دولة ليبيا

وزارة التربيـة والتعليـم

مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية

الفيزياء

للسنة الأولى من مرحلة التعليم الثانوي

وزارة التربيـة والتعليـم
مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية

الطبعة السادسة 2014 م

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

1435 - 1436 هـ
2014 - 2015 م

تمهيد

يُقسَّم محتوى هذه السلسلة إلى أجزاء تغطي الفيزياء العامة، والميكانيكا، والفيزياء الحرارية، وخواص الموجات، والكهرباء والمغناطيسية، والفيزياء الذرية. وتم التركيز في جميع أجزاء السلسلة على المفاهيم العلمية، وعمليات حل المشكلات ابتكاريًّا، ومهارات التفكير العليا. وللوحدات في كل جزء الملامح المفيدة التالية:

- **منظمات**: توجد في بداية كل وحدة لاستثارة حس الطالب لبعض النواحي المهمة في الموضوع قبل دراستها. ولقد أوضحت البحوث أن هذه المنظمات تساعد الطالب على معالجة المعلومات بدقة أكبر أثناء قراءتها.
- **نتائج التعلم**: تكتب كقائمة في بداية كل وحدة حتى يعرف الطالب ما ينبغي تعلمه في الوحدة. ويمكن للطالب أيضًا استخدامها لمراجعة ما تعلمه.
- **أمثلة محلولة وتجارب**: صُمِّمت لمساعدة الطالب على فهم وتطبيق كل من المفاهيم النظرية والعملية لحل المشكلات.
- **التمارين**: توجد في نهاية كل وحدة في شكل أسئلة اختيار من متعدد وأسئلة تركيبية لتقويم الذات.
- **خريطة مفاهيم**: تمد الطالب بملخص مصور عن الوحدة.

وقد دُمِجَت مهارات التفكير، وتقانة المعلومات، ورسائل التربية الوطنية في المحتوى من خلال السمات التالية:

- **التحديات، وأسئلة التقويم الذاتي، وركن التفكير** تعمل على غرس مهارات التفكير النقدي بتشجيع الطالب على تأمل، ومعالجة، وتطبيق ما تعلمه.
- **أنشطة على شبكة الإنترنت، ومعامل تقانة المعلومات** ويُحث الطالب على استخدام شبكة الإنترنت وبرامج الحاسوب لاستكشاف كل موضوع استكشافًا إضافيًّا ولإثراء معرفته. ويوصف بالإضافة لذلك استخدام جهاز تسجيل البيانات في بعض التجارب.
- **التربية الوطنية**: تتطلب أنشطتها من الطالب بحث التحديات والمشاكل التي تواجه المجتمع، وتطبيق مفاهيم الفيزياء في حلها.

إن عناوين مواقع شبكة الإنترنت «URLs» المستخدمة في هذا الكتاب، بما فيها المواقع الجديدة ، يتم تحديثها وإدخالها في الموقع <http://www.teol.com.sg>.

ونأمل أن يساعد هذا الكتاب على جعل دراسة الفيزياء تجربة ممتعة إثرائية. ونرحب بالتعليقات البناءة من الطلاب، والمعلمين، والقراء الآخرين حتى يمكن تحسين الطبعات اللاحقة.

المحتويات

تمهيد

الجزء الأول : الفيزياء العامة

الوحدة الأولى : قياس الكميات الفيزيائية		1
1–1	الكميات الفيزيائية، ووحدات القياس في النظام الدولي	2
2–1	بوادئ وحدات القياس في النظام الدولي	3
3–1	قياس الطول	4
4–1	قياس الزمن	7
5–1	معمل تقانة المعلومات	11
	خريطة مفاهيم	12
	ركن التفكير	13
	التمرين الأول	14
الوحدة الثانية : السرعة القياسية والسرعة الاتجاهية و العجلة (التسارع)		16
1–2	المسافة والإزاحة	17
2–2	السرعة القياسية والسرعة الاتجاهية	17
3–2	التمثيل البياني للعلاقة بين الإزاحة والزمن	20
4–2	العجلة (التسارع)	22
5–2	التمثيل البياني للعلاقة بين السرعة الاتجاهية والزمن	23
6–2	عجلة (تسارع) السقوط الحر (g)	27
7–2	معمل تقانة المعلومات	28
8–2	السرعة الاتجاهية النهائية	29
	خريطة مفاهيم	31
	ركن التفكير	32
	التمرين الثاني	33
الوحدة الثالثة : القوى		36
1–3	طبيعة القوة	37
2–3	الكميات القياسية والكميات المتجهة	38
3–3	تأثيرات القوى على الحركة	42
4–3	معمل تقانة المعلومات	44
5–3	القانون الثالث لنيوتن عن الحركة	45
6–3	القوى المتوازنة وغير المتوازنة	47
	خريطة مفاهيم	50
	ركن التفكير	51
	التمرين الثالث	52
الوحدة الرابعة : الكتلة، والوزن، والكثافة		54
1–4	القصور الذاتي، وقياس الكتلة والوزن	55
2–4	قياس الكثافة	59
	خريطة مفاهيم	62

ركن التفكير 63
التمرين الرابع 64

الوحدة الخامسة: التأثير الدوّار للقوى 65
5–1 العزوم 66
5–2 مركز الثقل والثبات 70
خريطة مفاهيم 75
ركن التفكير 76
التمرين الخامس 77

الوحدة السادسة: الشغل، والطاقة، والقدرة 79
6–1 الشغل 80
6–2 الطاقة 82
6–3 معمل تقانة المعلومات 89
6–4 القدرة 90
خريطة مفاهيم 93
ركن التفكير 94
التمرين السادس 95

الوحدة السابعة: الضغط 97
7–1 الضغط 98
7–2 الضغط الجوي 99
7–3 استخدام الضغط الجوي 99
7–4 الضغط في السوائل 100
7–5 انتقال الضغط في السوائل – الأجهزة الهيدروليكية 103
7–6 قياس الضغط الجوي 105
7–7 الضغط الجوي والطقس 107
7–8 قياس ضغط الغاز – المانومتر 108
خريطة مفاهيم 109
ركن التفكير 110
التمرين السادس 111

الإجابات **114**

الملحق: قائمة بمواقع شبكة الإنترنت *(URLs)* **117**

الوحدة 1

قياس الكميات الفيزيائية

Measurement of Physical Quantities

تتناول هذه الوحدة قياس الطول، والحجم، والكتلة، والوزن، والكثافة. وقد قال العالم كلفن ذات مرة: «عندما تستطيع قياس ما تتحدث عنه، والتعبير عنه بالأرقام، فإنك تعرف شيئًا ما عنه، ولكن عندما لا تستطيع قياسه، ولا تستطيع التعبير عنه بالأرقام، فتكاد معرفتك تكون معدومة وغير كافية، وقد تكون بداية المعرفة، ولكن لا تكون أفكارك تقدمت إلى مرحلة العلم أيما كانت المادة».

مخرجات التعلم

في هذه الوحدة سوف:

- ☐ تفهم إن جميع الكميات تتكون من مقدار عددي ووحدة.
- ☐ تتعلم وتتذكر الكميات الأساسية التالية ووحداتها: الكتلة (kg)، الطول (m)، الزمن (s)، شدة التيار (A)، درجة الحرارة (k) كمية المادة (mol).
- ☐ تستخدم البوادئ التالية للكلمات ورموزها لتستدل بها على القاسم الصحيح العشري، ومضاعفات وحدات القياس في النظام الدولي: الميكرو (μ)، المللي (m)، السنتي (c)، الديسي (d)، الكيلو (k)، الميجا (M).
- ☐ تستخدم وتصف كيفية استخدام المقاييس المترية، والميكرومترات، والمقاييس الورنية، والقدمة لتعيين الطول.
- ☐ تستخدم وتصف كيفية استخدام الساعات والأدوات الأخرى لقياس فترة زمنية فاصلة بما فيها الزمن الدوري للبندول.

1 – 1 الكميـات الفيزيائية، ووحـدات القياس في النظام الدولي

Physical Quantities and SI Units

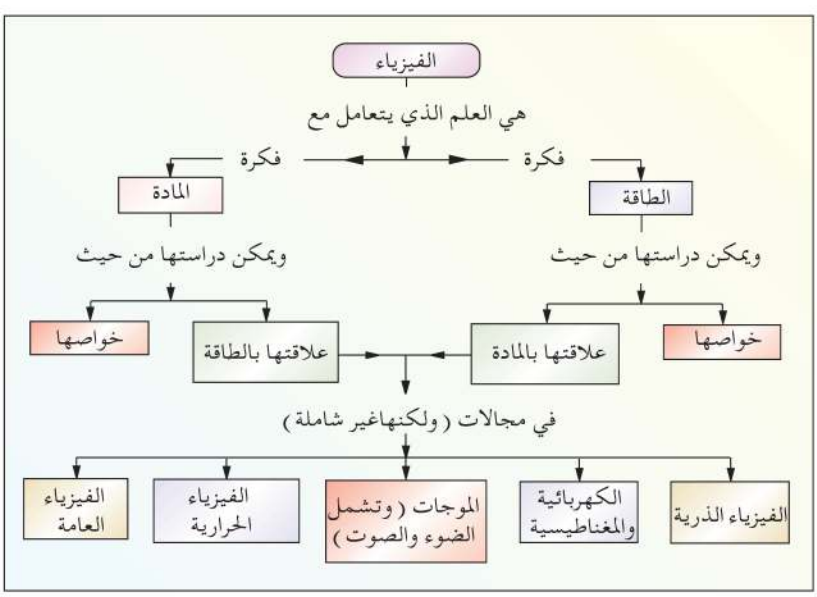
ستدرس في هذا الكتاب أحد فروع العلوم الأساسية: علم الفيزياء.

وتبحث دراسة الفيزياء في معظم العالم الطبيعي من حولنا، وتمتد من الكبير لدرجة فلكية مثل النظام الشمسي إلى الأجسام المجهرية الصغيرة مثل الذرة. ويشـيع تقسـيم دراسـة الفيزياء إلى موضوعات رئيسـة مثل الفيزيـاء العامة، والفيزياء الحرارية، والموجات، والكهرباء والمغناطيسـية، والفيزياء الذرية، إلا إن جميع تلك الموضوعات ترتبط بفكرتين أساسـيتين هما: المادة، والطاقة. ويبين(شكل 1 – 1)خريطة مفاهيم بسيطة للفيزياء.

إن ما نعرفه من علم الفيزياء هو نتاج جهود علماء كثيرين قاموا بوضع نظريـات، واختبروا صحتهـا عن المادة والطاقة. ونختبـر صحة النظريات بإجـراء التجـارب. وأحـد الأشـياء التي ينبغـي عملهـا للحصول على نتائج موثوق بها من التجارب هو أداء القياسـات بدقة. ولهذا بدأنا هذا الكتاب بالتعرف على بعض الطرق التي يمكن استخدامها للحصول على القياسات الدقيقة للكميات الفيزيائية.

وتوجـد العديد مـن الكميـات الفيزيائيـة منها: الكتلـة، والطول، والزمن، والسـرعة، والتيار الكهربائي، ودرجـة الحرارة، ويرتبط معظمها بعلاقات فيما بينها. فترتبط على سـبيل المثال الكمية الفيزيائية للسرعة باثنتـين من الكميات الفيزيائية الأخرى، هما الطول والزمن. ويبلغ عدد الكميات الفيزيائية الأساسـية سـبع كميات، والكتلة، والطول، والزمن ثلاث منها فقط. وتشـتق جميع الكميات الأخرى من الكميات السـبع الأساسية؛ لذا فإن السرعة في المثال السابق هي كمية مشتقة من الكميتين الأساسيتين: الطول والزمن.

وكان للكميات الفيزيائية في الماضي أنواعًا مختلفة كثيرة من الوحدات. ويتبنـى العلماء الآن مجموعـة واحدة من الوحدات هـي وحدات النظام الدولي والمشـتقة من النظام الفرنسـي (النظام الدولي لوحدات القياس). ويبين جدول 1 – 1 الكميات السـبع الأساسـية، ووحدات القياس الدولية المناظرة (انظر الجدول 1 – 2 الخاص ببوادئ وحدات القياس).



شكل 1 – 1 ما هي الفيزياء؟

نشاط على شبكة الإنترنت

اقـرأ المزيـد عـن وحـدات القياس فـي النظام الدولي على شـبكة الإنترنت، حيث يمكنك البحـث عن عبارة «وحدات القياس في النظام الدولـي» "SI Units" أو زيارة الموقع التالي على شبكة الإنترنت.
<http://physics.nist.gov/cuu/units/index.html>

جدول 1 – 1 الكميات والوحدات الأساسية في النظام الدولي

الكمية الفيزيائية الأساسية	اسم الوحدة الأساسية	رمز الوحدة
الطول	المتر	m
الكتلة	الكيلو جرام	kg
الزمن	الثانية	s
التيار الكهربائي	الأمبير	A
درجة الحرارة الديناميكية الحرارية	كلفن	K
الشدة الضوئية	قنديلة	cd
كمية المادة	مول	mol

ستدرس خمس فقط من هذه الكميات السبع خلال دراستك الثانوية: الطول، والكتلة، والزمن، والتيار الكهربائي، ودرجة الحرارة. وسيركز هذا الفصل على الكميتين الفيزيائيتين الأساسيتين: الطول والزمن.

1 – 2 بوادئ وحدات النظام الدولي
Prefixes for SI Units

تعتبر البوادئ المسجلة في جدول 1 – 2 مفيدة جدًّا في التعبير عن بعض الكميات الفيزيائية التي تكون إما كبيرة جدًّا أو صغيرة جدًّا. فإذا أردنا على سبيل المثال التحدث عن المسافة بين جزيئات الهواء، فإننا نتحدث عن مسافات صغيرة جدًّا، أي حوالي 0.000 00001 m بوحدات النظام الدولي. فإذا أردنا ذكر تلك الكمية عددًا من المرات، فيجب توخي الحذر للإبقاء على عدد الأصفار كما هو كل مرة، ويمكن استخدام صيغة البوادئ للتعبير عن الرقم 0.000 00001 m كالتالي: 0.01 μm حيث إن البادئة ميكرو μ تمثل القاسم الصحيح 10^{-6}، ويمكن بالطبع استخدام طريقة أخرى ملائمة ومقبولة للتعبير عنه بالصيغة النموذجية حيث

$$0.000\ 00001\ m = 1 \times 10^{-8}\ m$$

جدول 1 – 2 بعض البوادئ شائعة الاستخدام في وحدات النظام الدولي

	البادئة	الرمز
10^{6}	ميجا	M
10^{3}	كيلو	k
10^{-1}	ديسي	d
10^{-2}	سنتي	c
10^{-3}	ميللي	m
10^{-6}	ميكرو	μ

على سبيل المثال:
واحد كيلو متر، (km) يساوي $1 \times 10^{3}\ m$
واحد ميللي أمبير، (mA) يساوي $1 \times 10^{-3}\ A$
ثلاثة ميجا جول، (MJ) يساوي $3 \times 10^{6}\ J$
ستة ميكروكولوم، (μC) يساوي $6 \times 10^{-6}\ C$

3 – 1 قياس الطول
The Measurement of Length

وحدة الطول في النظام الدولي هي المتر (m) .

إن وحدة الطول في النظام الدولي هي المتر (m) .
وعند قياس الطول يجب اختيار أداة مناسبة للطول المطلوب قياسه .
ويلخص جدول 1 – 3 الأدوات شائعة الاستخدام، والأطوال المناسبة لقياسها .

جدول 1 – 3 الأدوات المستخدمة لقياس الطول

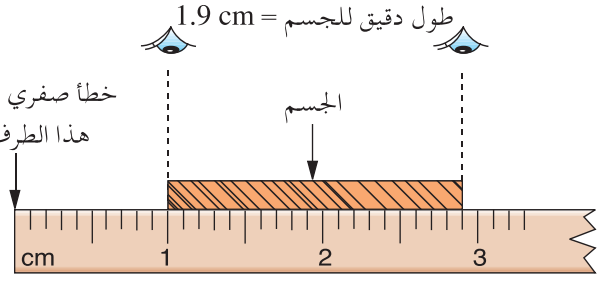
الطول المراد قياسه	الأداة المناسبة	دقة القياس
عدة مترات (m)	شريط القياس / الشريط المدرج	0.1 cm
عدة سنتيمترات (cm) إلى متر واحد (1 m)	مسطرة طولها متر واحد أو نصف متر	0.1 cm
ما بين 1 cm ، 10 cm	القدمة ذات الورنية	0.01 cm (عادة)
أقل من 2 cm	الميكرومتر	0.01 mm (أو 0.001 cm)

المسطرة المترية

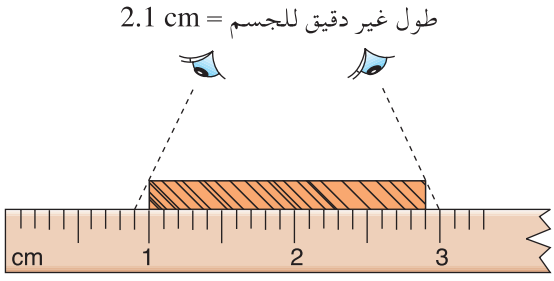
يشيع استخدام هذه الأداة في المعمل لقياس أطوال الأجسام مثل الأسلاك أو المسافة بين نقطتين . وعند استخدام المسطرة المترية، يُفضل البدء بالقياس من علامة 1 cm ثم طرح 1 cm من القراءة عند الطرف الآخر . والسبب في ذلك وجود علامة الصفر عند طرف المسطرة، وينتج عن كثرة استخدام المسطرة المترية تهالك علامة الصفر، مما يؤدي إلى ضرورة التخلي عن استخدام تلك العلامة واعتبارها غير ملائمة للقياس .

وللحصول على قياس دقيق، يجب إن تكون العين في مستوى رأسي فوق علامة القراءة (انظر شكل 1 – 3) لتجنب أخطاء اختلاف الرؤية (اختلاف الشكل الظاهري نتيجة لمكان الناظر)، والذي يؤدي بدوره إلى قياس غير دقيق (انظر شكل 1 – 4) .

شكل 1 – 2 المسطرة المترية ونصف المترية



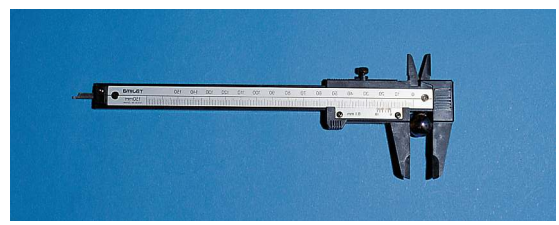
شكل 1 – 3 قياس دقيق



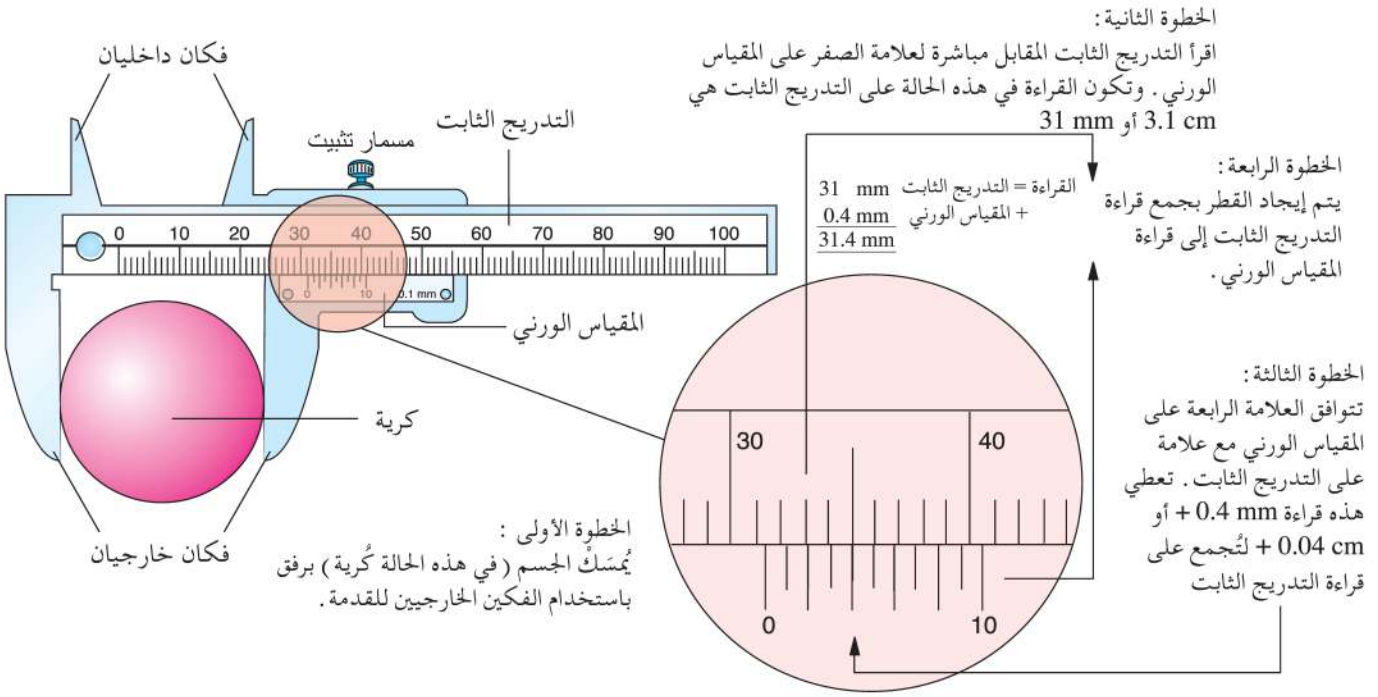
شكل 1 – 4 قياس غير دقيق

القدمة ذات الورنية

القدمة ذات الورنية أداة يشيع استخدامها للقياس الدقيق حتى ±0.1 mm أو ±0.01 cm . ويمكن باستخدامها (انظر شكل 1 – 6) الحصول على القيمة العشرية المكانية الثانية بالسنتيمتر دون الحاجة إلى تقدير الكسور في عملية قسمة باستخدام العين .


شكل 1 – 5 القدمة ذات الورنية

ويبين شكل 1 – 6 استخدام القدمة ذات الورنية لقياس قطر كُرية.



شكل 1 – 6 استخدام القدمة ذات الورنية

تقيس القدمة ذات الورنية بدقة تصل إلى 0.01 cm.

وتحتوي أيضًا القدمة ذات الورنية على فكين داخليين، والتي تستخدم لقياس الأقطار الداخلية للأنابيب والأواني. إن إجراءات قراءة التدريج الثابت هي نفس إجراءات قراءة المقياس الورني.

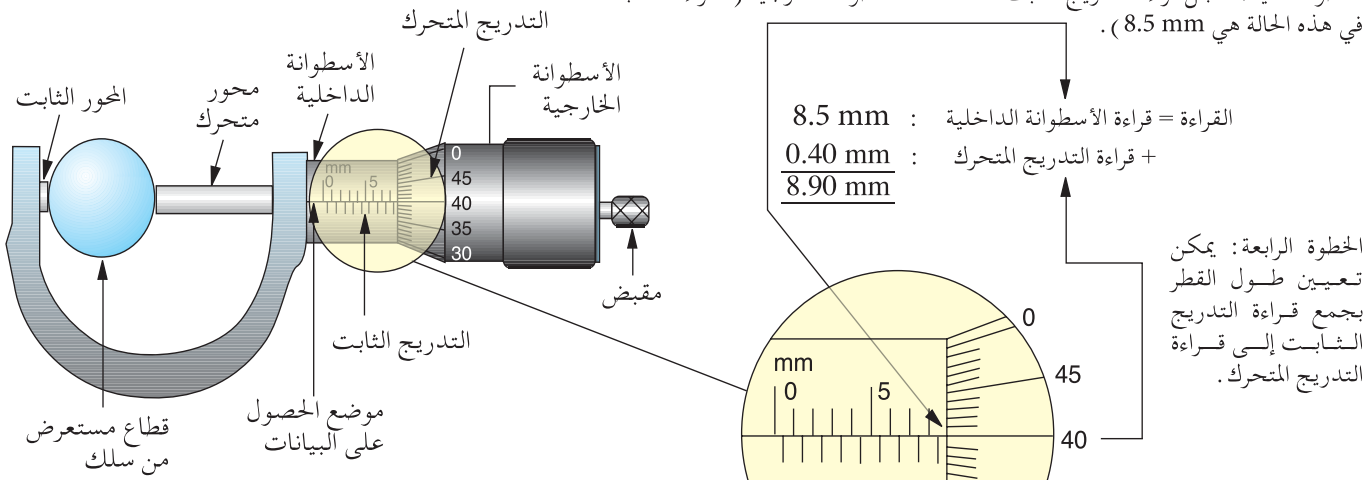
نشاط على شبكة الإنترنت

اختبر قدرتك على قراءة المقياس الورني في هذا الموقع على شبكة الإنترنت
<http://socrates.moe.edu.sg/schools/scgs/ntnujara/ruler/vernier.html>

المقياس ذو اللولب الميكرومتري (الميكرومتر)

يعطي المقياس ذو اللولب الميكرومتري قياسات دقيقة جدًّا للطول حتى 25 mm، وله دقة قياس ±0.01 mm (أو 0.001 cm). ويبين(شكل 1 – 7)الملامح الرئيسة لتلك الأداة واستخدامها، كما يبين(شكل 1 – 8)طريقة قياس قطر جسم ما (في هذه الحالة، قطاع عرضي أو قطر قضيب).

شكل 1 – 7 المقياس ذو اللولب الميكرومتري



شكل 1 – 8 استخدام المقياس ذو اللولب الميكرومتري

من الضروري فحص الميكرومتر للتأكد من عدم وجود أي خطأ صفري قبل وضع الجسم المراد قياس طول قطره بين المحور الثابت والمحور المتحرك، أدر الأسطوانة الخارجية حتى يتلاقى كل من المحور الثابت والمحور المتحرك، فإذا كانت علامة الصفر على التدريج المتحرك مقابلة لخط البيانات على التدريج الثابت (انظر شكل 1 – 9)، نستطيع القول بأنه لا يوجد أي خطأ صفري . أما إذا لم تقع علامة الصفر على الأسطوانة الخارجية في مواجهة خط البيانات على التدريج الثابت مباشرة، كما في شكلي 1 – 10، 1 – 11، فيمكن قول إن بهذه الأداة خطأ صفري .

بالنسبة لشكل 1 – 10 فإن الخطأ الصفري يساوي 0.03 mm+، بمعنى إن جميع القياسات (كما في حالة شكل 1 – 8) يجب إن تقل بمقدار 0.03mm . وبالتالي فإن القيمة التي حصلنا عليها من شكل 1 – 8 ستصبح [8.90 - (+0.03)] mm = 8.87 mm
نتيجة الخطأ الصفري المساوي لـ 0.03 mm+ .

وأما بالنسبة لشكل 1 – 11، فإن الخطأ الصفري يساوي 0.03 mm-، بمعنى إن جميع القياسات (كما في حالة 1 – 8) لابد من زيادتها بمقدار 0.03 mm . ومن المتوقع إن تصبح القيمة التي نحصل عليها من شكل 1 – 8 هي [8.90 - (-0.03)] mm = 8.93 mm
نتيجة للخطأ الصفري الذي يساوي 0.03 mm- .

أسئلة التقويم الذاتي

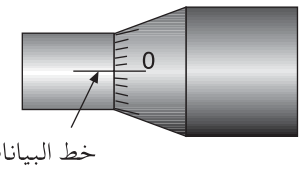
(أ) كيف تتجنب أخطاء اختلاف الرؤية (اختلاف الشكل الظاهري نتيجة لمكان الناظر) عند قياس الطول باستخدام مسطرة مترية؟

(ب) أين يمكنك القراءة على القدمة ذات الورنية للحصول على قراءة التدريج الثابت؟

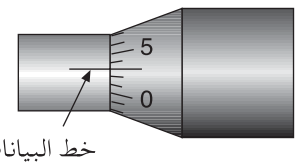
(جـ) أين يمكنك القراءة على القدمة ذات الورنية للحصول على قراءة المقياس الورني؟

(د) ما أقل قراءة يمكن تسجيلها (بالملليمتر) على التدريج المتحرك؟ وما أكبر قراءة يمكن تسجيلها؟

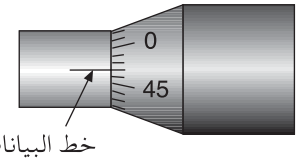
يقيس الميكرومتر بدقة حتى 0.01 mm



شكل 1 – 9 لا يوجد أي خطأ صفري



شكل 1 – 10 يوجد خطأ صفري بمقدار 0.03 mm+. ولابد من تقليل جميع القياسات بمقدار 0.03 mm



شكل 1 – 11 يوجد خطأ صفري بمقدار 0.03 mm- ولابد من زيادة جميع القياسات بمقدار 0.03 mm

1 – 4 قياس الزمن
The Measurement of Time

وحدة قياس الزمن في النظام الدولي هي الثانية (S)

يقاس الزمن بالأعوام، والشهور، والأيام، والدقائق، والثواني . ووحدة قياس الزمن في النظام الدولي هي الثانية (S) . ونتيجة للمدى الواسع للفترات الزمنية التي نريد قياسها، نكون في حاجة لأنواع مختلفة من ساعات الحائط واليد . ويبين جدول 1 – 4 بعض الأنواع المفيدة من الساعات المستخدمة الآن .

جدول 1 – 4 بعض الأنواع المفيدة من الساعات

نوع الساعة	الاستخدام والدقة
1– الساعة الذرية	تقيس فترات زمنية قصيرة جدًّا تصل لحوالي 10^{-10} ثانية
2– ساعة الإيقاف الرقمية	تقيس فترات زمنية قصيرة (بوحدات الدقيقة والثانية) بدقة تبلغ ± 0.01 s .
3– ساعة الإيقاف القياسية	تقيس فترات زمنية قصيرة (بوحدات الدقيقة والثانية) بدقة تبلغ ± 0.1 s .
4– أداة توقيت دقاقة	تقيس فترات زمينة قصيرة تصل لـ 0.02 من الثانية .
5– ساعة اليد	تقيس فترات زمنية طويلة بالساعات، والدقائق، والثواني .
6– ساعة ذات بندول (رقاص)	تقيس فترات زمنية طويلة بالساعات، والدقائق، والثواني .
7– ساعة الاضمحلال الإشعاعي	تقيس (بالسنين) عمر آثار / رفات منذ آلاف السنين .

وسنركز في هذه الوحدة على ساعات اليد وساعات الحائط ذات البندول التي تستخدم في قياس فترات زمنية طويلة . وسنركز أيضًا على ساعات الإيقاف، وساعات التوقيت الدقاقة (أداة توقيت ذات شريط ورقي يطبع عليه الوقت)، والتي تستخدم لقياس فترات زمنية قصيرة . ولجميع أنواع الساعات المذكورة آنفًا صفة واحدة مشتركة : تعتمد جميعها على حدث أو عملية ما منتظمة مثل الحركة المتكررة (كما في البندول المتحرك)، أو الحركة الاهتزازية (كما في بلورات الكوارتز المستخدمة في ساعات اليد أو ساعات الإيقاف) . وتعرف مثل تلك الحركة المتكررة أو الاهتزازية بالذبذبات، كما يعرف الزمن المستخدم لقياس ذبذبة واحدة كاملة بالزمن الدوري .

تجربة 1 – 1

لتعيين العلاقة بين الزمن الدوري، وطول البندول البسيط .

الجهاز : خيط طويل، ثقل (بندول)، مسطرة مترية، سدادة من الفلين مشقوقة، ساعة إيقاف، حامل بمشبك ورأس ملساء .

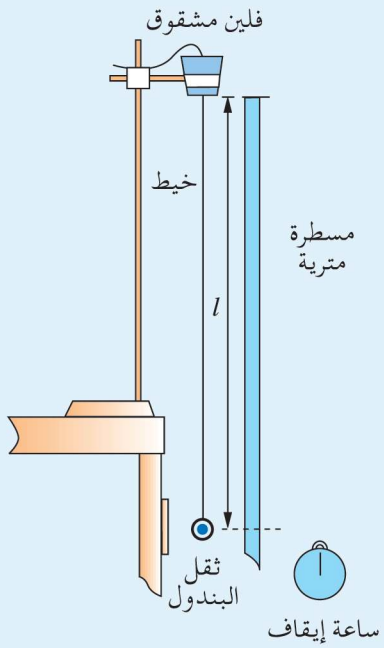
الإجراء : **1–** جهز الجهاز كما هو مبين بالشكل 1 – 12 .

2– قس طول البندول (l) (وليكن 90 cm) باستخدام المسطرة المترية .

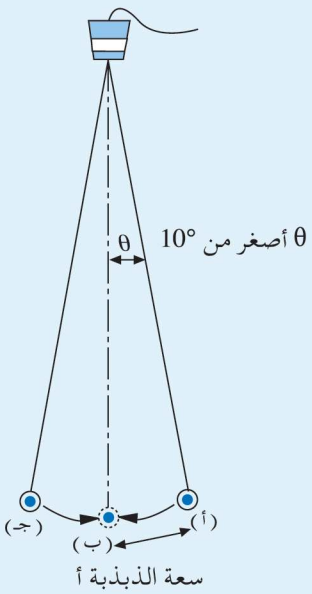
3– أزح ثقل البندول عن موضع سكونه الأصلي بزاوية (θ) أصغر من $10°$ (انظر شكل 1 – 13)، ثم اتركه يتذبذب . يتذبذب البندول ذبذبة كاملة من (أ) إلى (جـ) ثم يعود إلى (أ) مرة أخرى، أو من (جـ) إلى (أ) ثم يعود مرة أخرى إلى (جـ) . وتعرف أقصى مسافة من النقطة المتوسطة (ب) إلى (أ) أو (جـ) بسعة الذبذبة .

4- مستخدمًا ساعة الإيقاف سجل زمن 20 ذبذبة كاملة وليكن t_1. ثم كرر هذه الخطوة لتسجيل زمن 20 ذبذبة كاملة أخرى وليكن t_2. (يجب إن تكون قيم t_1، t_2 متقاربة) ثم احسب متوسط الزمن $<t>$. ودوِّن نتائج القياس في جدول 1 كما هو مبين أسفل، ثم احسب الزمن الدوري T باستخدام الصيغة

الزمن الدوري يساوي $\frac{\text{متوسط الزمن}}{20}$ أي $T = \frac{<t>}{20}$



شكل 1 – 12



شكل 1 – 13

جدول 1

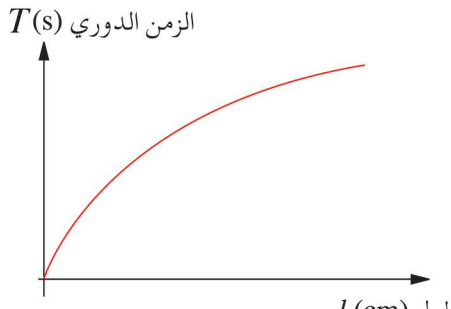
الطول l (cm)	زمن 20 ذبذبة			الزمن الدوري T (s)
	t_1 (s)	t_2 (s)	$<t>$ (s)	
90.0 . . 40.0				

5- غَيِّرْ طول الخيط l من 90 cm إلى قيم أخرى مثل 80 cm، 70 cm، 60 cm، 50 cm، 40 cm ثم كرر الخطوتين 3، 4 مستخدمًا أطوالًا مختلفة للخيط.

6- ارسم علاقة بيانية للزمن T مقابل الطول l. ويبين شكل 1 – 14 مجموعة نموذجية من النتائج.

الاستنتاج: من العلاقة البيانية l مقابل T في شكل 1 – 14 نستنتج إن الزمن الدوري T يزداد بزيادة طول البندول البسيط l. ومع ذلك لا تكون هذه الزيادة علاقة خطية.

يزداد الزمن الدوري T للبندول بزيادة الطول l



شكل 1 – 14

تجربة 1 – 2

لتحديد العلاقة بين الزمن الدوري وسعة الذبذبة للبندول البسيط .

الجهاز: كما في التجربة 1 – 1

الشكل: كما في التجربة 1 – 1

الإجراء: **1**– ركب الجهاز كما هو مبين في شكل 1 – 12 .

2– ثبت طول l البندول، وليكن 80 cm .

3– غَيِّرْ سعة الذبذبة (A) من 2 cm إلى 12 cm على خطوات بمعدل 2 cm لكل مرة .

4– حَرِّكْ ثقل البندول ليتذبذب لكل قيمة مختارة من قيم سعة الذبذبة، ثم سجل زمن 20 ذبذبة كاملة .
سَجِّل الزمن الذي يستغرقه البندول t_1، ثم كرر تلك الخطوة مرة أخرى بتعيين 20 ذبذبة كاملة أخرى، وليكن t_2، ثم احسب متوسط الزمن $<t>$، وأوجد الزمن الدوري T مستخدمًا الصيغة

$$T = \frac{<t>}{20}$$

ثم سجل النتائج في الجدول التالي :

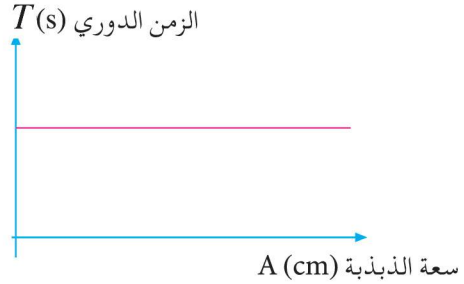
الطول الثابت لخيط البندول = 80 cm

سعة الذبذبة A (cm)	زمن 20 ذبذبة كاملة			الزمن الدوري T (s)
	t_1 (s)	t_2 (s)	$<t>$ (s)	
2				
4				
6				
8				
10				
12				

5– ارسم العلاقة البيانية للزمن الدوري T مقابل سعة الذبذبة A . ويبين شكل 1 – 15 نتيجة نموذجية .

الاستنتاج: من العلاقة البيانية T مقابل A في شكل 1 – 15 نستنتج إن الزمن الدوري T لا يعتمد على سعة الذبذبة A عند حساب قيم صغيرة للسعة .

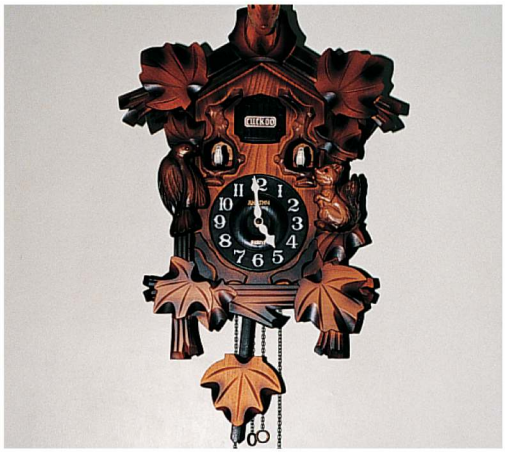
لا يعتمد الزمن الدوري T للبندول على سعة الذبذبة .



شكل 1 – 15

ساعة الحائط ذات البندول

تستخدم هذه الساعة لتسجيل فترات زمنية طويلة، وتعطينا الساعة، والدقيقة، والثانية في أي لحظة من اليوم. وتستمد الطاقة اللازمة لإبقاء البندول متأرجحًا إما من الطاقة الكامنة المرنة المخزنة في زنبرك ملتف داخل الساعة، أو من الطاقة الكامنة الجاذبة لكتلة هابطة.



شكل 1 – 16 ساعة الحائط ذات البندول

ساعة اليد

تعتمد معظم ساعات اليد الحديثة في عملها لتسجيل الزمن على اهتزاز بلورات الكوارتز. وتستمد الطاقة اللازمة لتغذية اهتزاز البلورة من بطارية صغيرة. وتستخدم أيضًا تلك الساعات لقياس الفترات الزمنية الطويلة كما في حالة ساعات الحائط ذات البندول. ومع ذلك، لازلنا نستخدم اليوم بعض الساعات التي تعتمد في عملها على زنبرك ملتف، وهو بدوره يتطلب إعادة ملئه كلما استهلكت الطاقة الكامنة المرنة المخزنة فيه.

شكل 1 – 17 ساعات اليد

ساعة الإيقاف

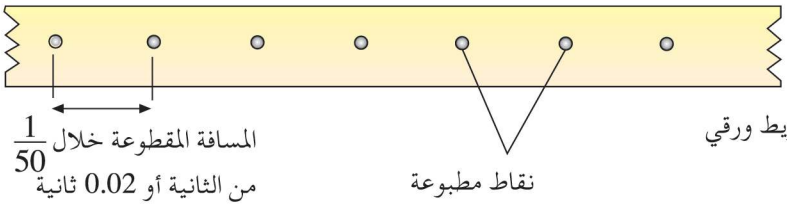
تستخدم ساعات الإيقاف لقياس الفترات الزمنية القصيرة. ويوجد نوعان من ساعات الإيقاف: الرقمية، والقياسية. وتعتبر الرقمية أكثر دقة من القياسية حيث يمكن قراءتها حتى ± 0.01 s على خلاف القياسية التي يمكن قراءتها حتى ± 0.1 s.

ولقياس أي فترة زمنية، يجب تشغيل وإيقاف ساعة الإيقاف باليد. وتتسبب تلك العملية اليدوية في خطأ يسمى **الزمن الدوري لرد فعل الإنسان**، والذي يعتبر كسرًا كبيرًا من الثانية. ويختلف الزمن الدوري لرد الفعل من إنسان لآخر، ويكون عادة للشباب رد فعل زمني أقل من رد الفعل الزمني للكبار. ويكون رد الفعل الزمني لمعظم الناس حوالي 0.3 من الثانية.

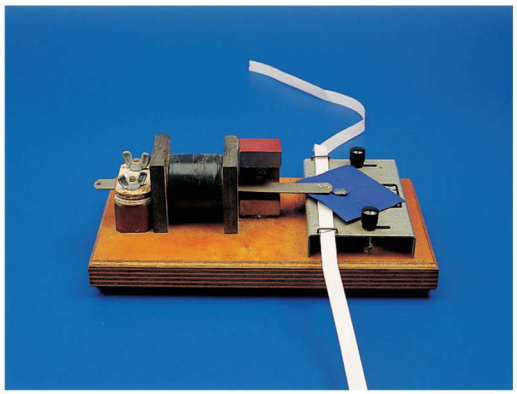
شكل 1 – 18 ساعة الإيقاف

أداة التوقيت الدقاقة (ذات الشريط الورقي)

هي أداة تعمل كهربيًّا، وتسجل فترات زمنية قصيرة من الزمن على شريط في صورة نقاط (انظر شكل 1 – 20). وتتصل الساعة بمصدر للتيار الكهربائي المتردد الذي يجعل الشريط الفلزي المتصل بها يهتز 50 مرة كل ثانية. وباستخدام قرص ورق كربوني، فإن الشريط الفلزي المهتز يجعل الشريط الورقي الذي يُسحب في اتجاه أداة التوقيت، يسجل 50 نقطة في الثانية الواحدة. والفترة الزمنية التي تمضي بين نقطتين متتاليتين هي $\frac{1}{50}$ أو 0.02 من الثانية. وتعتبر هذه الساعة من أنواع الساعات التي تقيس الزمن على فترات (دقات) كل 0.02 من الثانية. أحد التطبيقات المفيدة لذلك النوع من الساعات هو تحديد عجلة (تَسارُع) السقوط الحر g.



شكل 1 – 20 شريط الساعة الدقاقة



شكل 1 – 19 أداة توقيت دقاقة (ذات الشريط الورقي)

أسئلة التقويم الذاتي

كيف يمكنك تعيين الزمن الدوري للبندول البسيط؟

يحتوي جهاز تسجيل البيانات على مجس يمكنه قياس الطول ـ مجس الاستشعار فوق السمعي .

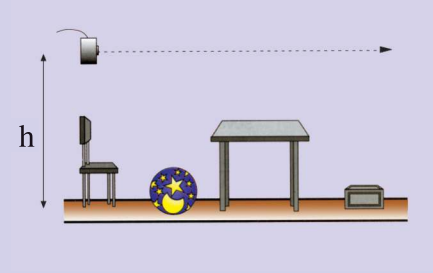
الجهاز : مجس الاستشعار فوق السمعي، جهاز التداخل البيني .

الإجراء : **1–** صل الجهازين السابقين معًا بالحاسوب .

2– ابدأ برنامج ورشة العمل في العلوم، وجهز مجس الاستشعار فوق السمعي لقياس المسافة .

نشاط مقترح :

1– **(أ)** ضع عدة أشياء على أرضية الحجرة، مثل : كرسي، منضدة، قالب طوب، كرة .



