3.2.1 مثال

ربطت طفلة صغيرة في مقعد أرجوحة مدعومة بواسطة حبلين ولكي تبدأ الحركة جذبها والدها إلى الخلف قليلاً بقوة أفقية بحيث صنع العجلان 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).

تكون القوى في حالة اتزان



$$F (\rightarrow) \quad T' = 2T \sin 20^\circ \quad \rightarrow \quad (1)$$

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

من المعادلة رقم (2)

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

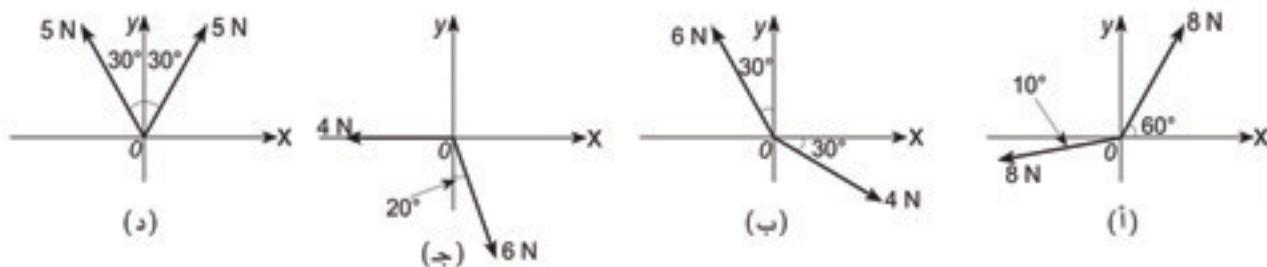
وبالتعويض في المعادلة رقم (1)

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

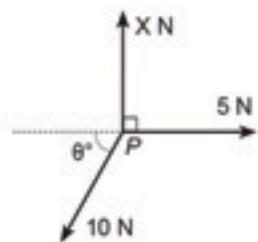
يؤثر على حبل الأرجوحة بقوة شد (96 N) تقريباً، يجذب الوالد الأرجوحة بقوة أفقية مقدارها (66 N) تقريباً.

A - 1 - تمارين

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



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) أحسب قيمة القوة X.



3. تُجذب لعبة كتلتها (1.8 kg) على سطح أفقي بواسطة سلك يصنع زاوية قدرها (30°) 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

2.1 القوى المائلة

قدرها (20°) مع الأفقي، فإذا علمت أن مقدار قوة الاحتكاك (33 N) أوجد قوة الشد في الحبل.

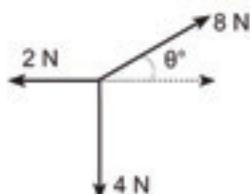
5. تُسحب عربة كتلتها (750 kg) على طريق أفقى بواسطة عربة جر وكان ذراع التوصيل يميل بزاوية قدرها (40°) مع الأفقي بعجلة (0.8 m/s^2) فإذا كان الشد في هذا الذراع يساوى (1000 N). احسب مقدار القوة المقاومة لحركة العربة.

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

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

8. يدفع المتسوق عربة السوق في خط مستقيم نحو سيارته بقوة مقدارها (20 N) في اتجاه إلى أسفل بزاوية قدرها 15° مع الأفقي فإذا كانت عجلة العربة (2.4 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 m) و(0.4 m) والمسافة بينهما (0.5 m) فإذا علمت أن الشد في السلسلة الطويلة (36 N). بين بالتحليل الأفقي أن الشد في السلسلة القصيرة (48 N). وبالتحليل الرأسي أوجد كتلة المصباح.



10. يوضح الشكل المقابل ثلاث قوى أفقية تؤثر على جسم كتلته (4 kg). فإذا علمت أن الجسم تحرك في اتجاه الخط المتقطع. بين أن ($\theta = 30^\circ$). ثم أجد مقدار العجلة التي يتحرك بها الجسم.

11. يُجر مترizج كتلته (90 kg) على الماء عن طريق حبل متصل بقارب سريع ويصنع

زاوية (20°) مع الأفقي في خط مستقيم وموازياً لسطح الماء بعجلة قدرها (1.2 m/s^2) وكان الشد في الحبل (250 N). احسب مقدار القوة الرأسية المؤثرة على المتزلج وقوة مقاومة الهواء.

12. تُجر لعبه طفل كتلتها (5 kg) على سطح الأرض بسلك يصنع زاوية (30°) مع الأفقي وبمقدار شد (TN). أوجد مقدار قوة الاتصال العمودية بين اللعبة وسطح الأرض بدلالة (T) وبين أنها لا يمكن أن تزيد عن (100 N).

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

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

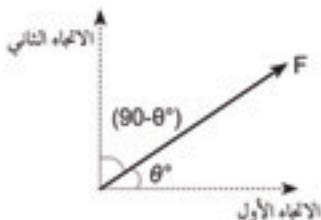
15. قرر طالب أن يقيس عجلة القطار الذي يركبه، حيث علق طرد كتلته (2 kg) في سقف العربة بواسطة سلك، وقياس الزاوية التي يصنعها السلك مع العمودي وعندما كان القطار متحرك بعجلة ثابتة ($a \text{ m/s}^2$) وجد أن قيمة الزاوية (8°) أوجد عجلة القطار (a).

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

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

3.1 بعض العلاقات المثلثية المقيدة

(Some useful trigonometry)



الشكل (9.1)

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

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

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

ويكون الجزء المخلل 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:

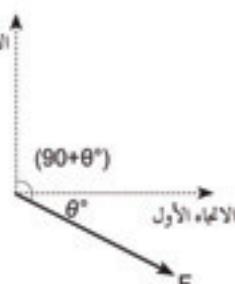
$$2 T = \frac{180}{\cos 20^\circ}$$

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. التحليل في اتجاهات أخرى 4.1

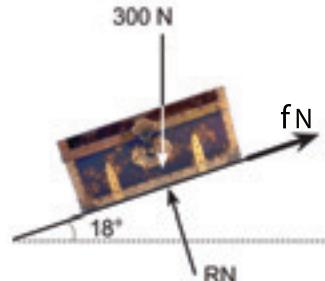
يمكنك اختيار الاتجاهات المناسبة لكتابة المعادلات وليس بالضرورة الاتجاهين الأفقي والرأسي وهذا يكون ملائماً عندما يوضع الجسم على مسار يميل على الأفقي بزاوية.

مثال 1.4.1

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

الحل:

لتفرض 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 والأجل ذلك تحتاج لإيجاد قيمة الزاوية (x°) والزاوية (y°) والموضعين في الشكل (12.1) ومن السهل ملاحظة أن:



الشكل (11.1)

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

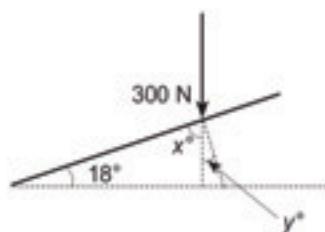
$$F \perp (\text{السطح}) \quad 300 \cos 18^\circ - R = 0$$

أي أن:

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

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

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



الشكل (12.1)

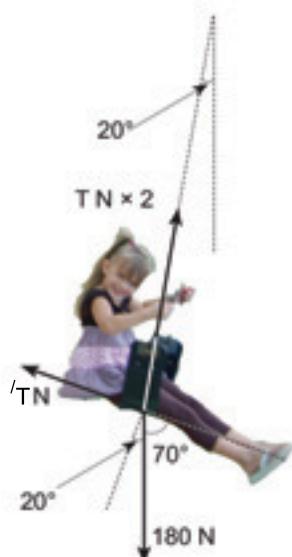
وعليه تكون قوة الاحتكاك تقريباً (93 N) وقوة الاتصال العمودية (285 N).

مثال 2.4.1

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

4.1 التحليل في اتجاهات أخرى

الحل :



الشكل (13.1)

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.

$$F \text{ (الحبل } \perp \text{)}$$

$$T = 180 \cos 70^\circ = 61.6 \text{ N}$$

$$F \text{ (للسطح } \parallel \text{)}$$

$$2T = 180 \cos 20^\circ$$

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

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

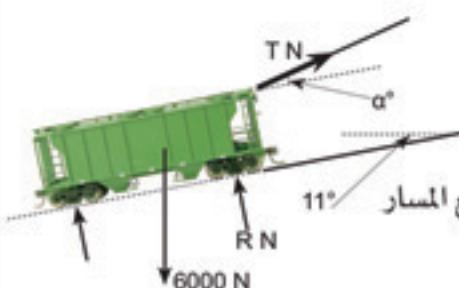
مثال 3.4.1

تسقير عربة سكة على أرضية مقطع حجارة يميل بزاوية (11°) مع الأفقي إلى جانب منحدر فإذا كانت كتلة العربة (600 kg) عندما تكون معلوقة 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:

أ. أكبر زاوية يسمح للحبل أن يصنعها مع المسار.

ب. أقل قوة اتصال عمودية على العربة.

الحل :



الشكل (14.1)

$$F \text{ (للمسار } \parallel \text{)}$$

$$T \cos \alpha^\circ = 6000 \cos 79^\circ$$

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

يعني أن :

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

$$\alpha^\circ \leq 44.3^\circ \quad \text{وعليه تكون}$$

أي أن الجبل يجب أن يوضع بزاوية لا تزيد قيمتها عن (44°) مع المسار.

بـ. قوة الاتصال العمودية على العجلات $R N$

$$F (R + T \cos (90 - \alpha)^\circ) = 6000 \cos 11^\circ$$

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

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

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

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

عليه تكون أقل قيمة لقوة الاتصال العمودية هي

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

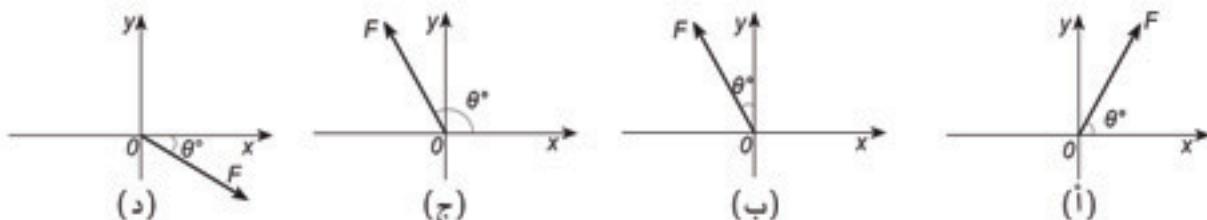
عليه لا تكون قوة الاتصال العمودية في أي حال أقل من (4772 N)

والمثال الأخير يأخذ صورة تجربة يمكنك عملها لتوضّح أن جزء تحليل القوة F التي تصنّع زاوية θ° 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 طولية 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.

B - تمارين 1

تمارين 1 - B

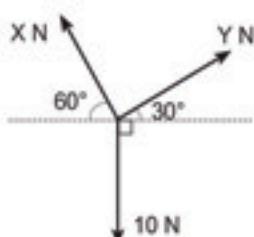
1. حلل القوى الموضحة في الأشكال التالية في الاتجاهات OY , OX على التوالي بدلالة θ° و F .



2. ترکت كتلة خشبية قدرها (4 kg) لتحرك من السكون على مستوى مائل بزاوية (30°) مع الأفقي وبفرض لا وجود للاحتكاك. احسب عجلة الكتلة الخشبية وسرعتها بعد أن تقطع مسافة قدرها (3m).

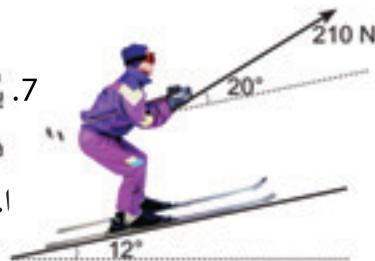
3. تتحرك سيارة كتلتها (850 kg) بعجلة قدرها (0.3 m/s^2) على طريق يميل بزاوية قدرها (12°) مع الأفقي وهناك قوة مقاومة للحركة مقدارها (250 N). احسب مقدار القوة المحركة للسيارة.

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



5. يتزن جسم تحت تأثير ثلاثة قوى الموضحة في الشكل المقابل وبالتحليل في اتجاه القوة (YN). بين أن $N = 5Y$ احسب قيمة (X).

6. يستقر صندوق كتلته (6 kg) على مستوى مائل بزاوية قدرها (20°) 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°) بواسطة قوة مقدارها (210 N) تؤثر إلى أعلى بزاوية (20°) 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°) مع الأفقي. أوجد مقدار القوة اللازمة للمحافظة على الجسم في اتزان إذا ما أثرت هذه القوة

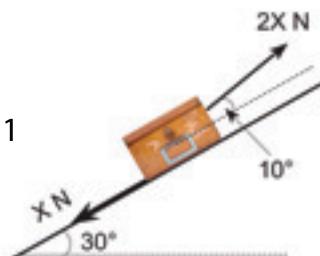
في:

- أ) اتجاه يوازي المستوى.
- ب-) اتجاه أفقي.

- ج-) اتجاه إلى أعلى يصنع زاوية (25°) مع اتجاه المستوى.
ثم اذكر بدون حسابات الحالات الثلاث التي تكون لها قوة اتصال عمودية أكبر.

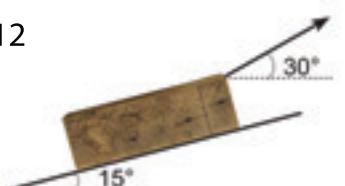
9. عُلقت كرة معدنية وزنها 500N في نقطة ثابتة بواسطة سلسلة، ثم سُحبت الكرة أفقياً بقوة قدرها (250N) واتزنت الكرة بعد أن صنعت السلسلة زاوية (θ°) مع الرأسى. أوجد الشد في السلسلة وقيمة الزاوية (θ°).

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



11. يُجر صندوق كتلته (12 kg) بعجلة ثابتة مقدارها (1.75 m/s^2) إلى أعلى مسار يميل بزاوية (30°) مع الأفقي فإذا كانت قوة الجر (2 X N) تصنع زاوية قدرها (10°) مع المسار كما هو موضح في الشكل المقابل، ومقدار قوة الاحتكاك (X 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°) مع الأفقي فإذا كان الحبل يصنع زاوية قدرها (30°) مع الأفقي كما هو موضح في الشكل المقابل:



- وضع 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.

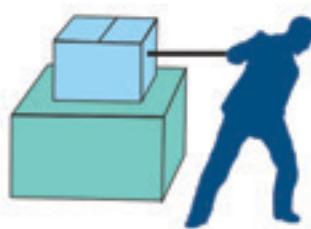
الاحتكاك

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

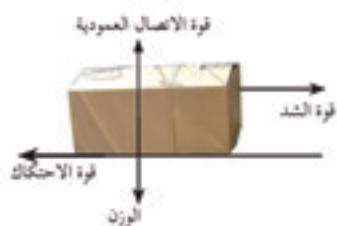
- تتمود الصيغ الرياضية للاحتكاك وتفهم خواص قوى الاحتكاك.
- تفهم فكرة ومعنى نهاية الانزام.
- تعرف المقصود بمعامل الاحتكاك وتكون قادرًا على استخدامه.
- تكون قادرًا على حل مسائل تتضمن الحركة والانزام والتي تكون قوى الاحتكاك أحد القوى المؤثرة على الجسم.

1.2 الخواص الأساسية لقوى الاحتكاك

تخيل أنك تحاول جر صندوق ثقيل على مستوى أفقى (شكل 1-2)، عندها ربما يحدث أحد الأمرين، فإذا كان الشد قويًا سوف يبدأ الصندوق الحركة في اتجاه قوة الشد، أما إذا كان الشد ضعيفًا 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 متحرك أو ساكن.



الشكل (1.2)



الشكل (2.2)

إذا لم يبدأ الصندوق في الحركة، تكون القوى في حالة اتزان وهذا يعني أن قوة الاحتكاك تتناسب مع قوة الشد عندما تغير قوة الشد بالزيادة فإن قوة الاحتكاك تتزايد بعأً لذلك وإذا لم تشد بقوة فإن الاحتكاك سيتناقص وعندما تتلاشى قوة الشد فإن قوة الاحتكاك سوف تتلاشى.

عند جر الصندوق بقوة كافية لتحرיקه تكون قوة الاحتكاك أقل من قوة الشد وهناك حدود لقيمة قوة الاحتكاك التي تتبعها قاعدة الصندوق مع المستوى فإذا جر 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 الاحتكاك هذه الحركة بقوة معاكسة لاتجاه الحركة. ولا تتعدي قوة الاحتكاك مقداراً معيناً يُعرف بنهاية الاحتكاك، فإذا كان جسم في حالة سكون واتزان مع قوة الاحتكاك التي يكون مقدارها أقل من نهاية قيمتها فسوف يبقى الجسم في حالة اتزان.

إذا كان الجسم في حالة استقرار وكانت القوى في حالة اتزان مع نهاية الاحتكاك 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°) مع الأفقي وكانت نهاية قوة الاحتكاك بين الحاوية وسطح المستوى (50 N).

أ) هل تنزلق الحاوية على المستوى؟

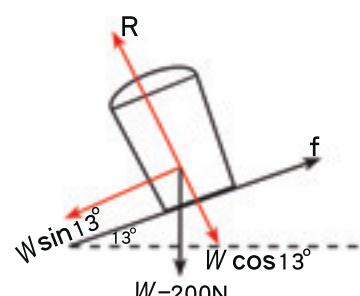
ب) فإذا أثرت قوة موازية لسطح المستوى على الحاوية جعلتها على وشك الحركة إلى أعلى المستوى، أوجد مقدار هذه القوة.

الحل:

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

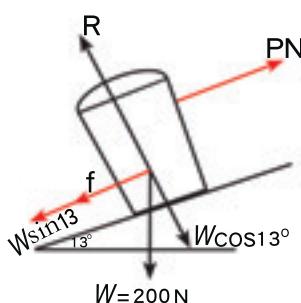
إلا أن الوزن وقوة الاحتكاك لهما تأثير موازي للمسار، وبتحليل الوزن إلى مركبتين إحداهما في اتجاه المسار والأخرى عمودية عليه تكون مركبته في اتجاه المستوى تساوي ($W \sin 13^\circ = 200 \sin 13^\circ = 40 \text{ N}$)، والتي تساوي (45 N) وهي أقل من قيمة نهاية الاحتكاك، وبذلك تكون قوة الاحتكاك في اتزان مع القوة (45 N)

(مركبة الوزن الموازية للمسار) عليه سوف لن تنزلق الحاوية أسفل المستوى.



الشكل (3.2)

1.2 الخواص الأساسية لقوة الاحتكاك



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

$$\begin{aligned} F_{\parallel} &= P - f \\ &= P - w \sin 13^\circ = ma \\ &= P - 50 - 45 = 0 \end{aligned}$$

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

والتي تُعطي

الشكل (4.2)

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

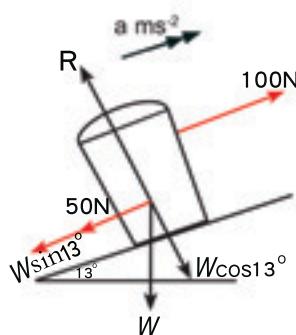
كم تكون قيمة قوة الاحتكاك عندما يبدأ الجسم في الحركة؟

نظرياً ربما تبقى قيمتها النهاية 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 متساوية لقيمة النهاية القصوى وهذا النموذج هو المعتمد إلا إذا نص على عكس ذلك.

عندما ينزلق جسم على سطح ثابت تكون قيمة قوة الاحتكاك متساوية 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 :

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

لنفرض أن العجلة $(a \frac{m}{s^2})$

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

$$100 - 50 - 45 = 20a \quad \text{والتي تُعطي} \\ 5 = 20a$$

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

عليه سوف تتتسارع الحاوية إلى أعلى ب معدل $0.25 \frac{m}{s^2}$

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

2.2 حد الاحتكاك (limiting friction)

والسؤال المطروح الآن ما هو حد قوة الاحتكاك؟

يعتمد حد قوة الاحتكاك على مجموعة من العوامل مثل:

- نوع المواد التي تتلامس أسطحها.
- شكل ومساحة الم接觸 المتألفة بين السطحين.
- قوى أخرى تؤثر على الجسم المتلامس.

ومن الواضح أن أول هذه العوامل يعد ذا أهمية عكس العوامل الأخرى المشابهة 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.

دللت 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 صنعهما 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 ضوّعت قوة الاتصال العمودية فإن حد قوة الاحتكاك سيتضاعف.

ويمكن تلخيص قاعدة حساب حد قوة الاحتكاك كما يلي:

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

كان حد قوة الاحتكاك (f_r) وقوة الاتصال العمودية (R) فإن:

$$f_r \propto R$$

$$\frac{f_r}{R} = \mu$$

حيث (μ) مقدار ثابت

يدعى الثابت (μ) معامل الاحتكاك وتعتمد قيمته على الماد الذي يتكون منها السطحان.

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

وإذا كانت قيمة (μ) صغيرة جداً يمكن أن تحصل على نتائج تقريبية ياهماز قوة الاحتكاك . وفي هذه الحالة يمكن اعتبار السطح بأنه أملس.

أما إذا كانت قيمة (μ) أكبر من (0) ففي هذه الحالة تعتبر الأسطح خشنة وعندما تحتاج إلى اعتبار قوة الاحتكاك.

وفي بعض الأحيان يستخدم مصطلح (very rough) كثير الخشونة لوصف أسطح تكون قيمة (μ) 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 أقلية 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.

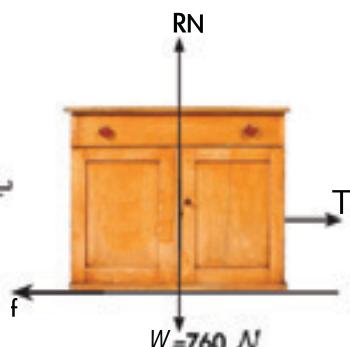
$$F_{(\rightarrow)} \quad T < f$$

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

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

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

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



الشكل (7.2)

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

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

مثال 2.2.2

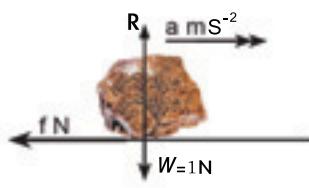
ركل ولد حجر كتلته (100 g) على أرضية ملعب وكان معامل الاحتكاك بين الحجر وأرضية الملعب يساوي (0.25) ، فإذا توقف الحجر على بعد (31 m) أوجد السرعة التي ركل بها الولد الحجر.

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

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



$$(a \frac{m}{s^2}) \quad \text{لإيجاد قيمة العجلة} \\ F (\rightarrow) - f = ma \\ F (\rightarrow) - 0.25 = 0.1 a$$

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

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

الشكل (8.2)

ولحل المسألة تحتاج إلى علاقة بين السرعة والمسافة المقطوعة، حيث إن العجلة ثابتة يمكن استخدام المعادلة: $v^2 = u^2 + 2as$

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

في حالة حركة الحجر

$$v^2 = u^2 - (2 \times 2.5)s$$

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.
- أملأ المنضدة تدريجياً بوضع مجسمات تحت رجلين متباينين.
- 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 (10.2).
تفترض النظرية أن قوة الاحتكاك f تساوي $R \mu$.

لنفرض أن زاوية الميل تساوي (α°).

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

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

حيث إن :

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

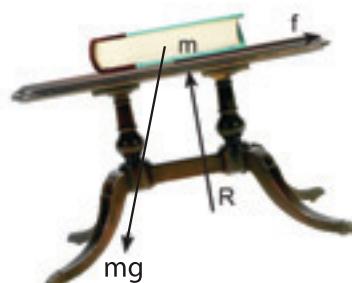
$$mg \sin \alpha^\circ = \mu R$$

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

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

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

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



الشكل (10.2)

3.2 بعض التجارب على الاحتكاك

وإذا صحت النظرية يجب أن تكون الزوايا التي تبدأ فيها الكتب بالانزلاق متساوية لكل الكتب بغض النظر عن كتلها وبذلك يكون معامل الاحتكاك يساوي ظل الزاوية (5°)

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

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 دائمًا له أفعال تمنع الحركة. كما يعد الاحتكاك ضروريًا 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 كبيرًا بما فيه الكفاية للحركة. فالاحتكاك هو الذي يجعل من الممكن الركض على رصيف أملس أو ركوب دراجة أو قيادة السيارة.

سوف يتزلق 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 ضروريًا 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 ($P N$) و($Q N$) تؤثر في إتجاه معاكس على كتلة مقدارها (5 kg) والتي تسقر على سطح أفقي. أوجد مقدار قوة الاحتكاك المؤثرة على الكتلة بدلالة (P) و(Q) عندما تكون:
- (أ) $Q > P$ (ب) $P > Q$



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



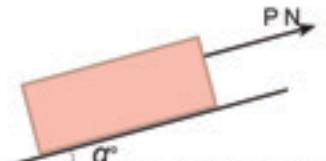
3. يوضح الشكل المقابل قوة مقدارها (8 N) تؤثر إلى أسفل وتصنع زاوية قدرها (30°) مع الأفقي على كتلة مقدارها (3 kg) التي تسقر على سطح أفقي. احسب قوة الاحتكاك على الكتلة.



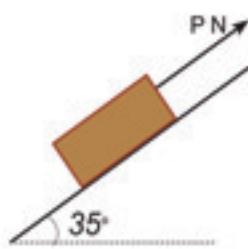
4. دفع راكب طائرة بقدمه حقيبة كتلتها (15 kg) على الأرض بقوة مقدارها (60N) أوجد معامل الاحتكاك لجعل الحقيقة على وشك الحركة . وما مقدار القوة اللازمة لتحريك الحقيقة بعجلة $\frac{m}{s^2}$.

5. تتسارع كتلة مقدارها (6 kg) بمقدار $\frac{m}{s^2}$ 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 أفقي 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). (6100 N). ب). (6000 N). ج). (5900 N).
 صف ما يحدث في كل حالة.



7. يوضح الشكل المقابل كتلة وزنها (50 N) تستقر على سطح يميل بزاوية (5°) مع الأفقي بفعل قوة مقدارها ($P N$) تؤثر إلى أعلى السطح. أوجد مقدار واتجاه قوة



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

$$(P < 50 \sin \alpha^\circ) \quad \text{بـ.} \quad (P > 50 \sin \alpha^\circ) \quad \text{أـ.}$$

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

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

5.2 مسائل تحتوي الاحتكاك (Problems involving friction)

عندما تعامل مع مسائل تحتوي الاحتكاك عليك أن تستخدم طريقة التحليل التي وصفت في الفصل الأول مع المعادلات التي تعبّر 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 (μ) معامل الاحتكاك.
- ❖ سواء كانت قوة الاحتكاك في قيمتها النهائية أم لا فإن ($f \leq \mu R$).

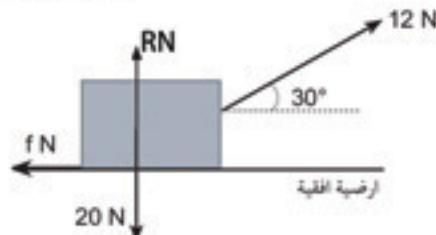
مثال 1.5.2

تستقر كتلة وزنها (20 N) على سطح أفقي أثّرت عليها قوة (12 N) في اتجاه يصنع زاوية (30°) فوق الأفقي وكانت الكتلة على وشك الحركة. أوجد معامل الاحتكاك بين الكتلة والسطح.