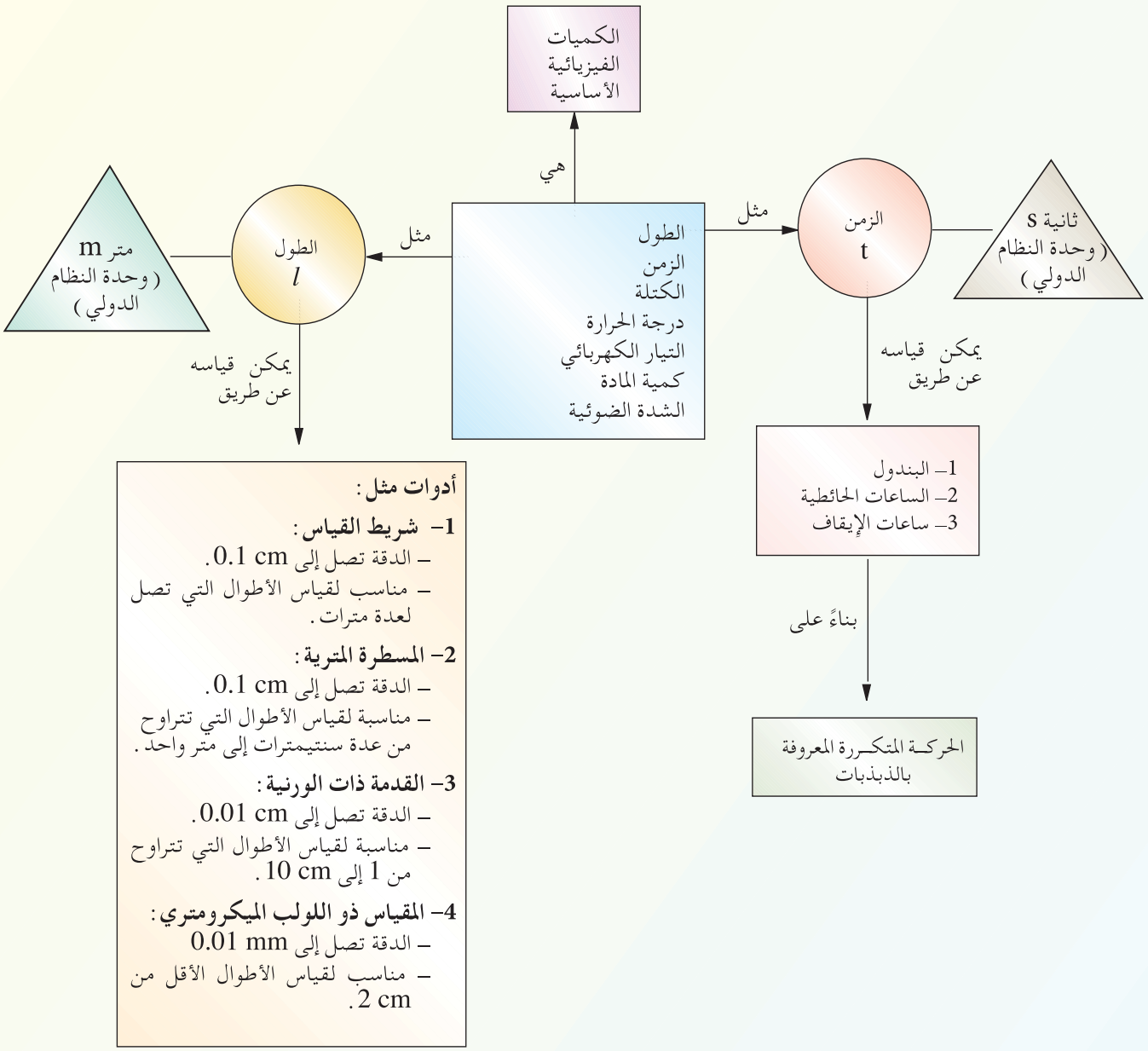
(ب) ضع مجس الاستشعار على ارتفاع معين فوق أرضية الحجرة .

(جـ) ابدأ قراءة المسافة مستخدمًا مجس الاستشعار وبرنامج ورشة العمل، ثم حرك جهاز الاستشعار عبر الحجرة بسرعة ثابتة وعلى ارتفاع ثابت (h) .

(د) ارسم العلاقة البيانية للارتفاع مقابل الزمن، فتكون تلك بمثابة خريطة فوق سمعية لحجرتك .

2– ناقش تطبيقات النشاط السابق .

خريطة مفاهيم



المهارة : المقارنة

قارن بين كل من القدمة ذات الورنية والمقياس ذي اللولب الميكرومتري .

أوجه التشابه :

1–
2–
3–
4–
5–

أوجه الاختلاف :

القدمة ذات الورنية		المقياس ذو اللولب الميكرومتري
	1–	
	2–	
	3–	
	4–	
	5–	

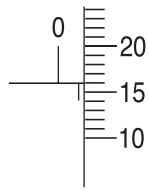
الاستنتاج

الجزء الأول أسئلة الاختيار من متعدد :

1- مطلوب في تجربة ما قياس المسافة بين نقطتين تفصلهما مسافة من 0.7 m إلى 0.8 m، أي الأدوات التالية يجب استخدامها بحيث تكون دقة القياس في حدود 0.001 m؟

(أ) مسطرة نصف مترية .
(ب) مسطرة مترية .
(جـ) شريط قياس طوله 10 m .
(د) مسطرة مترية وقدمة ذات ورنية .

2- يبين الشكل التالي قراءة على المقياس ذي اللولب الميكرومتري عند استخدامه لقياس قطر سلك رفيع، علمًا بإن لفة الأسطوانة الخارجية لفة واحدة كاملة تساوي 0.50 mm . ولذلك يكون قطر السلك الرفيع :



(أ) 0.468 mm
(ب) 0.516 mm
(جـ) 0.64 mm
(د) 0.66 mm

3- على أي العوامل الآتية يعتمد الزمن الدوري للبندول البسيط؟

(1) كتلة ثقل البندول .
(2) عدد التذبذبات .
(3) طول البندول .

(أ) (1) فقط .
(ب) (2) فقط .
(جـ) (3) فقط .
(د) (2)، (3) فقط .

الجزء الثاني الأسئلة التركيبية :

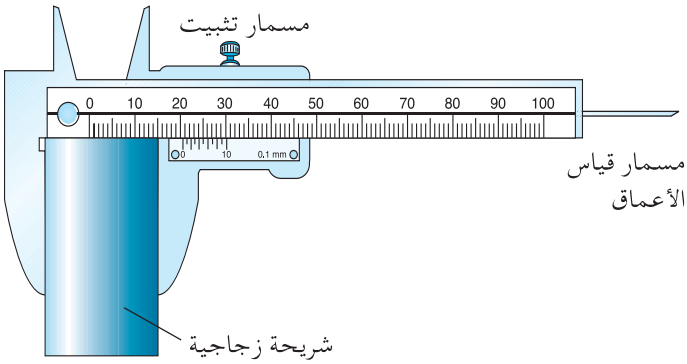
1- املأ الوحدات الناقصة للكميات الفيزيائية التالية :

الكمية الفيزيائية	وحدة النظام الدولي
(أ) الكتلة	_____
(ب) الطول	_____
(جـ) الزمن	_____

2- املأ الفراغات بالرمز الصحيح . (تم حل رقم أ لك كمثال) .

(أ) $1\ kg = 10^3\ g$
(ب) $1 ___ s = 10^{-6}\ s$
(جـ) $1\ mA = ___ A$
(د) $1 ___ m = 10^{-2}\ m$
(هـ) $1\ cm^2 = ___ m^2$
(و) $1 ___ W = 10^6\ W$

3- قاس طالب عرض شريحة زجاجية مستخدمًا قدمة ذات ورنية .



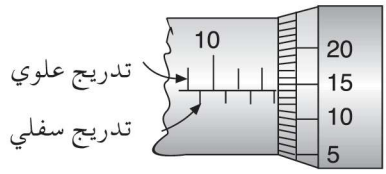
(أ) اكتب قراءة الأداة التي تعبر عن عرض الشريحة الزجاجية بوحدة السنتيمتر .

العرض، W = _____ cm .

(ب) ما دقة القدمة ذات الورنية مقارنة بكل من مسطرة القياس المليمتري، والمقياس ذي اللولب الميكرومتري؟

(جـ) لماذا تعتبر طريقة وضع الشريحة الزجاجية بهذه الكيفية طريقة غير دقيقة للقياس؟ وكيف يمكن تحسين قيمة W بشكل له دلالة؟

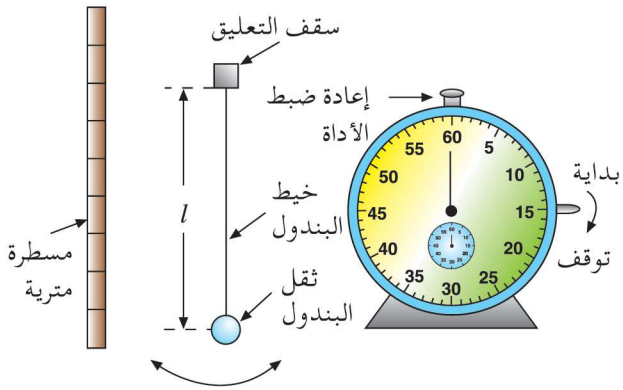
4- الرسم التالي تكبير لجزء من الميكرومتر. وتكون قراءة المقياس العلوي بالملليمتر، بينما تكون قراءة المقياس السفلي بأنصاف الملليمتر. وللقياس الملولب درجات قيمة كل منها 0.50 mm.



(أ) ما القراءة الموضحة بالرسم؟

(ب) صف بإيجاز القياسات التي تتبعها لتعيين قطر قطعة من سلك نحاسي.

5- يبين شكل 2 بندولًا بسيطًا مع مسطرة مترية تستخدم لقياس طوله (l). ويمكن باستخدام ساعة الإيقاف الميقاتية كما في شكل (1) تحديد الزمن t اللازم لقياس 20 ذبذبة كاملة.



شكل (1) شكل (2)

في تجربة البندول البسيط، تم تحديد الزمن t اللازم لإكمال 20 ذبذبة لكي نستقصي كيفية اعتماد قيمة الزمن الدوري T على قيمة طول البندول l.

(1) كون جدولًا ذا عناوين ملائمة لكراسة المعمل تُسجِّل فيه جميع المشاهدات، وتبين قيم T.

(2) بالنسبة لبندول قيمة زمنه الدوري T حوالي ثانية واحدة، لماذا يُعيِّن زمن 20 ذبذبة على الأقل عند استخدام ساعة إيقاف ميقاتية تقيس فقط حتى أقرب 0.5 s؟

الوحدة 2

السرعة القياسية والسرعة الاتجاهية والعجلة (التسارع)

Speed, Velocity and Acceleration

مخرجات التعلم

في هذه الوحدة، سوف:

- ☐ تحدد المقصود بكل من *السرعة القياسية*، و*السرعة الاتجاهية*.
- ☐ تحدد المقصود *بالعجلة المنتظمة*، وتحسب قيمة العجلة (التسارع) باستخدام *التغير في السرعة / الزمن المستغرق*.
- ☐ تفسر أمثلة موضوعة عن العجلة (التسارع) غير المنتظمة.
- ☐ تحسب متوسط السرعة باستخدام *المسافة المقطوعة / الزمن المستغرق*.
- ☐ ترسم وتفسر العلاقة البيانية بين المسافة – الزمن، والسرعة – الزمن.
- ☐ تستنتج من شكل العلاقة البيانية بين المسافة والزمن، ما إذا كان الجسم:
  (1) ساكنًا،
  (2) متحركًا بسرعة منتظمة،
  (3) متحركًا بسرعة غير منتظمة.
- ☐ تستنتج من شكل العلاقة البيانية بين السرعة والزمن، ما إذا كان الجسم:
  (1) ساكنًا،
  (2) متحركًا بسرعة منتظمة،
  (3) متحركًا بعجلة منتظمة،
  (4) متحركًا بعجلة غير منتظمة.
- ☐ تحسب المساحة المحصورة في التمثيل البياني بين السرعة والزمن لتعيين المسافة التي يقطعها الجسم المتحرك بسرعة منتظمة أو عجلة منتظمة (تسارع منتظم).
- ☐ تذكر أن قيمة عجلة (تسارع) السقوط الحر لجسم ما قريب من سطح الأرض ثابتة، وهي تقريبا $10\ m\ s^{-2}$.

سنتعلم في هذه الوحدة كيفية وصف حركة الأجسام المتحركة. فإذا تحرك جسم ما، نهتم بمعرفة مدى سرعته، بمعنى السرعة القياسية. وإذا تغيرت سرعة الجسم مع الزمن، نهتم كذلك بتحديد معدل تغيرها أي العجلة (التسارع). وقبل أن نفهم فهمًا كاملًا سبب تحرك جسم ما، يجب أن نكون قادرين على وصف حركته بدقة.

2 – 1 المسافة والإزاحة
Distance and Displacement

المسـافة هي الطول الكلي الذي يقطعه جسـم متحـرك بصرف النظر عن اتجاه الحركة، أي أن المقدار فقط هو ما يهمنا.

الإزاحة هي المسافة المقاسـة في خط مستقيم (بمعنى مسافة خطية)، وفي اتجاه محدد، ومن ثم فإن كلًّا من المقدار والاتجاه مهمين.

الإزاحة هي المسافة التي يقطعها الجسم في اتجاه معين.

مثال محلول 2 – 1

قطعت سيارة 5 km شرقًا ثم استدارت على شكل حرف U لتقطع مسافة إضافية مقدارها 3 km.

أوجد: (أ) المسافة المقطوعة.

(ب) إزاحتها

الحل:

(أ) المسافة المقطوعة تساوي 3 + 5

تساوي 8 km

(شكل 2 – 1)

(ب) الإزاحة تساوي 3 - 5

تساوي 2 km إلى الشرق من نقطة البداية (O).

2 – 2 السرعة القياسية والسرعة الاتجاهية
Speed and Velocity

السرعة القياسية

تُعرَّف **السرعة القياسية** بأنها معدل تغير المسافة، وبمعنى آخر هي المسافة المقطوعة في وحدة زمنية. وهي تخبرنا عن سرعة أو بطء حركة الجسم.

السرعة القياسية هي المسافة المقطوعة في وحدة زمن.

السرعة القياسية تساوي $\frac{\text{المسافة المقطوعة}}{\text{الزمن المستغرق}}$

وباستخدام الرموز $v = \frac{d}{t}$ حيث: v تساوي السرعة

d تساوي المسافة المقطوعة

t تساوي الزمن المستغرق

لا تتحرك معظم الأجسام بسرعة منتظمة، فيبدأ على سبيل المثال قطار الأنفاق رحلته عند المحطة الرئيسـة من السـكون، ثم يتحرك بسرعة أكبر إلى أن يصل إلى سرعة ثابتة، ثم يُبطئ ليقف عند المحطة التالية. لذا يكون من الأفيد تعريف متوسط السرعة $\langle v \rangle$ بدلًا من السرعة الفعلية v.

وبالتالي، فإن

متوسط السرعة القياسية يساوي المسافة الكلية المقطوعة / الزمن الكلي المستغرق

وبالرموز، فإن

$$\langle v \rangle = \frac{d}{t}$$

شكل 2 – 2 قطار الأنفاق

والوحدات الشائعة للسرعة هي المتر/ثانية ($m\ s^{-1}$)، والكيلومتر/ساعة ($km\ h^{-1}$)، ووحدة السرعة في النظام الدولي هي $m\ s^{-1}$.

كما أن $1\ h = (60 \times 60)\ s = 3600\ s$ $1\ km = 1000\ m$

ولذلك، $1\ km\ h^{-1} = \frac{1000\ m}{3600\ s} = \frac{5}{18}\ m\ s^{-1} = 0.28\ m\ s^{-1}$

شكل 2 – 3 عداد السرعة يدل على السرعة اللحظية (أو الفعلية)

مثال محلول 2 – 2

جرى عداء مسافة 100 m في زمن قدره 9.83 s ، ما متوسط سرعته؟

الحل :

المعطيات : المسافة الكلية المقطوعة، $d = 100\ m$

الزمن الكلي المستغرق، $t = 9.83\ s$

متوسط السرعة، $\langle v \rangle = \frac{d}{t}$

$$= \frac{100}{9.83}$$

$$= 10.2\ m\ s^{-1}$$

شكل 2 – 4 سيارة تتحرك بسرعة

جدول 2 – 1 سرعات بعض الأجسام

الجسم المتحرك	السرعة ($m\ s^{-1}$)	السرعة ($km\ h^{-1}$)
الأرض في دورانها حول الشمس	30000	108000
الطائرة البوينج طراز 747	300	1080
السيارة	16.7	60
مترو الأنفاق	12.5	45
العداء الذي يجري لمسافات قصيرة	10	36
شخص يمشي	2.5	9
القوقع الزاحف	0.0005	0.0018

شكل 2 – 5 قوقع يزحف

وتبلغ سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة 0°c حوالي $330\ m\ s^{-1}$ أو حوالي $1188\ km\ h^{-1}$، ولكن أسرع سرعة هي سرعة الضوء في الفراغ التي تصل إلى $3 \times 10^8\ m\ s^{-1}$.

السرعة الاتجاهية

تُعرَّف **السرعة الاتجاهية** بأنها معدل تغير الإزاحة، وأنها السرعة القياسية في اتجاه معين. وعند سؤالك عن السرعة الاتجاهية لجسم ما، يجب أن تذكر سرعة الجسم والاتجاه الذي يتحرك فيه.

السرعة الاتجاهية تساوي $\frac{\text{الإزاحة (المسافة الخطية)}}{\text{الزمن المستغرق}}$

وبالمثل، كما في حالة متوسط السرعة القياسية، يكون لدينا

متوسط السرعة الاتجاهية تساوي $\frac{\text{الإزاحة الكلية}}{\text{الزمن الكلي المستغرق}}$

فالجسم المتحرك بسرعة اتجاهية ثابتة يتحرك بسرعة قياسية ثابتة في خط مستقيم، بمعنى أن كلًّا من السرعة القياسية والاتجاه ثابتين. وبالتالي فإن وحدات السرعة الاتجاهية هي نفس وحدات السرعة القياسية.

السرعة الاتجاهية هي معدل تغير الإزاحة.

مثال محلول 2 – 3

احسب (أ) متوسط السرعة القياسية.
(ب) متوسط السرعة الاتجاهية للسيارة المتحركة في المثال (2 – 1)، إذا علمت أن الزمن المستغرق لتحرك السيارة من نقطة البداية (O) إلى نقطة النهاية (E) تساوي 0.2 ساعة.

الحل:

(أ) متوسط السرعة القياسية يساوي $\frac{\text{المسافة الكلية المقطوعة}}{\text{الزمن الكلي المستغرق}}$

$= \frac{8}{0.2} = 40 \text{ km h}^{-1}$

(ب) متوسط السرعة الاتجاهية يساوي $\frac{\text{الإزاحة الكلية}}{\text{الزمن الكلي المستغرق}}$

$= \frac{2}{0.2} = 10 \text{ km h}^{-1}$

أي 10 km h^{-1} إلى الشرق من نقطة البداية (O).

أسئلة التقويم الذاتي

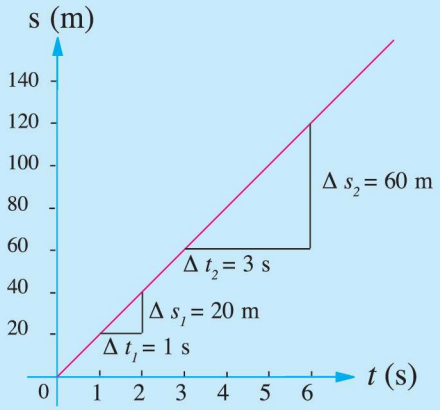
(أ) ما الفرق بين السرعة القياسية والسرعة الاتجاهية؟
(ب) بالنسبة لجسم يتحرك بسرعة اتجاهية ثابتة، هل من الضروري تحركه في خط مستقيم؟

3 – 2 التمثيل البياني للعلاقة بين الإزاحة والزمن
The Displacement-Time Graph

ميل المنحنى البياني للعلاقة بين الإزاحة والزمن يعطي السرعة الاتجاهية لجسم متحرك.

يمكن استنتاج معلومات مفيدة عن حركة الجسم برسم العلاقة البيانية بين الإزاحة والزمن. افترض سيارة متحركة بطول خط مستقيم وإزاحتها من نقطة البداية O ممثلة بالحرف s. ما الاستنتاجات التي يمكن التوصل إليها عن حركة السيارة، إذا كانت العلاقة البيانية بين الإزاحة والزمن ممثلة (1) بشكل 2 – 6، (2) بشكل 2 – 7؟

نقطة البداية



شكل 2 – 6

يمكن التوصل من شكل 2 – 6 إلى الاستنتاجات التالية:

(أ) الإزاحة s ذات قيم موجبة فقط، مما يعني أن السيارة تتحرك في اتجاه واحد فقط.

(ب) الإزاحة s تزداد بانتظام مع الزمن t لإنه تم الحصول على خط مستقيم، ويمكن إيجاد متوسط السرعة الاتجاهية من ميل منحنى العلاقة البيانية.

(جـ) متوسط السرعة الاتجاهية $<v>$ لاتتغير فهي ثابتة في الفترات الزمنية المختلفة. فعلى سبيل المثال:

$$<v>_1 = \frac{\Delta s_1}{\Delta t_1} = \frac{20}{1} = 20 \text{ m s}^{-1}$$

$$<v>_2 = \frac{\Delta s_2}{\Delta t_2} = \frac{60}{3} = 20 \text{ m s}^{-1}$$

مما يبين أن $<v>_1 = <v>_2$.

ملحوظة: (1) Δs_1 تعني التغير في الإزاحة، مثل:

$$\Delta s_1 = 40 - 20 = 20 \text{ m}$$

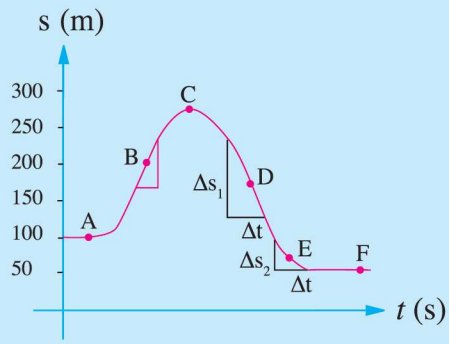
و

$$\Delta s_2 = 120 - 60 = 60 \text{ m}.$$

(2) Δt تعني الزمن المستغرق، مثل:

$$\Delta t_1 = 2 - 1 = 1 \text{ s}$$

و $$\Delta t_2 = 6 - 3 = 3 \text{ s}$$



شكل 2 – 7

يمكن التوصل من الشكل 2 – 7 للاستنتاجات التالية:

(أ) بما أن الإزاحة s تظل موجبة القيم خلال الحركة، فإن مواضع السيارة تظل إلى يمين نقطة البداية O، وتكون الإزاحة إلى يمين النقطة O موجبة.

(ب) تقف السيارة عند النقاط A، C بما أن الإزاحة s لا تتغير مع الفترات الزمنية القصيرة حول A، C.

(جـ) تزداد الإزاحة s للسيارة حول النقطة B بانتظام مع الزمن، لذلك تسير السيارة بعيدًا عن نقطة البداية O بسرعة اتجاهية منتظمة.

(د) تقل الإزاحة s للسيارة بعد النقطة C، مما يعني أن السيارة تسير في الاتجاه المضاد، أي أنها في اتجاه نقطة البداية O. وبالتالي ستكون السرعات الاتجاهية المتناظرة سالبة.

(هـ) وبالنسبة لنفس الزمن المستغرق Δt، فإن مقدار تغير الإزاحة Δs_1 عند نقطة D أكبر من Δs_2 عند نقطة E. (أي تقل). ولهذا، فإن مقدار السرعة الاتجاهية المتوسطة عند نقطة D تكون أكبر من مثيلتها عند نقطة E. وبمعنى آخر، تتحرك السيارة أسرع عند نقطة D وتبطئ عند نقطة E.

(و) ومن ثم فإن الميل الثابت للشكل البياني ذي الخط المستقيم يبين أن السيارة تتحرك بسرعة اتجاهية ثابتة، أي أنه يعرض حركة منتظمة.

(ملحوظة : إذا اعتبرنا فقط مقدار معدل تغير الإزاحة، $\left|\frac{\Delta s}{\Delta t}\right|$ فإننا سنحصل على متوسط السرعة القياسية .

(ز) تقل الإزاحة s حول النقطة E، بمرور الزمن t بمعدل متناقص (أي أن ميل المنحنى سيكون أكثر اعتدالاً) إلى نقطة F. ويبين ذلك أن السيارة تقلل سرعتها حتى تتوقف عند F.

ومن الاستنتاجات التي تم التوصل إليها من الشكلين 2 – 6، و 2 – 7، يلاحظ ما يلي :

1- في العلاقة البيانية بين الإزاحة والزمن، يتم إيجاد متوسط السرعة الاتجاهية $\langle v \rangle$ بنسبة $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ حيث Δs تساوي التغير في الإزاحة، Δt تساوي الزمن المستغرق

2- يدل الميل الموجب للعلاقة البيانية بين الإزاحة والزمن على تحرك السيارة في نفس اتجاه الإزاحة.

3- يدل الميل السالب للعلاقة البيانية بين الإزاحة والزمن على تحرك السيارة في عكس اتجاه الإزاحة.

4- يدل الميل الصفري لمنحنى الإزاحة والزمن على أن السيارة ثابتة لاتتحرك.

تحدٍ

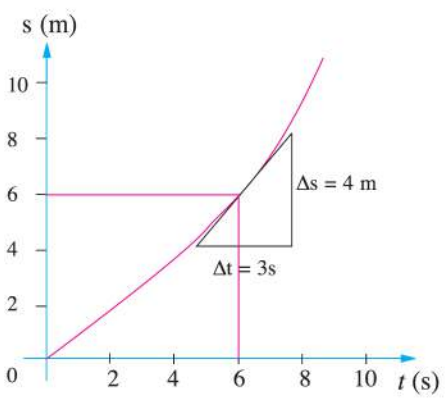
ارسم العلاقة البيانية بين الإزاحة والزمن لسيارة تبدأ من السكون عند نقطة O وتزداد سرعتها الاتجاهية تدريجيًّا.

السرعة القياسية اللحظية، والسرعة الاتجاهية اللحظية

يبين(شكل 2 – 8)علاقة بيانية نموذجية أخرى بين الإزاحة والزمن لجسم ما من نقطة البداية O.

ويُعطي **متوسط السرعة الاتجاهية** للجسم بعد السير لمدة 6 ثوان بالعلاقة التالية :

$\langle v \rangle$ تساوي $\frac{\text{الإزاحة الكلية}}{\text{الزمن الكلي المستغرق}}$ تساوي $\frac{6}{6}$ تساوي $1\ m\ s^{-1}$ بعيدًا عن نقطة البداية O.



شكل 2 – 8

وتعطي **السرعة الاتجاهية اللحظية** (أو **السرعة الاتجاهية الفعلية**) للجسم عند زمن $t = 6\ s$ بميل المماس لنقطة يكون الزمن عندها يساوي 6 s. وفي هذه الحالة، فإن السرعة الاتجاهية اللحظية للجسم عند زمن يساوي 6 s تعطى بالعلاقة التالية :

$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{4}{3}\ m\ s^{-1}$ بعيدًا عن النقطة O.

(ملحوظة : إن الاختلاف بين الفترات الزمنية (Δt) المستخدمة لإيجاد متوسط السرعة الاتجاهية، والسرعة اللحظية هو أن Δt لمتوسط السرعة الاتجاهية أكبر بكثير من Δt للسرعة الاتجاهية اللحظية. وفي الحقيقة إن Δt للسرعة الاتجاهية اللحظية يجب أن تقترب من الصفر بما أننا نأخذ المماس لنقطة المنحنى عند تلك اللحظة).

ويعطى مقدار السرعة اللحظية الاتجاهية السرعة القياسية اللحظية. وفي هذه الحالة، السرعة القياسية اللحظية تساوي $\frac{4}{3}\ m\ s^{-1}$.

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) هل يمكن أن تقرر من خلال العلاقة البيانية بين الإزاحة والزمن ما إذا كان جسم ما ثابتًا؟

(ب) كيف تحصل على متوسط السرعة الاتجاهية، والسرعة الاتجاهية اللحظية من الشكل البياني للعلاقة بين الإزاحة والزمن؟

4-2 العجلة (التسارع)
Acceleration

العجلة (التسارع) هو معدل التغير في السرعة الاتجاهية

الجسم الذي تتغير سرعته الاتجاهية (وليس سرعته القياسية)، يقال أنه يتحرك بعجلة (يتسارع) . وبمعنى آخر إذا تغير الاتجاه و السرعة القياسية لجسم متحرك، فإن الجسم يكون متحركاً بعجلة (يتسارع). ومن ثم إذا تحرك جسم ما بسرعة قياسية ثابتة، ولكن تغير اتجاهه أثناء حركته (مثل تدوير حجر مربوط بخيط كما في(شكل 2 – 9) أو تحرك جسم في خط مستقيم، ولكن غير من سرعته القياسية أثناء حركته (كما في سباق عدو لمسافة 100 m)، فإن كلًا من الجسمين يتحركان بعجلة (يتسارعان). وتعرف **العجلة (التسارع)** بأنها معدل التغير في السرعة الاتجاهية .

العجلة (التسارع) يساوي $\frac{\text{التغير في السرعة الاتجاهية}}{\text{الزمن المستغرق}}$

شكل 2 – 9 تدوير حجر

وبالرموز فإن

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

حيث a تساوي العجلة (التسارع)

Δv تساوي التغير في السرعة الاتجاهية

v تساوي السرعة النهائية

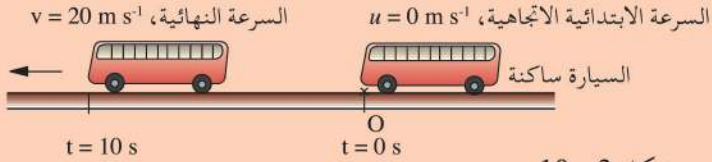
u تساوي السرعة الابتدائية

Δt تساوي الزمن المستغرق

إن للعجلة اتجاه مثلها في ذلك مثل السرعة الاتجاهية . فاتجاه العجلة هو اتجاه التغير في السرعة الاتجاهية . ووحدة قياس العجلة (التسارع) في النظام الدولي هي $\frac{\text{المتر / ثانية}}{\text{ثانية}}$ أي ($m\ s^{-2}$) .

مثال محلول 2 – 4

تبدأ حافلة في التحرك من السكون وتصل لسرعة اتجاهية قدرها $20\ m\ s^{-1}$ ($72\ km\ h^{-1}$) خلال زمن قدره (10s) أثناء تحركها غربًا من نقطة البداية O . احسب متوسط العجلة للحافلة.



(شكل 2 – 10)

الحل :

$$a = \frac{v - u}{t} \quad \text{(التسارع)،}$$

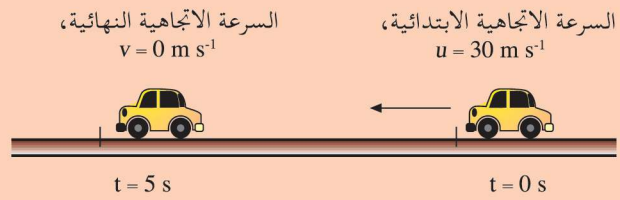
$$= \frac{20 - 0}{10}$$

$$= 2\ m\ s^{-2}$$

باتجاه الغرب من نقطة البداية O

مثال محلول 2 – 5

سيارة تتحرك غرباً بسرعة ($108\ km\ h^{-1}$) $30\ m\ s^{-1}$ توقفت فجأة خلال زمن قدره 5 s. أوجد متوسط العجلة ؟



الحل :

المعطيات : السرعة الاتجاهية الابتدائية، $u = 30\ m\ s^{-1}$

السرعة الاتجاهية النهائية، $v = 0\ m\ s^{-1}$

الزمن المستغرق، $t = 5\ s$

متوسط العجلة $a = \frac{v - u}{t}$

$= \frac{0 - 30}{5}$

$= -6\ m\ s^{-2}$ تجاه الغرب

(ملحوظة : الإشارة السالبة في تلك الحالة تعني أن العجلة سالبة القيمة (أي أن قيمة العجلة تقل بمرور الزمن) وتعرف كذلك بالعجلة التقصيرية (التقاصر) .

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) هل تعتبر السيارة التي تنعطف حول ركن ما بسرعة قياسية ثابتة تتحرك بعجلة (تتسارع) ؟

(ب) هل تكون دائمًا الحركة في اتجاه العجلة (التسارع) ؟

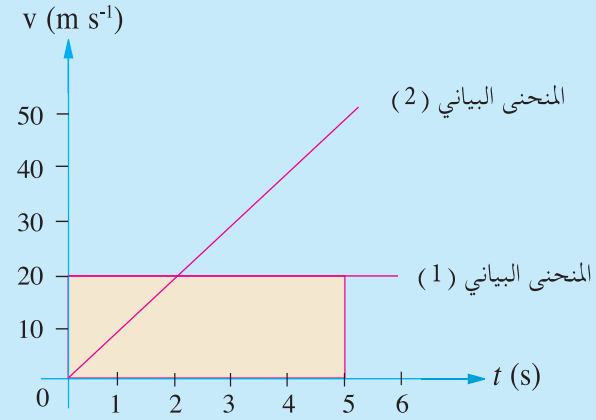
(جـ) هل يمكن لجسم ما أن يكون متحركًا إذا كانت عجلته تساوي صفرًا ؟

5 – 2 التمثيل البياني للعلاقة بين السرعة الاتجاهية والزمن

The Velocity-Time Graph

الجسم الساكن له سرعة اتجاهية تساوي صفرًا، أما الجسم الذي يقطع إزاحات متساوية في فترات متساوية من الزمن تكون له سرعة اتجاهية ثابتة (أو منتظمة) . وفي كلتا الحالتين، فإن الجسم له عجلة تساوي صفرًا لأن معدل التغير في السرعة الاتجاهية يساوي صفرًا . وتعطينا العلاقة البيانية التالية بين السرعة الاتجاهية والزمن معلومات مفيدة عن حركة الأجسام .

إن ميل منحنى العلاقة البيانية بين السرعة الاتجاهية والزمن يعطي عجلة الجسم المتحرك . والمساحة المحصورة تحت منحنى العلاقة البيانية تعطي المسافة التي يقطعها الجسم .



شكل 2 – 11

للمنحنى البياني (1) :

(أ) تظل السرعة الاتجاهية بذات القيمة مع تزايد الزمن، مما يعني أن الجسم له سرعة اتجاهية ثابتة قدرها $20\ m\ s^{-1}$.

(ب) وبما أن السرعة الاتجاهية تساوي $\frac{\text{المسافة الخطية}}{\text{الزمن}}$

إذن، فالمسافة الخطية تساوي السرعة الاتجاهية X الزمن

$= (20\ m\ s^{-1})\ (5\ s) = 100\ m$

والتي يمكن أيضًا الحصول عليها بإيجاد المساحة المظللة من $t = 0\ s$ إلى $t = 5\ s$.

ومن ثم فإن المساحة المحصورة تحت منحنى العلاقة البيانية بين السرعة الاتجاهية والزمن تعطي عمومًا المسافة الخطية التي يقطعها الجسم أثناء الزمن المستغرق المحدد.

للمنحنى البياني (2) :

(أ) للسرعة الاتجاهية قيم موجبة فقط، مما يعني أن الجسم يتحرك في اتجاه محدد واحد فقط.

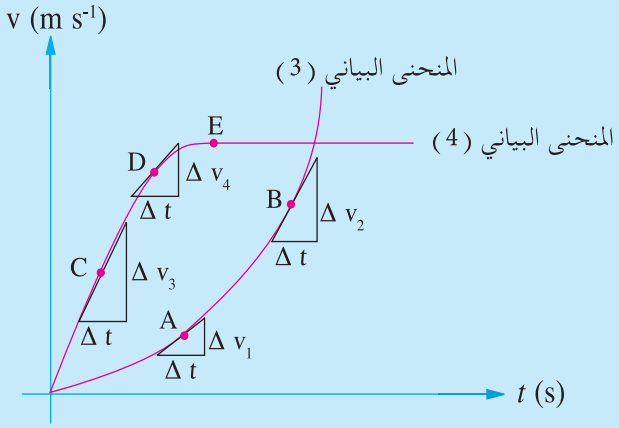
(ب) تزداد السرعة الاتجاهية بانتظام بمرور الزمن بما أن لها منحنى بياني عبارة عن خط مستقيم.

(جـ) يكون متوسط العجلة للجسم ثابتًا للفترات الزمنية المختلفة، وبمعنى آخر فإن للجسم عجلة منتظمة أوثابتة.

(د) ويمكن كذلك إيجاد المسافة التي يقطعها الجسم، وذلك بإيجاد المساحة المحصورة تحت منحنى العلاقة البيانية $V - t$ (السرعة الاتجاهية مقابل الزمن) لأي فترة زمنية مطلوبة. وعلى سبيل المثال، إن المسافة المقطوعة خلال الزمن المستغرق $t = 0\ s$ إلى $t = 5\ s$ تساوي :

(مساحة المثلث)، $= \frac{1}{2}(5)(50)$

$= 125\ m$



شكل 2 – 12

للمنحنى البياني (3) :

(أ) للفترات الزمنية المتساوية Δt من A إلى B، يزداد التغير في السرعة الاتجاهية ΔV_1 وΔV_2 بما أن ΔV_2 أكبر من ΔV_1.

(ب) وبما أن العجلة $a = \frac{\Delta V}{\Delta t}$، فإن العجلة اللحظية

$a_1 = \frac{\Delta V_1}{\Delta t}$ أكبر من العجلة اللحظية $a_2 = \frac{\Delta V_2}{\Delta t}$

ويقال أن الجسم يتحرك بعجلة تزداد بمرور الزمن.

للمنحنى البياني (4)

(أ) للفترات الزمنية المتساوية Δt من C إلى D، يتناقص التغير في السرعة الاتجاهية ΔV_3، ΔV_4، بما أن ΔV_3 أكبر من ΔV_4.

(ب) بما أن العجلة $a = \frac{\Delta V}{\Delta t}$، فإن العجلة اللحظية $a_4 = \frac{\Delta V_4}{\Delta t}$

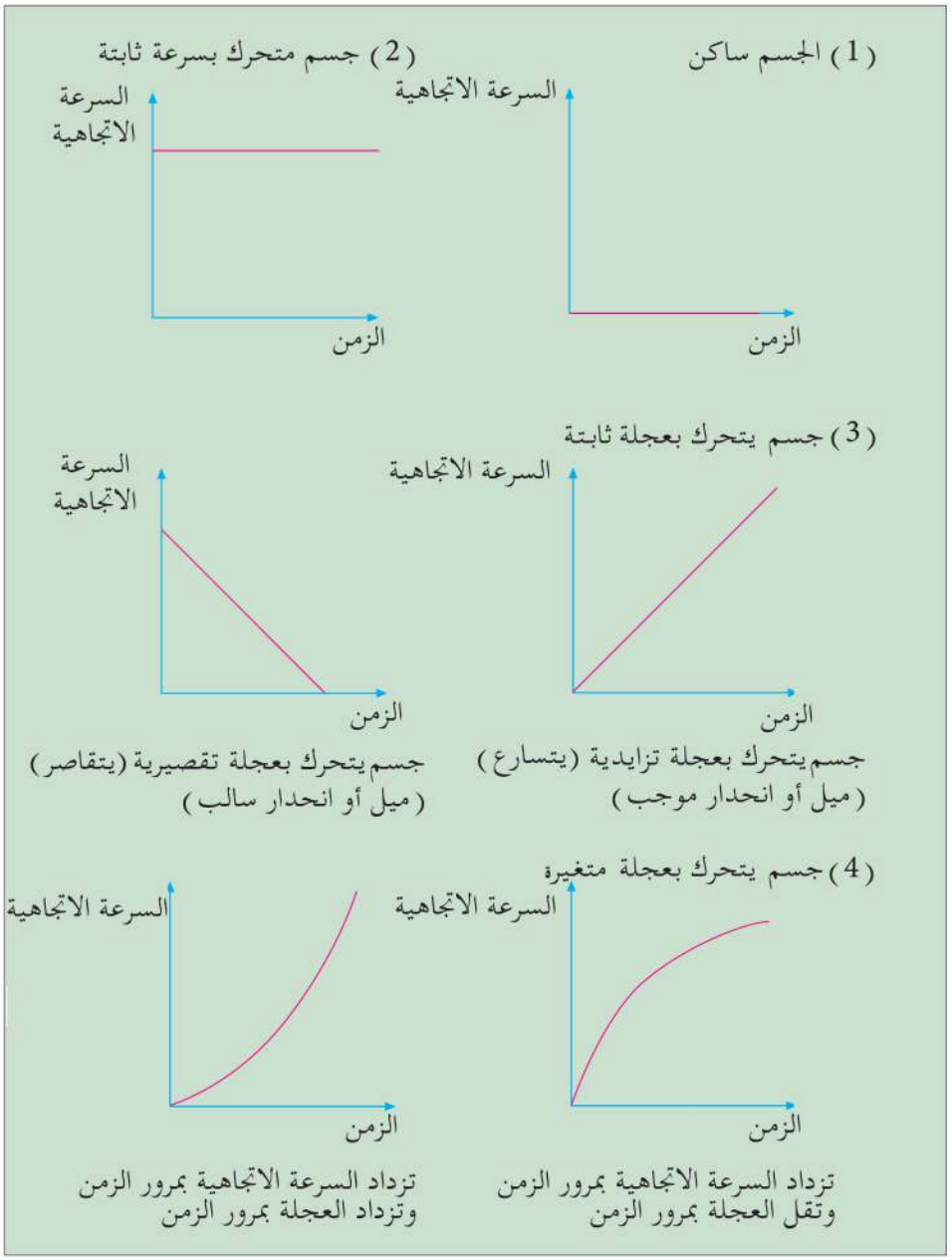
أصغر من العجلة اللحظية $a_3 = \frac{\Delta V_3}{\Delta t}$.

ويقال أن العجلة المتوسطة للجسم تقل بمرور الزمن.

(جـ) تتوقف السرعة الاتجاهية عن الازدياد عند النقطة E، ويبدأ الجسم في التحرك بسرعة اتجاهية ثابتة.

(ملحوظة) : يمكن إيجاد المسافة التي يقطعها الجسم لكل من الشكلين البيانيين (3، 4) من المساحة المحصورة في العلاقة $V - t$.

جدول 2 – 2 بعض المنحنيات البيانية الشائعة بين السرعة الاتجاهية والزمن



نشاط على شبكة الإنترنت

انظر الرسوم المتحركة للسرعة الاتجاهية والعجلة على موقع:
<http://wigner.byu.edu/VELandACC/TabbedVELandACC.html>

يتضح من الرسوم البيانية المبينة في جدول 2 – 2 أن الميل عند أي نقطة على المنحنى البياني للعلاقة بين السرعة الاتجاهية والزمن يعطي عجلة الجسم. وكلما كان الميل أكثر انحدارًا، كلما زادت العجلة. ويدل الميل أو الانحدار السالب على أن عجلة الجسم تقصيرية .

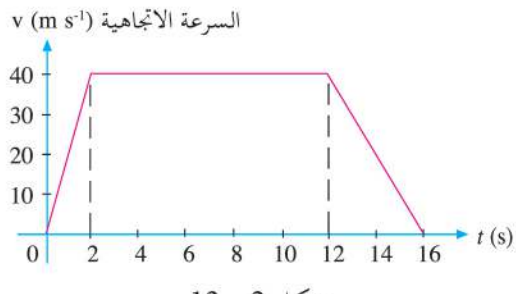
مثال محلول 2 – 6

يبدأ قطار رحلته من السكون من محطة ما، ويتحرك بطول قضبان أفقية مستقيمة في اتجاه محطة أخرى. ويبين الشكل البياني 2 – 13 كيفية تغير سرعة القطار الاتجاهية مع الزمن خلال الرحلة كلها. مستخدمًا الرسم البياني عَيِّن المسافة الكلية التي يقطعها القطار.

الحل:

المسافة الكلية المقطوعة d تساوي المساحة تحت منحنى العلاقة البيانية v - t

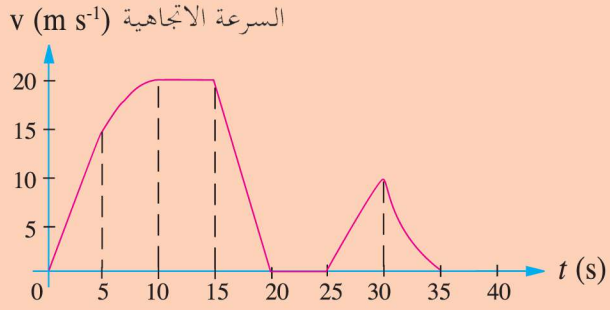
$$= \frac{1}{2}(10 + 16)\,40 = 520\ \text{m}$$



شكل 2 – 13

مثال محلول 2 – 7

يبين شـكل 2 – 14 العلاقة البيانية بين السرعة الاتجاهية والزمن لسيارة ما . صف حركة السيارة .



شكل 2 – 14

الحل :

الزمن	الحركة
0 s إلى 5 s	تزداد السرعة الاتجاهية بانتظام، بمعنى أن العجلة ثابتة (التسارع ثابت) $a = \frac{15 - 0}{5} = 3\ m\ s^{-2}$
5 s إلى 10 s	تزداد السرعة الاتجاهية من $15\ m\ s^{-1}$ إلى $20\ m\ s^{-1}$ وتقل العجلة من $3\ m\ s^{-2}$ إلى $1\ m\ s^{-2}$، بمعنى أن معدل الزيادة في السرعة الاتجاهية يقل، رغم أنه موجب .
10 s إلى 15 s	السرعة الاتجاهية ثابتة (وقد وصلت إلى أقصى قيمة لها)، أي أن السيارة تتحرك بعجلة تساوي صفرًا .
15 s إلى 20 s	تقل السرعة الاتجاهية بانتظام من $20\ m\ s^{-1}$ إلى $0\ m\ s^{-1}$ في زمن 5 ثوانٍ، أي أن قيمة العجلة تقصيرية $\frac{0 - 20}{5} = -4\ m\ s^{-2}$
20 s إلى 25 s	السرعة الاتجاهية تساوي صفرًا، بمعنى أن السيارة في حالة توقف .
25 s إلى 30 s	العجلة ثابتة ، $a = \frac{10 - 0}{5} = 2\ m\ s^{-2}$
30 s إلى 35 s	تقل السرعة الاتجاهية بشكل غير منتظم من $10\ m\ s^{-1}$ إلى $0\ m\ s^{-1}$، أي أن العجلة التقصيرية للسيارة غير منتظمة أو متغيرة .

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) هل يمكنك تقرير ثبوت الجسم من المنحنى البياني للسرعة الاتجاهية مقابل الزمن؟

(ب) كيف تحصل على عجلة (تسارع) جسم ما من المنحنى البياني للسرعة الاتجاهية مقابل الزمن؟ وماذا تمثل المنطقة المحصورة تحت منحنى السرعة الاتجاهية مقابل الزمن؟

6 – 2 عجلة (تسارع) السقوط الحر g

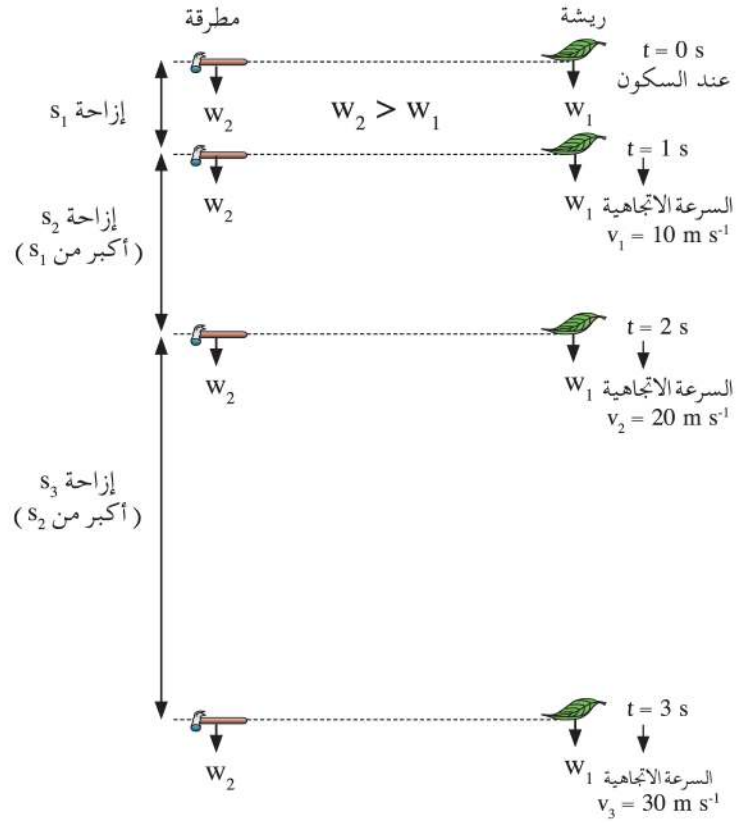
The Acceleration of Free Fall, g

عجلة (تسارع) السقوط الحر لجسم قريب من سطح الأرض تكون ثابتة.

إن عجلة (تسارع) السقوط الحر (أو العجلة بتأثير الجاذبية) هي عجلة مهمة جدًّا تؤثر على حياتنا اليومية، ويرمز لها بالرمز (g). بالنسبة للأجسام القريبة من الأرض (والتي يقل بعدها عن 1 km من سطح الأرض) يمكن اعتبار عجلة السقوط الحر ثابتة. وأي جسم يسقط من حالة سكون وهو على ارتفاع يقل عن 1 km يقال أنه يقع تحت تأثير مجال جاذبية منتظم، وعندئذ يقال أن الجسم يقع تحت تأثير قوة الجاذبية، والتي يشار إليها بوزنه (انظر الوحدة 3 عن القوى).

حركة الأجسام الساقطة في مجال جاذبية منتظم دون مقاومة هواء

يبين(شكل 2 – 15)حركة مطرقة ذات وزن W_2، وكذلك حركة ريشة طائر ذات وزن W_1 عند السماح لهما بالسقوط الحر في الفراغ، بمعنى في حالة عدم وجود هواء.



شكل 2 – 15

ويمكن التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

1– تزداد سرعة كل من المطرقة والريشة بمعدل $10\ m\ s^{-1}$ كل ثانية، بمعنى أن كلاهما يكتسب عجلة ثابتة قدرها $10\ m\ s^{-2}$.

2– يكون اتجاه حركة العجلة (التسارع) لأسفل نحو مركز الأرض.

3– لا تعتمد العجلة على كتل أو أوزان الأجسام الساقطة، وبمعنى آخر فإن جميع الأجسام (كبيرة أو صغيرة) تزداد سرعتها بنفس المعدل. ويمكن تمثيل حركة الجسم بالمنحنى البياني بين السرعة الاتجاهية والزمن، كما في(شكل 2 – 16)

نشاط على شبكة الإنترنت

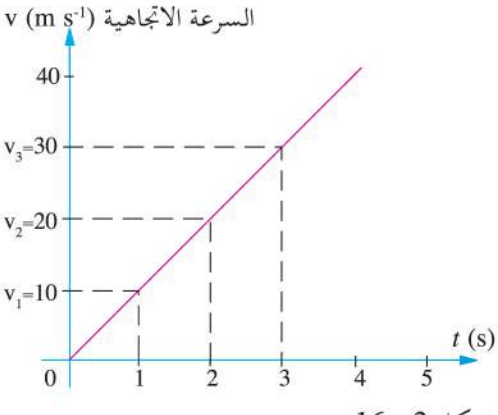
تعلَّم المزيد عن السقوط الحر عن طريق شبكة الإنترنت:

<http://www.explorescience.com/activities/Activity-Page.cfm?ActivityID=27>

انظر إلى الصور المتحركة للسقوط الحر:

1– من دون مقاومة الهواء، والموقع هو <http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/mmedia/newtlaws/efff.html>.

2– في وجود مقاومة الهواء، والموقع هو: <http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/mmedia/newtlaws/efar.html>.



شكل 2 – 16

لتحديد العجلة (التسارع) الناتجة عن الجاذبية .

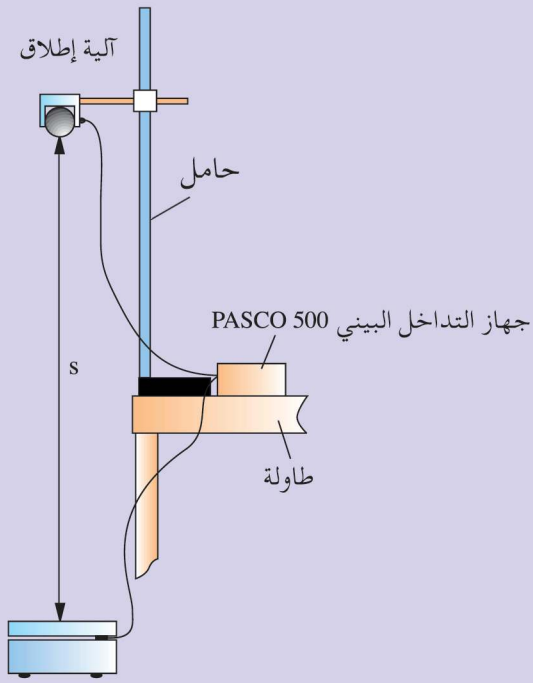
الجهاز: جهاز التداخل البيني لورشة العلوم، محوِّل السقوط الحر، كرات من الفولاذ أقطارها 13 mm، 19 mm، مسطرة مترية، حامل .

الإجراء:

1- قس المسافة s التي ستسقط خلالها الكرة قبل أن تلمس منصة تسجيل الزمن ولتكن 1.5 m .

2- اترك الكرة تسقط بفك آلية الإطلاق، وابدأ في تسجيل الزمن .

3- أعد الكرة في الآلية، وقلل الآن المسافة 0.25 m، ثم كرر الخطوة (2)، وسيُسجل جهاز التداخل البيني الزمن t المستغرق حتى تلمس الكرة منصة تسجيل الزمن تلقائيًّا .



4- مثل العلاقة البيانية $2s$ مقابل t^2، سيعطينا ميل المنحنى البياني العجلة الناتجة عن الجاذبية .

5- كرر التجربة مستخدمًا كرة من الفولاذ ذات حجم مختلف .

أسئلة التقويم الذاتي

قُذِفَ حجر إلى أعلى في الهواء. ما مقدار واتجاه عجلة هذا الحجر بفرض إهمال مقاومة الهواء؟

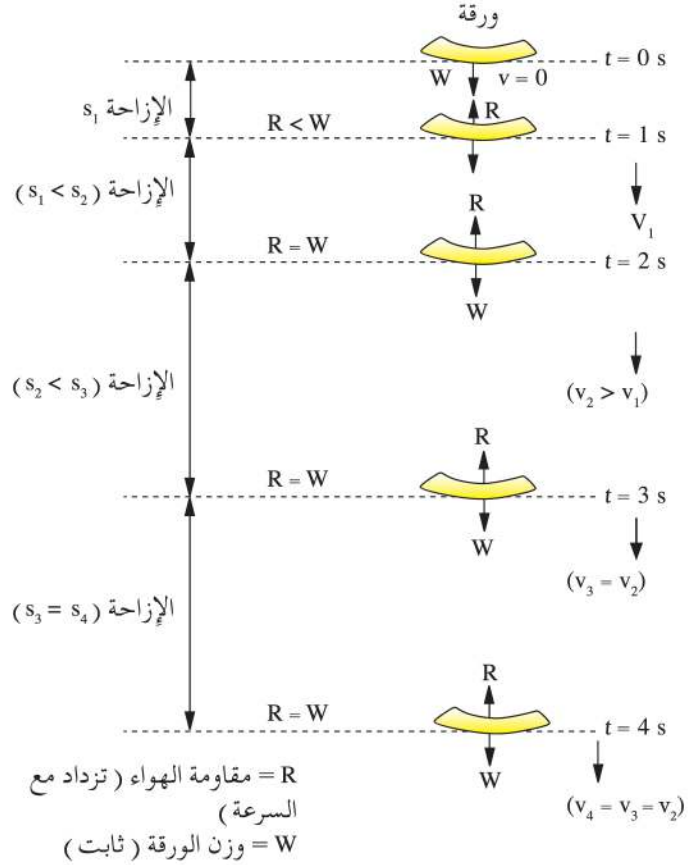
2 – 8 السرعة الاتجاهية النهائية
Terminal Velocity

عند سقوط جسم ما في مجال جاذبية منتظم، يتسارع إلى أن تتساوي مقاومة الهواء مع قوة الجاذبية. ومن ثم يستمر في السقوط بسرعة اتجاهية ثابتة، تعرف أيضًا بالسرعة الاتجاهية النهائية.

هل لاحظت عند الجري أن الهواء يدفعك للخلف؟
تسمى هذه القوة المعارضة لحركتك **مقاومة الهواء**، وهي نوع من القوة الاحتكاكية (انظر الوحدة 3 عن القوى) ولها الخواص التالية :

1 – تعارض دائمًا حركة الأجسام المتحركة.
2 – تزداد بزيادة سرعة الجسم.
3 – تزداد بزيادة مساحة (أو حجم) الجسم.
4 – تزداد بزيادة كثافة الهواء.

وكما ذكرنا في الجزء 2 – 6 بأنه في حالة السماح بسقوط جميع الأجسام سقوطًا حرًا، فإنها تتحرك بعجلة ثابتة تجاه مركز الكرة الأرضية، و تتحرك الأجسام الصغيرة، والثقيلة، و الكرية مثل الكرات الفولاذية بنفس العجلة ، وتصطدم بسطح الأرض في نفس الوقت إذا كانت مقاومة الهواء صغيرة. ولكن إذا أسقطت قطعة ورق خفيفة وذات مساحة سطح كبيرة، فإنه يمكن وصف حركة الورقة كما(بشكل 2 – 17)



شكل 2 – 17

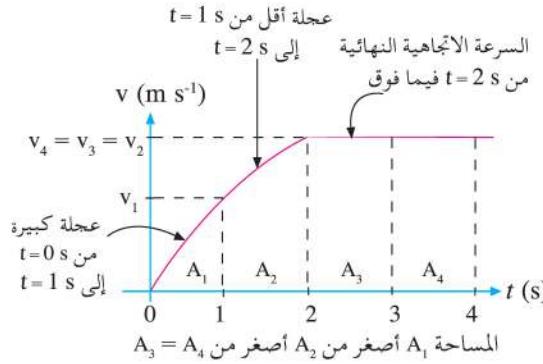
ويمكن مشاهدة ما يلي :

1– من $t = 0$ s إلى $t = 1$ s، تزداد السرعة الاتجاهية للورقة من صفر، إلى v_1، أي تتحرك الورقة بعجلة كبيرة.

2- من $t = 1\ s$ إلى $t = 2\ s$، تستمر السرعة الاتجاهية للورقة في الازدياد من v_1 إلى v_2 حيث ($v_2 > v_1$). ومع ذلك، فإن معدل الزيادة في السرعة الاتجاهية من v_1 إلى v_2 أصغر من معدلها من صفر إلى v_1 خلال نفس الفترة الزمنية (1 s) أي تتحرك الورقة بعجلة أقل.

3- من $t = 2\ s$ إلى $t = 4\ s$ وحتى إلى أكثر من ذلك لا تزداد السرعة الاتجاهية للورقة أكثر من ذلك، لكن تظل ثابتة بمعنى $v_4 = v_3 = v_2$ تساوي أقصى سرعة اتجاهية ثابتة تم الوصول إليها. إن مثل تلك السرعة الاتجاهية القصوى الثابتة تسمى **السرعة الاتجاهية النهائية**، و العجلة في تلك الحالة تساوي صفرًا.

4- ويمكن استخدام العلاقة البيانية بين السرعة والزمن كما في(شكل 2 – 18) لتمثيل هذا النوع من الحركة. لاحظ أن المساحات A_1, A_2, A_3, A_4 تمثل الإزاحات s_1, s_2, s_3, s_4 على التوالي.



شكل 2 – 18

مثال محلول 2 – 8

يبين شكل 2 – 19 حركة أحد رجال المظلات منذ اللحظة التي يقفز فيها من الطائرة حتى لحظة اصطدامه بسطح الأرض. صف حركته خلال الفترات الزمنية التالية:

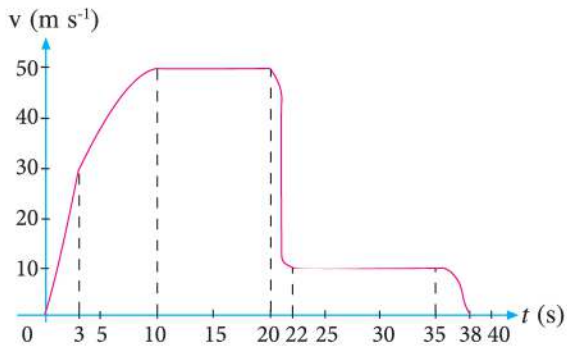
(أ) $t = 0\ s$ إلى $t = 3\ s$ (ب) $t = 3\ s$ إلى $t = 10\ s$

(جـ) $t = 10\ s$ إلى $t = 20\ s$ (د) $t = 20\ s$ إلى $t = 22\ s$

(هـ) $t = 22\ s$ إلى $t = 35\ s$ (و) $t = 35\ s$ إلى $t = 38\ s$

الحل:

الزمن	الحركة
0 s إلى 3 s	تزداد السرعة الاتجاهية بانتظام تقريبًا عند أول خروج الرجل من الطائرة، العجلة a تكون حوالي $\frac{30}{3} = 10\ m\ s^{-2}$ وهي قريبة من (g).
3 s إلى 10 s	تزداد السرعة الاتجاهية من $30\ m\ s^{-1}$ إلى $50\ m\ s^{-1}$ خلال زمن قدره $\Delta t = 7\ s$، أي أن $a = 2.9\ m\ s^{-2}$ أصغر من تلك التي تحرك بها الجسم خلال الزمن من $t = 0\ s$ إلى $t = 3\ s$.
10 s إلى 20 s	السرعة الاتجاهية ثابتة، بمعنى أنه تم التوصل إلى السرعة الاتجاهية النهائية (أي أن العجلة تساوي صفرًا).
20 s إلى 22 s	تقل السرعة الاتجاهية باطراد من $50\ m\ s^{-1}$ إلى $10\ m\ s^{-1}$ خلال $\Delta t = 2\ s$، بمعنى أن التقاصر سريع (وهذا يحدث بسبب مقاومة الهواء الكبيرة للمظلة عند فتحها).
22 s إلى 35 s	السرعة الاتجاهية ثابتة مرة أخرى ولكنها أقل من السرعة الاتجاهية النهائية الأولى قبل فتح المظلة.
35 s إلى 38 s	تقل السرعة الاتجاهية من $10\ m\ s^{-1}$ إلى $0\ m\ s^{-1}$ خلال زمن قدره $\Delta t = 3\ s$، بمعنى أن الجسم يتحرك بعجلة تقاصرية كبيرة قبل أن يصطدم بسطح الأرض ويسكن.



شكل 2 – 19

أسئلة التقويم الذاتي

لماذا تصل الريشة إلى سرعتها الاتجاهية النهائية قبل المطرقة في وجود مقاومة للهواء إذا تُركا ليسقطا سقوطًا حرًّا من وضع السكون من ارتفاع كاف؟

خريطة مفاهيم

الطول، l

m
وحدة قياس
في النظام الدولي

الإزاحة، s
المسافة، d

السرعة القياسية أو الاتجاهية ثابتة

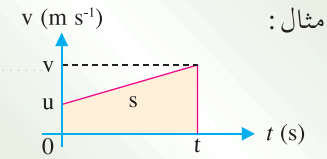
السرعة الاتجاهية $v = \frac{s}{t}$
السرعة القياسية $v = \frac{d}{t}$

$m\ s^{-1}$
وحدة قياس
في النظام الدولي

السرعة القياسية أو الاتجاهية متغيرة

المساحة المحصورة تحت منحنى العلاقة بين السرعة والزمن تعطي المسافة المقطوعة

مثال :



$s = \frac{1}{2}(u + v)t$

s
وحدة قياس
في النظام الدولي

الزمن، t

العجلة، $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - u}{t}$

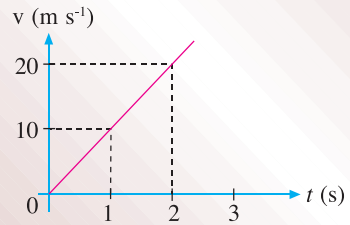
حيث، v تساوي السرعة النهائية
u تساوي السرعة الابتدائية

$m\ s^{-2}$
وحدة قياس في
النظام الدولي

العجلة الثابتة :

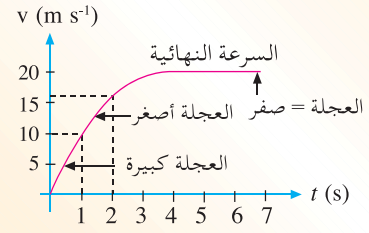
مثال : السقوط الحر للأجسام تحت تأثير قوة الجاذبية الأرضية في غياب مقاومة الهواء له عجلة ثابتة

$a = g = 10\ m\ s^{-2}$



العجلة المتغيرة :

مثال : السقوط الحر للأجسام تحت تأثير قوة الجاذبية الأرضية وفي وجود مقاومة الهواء له عجلة تقصيرية



المهارة: الحل الابتكاري للمشكلات

تخيل المشهد التالي:

قفز رجل مظلات نحيل من طائرة تحلق على ارتفاع شاهق أثناء عرض للجمهور بشاطئ البحر في يوم كان الطقس فيه صافيًا مع وجود نسيم قوي للبحر، ثم قفز بعده بثانيتين إلى ثلاث ثوان شخص بدين. ونظرًا لحدوث خطأ فني وجد الشخص النحيل صعوبة بالغة في فتح مظلته، فأشار إلى المظلي البدين مستغيثًا به. ما أفضل حل ممكن لإنقاذ حياة المظلي النحيل؟

المشكلة

↓

كيف تنقذ حياة المظلي النحيل؟

↓

بعض مفاهيم تؤخذ في الاعتبار

:

↓

المعايير / الاحتمالات		
القابلة للتنفيذ		
الارتفاع الكافي		

(ضع علامة (✓) أو (X) في المكان الملائم.)

↓

الحل

↓

الجزء الأول أسئلة الاختيار من متعدد :

1- إذا علمت أن متوسط سرعة سيارة $35\ km\ h^{-1}$، فما المسافة التي تقطعها السيارة خلال 45 دقيقة؟

(أ) 0.78 km

(ب) 129 km

(جـ) 26.25 km

(د) 467 km

2- تتسارع سيارة بانتظام من $5\ m\ s^{-1}$ إلى $13\ m\ s^{-1}$ في زمن قدره 4 s، فما العجلة التي تكتسبها السيارة بوحدة $m\ s^{-2}$؟

(أ) 0.50

(ب) 0.80

(جـ) 1.25

(د) 2

3- قُذفت كرة لأعلى بشكل رأسي بسرعة $1.2\ m\ s^{-1}$، ثم تقاصرت بعجلة منتظمة قدرها $10\ m\ s^{-2}$. فما الزمن الذي تستغرقه لكي تصل سرعتها الاتجاهية إلي صفر؟

(أ) 0.12 s

(ب) 2.4 s

(جـ) 6 s

(د) 12 s

4- ما المعلومات التي تتوقع الحصول عليها من الرسم البياني للعلاقة بين السرعة الاتجاهية والزمن؟

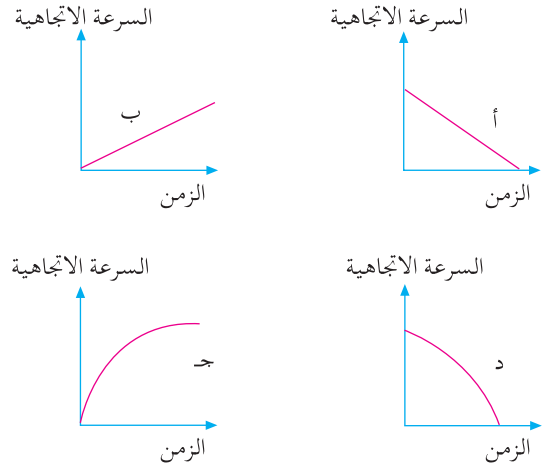
(أ) السرعة الاتجاهية.

(ب) السرعة الاتجاهية، والإزاحة.

(جـ) السرعة الاتجاهية، والعجلة.

(د) السرعة الاتجاهية، والإزاحة، والعجلة.

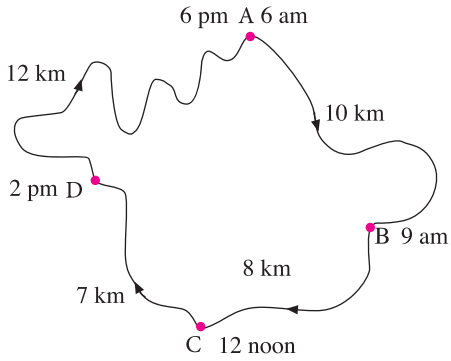
5- أي علاقة من العلاقات البيانية التالية بين السرعة الاتجاهية والزمن تبين إبطاء جسم ما بعجلة تناقصية غير منتظمة؟



الجزء الثاني الأسئلة التركيبية

1- (أ) عرِّف متوسط السرعة.

(ب) يبين الشكل التالي الطريق الذي يسلكه راكب دراجة عند مروره بالأماكن (A, B, C, D) قبل العودة إلى (A).



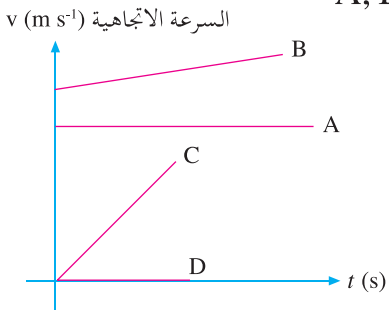
احسب متوسط السرعة $km\ h^{-1}$:

(1) من A إلى B

(2) من B إلى C

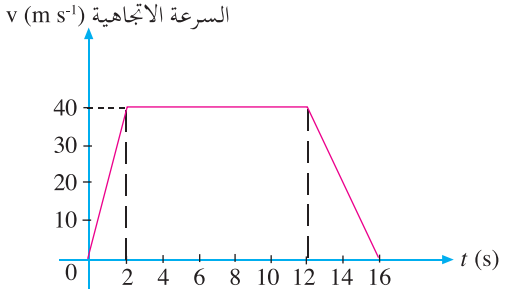
(3) طوال الرحلة

2- يبين الرسم التالي العلاقات البيانية بين السرعة الاتجاهية والزمن لأربعة جسيمات A, B, C, D



صف حركة تلك الجسيمات الأربعة.

3- تسحب قاطرة قطارًا من محطة ما، فتسير في خط مستقيم على قضبان أفقية في اتجاه محطة أخرى. ويبين الرسم البياني التالي كيفية اختلاف السرعة الاتجاهية للقطار مع الزمن على مدار الرحلة كلها.



مستخدمًا الرسم البياني، احسب ما يلي:

(أ) عجلة القطار خلال الثانيتين الأوليتين من رحلته.

(ب) أقصى سرعة اتجاهية للقطار.

(جـ) الزمن الذي يسير خلاله القطار بعجلة تقصيرية.

(د) المسافة الكلية بين المحطتين.

(هـ) متوسط السرعة الاتجاهية للقطار.

4- (أ) ما المقصود بكل من:

(1) السرعة الاتجاهية،

(2) العجلة (التسارع)؟

(ب) يبدأ مصعد رحلته لأعلى من السكون بعجلة لمدة 5 s حتى يصل إلى سرعة اتجاهية قدرها $2\ m\ s^{-1}$. ويبدأ المصعد بعد ذلك في التحرك بسرعة ثابتة لمدة 10 s ثم يتحرك بعجلة تقصيرية إلى أن يتوقف بعد 5 s أخرى.

ويبدأ الحركة مرة أخرى في رحلة الهبوط من السكون بعجلة تقصيرية لمدة 10 s، إلى أن تصبح سرعته الاتجاهية $3\ m\ s^{-1}$، ثم يتحرك بعجلة تقصيرية ليصبح ساكنًا بعد مرور 10 s أخرى. وضح بالرسم البياني العلاقة بين السرعة والزمن لكل من رحلة صعود وهبوط المصعد، ثم احسب ما يلي:

(1) العجلة التي يتحرك بها المصعد في رحلته لأعلى.

(2) العجلة التقصيرية التي يتحرك بها المصعد في رحلته لأسفل.

(3) ماذا تقول عن المساحة المحصورة تحت المنحنيان للعلاقة البيانية بين السرعة الاتجاهية والزمن.

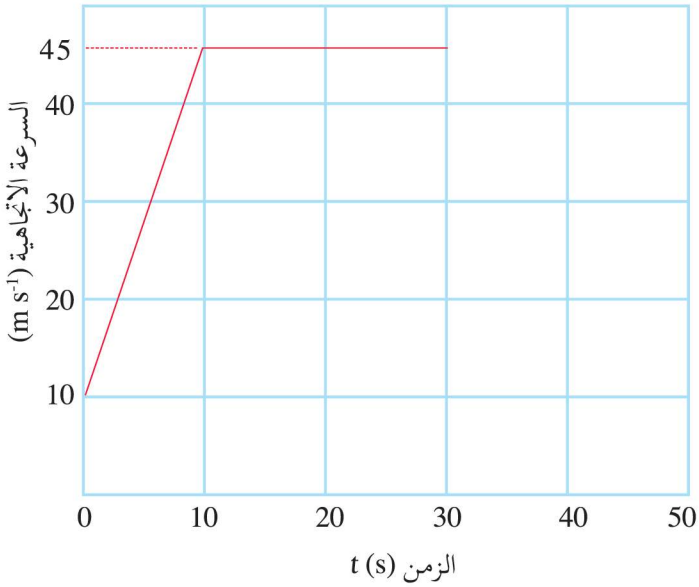
5- أُطلقت ريشة لتبدأ في السقوط الحر من حالة السكون في بيئتين مختلفتين. تكون في الأولى من دون هواء (أي في الفراغ)، وفي الثانية في وجود هواء.

(أ) ناقش حركة الريشة وهي تتحرك خلال البيئتين.

(ب) ارسم علاقتين بيانيتين للسرعة الاتجاهية مقابل الزمن لحركة الريشة في كل حالة، مع افتراض أن المسافة التي تسقط خلالها الريشة كبيرة بشكل كاف.

6- يبين الرسم البياني التالي كيفية تغير السرعة الاتجاهية لجسم متحرك بمرور الزمن t.

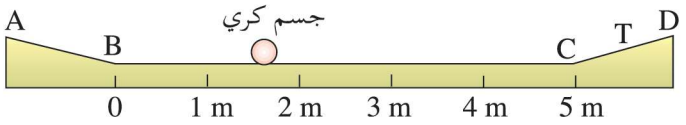
(أ) احسب العجلة التي يسير بها الجسم خلال الـ 10 s الأولى المبينة بالرسم.



(ب) يتقاصر الجسم بانتظام حتى يسكن أثناء الفترة الزمنية من $t = 30$ s إلى $t = 45$ s. أكمل الرسم البياني وعيِّن السرعة الاتجاهية للجسم عندما يكون $t = 37.5$ s.

(جـ) عيِّن المسافة التي يقطعها الجسم أثناء الفترة الزمنية ما بين $t = 30$ s إلى $t = 45$ s.

7-



دُرِّجَ بالمتر الجزء الأفقي المبين بالرسم BC (بطول 5 m) لمسار أملس ABCD. وتُرك جسم كري ذو كتلة 0.3 kg لينزلق من نقطة ما على المنحدر AB، وأكمل الجسم الكري تدحرجه حتى نهاية القضيب D.

وشُغلت ساعة الإيقاف بعد زمن قصير من مرور الجسم الكري بالنقطة B، وسُجِّل الزمن الذي يتخطى عنده الجسم الكري علامات التدريج العديدة في الجدول التالي:

المسافة من B(m)	2	3	4	5
الزمن (s)	3.5	6	8.5	11

(أ) ارسم العلاقة البيانية بين المسافة والزمن للجسم الكري.

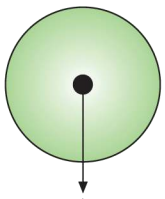
(ب) احسب متوسط السرعة الاتجاهية للجسم الكري عند تدحرجه بين العلامتين 3 m، 4 m.

(جـ) مفترضًا أن الجسم الكري يتدحرج بحرية بعد تركه للمنحدر AB، احسب بُعْد الجسم الكري عن B عند بدء تشغيل ساعة الإيقاف.

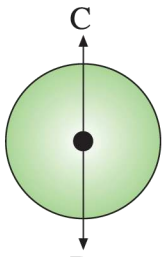
(د) ما عجلة الجسم الكري وهو يتدحرج من B إلى C؟ فسر إجابتك.

(هـ) عندما يقابل الجسم الكري الجزء المنحدر CD من المسار فإنه يبطئ إلى أن يتوقف عند النقطة T. يصل الجسم الكري إلى T بعد 13 s من بدء تسجيل ساعة الإيقاف للزمن. احسب تقاصر الجسم الكري أثناء تدحرجه لأعلى المنحدر CD.

8 - أسقط شخص كرة تنس الطاولة من أعلى بناء مرتفع. ويبين شكل 1 كرة تنس الطاولة بعد إطلاقها، ويبين شكل 2 كرة تنس الطاولة قبل وصولها للأرض مباشرة.



شكل 1



شكل 2

(أ) اذكر أسماء القوى الثلاثة A، B، C.

(ب) ما قيمة العجلة الابتدائية لكرة تنس الطاولة في شكل 1؟

(جـ) فسر تناقص عجلة كرة تنس الطاولة أثناء سقوطها إلى الأرض.

9 - أجرى طالب تجربة لقياس عجلة (التسارع) السقوط الحر (g) لبندول بسيط بسبب الجاذبية. ولقد سجلت نتائج القياس في الجدول التالي:

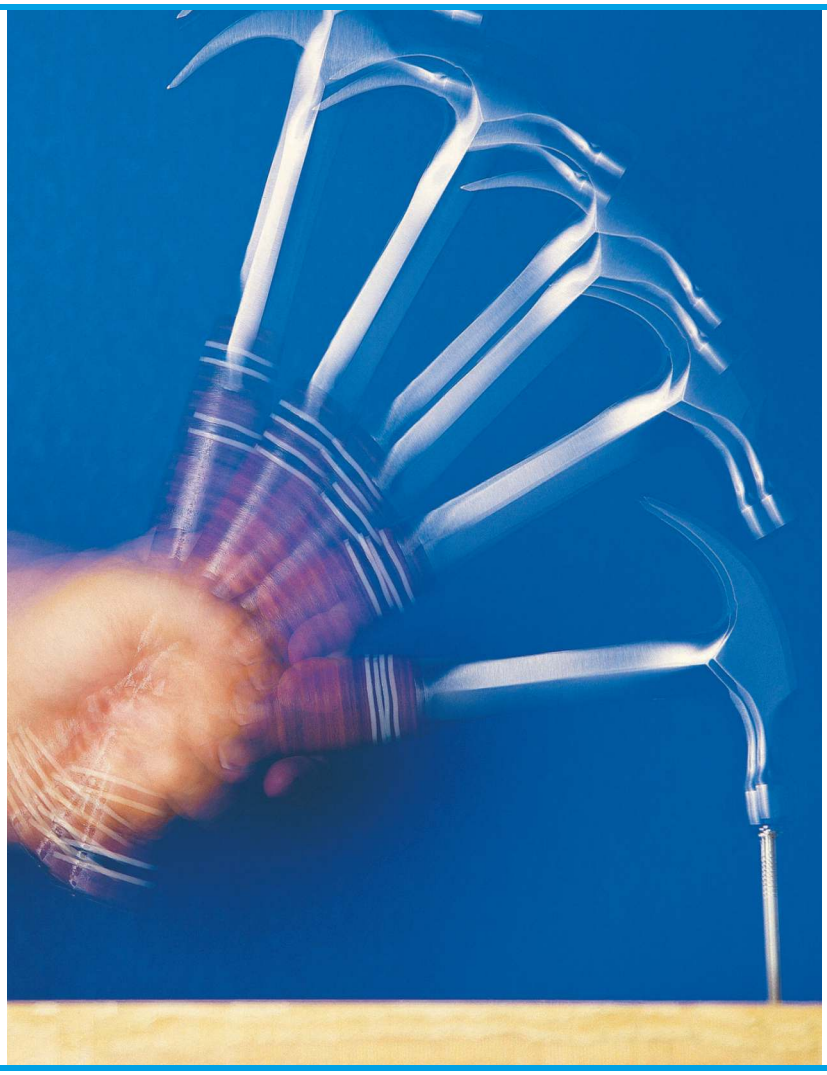
طول خيط البندول l (m)	0.35	0.65	1.0	1.45	1.95
زمن (20) ذبذبة t (s)	24.1	32.4	40.1	47.5	56.3

وبما إن العلاقة بين الزمن الدوري T وطول البندول l عجلة (التسارع) السقوط الحر g بسبب الجاذبية هي $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ أوجد قيمة g مستخدمًا الرسم البياني.

الوحدة 3

القُـــــــوَى

Forces



سندرس في هذه الوحدة القوى، وتأثيرها على حركة جسم ما، والتأثير الدوّار للقوى.

وعند دراسة القوى، نتذكر عالمًا مهمًّا جدًّا اسمه إسحاق نيوتن، وُلد بإنجلترا منذ أكثر من 360 عام، في سنة 1642. ولقد اخترع، كعالِم وكمتخصص في الرياضيات، حساب التفاضل والتكامل، كما طور قوانين الحركة، وصاغ قوانين الجاذبية العامة، واكتشف خصائص كثيرة للضوء. ورغم كونه رجلًا نابغًا، إلا أنه قال: «أنا لا أعلم كيف أبدو للعالَم، ولكن أبدو لنفسي مجرد طفل صغير يلعب على الشاطئ، يسلي نفسه من حين لآخر بالبحث عن حصى أكثر نعومة أو محار أكثر جمالًا من الحصى أو المحار العادي، بينما يظل محيط الحقيقة غير مكتشف أمامي».

مخرجات التعلم

في هذه الوحدة سوف:

- ☐ تصف تأثير القوى المتوازنة، وغير المتوازنة على جسم ما.
- ☐ تصف الطرق التي قد تغير بها قوة من حركة جسم ما.
- ☐ تذكر المقصود بالكميات القياسية والكميات المتجهة مع إعطاء أمثلة شائعة لكليهما.
- ☐ تجمع قوتين متجهتين معًا لتعيين الناتج (المحصلة) باستخدام طريقة التمثيل البياني.
- ☐ تتذكر العلاقة: القوة المحصلة تساوي الكتلة X العجلة.
- ☐ تطبق العلاقة بين القوة المحصلة، والكتلة، والعجلة لحل المشاكل ذات الصلة.
- ☐ تشرح تأثير الاحتكاك على حركة جسم ما.

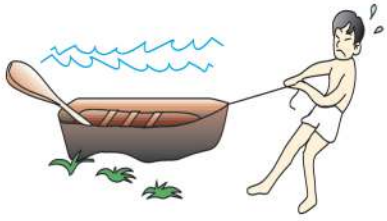
شكل 3 – 1 انطلاق مكوك الفضاء

شكل 3 – 2 رياضة ركوب الألواح الشراعية

– ما القاسم المشترك بين(شكلي 3 – 1، 3 – 2؟)
– كلاهما يبين أجسامًا في حالة حركة. ما الذي يسبب الحركة؟
– والإجابة ببساطة هي القوة.
– ولكن ما القوة؟

التعريف المبسط للقوة

تُعرَّف القوة بطريقة مبسطة على أنها دفعة أو جذبة يبذلها جسم على آخر. ويبين(شكلا 3 – 3، 3 – 4)مثالين من الحياة اليومية.



شكل 3 – 3 ولد يبذل جهدًا في جذب الحبل

شكل 3 – 4 ولد يبذل جهدًا في دفع القارب

شكل 3 – 5 أحد العدائين يدفع كتل الانطلاق

هل تعتقد أن القارب سيتحرك في كلتا الحالتين؟
إن ذلك يتوقف على ما إذا كان الولد لديه القوة الكافية. فإن كانت لديه القوة الكافية فإن القارب سيتحرك، وإن لم تكن لديه القوة الكافية، يميل القارب فقط إلى التحرك ولكنه يظل ساكنًا. وبالمثل، إذا جرى شخص ما مباشرة نحوك، فيمكنك فقط إيقافه إذا كانت لديك القوة الكافية لإيقاف حركته، وإن لم تكن لديك القوة الكافية لإيقاف حركته، فستميل فقط إلى إيقاف حركته. ومن ثم نستطيع الآن تعريف القوة بشكل أدق كما يلي:

> القوة هي دَفْعَة أو جَذْبَة يبذلها جسم ما على جسم آخر، فتُنتج أو تميل إلى إنتاج حركة، أو تُوقف أو تميل إلى إيقاف حركة.

ويبين(شكلا 3 – 5، 3 – 6)أمثلة أخرى لقوى يتم بذلها.

شكل 3 – 6 جذب المراكبي للمجداف

بعض الأنواع الشائعة للقوة

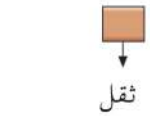
يلخص جدول 3 – 1 الأنواع الشائعة للقوة وطبيعة كل نوع منها .

جدول 3 – 1

نـوع القـوة	طبيعـة القـوة
الوزن	جذب الكرة الأرضية المسلط على جسم ما .
الشد	الجذب عند طرفي زنبرك، أو حبل، أو خيط ممدود .
القوة المغناطيسية	الدَّفعَة أو الجَذبَة المبذولة بين المغناطيسات، أو جذب المغناطيس للمواد القابلة للمغنطة .
القوة الكهربائية	الدَّفعَة أو الجَذبَة بين الشحنات الكهربائية .
قوة التلامس	الدَّفعَة عندما ينضغط جسمان معًا، فتحاول ذرات سطحيهما إبعادهما عن بعضهما البعض .
الاحتكاك	قوة تلامس تبطئ من حركة الأشياء المتحركة، وتتواجد بين أسطح جسمين متلامسين (انظر الجزء 3 – 5 للدراسة التفصيلية) .
المقاومة	تعرف أيضًا بقوة اللزوجة، وتوجد في الموائع مثل الزيت أو الهواء . إن كلًّا من المقاومة والاحتكاك قوى مبددة في الطبيعة، بمعنى أن الشغل الذي يبذلانه يؤدي دائمًا إلى إنتاج وتبعثر طاقة حرارية . ومثال ذلك معاناة جلدك من التسلخات عند انزلاقك عرضيًّا على الأرض .

تحديد كمية القوة

النيوتن (N) وحدة قياس القوة في النظام الدولي . إن قوة مقدارها 1 N تساوي تقريبًا قوة جذب الأرض لجسم كتلته 1kg ، وسنُعرِّف مصطلح نيوتن في الجزء 3 – 3 .



شكل 3 – 7 جسم ساقط

جمع القوى

ليس للقوة مقدار فقط يُعبَّر عنه بوحدة النيوتن، بل هي تعمل أيضًا دائمًا في اتجاه معين . فيسلط على سبيل المثال في(شكل 3 – 7) وزن الجسم دائمًا لأسفل في اتجاه مركز الكرة الأرضية . فكيف يمكن جمع قوتين أو أكثر مسلطتين على نفس الجسم، مع الأخذ في الاعتبار بأن مقادير واتجاهات القوى قد تكون مختلفة؟

3 – 2 الكميات القياسية والكميات المتجهة
Scalars and Vectors

- الكمية القياسية لها مقدار فقط .
- الكمية المتجهة لها مقدار واتجاه .

الكميات القياسية كميات فيزيائية لها مقدار فقط . فالكتلة والمسافة على سبيل المثال، كميتان قياسيتان . والكميات المتجهة كميات فيزيائية لها مقدار واتجاه، ومن أمثلتها القوة، والسرعة الاتجاهية، والعجلة . ويبين جدول 3 – 2 قائمة بالكميات القياسية والمتجهة .

جدول 3 – 2 الكميات القياسية والمتجهة

الكميات القياسية	الكميات المتجهة
الكتلة	الإزاحة
الزمن	السرعة الاتجاهية
المسافة	العجلة
السرعة (القياسية)	القوة
الحجم	
الكثافة	
الشغل	
الطاقة	
القدرة	

وعندما نحدد كمية قياسية، نحتاج فقط إلى وصف مقدارها . فنذكر على سبيل المثال كتلة مقدارها 2 kg ، في حين أننا عند تعيين كمية متجهة نذكر مقدارها واتجاهها، مثل سيارة تتحرك بسرعة اتجاهية $20\ m\ s^{-1}$ في اتجاه الشمال الشرقي بزاوية 45° .

إحدى الطرق المفيدة لتمثيل الكمية المتجهة تكون باستخدام **الرسم بالمتجهات** . ويُمثَّل مقدار واتجاه السرعة الاتجاهية بطول المتجه، وبالجهة التي يُشير إليها .

مثال محلول 3 – 1

وضح برسم المتجهات سرعة اتجاهية مقدارها $20\ m\ s^{-1}$ اتجاهها $45°$ إلى الشمال الشرقي.

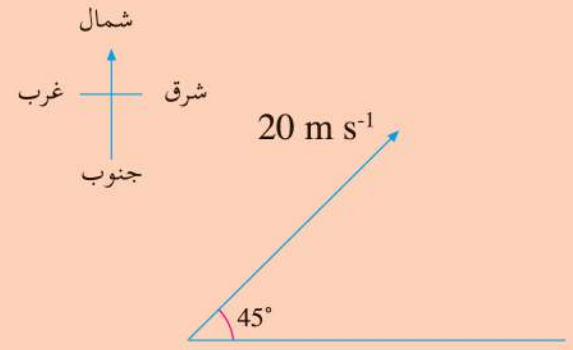
الحل:

الخطوة 1: تخير مقياسًا مناسبًا. وفي هذ الحالة، يمكننا اختيار $1\ cm$ لتمثيل $5\ m\ s^{-1}$.

الخطوة 2: يُمثِّل طول المتجه مقدار الكمية المتجهة. ولتمثيل سرعة اتجاهية مقدارها $20\ m\ s^{-1}$ باستخدام المقياس السابق، سيكون طول المتجه $4\ cm$.

الخطوة 3: مستخدمًا منقلة، قس زاوية تجاه الشمال الشرقي $45°$. ويبين شكل 3 – 8 الرسم بالأسهم.

المقياس: $1\ cm : 5\ m\ s^{-1}$



شكل 3 – 8

يعتبر جمع الكميات القياسية أمرًا بسيطًا، حيث يمكن جمعها عدديًّا (جبريًّا). إن جمع كتلة $100\ g$ إلى كتلة أخرى $200\ g$ على سبيل المثال، يعطي كتلة كلية $300\ g$.

إن جمع الكميات المتجهة، يجب ألا يأخذ المقدار فقط في الاعتبار ولكن أيضًا اتجاه الكميات المتجهة. وسندرس في الجزء التالي كيفية جمع الكميات المتجهة.

جمع المتجهات

جمع المتجهات التي تعمل على نفس الخط المستقيم

عندما نقول أننا نجمع كميتين متجهتين، فإننا نعني إيجاد كمية متجهة واحدة، بحيث تنتج تلك الكمية المتجهة الوحيدة نفس تأثير الكميتين المتجهتين المجموعتين معًا. ويطلق أحيانًا على تلك الكمية المتجهة الواحدة **المحصلة**.

ويبين(شكل 3 – 9 (أ))قوتين مقدارهما 3 N، و5 N تؤثران على كتلة ما في اتجاه اليسار. والقوة المحصلة هي :

$$(5 + 3)\ N = 8\ N$$

في اتجاه اليسار كما هو مبين في(شكل 3 – 9 (ب)) ويشار عادة إلى القوة المحصلة بسهم مزدوج.

وتعمل القوة 3 N في(شكل 3 – 10)على الكتلة في اتجاه اليمين، والقوة 5 N في اتجاه اليسار. والقوة المحصلة هي :

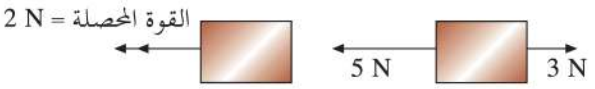
$$(5 - 3)\ N = 2\ N$$

في اتجاه اليسار كما هو مبين في(شكل 3 – 10 (ب))

نرى في هذين المثالين، أنه يجب عند جمع كميات متجهة أخذ اتجاهاتها في الاعتبار. لاحظ أن الكمية المتجهة المحصلة يجب تحديدها **بمقدارها** و**اتجاهها**. فنقول على سبيل المثال، أن قوة محصلة 5 N تعمل في اتجاه الشمال الشرقي.

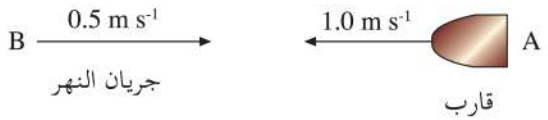
(ب) (أ)

شكل 3 – 9 جمع كميتين متجهتين: كُلًّا من الكميتين المتجهتين تعملان في نفس الاتجاه.



(ب) (أ)

شكل 3 – 10 جمع كميات متجهة: كميات متجهة تعمل في اتجاهات متضادة



شكل 3 – 11

نشاط على شبكة الإنترنت

اقرأ المزيد عن القوى المتوازنة وغير المتوازنه في الموقع:

<http://www.glenbrook.k12.k12.il.us/gbssci/phys/Class/newtlaws/u21d.html.>

أسئلة التقويم الذاتي

1- يستطيع شخص ما داخل قارب التجديف في مياه راكدة بسرعة $1.0\ m\ s^{-1}$ وينوي التجديف بالقارب من A إلى B. يجري الماء في النهر بسرعة $0.5\ m\ s^{-1}$ في الاتجاه من B إلى A. (انظر شكل 3 – 11)، أوجد السرعة الاتجاهية للقارب خلال الماء.