الحل:

القوى المؤثرة على الكتلة موضحة في الشكل (14-2). 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.

$$\begin{aligned} f &= \mu R \\ F (\rightarrow) \quad f &= 12 \cos 30^\circ = 10.39 \\ F (\uparrow) \quad R + 12 \sin 30^\circ &= 20 \\ \therefore R &= 14 N \\ \mu &= \frac{f}{R} = \frac{10.39}{14} = 0.74 \end{aligned}$$



الشكل (14.2)

عليه يكون معامل الاحتكاك يساوي (0.74). وهناك خطأ شائع في هذه الحالة حيث يُظن أن ($R = 20 N$) عندما نحلل في الاتجاه الرأسى، بل يجب أن يتضمن جميع مركبات القوى في الاتجاه الرأسى.

مثال 2.5.2

تميل هضبة على الأفقي بزاوية (13°) مغطاة بالثلج. وضعت زلاجة تزن ($75 N$) 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

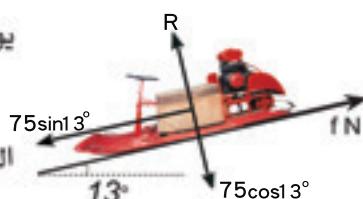
$$F = 75 \cos 13^\circ = 73.07 N \quad (\text{الهضبة})$$

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

$$f = \mu R = 0.15 \times 73.07 = 10.96 N$$

مركبة الوزن والتي تؤثر إلى أسفل الهضبة تساوى

الشكل (15.2)



$$75 \sin 13^\circ = 16.87 N$$

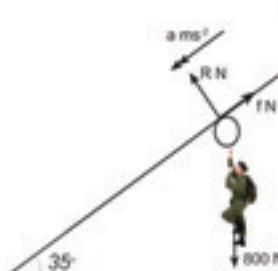
حيث إن مركبة الوزن المؤثرة إلى أسفل الهضبة أكبر من القيمة القصوى لقوة الاحتكاك فإن الزلاجة سوف تنزلق أسفل الهضبة.

5.2 مسائل على الاحتكاك

مثال 3.5.2

حبل طوله (25 m) مشدود بزاوية (35°) مع الأفق يستخدم كجزء من خط هجوم جيش. وضعت حلقة خفيفة في أعلى نهاية الحبل، تعلق بها عسكري كتلته (80kg) وينزلق 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

$$\begin{aligned} F &= 800 \sin 35^\circ - f = 80 a \quad (\text{للحبل } \parallel) \\ F &= 800 \cos 35^\circ = R \quad (\text{الحبل } \perp) \end{aligned}$$

الشكل (16.2)

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

عليه:

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

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

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 ($11.08 \frac{m}{s}$) تقريرياً.

B.2 تمارين

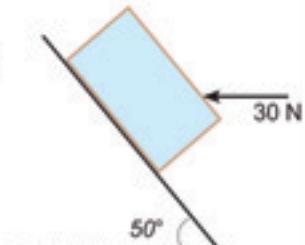
1. صندوق موضوع على أرضية قطار متجرد يميل للانزلاق خلفياً بالنسبة للقطار، اذكر اتجاه قوة الاحتكاك سواءً كان القطار متتسارعاً أو متباطلاً، فإذا كانت قيمة التسارع أو التباطؤ $\frac{m}{s^2} 4$ وكان الصندوق على وشك الانزلاق . أوجد معامل الاحتكاك بين الصندوق وأرضية القطار.

2. يتعرك دراج بدرجته بسرعة $\frac{m}{s} 7$ عندما استعمل الكابح على العجلتين هتوقف بعد أنقطع مسافة $5 m$ فإذا كانت كتلتها (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 $\frac{m}{s} 12$ ، عندما استعملت المكابح على الإطارات الأربعه كان معامل الاحتكاك بين الإطارات والأرض يساوي 0.8 ، أوجد المسافة المقطوعة من لحظة استعمال المكابح حتى توقفت السيارة .

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



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

5.2 مسائل على الاحتكاك

7. تتسارع كتلة قدرها (5 kg) بمقدار ($\frac{m}{s^2} 0.8$) إلى أسفل مستوى يميل بزاوية (15°) 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°) 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 متزلق وتصل سرعته ($\frac{m}{s} 5.5$) إلى أسفل المستوى الذي يميل بزاوية (35°) مع الأفقي، فإذا كان معامل الاحتكاك بين الطفل والمستوى (0.25)، أوجد طول المستوى المتزلق عليه، والזמן المستغرق لذلك.

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

الحركة بفعل الجاذبية

يتناول هذا الفصل الحركة بعجلة ثابتة في حالة خاصة والناتجة 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 منحن 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 $\frac{m}{s^2}$ (10) 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:

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

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

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

مثال 1.1.3:

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

1.3 الأجسام الساقطة من ارتفاع

الحل:

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

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

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

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

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

مثال 2.1.3 :

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

كم يكون ارتفاع العمارة، وكم تكون سرعة الطوبة عندما ارتطمت بالأرض.

الحل:

السرعة الابتدائية للطوبة ($0 = u$), والعلقة ($\frac{m}{s^2} \cdot 10$), لكي نعرف ارتفاع العمارة يتطلبنا معرفة المسافة المقطوعة بواسطة الطوبة، 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 ارتفاع العمارة (h) وتحتاج الطوبة إلى زمن قدره (T) لأجل السقوط إلى سطح الأرض، فإن ارتفاع الشرفة في الدور العاشر = $2.5 m = 10 \times 2.5 = 25 m$.

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

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

بوضع هذه القيم في المعادلة:

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

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

بطرح المعادلة الثانية من المعادلة الأولى

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

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

$$25 + 5 = 10T$$

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

عليه يكون ارتفاع العمارة

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

لكي تجد السرعة التي تصل بها الأرض

$$v = u + at$$

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

A-3 تمارين

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 إصطدامها بالأرض.

3. أُسقطت 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 ($\frac{m}{s}$ 3.5) واصطدمت بالأرض بسرعة ($\frac{m}{s}$ 17.5).
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 إصطدامه بالأرض.

2.3 الأشياء 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 $\frac{m}{s^2}$. 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 $(v^2 = u^2 + 2gs)$. حيث:

u السرعة الابتدائية ، s المسافة المقطوعة ،

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

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

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 $(v^2 = u^2 - 20s)$ في المعادلة $(u = 16 \frac{m}{s})$ في المعادلة $(v^2 = u^2 - 20s)$ حيث:

$$\therefore v^2 = 256 - 20 \times 11 = 36 \quad s = 11\ m$$

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

عليه عندما تصل الكرة إلى مسافة (11 m) فوق سطح الأرض تكون سرعتها $\frac{m}{s} = 6$ (v). 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 بقى 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.

$$\begin{aligned} v &= u + gt \\ v &= 16 - 10t \end{aligned}$$

اعتبر معادلة الحركة في السرعة والזמן: والتي تأخذ الصيغة:

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

$$0 = 16 - 10t$$

حيث:

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

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

في هذا النموذج للحركة عندما وضعت قيمة السرعة الابتدائية ($u = 6 \frac{m}{s}$) والعلوقة ($g = 10 \frac{m}{s^2}$) كان الاتجاه إلى أعلى موجباً، عليه عندما تغير الكرة من اتجاه حركتها تصبح (v) سالبة، وهذا يدل على أن الكرة متوجهة إلى أسفل. وهذا يوضح الفرق بين مقدار السرعة القياسية (الارقام) والسرعة الاتجاهية وعلى سبيل المثال إذا كانت ($t = 2 \text{ s}$)

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

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

عندما نقول: إن سرعة الكرة ($4 \frac{m}{s}$) إلى أعلى، إلا أنها متوجهة بسرعة مقدارها ($4 \frac{m}{s}$).

2.3 الأجسام المقذوفة إلى أعلى

لندرس الإزاحة باستخدام المعادلة: $s = u t + \frac{1}{2} g t^2$

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

ويمكنك التأكد عندما تكون ($s = 12.8\text{ m}$) تكون ($t = 1.6\text{ s}$) ، والذي يؤكد وصول الكرة إلى أقصى ارتفاع بعد زمن قدره (1.6 s).
بعدها تبدأ الإزاحة في التقلص، فعندما تكون ($s = 0\text{ m}$) فإن الإزاحة:

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

عليه بعد مرور زمن قدره (2 s) سوف تكون الكرة على ارتفاع (12 m) فوق سطح الأرض.
وبالرجوع إلى المعادلة:

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

يمكن ملاحظة أن ($s = 0$) عندما:

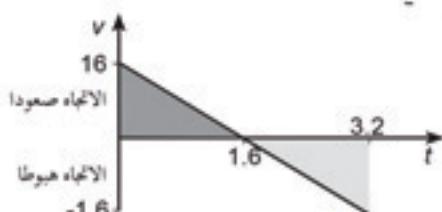
$$t = \frac{16}{5} = 3.2\text{ s}$$

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

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

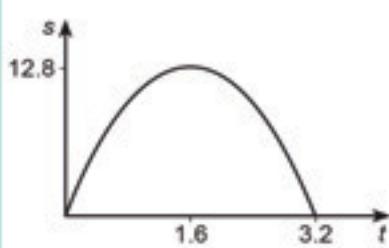
$$\therefore v = -16 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

الشكل (1.3)



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 أيضًا أن الكرة استغرقت نفس الزمن صعودًا وهبوطًا، وأنها رجعت إلى اللاعب بنفس السرعة التي قذفت بها إلى أعلى، وهذا صحيح دائمًا في حالة أنها قذفت تحت تأثير قوة الجاذبية فقط عند القذف والمسك بها في نفس المستوى.



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 (3.2) زيادة الإزاحة (s) إلى أن تصل قيمتها القصوى إلى (12.8 m) حيث ($t = 1.6 \text{ s}$) وتنقص حتى تصل إلى الصفر (0) عندما يكون ($t = 3.2 \text{ s}$).

ومن المهم الآن ملاحظة كيف يمكن إيجاد الإزاحة من رسم (السرعة - الزمن). يتكون جزء من الرسم محور الزمن (t) من مثلثين أحدهما غامق والأخر خفيف التظليل ولهم 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 ($t = 1.6 \text{ s}$). إلا أن المثلث الخفيف الذي يقع تحت محور الزمن نقص من (12.8) إلى (0) خلال الفترة ($t = 1.6 \text{ s}$) إلى ($t = 3.2 \text{ s}$) عليه بلوغ الزمن الكلي (3.2 s) تكون الإزاحة ($(12.8 + 12.8)$ -) والتي تساوي صفرًا، هذا يوضح الفرق بين المسافة والإزاحة خلال قذف كرة قد تكون قطعت مسافة ($12.8 + 12.8 = 25.6 \text{ m}$)، حيث انتهت عند نقطة البداية فتكون الإزاحة المحصلة تساوي صفرًا.

مثال 2.2.3:

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

الحل

$$t = 5.4 \text{ s}, \quad u = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\therefore v = u + gt$$

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

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

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

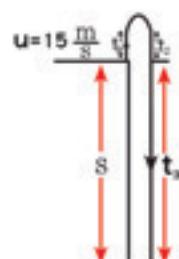
$$t_3 = 5.4 - (1.5 + 1.5)$$

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

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

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

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



الشكل (3.3)

ملاحظة أخيرة:

لا يوجد أي سبب لأن تأخذ الاتجاه الموجب إلى أعلى بل يمكنكأخذ موجب إلى أسفل إلا أنه في هذه الحالة يجب تغير إشارة كل من (٦)، و(٧)، و(٨) مع الزمن .(٩)

إلا أنه من المعتمدأخذ الاتجاه الموجب إلى أعلى وحيث أن الجسم بدأ الحركة إلى أعلى أولًا ففي الفقرة (١.٣) حيث كانت الحركة إلى أسفل فقط كان جلياً اختيار الاتجاه الموجب إلى أسفل.

B-3- تمارين

١. تُقذف آلة كرات تنس الكرة إلى أعلى رأسياً بسرعة ابتدائية قدرها $(25 \frac{m}{s})$ ،
أُوجِد سرعة وارتفاع الكرة بعد زمن قدره $(2 s)$.

٢. يُقذف لاعب السرك كرة إلى أعلى رأسياً بسرعة $(\frac{m}{s} 6)$ ، أُوجِد أقصى ارتفاع
تصل إليه الكرة.

٣. تُقذف كرة رأسياً إلى أعلى لتصل إلى أقصى ارتفاع قدره $(22 m)$ ، أُوجِد السرعة
الابتدائية للكرة.

٤. قذف حجر إلى أعلى ليصل إلى أقصى ارتفاع قدره $(35 m)$ ، احسب الزمن
المستغرق لكي يصل إلى أقصى ارتفاع.

٥. ضربت كرة الكريكت رأسياً إلى أعلى فوصلت أقصى ارتفاع في زمن قدره $(2.2 s)$ ،
أُوجِد أقصى ارتفاع وصلت إليه كرة الكريكت.

٦. قذف طفل كرة إلى أعلى بسرعة ابتدائية قدرها $(\frac{m}{s} 8)$ من نقطة أسفل سقف
بمقدار $(3 m)$. أُوجِد الزمن بين لحظة القذف وزمن اصطدام الكرة بالسقف.

٧. قذف حجر إلى أعلى بسرعة ابتدائية قدرها $(20 \frac{m}{s})$. أُوجِد 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 ($\frac{m}{s} 18$). أوجد الزمن المستغرق
لكي يرجع الحجر إلى نفس نقطة القذف وسرعته في تلك النقطة.

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

11. قذفت كرة إلى أعلى بسرعة ابتدائية قدرها ($\frac{m}{s} 12$) 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 وتراجع (في نفس المستوى) بعد زمن قدره (1.8 s). أوجد
السرعة الابتدائية لللعبة وأقصى ارتفاع تصل إليه.

14. قذف حجر إلى أعلى بسرعة ابتدائية قدرها ($\frac{m}{s} 25$) من نقطة أعلى من سطح
الأرض بمقدار (30 m)، أوجد:
أ). أقصى ارتفاع يصل إليه الحجر فوق سطح الأرض.
ب). الزمن الذي ينقضيه حتى يرجع الحجر إلى سطح الأرض.