2- تعمل ثلاث قوى 3 N، 1.5 N، 6 N، على كتلة ما كما هو مبين في شكل 3 – 12. فما هي المحصلة الناتجة عن القوى الثلاث؟

شكل 3 – 12

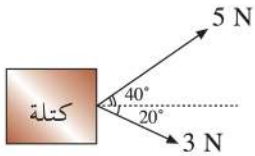
جمع المتجهات بطريقة متوازي الأضلاع

رأينا في الجزء السابق الحالة البسيطة للمتجهات التي تعمل بطول نفس الخط المستقيم. نواجه في أحيان كثيرة قوى تؤثر على بعضها بزوايا.

افترض قوتين 5 N، 3 N تؤثران على كتلة ما كما هو مبين في (شكل 3 – 13). لاحظ أن القوى لا تعمل في هذه الحالة على طول نفس الخط المستقيم، ولكن بزوايا على بعضها البعض.

وسوف نتبع الخطوات التالية لتكوين متوازي أضلاع القوى لإيجاد المحصلة الخاصة بالموقف السابق.

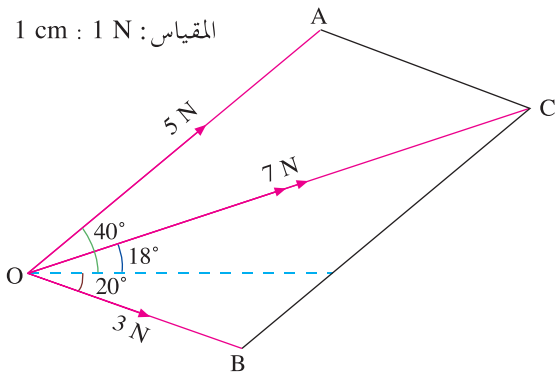
الخطوة 1 : تخير مقياسًا مناسبًا ومَثِّلْ القوتين باستخدام المتجهات. يمثل المتجه OA في شكل 3 – 14 قوة 5 N، ويمثل المتجه OB قوة 3 N.



شكل 3 – 13

الخطوة 2 : أكمل متوازي الأضلاع OACB بحيث AC يوازي OB، BC يوازي OA.

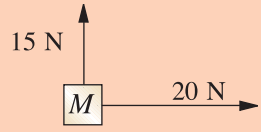
الخطوة 3 : وتعطي المحصلة بالخط القطري OC لمتوازي الأضلاع. ويكون طول OC في هذا المثال 7 cm، مما يعني أن المحصلة مقدارها 7 N، واتجاه المحصلة 18° على الأفقي.



شكل 3 – 14 جمع المتجهات بطريقة متوازي الأضلاع

مثال محلول 3 – 2

يبين شكل 3 – 15 قوتين في نفس المستوى مقدارهما 15 N، 20 N تعملان في اتجاهين متعامدين على كتلة M. حدد القوة المحصلة التي تؤثر على تلك الكتلة.



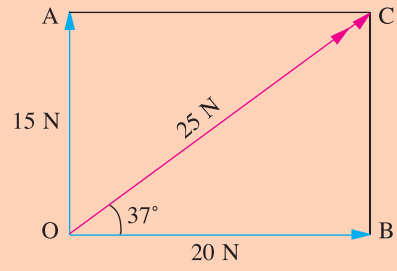
شكل 3 – 15

الحـــل :

الخطوة 1 : تخير مقياس 1 cm لتمثل 5 N. وتمثل المتجهات OA، OB قوى 15 N، 20 N.

الخطوة 2 : أكمل متوازي الأضلاع OACB.

الخطوة 3 : المحصلة طولها 5 cm، بمعنى أن المحصلة تساوي 25 N. وهي تؤثر بزاوية 37° على الأفقي.

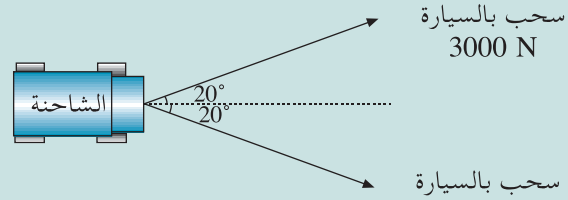


نشاط على شبكة الإنترنت

تعلم عن جمع المتجهات على الموقع:
<http://www.explorescience.com/activities/ActivityPage.cfm?ActivityID=15>.

تحـــدٍ

عَلِقَتْ شاحنة في أرض موحلة، واستُخدمت سيارتان تعملان بالدفع الرباعي لسحبها. وبذلت كل سيارة قوة مقدارها 3000 N بزاوية 20° إلى الاتجاه الذي يفترض أن تتحرك فيه الشاحنة. أوجد باستخدام رسم بمقياس نسبي، القوة المحصلة التي تسحب الشاحنة للأمام.



شكل 3 – 16

3 – 3 تأثيرات القوى على الحركة
The Effects of Forces on Motion

قوانين نيوتن للحركة
درس إسحاق نيوتن (1642 ـ 1727) حركة الأجسام، وصاغ قوانينه الثلاثة المشهورة عن الحركة.

القانون الأول لنيوتن

يستمر الجسم على حالته من سكون أو حركة منتظمة في خط مستقيم ما لم تؤثر عليه قوة محصلة، تغير من حالته.

ويدلنا القانون الأول على شيئين. أولًا، إن لم توجد قوة محصلة تؤثر على الجسم الساكن فإنه سيظل ساكنًا. ثانيًا، إن لم توجد قوة محصلة تؤثر على الجسم المتحرك فإنه سيستمر في تحركه بسرعة ثابتة في خط مستقيم، بمعنى آخر بسرعة اتجاهية ثابتة.

تخيل رائد فضاء يقذف كرة في الفضاء الخارجي. إن لم توجد قوى تؤثر على الكرة (ولا حتى قوى الجاذبية)، فإنها ستسير في خط مستقيم بسرعة ثابتة حتى تتأثر بقوة ما. ولا نتعرض لذلك على الأرض لأنك لو قذفت كرة فإنها ستقع على الأرض لأن جاذبية الكرة الأرضية تؤثر على الكرة المقذوفة، فتسقط.

ويصف القانون الأول لنيوتن سلوك الأجسام في غياب قوى محصلة تؤثر عليها. فماذا يحدث عند وجود قوة محصلة تؤثر على الأجسام؟ يفسر القانون الثاني لنيوتن كيفية تغير حركة جسم ما عندما لا تكون القوة المحصلة تساوي صفرًا.

شكل 3 – 17 ينزلق متزلجو الجليد بسرعة اتجاهية ثابتة تقريبًا

القانون الثاني لنيوتن

عند تأثير قوة محصلة على جسم ذي كتلة ثابتة فإنه يكتسب عجلة، بحيث تساوي القوة المحصلة حاصل ضرب كتلته في عجلة حركته، ويكون اتجاه العجلة في نفس اتجاه القوة المحصلة.

تؤدي القوى المحصلة إلى إكساب الجسم عجلة (تسارع)

ويدلنا القانون الثاني لنيوتن على أنه عند تأثير قوة محصلة على جسم ما، فإما يبطئ (يتقاصر)، أو يتسارع (يكتسب عجلة)، وإذا اعتبرنا التقاصر عجلة سالبة، فيمكننا القول أنه عند تأثير قوة محصلة على جسم ما فإن ذلك الجسم يكتسب عجلة. وباستخدام الرموز يكون القانون :

القوة تساوي الكتلة × العجلة

$$F = ma$$

حيث F تساوي القوة المحصلة
m تساوي كتلة الجسم
a تساوي عجلة الجسم

وتمكننا تلك المعادلة من تعريف القوة بشكل كمي. فإذا اعتبرنا أن كتلة الجسم، $m = 1\ \text{kg}$، والعجلة التي يكتسبها الجسم، $a = 1\ \text{m s}^{-2}$، فإن : $F = ma = (1\ \text{kg})(1\ \text{m s}^{-2}) = 1\ \text{kg m s}^{-2} = 1\ \text{N}$ ، وهو (أي النيوتن) وحدة قياس القوة في النظام الدولي. وهكذا يمكن تعريف النيوتن بأنه القوة المطلوبة لإنتاج عجلة $1\ \text{m s}^{-2}$ في جسم كتلته $1\ \text{kg}$.

مثال محلول 3 – 3

يدفع ولد صندوقًا كتلته 20 kg بقوة مقدارها 50 N احسب عجلة الصندوق؟ (افترض عدم وجود احتكاك) .

الحل :

المعطيات : الكتلة، $m = 20\ kg$

القوة، $F = 50\ N$

ومن القانون الثاني لنيوتن عن الحركة،

$F = ma$ حيث a تساوي عجلة الصندوق

ومن ثم فإن، $a = \frac{F}{m} = \frac{50}{20} = 2.5\ m\ s^{-2}$

مثال محلول 3 – 4

تسارعت سيارة كتلتها 1000 kg من حالة السكون لتصبح بعد 5 s سرعتها $20\ m\ s^{-1}$. احسب قوة دفع السيارة للأمام . (افترض عدم وجود احتكاك .)

الحل :

المعطيات : الكتلة، $m = 1000\ kg$

السرعة الابتدائية، $u = 0\ m\ s^{-1}$

السرعة النهائية، $v = 20\ m\ s^{-1}$

الزمن، $t = 5\ s$

ومن القانون الثاني لنيوتن عن الحركة،

قوة الدفع للأمام، $F = ma$ حيث a تساوي العجلة الناتجة

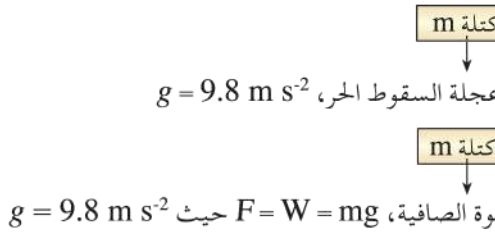
ولكن، $a = \frac{v - u}{t}$

$= \frac{20 - 0}{5} = 4\ m\ s^{-2}$

ومن ثم فإن، $F = ma = (1000)(4) = 4000\ N$

ويسمح لنا أيضًا القانون الثاني لنيوتن بإيجاد وزن الجسم، فإذا تركنا جسم له كتلة m يسقط سقوطًا حرًّا (شكل 3 – 18)، فإنه يكتسب عجلة مقدارها $a = g = 9.8\ m\ s^{-2}$، كما نوقش في الجزء 2 – 6 . باستخدام القانون الثاني لنيوتن، فإن القوة المحصلة، $F = ma = mg$، حيث $g = 9.8\ m\ s^{-2}$. وفي هذه الحالة، فإن القوة المحصلة F هي وزن الجسم W الناتج عن الجاذبية الأرضية .

ولهذا فإن $W = mg$ حيث $g = 9.8\ m\ s^{-2}$، وهي عجلة السقوط الحر الناتجة عن الجاذبية الأرضية، ويتم عادة تقريبها إلى $10\ m\ s^{-2}$.



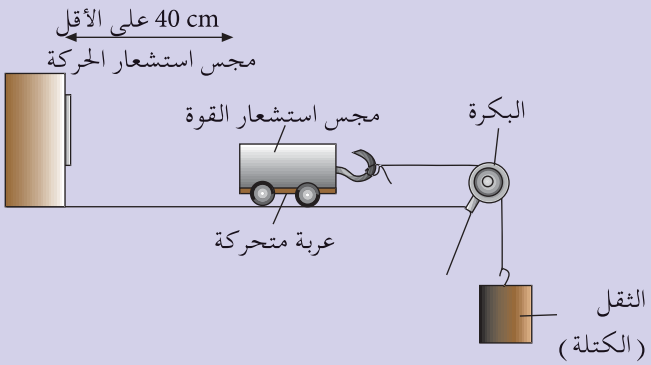
شكل 3 – 18 جسم كتلته m يسقط سقوطًا حرًا تحت تأثير الجاذبية .

لاستقصاء العلاقة بين القوة، والكتلة، والعجلة.

الجهاز: جهاز التداخل البيني لورشة عمل العلوم / عربة متحركة / مجس استشعار الحركة / قضيب سكة حديد طوله 1.2 m / مجس استشعار القوة / ثقل ذو معلاق / ميزان إلكتروني / بكرة ذات قامطة للتثبيت في طاولة.

الإجراء:

1– جهز الجهاز الموضح بالرسم. وابدأ باستخدام كتلة 20 g على المعلاق.



2– يجب أن تبدأ العربة المتحركة على بعد 40 cm على الأقل عن مجس استشعار الحركة.

3– ابدأ التسجيل وأطلق العربة، ثم انته من التسجيل قبل أن تصطدم العربة بالبكرة.

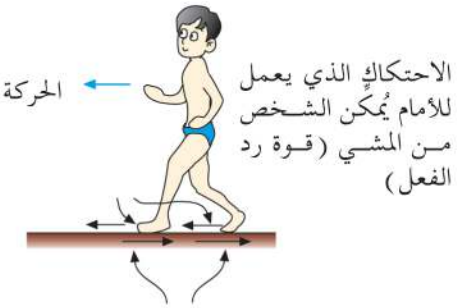
4– ارسم العلاقة البيانية بين السرعة الاتجاهية والزمن مستخدمًا الأدوات الإحصائية المتاحة في برنامج ورشة عمل العلوم ثم احسب وسجل قيمة العجلة.

5– كرر الخطوات 2، 3، 4 مع استخدام كتل 40 g، 60 g، 80 g، 100 g.

5 – 3 القانون الثالث لنيوتن عن الحركة
Newton's Third Law

إذا بذل الجسم A قوة F على الجسم B، فإن الجسم B يبذل قوة $-F$ (لها نفس القيمة ولكن في الاتجاه المضاد) على الجسم A .

ويدلنا القانون الثالث لنيوتن على أربعة خصائص للقوى : أولاً، تعمل القوى دائمًا في أزواج، وتعرف تلك القوى بقوة **الفعل** وقوة **رد الفعل** . ويبين(شكلا 3 – 19، 3 – 20)مثالين شائعين من الحياة اليومية .
ثانيًا، الفعل ورد الفعل متساويان في المقدار . ثالثًا، الفعل ورد الفعل يعملان في تضاد، وأخيرًا، الفعل ورد الفعل يعملان على أجسام مختلفة .



(شكل 3 – 19) شخص يمشي على طريق غير ممهد

شكل 3 – 20 شخص يدفع ضد حائط حمام السباحة

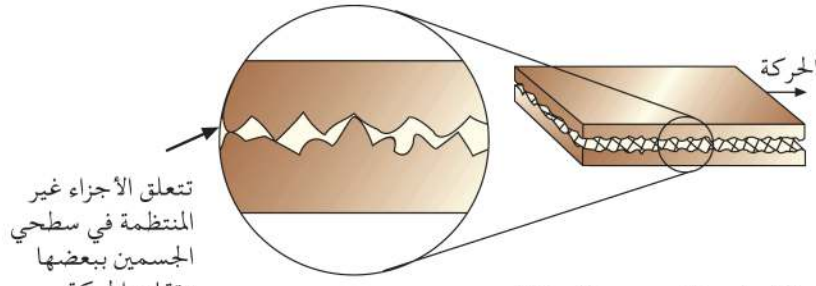
أسئلة التقويم الذاتي

(أ) ما الطرق التي يمكن أن تغير بها القوة حركة جسم ما؟
(ب) يعتبر القانون الأول لنيوتن حالة خاصة من قانونه الثاني، اشرح ذلك .

تأثيرات الاحتكاك على الحركة

إذا دفعنا كتلة من الخشب بطول منضدة أفقية طويلة، فإنها تسكن في النهاية . وبمعنى آخر، تتقاصر كتلة الخشب تحت تأثير قوة مضادة تحدثها المنضدة عليها، وتعرف تلك القوة المضادة **بقوة الاحتكاك** .

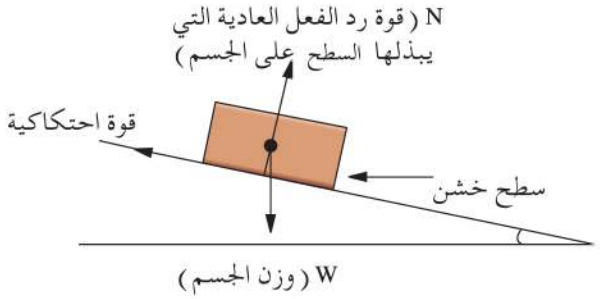
حين ينزلق سطح جسم ما فوق سطح جسم آخر، فإن كل جسم منهما يبذل قوة احتكاك على الآخر، ويرجع ذلك إلى اضطرابات السطح المجهرية للسطحين كما هو مبين في(شكل 3 – 21)



شكل 3 – 21 سبب الاحتكاك

الاحتكاك قوة تلامس تبطئ من حركة الأجسام .

وحتى في حالة عدم وجود حركة نسبية بين الأجسام، فإن قوى الاحتكاك توجد بين أسطح الأجسام كما هو مبين في(شكل 3 – 22)



شكل 3 – 22 جسم ساكن على سطح خشن

للاحتكاك أهمية كبرى في حياتنا اليومية حيث له تأثيرات إيجابية وسلبية .

ويلخص جدول 3 – 3 بعض التأثيرات الإيجابية والسلبية للاحتكاك .

جدول 3 – 3 بعض تأثيرات الاحتكاك

التأثيرات الإيجابية	التأثيرات السلبية
1- مطلوب للمشي وللإمساك بالقلم أو أدوات تناول الطعام . 2- يستخدم في وسائد المكابح لإبطاء حركة السيارة .	1- يقلل قدرة محرك السيارة بنسبة تصل إلى 20% . 2- يسبب تآكل الأجزاء المتحركة في المحركات والآلات .

شكل 3 – 23 يسبب الاحتكاك تآكلًا للأجزاء المتحركة في الآلات

شكل 3 – 24 الاحتكاك ضروري للإمساك بالقلم

وتشمل الطرق الشائعة المستخدمة لتقليل التأثيرات السالبة للاحتكاك ما يلي :

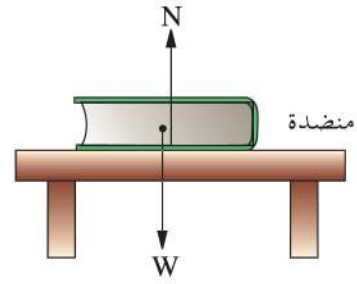
1- استخدام أسطح مصقولة للغاية للأجزاء المتحركة .

2- وضع طبقة من مادة لزجة (مشحم) بين السطحين لمنع اضطرابات السطح من التعلق ببعضها البعض . ومن أمثلة المواد اللزجة (المشحم) الزيت المستخدم في الأجزاء المتحركة داخل المحركات والوسادة الهوائية في الحوامة .

3- استخدام محامل الكرات الفولاذية لتمكين الأسطح من التدحرج بدلًا من الانزلاق فوق بعضها البعض .

القوى المتوازنة

عندما لا تنتج قوتان أو أكثر فاعلتان على جسم ما قوة محصلة، يمكننا القول بأن القوى متوازنة. ويمكننا الاستنتاج من القانون الأول لنيوتن أن الجسم إما ساكن أو متحرك بسرعة اتجاهية ثابتة.

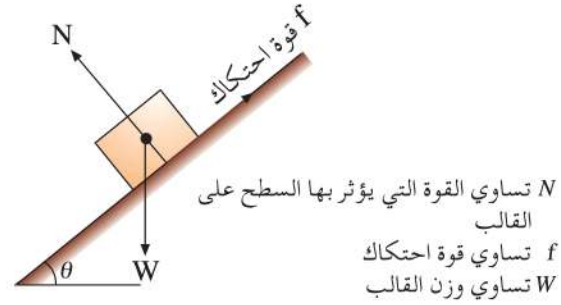


شكل 3 – 25 كتاب على منضدة

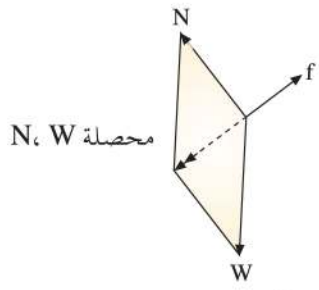
شكل 3 – 26 سيارة تتحرك بسرعة اتجاهية ثابتة

ويبين(شكل 3 – 25)القوى الفاعلة على كتاب موضوع على منضدة ما. إن W هو وزن الكتاب، وN هي القوة الفاعلة على الكتاب نتيجة المنضدة. وفي هذه الحالة $W = N$ والقوة المحصلة تساوي صفرًا. ولهذا يظل الكتاب ساكنًا.

ويبين(شكل 3 – 26)سيارة تتحرك بسرعة اتجاهية ثابتة. وتمثل F قوة الدفع للأمام التي يؤثر بها الطريق على العجلات الأمامية للسيارة، وتمثل F_R مقاومة الهواء الفاعلة على السيارة، وتمثل f قوة الاحتكاك. فإذا كانت قوة الدفع للأمام تساوي مقاومة الهواء + قوة الاحتكاك فإن القوة المحصلة تساوي صفرًا، وتتحرك السيارة بسرعة اتجاهية ثابتة.



شكل 3 – 27 قالب موضوع على سطح مائل

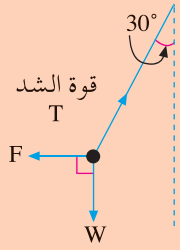


شكل 3 – 28

يبين(شكل 3 – 27)إمكانية بقاء القالب ثابتًا على سطح مائل بشرط غياب قوة محصلة تؤثر على القالب. وبمعنى آخر تتوازن محصلة القوة والوزن مع قوة الاحتكاك كما هو مبين في(شكل 3 – 28)

مثال محلول 3 – 5

كتلة ذات وزن W يساوي 6 N معلقة في طرف خيط سُحب جانبيًّا بقوة F بحيث يصنع الخيط زاوية 30° مع المستوى الرأسي كما هو مبين في شكل 3 – 29.

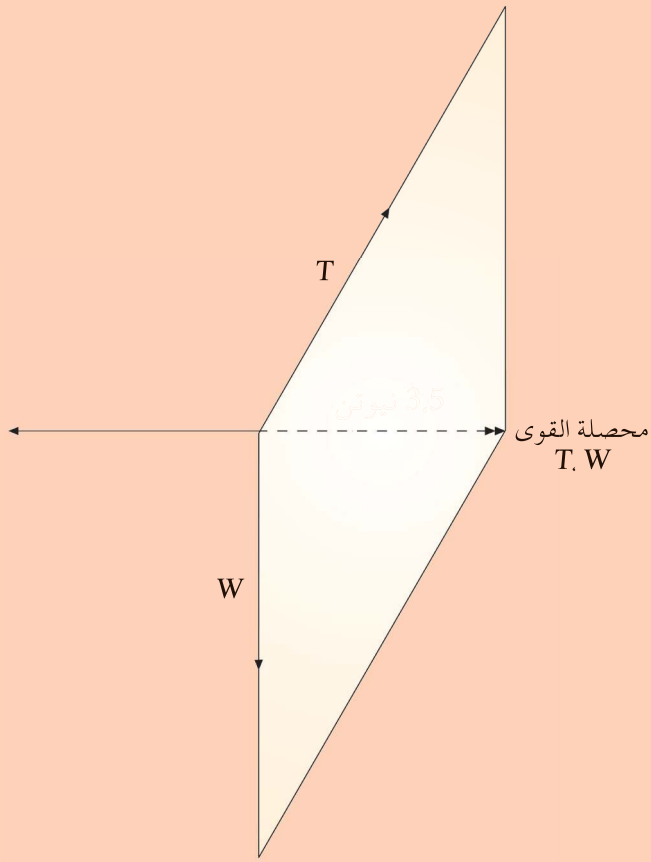


شكل 3 – 29

وتبلغ قيمة قوة الشد في الخيط 7 N. مستخدمًا متوازي أضلاع القوى، حدد القوة F.

الحل:

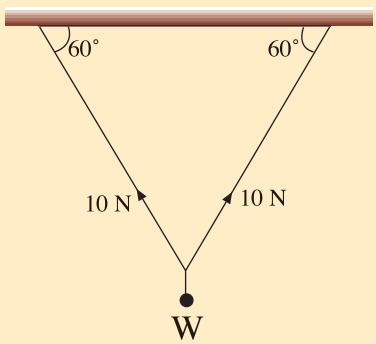
بما أن الكتلة ساكنة، فلا توجد محصلة للقوى: الوزن W، القوة F، قوة الشد T.



ومن متوازي أضلاع القوى فإن F لها طول يساوي 3.5 cm
وبالتالي فإن، $F = 3.5$ N

أسئلة التقويم الذاتي

دُعِّمَت كتلة وزنها W بقطعتي خيط كما هو مبين بشكل 3 – 30، وتبلغ قيمة الشد في كل خيط 10 N. مستخدمًا رسمًا بالمقياس النسبي أوجد قيمة الوزن.

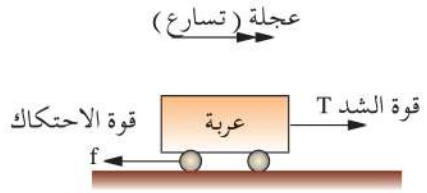


شكل 3 – 30

القوى غير المتوازنة

لقد رأينا في الجزء السابق أنه في حالة عدم وجود قوة محصلة فاعلة على جسم ما فإن الجسم سيظل ساكنًا، أو يتحرك بسرعة اتجاهية ثابتة. ومن ناحية أخرى فإنه في حالة وجود قوة محصلة، ووفقًا للقانون الثاني لنيوتن فإن الجسم سيكتسب عجلة.

ويبين (شكل 3 – 31) عربة نقل البضائع تُسحب بحبل ذي قوة شد T، وتعمل قوة الاحتكاك f على العجلات. ونُشاهد عربة نقل البضائع تكتسب عجلة إذا كانت قوة الشد T أكبر من قوة الاحتكاك f.



شكل 3 – 31 تكتسب عربة نقل البضائع عجلة إذا كانت قوة الشد أكبر من قوة الاحتكاك.

ويبين (شكل 3 – 32) سيارة تُسحب عجلة. ويحدث ذلك فقط إذا كانت قوة الدفع للأمام F على عجلات الدفع أكبر من القوى المقاومة الموحدة لمقاومة الهواء F_R وقوة الاحتكاك f.

شكل 3 – 32 تكتسب السيارة عجلة إذا كانت قوة الدفع أكبر من مقاومة الهواء + قوة الاحتكاك.

مثال محلول 3 – 6

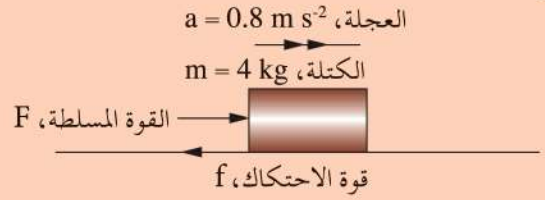
تساوي قوة الاحتكاك الانزلاقي بين صندوق كتلته 4 kg وأرضية الغرفة 15 N. وقد دُفع الصندوق عبر الأرضية بقوة ثابتة، بحيث يكتسب عجلة بمعدل $0.8\ m\ s^{-2}$.

(أ) ما القوة المسلطة على الصندوق؟

(ب) إذا سُلِّطت نفس القوة المحتسبة في (أ) على الصندوق الذي وضع الآن على أرضية عديمة الاحتكاك، ما العجلة الجديدة التي يكتسبها الصندوق؟

الحل:

(أ)



ومن القانون الثاني لنيوتن،

القوة المحصلة (الكلية) تساوي الكتلة × العجلة

القوة المسلطة – قوة الاحتكاك تساوي الكتلة × العجلة

القوة المسلطة تساوي قوة الاحتكاك + الكتلة × العجلة

$$\Rightarrow F = f + ma$$
$$= 15 + (4)(0.8)$$
$$= 18.2\ N$$

وهي القوة الثابتة المطلوبة.

(ب) بالنسبة للأرضية عديمة الاحتكاك، قوة الاحتكاك تساوي صفرًا ومن ثم، فإن: القوة المسلطة تساوي الكتلة × العجلة حيث العجلة تساوي العجلة الجديدة

$$\text{العجلة تساوي } \frac{\text{القوة المسلطة}}{\text{الكتلة}}$$
$$a = \frac{F}{m}$$
$$= \frac{18.2}{4}$$
$$= 4.6\ m\ s^{-2}$$

أسئلة التقويم الذاتي

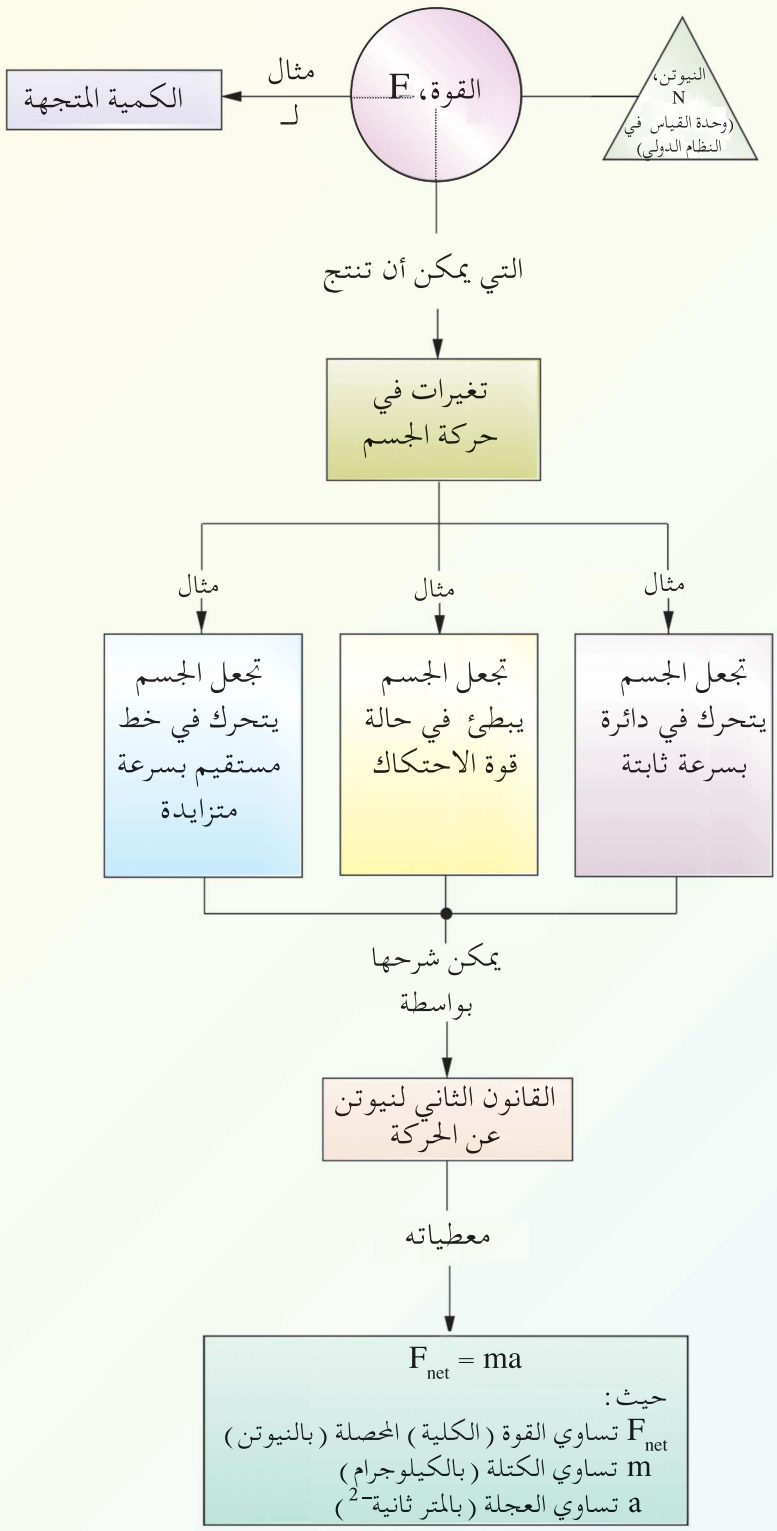
تكتسب سيارة كتلتها 1000 kg عجلة بمعدل $2\ m\ s^{-2}$. ما القوة المحصلة التي تعمل على السيارة؟ إذا كانت المقاومة للحركة هي 1000 N، ما القوة الناتجة عن المحرك؟

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) هل تستطيع الاستناد إلى جدار ما في غياب قوى احتكاك؟

(ب) كيف تقلل من تأثير الاحتكاك على حركة جسم ما؟

خريطة مفاهيم



المهارة : توليد الاحتمالات

لقد درست في هذه الوحدة تأثيرات الاحتكاك على حركة الجسم . تخيل الموقف الافتراضي التالي : استيقظت صباح يوم ما ووجدت نفسك مستلقيًا على أرضية عديمة الاحتكاك في حجرة نوم ذات جدران عديمة الاحتكاك أيضًا . وكانت الأرضية والجدران مصنوعتان من الثلج . يبين الشكل التالي موقعك في الحجرة .

فإذا رغبت في التحرك تجاه الباب، ما الطرق الممكنة (باستخدام أو من دون استخدام بعض المعدات البسيطة) لتنفيذ تلك المهمة؟ وما أسباب اختيار كل طريقة؟

الغرض : ما الهدف من هذه الاحتمالات ؟

↓

الاحتمالات

↓

أنواع الاحتمالات					

التمرين الثالث

الجزء الأول أسئلة الاختيار من متعدد

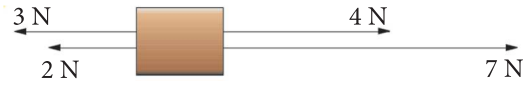
1- إذا سُلِّطت قوة على جسم ما، فيحتمل ظهور عدة تأثيرات. فأي النتائج التالية لايمكن حدوثها؟

(أ) يزداد الضغط على الجسم.
(ب) يدور الجسم.
(جـ) تقل كتلة الجسم.
(د) تزداد سرعة الجسم.

2- أي الكميات التالية كمية متجهة؟

(أ) الزمن.
(ب) الطاقة.
(جـ) السرعة الاتجاهية.
(د) درجة الحرارة.

3- يبين الشكل التالي أربع قوى تعمل على قالب ما. فما القوة المحصلة؟



(أ) صفر
(ب) 5 N إلى اليسار
(جـ) 6 N إلى اليمين
(د) 11 N إلى اليسار
(هـ) 16 N إلى اليسار

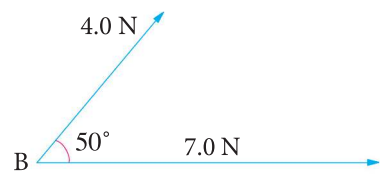
4- عند تسليط قوة محصلة مقدارها 6 N على كتلة 3 kg، فإن العجلة التي تكتسبها تلك الكتلة تساوي:

(أ) $0.5\ m\ s^{-2}$
(ب) $2.0\ m\ s^{-2}$
(جـ) $3.0\ m\ s^{-2}$
(د) $18.0\ m\ s^{-2}$

الجزء الثاني الأسئلة التركيبية

1- (أ) ما الفرق بين الكمية القياسية والكمية المتجهة؟ اذكر مثالاً لكل منهما.

(ب) قوتان مقدارهما 4 N، 7 N تعملان على جسم صغير B. ومقدار الزاوية بين الاتجاهين اللذين تعمل بطولهما القوتان 50°.



حدد مقدار واتجاه القوة المحصلة على الجسم B باستخدام رسم بمقياس نسبي.

(جـ) أكمل الجدول التالي:

	الكتلة	القوة	العجلة
(1)	8 kg	80 N	———
(2)	———	200 N	$2\ m\ s^{-2}$
(3)	2 g	———	$10\ cm\ s^{-2}$

2- (أ) اذكر اسم وحدة قياس القوة في النظام الدولي.

(ب) ناقش ثلاثة تأثيرات مميزة شائعة للقوة.

(جـ) دُفعت سيارة اختبار تقودها دمية كتلتها 60kg نحو حائط صلب. فإذا كانت سرعة الدمية قبل التصادم مباشرة $40\ m\ s^{-1}$، وكان الزمن بين التصادم وسكون الدمية 0.10 s احسب:

(1) متوسط عجلة الدمية التقصيرية أثناء التصادم.

(2) متوسط القوة التي تعمل على الدمية نتيجة التصادم.

3- تستخدم القوات الجوية الليبية صاروخ جو-جو ذا كتلة 86.5 kg. فإذا كان بإمكان الصاروخ التسارع من $300\ m\ s^{-1}$ إلى $700\ m\ s^{-1}$ في 6 s. ما متوسط القوة المسلطة على الصاروخ؟

4- محرك توربيني مروحي قادر على توفير دفع 2.49×10^5 N نيوتن بحد أقصى. وتستخدم إحدى الطائرات أربعة من تلك المحركات. فإذا كانت كتلة تلك الطائرة 2.72×10^5 kg، ما العجلة التي تكتسبها عند الإقلاع؟

5- القوى المسلطة على جسم ما قد

(أ) تُكسب الجسم عجلة.
(ب) تُغير شكله.
(جـ) تُغير حجمه.

اذكر مثالاً واحدًا لبيان كل من تلك التأثيرات موضحًا في كل حالة الجسم المسلط عليه القوة، وكيفية تسليط تلك القوى.

وفي بعض الأحوال لاينتج تسليط قوة ما تأثيرًا ظاهرًا. اذكر واشرح مثالاً لذلك.

6- لاختبار سلامة سيارة وركابها، تُدفع مركبة اختبار بسرعات مختلفة في اتجاه حاجز معدني ثابت. وفي إحدى هذه التجارب، كانت كتلة السائق الدمية 75kg، وبلغت سرعته قبل التصادم مباشرة $30\ m\ s^{-1}$.

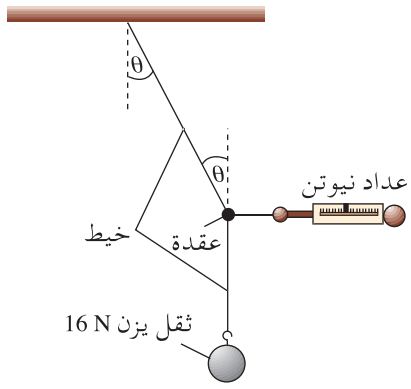
فإذا كان الزمن بين التصادم وسكون السائق الدمية 0.15 s احسب:

(1) تقاصر الدمية أثناء التصادم.

(2) متوسط القوة على السائق الدمية الناتجة عن التصادم.

فسر تقليل ارتداء حزام المقعد من فرص إصابة قائد السيارة.

7- استقصى أحد الطلبة القوى المتوازنة مستخدمًا الجهاز المبين في شكل 1.



شكل 1

لاحظ الطالب أن قيمة الزاوية θ التي يصنعها الجزء الأعلى مع الرأسي 45° عندما كانت قراءة عداد نيوتن 16 N.

(أ) (1) برسم مخططٍ للكميات المتجهة بمقياس نسبي، حدد مقدار واتجاه القوة الكلية المسلطة على العقدة بواسطة كلٍّ من الثقل وعداد نيوتن.

(2) اذكر مقدار واتجاه القوى المسلطة على العقدة بواسطة الجزء العلوي من الخيط.

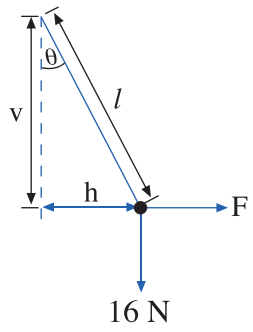
(ب) حدد الطالب في استقصاء لاحق الاختلاف في ظل الزاوية θ مع القوة الأفقية F التي يسلطها عداد نيوتن، ويبين الجدول التالي القيم التي حصل عليها الطالب.

$\tan\theta$	0.180	0.475	0.640	0.805	1.100
F(N)	2	6	9	12	16

(جـ) (1) ارسم العلاقة البيانية $\tan\theta$ (محور الصادات)، مقابل F(N) (محور السينات). ارسم أفضل خط مستقيم خلال النقط.

(2) عين ميل المنحنى.

(1) استخدم العلاقة البيانية السابقة لتحديد الزاوية θ عندما F تساوي 10 N.



شكل 2

(2) اشرح بمساعدة شكل 2 كيفية الحصول على قيم دقيقة لظل الزاوية θ باستخدام مسطرة مترية.

الوحدة 4

الكتلة والوزن والكثافة

Mass. Weight and Denisty

مخرجات التعلم

في هذه الوحدة، سوف:

- ☐ تذكر أن الكتلة هي مقياس لكمية المادة في جسم ما.
- ☐ تذكر أن كتلة الجسم تقاوم التغير في حالة سكون أو حركة الجسم.
- ☐ تذكر أن مجال الجاذبية منطقة تعاني فيها الكتلة من قوة نتيجة جذب الجاذبية.
- ☐ تُعرِّف شدة مجال الجاذبية على أنه قوة الجاذبية لكل وحدة كتلة.
- ☐ تتذكر العلاقة: *الوزن يساوي الكتلة X شدة مجال الجاذبية*.
- ☐ تطبق العلاقة بين الوزن، والكتلة، وشدة مجال الجاذبية في مواقف جديدة أو لحل مشكلات ذات صلة.
- ☐ تتذكر العلاقة: *الكثافة تساوي* $\frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$.
- ☐ تطبق العلاقة بين الكثافة، والكتلة، والحجم.

ستتعلم في هذه الوحدة الفروق بين الكميتين: الكتلة، والوزن. فمن الشائع في حواراتنا اليومية سماع شخص يقول خطأً أن وزنه يبلغ عددًا معينًا من الكيلوجرامات. يجب أن يكون من الواضح لنا أن الوزن يقاس في الفيزياء بالنيوتن، بينما تقاس الكتلة بالكيلوجرامات.

4 – 1 القصور الذاتي، وقياس الكتلة والوزن

Inertia and the Measurement of Mass and Weight

- الكتلة قياس لكمية المادة في الجسم.
- ووحدة قياسها في النظام الدولي هي الكيلو جرام.

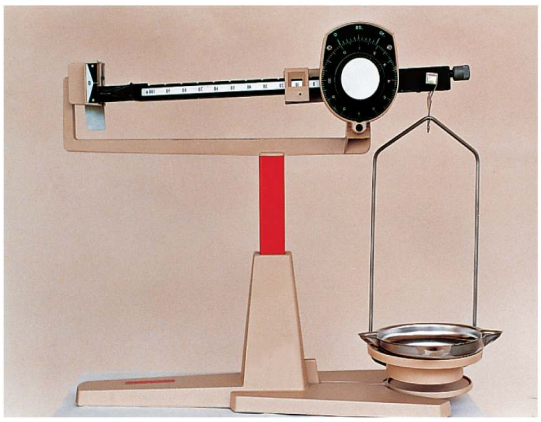
الكتلة

إن كتلة جسم ما هي قياس للمادة فيه، وتعتمد على عدد الذرات التي يحتويها، وحجم تلك الذرات. والكتلة هي خاصية أساسية للجسم، ولا تتغير بموقعه، أو بشكله، أو بسرعته (للسرعات التي تقل بكثير عن سرعة الضوء).

إن وحدة قياس الكتلة في النظام الدولي هي الكيلوجرام (kg). وتقاس الكتل الكبيرة (مثل كتلة السيارة) بالطن (1 tonne = 1000 kg)، بينما تقاس الكتل الصغيرة (مثل كتلة القلم الرصاص) بالجرام ($1\ g = 10^{-3}\ kg$). ويبين جدول 4 – 1 بعض الكتل في هذا الكون.

جدول 4 – 1 بعض الكتل في الكون

الجسم	الكتلة بالكيلو جرام
إلكترون	10^{-30}
حبة رمل	10^{-6} = 1 milligram
حبة بازلاء	10^{-3} = 1 gram
ثمرة تفاح	10^{-1} = 0.1 kilogram
سيارة متوسطة الحجم	10^{3} = 1 tonne
الكرة الأرضية	10^{24}
الشمس	10^{30}



شكل 4 – 1 ميزان الكتلة الانزلاقية

ميزان الكتلة الانزلاقية، والميزان الإلكتروني

تقاس معظم الكتل المستخدمة في المعمل إما باستخدام ميزان الكتلة الانزلاقية أو الميزان الإلكتروني كما هو مبين في (شكلي 4 – 1، 4 – 2) على التوالي.

بالنسبة لميزان الكتلة الانزلاقية، توضع الكتلة المجهولة في الكفة، وتُعيَّن كتلتها بزلق الكتل القابلة للحركة على ذراعي الميزان حتى يتزنا، وهو في الأساس ميزان ذو عائق.

ويُعتبر الميزان الإلكتروني أسهل في الاستخدام وأكثر دقة، فتوضع ببساطة الكتلة المجهولة فوق كفته، ثم تُقرأ كتلتها مباشرة على شاشة الميزان.

شكل 4 – 2 الميزان الإلكتروني

أسئلة التقويم الذاتي

لماذا لا تتأثر كتلة الجسم بالتغيرات في بيئته الفيزيائية مثل الموقع؟

القصور الذاتي

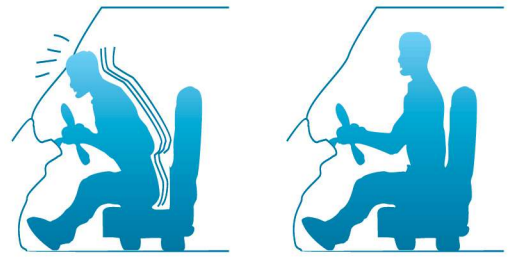
لجميع الأجسام قصور ذاتي. ويشير القصور الذاتي للجسم إلى عجزه عن البدء في التحرك إذا كان في الأصل ساكنًا، أو عجزه عن التوقف إذا كان في الأصل متحركًا.

دعنا نقوم بتجربة ذهنية. تخيَّل صديقين، أحدهما بدين جدًّا والآخر نحيف جدًّا، وكلاهما يرتدي حذاء التزلج وفي حالة ثبات. ادفع النحيف ثم البدين. مَنْ منهما تعتقد صعوبة دفعه لكي يتحرك؟ البدين بالطبع. فنقول أن الشخص البدين له قصور ذاتي أكبر (عجز عن بدء الحركة) بسبب كتلته الأكبر.

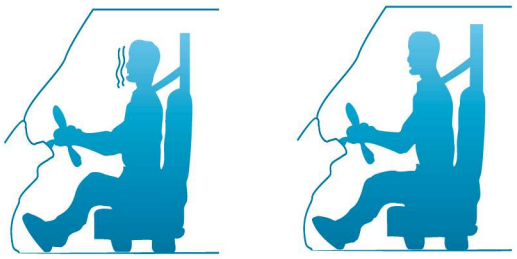
والآن تخيل أن صديقيك يتحركان باستخدام حذاء التزلج بنفس السرعة وأن عليك إيقافهما. فَمَنْ في اعتقادك سيكون أصعب في إيقافه؟ ستجد أن إيقاف البدين أصعب من إيقاف النحيل. ويرجع ذلك مرة أخرى إلى أن البدين له قصور أكبر (عجز عن التوقف عن الحركة) من النحيل.

ويحتاج سائقو المركبات لربط حزام المقعد أثناء القيادة بسبب تأثير القصور الذاتي. إذا استخدم فجأة السائق مكابح (فرامل) السيارة دون أن يربط حزام المقعد سيستمر في الحركة للأمام نتيجة لقصوره الذاتي، وسيرتطم بالزجاج الأمامي للسيارة (انظر شكل 4 – 3). ويبين شكل 4 – 4 أن ربط حزام المقعد يمنع السائق من الارتطام.

القصور الذاتي خاصية لكتلة تقاوم التغير من حالة السكون أو الحركة.



شكل 4 – 3 السائق لا يرتدي حزام المقعد



شكل 4 – 4 السائق يرتدي حزام المقعد

التربية الوطنية

نشرت إحدى الصحف في 16 يناير عام 2007 خبرًا تحت عنوان «سائق يضغط على المكابح (الفرامل) فجأة، مما أدى إلى اندفاع الأنابيب التي يحملها إلى الأمام». ويصف النبأ باختصار كيفية ضغط السائق على المكابح (الفرامل) بشدة عند ملتقى طرق لحظة رؤيته تغير إشارة المرور إلى اللون الأحمر. أدى ذلك إلى اندفاع بعض أنابيب النفط التي كان يحملها عبر غرفة القيادة إلى جواره دون أن تصطدم به، ثم حطمت الزجاج الأمامي للغرفة واستقرت أمام الشاحنة.

– هل تستطيع تفسير ما حدث باستخدام مبادئ الفيزياء التي درستها؟

– ناقش الخطوات التي تتخذها الدولة لتوعية السائقين والمشاة؟

أسئلة التقويم الذاتي

هل يكون للجسم عديم الكتلة قصور ذاتي؟

شدة مجال الجاذبية

إذا اصطحبنا جسمًا كتلته 1 kg إلى الفضاء الخارجي بعيدًا جدًّا عن الكرة الأرضية، فإنه يصبح عديم الوزن. ومع ذلك تظل كتلته (وهي كمية المادة الموجودة به) 1 kg.

وعند عودة ذلك الجسم إلى سطح الأرض فإن الكرة الأرضية تسلط عليه قوة جذب تعرف بالوزن. ونقول عندئذ أن الجسم في مجال الجاذبية الأرضية. فمجال الجاذبية منطقة تعاني فيها الكتلة من قوة نتيجة لجذب الجاذبية.

وتُعرَّف شدة مجال الجاذبية بأنها قوة الجاذبية التي تعمل لكل وحدة كتلة على جسم ما، وتبلغ $10\ N\ kg^{-1}$ على سطح الأرض، بمعنى أن الجسم ذا كتلة $1\ kg$ يتعرض لقوة قدرها $10\ N$ تجذبه نحو مركز مركز الأرض.

ومن ناحية أخرى، يتعرض نفس الجسم ذي الكتلة $1\ kg$ على سطح القمر لقوة جذب $1.6\ N$ فقط، ومن ثم يمكننا القول بأن شدة مجال الجاذبية على القمر هي $1.6\ N\ kg^{-1}$.

وبما أن الوزن هو قوة الجاذبية التي تعمل على جسم ما، سيكون لدينا:

$$W = m \times g$$

ويقاس الوزن بالنيوتن (وحدة القوة).

شدة مجال الجاذبية على الأرض هي $10\ N\ kg^{-1}$.

نشاط على شبكة الإنترنت

استخدم شبكة الإنترنت لإيجاد شدة مجال الجاذبية على الكواكب التسعة في نظامنا الشمسي. على أي كوكب يكون وزنك أثقل؟ وعلى أي كوكب يكون وزنك أقل؟ يمكنك زيارة الموقع التالي الذي يعطي أحدث المعلومات العلمية عن النظام الشمسي:
<http://solarviews.com/eng/homepage.htm>

مثال محلول 4 – 1

تبلغ الكتلة الإجمالية لرائد فضاء وبدلته الفضائية $120\ kg$.
فما مقدار
(1) وزنه على الأرض؟
(2) كتلته على القمر؟
(3) وزنه على القمر؟

الحل:

المعطيات: الكتلة، $m = 120\ kg$
شدة مجال الجاذبية على الأرض، $g_{Earth} = 10\ N\ kg^{-1}$
شدة مجال الجاذبية على القمر، $g_{Moon} = 1.6\ N\ kg^{-1}$

(1) الوزن على الأرض، $W_{Earth} = m \times g_{Earth}$
$= 120 \times 10$
$= 1200\ N$

(2) الكتلة على القمر تساوي $120\ kg$ (غير متغيرة)

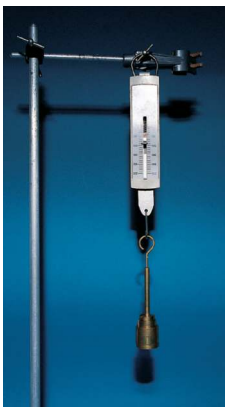
(3) الوزن على القمر، $w_{Moon} = m \times g_{Moon}$
$= 120 \times 1.6$
$= 192\ N$

الوزن والكتلة

إن وزن الجسم هو قوة جذب الجاذبية له، ويختلف عن كتلة الجسم. ويرصد الجدول التالي الفروق بين الوزن والكتلة.

جدول 4 – 2 الفروق بين الوزن والكتلة

الوزن	الكتلة
• هو قوة جذب الجاذبية للجسم.	• هي كمية المادة في الجسم.
• له مقدار واتجاه (كمية متجهة).	• لها مقدار فقط، وليس لها اتجاه (كمية قياسية).
• يقاس بوحدة النيوتن.	• تقاس بوحدة الكيلو جرام.
• يتغير من مكان لآخر، فوزن الجسم عند خط الاستواء يختلف عن وزنه عند القطب الشمالي أو القطب الجنوبي.	• ثابتة بصرف النظر عن المكان أو الموقع.
• يقاس بالميزان الزنبركي (شكل 4 – 5)، أو بالميزان التضاغطي (شكل 4 – 6).	• تقاس بميزان الكتلة الانزلاقية (شكل 4 – 1)، أو بالميزان الإلكتروني (شكل 4 – 2).



شكل 4 – 5 الميزان الزنبركي

شكل 4 – 6 الميزان التضاغطي

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) ما الموازين التي تستخدم لقياس الكتلة؟

(ب) ما الموازين التي تستخدم لقياس الوزن؟

تحدٍ

– شدة مجال الجاذبية لكوكب المشترى هي $120\ N\ kg^{-1}$.

– رائد فضاء وزنه وهو مرتدٍ بدلته الفضائية 1200 N يسافر الآن إلى كوكب المشترى. ماذا يكون وزنه الإجمالي على كوكب المشترى؟

4 – 2 قياس الكثافة
The Measurement of Density

ستستخدم خلال نشاطك المعملي أنواعًا مختلفة من المواد مثل الزجاج، والخشب، والزئبق، والرصاص، والمسامير الحديدية، والبوليسترين الممدَّد، والثلج، والماء. هل سبق وتساءلت عن سبب كون أنبوبة الاختبار المحتوية على حجم معين من الزئبق أثقل بكثير من أنبوبة الاختبار المحتوية على حجم مساوٍ من الماء؟ وتكون بالمثل قطعة البوليسترين الممدَّد أخف من قطعة من لوح خشب الصنوبر في نفس الحجم. ولا تعتبر في العلم كلمات مثل أثقل أو أخف دقيقة بشكل كاف. فعند المقارنة بين الكتل متساوية الأحجام من المواد المختلفة فإننا في الواقع نقارن كثافاتها.

فكثافة مادة ما تُعرَّف بأنها كتلة وحدة حجم منها.

كثافة المادة هي كتلة وحدة الحجم منها.

نشاط على شبكة الإنترنت

اكتشف وتعلم عن الكثافة باستخدام الموقع

<http://www.explorescience.com/activities/activity-page.cfm ?ActivityID = 29>

وبالرموز فإن، الكثافة تساوي $\frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$

حيث $\rho = \frac{m}{V}$

ρ تساوي كثافة المادة

m تساوي كتلة المادة

V تساوي حجم المادة

وحدة النظام الدولي لقياس الكثافة هي $kg\ m^{-3}$

إن وحدة الكثافة في النظام الدولي هي كيلوجرام لكل متر مكعب ($kg\ m^{-3}$). وحدة قياس أخرى شائعة الاستخدام هي جرام لكل سنتيمتر مكعب ($g\ cm^{-3}$). ويبين جدول 4 – 3 كثافة بعض المواد الشائعة.

جدول 4 – 3 كثافة بعض المواد الشائعة

المادة		الكثافة بوحدة $kg\ m^{-3}$	الكثافة بوحدة $g\ cm^{-3}$
الغازات	الهواء	1.29	0.00129
	الأكسجين	1.43	0.00143
السوائل	الماء النقي	1000	1.00
	ماء البحر	1025	1.025
	التربنتين	870	0.87
	الجليسرين	1260	1.26
	الزئبق	13600	13.60
الأجسام الصلبة	البوليسترين الممدد	≈ 16	≈ 0.016
	الفلين	240	0.24
	خشب البلوط	650	0.65
	الثلج	920	0.92
	خشب الصنوبر	500	0.50
	الزجاج التاجي	2500	2.50
	الألومنيوم	2700	2.70
	الرصاص	11000	11.00
	الذهب	19000	19.00

نرى من جدول 4 – 3 أن $1000\ kg\ m^{-3} = 1\ g\ cm^{-3}$ ونتبين أيضًا السبب وراء كون الزئبق أثقل بكثير من الماء (بافتراض تساوي حجميهما)، وسبب كون البوليسترين الممدد أخف بكثير من لوح خشب الصنوبر رغم تساوي حجميهما. إن كثافة أية مادة تعطي كمية المادة المحتواة في وحدة حجم من المادة، في حين تعطي كتلة المادة كمية المادة المحتواة في كل الكتلة.

وفي المثال عن البوليسترين الممدد وخشب الصنوبر، فإن $1\ cm^3$ من البوليسترين الممدد تكون له كتلة $0.016\ g$ في حين أن $1\ cm^3$ من خشب الصنوبر (كثافة $0.50\ g\ cm^{-3}$)، تكون لـه كتلة $0.50\ g$، مما يعني أن خشب الصنوبر أكثر كثافة من البوليسترين الممدد بحوالي 30 مرة. إن معرفة كثافة المواد مفيدة جدًّا للمهندسين لأنها تساعدهم في حساب كتلة مواد البناء المطلوبة.

شكل 4 – 7 طائرة كونكورد – كان يصنع هيكلها من سبيكة ألومنيوم خفيفة الوزن ولكن متينة.

مثال محلول 4 – 2

قالب من الخرسانة طوله $0.4\ m$، وعرضه $0.3\ m$، وارتفاعه $0.1\ m$، له كثافة $2500\ kg\ m^{-3}$. احسب كتلته.

الحل:

المعطيات: الطول، $l = 0.4\ m$

العرض، $b = 0.3\ m$

الارتفاع، $h = 0.1\ m$

الكثافة، $\rho = 2500\ kg\ m^{-3}$

دعنا نرمز إلى كتلة الخرسانة بالرمز m

حجم قالب الخرسانة، $V = lbh$

$= (0.4)\ (0.3)\ (0.1)$

$= 0.012\ m^3$

$\because\ \rho = \frac{m}{V}$

$\therefore\ m = \rho V$

$= (2500)\ (0.012)$

$= 30\ kg$

مثال محلول 4 – 3

مُلئ دورق زجاجي سعة $500\ cm^3$ بالأكسجين، ثم وُزن فوجد أن كتلته تساوي $50.72\ g$. وباستخدام مضخة تفريغ، سُحب الغاز وأعيد وزن الدورق. فوجد أن الكتلة الجديدة هي $50\ g$. احسب كثافة الأكسجين بوحدة:

(أ) $g\ cm^{-3}$، (ب) $kg\ m^{-3}$

الحل:

المعطيات: كتلة الدورق الزجاجي والأكسجين، $m_1 = 50.72\ g$

كتلة الدورق الزجاجي، $m_2 = 50\ g$

حجم الدورق الزجاجي، $v = 500\ cm^3$

(أ) كتلة الأكسجين، $m = m_1 - m_2 = 50.72 - 50.00 = 0.72\ g$

كثافة الأكسجين، $\rho = \frac{m}{V} = \frac{0.72}{500} = 1.44 \times 10^{-3}\ g\ cm^{-3}$

(ب) وتحسب كثافة الأكسجين بوحدة $kg\ m^{-3}$ كما يلي:

$$\rho = \frac{(1.44 \times 10^{-3}) \times 10^{-3}\ kg}{(1 \times 10^{-6})\ m^3} = 1.44\ kg\ m^{-3}$$

تجربة 4 – 1

لتعيين كثافة سائل.

الجهاز: سحاحة، كأس، ميزان، حامل.

الإجراء: **1–** أوجد كتلة كأس جاف نظيف (m_1).

2– اسحب حجمًا معينًا (V) للسائل من داخل السحاحة إلى الكأس.

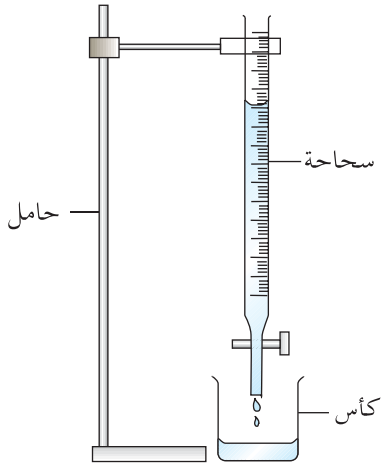
3– أوجد كتلة الكأس والسائل (m_2).

الإجراء الحسابي: إذا قيست الكتلة بالجرام، والحجم بالسنتيمتر المكعب فإن كثافة السائل (ρ) تساوي

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \text{ g cm}^{-3}$$

$$= \frac{m_2 - m_1}{V} \times 1000 \text{ kg m}^{-3}$$

تنبيه: عند قراءة حجم السائل، تأكد أن العين في مستوى قاعدة السطح المقعر للسائل.



شكل 4 – 8

تجربة 4 – 2

لتعيين كثافة جسم منتظم الشكل.

الجهاز: القدمة ذات الورنية، مسطرة، ميزان.

الإجراء: **1–** أوجد الكتلة m مستخدمًا الميزان.

2– حدد الحجم بأخذ القياسات المناسبة، ثم احسب الحجم كما يلي:

(أ) بالنسبة لمتوازي المستطيلات، قس الطول والعرض والارتفاع مستخدمًا مسطرة مترية أو القدمة ذات الورنية.

$$V = l \times b \times h$$

(ب) بالنسبة للأسطوانة، قس القطر والطول.

$$V = \left[\frac{\pi d^2}{4}\right] l$$

(جـ) بالنسبة للشكل الكري، قس القطر باستخدام القدمة ذات الورنية أو ورنية المهندس، بالإضافة لمقياس متري.

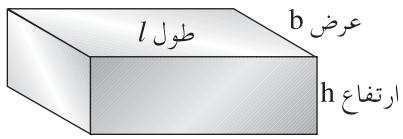
$$V = \frac{4}{3} \pi \left[\frac{d}{2}\right]^3$$

الإجراء الحسابي: إذا كانت الكتلة بالجرام، والحجم بالسنتيمتر المكعب فإن الكثافة

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ g cm}^{-3}$$

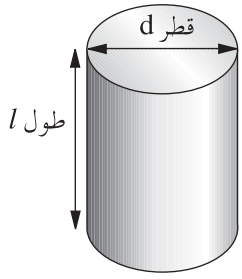
$$= \frac{m}{V} \times 1000 \text{ kg m}^{-3}$$

تنبيه: تُطَبق هنا الاحتياطات التي تُتَّخذ عند استخدام القدمة ذات الورنية والمسطرة المترية.



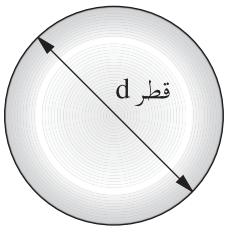
متوازي مستطيلات

شكل 4 – 9



أسطوانة

شكل 4 – 10



شكل كري

شكل 4 – 11

تحدٍ

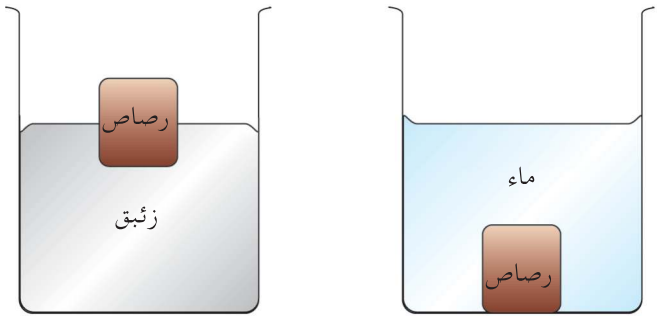
اشرح بوضوح كيف تقيس كثافة:

1– جسم غير منتظم الشكل.

2– جسم يطفو فوق سطح الماء.

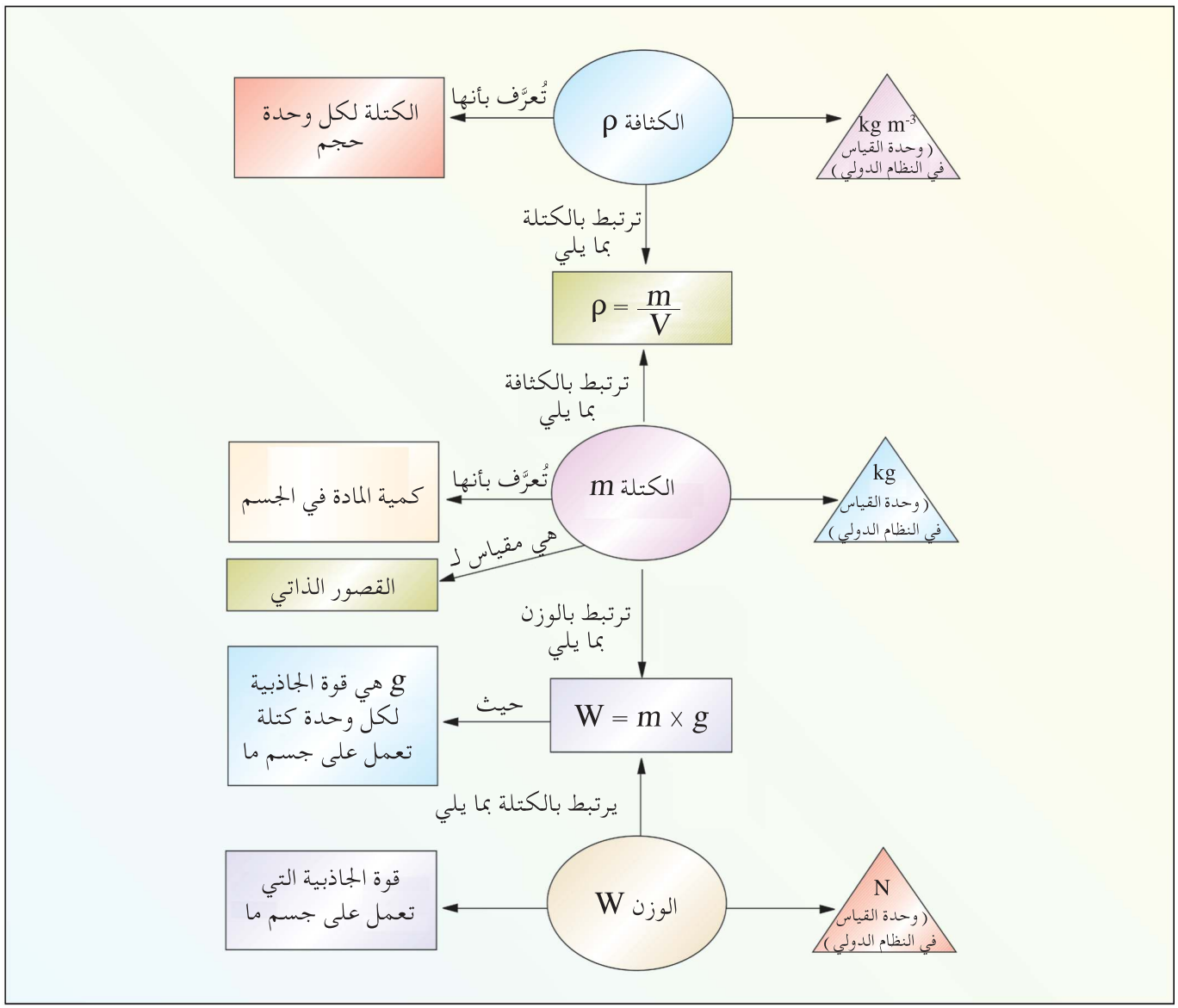
العلاقة بين الكثافة والطفو

تحـدد كثافة مادة ما إذا كانت سـتطفو أم تغوص في السـوائل (أو الغازات) المختلفـة . فتطفو على سـبيل المثال قطعة من الرصاص فـي الزئبق لأن كثافة الرصاص ($11000\ kg\ m^{-3}$) أقل من كثافة الزئبق ($13600\ kg\ m^{-3}$) . ومع هذا تغوص نفس قطعة الرصاص في الماء لأن كثافة الرصاص ($11000\ kg\ m^{-3}$) أكبر من كثافة الماء ($1000\ kg\ m^{-3}$) .



شكل 4 – 12 يغوص الرصاص في الماء ولكنه يطفو فوق سطح الزئبق

خريطة مفاهيم

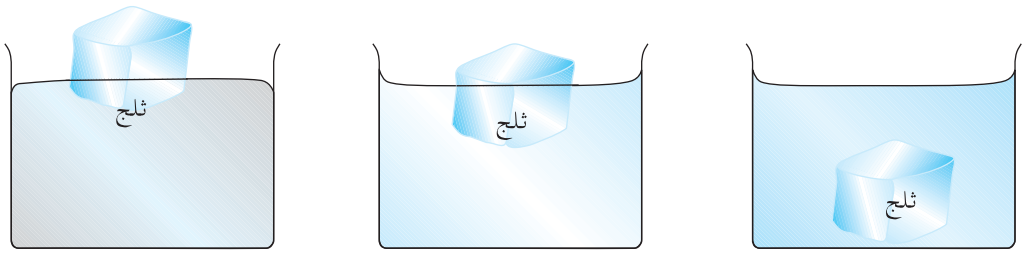


المهارة : الاستدلال

لقد تعلمت عن مفهوم الكثافة، ويسجل المنظم البياني التالي المشاهدات في بعض التجارب . وعليك الاستدلال على ثلاث خواص مهمة تتعلق بالطفو والغوص من التجارب الثلاث التالية .

على ماذا تستدل ؟
خواص عن الطفو والغوص

ثلاث تجارب بسيطة على مكعب من الثلج ذي كثافة $\rho = 0.92\ g\ cm^{-3}$ مغمور في ثلاثة سوائل مختلفة .



تجربة 1 : زيت التربنتين
$\rho = 0.87\ g\ cm^{-3}$

تجربة 2 : الماء
$\rho = 1.00\ g\ cm^{-3}$

تجربة 3 : الزئبق
$\rho = 13.6\ g\ cm^{-3}$

ثلاثة استنتاجات مهمة من التجارب

تجربة 1 : عند وضع جسم ما (ثلج في هذه الحالة) في سائل (زيت التربنتين في هذه الحالة) ذي كثافة _____ ، فإن الجسم _____ .

تجربة 2 : عند وضع جسم ما (ثلج في هذه الحالة) في سائل (الماء في هذه الحالة) ذي كثافة _____ ، فإن الجسم _____ .

تجربة3 : عند وضع جسم ما (ثلج في هذه الحالة) في سائل (الزئبق في هذه الحالة) ذي كثافة _____ ، فإن الجسم _____ في السائل .

التمرين الرابع

الجزء الأول أسئلة الاختيار من متعدد

1- عند استخدام المخبار المدرج، فإن أحد الاحتياطات الواجب اتخاذها هي :

(أ) التأكد من عدم وجود خطأ صفري .

(ب) النظر إلى السطح المقعر للسائل من أسفل مستوى سطح الماء .

(جـ) الحصول على قراءات أكثر بالنظر من أكثر من اتجاه واحد .

(د) وضع العين على خط مستقيم مع قاع السطح المقعر للسائل .

2- كتلة مخبار مدرج فارغ هي 60 g، وعند سكب $30\ cm^3$ من زيت الزيتون في المخبار، تصبح الكتلة الكلية 87.6 g . ولذلك فإن كثافة زيت الزيتون بوحدة $g\ cm^{-3}$ هي

(أ) 0.34

(ب) 0.92

(جـ) 1.09

(د) 2.00

3- صخرة على سطح القمر ذات كتلة 0.5 kg أحضرت إلى الأرض حيث مجال الجاذبية أقوى . ولذلك سيكون للصخرة على الأرض :

(أ) كتلة أقل، ووزن أقل .

(ب) كتلة أقل، ونفس الوزن .

(جـ) نفس الكتلة، ونفس الوزن .

(د) نفس الكتلة، ووزن أكبر .

الجزء الثاني الأسئلة التركيبية :

1- (أ) اشرح المشاهدات التالية :

(1) قيست كتلة قطعة صخر بالميزان ذي الكتلة الانزلاقية، ووجد أنها متماثلة على سطحي الأرض والقمر .

(2) يختلف وزن نفس قطعة الصخر عند قياسها بالميزان الزنبركي على سطح الأرض عن وزنها على سطح القمر .

(ب) فرّق بين الكتلة والقصور الذاتي . كيف يرتبطان؟

استقل طالب حافلة ووقف في الجزء الأوسط منها . وعندما ضغط سائق الحافلة فجأة على المكابح (الفرامل)، اصطدم صندوق خشبي برجلي الطالب الذي ادعى مجئ الصندوق من الجزء الأمامي للحافلة . فهل ادعاؤه صحيحًا؟ فسر إجابتك .

2- كتلة القمر تساوي سدس كتلة الأرض . ولهذا السبب فإن قوة الجاذبية على سطح القمر تساوي سدس قوة الجاذبية على سطح الأرض . فإذا كانت كتلة شخص على الأرض 60 kg فكم يزن على سطح القمر؟

3- صنع طفل نموذجًا لسفينة كتلته 1.1 kg وحجمه $900\ cm^3$. هل سيطفو النموذج على سطح الماء؟ [كثافة الماء تساوي $1000\ kg\ m^{-3}$] .

4- كتلة مركبة مدرعة 1.115×10^4 kg عندما تكون محملة بحمولتها . ومع ذلك تكون قادرة على الطفو! ماذا تقول عن حجمها؟ [كثافة الماء = $1000\ kg\ m^{-3}$]

5- (أ) صف كيفية قياس كثافة جسم صلب غير منتظم الشكل بواسطة تجربة بسيطة في المعمل .

(ب) يحتوي مخبار مدرج على $100\ cm^3$ ماء، ثم وضع داخله جسم غير منتظم الشكل كتلته 70 g . وبما أنك تعلم أن كثافة الجسم هي $7\ g\ cm^{-3}$ وأن الجسم مغمور تمامًا . احسب القراءة الجديدة على المخبار المدرج .

6- مكتوب على عبوة لحبوب الإفطار « تباع هذه العبوة تبعًا للوزن وليس تبعًا للحجم . وقد يحدث بعض تكسير للمحتويات بسبب النقل » . فإذا حدث ذلك التكسير، ما التغيرات، إن وجدت، التي تحدث لكل مما يلي؟

(أ) كتلة المحتويات .....

(ب) وزن المحتويات .....

(جـ) حجم المحتويات .....

(د) كثافة المحتويات .....

الوحدة 5

التأثير الدوّار للقوى

Turning Effect of Forces

مخرجات التعلم

في هذه الوحدة سوف:

- ☐ تصف عزم القوة بدلالة تأثيرها الدوّار، وتضرب أمثلة من حياتنا اليومية عن العزوم.
- ☐ تتذكر العلاقة: *عزم القوة (أو عزم الدوران) يساوي القوة X المسافة العمودية من النقطة*.
- ☐ تطبق العلاقة بين عزم القوة، والقوة، والمسافة العمودية في مواقف جديدة، وتحل مشكلات ذات صلة.
- ☐ تذكر مبدأ العزوم لجسم في حالة توازن.
- ☐ تطبق مبدأ العزوم في مواقف جديدة أو لحل مشكلات ذات صلة.
- ☐ تبين فهمًا بأن وزن الجسم يمكن اعتباره يعمل عند نقطة واحدة تعرف بمركز ثقله.
- ☐ تصف بشكل نوعي تأثير موضع مركز الثقل علي ثبات الأجسام البسيطة.

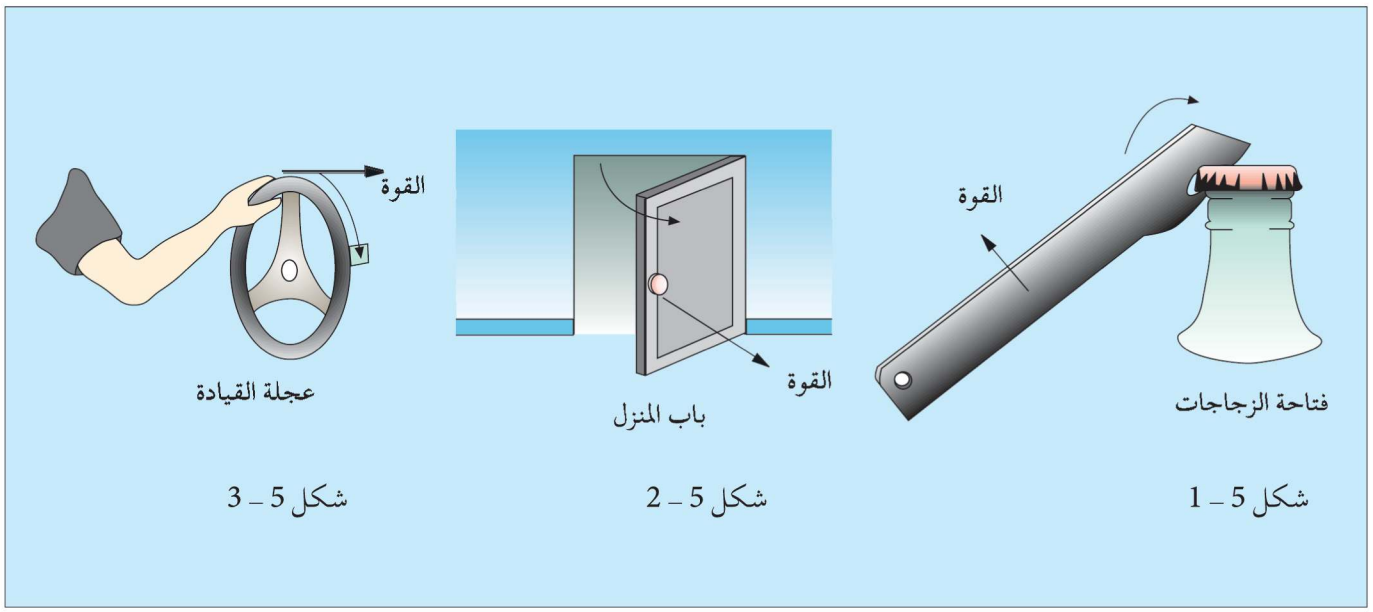
تعلمت في الوحدة الثالثة أن للقوى القدرة على إحداث تغير في حركة الجسم، فيمكن أن يكتسب عجلة تزايدية، أو تناقصية، أو أن يُجبر على تغيير اتجاهه.

سوف ندرس في هذه الوحدة التأثير الدوّار للقوى، والذي نطلق عليه العزم.

1 – 5 العزوم

Moments

لماذا يعتبر فتح غطاء زجاجة المياه الغازية باستخدام فتاحة الزجاجات (شكل 5 – 1) أسهل من فتحه بأصابعنا؟ تستخدم تلك الأداة البسيطة التأثير الدوّار للقوى. إن القوى تؤدي إلى تأثيرات دوّارة شائعة جدًّا في حياتنا اليومية. فعند الخروج من البيت، ندير مقبض الباب، ثم نجذبه لنفتح الباب (شكل 5 – 2)، كما أننا ندير المفتاح لغلق الباب. نرى السائق يدير عجلة القيادة في الحافلة (شكل 5 – 3). ويعرف هذا التأثير الدوّار للقوة بعزم القوة أو عزم الدوران.



شكل 5 – 1 شكل 5 – 2 شكل 5 – 3

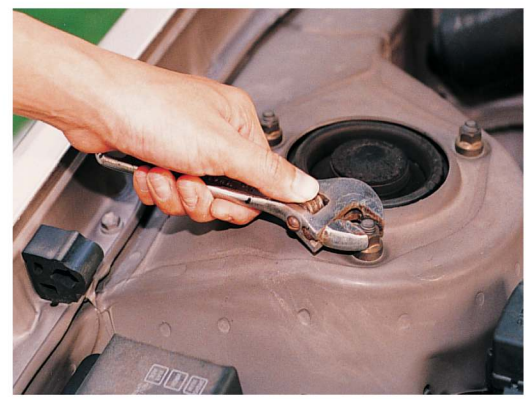
• عزم القوة يساوي القوة × المسافة العمودية من خط عمل القوة إلى محور الارتكاز.
• الوحدة الدولية لعزم القوة في النظام الدولي هي النيوتن متر.

عـزم القوة

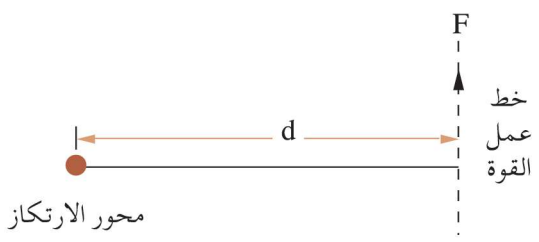
يُعرَّف عزم القوة بأنه التأثير الدوّار للقوة حول محور ارتكاز. ويُحسب عزم القوة بحاصل ضرب القوة F في المسافة العمودية d من خط عمل القوة إلى محور الارتكاز (شكل 5 – 4).

عزم القوة يساوي $F \times d$

ووحدة قياس عزم القوة في النظام الدولي هي النيوتن متر (Nm). وأنواع عزم القوة معطاة في جدول 5 – 1.

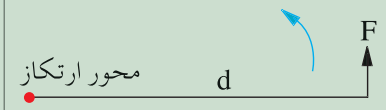
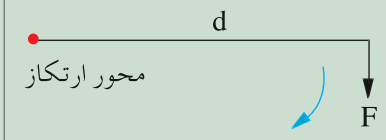


شكل 5 – 5 يستخدم مفتاح ربط الصمولة التأثير الدوار للقوى لفك الصمولة المربوطة بإحكام



شكل 5 – 4 تعريف عزم القوة

جدول 5 – 1 أنواع العزوم

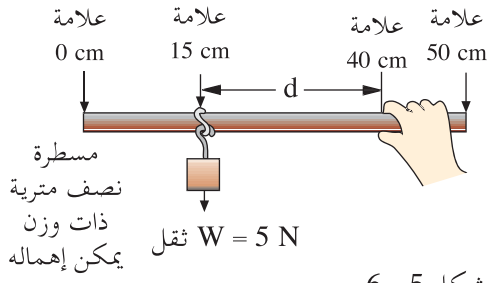
الرسم	نوع العزم
	في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة
	في اتجاه حركة عقارب الساعة

مثال محلول 5 – 1

أجرى أحد الطلبة التجربة التالية حتى يشعر بالتأثير الدوّار للقوة كما هو مبين بشكل 5 – 6.

(أ) إذا وُضع الثقل W عند علامة 15 cm كما هو مبين بالرسم، أوجد عزم القوة (في هذه الحالة، القوة تساوي الثقل) حول محور الارتكاز (في هذه الحالة، اليد).

(ب) نُقل الثقل بعد ذلك إلى علامة 5 cm، ووجد أن تثبيت المسطرة نصف المترية في وضع أفقي أصبح أصعب مما كان عليه الأمر في (أ). لماذا؟



شكل 5 – 6

الحل:

(أ) المسافة العمودية عند العلامة 15 cm، $d = 40 - 15$
$= 25\ cm$
$= 0.25\ m$
عزم الثقل حول محور الارتكاز (اليد) يساوي $W \times d$
$= 5 \times 0.25$
$= 1.25\ N\ m$

(ب) المسافة العمودية عند العلامة 5 cm، $d = 40 - 5$
$= 35\ cm$
$= 0.35\ m$
عزم الثقل W حول محور الارتكاز (اليد) يساوي $W \times d$
$= 5 \times 0.35$
$= 1.75\ N\ m$

وبما أن عزم الثقل W عندما يكون الثقل عند علامة 5 cm أكبر مما يكون عليه عند علامة 15 cm، فإن ذلك يعني أن الطالب سيشعر بقوة أكبر للتأثير الدوّار عند علامة 5 cm.

ويبين هذا المثال المحلول أن عزم القوة لايعتمد فقط على مقدار القوة (في هذه الحالة الثقل W)، ولكن أيضًا على المسافة العمودية d من خط فعل القوة إلى محور الارتكاز (في هذه الحالة، اليد).

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) اذكر أي مثالين شائعين عن التأثير الدوار للقوة؟

(ب) لماذا يكون من الأسهل فتح غطاء إناء ما باستخدام ملعقة، عنه باستخدام عملة معدنية؟

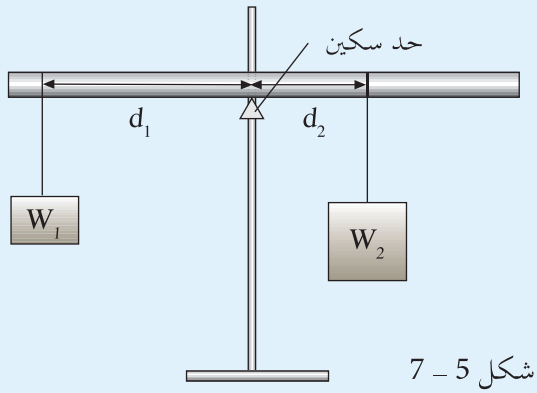
مبدأ العزوم

هذا المبدأ هو عن توازن الأجسام عند توازن عزوم جميع القوي الفاعلة. ولاستقصاء هذا المبدأ يمكن إجراء التجربة التالية:

تجربة 5 – 1

لاستقصاء مبدأ العزوم.

الجهاز: مسطرة مترية منتظمة، كتلة مقدارها 50 g (W_1)، كتلة مقدارها 100 g (W_2)، خيوط، حد سكين، حامل.



شكل 5 – 7

الإجراء: **1–** ركب الجهاز كما هو مبين بشكل 5 – 7 بحيث يكون حد السكين عند علامة 50 cm.

2– اضبط المسافتين d_1، d_2 ليتوازن الجهاز.

3– غَيِّرْ قيم d_1، d_2 بحيث يتوازن الجهاز لخمس مجموعات من d_1، d_2.

4– احسب العزوم في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة ($W_1 \times d_1$)، وفي اتجاه حركة عقارب الساعة ($W_2 \times d_2$)، ثم سجل البيانات في جدول كما يلي:

جدول 5 – 1

W_1	d_1	W_2	d_2	$W_1 \times d_1$	$W_2 \times d_2$

المشاهدة: من الجدول، تتساوي العزوم التي في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة والتي تعطي بالعلاقة ($W_1 \times d_1$) مع العزوم التي في اتجاه حركة عقارب الساعة والتي تحددها العلاقة ($W_2 \times d_2$) لكل مجموعة من d_2، d_1.

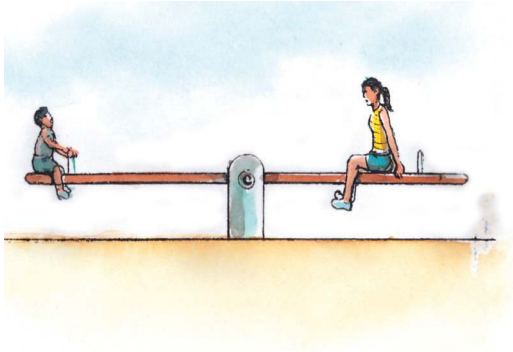
الاستنتاج: تبين نتائج عزوم القوى على جانبي المسطرة المترية أنه عند تساوي العزوم التي في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة مع العزوم التي في اتجاه حركة عقارب الساعة، فإن المسطرة تتوازن.

ملحوظة: في هذه التجربة أُهملت عجلة الجاذبية الأرضية المتساوية في حالة كل من W_1، W_2.

نشاط على شبكة الإنترنت

يمكنك إجراء التجربة التقديرية 5 – 1 على شبكة الإنترنت باستخدام الموقع:

<http://home.a_city.de walter .fendt/physengl/lever.htm>.



شكل 5 – 8 تعتمد الأرجوحة في توازنها على مبدأ العزوم

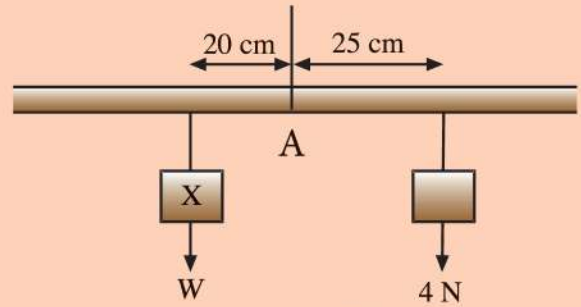
ويمكن تكرار التجربة السابقة بعدة أثقال تعمل على جانبي المسطرة في نفس الوقت. وعند التوازن فإن مجموع العزوم التي في اتجاه حركة عقارب الساعة حول محور الارتكاز تساوي مجموع العزوم التي في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة. ونقول أن الجسم (في هذه الحالة المسطرة) في حالة توازن حيث لا يكون متحركًا ولا في حالة دوران.

وينص **مبدأ العزوم** على:

بالنسبة لأي جسم في حالة توازن، فإن مجموع العزوم التي في اتجاه حركة عقارب الساعة حول أي نقطة (تعمل كمحور ارتكاز) تساوي مجموع العزوم التي في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة حول نفس النقطة.

مثال محلول 5 – 2

يبين الرسم مسطرة منتظمة الشكل ومتوازنة عند المركز بخيط معلق وتحمل جسمين، ما وزن X؟



الحل:

افترض أن وزن الجسم X هو W

وبتعيين العزوم حول النقطة (A):

مجموع العزوم التي في اتجاه حركة عقارب الساعة

يساوي مجموع العزوم التي في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة

أي، $4\ \text{N} \times 25\ \text{cm} = W \times 20\ \text{cm}$

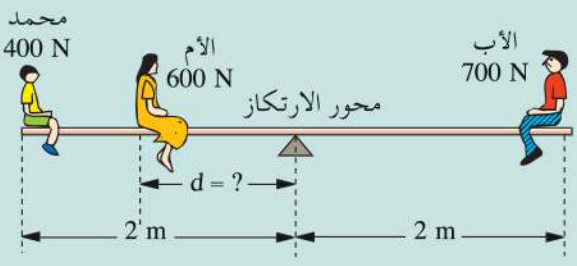
ولهذا، $W = \dfrac{100\ \text{N cm}}{20\ \text{cm}}$

$= 5\ \text{N}$

ومن ثم فإن وزن X يكون 5 N لتتوازن المسطرة.

تحدٍ

جلس محمد ووالده كل عند أحد طرفي أرجوحة. وكان الاثنان على بعد 2 m من محور الارتكاز (انظر شكل 5 – 9). فأين يجب أن تجلس والدة محمد لتتوازن الأرجوحة؟



شكل 5 – 9

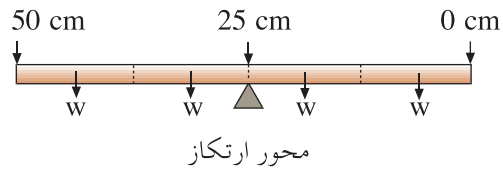
أسئلة التقويم الذاتي

اذكر مبدأ العزوم وناقش كيفية تطبيق هذا المبدأ على شخصين ذوي أوزان مختلفة يحاولان موازنة أرجوحة.

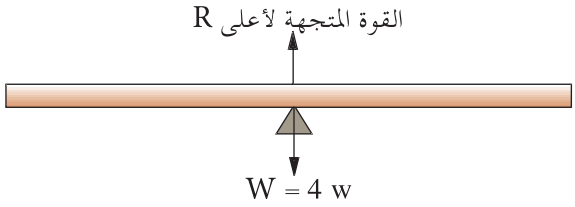
مركز الثقل

أحضر مسطرة نصف مترية، وحاول جعلها في وضع اتزان باستخدام محور ارتكاز. إذا كانت المسطرة نصف المترية منتظمة الشكل، ستجد أنها تتوازن عند نقطة الوسط أي عند علامة 25 cm. ويرجع ذلك إلى أن جذب الجاذبية الأرضية على الجانب الأيسر للمسطرة ينتج نفس التأثير الدوّار الذي ينتجه على الجانب الأيمن.

وبمعنى آخر، إذا قسمنا المسطرة نصف المترية إلى أربعة أجزاء متساوية (كل منها له وزن w) فإن مجموع العزوم التي في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة للجزأين على يسار محور الارتكاز يتوازن مع مجموع العزوم التي في اتجاه حركة عقارب الساعة للجزأين الآخرين على يمين محور الارتكاز (انظر شكل 5 – 10).