3.3 الحركة على مستوى مائل

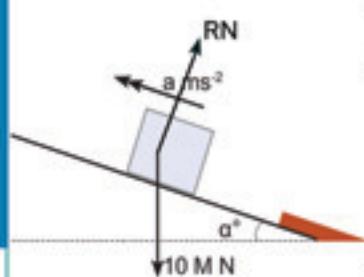
- ج). ارسم المحنبي (t, v) لحركة الحجر حتى يرجع إلى سطح الأرض.
د). ارسم منحنى يوضح ارتفاع الحجر كدالة في الزمن.

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

يتمدد ممر أعلى هضبة تميل مع الأفق بزاوية قدرها ($\alpha^\circ = 0.6$) 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 ($\frac{m}{s} 12$)، 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 والזמן الذي تستغرقه الكتلة في الحركة.



الشكل (4.3)

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

عليه يكون الوزن ($w = 10 \text{ MN}$)

وتحليل هذا الوزن إلى أسفل المستوى يساوي:

$$F_{\parallel \text{مستوى}} - W \sin \alpha^\circ = Ma$$

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

لنفرض أن العجلة = $a \frac{m}{s^2}$

$$F_{\parallel \text{مستوى}} - 6 M = Ma \quad \therefore a = - 6 \frac{m}{s^2}$$

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

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

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

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

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

$$\therefore s = 12 \text{ m}$$

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 زمان الحركة للحجر أحدها معادلة السرعة والزمن:

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

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

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

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

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

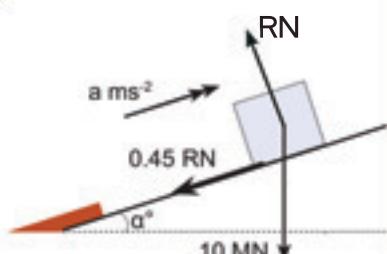
مثال 2.3.3

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، ولكن تجد قوة الاحتكاك، تحتاج لحساب قوة الاتصال العمودية (RN).
 $R = W \cos \alpha$
 $R = 10 M \cos \alpha^\circ$

$$F \perp (\text{المستوى}) \quad \therefore R = 8M$$



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

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

$$-9.6M = aM \quad \therefore a = -9.6 \frac{m}{s^2}$$

باستخدام المعادلة: $v = u + at$

عند أقصى نقطة على الطريق $v = 0$

$$0 = 12 - 9.6t$$

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

باستخدام المعادلة: $v^2 = u^2 + 2as$

$$0 = 144 - 19.25$$

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

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')

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

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

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

ومن المعادلة: $v^2 = u^2 + 2as$

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

وذلك: ومنهما نحصل على: $v^2 = 2 \times 2.4 s = 4.8 s$

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

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

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

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

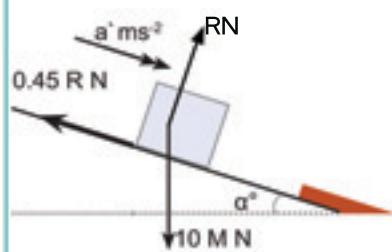
$$v = \sqrt{4.8 \times 7.5} = \sqrt{36} = 6 \frac{m}{s}$$

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

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

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

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



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 سطح خشن وحركتها في الهواء).

في 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 المقترنة ففي السرعة البطيئة تناسب مقاومة الهواء مع سرعة الجسم

$$R \propto v$$

$$R = kv$$

أما في حالة السرعة العالية فإن مقاومة الهواء تناسب 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، وتُسمى 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 kg) بقي معتدلاً إلى أعلى أثناء الهبوط بسرعة نهائية ($\frac{m}{s}$). وكان الثاني عسكرياً يرتدي ملابس ثقيلة وأجهزة وكانت كتلته (120 kg) وبقي أيضاً معتدلاً إلى أعلى أثناء الهبوط. أما الثالث فكان رياضياً وكتلته (70 kg) اتخذ وضع أفقى بفرد قدميه ويديه وهذا مكنه من زيادة مقاومة الهواء (12) مرة. أوجد السرعة النهائية لكل من العسكري والرياضي.

4.3 الحركة الرئيسية مع المقاومة الهوائية

الحل:

يوضح الشكل (7-3) القوى المؤثرة على الرجال الثلاثة، لنفرض أن مقاومة الهواء على الرجل الأول تعطي بالعلاقة $N = kv^2$ ، 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 $N = 12kv^2$.

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

ويمساواة الوزن بالمقاومة في كل حالة نجد أن:

$$80 \times 10 = k \cdot 50^2 \rightarrow 1$$

$$120 \times 10 = kx^2 \rightarrow 2$$

$$70 \times 10 = 12ky^2 \rightarrow 3$$

تعطي المعادلة (1) مقدار k

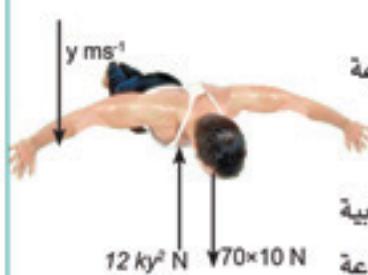
$$k = \frac{80 \times 10}{50^2} = 0.32$$

بوضع هذه القيمة ل(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



الشكل (7.3)

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 مكنته من المحافظة على مساحة كبيرة للسطح المعرض للتغيرات الهوائية قلل من السرعة النهائية وسمح الوقت للتمتع بالسقوط والتنفيذ المناورات المكانية قبل أن يحتاج لفتح مظلته.

مثال 2.4.3

قذفت قذيفة رأسياً إلى أعلى من مدفع بسرعة ابتدائية قدرها $\frac{m}{s} 40$ من حافة منحدر ارتفاعه $100 m$ فوق سطح البحر، وعند رجوعها أخطأت المنحدر بقليل وكانت السرعة النهائية للقذيفة $\frac{m}{s} 50$.

احسب تسارع القذيفة مباشرة بعد مغادرة اسطوانة المدفع، وأقصى ارتفاع تصل إليه. ثم ارسم رسمياً 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

$$v = u - gt$$

$$0 = 40 - 10t \quad \therefore t = 4s$$

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

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

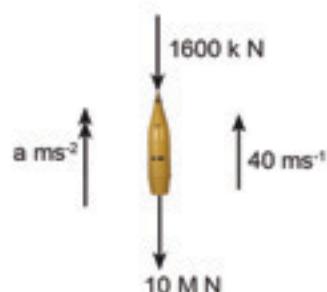
$$\therefore s = 80m$$

عندما تصل القذيفة إلى أعلى نقطة تكون سرعتها ($v = 0$) والتي تحدث عندما تكون ($t = 4s$) وعندها تكون المسافة ($s = 80m$) وسوف تدخل سطح البحر عندما ($s = -100m$) وعندها يكون قد مضى من الزمن ($t = 10s$) أي بعد ($10s$) 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 ($\frac{m}{s} 50$) 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 ($k = 0.004 M$).

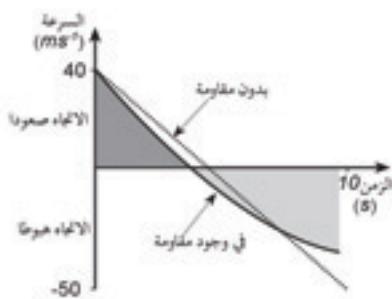
ويوضح الشكل (3-8) القوى المؤثرة على القذيفة عند مغادرتها لاسطوانة المدفع.

$$\text{وحيث إن السرعة } (u = 40 \frac{m}{s}) \text{ عليه تكون مقاومة الهواء} \\ (0.004 M) \times (40)^2 = 0.004 M \times 1600 = 6.4 MN$$



(8.3)

4.3 الحركة الرأسية مع المقاومة الهوائية



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

عليه تكون عجلة القذيفة $a = -16.4 \frac{m}{s^2}$
عند أقصى ارتفاع للقذيفة تكون ($v = 0$) وبذلك تكون مقاومة الهواء تساوي
صفرأً 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 $\frac{m}{s} 12$ وكان مقدار قوة الاحتكاك $(2N)$ 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 $\frac{m}{s} 24$.

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 $\frac{m}{s} 25$.

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 $(kv^2) N$ حيث v سرعة القطعة بوحدة $\frac{m}{s}$. فإذا كانت كتلة القطعة 2.5 kg وسرعتها النهائية $50 \frac{m}{s}$. أوجد قيمة الثابت (k) ثم احسب مقدار تسارع القطعة عندما تكون ساقطة بسرعة $10 \frac{m}{s}$.

5. يقف طفل في شرفة منزل ترتفع 9.8 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.

إذا كانت كتلة الحجر 1 kg ، وكانت مقاومة الهواء $kv^2 N$ 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 $kv^2 N$ 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 $4 kv^2 N$. 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 kg إلى أعلى بسرعة مقدارها $8 \frac{m}{s}$ من ارتفاع قدره 0.5 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؟

افتراض أن مقاومة الهواء تأخذ الصيغة $0.02kv^2 N$ 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 تمسك.

الفصل الرابع:

4 Newton's third law

قانون نيوتن الثالث

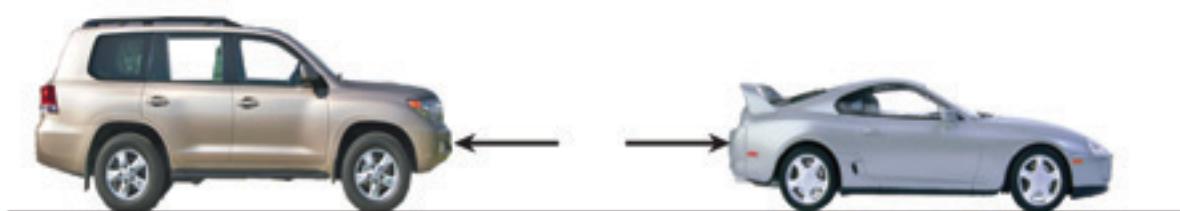
الفصول السابقة تناولت الاتزان أو حركة جسم واحد، وفي هذا الفصل سنتعامل مع جسمين والتي تؤثر على بعضها البعض وعند الانتهاء من الفصل يجب أن:

- 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 بكرة خفيفة.

(Forces in pairs)

1.4 أزواج القوى

تخيل سيارتين تسيران في الطريق واحدة أمام الأخرى، فللت السيارة الأمامية من سرعتها عندما زادت الثانية من سرعتها، اصطدمت السياراتان وحدث بها 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 ومتعاكسان 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 تقريراً يلخص في بيان نيوتن التي كانت ترجمته «ال فعل ورد الفعل دائماً متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه» إلا أنه في حالة اصطدام السيارات غير واضح أي منهما قوة الفعل وأي منهما قوة رد الفعل، كل من السائقين ساهموا في الحادث ويُدعى كل منهما بأن الآخر تسبب في الحادث، وتكمّن أهمية قانون نيوتن الثالث أنه يطبق على جميع القوى ونورد هنا بعض الأمثلة.

(Normal contact forces)

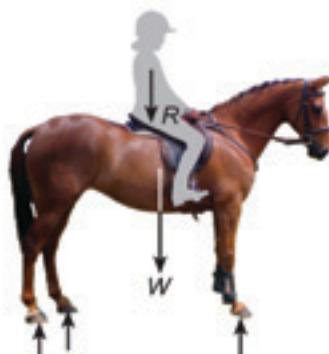
قوى الاتصال العمودية

افتراض أن شخصاً يركب حصاناً شكل (4-4) 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 معتبرة عن وزن الراكب، وكما سبق وأن أوضحتنا أن الوزن عبارة عن القوة التي تجذب بها الأرض الراكب وهي قوة تؤثر على الراكب وليس على الحصان.

إذا 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).

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



القوى المؤثرة على الحصان

الشكل (2.4)



القوى المؤثرة على الفارس

الشكل (3.4)

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

(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 حرقة الحركة، في هذه الحالة سوف تلاحظ أن دفعك لإبريق الشاي سوف يحرك العربة ويبقى إبريق الشاي في مكانه على العربة.

ما هي القوة التي جعلت العربة تتحرك؟



الشكل (4.4)

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 تتجاوز النهاية القصوى لقوة الاحتكاك بين إبريق الشاي وسطح العربة، وحيث إن إبريق الشاي ممتلئ وقوة الاتصال العمودية تساوي وزنه، تكون النهاية القصوى لقوة الاحتكاك قوية كبيرة.

هناك فوتان تؤثران على إبريق الشاي من العربة، قوة الاتصال العمودية وقوة الاحتكاك، وحسب قانون نيوتن الثالث توجد قوى متساوية 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 حرقة 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 فإنها سوف تتتسارع، وبما أن قوة الاحتكاك أقل من قيمتها النهاية القصوى فإن إبريق الشاي سوف لن ينزلق على سطح العربة بل سيتسارع مع العربة.



الشكل (5.4)

قوى الجاذبية (Gravity forces)

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

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 متساوية في الاتجاه المعاكس، وحيث إن كتلة الأرض تساوي قرابة (10^{25}) مرة كتلة الحجر عليه يكون تأثير هذه القوة مهماً.

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 تكون مهملة، والقارنة (ساق الجر) توصل الشاحنة بالمقطورة، أوجد قوة القارنة؟ وقوة القيادة على (الشاحنة) عندما تتسارع الشاحنة والمقطورة بعجلة قدرها ($0.5 \frac{m}{s^2}$).

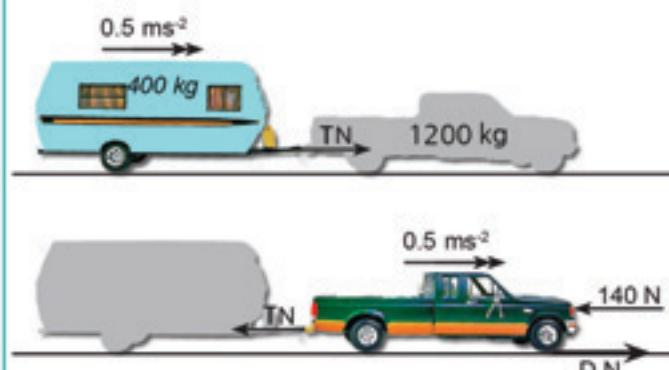
الحل :

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

القوة الأفقيّة الوحيدة المؤثرة على المقطورة هي القوة الناتجة من القارنة

2.4 استخدام قانون نيوتن الثالث في الحسابات

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



الشكل (6.4)

لنفرض أن قوة القيادة المؤثرة على الشاحنة (DN).

$$\text{معادلات الحركة للمقطورة} \quad T = ma$$

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

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 القارنة 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 الإحتكاك بين خزانة الكتب وسطح الأرض يساوي (0.4).

فكم معامل الإحتكاك بين حذائه وسطح 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

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

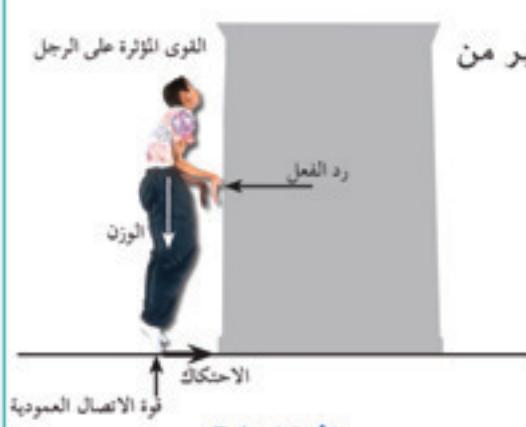
عند محاولة الرجل تحريك الخزانة يجب على الرجل أن يدفع بقوة أكبر من ($480 N$).

وتوجد هناك قوة متساوية ل($480 N$) معاكسة في الاتجاه الأفقي على الرجل وهذه يجب أن تتعادل مع قوة الإحتكاك الناتجة من حذائه

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

$$480 = \mu 750$$

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



الشكل (7.4)

مثال 3.2.4

علق قضيب مغناطيسي كتلته (0.2 kg) بسلك في السقف، امسك القضيب المغناطيسي بفعل قوة مغناطيسية قدرها (20 N) كرة من الحديد كتلتها (0.5 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 ($a \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$).

يوضح الشكل (8-4) القوى التي تؤثر على الكرة وكذلك القوى التي تؤثر على المغناطيس والتي أوزانها (5 N) و(2 N) على التوالي.

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

$$F (\uparrow) \quad 20 - R - 5 = 0.5 a \quad \text{معادلات الحركة للمغناطيس}$$

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

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

يمكن التعويض على قيمة (a) أو إهمالها من المعادلتين

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

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

بطرح المعادلة الثانية من المعادلة الأولى نحصل على:

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

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

$$5T + 7R = 140$$

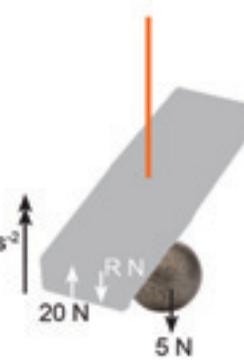
حيث تمت المحافظة على الاتصال بين الكرة والمغناطيس، قوة الاتصال العمودية

لا يمكنها أن تكون سالبة عليه:

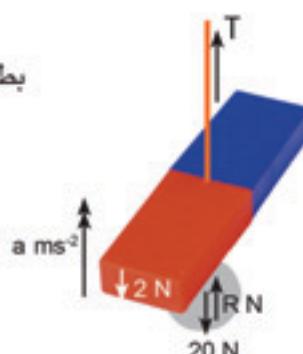
$$5T \leq 140 \quad \therefore T \leq 28$$

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

أن لا تتجاوز (28 N).



القوى المؤثرة على الكرة



القوى المؤثرة على المغناطيس

الشكل (8.4)

2.4 استخدام قانون نيوتن الثالث في الحسابات

مثال 4.2.4

وضع طالب كتابين فوق بعضهما على سطح منضدة، أراد الاستعانة بالكتاب السفلي ولكي يستخلص الكتاب دفعه إلى اليسار بقوة قدرها ($Q N$)، وليمعن الكتاب الأعلى من الحركة بذل قوة مقدارها ($P N$) على الكتاب الأعلى إلى اليمين، انزلق الكتاب الأسفل إلى الخارج وبقى 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).

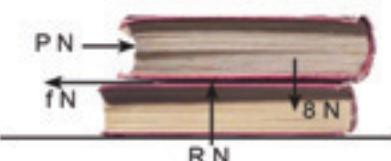
الحل :

الشكل (9-4) يوضح القوى المؤثرة على كل كتاب، تعرضت حركة الكتاب السفلي لقوى 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 ($f = 0.25 R$).

القوى المؤثرة على الكتاب العلوي

$$(G = 0.4 S)$$



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 ($N = 80$) فوق قفص آخر وزنه ($N = 100$) 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 ($N = 1000$) عليه صحن وزنه ($N = 200$) 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 kg) في مصعد إلى أعلى بتسارع قدره ($0.4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$). وضع بالرسم القوى التي تؤثر على الرجل، أوجد القوة التي تبذل بواسطة الرجل على أرضية المصعد.

5. يحمل سائق شاحنة صندوقين مثمناتين 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 تصويرية.
د). إذا كانت كتلة كل صندوق (250 kg). احسب مقدار قوة الاحتكاك التي تؤثر

على:

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



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 الإحتكاك 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 ($\frac{m}{s}$) 20 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 تصميمية ($\frac{m}{s^2}$) 1.5 وذلك باستخدام المكابح. احسب القوة على السيارة من ساق الجر بإهمال قوة الإحتكاك وما هو التأثير الذي يشعر به سائق السيارة.

8. اسطوانتان متماثلتان وزن كل منهما (W) تستقران على مستوى أملس ومائل بزاوية (α°) مع الأفقي وكانت الأسطوانة السفلی على اتصال مع حائط رأسی أملس والموضح في الشكل. أوجد إجابتك بدالة (W) و(α°) لمقدار القوى المبذولة بواسطة:



- أ). المستوى المائل على الأسطوانة العلوية.
- ب). الأسطوانة السفلی على الأسطوانة العلوية.
- ج). الأسطوانة العلوية على الأسطوانة السفلی.
- د). الحائط على الأسطوانة السفلی.

3.4 الخيوط والحبال والسلالس والكابلات

(Strings, ropes, chains and cables)

يوضح الشكل (4-10) 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 اعتبرنا متساوية للصفر.



الشكل (10.4)

لتدرس 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 (4-11).



الشكل (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 أسهم تشير إلى الداخل.

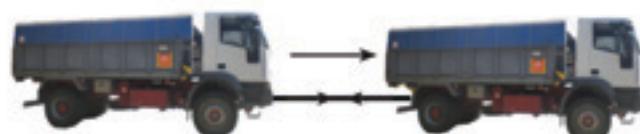


الشكل (12.4)

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

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

وتطبق نفس الأفكار على الحبال والسلالس 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 اتجاهها إلى الخارج عند طرفيها، ويسماى مقدار



الشكل (13.4)

3.4 الخيوط والحبال والسلال والحبالات

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 تطبق نفس الأفكار على الكابل الموصل بين شاحنتين شكل (13-4).

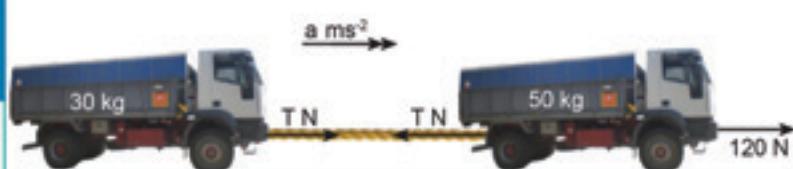
وهناك خاصية مهمة للكابل أو القطبان وهي أن طولهما يبقى ثابت أثناء الحركة للشاحنات أي أنهما غير قابل للتتمدد (الزيادة في الطول) وهذا يعني أن الشاحنات لهما نفس السرعة والموجة.

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 الموجة المشتركة لهما تساوي ($\frac{m}{s^2}$) ولنفترض 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 الشاحنات وتم توضيح القوى الأفقية فقط في الشكل.

معادلات الحركة للشاحنة الخلفية

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

معادلات الحركة للشاحنة الأمامية

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

ربما من الأسهل إيجاد الموجة (a) بالتعويض ($T = 30a$) في المعادلة الثانية

$$120 - 30a = 50a$$

$$\therefore 120 = 80a$$

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

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

عليه يكون الشد في الكابل يساوي (45 N).

4.4 الأوتاد والبكرات (Pegs and Pulleys)

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

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 المنحن حول الوتد. ونقطة التلامس بين الخيط والوتد تكون خشنة عليه سيكون هناك احتكاك يؤثر على الخيط حول محبيط الوتد، وبذلك يكون الشد في الجزيئين المستقيمين مختلفاً، إلا أنه في حالة ما إذا كان التلامس بين الخيط والوتد أملساً فإن الشد في الجزيئين المستقيمين متساو.

وهناك احتمال آخر وهو أن الخيط يمر حول بكرة التي بدورها تدور حول محور ثابت، فإذا كان السطح خشنًا فسوف تدور البكرة مع الخيط (ويطبق هذا على السلسل عندما تمر على عجلة الترس)، ولكي تدور البكرة يلزم أن تكون قيمة الشد في الجزيئين المستقيمين مختلفة ولكن إذا كانت كثافة البكرة صغيرة وتدور حول محور أملس يكون الاختلاف بين الشدين صغيراً جداً، عليه يمكن إهماله في درجة التقرير 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 مربوطة في نهايتها دلوان كتلة كل منها (2 kg)، مليء أحد الدلوين بكتلة (8.5 kg) من الأنقاض وترك لينزل للأرض، بأي عجلة ينزل الدلو؟

الحل:

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

4.4 الأوتاد والبكرات

كل من الحبل والعجلة مهملاً وأن العجلة تدور حول محور أملس وأن الحبل متساوٍ وبذلك تكون عجلة الدلو الفارغ إلى أعلى متساوية لعجلة الدلو المعبأ المتحرك إلى أسفل.

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

القوى المؤثرة على الدلو الفارغ

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

القوى المؤثرة على الدلو الممتئٌ

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

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

$$\therefore 85 = 12.5a$$

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

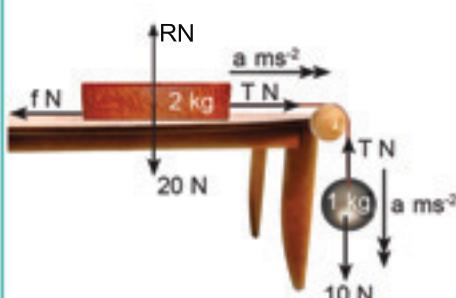
عليه سوف ينزل الدلو الممتئٌ إلى الأرض بتسارع قدره ($6.8 \frac{m}{s^2}$).



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 طرفا الخيط مستقيمين أفقياً ورأسيّاً، فإذا كان معامل الاحتكاك بين الصندوق والمنضدة يساوي (0.2) فما يبلغ عجلة الصندوق والكرة؟



الشكل (17.4)

الحل:

يوضح الشكل (17-4) القوى المؤثرة على الصندوق والكرة، بحيث إن الوتد أملس فإن الشد في طرفي الخيط متساوٍ 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.

بتحليل رأسيًّا للصندوق نحصل على ($R = 20\text{ N}$)

$$f = \mu R \\ f = 0.2 \times 20 = 4\text{ N}$$

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

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

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

بجمع المعادلتين والتعويض عن قيمة $(f = 4 N)$
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 منها كتلة (M) ، وضع الخيطان على مساميرين (A) ، و (B) أملسين ومثباتين وعلى نفس المستوى. كل النظام كان في حالة اتزان وكانت المسافة بين المساميرين $(2c)$. 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 (θ°)
مع الرأسى لكل كتلة (M)

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

للكتلة (m)

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

بالتعميض عن (T) بالقيمة (Mg) ووضعها في المعادلة الثانية:

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

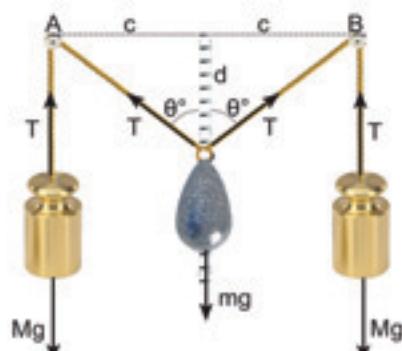
بالقسمة على (g)

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

طول الخيط المائل يساوى

الشكل (18.4)

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

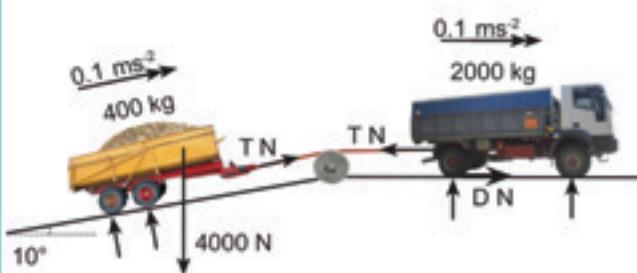


$$m = \frac{2Md}{\sqrt{c^2 + d^2}}$$

ومنها نحصل على:

ولاستخدام هذه التجربة اجعل الكتل (M) ثابتة ولكن غير الكتلة (m). ضع تدريجياً على خط التمايل 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 تجر شاحنة كتلتها (400 kg) بسلسلة إلى أعلى منحنى يميل بزاوية (10°) بحيث تكون السلسلة موازية للمنحنى، وتتم على عجلة تروس مهملة الكتلة وترتبط أفقياً بسيارة كتلتها (2000 kg)، أهمل أي مقاومة واحسب القوة اللازمة لتسارع الشاحنة إلى أعلى المنحنى 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) وزن الشاحنة (4000 N).
معادلات الحركة للشاحنة

$$F(\rightarrow) = T - 4000 \sin 10^\circ = 400 \times 0.1$$

والتي تعطي ($T = 734.5 N$)

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

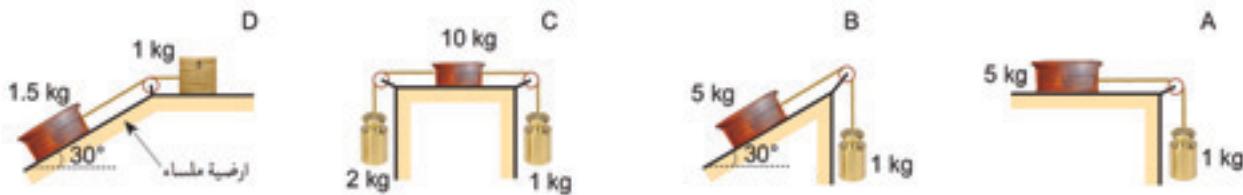
$$F(\rightarrow) = D - T = 2000 \times 0.1 \quad \text{للسيارة}$$

$$\therefore D = T + 200 = 734.5 + 200 = 934.5 N$$

عليه يلزم أن تكون القوة الدافعة تساوي (934.5 N).