شكل 5 – 10

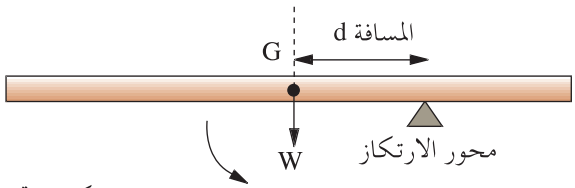


شكل 5 – 11

إن عمل الأجزاء الأربعة (كل جزء له وزن w) للمسطرة نصف المترية يماثل عمل قوة وحيدة ذات وزن $4\ w$ تعمل لأسفل خلال محور الارتكاز (انظر شكل 5 – 11).

إن تلك القوة الوحيدة (الوزن) هي بوضوح الوزن الكلي للمسطرة نصف المترية، ونحصل عليها بجمع أوزان الأجزاء الأربعة. هذه القوة الوحيدة (الوزن) ليس لها عزم دوران حول محور الارتكاز لأن المسافة العمودية من خط عمل الوزن إلى محور الارتكاز تساوي صفرًا. وبما أن المسطرة في حالة سكون فمن المؤكد أن محور الارتكاز يبذل عليها قوة لأعلى R تساوي الوزن W.

وإذا حاولنا نقل محور الارتكاز إلى نقطة أخرى على المسطرة نصف المترية (غير نقطة الوسط)، فسنجد أن وزن المسطرة نصف المترية سينتج الآن تأثيرًا دوّارًا لأن المسافة العمودية من خط فعل الوزن إلى محور الارتكاز أصبحت الآن لا تساوي صفرًا (انظر شكل 5 – 12).



شكل 5 – 12

ولهذا نرى المسطرة نصف المترية تسلك كما لو كان وزنها الكلي W له قوة وحيدة تعمل خلال العلامة 25 cm. وتعرف تلك النقطة بمركز الثقل G.

ويعـرَّف مركز ثقل الجسـم بأنـه النقطة التي يبدو وكأن وزن الجسـم الكلي يعمل من خلالها لأي توجه للجسم.

ملحوظة:

1- سـيكون من الصعب جدًّا تقسيم المسـطرة نصف المترية إلى أجزاء عديدة، ولكن تكفي أربعة أجزاء لتوضيح مفهوم مركز الثقل.

2- ويتـم أحيانًا الخلـط بين مركز الثقـل ومركز الكتلـة. فمركز كتلة الجسـم هو تلك النقطة فيه (أو في جهاز من عدة أجسـام قليلة) التـي تتحرك كما لو أن الكتلة الكلية للجسـم (أو جهاز من عدة أجسام قليلة) تتواجد عند تلك النقطة.

3- ويشـغل كل من مركـز الثقل ومركز الكتلة نفـس الموضع إذا وضع الجسـم في مجال جاذبية منتظم. ولغرضنا هنا سنتعامل مع هذين المركزين على أنهما نفس النقطة.

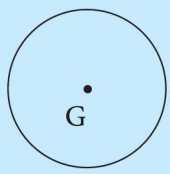
نشاط على شبكة الإنترنت

اكتشف كيفية تغير مركز ثقل جسم مستوٍ بتغير شكله، على هذا الموقع:

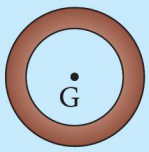
<http://www.explorescience.com/activities/activity-page.cfm?Activity ID=33>

مراكز الثقل للأجسام ذات الشكل المنتظم

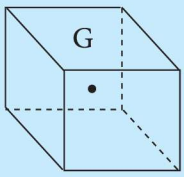
تبـين(الأشـكال من 5 – 13 إلـى 5 – 18)مراكز الثقل لأجسـام منتظمة الشكل ذات كثافة وسمك موحد. لاحظ أن مركز الثقل (مركز الكتلة) يقـع عند المركز الهندسـي للجسـم، وأن مركز الثقـل يمكن أن يقع حتى خارج الجسـم.



شكل 5 – 13 قرص

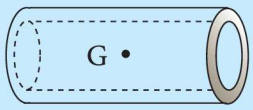


شكل 5 – 14 حلقة

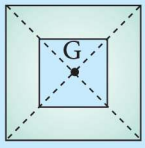


شكل 5 – 15 مكعب

شكل 5 – 16 ثقل حديدي ذو تارتين



شكل 5 – 17 أسطوانة



شكل 5 – 18 مربع ذو مركز منزوع

يمكن تعيين مراكز ثقل الأجسام ذات الأشكال غير المنتظمة، أو الأجسام ذات السماكة أو الكثافة غير المنتظمة بواسطة تجربة الخيط الرأسي.

تجربة 5 – 2

لتعيين موقع مركز الثقل (مركز الكتلة) لصفيحة رقيقة مستوية غير منتظمة الشكل أو ذات كثافة أو سُمك غير منتظم .

الجهـــاز : حامل، الخيط الرأسي، فلين، دبوس .

الإجراء : **1** – اصنع ثلاثة ثقوب صغيرة قرب حافة الصفيحة الرقيقة . يجب أن تتباعد الثقوب عن بعضها البعض قدر الإمكان .

2 – علِّق الصفيحة الرقيقة خلال أحد الثقوب مستخدمًا دبوسًا .

3 – علِّق الخيط الرأسي في الدبوس أمام الصفيحة الرقيقة .

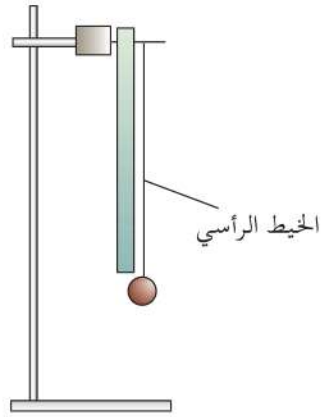
4 – عندما يصبح الخيط الرأسي ثابتًا، ارسم خطًّا على الصفيحة فوق الخيط الرأسي .

5 – كرر الخطوات السابقة مع كل من الثقبين الآخرين .

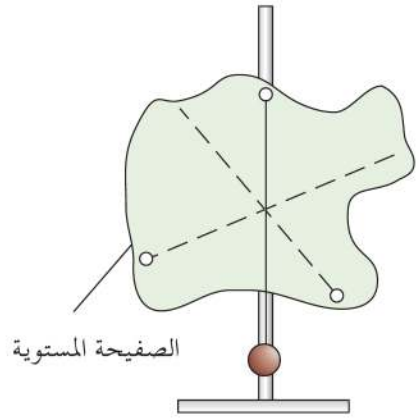
6 – نقطة تقاطع الخطوط الثلاثة هي موضع مركز الكتلة .

احتياطات : **1** – يجب أن تكون الثقوب صغيرة حتى لا تُنزع أجزاء كبيرة من الصفيحة .

2 – يجب أن تكون الصفيحة حرة الحركة بحيث تتأرجح حول نقطة تعلقها .



شكل 5 – 19



شكل 5 – 20

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) ما المقصود بمركز ثقل الجسم؟

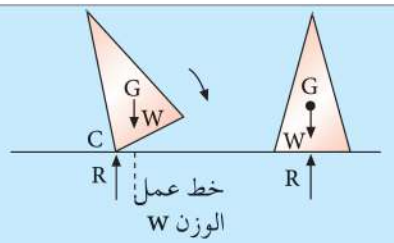
(ب) هل مركز ثقل الجسم هو نفسه سواء وضع بالقرب من سطح الأرض، أو بالقرب من سطح القمر؟

الثبات

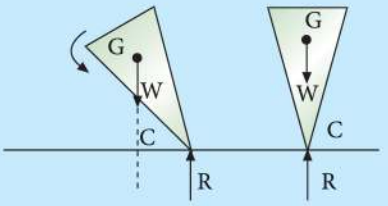
يرتبط ثبات الجسم ارتباطًا وثيقًا بمركز ثقل (بمركز كتلة) الجسم. ويشير الثبات إلى قدرة الجسم على استعادة موضعه الأصلي بعد إمالته ميلًا قليلًا . ويمكننا موازنة مخروط من الورق باتباع الطرق الثلاث التي توضحها(الأشكال 5 – 21 إلى 5 – 23).

توجد 3 أنواع من التوازن : ثابت ، غير ثابت ، متعادل

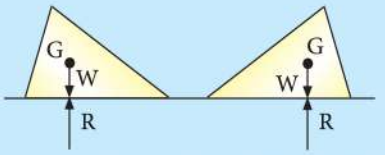
G : مركز ثقل (مركز الكتلة) مخروط من الورق .
W : وزن مخروط الورق .
R : قوة متجهة لأعلى (قوة التلامس) يبذلها سطح المنضدة على المخروط .
C : نقطة التلامس .



شكل 5 – 21 التوازن الثابت



شكل 5 – 22 التوازن غير الثابت



شكل 5 – 23 التوازن المتعادل

ثلاثة أنواع للتوازن

شكل 5 – 24 أجسام ثابتة

القوتان الفاعلتان على المخروط هما الوزن W وقوة التلامس R.
يكون المخروط في (شكل 5 – 21) في حالة توازن ثابت لأنه لو تم إمالته قليلاً، فسيعود إلى وضعه الأصلي من دون أن ينقلب . لاحظ أنه عند إمالة المخروط قليلاً يحدث ما يلي :

1- يرتفع مركز الثقل ثم يهبط لوضعه السابق مرة أخرى،
2- يقع خط عمل الوزن W داخل مساحة قاعدة المخروط،
3- يؤدي عزم الوزن W في اتجاه حركة عقارب الساعة حول نقطة التلامس C إلى عودة المخروط إلى موضعه الأصلي .

يكون المخروط في (شكل 5 – 22) في حالة توازن غير ثابت لأنه ينقلب لو تم إمالته قليلاً، ولاحظ أنه عند إمالة المخروط قليلاً يحدث ما يلي :

1- يهبط مركز الثقل ويستمر في الهبوط إلى حد أبعد،
2- يقع خط عمل الوزن W خارج مساحة قاعدة المخروط،
3- يسبب عزم الوزن W في اتجاه عكس حركة عقارب الساعة حول نقطة التلامس c تأثيرًا تساقطيًّا .

يكون المخروط في (شكل 5 – 23) في حالة توازن متعادل لأنه إذا تم دحرجته أو إزاحته قليلاً فسيظل في موضعه الجديد . ولاحظ ما يلي :

1- لا يرتفع أو يهبط مركز ثقله، بل يظل عند نفس المستوى فوق المنضدة التي تحمله،
2- تنطبق دائمًا خطوط عمل القوتين W ، R،
3- ولهذا لايوفر الوزن W عزمًا حول نقطة التلامس لتدوير المخروط الورقي .

ونستنتج من مثال المخروط الورقي أنه لزيادة ثبات جسم ما يوجد عاملان مهمان :

1- يجب أن يكون مركز الثقل منخفضًا قدر الإمكان .

2- يجب أن تكون مساحة القاعدة عريضة قدر الإمكان .

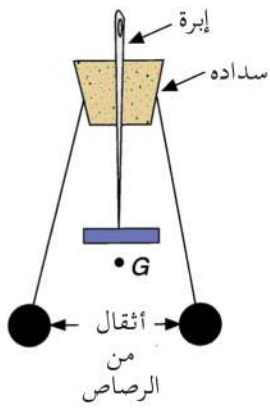
ويضمن هذان العاملان أن الخط الرأسي خلال مركز ثقل الجسم سيقع داخل قاعدة الجسم عند إمالته . ويفسر ذلك تصميم أجسام ثابتة مثل سيارات السباق، ومواقد بنزن بحيث يكون لها قواعد عريضة، ومراكز ثقل منخفضة للغاية . وينطبق ذلك على أشياء منزلية كثيرة مثل مصابيح المكتب، وأواني الأزهار التي لها قواعد عريضة وثقيلة .

وتُصمم ألعاب التوازن بناءً على عاملي الثبات هذين . وتبين (الأشكال 5 – 25 إلى 5 – 27)بعض الأجسام الثابتة المذكورة .

شكل 5 – 25 جسم ثابت : سيارة سباق

يمكن تحسين ثبات جسم ما بخفض مركز الثقل وزيادة مساحة قاعدته .

شكل 5 – 26 لعبة توازن



شكل 5 – 27

التربية الوطنية

توجد بنايات شاهقة الارتفاع وجسور جميلة في ليبيا .هل تستطيع ذكر اسم أعلى بناية وأطول جسر؟

يتأكد المهندسون المعماريون والمدنيون من توازن القوى داخل أي مبنى . وعندما تصبح القوى أو العزوم غير متوازنة، يؤدي ذلك إلى كارثة . فحتمًا قد سمعت عن كارثة انهيار أحد المباني .

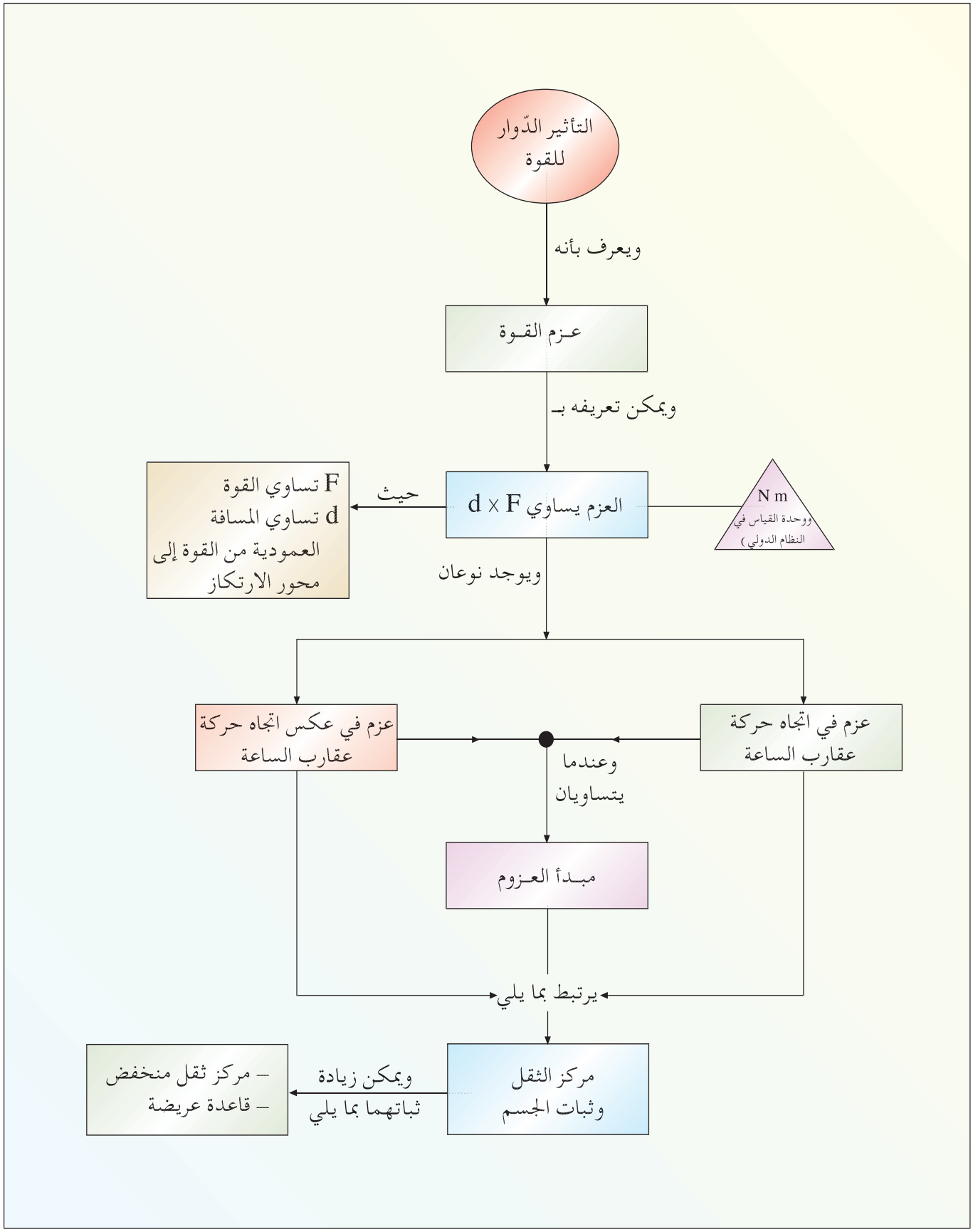
هل تعرف ما الذي أدى إلى انهيار ذلك المبنى؟

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) لماذا يكون من الحماقة وضع أحمال ثقيلة جدًّا على سقف حافلة صغيرة؟

(ب) ما المواصفات المطلوبة لتصميم مصباح منضدة ثابت؟

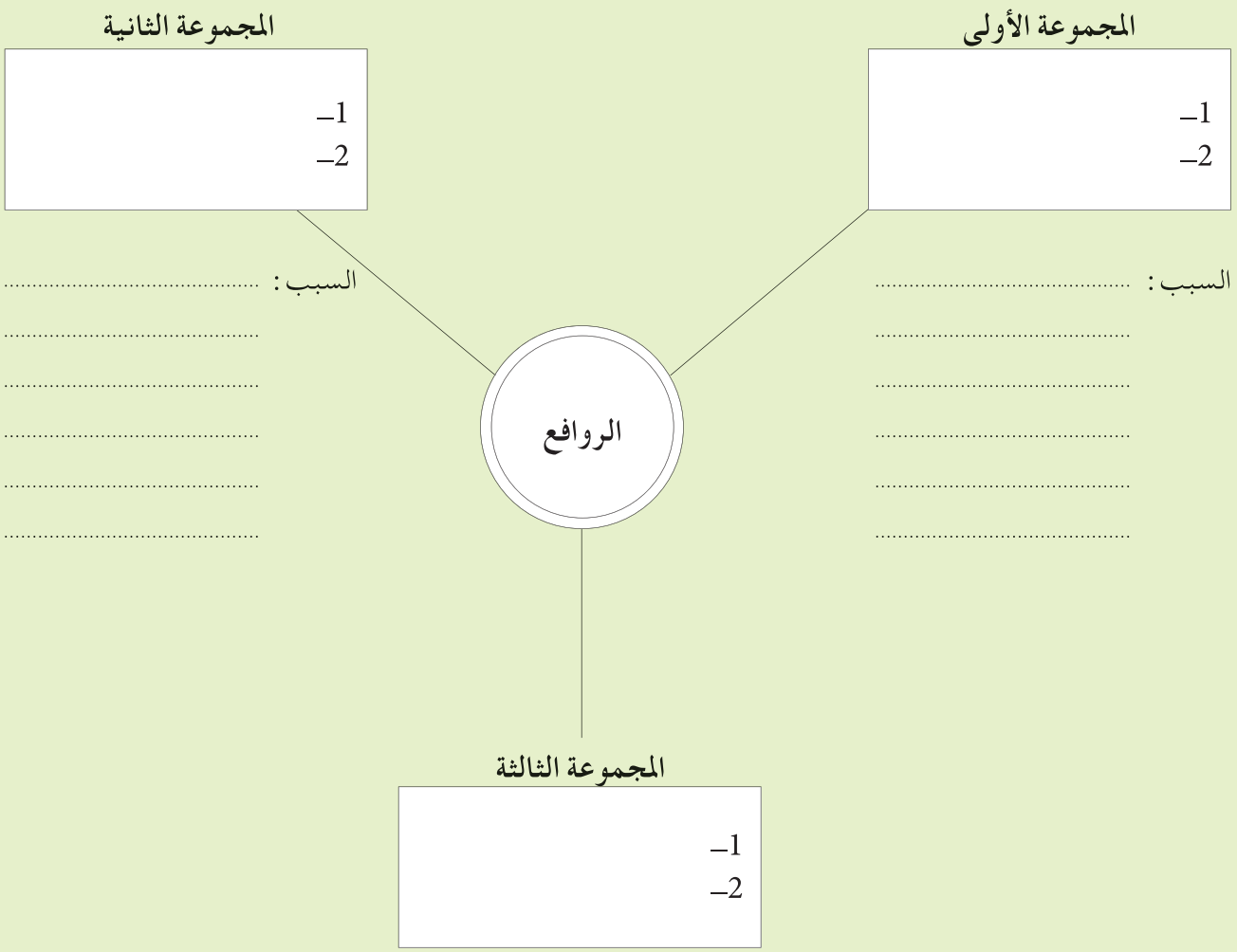
خريطة مفاهيم



المهارة : التصنيف

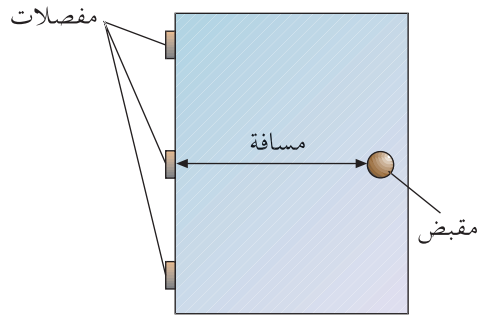
التصنيف هو وضع الأشياء المرتبطة معًا في مجموعات لتساعدك على تذكرها بسهولة أكبر. ولقد تعلمت في هذه الوحدة عن مبدأ العزوم الذي يُستخدم في الآلات البسيطة مثل الروافع. وعليك تصنيف الروافع الستة التالية في ثلاث مجموعات. اذكر سببًا لوضعك كل من الروافع في المجموعة التي اخترتها.

1– المقص
2– كسارة البندق
3– العتلة
4– ملقاط الثلج
5– عربة اليد
6– الصنارة



الجزء الأول أسئلة الاختيار من متعدد

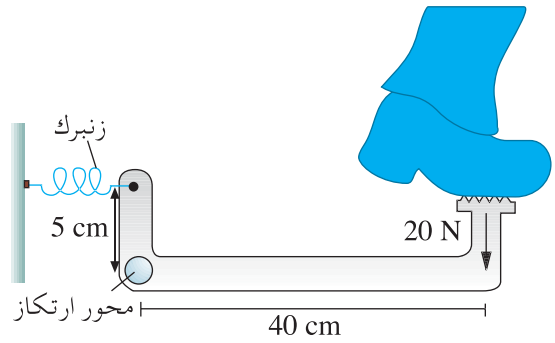
1- يتطلب باب عزمًا مقداره 32.5 N m كحد أدنى لفتحه.



ما أصغر مسافة ممكنة بين المقبض والمفصلات، إذا كان الباب سيُجذب بقوة عند المقبض لاتزيد عن 50 N؟

(أ) 0.33 m (ب) 0.65 m
(جـ) 0.77 m (د) 1.54 m

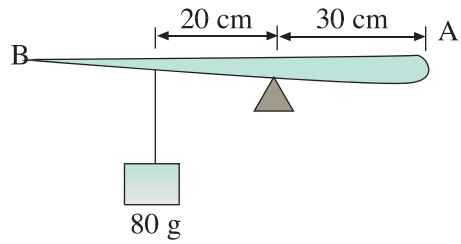
2- تضغط قدم سائق على دواسة فرامل في السيارة بقوة 20 N كما هو مبين بالشكل.



بأي قوة يُسحب الزنبرك؟

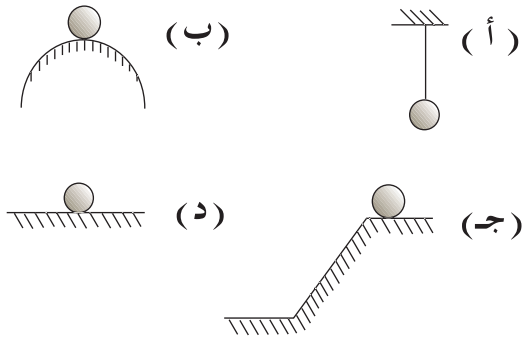
(أ) 2.5 N
(ب) 10 N
(جـ) 100 N
(د) 160 N

3- يتوازن قضيب غير منتظم كما هو مبين بالشكل. إذا كان مركز كتلة القضيب على بعد 14 cm من الطرف A. ما كتلة القضيب؟

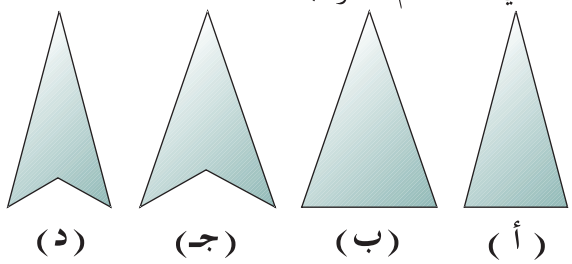


(أ) 40 g (ب) 100 g
(جـ) 1000 g (د) 1140 g

4- أي الأشكال التالية يبين جسمًا كـريًّا في حالة توازن ثابت؟

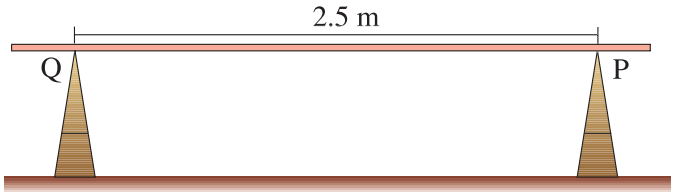


5- يبين الشـكل قطاعات عرضية لأربعة أجسام صلبة. فأي الأجسام أكثر ثباتًا؟



الجزء الثاني الأسئلة التركيبية

1-



شكل 5 – 28

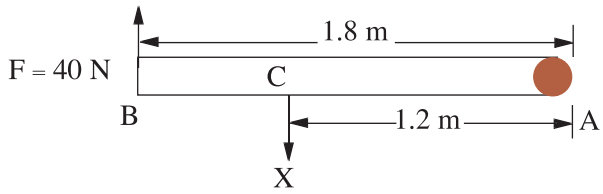
يبين شـكل 5 – 28 لوحًا خشبيًّا كتلته 5 kg وطوله 3 m مسـتقرًّا أفقيًّا على دعامتين **P, Q** يبعدان عن بعضهما بمسـافة 2.5 m. وعند سـير طالب كتلته 60 kg بطول اللوح مـن دعامة للأخرى، فإن اللوح الخشبي يرتخي.

(أ) لماذا يزداد ارتخاء اللوح عند اقتراب سير الطالب من منتصفه؟

(ب) احسب القوة المتجهة لأسفل المبذولة على كل دعامة عندما يكون الطالب على مسافة:
(1) 0.50 m من الدعامة **P**،
(2) 1.25 m من الدعامة **P**.
[$g = 10\ N\ kg^{-1}$].

2- **(أ)** ما المقصود بعزم القوة؟ كيف يمكن قياسه؟ اذكر اسم وحدة قياسه في النظام الدولي.

(ب) يبين الرسم التالي منظورًا تخطيطيًّا لباب مفصله عند A. فاذا سلط شخص ما قوة F مقدارها 40 N عند الطرف B، احسب عزم تلك القوة حول A. ما أقل قوة X التي يجب تسليطها عند C لمنع دوران الباب؟ اذكر اسم المبدأ المستخدم لحل تلك المشكلة.



3- **(أ)** ما المقصود بمركز ثقل الجسم؟

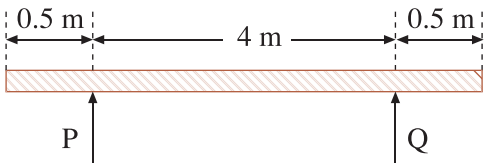
(ب) وضح بإيجاز تجربة لتعيين مركز ثقل قطعة من الورق المقوى غير منتظمة الشكل.

(جـ) ناقش بشكل كيفي التأثير الذي يحدثه موضع مركز الثقل على ثبات مصباح المنضدة.

4- **(أ)** **(1)** لماذا يمكن موازنة مسطرة مترية عند نقطة انتصافها ولكن يكون من غير الممكن موازنة عصا بلياردو (وهي ساق خشبية مستدقة الطرف) عند نقطة انتصافها؟

(2) ناقش تجربة تبين أنه عند توازن عصا البلياردو وكتلتين معلومتين معلقتين فيها، فإن العزم في اتجاه حركة عقارب الساعة حول محور الارتكاز يكون مساويًا للعزم في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.

(ب) يقف نقاش وزنه 1000 N على بعد 1 m من الطرف الأيسر للوح خشبي منتظم طوله 5 m ويزن 800 N. ويستند اللوح الخشبي على دعامتين تبعد كل منهما مسافة 0.5 m عن طرفي اللوح. ويبين الشكل التالي قوتين متجهتين لأعلى **P, Q** يعملان على اللوح الخشبي نتيجة الدعامتين.



(1) انسخ الشكل السابق للوح ثم أكمله لتوضح أي قوى أخرى تعمل عليه، ثم اذكر اسم كل من تلك القوى.

(2) ما مقدار القوة الكلية المتجهة لأسفل المبذولة على الدعامتين؟

(3) ما مقدار القوة الكلية المتجهة لأعلى التي تبذلها الدعامتين على اللوح الخشبي؟

(4) بتعيين العزوم حول الدعامة اليسرى، احسب القوة المتجهة لأعلى التي تبذلها الدعامة الأخرى على اللوح الخشبي.

الوحدة 6

الشغل والطاقة والقدرة

Work. Energy and Power

سندرس ثلاثة مفاهيم فيزيائية في هذه الوحدة: الشغل، والطاقة، والقدرة. سندرس أولًا مفهوم الشغل. أنت تألف كلمة «الشغل» من استخدامك اليومي لها، ولكن يختلف استخدامها في الفيزياء عن تلك المفردات اليومية. إن لها معنى خاص جدًّا في الفيزياء، فضع ذلك في اعتبارك وأنت تدرس هذا الفصل. ويجب عند دراسة الطاقة الاحتفاظ بخمسة أوجه مهمة لهذا المفهوم في ذهنك: (1) تسبب الطاقة تغيرات في العالم، (2) يمكن نقل الطاقة من مكان لآخر، (3) يمكن تحويل الطاقة من شكل لآخر، (4) عند نقل وتحويل الطاقة لا تتغير كميتها الكلية، (5) بعض أشكال الطاقة أكثر نفعًا من أشكالها الأخرى.

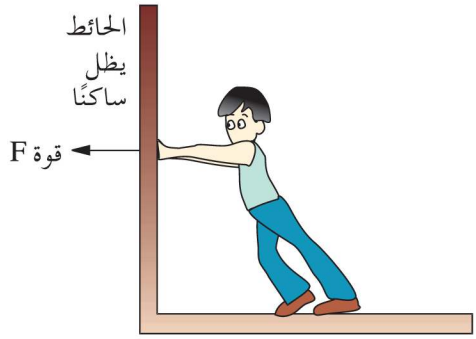
مخرجات التعلم

في هذه الوحدة، سوف

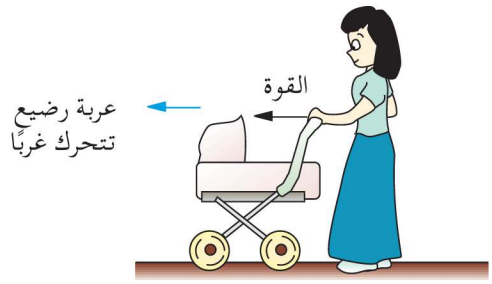
- ☐ تبين فهمًا بأن الطاقة الحركية، والطاقة الكامنة الجاذبة، والطاقة الكامنة المرنة، والطاقة الكامنة الكيميائية هي أمثلة للأشكال المختلفة للطاقة.
- ☐ تذكر مبدأ حفظ الطاقة.
- ☐ تطبق مبدأ حفظ الطاقة في مواقف جديدة أو لحل مشكلات ذات صلة.
- ☐ تذكر أن الطاقة الحركية: $E_K = \frac{1}{2} mv^2$، وأن الطاقة الكامنة الجاذبة $E_p = mgh$.
- ☐ تطبق علاقة الطاقة الحركية والطاقة الكامنة في مواقف جديدة أو لحل مشكلات ذات صلة.
- ☐ تتذكر العلاقة: الشغل المبذول يساوي القوة X المسافة المقطوعة في اتجاه القوة.
- ☐ تطبق العلاقة بين الشغل المبذول، والقوة، والمسافة المقطوعة في اتجاه القوة.
- ☐ تتذكر العلاقة: القدرة تساوي الشغل المبذول / الزمن المستغرق.
- ☐ تطبق العلاقة بين القدرة، والشغل المبذول، والزمن.

6 – 1 الشغل

Work



شكل 6 – 1 فتى يحاول دفع حائط صلب



شكل 6 – 2 سيدة تدفع عربة رضيع

مفهوم الشغل

يبين(شكل 6 – 1)فتى يحاول دفع حائط صلب، بينما يبين(شكل 6 – 2) سيدة تدفع عربة طفل غربًا. هل يبذل كلاهما شغلًا؟

من وجهة نظر الفيزياء فإن السيدة فقط هي التي تبذل شغلًا وليس الفتى، وذلك نظرًا للتعريف الدقيق جدًّا للشغل. فيقال أن الشغل قد بذل على الجسم عند تحركه تحت تأثير قوة ما. وفيما يلي تعريف الشغل:

يُعَرَّف الشغل المبذول بقوة ثابتة بحاصل ضرب القوة × المسافة المقطوعة في اتجاه القوة.

وبصيغة المعادلة:

$W = Fs$ حيث W تساوي الشغل المبذول بقوة ثابتة

F تساوي القوة الثابتة (بالنيوتن)

s تساوي المسافة المقطوعة في اتجاه القوة (بالمتر) .

إن وحدة قياس الشغل في النظام الدولي هي الجول (J). ومن المعادلة: $W = Fs$ تعطي العلاقة بين وحدات الشغل، والقوة، والمسافة بما يلي:

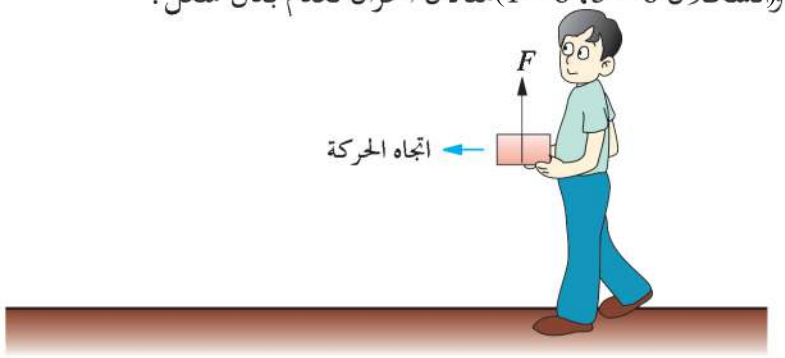
1 جول يساوي 1 نيوتن × 1 متر

وبالرموز:

$$1\ J = 1\ N\ m$$

ويُعرَّف الجول الواحد بأنه الشغل المبذول بواسطة قوة مقدارها 1 N والتي تحرك جسمًا ما خلال مسافة قدرها 1 m في اتجاه القوة.

وبناءً على مفهوم الشـغل فإن الفتى في(شكل 6 – 1)لايبذل شغلًا لأن الحائط لايتحرك ومن ثم فإن المسافة المقطوعة في اتجاه القوة تساوي صفرًا. و(الشكلان 6 – 3، 6 – 4)مثالان آخران لعدم بذل شغل.



شكل 6 – 3 فتى يحمل حمولة يمشي يسارًا

شكل 6 – 4 لا يبذل الرجل شغلًا عند حمله مجموعة من الكتب في وضع ثابت

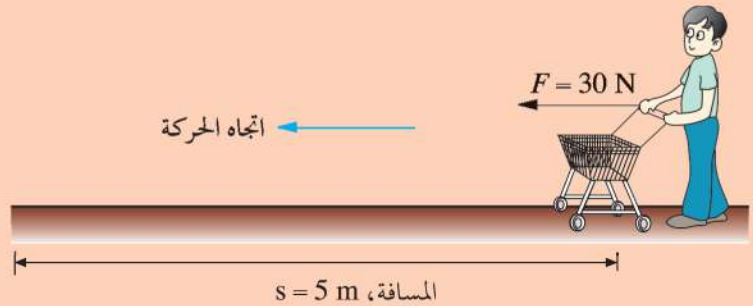
نقول أنه لا يُبذل شغل في(شكل 6 – 3)بواسطة القوة المتجهة لأعلى على الحمولة لأن المسـافة المقطوعة في اتجاه القوة تسـاوي صفـرًا. ونقول أنه لا يُبذل شـغل في(شـكل 6 – 1)بواسطة القوة المتجهة للأمام على الحائط لأن الحائط لم يتحرك. وباختصار لا يبذل شغل عند:

(أ) تعامد اتجاه القوة المسلطة على الاتجاه الذي يتحرك فيه الجسم.

(ب) تسليط القوة على الجسم (مثل الحائط) من دون تحريكه.

مثال محلول 6 – 1

يبين(شكل 6 – 5)شخصًا يدفع عربة التسوق في سوق تجاري. فإذا كانت القوة F التي سلطها على عربة التسوق هي 30 N، وتتحرك عربة التسوق مسافة 5 m في اتجاه القوة، احسب الشغل الذي تبذله القوة على عربة التسوق.



شكل 6 – 5 دفع عربة التسوق

الحل:

المعطيات: $F = 30\ N$

المسافة المقطوعة في اتجاه القوة، $s = 5\ m$

افترض أن الشغل المبذول بواسطة القوة على عربة التسوق W.

وبالرجوع إلى تعريف الشغل، $W = Fs$

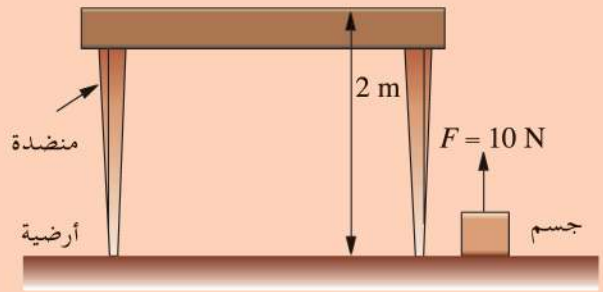
$= (30)\ (5)$

$= 150\ J$

تذكر: $W = Fs$
وحدة قياس الشغل هي الجول (J)

مثال محلول 6 – 2

يبين شكل 6 – 6 جسمًا يُرفع من علي الأرض إلي سطح منضدة يبلغ ارتفاعها 2 m من الأرض، فإذا كانت القوة الرافعة F هي 10 N، احسب الشغل الذي تبذله تلك القوة على الجسم.



شكل 6 – 6

الحل:

المعطيات: القوة الرافعة، F=10 N

المسافة التي يتحركها الجسم في اتجاه القوة، (ارتفاع المنضدة)

$$s = 2\ m$$

وبالرجوع إلى تعريف الشغل، $W = Fs$

$$= (10)\ (2)$$

$$= 20\ J$$

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) لا تبذل أم تحمل طفلها الصغير بين ذراعيها في وضع ثابت شغلًا. اشرح ذلك.

(ب) يُستخدم محرك كهربائي لرفع كتلة 5 kg خلال مسافة 3 m، فإذا علمت أن عجلة الجاذبية الأرضية $10\ m\ s^{-2}$، ما الشغل الذي يبذله المحرك؟

6 – 2 الطاقة Energy

مفهوم الطاقة

تُعرَّف الطاقة بأنها قابلية الجسم لبذل شغل. ولهذا فإن وحدة قياس الطاقة في النظام الدولي هي نفس وحدة قياس الشغل، أي الجول (J). ومن دون توافر طاقة لايستطيع الإنسان أو الآلات بذل شغل. وتوجد كذلك أشكال وأنواع كثيرة مختلفة للطاقة.

وحدة قياس الطاقة في النظام الدولي هي الجول (J)

أشكال الطاقة

يبين الجدول التالي بعض أشكال الطاقة.

جدول 6 – 1 بعض أشكال الطاقة

	أشكال الطاقة	بعض الأمثلة الشائعة
1	الطاقة الكيميائية	الوقود مثل النفط، والخشب، والفحم، والخلايا الكهربائية، والطعام، والمتفجرات.
2	الطاقة النووية	القنابل النووية، والمفاعلات النووية.
3	الطاقة الإشعاعية	الطيف الكهرومغناطيسي مثل الضوء المرئي، والموجات اللاسلكية، والإشعاع دون الأحمر، والإشعاع فوق البنفسجي، والأشعة السينية، وأشعة جاما.
4	الطاقة الكهربائية	الطاقة المرتبطة بالتيار الكهربائي المستخدم في تشغيل المثقاب الكهربائي، وأدوات القدرة، والسخانات الغاطسة، والأجهزة الكهربائية.
5	الطاقة الداخلية	الطاقة التي تمتلكها ذرات أو جزيئات المادة في شكل طاقة حركية وطاقة كامنة.
6	الطاقة الميكانيكية	
	(أ) الطاقة الحركية	(أ) الطاقة الحركية جميع الأجسام التي في حالة حركة.
	(ب) الطاقة الكامنة	(ب) الطاقة الكامنة
	(1) الطاقة الكامنة الجاذبة	(1) المساقط المائية، والأجسام المرفوعة.
	(2) الطاقة الكامنة المرنة	(2) الزنبرك (النابض) المضغوط أو الممدد، ومنصة القفز المثنية بحمامات السباحة، والشريط المرن الممدود في (النِّبْلَة).

الطاقة الميكانيكية

يوجد نوعان من الطاقة الميكانيكية التي قد يمتلكها الجسم: الطاقة الحركية والطاقة الكامنة. ويمثل القطار المتعرج في(شكل 6 – 7) مثالاً شائعًا لجسم له طاقة ميكانيكية.

شكل 6 – 7 قطار متعرج في مدينة ملاهي

الطاقة الحركية هي الطاقة التي يمتلكها الجسم نتيجة لحركته، وبمعنى آخر فإن أي جسم متحرك له طاقة حركية. المعادلة المعرِّفة للطاقة الحركية هي:

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

حيث E_k تساوي الطاقة الحركية (بالجول) (J)

m تساوي كتلة الجسم (بالكيلوجرام) (kg)

v تساوي سرعة الجسم (بالمتر ثانية$^{-1}$) (ms^{-1})

ونرى من المعادلة: $E_k = \frac{1}{2} mv^2$ أن أي جسمين لهما نفس الكتلة ويتحركان بسرعتين مختلفتين، يكون للجسم الأسرع طاقة حركية أكبر. وبالمثل فإن أي جسمين مختلفين في الكتلة ولكن يتحركان بنفس السرعة، يكون للجسم ذي الكتلة الأكبر طاقة حركية أكبر.

شكل 6 – 8 أي جسم متحرك يمتلك طاقة حركية

مثال محلول 6 – 3

رصاصة كتلتها 0.02 kg تتحرك بسرعة $1200\ m\ s^{-1}$. احسب طاقتها الحركية.

الحل:

المعطيات: كتلة الرصاصة، $m = 0.02\ kg$

سرعة الرصاصة، $v = 1200\ m\ s^{-1}$

ومن تعريف الطاقة الحركية، $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

$$= \frac{1}{2}(0.02)(1200)^2$$

$$= 14400\ J$$

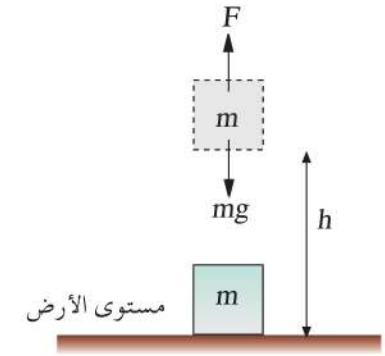
الطاقة الكامنة هي الطاقة التي يمتلكها الجسم نتيجة وضعه أو حالته. فيكون على سبيل المثال للجسم المرفوع لأعلى فوق الأرض طاقة كامنة جاذبة نتيجة لوضعه المرتفع، بينما يكون لشريط المطاط الممدود طاقة كامنة مرنة نتيجة لحالة امتداده.

ولإيجاد الطاقة الكامنة الجاذبة لأي جسم قرب سطح الأرض، ندرس جسمًا له كتلة m يُرفع رأسيًّا دون أن يكتسب عجلة، من المستوى الأرضي إلى مستوى آخر ذي ارتفاع h كما في (شكل 6 – 9)

الشغل المبذول بواسطة القوة الخارجية F يساوي Fh

وبما أن، $F = mg$

فإن الشغل المبذول، $W = mgh$



شكل 6 – 9 جسم له كتلة m مرفوع للارتفاع h فوق سطح الأرض يمتلك طاقة كامنة جاذبة تساوي mgh

فإذا تركنا الجسم يسقط سقوطًا حرًّا من هذا الوضع ليدق وتدًا في الأرض، فإن الجسم يبذل كمية من الشغل تساوي mgh على الوتد. وهكذا لكي نرفع جسمًا له كتلة m لارتفاع ما h، يتطلب ذلك كمية شغل تساوي mgh، وحين يصل الجسم إلى الارتفاع h تصبح لديه إمكانية بذل كمية شغل تساوي mgh. ولهذا فإننا نعرف الطاقة الكامنة الجاذبة للجسم قرب سطح الكرة الأرضية كحاصل ضرب وزن الجسم mg وارتفاعه h فوق مستوى مرجعي معين (في هذه الحالة الأرض).

الطاقة الكامنة الجاذبة، $E_p = mgh$.

مثال محلول 6 – 4

رُفعت حقيبة كتلتها 5 kg رأسيًّا لأعلى خلال مسافة 10 m بسرعة ثابتة. إذا كانت عجلة الجاذبية $10\ m\ s^{-2}$ ما الطاقة الكامنة الجاذبة التي تكتسبها الحقيبة؟

الحل:

المعطيات: كتلة الحقيبة، $m = 5\ kg$

الارتفاع، $h = 10\ m$

ومن تعريف الطاقة الكامنة الجاذبة: $E_p = mgh$

$$= (5)(10)(10)$$

$$= 500\ J$$

تحويل وحفظ الطاقة

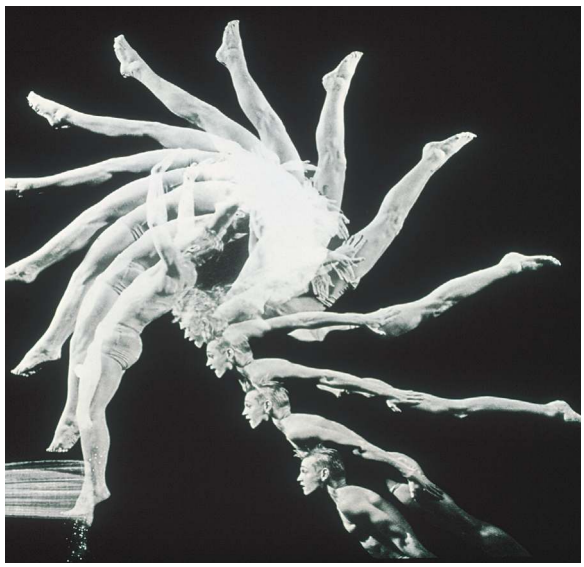
ينص مبدأ حفظ الطاقة على أنه :

> لا تفنى الطاقة ولا تستحدث في أي عملية . ويمكن أن تتحول الطاقة من صورة لأخرى، أو أن تنتقل من جسم لآخر، ولكن تظل الكمية الكلية ثابتة .