تمارين 4-B

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



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



3. في الشكل الموضح يمر خيط على وتد أملس ثابت. امسك 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 ترکت 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 السفل (12 kg) وحفظت المجموعة في سكون في الموقع الموضح بشرط مشدود جداً، ثم تركت. أوجد العجلة لكل من:
أ). الأسطوانة السفل. ب) الكتلة (5 kg).

7. ربط جسمان بخيط خفيف غير مرن ويمر على وتد أملس وثابت أمسك الجسم الأقل 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 (α°) مع الأفق حيث ($\cos \alpha^\circ = 0.8$) و($\sin \alpha^\circ = 0.6$) 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)

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

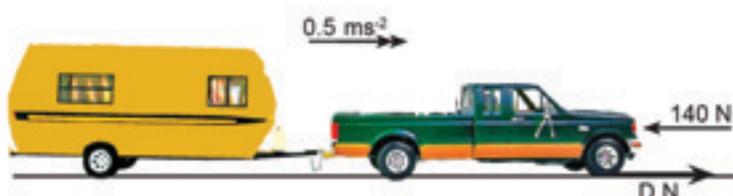
$$D - 140 = 1600 \times 0.5 \quad \therefore D = 940 N$$

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

كتلتها (400 kg) ضد مقاومة (140 N) بعجلة ($0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$) 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 (20-4).

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 (6-4) تصبح قوى داخلية عندما تعتبر الشاحنة والمقطورة كمرببة منفصلة.



الشكل (20.4)

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 فقوى التفاعل بين الجزئين تكون قوى داخلية ولا تدخل في الحسابات، أما في حالة الأجزاء المنفصلة فقوى التفاعل على كل جزء تكون قوى خارجية وتعتبر من المعادلات.

عند معاملة الكتلتين كجسم واحد فإن معادلة الحركة

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

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

$$D - 140 = 800$$

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

جسمين منفصلين \leftarrow الجسم الأول

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

الجسم الثاني \leftarrow

$$T = 400 \times 0.5 \quad (2)$$

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

بالتدعويض في المعادلة (1)

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

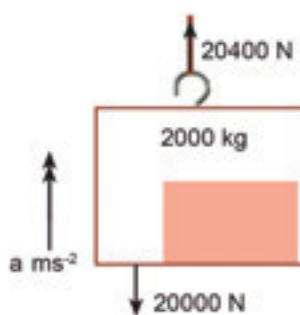
$$\therefore D = 940 \text{ N}$$

6.4 القوى الداخلية والخارجية

مثال 1.5.4

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

الحل :



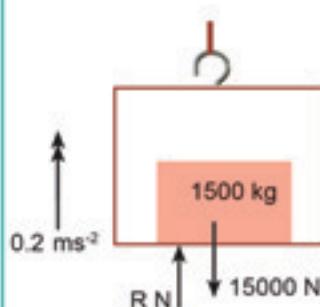
الشكل (21.4)

القفص والمولد يتحركان بنفس العجلة ($\frac{m}{s^2}$) 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

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

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).



الشكل (22.4)

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

مثال 2.5.4

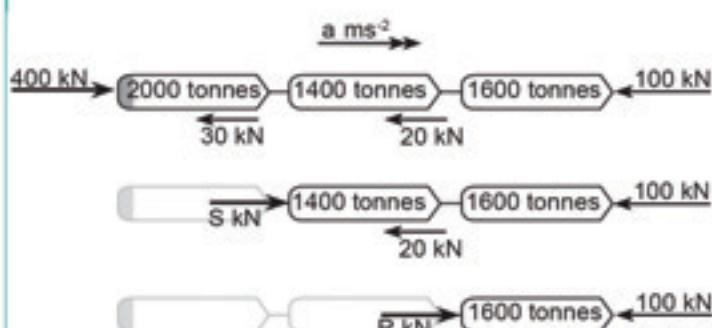
تحرك ثلاثة مراكب في نهر، المركب الخلفي له محرك ينتج قوة إلى الأمام (400 kN) وكانت كتلة المراكب الأمامية والوسطى والخلفية (1600 tonnes)، (1400 tonnes)، و(2000 tonnes) على التوالي، وتعرض المراكب لقوى مقاومة (100 kN)، و(20 kN)، و(30 kN) على التوالي. أوجد القوى في كابلات التوصيل بين المراكب.

الحل :

يوضح الشكل (23-4) ثلاث صور جوية مبنية للقوى الأفقية على المراكب الثلاثة، وعلى المركبين الأماميين،

وعلى المركب الأمامي الأول مرتبة على التالي فإذا كانت العجلة ($a \frac{m}{s^2}$)، والقوى الرابطة ($R kN$)، ($S kN$)، و($400 kN$)،

لاحظ أن



$$1\text{T}0n = 10^3 \text{kg}$$

$$1\text{kN} = 10^3 \text{N}$$

الشكل (23.4)

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

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

والتي تُعطى

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

$$F - 100 - 20 = (1600 + 1400) \times 0.05 \\ s = 270 \text{ kN}$$

للمركب الأمامي

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

وهذه المعادلة تُعطى:

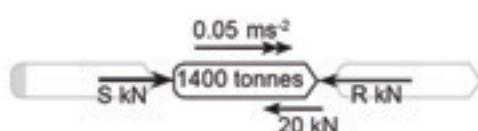
$$R = 180 \text{ kN}$$

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 (24-4) القوى المؤثرة على المركب الأوسط وقوى الربط على الجهتين (الأمام والخلف) تعد قوة داخلية على هذه المركبة والقوة في الاتجاه الأمامي . ($S - R - 20 \text{ kN}$)

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



الشكل (24.4)

تمارين 4- C

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، ووتعرضان 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 تقديرية) للسيارة والمقطورة والشد في ساق الجر عندما تبذل قوة الدفع بالمقدار الآتي:

- أ). (330 N)
- ب). (170 N)
- ج). (0.0 ج)

أوجد قيمة العجلة التقديرية للسيارة والمقطورة ومقدار القوة في ساق الجر وبين هل هذه القوة تعد شدًا أم ضغطًا، عندما يستخدم السائق المكابح وكانت قوة المكابح تزيد عن قوة الدفع بمقدار:

- د). (30 N)
- ه). (70 N)
- و). (150 N)

3. تجر سيارة كتلتها (M) مقطورة كتلتها (m) على هضبة مستقيمة تمثل بزاوية (α°) مع الأفقي، وقوى مقاومة (P) و (Q) تؤثر على السيارة والمقطورة على التوالي وقوة الدفع للسيارة (F).

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

الشغل - الطاقة والقدرة

في هذا الفصل نضع المعادلات الأساسية للميكانيكا في قالب جديد حتى يتسعى 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 شيئاً.
- 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:

تتغير سرعة سيارة كتلتها 1000 kg من $(7 \frac{\text{m}}{\text{s}})$ إلى $(13 \frac{\text{m}}{\text{s}})$ 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

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

ف تكون قوة المحرك ($F = ma$)

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

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 ($F = ma$)، ومعادلة الحركة ($F = m a s = u^2 + 2as = v^2$)، نجد أن:

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

والتي يمكن كتابتها كالتالي:

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

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

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

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:

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

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

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

من المثال السابق

إذا تحرك جسم بسرعة إبتدائية ($\frac{m}{s}$) ثم تغيرت سرعته إلى ($\frac{m}{s}$)

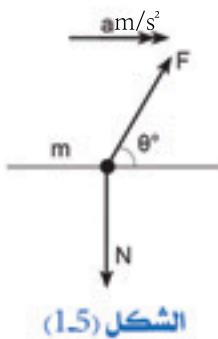
فإن الشغل المبذول = التغير في طاقة الحركة

(Some generalization)

2.5 بعض التعميمات

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

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



الشكل (1.5)

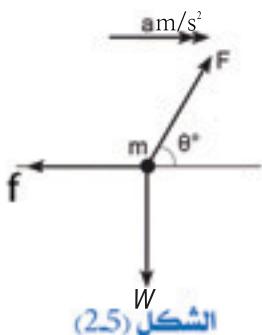
ويكون الشغل المبذول ($F \cos \theta s$)، حيث (s)، المسافة التي تحركها الجسم، فتكون:

$$F \cos \theta s = \frac{1}{2} mv^2 - \frac{1}{2} mu^2$$

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 (θ°) مع اتجاه الحركة، فإن الشغل المبذول بواسطته 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 بواسطته قوة عمودية على اتجاه الحركة يكون صفراء.

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

$$Fs \cos \theta - fs = \frac{1}{2} mv^2 - \frac{1}{2} mu^2$$

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

و نلخص مasic 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 ($\frac{m}{s} 5$) 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 ($12.18 \frac{m}{s}$).

(Motion round curved paths)

3.5 الحركة في خط منحن

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 صفراء، أي أنه لا يوجد تغير في طاقة الحركة، أي أن القمر الصناعي يتحرك في مسار دائري بسرعة منتظمة.

مثال آخر: إذا تحرك جسم على منحنٍ أملس، فإن وزن الجسم وقوة الإتصال العمودية تكونان 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 ($20\ g$) تطلق بسرعة ($400\ \frac{m}{s}$).

ه). نيزك كتلته ($20\ kg$) يتحرك بسرعة ($8\ \frac{km}{s}$).

2. يُسحب جسم كتلته ($20\ kg$) مسافة ($7\ m$) بسرعة منتظمَة على سطح خشن بواسطة خيط، فإذا كان الشد في الخيط ($N\ 100$)، 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 ($J\ 120$)، وكان الصندوق في البداية والنهاية ساكناً، احسب متوسط القوة المقاومة للحركة؟

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

5. كرة كتلتها ($1.2\ kg$) تتحرك بسرعة ($20\ \frac{m}{s}$) وتوقف 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°) مع الأفقي، وكانت قوة الشد في الخيط ($N\ 30$)، احسب الشغل المبذول لجر العربة مسافة ($40\ m$) بسرعة منتظمَة؟

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 $\frac{m}{s}$ (4)، 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 فتزيد سرعته بعد أن يقطع مسافة (50 m) من $\frac{m}{s}$ (4) إلى (10). 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 أنه 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:

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

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

$$\left(\frac{4500}{90}\right) = 50W$$

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

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:

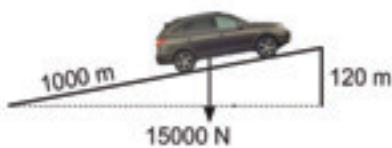
$$W = (mg)s = 1200 \times 10 \times 60 = 720000 \text{ J}$$

وليدل 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 ($\frac{m}{s}$ 30) وتحصل إلى أعلى الهضبة بعد زمن قدره (40 s) بسرعة ($\frac{m}{s}$ 10) فإذا كان طول الهضبة (1000 m) وارتفاعها (120 m)، وكان متوسط المقاومة للحركة (500 N) أوجد قدرة محرك السيارة؟



الحل:

الشغل المبذول بواسطة المقاومة :

(الشكل 3.5)

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

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

$$W = (mg \sin \theta)s = 1500 \times 10^3 \times \frac{120}{1000} \times 1000 = 18 \times 10^5 \text{ J}$$

فيكون الشغل المبذول الكلي بواسطة القوى الخارجية هو :

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

أما مقدار 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:

$$W_3 = W_1 - W_2 = 17 \times 10^5 \text{ J}$$

فيكون مقدار قدرة محرك السيارة:

$$P = \frac{W_3}{t} = \frac{1700000}{40} = 42.5 \times 10^3 \text{ W} = 42.5 \text{ kW}$$

(Power, force and velocity)

5.5 القدرة والقوة والسرعة

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 ($Ft = F \times vt$).

$$\text{وعليه تكون قدرة محرك السيارة } P = \frac{Fvt}{t} = Fv.$$

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

الحل:

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

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

ف تكون القوة المسببة للعجلة (F) هي الفرق بين قوة السباحة ومقاومة الماء وهي ($F = ma$) (250 - 220 = 30 N)، 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 ($10 \frac{m}{s^2}$) وعجلتها ($0.6 \frac{m}{s^2}$)؟

9. تتحرك سيارة كتلتها (950 kg) بقدرة (25 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 kW), أوجد عجلة السيارة عندما تكون سرعتها ($25\frac{\text{m}}{\text{s}}$),
علماً بأن كتلة السيارة (1200 kg) وأن قوة المقاومة (200 N).

6 Potential energy

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 منحن.
- 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)

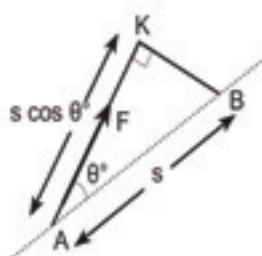
1.6 تعبير آخر عن الشغل

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 (6-1). 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.