وفيما يلي بعض الأمثلة لتحويل وحفظ الطاقة والتي يمكن تفسيرها بمبدأ حفظ الطاقة .

1- غطاس على منصة قفز

الطاقة الكيميائية المخزنة في جسم الغطاس تسمح له بثني منصة القفز (انظر شكل 6 – 10)، مما يجعل منصة القفز المنثنية تخزن *طاقة كامنة مرنة* تتحول بعد ذلك إلى *طاقة* حركية للغطاس بإعطائه دفعة لأعلى .



شكل 6 – 10 غطاس على منصة قفز

2- راكب دراجة يصعد لأعلى تل

الطاقة الكيميائية المخزنة في جسم راكب الدراجة تمكنه من بذل شغل ضد الجاذبية (انظر شكل 6 – 11) . وعند قمة التل سيمتلك راكب الدراجة *طاقة كامنة جاذبة* تمكنه من نزول التل *بطاقة* حركية متزايدة حتى من دون استخدام البدال .

شكل 6 – 11 راكب دراجة يصعد لأعلى تل

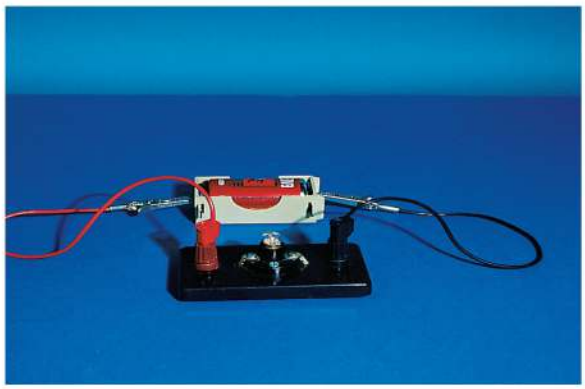
3- احتراق وقود مثل البترول، أو الفحم، أو الخشب

تتحول *الطاقة الكيميائية* المخزنة في الوقود بالأكسدة خلال الاحتراق إلى *طاقة حرارية*، و*طاقة ضوئية* .

شكل 6 – 12 حرق الفحم النباتي داخل مشواة اللحم والسمك

4- توصيل بطارية بمصباح كهربائي فتيلي

تتحول *الطاقة الكيميائية* المخزنة في البطارية إلى *طاقة كهربائية*، تتحول بدورها في الفتيل إلى *طاقة حرارية*، و*طاقة ضوئية*.



شكل 6 – 13 توصيل بطارية بمصباح كهربائي فتيلي

5- الطَّرْقُ على مسمار إلى داخل كتلة خشبية باستخدام مطرقة

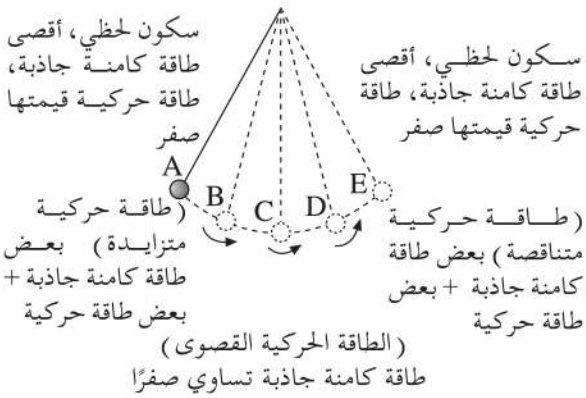
تستخدم *الطاقة الكيميائية* المخزنة في جسم الشخص لبذل شغل في رفع المطرقة، والتي تمتلك في وضعها المرفوع *طاقة كامنة جاذبة*. عند هبوط المطرقة على المسمار تتحول *الطاقة الكامنة الجاذبة* إلى طاقة حركية للمطرقة المتحركة. ثم تستخدم *الطاقة الحركية* في بذل شغل لتثبيت المسمار في الخشب مع إنتاج *طاقة صوتية* في الهواء، و*طاقة حرارية* في الكتلة الخشبية، والمسمار، والمطرقة.

شكل 6 – 14 الطَّرْقُ على مسمار

6- التغير البيني للطاقة الحركية والطاقة الكامنة

يبين(شكل 6 – 15)بندولاً بسيطًا يتذبذب يمينًا ويسارًا في فراغ. وأبعد موضعين للتذبذب هما A، E بينما مركز التذبذب هو C. ويعتبر مركز التذبذب C هو المستوى المرجعي حيث تساوي الطاقة الكامنة الجاذبة للبندول صفرًا.

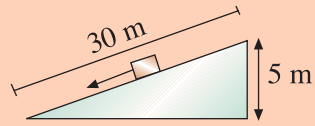
وتساوي الطاقة الحركية للبندول عند الموضع A حيث يتوقف البندول للحظة صفرًا، إلا أن الطاقة الكامنة الجاذبة للبندول تبلغ أقصاها عند A حيث يكون البندول عند أقصى ارتفاع له فوق المستوى المرجعي. عند تذبذب البندول لأسفل في اتجاه الوضع B فإنه يفقد جزءًا من طاقته الكامنة الجاذبة، ولكنه يكتسب طاقة حركية كلما زادت سرعته. وعند وصول البندول إلى مركز التذبذب عند C، فإن سرعته تصل أقصاها ويمتلك بالتالي أقصى طاقة حركية، ولكن تصبح قيمة الطاقة الكامنة الجاذبة صفرًا. وعند تحرك البندول من C إلى D فإنه يفقد طاقة حركية بسبب تناقص سرعته، ولكنه يكتسب طاقة كامنة جاذبة عند صعوده في اتجاه E. وعند الوضع E يتوقف البندول مرة أخرى لحظيًّا، وتصبح طاقته الحركية صفرًا، ولكنه يمتلك أقصى طاقة كامنة جاذبة نتيجة وصول البندول لأقصى ارتفاع له فوق المستوى المرجعي. ثم يبدأ الآن البندول في التذبذب عائدًا من E نحو C ثم نحو A، وتتكرر الدورة مرة أخرى، ورغم وجود تغير بيني مستمر للطاقة الحركية والكامنة، تظل الطاقة الميكانيكية الكلية (الطاقة الحركية + الطاقة الكامنة الجاذبة) عند أي نقطة في مسار حركة البندول ثابتة. ويعتبر ذلك أحد نتائج مبدأ حفظ الطاقة.



شكل 6 – 15 تغيرات الطاقة في بندول بسيط

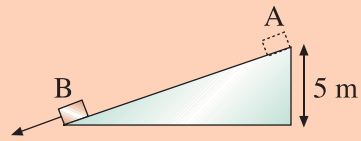
مثال محلول 6 – 5

ينزلق قالب كتلته 4 kg من السكون خلال مسافة 30 m لأسفل منحدر عديم الاحتكاك.



ما الطاقة الحركية للقالب عند قاع المنحدر؟
(اعتبر عجلة الجاذبية الأرضية، $10\ m\ s^{-2}$)

الحل:



يمتلك الجسم عند قمة المنحدر A طاقة كامنة جاذبة.

$$E_p = mgh$$
$$= 4 \times 10 \times 5$$
$$= 200\ J$$

وعند بدأ الجسم في الانزلاق لأسفل المنحدر، تتحول الطاقة الكامنة الجاذبة إلى طاقة حركية. ومن ثم تساوي كمية الطاقة الحركية عند قاع المنحدر B كمية الطاقة الكامنة الجاذبة عند A، بمعنى، $E_k = 200\ J$.

تحدٍ

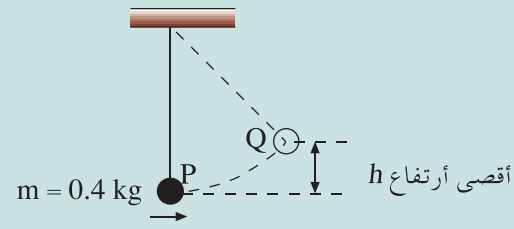
يبين شكل 6 – 16 بندولاً كتلته 0.4 kg يتذبذب في فراغ. فإذا كانت P هي أدنى موضع للبندول حيث تكون أقصى سرعة له $1.5\ m\ s^{-1}$، احسب:

(1) أقصى طاقة حركية للبندول.

(2) أقصى طاقة كامنة جاذبة للبندول عند ارتفاعه إلى أعلى نقطة عند Q.

(3) أقصى ارتفاع h.

[افترض عجلة الجاذبية، g تساوي $10\ m\ s^{-2}$]



شكل 6 – 16

نشاط على شبكة الإنترنت

انظر إلى الصور المتحركة في المواقف التالية وناقش تحولات الطاقة في كل حالة:

(أ) جسم ينزلق لأسفل

http://www.glenbrook.k12.il.us gbssci/phys/mmedia/energy/se.html/>

(ب) بندول

<http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/mmedia/energy/pe.html>.

(جـ) قطار متعرج

<http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/mmedia/energy/ce.html>.

الكفاية

يوحي مبدأ حفظ الطاقة بأن خرج الطاقة الكلي من أي آلة يجب أن يساوي دخل الطاقة إليها. ووُجدَ مع ذلك أن خرج الطاقة يكون دائمًا أقل من دخلها. ويرجع ذلك بصفة رئيسة إلى الشغل الذي يجب بذله ضد قوى الاحتكاك التي تتخذ صورة طاقة حرارية مهدرة. ومعادلة الطاقة كالتالي:

دخل الطاقة يساوي خرج الطاقة المفيد + خرج الطاقة المهدر

ونقيس كفاية الآلة بنسبة:

$$\text{الكفاية تساوي } \frac{\text{خرج الطاقة المفيد}}{\text{دخل الطاقة}} \times 100\%$$

شكل 6 – 17 محطة قدرة لتوليد الكهرباء

وتوجد في أي محطة قدرة نموذجية لتوليد الكهرباء سلسلة انتقالات للطاقة تبدأ مع دخل الطاقة من الفحم أو الزيت أو اليورانيوم، وتنتهي بالخرج المفيد من الطاقة الكهربائية. وقد وُجد أن حوالي 70% من دخل الطاقة يُهدر كطاقة حرارية أثناء سلسلة انتقالات الطاقة، وأن حوالي 30% فقط من دخل الطاقة يتحول في النهاية إلى خرج مفيد من الطاقة الكهربائية. وبالتالي تعتبر كفاية محطة القدرة حوالي 30% فقط.

تحدٍ

يُستخدم محرك كهربائي لرفع حمولة مقدارها 10 N خلال مسافة 5 m. فإذا كانت الكمية الكلية لدخل الطاقة الكهربائية هي 65 J.

(1) ما كمية الطاقة المهدرة بواسطة المحرك؟

(2) ما كفاية المحرك؟

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) هل وحدة قياس الطاقة في النظام الدولي هي نفس وحدة قياس الشغل؟

(ب) قام لاعب كرة بقذف الكرة في الهواء ثم التقطها أثناء هبوطها. اذكر التغيرات التي تحدث للطاقة.

(جـ) إذا قلّت سرعة غواص عند دخوله للماء إلى النصف، فبأي قدر تقل طاقته الحركية؟

(د) يتذبذب ثقل بندول من طرف لآخر. فعند أي نقاط ستصبح الطاقة الكامنة الجاذبة لثقل البندول

(1) في أقصى درجة لها؟

(2) في أدنى درجة لها؟

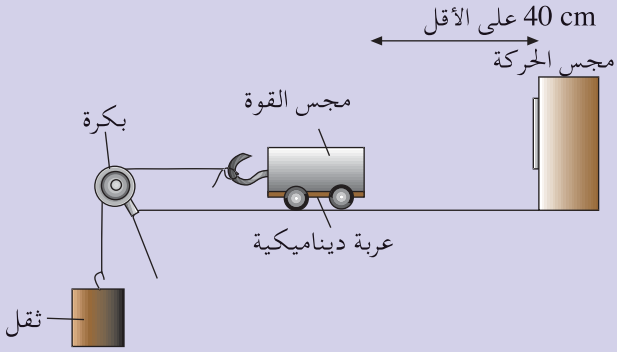
التربية الوطنية

تنتج ليبيا احتياجاتها من الطاقة. وتشمل مصادر الوقود زيت النفط، والفحم، والغاز الطبيعي، وفي المستقبل الطاقة النووية. ناقش أنواع مصادر الوقود التي تنتجها ليبيا وأسباب تلك الاختيارات؟ ثم علق على مصادر الوقود غير المناسبة، واقترح مصدرًا للطاقة لايعتمد على الوقود ويمكن استخدامه في بلدنا، واشرح اختيارك.

لقياس الشغل المبذول على الجسم والتغير في طاقته الحركية.

الجهاز: جهاز التداخل البيني لورشة عمل العلوم/ مجس القوة/ بكرة / ميزان إلكتروني/ عربة ديناميكية/ قضبان سكك حديدية 1.2 m / ثقل/ خطاف لتعليق الثقل.

الإجراء: **1-** ركب الجهاز المبين بالشكل. تقيس البكرة في هذه التجربة السرعة الاتجاهية لأنها تُدار تبعًا لحركة العربة الديناميكية.



2- ابدأ في التسجيل، وأطلق العربة لتتحرك تجاه البكرة.

3- أوقف التسجيل قبل اصطدام العربة بالبكرة.

4- مستخدمًا الآلة الحاسبة في جهاز التداخل البيني لورشة عمل العلوم، عين أقصى طاقة حركية ثم سجل البيانات في جدول 6 – 2.

5- مستخدمًا الوظائف الإحصائية المتاحة، ادمج المساحة المحصورة في العلاقة البيانية بين القوة والإزاحة. وسيعطي ذلك الشغل المبذول على العربة. سجل ذلك الشغل المبذول في جدول 6 – 2.

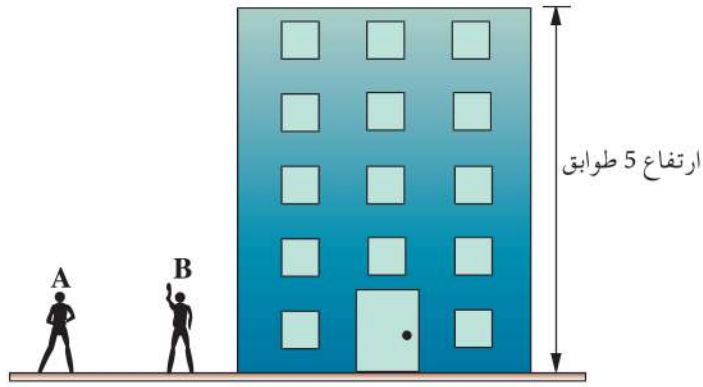
جدول 6 – 2

البند	القيمة
كتلة العربة ومجس القوة	kg
أقصى سرعة v_f	$m\ s^{-1}$
أقصى طاقة حركية E_k	J
الشغل	J

ناقش:

1- ما النسبة المئوية للفرق بين الطاقة الحركية القصوى، والشغل المبذول؟

2- ناقش الأسباب الممكنة لهذا الفرق.



شكل 6 – 18 العلاقة بين الشغل و القدرة

مفهوم القدرة

يبين(شكل 6 – 18)ولدين A، B متساويين في كتلة الجسم، يقفان بجوار منزل مكـون من خمسـة طوابق، وكلاهما يقطن الطابق الخامـس. وبما أن المصعد لا يعمل، يجب عليهما صعود السـلالم. فإذا اسـتغرق الولد A، 40 ثانية ليصل إلى أعلى المبنى، بينما استغرق الولد B، 80 ثانية، نعتبر الولد A أكثر قدرة من الولد B رغم أن كليهما بذل نفس كمية الشـغل لصعود نفس المسافة الرأسية. إن الولد A أكثر قدرة لأنه يستطيع أداء نفس القدر من الشغل بسرعة أكبر.

وتُعرَّف القدرة بأنها معدل الشغل المبذول أو الطاقة المحولة.

وبصيغة المعادلة:

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

حيث P تساوي القدرة
W تساوي الشغل المبذول (مقدرًا بالجول)
E تساوي الطاقة المحولة (مقدرة بالجول)
t تساوي الزمن المستغرق (مقدرًا بالثواني)

إن وحدة قياس القدرة في النظام الدولي هي الوات (W).

ومن المعادلة، $P = \frac{W}{t} = \frac{E}{t}$ فإن العلاقة بين وحدات قياس القدرة

والشغل المبذول (أو الطاقة المحولة) والزمن تكون كالتالي

$$1 \text{ وات يساوي } \frac{1 \text{ جول}}{1 \text{ ثانية}}$$

وبالرمـوز، $1\ W = 1\ J\ s^{-1}$. ويُعـرَّف الوات بأنه معدل الشـغل، أو معدل تحول طاقة مقدارها 1 جول في زمن قدره 1 ثانية.

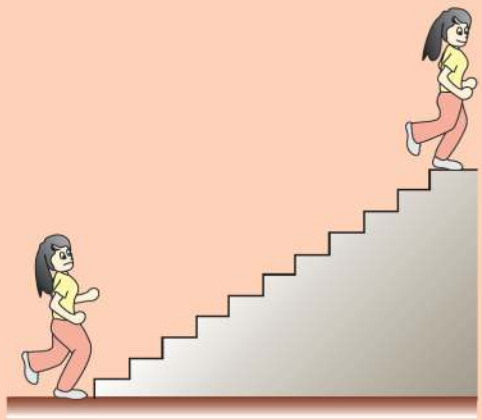
من العلاقة، $P = \frac{W}{t} = \frac{E}{t}$ يمكننا إعادة ترتيب المعادلة للحصول على

$E = Pt$ ، $W = Pt$

ومن ثم تخبرنا القدرة بمدى سرعة بذل الشغل أو سرعة تحويل الطاقة من صورة لأخرى. وكمثال لمفهوم القدرة كمعدل تحويل الطاقة من صورة لأخرى يمكننا دراسة غلايتين كهربيتين تعملان بمعدل 1000 W، و500 W على التوالي. فإذا وضعنا كميتين متساويتين من الماء في الغلايتين، ستحول الغلاية الكهربائية 1000 W الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية بضعف معدل الغلاية 500 W، مما يعني أن الغلاية الأولى تستغرق نصف الوقت في غلي الماء مقارنة بالغلاية الثانية، وتكون بالتالي قطعًا الغلاية الأولى أكثر قدرة من الثانية.

مثال محلول 6 – 6

أجرت منى تجربة لقياس قدرة جسمها بارتقاء درجة سلم كما بشكل 6 – 19. فإذا كان ارتفاع كل درجة 0.20 m، ويوجد 10 درجات، ما قدرة جسمها إذا صعدت درجات السلم عدوًا خلال فترة 5 s مع العلم بأن وزنها 450 N؟



شكل 6 – 19

الحل:

المعطيات وزن منى، $w = 450\ N$

المسافة الرأسية المقطوعة، $s = 2.0m = 10 \times 0.20$

الزمن المستغرق، $t = 5\ s$

افترض أن قدرة جسم منى P وأن القوة الرأسية التي بذلتها العضلات لتتوازن مع وزن الجسم،

$$F = w = 450\ N$$

والشغل المبذول بهذه القوة الرأسية، $W = F \times s$

$$= 450 \times 2$$

$$= 900\ J$$

ومن ثم فإن قدرة جسمها، $P = \frac{W}{t} = \frac{900}{5} = 180\ W$

تذكر:

القدرة تساوي $\frac{\text{الشغل المبذول}}{\text{الزمن}}$، $P = \frac{w}{t}$

وحدة قياس القدرة في النظام الدولي هي الوات (W).

مثال محلول 6 – 7

سخان كهربائي 250 W، احسب كمية الحرارة المتولدة خلال 10 min

الحل:

المعطيات: قدرة السخان الكهربائي، $P = 250\ W$

الزمن المستغرق، $t = 10 \times 60$

$= 600\ s$

افترض أن كمية الحرارة المتولدة هي E.

وبالتعريف فإن، $P = \frac{E}{t}$

ومن ثم فإن، $E = Pt$

$= (250)\ (600)$

$= 1.5 \times 10^5\ J$ (أو 150 kJ)

مثال محلول 6 – 8

محرك كهربائي لغسالة ملابس له خرج قدرة 1 kW. أوجد الشغل المبذول في نصف ساعة.

الحل:

المعطيات: قدرة المحرك الكهربائي، $P = 1 \times 10^3\ W$

الزمن المستغرق، $t = 60 \times 30$

$= 1800\ s$

وبافتراض أن الشغل المبذول هو W.

فمن التعريف، $P = \frac{W}{t}$

ولهذا فإن، $W = Pt$

$= (1.0 \times 10^3)\ (1800)$

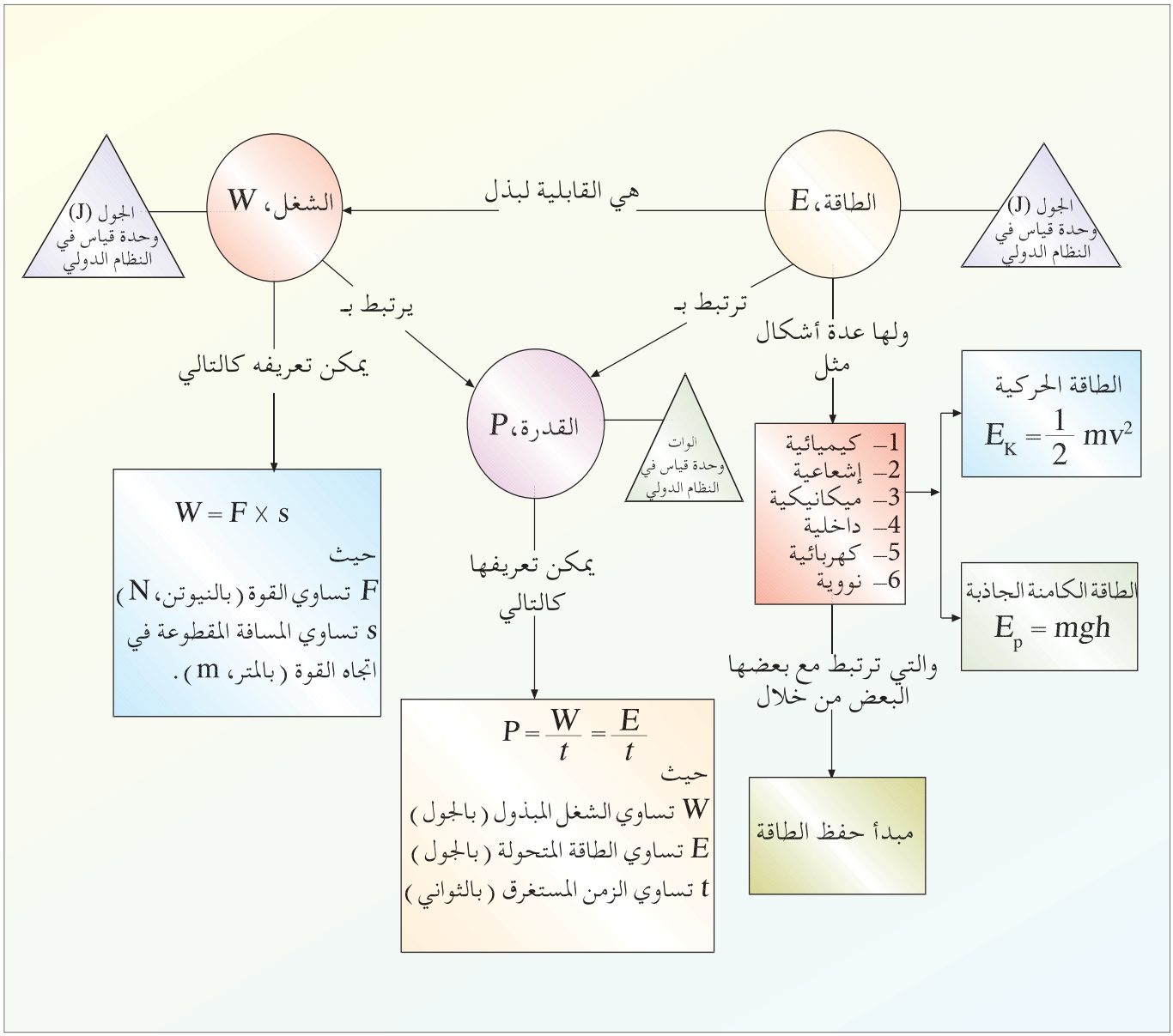
$= 1.8 \times 10^6\ J$ (أو 1.8 MJ)

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) جرى رجل بدين، وآخر نحيف لأعلى تل في نفس الوقت. أيهما يكون أكثر قدرة؟ ولماذا؟

(ب) «المصباح 100 W أكثر قدرة من المصباح 60 W». اشرح هذه العبارة.

خريطة مفاهيم



المهارة: تـوليـد احـتـمـالات

درست في هذه الوحدة الأنواع المختلفة للطاقة. تخيل مستقبلًا لا يوجد فيه الوقود الحفري كالنفط بكميات كبيرة. فكر في بعض المصادر الأخرى الممكنة التي يمكن لليبيا الاعتماد عليها. تخير مصدرًا واحدًا للطاقة يكون أكثر ملاءمة، ثم اذكر أسباب اختيارك.

مصادر الطاقة الممكنة لليبيا

1– .....

2– .....

3– .....

مصدر الطاقة الأكثر ملاءمة: .....

أسباب اختيارك

1– .....

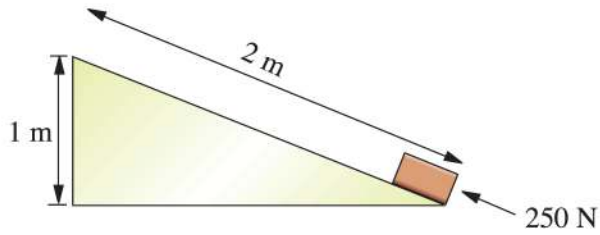
2– .....

3– .....

التمرين السادس

الجزء الأول أسئلة الاختيار من متعدد

1-



يبين الرسم صندوقًا ذا كتلة 40 kg يتم دفعه لأعلى مستوى مائل طوله 2 m. ما الشغل الذي تبذله قوة مقدارها 250 N عند وصول الصندوق إلى أعلى المستوى المائل الذي يرتفع 1 m فوق الأرض؟

(أ) 250 J
(ب) 400 J
(جـ) 500 J
(د) 800 J

2- عند انضغاط زنبرك (نابض)، ما شكل الطاقة التي يمتلكها؟

(أ) كامنة
(ب) حركية
(جـ) حرارية
(د) صوتية

3- قالب ذو كتلة 0.8 kg سقط عرضيًّا من أعلى بناية. وصل القالب إلى الأرض بطاقة حركية 240 J. فكم يبلغ ارتفاع البناية؟ علمًا بأن عجلة الجاذبية تساوي $10\ m\ s^{-2}$

(أ) 19 m
(ب) 300 m
(جـ) 192 m
(د) 30 m

4- توقفت سيارة فجأة محدثة صوتًا عاليًا (ضجيجًا) لتتجنب التصادم مع شاحنة توقفت أمامها دون سابق إنذار. ما تحول الطاقة المتضمن في تلك العملية؟

(أ) تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة صوتية فقط.
(ب) تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة حرارية، وطاقة صوتية.
(جـ) تتحول الطاقة الكامنة إلى طاقة حرارية، وصوتية، وحركية.
(د) تتحول الطاقة الحركية والكامنة إلى طاقة حرارية، وصوتية.

5- آلة قادرة على رفع 200 kg من الطوب رأسيًّا إلى ارتفاع 30 m فوق الأرض خلال 50 s. ما قدرة تلك الآلة؟

علمًا بأن عجلة الجاذبية تساوي $10\ m\ s^{-2}$

(أ) 0.12 kW (ب) 1.2 kW
(جـ) 6 kW (د) 300 kW

الجزء الثاني الأسئلة التركيبية

1- (أ) عَرِّف الجول.

(ب) أكمل الجدول التالي بملء الفراغات التالية.

	القوة المبذولة	المسافة المقطوعة في اتجاه القوة	الشغل المبذول
(1)	20 N	10m	_____
(2)	0.1 N	_____	1 J
(3)	_____	20m	0.8 J
(4)	500 N	_____	3.60×10^6 J

2- (أ) اذكر مبدأ حفظ الطاقة.

(ب) صف كيف ينطبق مبدأ حفظ الطاقة على الحالات التالية:
(1) سقوط حر لجسم ما في فراغ.
(2) راكبة دراجة تصعد إلى أعلى تل ما.
(3) توصيل بطارية بمصباح كهربائي فتيلي.

3- (أ) عَرِّف (1) الطاقة الكامنة
(2) الطاقة الحركية

(ب) أُطلق جسم ذو كتلة 2 kg من حالة السكون من ارتفاع 10 m فوق سطح الأرض، احسب:
(1) الطاقة الكامنة الابتدائية عند لحظة إطلاق الجسم.
(2) الطاقة الحركية عند لحظة وصول الجسم إلى ارتفاع 4 m فوق سطح الأرض.
(3) سرعة الجسم قبل تصادمه مباشرة بسطح الأرض.

بعد التصادم يسكن الجسم أخيرًا. اشرح ما يحدث للطاقة الحركية المهدرة.

[عجلة السقوط الحر، g تساوي $10\ m\ s^{-2}$]

4- **(أ)** املأ الفراغات في الفقرة التالية:

عندما يطرق رجل مسمارًا إلى داخل كتلة خشبية مستخدمًا المطرقة فإن الطاقة _____ المخزنة في جسمه تُستخدم في بذل شغل لرفع المطرقة، والتي تمتلك في موضعها المرتفع طاقة _____. وعند هبوط المطرقة تتحول الطاقة _____ إلى طاقة _____ للمطرقة المتحركة. وتُستخدم عندئذ تلك الطاقة _____ لبذل شغل في دفع المسمار إلى داخل الخشب مع تبدد للطاقة _____ في الهواء، وإنتاج طاقة _____ في كتلة الخشب، والمسمار، والمطرقة.

(ب) صف بأسلوب كيفي مصطلح (الكفاية) كما يطبق على محطة قدرة، تُحوِّل دخل طاقة في شكل وقود إلى خرج طاقة مفيد في صورة كهرباء.

5- **(أ)** عرِّف الوات.

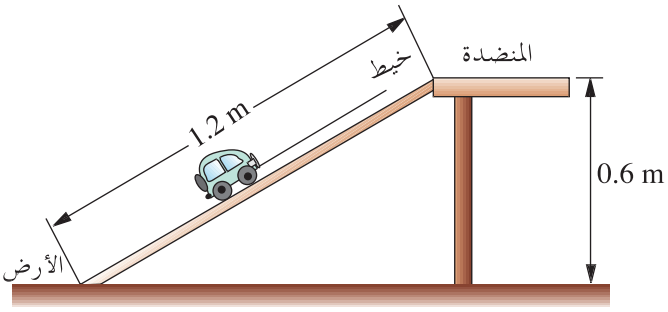
(ب) ما المقصود بالقدرة؟

(جـ) احسب القدرة المتضمنة في المواقف التالية:

(1) قوة مقدارها 50 N تتحرك خلال مسافة 10 m في 5 s.

(2) جسم ذو كتلة 1 kg رُفع رأسيًّا لأعلى خلال مسافة 5 m خلال 10 s [عجلة السقوط الحر، g تساوي $10\ m\ s^{-2}$].

6-



وُضع نموذج سيارة كتلته 1.5 kg على منحدر كما بالشكل، ويتصل بطرفه العلوي خيط. والقوة في الخيط الموازية للمنحدر والمطلوبة لتحريك السيارة أعلاه بسرعة اتجاهية ثابتة هي 10 N.

(1) صف بمساعدة رسم توضيحي كيفية قياس القوة المؤثرة في الخيط.

(2) احسب الزيادة في الطاقة الكامنة عند تحرك السيارة من الأرض إلى المنضدة.

(3) احسب الشغل المبذول بواسطة القوة أثناء تحريكها السيارة لأعلى المنحدر من الأرض إلى المنضدة.

(4) احسب كفاية تلك الطريقة لرفع السيارة.

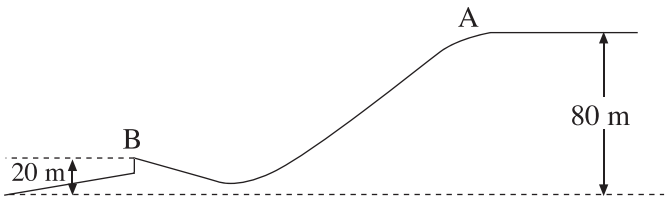
7- تم إمساك كرة مطاطية كتلتها 0.12 kg عند ارتفاع 2.5 m فوق سطح الأرض، ثم أطلقت.

(1) احسب الطاقة الحركية للكرة قبل اصطدامها مباشرة بسطح الأرض.

(2) احسب السرعة الاتجاهية للكرة قبل اصطدامها مباشرة بسطح الأرض.

اذكر سببًا واحدًا لارتداد الكرة إلى ارتفاع أقل من 2.5 m فوق سطح الأرض.

8-



وقف أحد المتزلجين على الثلج عند قمة منصة للقفز بالمزالج A كما في الشكل، ثم تحرك من A إلى B، وانطلق لقفزته عند B.

(أ) إذا كانت كتلة الشخص 80 kg، احسب التغير في طاقته الكامنة الجاذبة بين A، B.

(ب) إذا أصبحت 75% من تلك الطاقة طاقة حركية للمتزلج عند B، احسب:

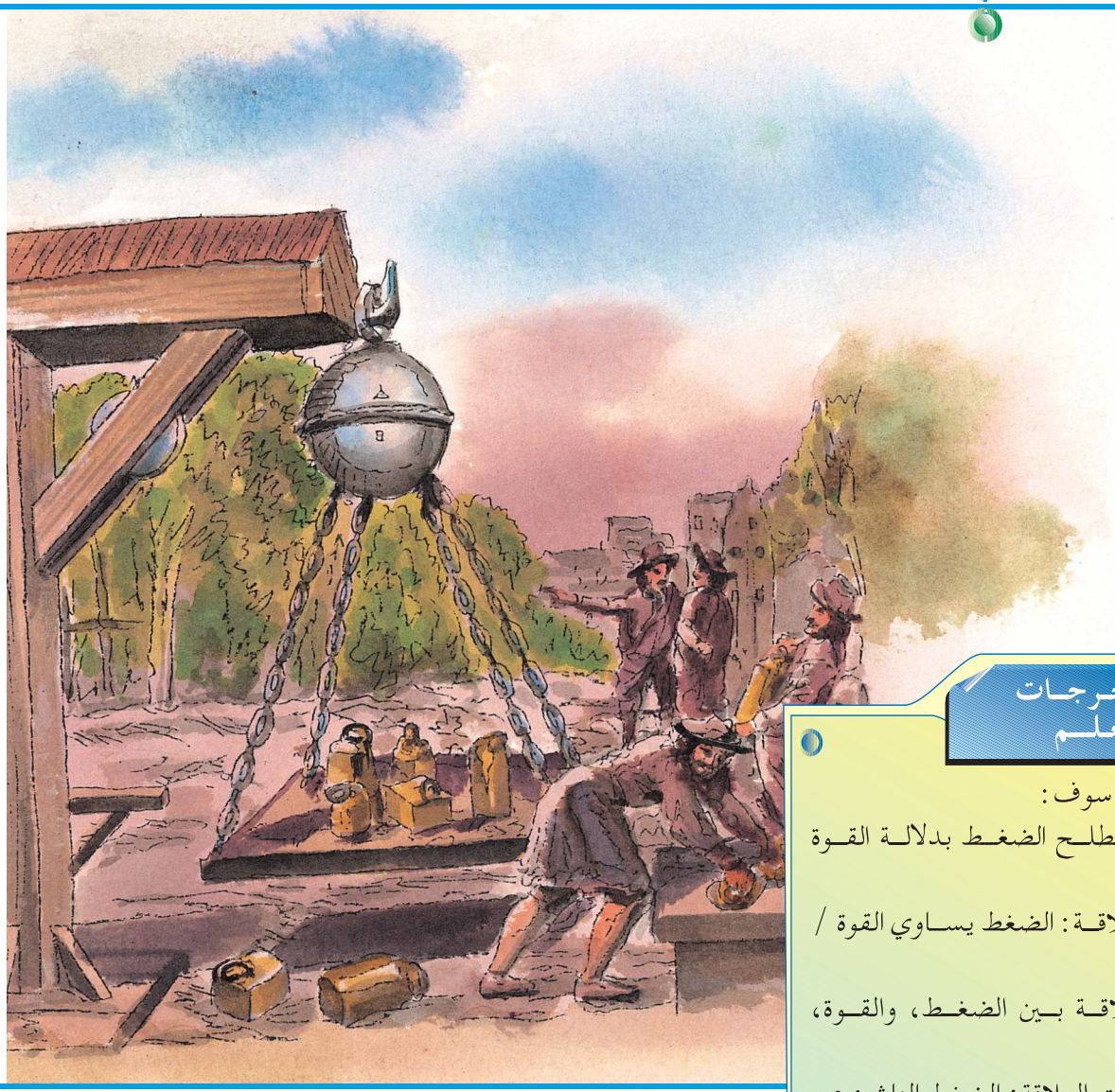
(1) الطاقة الحركية للمتزلج عند B.

(2) السرعة التي وصل بها عند B.

الوحدة 7

الضغط

Pressure



مخرجات التعلم

في هذه الوحدة سوف:

- ☐ تُعرِّف مصطلح الضغط بدلالة القوة والمساحة.
- ☐ تتذكر العلاقة: الضغط يساوي القوة / المساحة.
- ☐ تطبق العلاقة بين الضغط، والقوة، والمساحة.
- ☐ تتذكر وتطبق العلاقة: الضغط الناشئ عن عمود سائل يساوي ارتفاع العمود × كثافة السائل × شدة مجال الجاذبية.
- ☐ تصف كيفية استخدام ارتفاع عمود سائل لقياس الضغط الجوي.
- ☐ تصف استخدام المانومتر لقياس فرق ضغط الغاز.
- ☐ تصف، وتشرح انتقال الضغط في الأجهزة الهيدروليكية مع الإشارة بصفة خاصة إلى المكبس الهيدروليكي، والمكابح (الفرامل) الهيدروليكية في المركبات.

أطبق في عام 1654 أوتوفون جيريك عمدة مدينة مادبرج الألمانية فنجانين هائلين نصف كرويين من النحاس معًا لتكوين كرة مجوفة، ثم ضخ الهواء الذي بداخلها إلى الخارج. وعندها انطبق نصفا الكرة معًا بشدة لدرجة أنه أصبح من المستحيل فصلهما حتى بتعليق أثقال في الفنجان السفلي. هل تعلم ما الذي جعل الفنجانين يلتصقا معًا؟

ستدرس في هذه الوحدة بعض ظواهر الضغط الشائعة، وستتعلم أيضًا أن السوائل والغازات تبذل ضغطًا، وسنفحص بوجه خاص كيفية قياس الضغط الجوي.

7-1 الضغط

Pressure

إذا ارتـدت فتاة حذاءً ذا كعب عالٍ، سـتجده يغوص فـي الأرض الرخوة أكثـر ممـا لو ارتدت حذاءً ذا كعبٍ مسـتوٍ (رياضي) . إن وزن الشـخص يعمل لأسـفل بصرف النظر عن نوع الحذاء الذي يرتديه . ولكن ما سبب غـوص الفتاة أكثر عند ارتدائها الكعـب العالي ؟ للإجابة عن ذلك يجب تعريف مصطلح جديد يسمى الضغط .

يُعرَّف **الضغط** بأنه القوة الفاعلة على كل وحدة مساحة .

$$P = \frac{F}{A}$$

حيث P تساوي الضغط

F تساوي القوة (بالنيوتن)

A تساوي المساحة التي تؤثر عليها القوة وتقاس بالمتر المربع (m^2) .

إن وحدة قياس الضغط في النظام الدولي هي النيوتن لكـل متر مربع ($N\ m^{-2}$) أو بسكال (Pa) .

ونقـول إن الضغـط الواقع على الكعب العالي أكبـر من الضغط الواقع على الكعب المستوِ لأن مساحة المقطع العرضي للكعب العالي أصغر .

- الضغط هـو القوة الفاعلة على كل وحدة مساحة .
- $P = \frac{F}{A}$
- وحـدة قيـاس الضغـط فـي النظام الدولي هي النيوتن لكل متر مربع أو البسكال .

مثال محلول 7 - 1

احسـب الضغط تحـت قدم فتـاة إذا كانت كتلتها 50 kg، ومسـاحة الحذاء الذي يلامس الأرض كما يلي :

(1) $2\ cm^2$ (كعب عال) .

(2) $200\ cm^2$ (كعب مستو) .

[عجلة الجاذبية $g = 10\ m\ s^{-2}$]

الحل :

(1) المعطيات : الكتلة، $m = 50\ kg$

وزن الفتاة،

$$F = mg = 50 \times 10\ N$$
$$= 500\ N$$

المساحة، $A = 2\ cm^2 = 2 \times 10^{-4}\ m^2$

الضغط، $P = \frac{F}{A}$

$$= \frac{500}{2 \times 10^{-4}}$$
$$= 2.50 \times 10^6\ Pa$$

(2) المساحة، $A = 200\ cm^2 = 200 \times 10^{-4}\ m^2$

وزن الفتاة، $F = 500\ N$

الضغط، $P = \frac{F}{A}$

$$= \frac{500}{200 \times 10^{-4}}$$
$$= 2.50 \times 10^4\ Pa$$

الضغـط علـى الكعب العالـي في **(1)** أكبـر بكثير مـن الضغط على الكعب المستوى في **(2)** .

أسئلة التقويم الذاتي

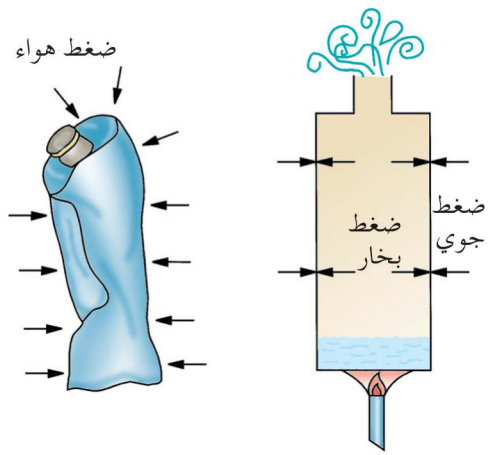
لماذا يكون الحد القاطع للسكين رفيعًا جدًّا؟

7 – 2 الضغط الجوي
Atmospheric Pressure

يسخن بعض الماء لدرجة الغليان في علبة صفيح مفتوحة، وتقفل بتثبيت غطاء لولبي بإحكام على فوهتها (شكل 7 – 1(أ))، ثم تبرد بسرعة بصب الماء البارد عليها. تتهشم العلبة فجأة (شكل 7 – 1(ب)) . ما الذي أدى إلى تصدع العلبة الصفيح؟

تتكون تجربة شيقة أخرى من مضختين ماصتين ملتحمتين معًا. تُضغط المضختان للداخل لدفع الهواء إلى الخارج، مما يخلق فراغًا جزئيًّا داخلهما، ونجد صعوبة كبيرة في فصلهما (شكل 7 – 2). ما الذي يجعلهما متماسكتان معًا بإحكام؟

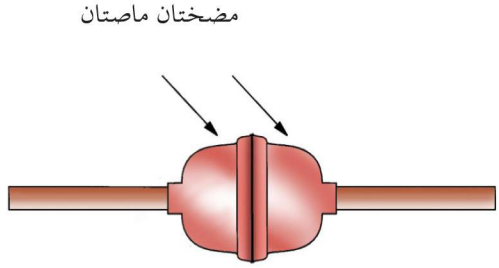
تبين هاتان التجربتان وجود الضغط الجوي. يوجد الضغط الجوي نتيجة القصف الحزيئي بواسطة الحزيئات النشطة



شكل 7 – 1 تجربة سحق علبة صفيح

ويوجد تحت الشروط العادية عدد كبير من الجزيئات تتحرك بسرعات اتجاهية كبيرة، وتصطدم مرارًا وتكرارًا بجدار الإناء، وترتد عنه. ويقال إن قوة الجدار تعمل على الجزيئات عند ارتدادها عنه. ومن ثم تعتبر القوة التي تبذلها الجزيئات على كل وحدة مساحة من الجدار هي الضغط على الجدار.

إن الضغط الذي تبذله جزيئات الهواء عند مستوى سطح البحر هو 1.013×10^5 Pa، ويشار أحيانًا إلى تلك القيمة بأنها **1 ضغط جوي**. هذا الضغط مكافئ تقريبًا لوضع كتلة 1 kg (ثقل 10 N) على مساحة $1m^2$.



شكل 7 – 2 يصعب فصل مضختين ماصتين ملتحمتين معًا بضغط الهواء عن بعضهما البعض

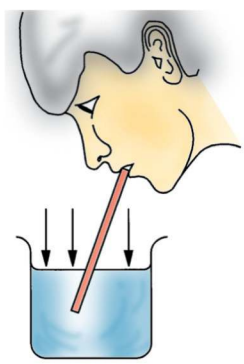
إن الضغط داخل أجسامنا يساوي 1 ضغط جوي تقريبًا. ويعتبر ذلك هو السبب في عدم شعورنا بالضغط الجوي العالي المبذول علينا، ومع ذلك يعاني العمال الذين يدخلون المناجم بعمق عدة كيلومترات تحت مستوى البحر من صعوبة في التنفس. يكون الضغط الجوي داخل تلك المناجم عاليًا جدًّا بينما يظل الضغط داخل أجسام العمال حوالي 1 ضغط جوي، ويسبب ذلك صعوبة في تمدد الرئتين أثناء التنفس. ومن ناحية أخرى يعاني متسلقو الارتفاعات الشاهقة من انخفاض الضغط الجوي نظرًا لقلة الهواء الذي يسبب بدوره صعوبة في التنفس نتيجة انخفاض مستوى الأكسجين.