إذا 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 لكمبيتين متوجهتين، ويُكتب كالتالي:
 $(F, S) \cdot (\vec{AB})$ ، حيث تعبّر (\vec{S}) عن الإزاحة (\vec{AB}) .

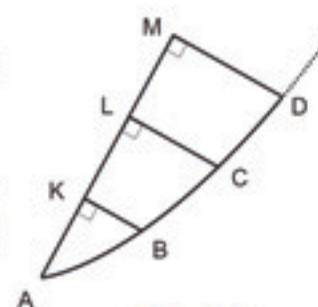


الشكل (1.6)

وهذا لا ينطبق فقط على الحركة في خط مستقيم، ولكن أيضاً عندما يتحرك الجسم في مسار منحنٍ كما في شكل (2-6).

ولنوضح ذلك، نقسم المسار المنحنٍ إلى أجزاءٍ صغيرةٍ مثل (AB)، و(CD)، 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 منحنٍ 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 (ارتفاعه عن سطح الأرض)

$$E_p = W = mgh$$

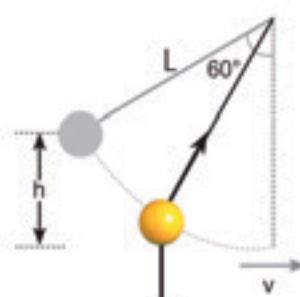
وتقاس في النظام الدولي بالجouل J

مثال 1.6 :

كرة صغيرة كتلتها (m) معلقة بواسطة خيط كما في شكل (3-6). جُذبـتـ الـكـرـةـ جـانـبـاـ حـتـىـ صـنـعـ خـيـطـ مـعـ الـعـمـودـيـ زـاوـيـةـ مـقـدـارـهـاـ (60°). ثـمـ أـطـلـقـتـ، أـوـجـ سـرـعـةـ الـكـرـةـ عـنـدـمـاـ يـكـونـ خـيـطـ عـمـودـيـاـ؟ـ

الحل :

تؤثر على الكرة قوتان، هما قوة الشد في الخيط، وزن الكرة، وحيث أن الكرة ستتحرك في جزء من الدائرة فإن حركتها تكون دائماً عمودية على الخيط، وعليه يكون الشغل المبذول بواسطة الشد يساوي صفرًا، 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 (3-3).



الشكل (3.6)

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

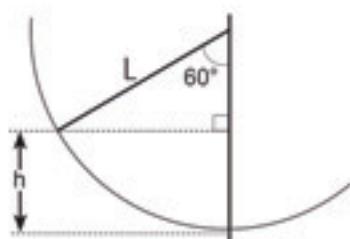
$$E_k = W \quad E_k = E_p$$

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

$$v^2 = 2gh,$$

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

الطاقة، وهي



الشكل (4.6)

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

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

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

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

أي أنه عندما يكون الخيط عمودياً ، تكون سرعة الكرة (\sqrt{gL}).

2.6 ثالث مسائل وجواب واحد (Three problems with one answer)

مثال : 2.6

1. قذف حجر إلى أعلى بسرعة ابتدائية (v). أوجد سرعته عندما يكون على ارتفاع (h).

2. صُدمت قطعة حجر وبدأت حركتها إلى أعلى سطح أملس مائل بزاوية مقدارها (α) مع الأفق، فإذا كانت سرعتها الابتدائية (v)، أوجد سرعتها عندما تكون على ارتفاع (h) من نقطة حركتها.

الحل:

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

2. يوضح الشكل (5.6) قوتين تؤثران على القطعة، هما وزن القطعة (mg).

وقوة الاتصال 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 ($s = v^2 + 2as$) نجد أن:

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

وتشرح قاعدة الشغل - الطاقة لماذا للمسألتين جواب واحد؟ كالتالي:

إذا ضربنا كل حد في المعادلة ($v^2 = v^2 - 2gh$) بالمقدار ($\frac{1}{2}mv^2$) فأنتا

تحصل على:

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

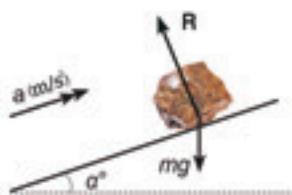
الحدان ($\frac{1}{2}mv^2$). و($\frac{1}{2}mv^2$) هما طاقة حركة الجسم الابتدائية.

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. قُدحت كرّة بسرعة ابتدائية (u) بزاوية مع الأفقي، باهتمام مقاومة الهواء، أوجد سرعة الكرّة عندما تكون على ارتفاع (h) عن سطح الأرض؟

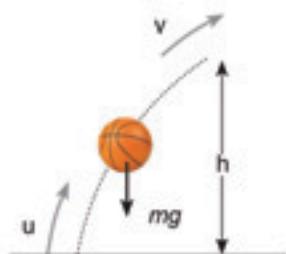
الحل:

في هذه المسألة تتحرك الكرّة في مسار منحن، فتكون السرعة الابتدائية والسرعة النهائية في اتجاهين مختلفين (انظر الشكل 6-6)، والقوة الوحيدة التي تؤثّر على الكرّة هي وزنها (mg) واتجاهها دائمًا عمودياً إلى أسفل.

وباستخدام قاعدة الشغل - الطاقة نجد أن:

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

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



الشكل (6.6)

3.6 القوى المحافظة والقوى غير المحافظة

(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 ($s = ut + \frac{1}{2}at^2$)، وبالتعويض عن العجلة به ($\frac{f}{m}$).

$$v^2 = u^2 - 2 \frac{f}{m} h \quad \text{نجد أن: } s = h$$

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

3.6 القوى المحافظة والقوى غير المحافظة

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) .

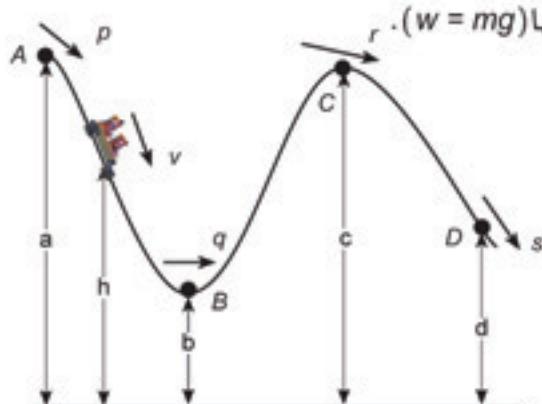
يوجد فرق هام بين هذه المسألة، والمسائل التي في الفقرة السابقة، فالجسم الذي يُقذف إلى أعلى، أو الذي تحرك على السطح المائل الأملس قد فقد مؤقتاً طاقة الحركة، ولكن سيسترد هذه الطاقة إذا عاد إلى النقطة التي بدأ منها حركته، ولهذا السبب يُقال عن قوة الجاذبية الأرضية بأنها قوة محافظة.

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

4.6 بقاء الطاقة

(The conservation of energy)

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



الشكل (7.6)

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

نلاحظ أن سرعة العربة تزداد عندما تتحدر 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:

$$mgh_0 + \frac{1}{2} mp^2 = mgh_0 + \frac{1}{2} mq^2$$

ونلاحظ أيضاً أن سرعة العربة تنقص عندما ترتفع من النقطة (B) إلى النقطة (C) ويكون الشغل المبذول بواسطة قوة الوزن هو ($W_{\text{و}}.$)، ويستخدم قاعدة الشغل - الطاقة نجد أن:

$$\frac{1}{2} mq^2 - \frac{1}{2} mr^2 = W_{\text{و}}$$

وهذه المعادلة يمكن كتابتها كالتالي:

$$mgh_0 + \frac{1}{2} mq^2 = mgh_0 + \frac{1}{2} mr^2$$

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

$$mgh_0 + \frac{1}{2} mr^2 = mgh_0 + \frac{1}{2} ms^2$$

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

(h) وسرعة العربة (v) عند أي نقطة هي:

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

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

قانون بقاء الطاقة:

يكون مجموع طاقتى الحركة والوضع لجسم متجرد 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 تفريغها فتتحول الطاقة إلى طاقة حركة والتي يمكن أن تدير محركات لتنتج طاقة كهربائية.

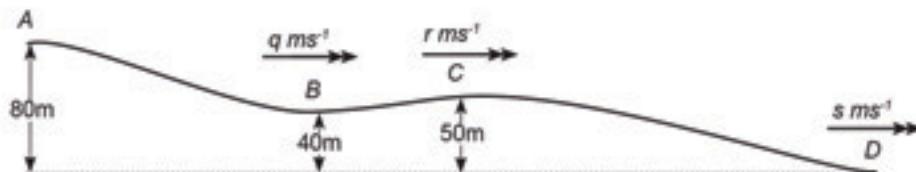
مثال 4.6:

يمثل الشكل (8-6) جانباً من هضبة. النقاط (A)، و(B)، و(C) على الارتفاعات (80 m)، و(40 m)، و(50 m) على التوالي بالنسبة للنقطة (D). تبدأ عربة من دون محرك كتلتها (250 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 ($2500h$) ، وتكون طاقة الحركة للعربة عندما تكون سرعتها (v) هي:

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



(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 نقطتين (B) و(C) يوجد كلاهما .
من المعادلات السابقة نجد أن:

$$\begin{array}{l|l|l} q^2 = 800 \frac{m^2}{s^2}, & r^2 = 600 \frac{m^2}{s^2}, & s^2 = 1600 \frac{m^2}{s^2} \\ q = 28.2 \frac{m}{s}, & r = 24.4 \frac{m}{s}, & s = 40 \frac{m}{s} \end{array} \quad \text{أي أن:}$$

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

تمارين 6 - A

- أفرض أن عجلة الجاذبية الأرضية $(10 \frac{m}{s^2})$.
1. يسقط جسم كتلته $(2 kg)$ سقطاً حرّاً من ارتفاع قدره $30 m$ أوجد طاقته الكلية بعد أن يسقط مسافة قدرها $(20 m)$ ؟
2. قُذف حجر كتلته $(0.8 kg)$ إلى أعلى بسرعة $(10 \frac{m}{s})$. احسب طاقة حركته الابتدائية، وأقصى ارتفاع يصل إليه؟
3. ينزلق طفل كتلته $(25 kg)$ على منحدر مائل بزاوية (30°) مع الأفقي من السكون . أوجد سرعة الطفل عند أسفل المنحدر بفرض أن طول المنحدر $(15 m)$ ؟
4. تسلق فتاة كتلتها $(65 kg)$ جبلاً إلى ارتفاع $(3.2 km)$. احسب طاقة وضعها؟
5. ينحدر متزلج على مستوى مائل طوله $(40 m)$. ويصل أسفل المستوى بسرعة $(15 \frac{m}{s})$. أحسب 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 $(160 kg)$ عمودياً إلى أعلى بواسطة آلة قدرتها $(2 kW)$. احسب المسافة التي سينتظرها الصندوق في $(7 s)$ بفرض أن سرعته منتظمة؟
8. يجري طفل كتلته $(30 kg)$ أعلى هضبة في زمن قدره $(6 s)$ ، فإذا كان ارتفاع الهضبة $(3 m)$ ، 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°) إلى أعلى المستوى بسرعة ($\frac{m}{s}$ 4)، فوصل إلى أعلى نقطة في المستوى بسرعة ($\frac{m}{s}$ 1.2)، أوجد طول المستوى؟

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

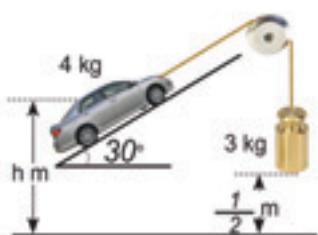
يتكون النظام من جسم أو أكثر، وهنا نستخدم قانونبقاء الطاقة لحل المسائل التي يتحرك فيها جسمان مرتبطان مع بعضهما البعض بواسطة خيط.

مثال 5.6 :

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

الحل :

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



الشكل (9.6)

في البداية، ليس للعبة ولا للقطعة طاقة حركة، ولكن لها طاقة وضع مقدارها E_{P_1} و E_{P_2} على التوالي، عندما تصطدم القطعة بالأرض تكون قد تحركت عمودياً إلى أسفل مسافة (0.5 m) واللعبة قد تحركت أعلى المستوى مسافة (0.5 m) أيضاً، أي أن ارتفاعها على الأرض يكون ($\frac{1}{2} \sin 30^\circ$), أي ($\frac{1}{4} m$). وباستخدام قانونبقاء الطاقة نجد أن:

$$E_{P_1} + E_{P_2} = E_{P_1} + E_{K_1} + E_{K_2}$$

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

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)، ولأننا أهملنا مقاومة فإن مقدار هذه السرعات ليست واقعية، في المثال التالي سنأخذ مقاومة في الاعتبار.

مثال 6.6:

افرض في المثال (4.6) أن المسافات هي (AB)، و(BC)، و(CD) مقاديرها (200m)، (100m)، و(300m) على التوالي، وكان متوسط مقاومة 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 مقاومة هو ($J = 200 \times 95$)، ويسبب هذا الشغل في نقصان الطاقة الكلية (الطاقة الحركية وطاقة الوضع) عند النقطة (B)، وعليه فإن المعادلة الأولى في المثال (4.6) تصبح:

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

$$125 q^2 = 81000 \quad \text{أو:}$$

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

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

$$2500 \times 40 + 125 q^2 + 700 \times 100 - 140 \times 100 = 2500 \times 50 + 125 r^2$$

$$r = 29.93 \frac{m}{s} \quad \text{وبالتعويض عن (q) نجد أن:}$$

ومن النقطة (C) إلى النقطة (D) يكون الشغل المبذول ضد قوة مقاومة ($J = 300 \times 210$ J)، فتصبح المعادلة الأخيرة:

$$2500 \times 50 + 125 r^2 - 210 \times 300 = 125 s^2$$

$$(s = 37.3 \frac{m}{s}) \quad \text{وبالتعويض عن (r) نجد أن (s)}$$

6.6 تضمين القوى غير المحافظة في المعادلة

نلاحظ في هذا المثال أن قانون بقاء الطاقة قد عُدل ليأخذ في الحسبان قوة المحرك والمقاومة، وهو قانون غير محافظتين، ونلاحظ أيضاً أن الشغل المبذول بواسطة المحرك موجب، والشغل المبذول بواسطة المقاومة سالب.

B - تمارين 6

تمارين 6 - B

1. جسمان كتلتها (0.3 kg) ، و (0.5 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 m) ؟

2. جسمان كتلتها (1.2 kg) ، و (1.4 kg) مربوطان بسلك غير مرن يمر على بكرة. بدأ حركتهما من السكون عندما كانا على نفس المستوى، أوجد المسافة بينهما عندما تكون سرعتهما $\frac{m}{s} (0.5)$ ؟

3. قطعة كتلتها (1.2 kg) ، موضوعة فوق طاولة، وتبعد (2 m) من حافتها. رُبطت بخيط مار فوق بكرة على حافة الطاولة إلى قطعة أخرى كتلتها (0.7 kg) متبدلة. بدأ النظام حركته من السكون، أوجد:

- المسافة التي تحركتها القطعتان عندما كانت سرعتهما $\frac{m}{s} (3)$.
- سرعة القطعتين قبل أن تصطدم القطعة التي على الطاولة إلى حافتها.

4. وضع جسم كتلته (1.6 kg) على سطح مائل بزاوية مقدارها (10°) ، وربط بسلك غير مرن يمر على بكرة في نهاية السطح المائل إلى جسم كتلته (0.8 kg) . بدأ الجسمان حركتهما من السكون، أوجد:

- سرعتهما بعد أن يتحركا مسافة (0.5 m) .
- المسافة التي تحركتها عندما كانت سرعتهما $\frac{m}{s} (3)$.

5. جسمان كتلتهما $(0.1\ kg)$ و $(0.2\ kg)$ ، مربوطان بخيط غير مرن يمر على بكرة. بدأ الجسمان حركتهما عمودياً من السكون، أوجد سرعتهما بعد أن يقطعوا مسافة $(0.6\ m)$. ثم استنتج مقدار الشغل المبذول على الجسم $(0.1\ kg)$ بواسطة الخيط، ومنه استنتاج الشد في الخيط؟

6. المسافة بين النقطتين (A) و (B) هي $(1\ km)$. والنقطة (B) أعلى من (A) بمقدار $(60\ m)$. تمر سيارة كتلتها $(1200\ kg)$ بالنقطة (A) بسرعة $\frac{m}{s}\ (25)$. بين النقطتين (A) و (B) تكون قوة محرك السيارة $(1600\ N)$ ، والمقاومة للحركة $(1150\ N)$. أوجد سرعة السيارة عندما تمر بالنقطة (B) .

إجابات التمارين الواردة في الكتاب

أولاً : إجابات الفصل الأول: تحليل القوى

تمارين A-1

| | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| $5.20 N, -3 N, -2 N, 3.46 N$. ب. | $-1.39 N, -7.88 N, 6.93 N, 4 N$. أ. |
| $4.33 N, -2.5 N, 4.33 N, 2.5 N$. د. | $-5.64 N, 2.05 N, 0 N, -4 N$. ج. |
| $35.1 N$ (4) السؤال | $2.89 \frac{m}{s^2}$ (3) السؤال |
| $10m N, 5 \frac{m}{s^2}$ (7) السؤال | $8350 N, 350$ (6) السؤال |
| $1.23 \frac{m}{s^2}$ (10) السؤال | $6 kg$ (9) السؤال |
| $31.6 N, 25.4$ (13) السؤال | $(50 - \frac{1}{2} T) N$ (12) السؤال |
| $511 kg, 11.7^\circ$ (16) السؤال | $1.41 \frac{m}{s^2}$ (15) السؤال |
| $339 N, 170 N$ (18) السؤال | $822 N, 21.9^\circ$ (17) السؤال |

تمارين B-1

| | |
|--|---|
| $F \cos\theta^\circ, F \cos(90+\theta)^\circ = -F \sin\theta^\circ$. ب. | $F \cos(90-\theta)^\circ = F \sin^\circ, F \cos\theta^\circ$. أ. |
| $F \cos(90+\theta)^\circ = -F \sin\theta^\circ, F \cos\theta^\circ$. د. | $F \cos(\theta-90)^\circ = F \sin\theta^\circ, F \cos\theta^\circ$. ج. |
| $1.05 \frac{m}{s^2}$ (4) السؤال | $2270 N$ (3) السؤال |
| $691 N, 35.2 N$ (7) السؤال | $63.9 N, 21.8 N$ (6) السؤال |
| | $8.66 N$ (5) السؤال |

| | |
|--|---|
| السؤال (8) أ. | $5.74 N$ |
| حالة (ب) مركبة القوة المطبقة تضاف إلى $10 \cos 35^\circ$ بينما في الحالة (ج) تطرح. | |
| السؤال (10) | $113 N, 41.0 N$ |
| | $26.6^\circ, 559 N$ |
| السؤال (11) | $74.9 N, 83.5$ |
| السؤال (12) أ. | لمنع اللوح من الانزلاق إلى أسفل المنحدر |
| | $176 N$. ب). |
| السؤال (13) | 52.3 |
| السؤال (14) | $4620 N, 470 N$ |

ثانياً: إجابات الفصل الثاني: الاحتكاك

A-2 تمارين

| | |
|--|---|
| السؤال (1) أ. | $Q - P$) في اتجاه القوة التي مقدارها $Q N$. |
| ب). | $Q - P$) 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) | $5900 N$. أ. |
| في الحالتين أ، بقىقارب في حالة السكون. بـ على وشك الحركة جـ. يتحرك بعجلة | $6000 N$. جـ. |
| 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) | $28.1 cm$ |

B-2 تمارين

| | |
|-------------|----------------------------------|
| السؤال (1) | $\mu = 0.4$ في اتجاه حركة القطار |
| 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) | $2.44 \frac{m}{s}, 16914N$. أ. |
| السؤال (9) | $1.49 s, 4.1 m$ |
| السؤال (10) | 0.733 |

ثالثاً: إجابات الفصل الثالث: الحركة بفعل الجاذبية

A-3 تمارين

| | | | | |
|-----------------|------------|--------------------------------------|------------|---|
| 9.8 m | السؤال (3) | $14.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (2) | السؤال (1) | $45 \text{ m} , 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ |
| | | $17.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (5) | السؤال (4) | 14.7 m |

B-3 تمارين

| | | | | |
|---|------------|--|--|---------------------|
| $21.0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (3) | السؤال (1) | $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ إلى أعلى | 30 m | السؤال (2) |
| 0.6 s (6) | السؤال (3) | 24.2 m | 2.65 s (4) | السؤال (4) |
| $\frac{m}{\text{s}}, 3.6 \text{ s}$ (9) | السؤال (5) | $16.0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (7) | $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (8) | السؤال (6) |
| | | 15 m | $13.9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (10) | السؤال (7) |
| | | 2.59 s | 2.59 s (11) | السؤال (8) |
| | | | 1.1 s (12) | السؤال (9) |
| | | | $4.05 \text{ m}, 9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (13) | السؤال (10) |
| | | | 6 s (14) | السؤال (11) |
| | | | | 61.25 m . |

C-3 تمارين

| | | | | |
|---|------------|--|------------|---|
| $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}, 4 \text{ s}$. (ج). | السؤال (1) | $\frac{4}{3} \text{ s}, 8 \text{ m}$. (ب). | السؤال (2) | $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, 9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. (أ). |
| $7.5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, 50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (3) | السؤال (3) | $7.5 \text{ s}, 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}, 30 \text{ m}, 8 \text{ s}, 24 \frac{\text{m}}{\text{s}}, 48 \text{ m}$ (2) | السؤال (4) | $30 \frac{\text{m}}{\text{s}}, 45 \text{ m}$ (4) |
| $3.6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. (ب). | السؤال (5) | $0.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, 0.5 \text{ s}$ كل منها أصغر و | السؤال (6) | $(10-\nu) \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}, 14 \frac{\text{m}}{\text{s}}, 1.4 \text{ s}$ (5) |
| $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. (ب). | السؤال (7) | | السؤال (7) | $8.4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, 20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, \frac{1}{160} \text{ m}$ (6) |
| | | $11.6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. (أ). | | $1.6 \text{ s}, 3.7 \text{ m}$ (7) |
| | | | | ج). أقل من 3.7 m (أ). |

رابعاً: إجابات الفصل الرابع: قانون نيوتن الثالث

A-4 تمارين

السؤال (1) الوزن $80 N$ و $100 N$ على التوالي وقوة الاتصال العمودية $80 N$ إلى أعلى على القفص العلوي، $80 N$ إلى أسفل و $180 N$ إلى أعلى على القفص السفلي.

السؤال (2) أ). $200 N$ إلى أعلى. ب). $200 N$ إلى أسفل. ج). $1200 N$ إلى أعلى.

السؤال (5) د). $375 N - ii$. i). $750 N$

السؤال (4) 780 N

السؤال (6) 42

السؤال (7) 800 N. 500 N. 400 N إلى الأمام والذى يبدو أن السيارة تكون مدفوعة من الخلف.

السؤال (8) أ). $W \sin \alpha^\circ$. ج). $W \cos \alpha^\circ$.

السؤال (8) ب). $W \sin \alpha^\circ$. د). $2W \tan \alpha^\circ$.

B-4 تمارين

السؤال (1) أ). $10 N, 10 N, 20 N$. ج). $15 N, 10 N$ إلى أعلى الميل.

السؤال (1) ب). $55.4 N, 35.4 N$. د). $2.32 N, 17.3 N$. ه). $7.5 N, 7.5 N$.

السؤال (2) $10 kg$

السؤال (4) أ). $0.769 \frac{m}{s^2}$. ج). $2.5 \frac{m}{s^2}$. ب). $1.67 \frac{m}{s^2}$.

السؤال (4) د). $6.15 \frac{m}{s^2}$. و). $0.464 \frac{m}{s^2}$. ه). $3 \frac{m}{s^2}$.

السؤال (5) $7.69 N, 30.8 N, 2.31 \frac{m}{s^2}$

السؤال (6) أ). $3:1$. ب). $1.25 \frac{m}{s^2}$. ج). $0.625 \frac{m}{s^2}$.

السؤال (8) إذا كانت $M > m$. د). $\frac{(M-m)g}{M+m}$. ب). $0.2 m \leq M \leq m$

السؤال (8) إذا كانت $M < 0.2 m$. ه). $\frac{(0.2m - M)g}{M+m}$

C-4 تمارين

السؤال (1) أ). $170 N, 0.08 \frac{m}{s^2}$. ب). $170 N, 0.48 \frac{m}{s^2}$

السؤال (2) 50 N, 250 N

- ب). $0.05 \frac{m}{s^2}$ العجلة تتسارعية ، $37.5 N$.
 د). $0.175 \frac{m}{s^2}$ $6.25 N$ الشد
 و). $0.25 \frac{m}{s^2}$ ضغط $12.5 N$.

- أ). $0.05 \frac{m}{s^2}$ العجلة تتسارعية ، $62.5 N$.
 ج). $0.156 \frac{m}{s^2}$ العجلة تتسارعية ، $10.9 N$.
 ه). $0.2 \frac{m}{s^2}$ صفر (0)

$$\frac{F-(P+Q)}{M+m} + g \sin \alpha^\circ$$

: إجابات الفصل الخامس: الشغل والطاقة والقدرة

A-5 تمارين

| | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| السؤال (1) $5.21 \times 10^6 J$ | السؤال (2) $300 kJ$ | السؤال (3) $1620 J$ |
| | ه). $6.4 \times 10^8 J$ | د). $1600 J$ |
| السؤال (4) $4 N$ | السؤال (5) $700 J, 0 J, 0 J, 700 J$ | السؤال (6) $1127.6 J$ |
| السؤال (7) $8N, 240 J$ | السؤال (8) $50 N$ | السؤال (9) $20 N$ |
| | السؤال (10) $4800 J$ | السؤال (11) $5435.2 J$ |
| | | السؤال (12) $105 N$ |

B-5 تمارين

| | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| السؤال (1) $112.5 W$ | السؤال (2) $33.3 kW$ |
| السؤال (3) $880 W$ | السؤال (4) $16 kW$ |
| السؤال (5) $7.8 kW$ | السؤال (6) 30.7° |
| السؤال (7) $0.433 \frac{m}{s^2}$ | السؤال (8) $2.5 \frac{m}{s^2}$ |
| السؤال (9) $2.432 s$ | السؤال (10) $2.432 s$ |

سادساً : إجابات الفصل السادس: طاقة الوضع

تمارين A-6

| | | | | | |
|--------------------|------------|---------------|------------|----------------------|------------|
| $12.2 \frac{m}{s}$ | السؤال (3) | $5 m, 40J$ | السؤال (2) | $400 J$ | السؤال (1) |
| $9.8 m$ | السؤال (6) | 16.33° | السؤال (5) | $2.08 \times 10^6 J$ | السؤال (4) |
| | | $160 W$ | السؤال (8) | $8.75 m$ | السؤال (7) |
| | | | | $1.456 m$ | السؤال (9) |

تمارين B-6

| | | | | | |
|----------------------------|------------|-----------|----------------|--------------------------------|----------------|
| $3.84 \frac{m}{s}, 1.22 m$ | السؤال (3) | $0.325 m$ | السؤال (2) | $2.55 \frac{m}{s}$ | السؤال (1) |
| | | $2.07 m$ | السؤال (4) بـ. | $1.47 \frac{m}{s}$ | السؤال (4) أـ. |
| $13.23 \frac{m}{s}$ | السؤال (6) | | | $1.33 N, 0.8 J, 2 \frac{m}{s}$ | السؤال (5) |