7 – 3 استخدام الضغط الجوي
Using Atmospheric Pressure

نستعرض في هذا الجزء ثلاثة تطبيقات بسيطة للضغط الجوي في حياتنا اليومية.

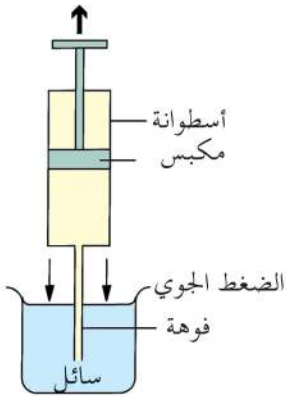
المص

يزيد فعل المص من حجم الرئتين، مما يقلل الضغط الجوي فيهما وفي الفم (شكل 7 – 3)، ومن ثم يكون الضغط الجوي الذي يعمل على سطح السائل أكبر من الضغط في الفم، مما يُجبر السائل على الارتفاع خلال الماصة إلى الفم.


شكل 7 – 3

الحاقنة

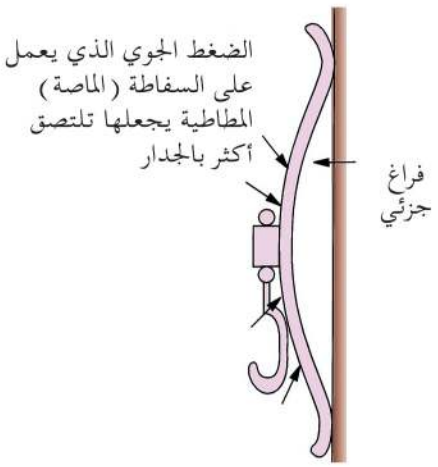
لسحب سائل إلى داخل الحاقنة كما(بشكل 7 – 4) يُسحب المكبس لأعلى، مما يقلل من الضغط داخل الأسطوانة. إن الضغط الجوي الذي يعمل على سطح السائل يدفعه إلى داخل الأسطوانة خلال الفوهة.



شكل 7 – 4 الحاقنة

السفاطة (الماصة) المطاطية

تستخدم السفاطة (الماصة) المطاطية في المنازل لتعليق الملابس كما (بشكل 7 – 5) ولتثبيتها في موضع، يُضغط عليها لدفع الهواء الذي بداخلها إلى الخارج، مما يُحدث فراغًا جزئيًّا. يعمل الضغط الجوي الخارجي الأكبر عليها لتظل في مكانها.



شكل 7 – 5 سفاطة (ماصة) من المطاط

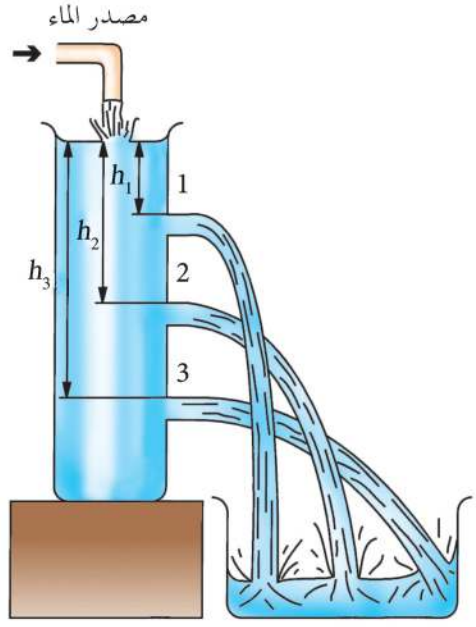
أسئلة التقويم الذاتي

اذكر تطبيقين للضغط الجوي في المنزل.

7 – 4 الضغط في السائل

Pressure in Liquids

لا يرتبط الضغط بالأجسام الصلبة والغازات فقط، وإنما يوجد كذلك في السائل، ويرجع الضغط في السائل إلى وزنه. افترض وجود إناء طويل للماء ذي أنابيب جانبية مثبتة على ارتفاعات مختلفة (شكل 7– 6). يتدفق الماء لمسافة أبعد من الأنبوب رقم 3، ثم من الأنبوب رقم 2، ثم من الأنبوب رقم 1. ويبين ذلك أن ضغط السائل يزيد بزيادة العمق.



شكل 7 – 6 يعتمد ضغط السائل على العمق

لمعرفة كيفية تحديد الضغط عند عمق معين في باطن سائل، افترض وجود عمود سائل ارتفاعه h ، ومساحة قاعدته A ، وكثافة السائل ρ كما(بشكل 7 – 7) يُعين حجم السائل بالعلاقة

$$V = Ah$$

وتُعين كتلة السائل بالعلاقة

$$m = \rho V$$

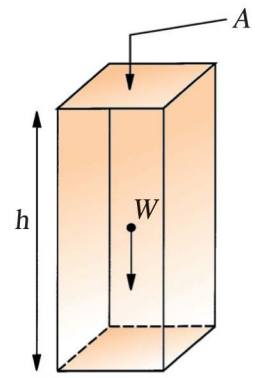
ويُعين وزن عمود السائل بالعلاقة

$$W = mg$$
$$= \rho(V)g$$
$$= \rho(Ah)g$$

ويعطى الضغط عند قاعدة عمود السائل بالعلاقة:

$$P = \frac{W}{A}$$
$$= \frac{\rho Ahg}{A}$$

$$P = h\rho g$$



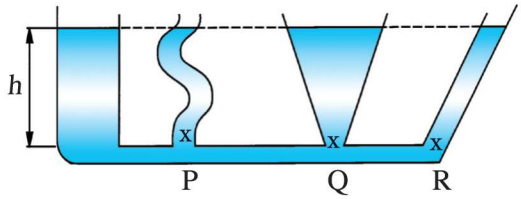
شكل 7 – 7 الضغط نتيجة سائل ارتفاعه h

الضغط نتيجة لعمود سائل يساوي طول العمود × كثافة السائل × شدة مجال الجاذبية

نستنتج من هذه المعادلة أن الضغط عند نقطة في باطن السائل يعتمد على عمق السائل وكثافته.

إحدى نتائج حقيقة اعتماد الضغط على ارتفاع السائل فقط هي أن السائل يحدد دائمًا مستوى الارتفاع الخاص به. ويبين شكل 7 – 8 ذلك.

يستقر دائمًا السائل عند مستوى مشترك. فإذا وجد مستوى أعلى من الآخر فإن فرق الضغط الزائد يجبره على الهبوط. وعند التوازن، يجب أن تكون قيمة الضغط متساوية عند أي نقطة بطول نفس العمق h مثل النقاط (P ،Q ،R).



شكل 7 – 8 يحدد السائل مستوى الارتفاع الخاص به

مثال محلول 7 – 2

أوجد الضغط الذي يعمل على غواص عند وجوده:

(1) عند السطح

(2) على عمق 10 m في الماء.

علمًا بأن كثافة الماء، $\rho = 1000\ kg\ m^{-3}$، عجلة السقوط الحر، $g = 10\ m\ s^{-2}$، الضغط الجوي، $p_0 = 1.01 \times 10^5\ Pa$

الحل:

(1) عند السطح يعمل فقط الضغط الجوي p_0 عليه، وعادة ما يكون، $p_0 = 1.01 \times 10^5\ Pa$

(2) عند عمق 10 m في الماء، أي $h = 10\ m$، فإن الضغط الذي يعمل على الغواص يكون:

$$p = p_0 + h\rho g$$
$$= p_0 + 10 \times 1000 \times 10$$
$$= 1.01 \times 10^5 + 1.00 \times 10^5$$
$$= 2.01 \times 10^5\ Pa$$

يكون الضغط الذي يعمل على الغواص حوالي ضعف الضغط الجوي. لاحظ أن 10 m من الماء تعطي ضغطًا حوالي $1 \times 10^5\ Pa$، والذي يساوي حوالي 1 ضغط جوي.

تذكر:
$p = h\rho g$

مثال محلول 7 – 3

غُمر قالب مستطيل الشكل مساحة مقطعه العرضي $A=(25\ cm^2)$ في ماء كثافته $1000\ kg\ m^{-3}$ كما هو مبين بشكل 7 – 9.

(أ) أوجد:

(1) الضغط p_1 نتيجة الماء فقط الذي يعمل على السطح العلوي.

(2) الضغط p_2 نتيجة الماء فقط الذي يعمل على السطح السفلي.

(عجلة السقوط الحر، $g\ \ 10\ m\ s^{-2}$)

(ب) احسب:

(1) القوة التي يبذلها الماء على السطح العلوي.

(2) القوة التي يبذلها الماء على السطح السفلي.

الحل:

(أ) المعطيات: كثافة الماء، $\rho = 1000\ kg\ m^{-3}$

(1) الضغط الناتج عن الماء فقط، $p_1 = h_1\rho g$

$= 0.05 \times 1000 \times 10$

$= 5.0 \times 10^2\ Pa$

(2) الضغط الناتج عن الماء فقط، $p_2 = h_2\rho g$

$= 0.07 \times 1000 \times 10$

$= 7.0 \times 10^2\ Pa$

(ب) المعطيات: المساحة، $A = 25\ cm^2 = 2.5 \times 10^{-3}\ m^2$

من معادلة، $p = \frac{F}{A}$

$\therefore F = pA$

(1) القوة على السطح العلوي الناتجة عن الماء فقط

$F_1 = p_1A$

$= 5.0 \times 10^2 \times 2.5 \times 10^{-3}$

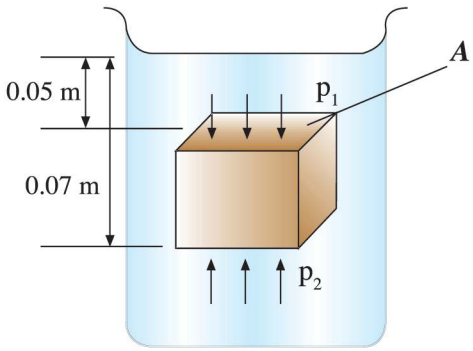
$= 1.25\ N$

(2) القوة على السطح السفلي الناتجة عن الماء فقط

$F_2 = p_2A$

$= 7.0 \times 10^2 \times 2.5 \times 10^{-3}$

$= 1.75\ N$



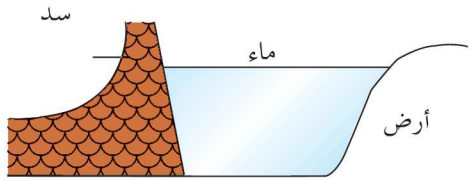
شكل 7 – 9

ملحوظة: وجد في المثال المحلول 7 – 3 أن مقدار القوة التي تعمل على السطح السفلي أكبر من تلك المؤثرة على السطح العلوي. ويعرف الفرق بين القوتين باسم **قوة الدفع العلوي**، أي صافي القوة التي تعمل لأعلى على الجسم. ولعلك تشعر بأنك أخف وزنًا عند السباحة في حمام السباحة. يرجع ذلك التأثير إلى قوة الدفع العلوي التي تعمل عليك.

أسئلة التقويم الذاتي

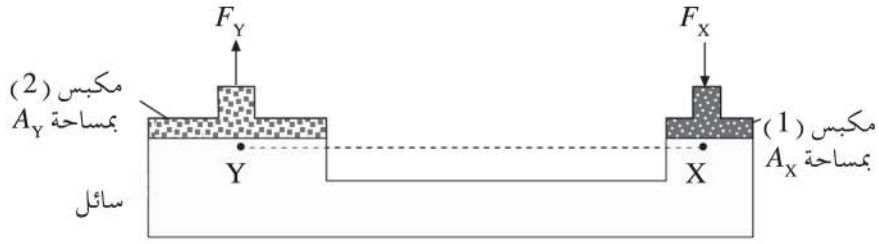
(أ) يبين شكل 7 – 10 تصميم سد. لماذا يزداد سمك السد كلما اتجهنا لأسفل؟

(ب) تشيع شكوى سكان الطوابق العليا في المباني المرتفعة من انخفاض ضغط الماء. لماذا؟



شكل 7 – 10 تصميم سد

يوجد سائل غير قابل للانضغاط في إناء كما هو مبين(بشكل 7 – 11)



شكل 7 – 11

فإذا وجدت قوة F_X تعمل لأسفل على المكبس (1) فإن الضغط عند النقطة X يعطى بالعلاقة:

$$p_X = \frac{F_X}{A_X}$$

حيث A_X هي مساحة المكبس (1).
وتعلمنا أن الضغط عند أي نقطة في نفس العمق يجب أن يكون متساويًا (شكل 7 – 8). ومن ثم فإن الضغط عند Y يجب أن يساوي الضغط عند X.

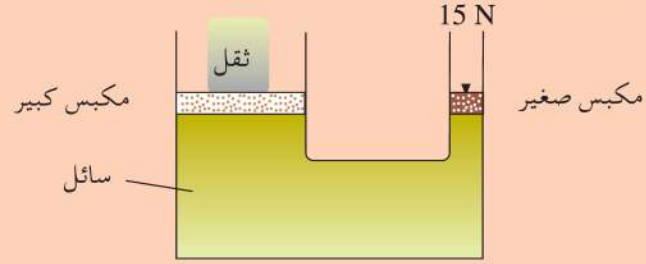
بمعنى أن: $p_Y = p_X$

$$\therefore \quad \frac{F_Y}{A_Y} = \frac{F_X}{A_X}$$

$$\Rightarrow \quad F_Y = \frac{F_X}{A_X}\,(A_Y)$$

وبما أن المساحة A_Y أكبر من A_x، فذلك يعني أن القوة F_Y ستكون أكبر من F_x.
وبمعنى آخر، عند تسليط قوة صغيرة على المكبس ذي المساحة الصغيرة، فإن القوة المنتقلة عند الجزء الأكبر تكون أيضًا أكبر.

مثال محلول 7 – 4



يبين الرسم شكلًا مبسطًا لمكبس هيدروليكي. وتُبذل قوة مقدارها 15 N على المكبس الصغير ذي المساحة $0.025\ m^2$ ومساحة المكبس الكبير $0.50\ m^2$.

احسب

(أ) الضغط الذي يبذله المكبس الصغير على السائل.

(ب) الضغط المبذول على المكبس الكبير.

(جـ) القوة التي يبذلها المكبس الكبير على الحمولة.

الحل:

المعطيات: $F_X = 15\ N$، $A_X = 0.025\ m^2$

$F_Y = ?$، $A_Y = 0.50\ m^2$

(أ) الضغط على المكبس الصغير، $p_X = \frac{F_X}{A_X}$

$$= \frac{15}{0.025}$$

$$= 600\ Pa$$

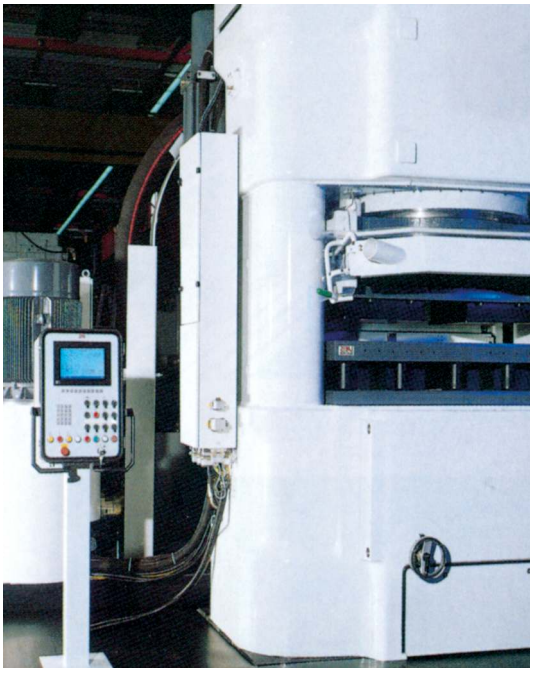
(ب) الضغط على المكبس الكبير يساوي 600 Pa

(جـ) القوة على المكبس الكبير، $F_Y = p_Y \times A_Y$

$$= 600 \times 0.50$$

$$= 300\ N$$

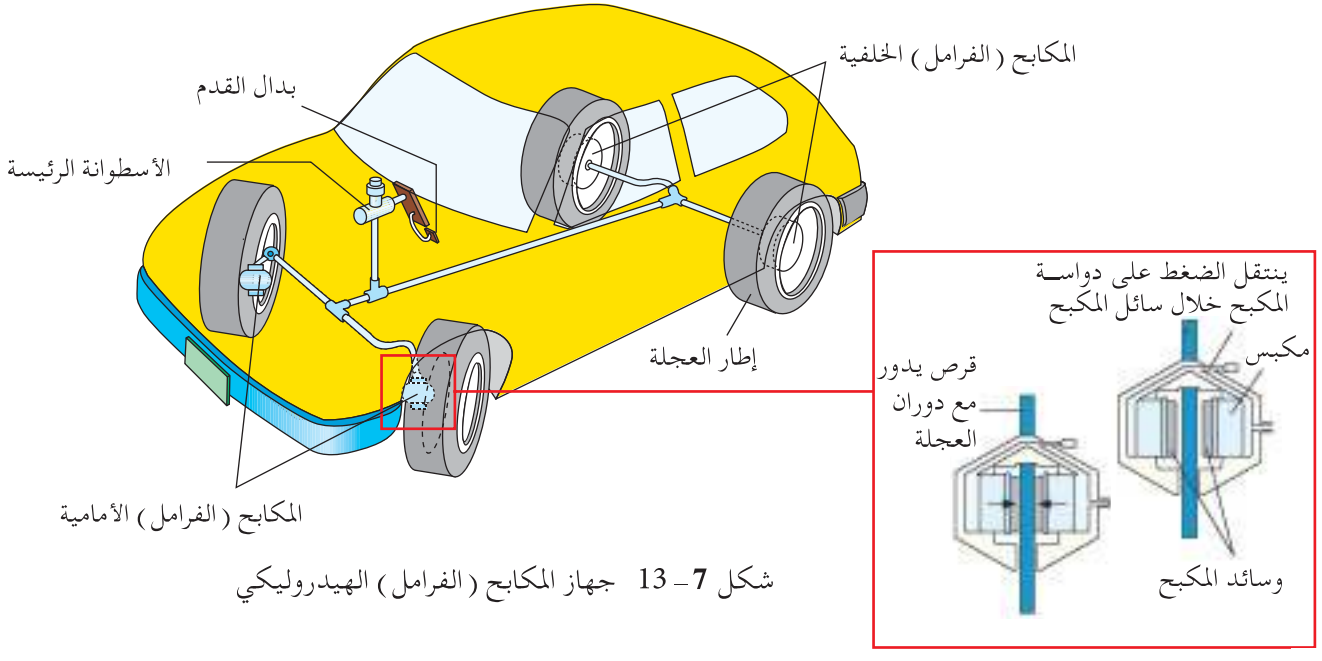
ويلاحظ أن القوة على المكبس الكبير أكبر بكثير من القوة على المكبس الصغير.



شكل 7–12 مكبس هيدروليكي

الأجهزة الهيدروليكية

المكبس الهيدروليكي البسيط المبين في المثال المحلول 7– 4 مثال جيد لأحد تطبيقات انتقال الضغط في السوائل. ولقد عُدِّل المكبس الهيدروليكي أكثر في جهاز مكابح (فرامل) السيارات ذات القرص الهيدروليكي المبين بالشكل التالي.



شكل 7 – 13 جهاز المكابح (الفرامل) الهيدروليكي

وكما هو مبين في(شكل 7 – 13) ينتقل الضغط على دواسة المكبح إلى المكبس الكبير على كل من جانبي قرص كبير على محور العجلة. ويتسبب هذا الضغط في تلامس المكبسين مع القرص، مما يبطئ من سرعة السيارة بالاحتكاك. ويسلط نفس الضغط تمامًا على المكابح (الفرامل) الأخرى في السيارة. وتشمل الآلات الهيدروليكية الأخرى رافعة السيارة الهيدروليكية، والمصعد الهيدروليكي.

شكل 7 – 14 الروافع الهيدروليكية للسيارة

شكل 7 – 15 المصعد الهيدروليكي

7 – 6 قياس الضغط الجوي
Measuring Atmospheric Pressure

يُعرف جهاز قياس الضغط الجوي **بالبارومتر**. وسنصف في هذا الجزء جهازين يشيع استخدامهما لقياس الضغط الجوي هما:

(1) البارومتر الزئبقي البسيط.

(2) البارومتر المعدني (اللاسائلي).

البارومتر الزئبقي البسيط

لقد استنتجنا أن الضغط الجوي يتناسب مع عمق السائل، ويمكننا تطبيق تلك الحقيقة لصنع بارومتر. يتكون البارومتر الزئبقي البسيط من أنبوبة زجاجية سميكة الجدران طولها حوالي 1 m أحد طرفيها مغلق (شكل 7 – 16).

وتكون المساحة أعلى عمود الزئبق في الأنبوب الزجاجي فراغًا. وبما أنها فراغ فإنها لاتبذل أي ضغط على السطح العلوي لعمود الزئبق الذي يبلغ ارتفاعه 760 mm.

ولاكتشاف سبب كون ارتفاع عمود الزئبق حوالي 760 mm يجب إدراك أن الضغط الجوي يعمل على سطح الزئبق في الحوض. ولتحقيق التوازن يجب أن يكون الضغط الجوي بطول الخط الأفقي AA (شكل 7 – 16) متساويًا، بمعنى أن الضغط عند B يجب أن يكون أيضًا

- البارومتر جهاز لقياس الضغط الجوي.
- يستخدم البارومتر الزئبقي البسيط ارتفاع عمود من الزئبق لقياس الضغط الجوي.

وحدة قياس الضغط الجوي هي (سم. زئبق).

مسـاويًا للضغط الجوي، أي حوالي 1.013×10^5 Pa . ويرجع الضغط الجوي عند B كليًّا لعمود الزئبق ذي الكثافة، $\rho = 13.6 \times 10^3$ kg m^{-3} وارتفاع h بالمتر. ومن ثم

$$p_B = h\rho g = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\therefore h = \frac{p_B}{\rho g} = \frac{1.013 \times 10^5}{13.6 \times 10^3 \times 9.81}$$

$$= 0.760 \text{ m}$$

$$= 760 \text{ mm}$$

ونجد أن ارتفاع العمود هو بالفعل 760 mm زئبق.

ولا يعبـر في كثير مـن الأحيان عن الضغط الجوي بوحدة البسـكال (pa) ولكـن بدلالـة ارتفاع عمـود الزئبق. فيمكننا على سـبيل المثال التعبيـر عن 1 ضغط جوي بـ 760 mm Hg أو 76 cm Hg . ولتحويل المليمتر زئبق إلى بسـكال نضـرب $h \times \rho_{hg} \times g$

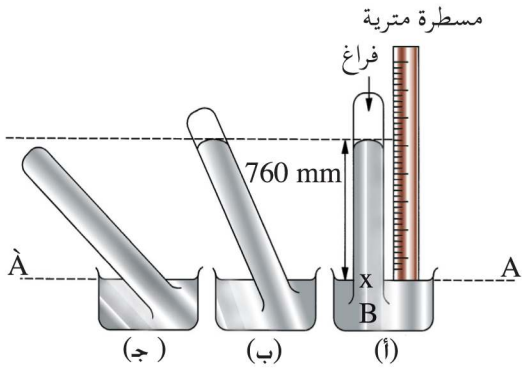
حيث : h (m) ، $1 \text{mm} = 10^{-3} \text{m}$

ρ_{Hg} (kg m^{-3})

g (m s^{-2})

وعنـد وضع البارومتر الزئبقي البسـيط في مكان ذي ضغط منخفض (مثـل منطقة مرتفعة كجبال الهيملايا)، فـإن طول عمود الزئبق يقل. ويرجـع ذلك إلى أن الضغط عند النقطة B (شـكل 7 – 16) يجب أن يتساوي مع الضغط الذي يعمل على سطح الزئبق في الحوض.

يجب ملاحظة أن الارتفاع الرأسـي للزئبق يعتمد فقط على الضغط خارج الأنبوب ولا يعتمد على ميل العمود. ويبين(شكل 7 – 16 (ب)) البارومتـر وقـد تم إمالته، ولكن يظل الارتفاع الرأسـي للزئبق غير متأثر. وبالطبع إذا خفض الأنبوب إلى أدنى من 760 mm فإن الزئبق سوف يملأ الأنبوب تمامًا كما(بشكل 7 – 16 (جـ))



شكل 7 – 16 بارومتر زئبقي بسيط

مثال محلول 7 – 5

أوجد الضغط عند النقاط A، B، C، D المبينة بشكل – 17

الحل :

لإيجـاد قيمـة الضغط عنـد A، أي p_A لاحظ أن المسـاحة أعلى الزئبق عبارة عن فراغ.

$$\therefore p_A = 0$$

ومن قراءة المسطرة نجد أن

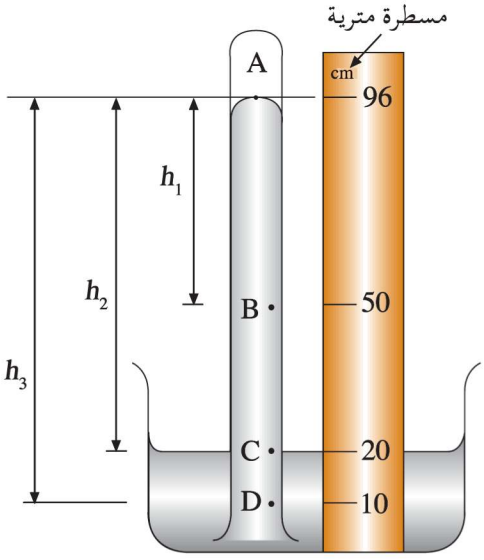
$$h_1 = 46 \text{ cm}, \; h_2 = 76 \text{ cm}, \; h_3 = 86 \text{ cm}$$

ومن ثم :

الضغط عند B، $p_B = 46$ cm Hg

الضغط عند C، $p_C = 76$ cm Hg

الضغط عند D، $p_D = 86$ cm Hg



شكل 7 – 17

أسئلة التقويم الذاتي

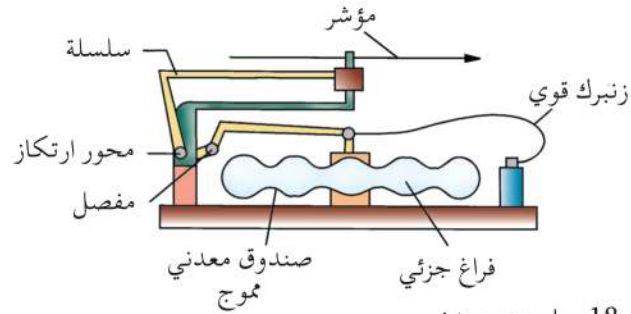
بالرجوع إلى شكل 7 – 17،

(أ) أوجد ارتفاع العمود h_2 إذا استبدل الزئبق بماء ذي كثافة $1000\ kg\ m^{-3}$.

(ب) ما تأثير ارتفاع عمود الزئبق إذا حبس بعض الهواء أعلاه بدلاً من الفراغ المفروض تواجده؟

البارومتر المعدني

لايستخدم البارومتر المعدني سائلًا لقياس الضغط، وإنما يستخدم صندوقًا معدنيًا مُفَرَّغًا جزئيًّا من الهواء كما هو مبين(بشكل 7 – 18) يؤدي أي تغير في الضغط إلى تمدد أو انضغاط الصندوق المعدني. وتُحدث حركة الصندوق الصغيرة حركة أكبر في مؤشر المقياس بواسطة روافع.



شكل 7 – 18 بارومتر معدني

7–7 الضغط الجوي والطقس

Atmospheric Pressure and Weather (Optional)

تبين البارومترات الموجودة في نفس المكان عند نفس الارتفاع فوق مستوى سطح البحر بعض الاختلاف في الضغط الجوي من يوم إلى آخر. تبين خرائط الطقس (شكل 7 –19) اختلافات الضغط هذه .

تسمى الخطوط في الخريطة التي تربط جميع الأماكن ذات الضغط الجوي المتساوي خطوط الأيزوبار، ووحدة قياس الضغط المستخدمة في خرائط الطقس هي **المليبار** (mbar).

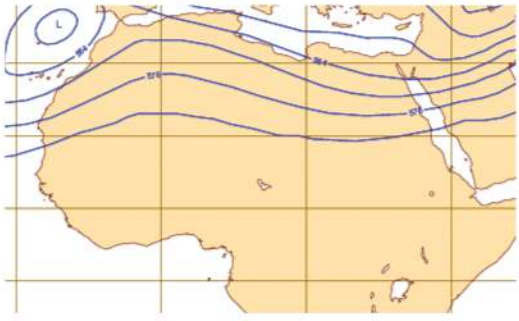
$$1000\ mbar = 1\ bar$$

$1bar = 100\ k\ Pa$، أي الضغط الجوي العادي

ويتنوع في المعتاد مدى الضغط الجوي من الضغط العالي جدًّا 1040 mbar إلى ضغوط منخفضة جدًّا حتى 950 mbar.

وتنتقل الرياح من مناطق الضغط الجوي المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض. تتحرك الرياح في نصف الكرة الشمالي في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة حول مناطق الضغط المنخفض، وتتحرك في اتجاه حركة عقارب الساعة حول مناطق الضغط المرتفع.

وتُعيَّن قوة الرياح بتدرج الضغط. فعند تقارب خطوط الأيزوبار من بعضها البعض في خرائط الطقس، يدل ذلك على تدرج ضغط عال، مما يعني احتمال هبوب رياح شديدة.



خريطة 7– 19 خريطة طقس تبين تغايرًا في الضغط الجوي

التربية الوطنية

يتوخى متسلقو الجبال الحذر من اعتلال الارتفاعات الشاهقة الذي قد يؤدي إلى الموت. وأحد أسباب اعتلال الارتفاعات هو الضغط الجوي المنخفض عند الارتفاعات الشاهقة، فماذا يبلغ الضغط في اعتقادك عند قمة جبل إيفرست على ارتفاع 8847 m فوق سطح البحر؟ كيف يتغلب متسلقو الجبال على مثل هذا الضغط؟

8 – 7 قياس ضغط الغاز ـ المانومتر

Measuring Gas Pressure - The Manometre

كثيرًا ما توجد حاجة في تجارب الفيزياء لتعيين ضغط الغازات. والجهاز المفيد لقياس ضغط الغاز هو المانومتر، ويتكون من أنبوب على شكل حرف U يحتوي على عمود سائل (كما بشكل 7 – 20). ويكون السائل إما زئبقًا، أو ماءً، أو زيتًا.

عند عدم اتصال المانومتر بأي مصدر للغاز (شكل 7 – 20 (أ)) يعمل الضغط الجوي فقط (p_0) على سطحي السائل عند A، B. ويجب استقرار السائل عند مستوى مشترك بما أن الضغط يتساوي عند الطرفين. وعند وصل المانومتر بمصدر غاز (شكل 7 – 20 (ب))، يبذل الغاز ضغطًا على سطح السائل عند B. فإذا كان هذا الضغط أكبر من الضغط الجوي فإنه يدفع مستوى السائل عند B إلى أسفل.

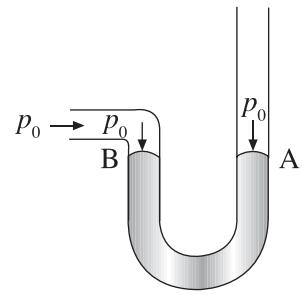
وعند التوازن يجب أن يتساوي الضغط عند C وعند B حيث يقعا على نفس المستوى الأفقي.

ويُعطى ضغط الغاز عند B بالمعادلة

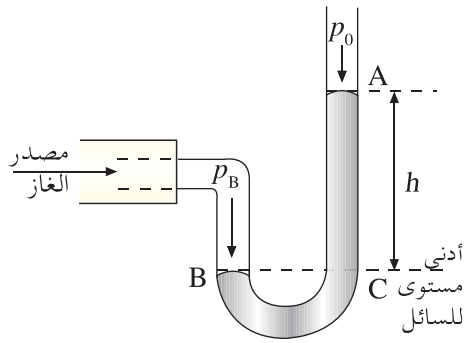
الضغط الجوي + الضغط نتيجة العمود AC يساوي p_B

$$\therefore\ p_B = p_0 + h\rho g$$

حيث h يساوي طول العمود AC، ρ يساوي كثافة السائل المستخدم.



(أ)



(ب)

شكل 7 – 20 مانومتر لقياس ضغط مصدر الغاز

مثال محلول 7 – 6

يبين شكل 7 – 21 مانومتر يحتوي على زئبق ذي كثافة $\rho = 13.6 \times 10^3\ kg\ m^{-3}$ موصل بمصدر غاز. احسب ضغط مصدر الغاز بوحدات السنتيمتر زئبق والبسكال. [افترض عجلة السقوط الحر، $g = 10\ m\ s^{-2}$، الضغط الجوي، p_0=76 cm Hg].

الحل:

المعطيات: طول العمود AC، $h = 5\ cm = 0.05\ m$

الضغط الجوي، p_0= 76 cm Hg

p_B يساوي AC الضغط نتيجة عمود الزئبق + p_0

$$p_B = 76 + 5$$

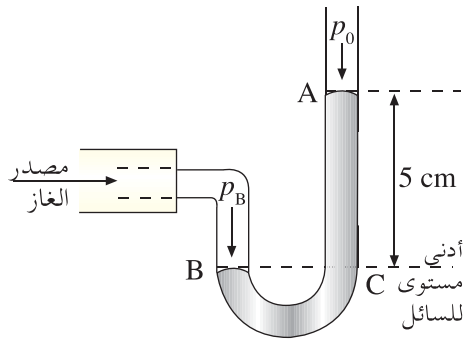
$$= 81\ cm\ Hg$$

ولتحويل سم زئبق إلى بسكال،

$$p_B = h\rho g$$

$$= (81 \times 10^{-2}\ m) \times (13.6 \times 10^3\ kg\ m^{-3}) \times (10\ m\ s^{-2})$$

$$= 1.1 \times 10^5\ Pa$$

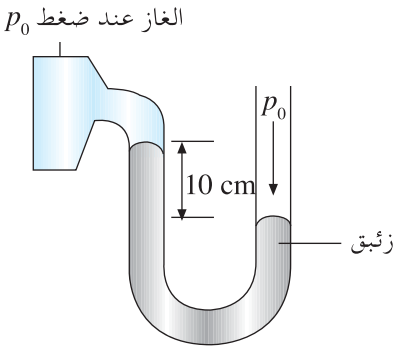


شكل 7 – 21

أسئلة التقويم الذاتي

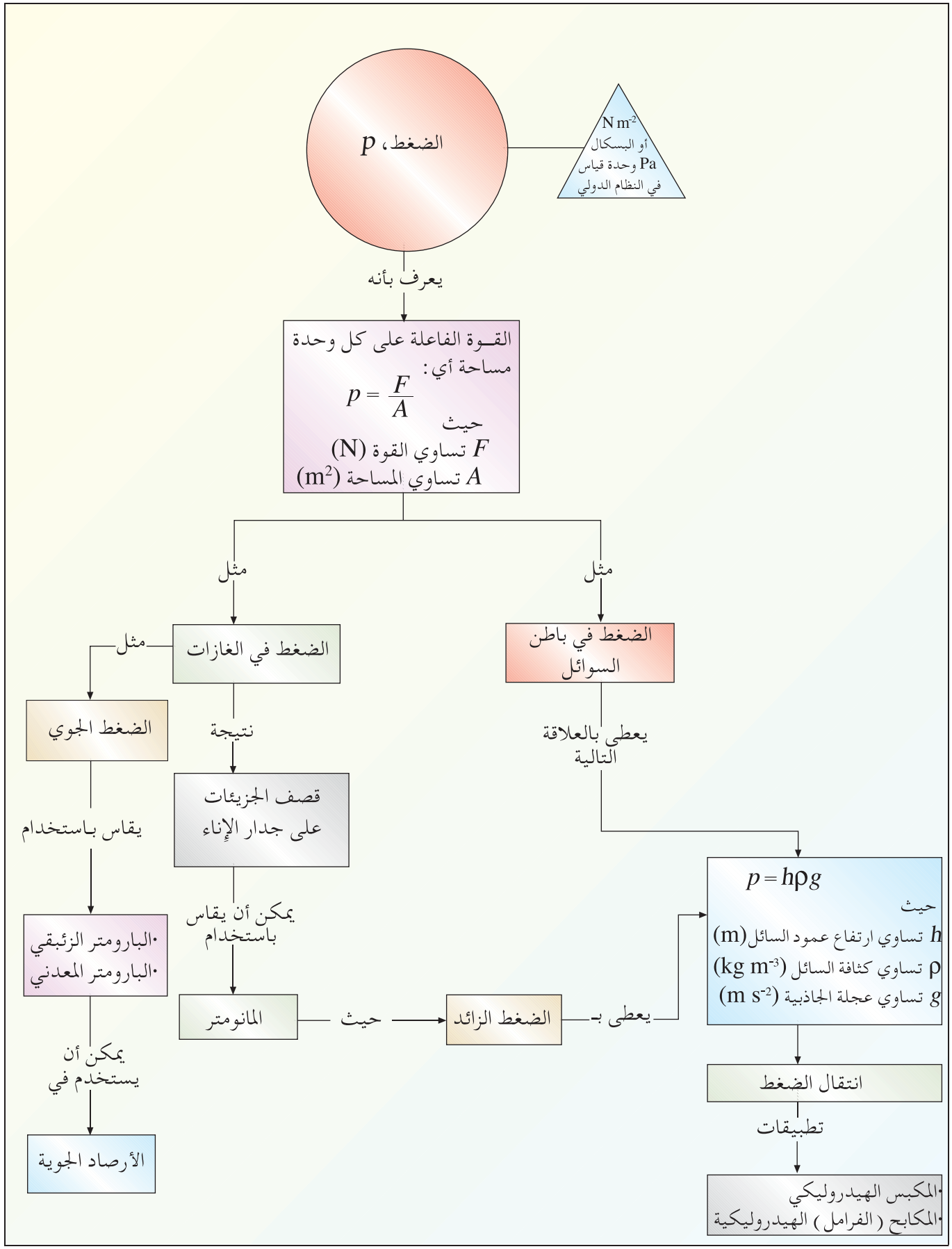
(أ) ما وحدة قياس الضغط المستخدمة في خرائط الطقس؟

(ب) يقاس ضغط الغاز في إناء بمانومتر كما هو مبين في شكل 7 – 22 ويرمز لضغط الغاز بـ p_g. استنتج الضغط p_g علمًا بأن الضغط الجوي p_0 هو 76 cm Hg.



شكل 7 – 22

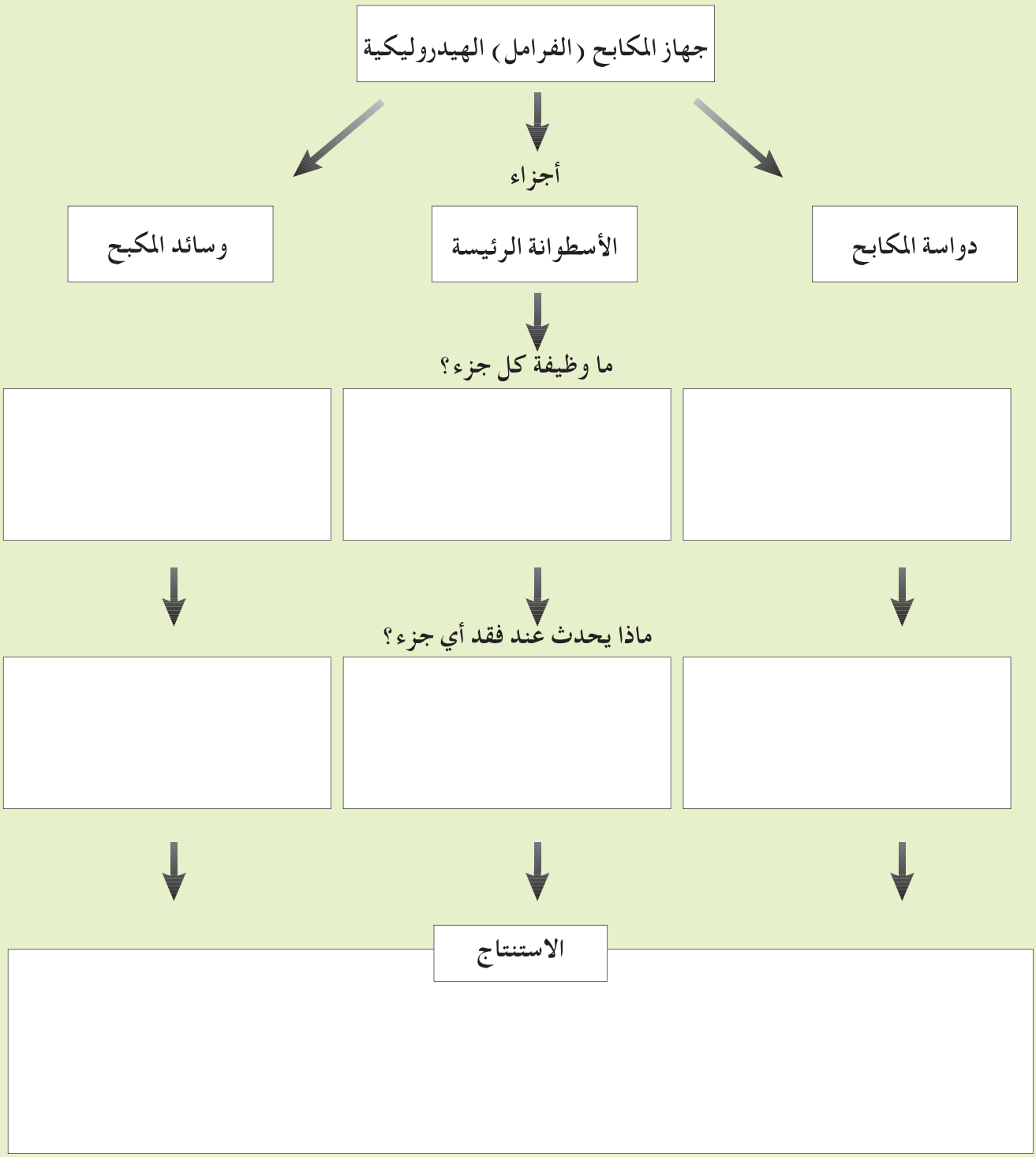
خريطة مفاهيم



المهارة : تعين الصفات المميزة والمكونات

يبين شكل 7 – 13 صفحة 104 جهاز المكابح (الفرامل) الهيدروليكية في سيارة .

ستقوم في هذا النشاط بتحليل أجزاء جهاز المكابح (الفرامل) الهيدروليكية .

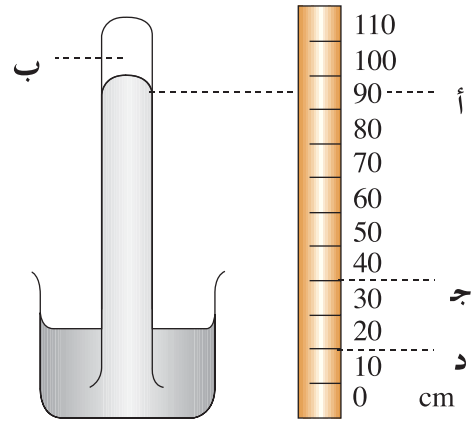


الجزء الأول أسئلة الاختيار من متعدد

1- الضغط الجوي يساوي 100 Pa . ما القوة التي يبذلها الجو على سطح مستطيل الشكل أبعاده 0.5 m × 0.4 m؟

(أ) 20 N
(ب) 111 N
(جـ) 200 N
(د) 250 N

2- يبين الشكل التالي بارومتر زئبقي بسيط .

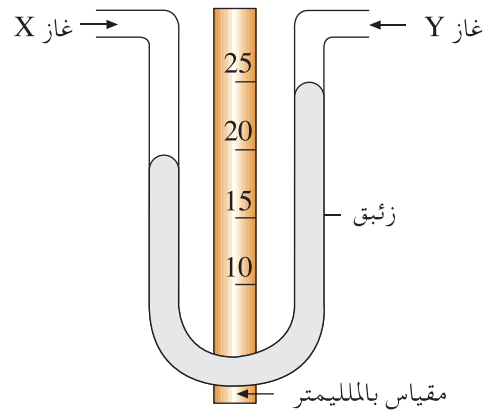


عند أي نقطة يساوي الضغط 10 cm Hg أسفل الضغط الجوي؟

3- ما ارتفاع عمود زيت التيربنتين الذي سيبذل ضغطًا يماثل 5 cm من الزئبق؟
[كثافة زيت التيربنتين تساوي $840\ kg\ m^{-3}$، كثافة الزئبق تساوي $13600\ kg\ m^{-3}$]

(أ) 0.06 cm (ب) 0.30 cm
(جـ) 5 cm (د) 81 cm

4- يبين الشكل التالي مانومتر يُستخدم لمقارنة ضغطي الغازين X، Y . ما الذي يمكن استنتاجه عن ضغطي الغازين X، Y؟



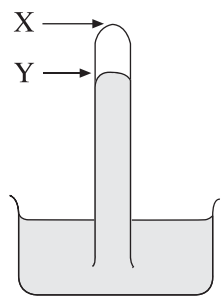
(أ) ضغط الغاز X أكبر من ضغط الغاز Y بمقدار 5 mm Hg .
(ب) ضغط الغاز X أكبر من ضغط الغاز Y بمقدار 20 mm Hg .
(جـ) ضغط الغاز X أقل من ضغط الغاز Y بمقدار 5 mm Hg .
(د) ضغط الغاز X أقل من ضغط الغاز Y بمقدار 20 mm Hg .

الجزء الثاني الأسئلة التركيبية

1- (أ) عرِّف الضغط واذكر وحدة قياسه في النظام الدولي .

(ب) متوازي مستطيلات زجاجي أبعاده 30 cm × 5 cm × 10 cm يزن 37.5 N، احسب أقل وأكبر ضغط يمكن أن يبذله إذا استقر فوق سطح أفقي .

2- يبين الشكل التالي بارومترًا زئبقيًّا بسيط يُستخدم لقياس الضغط الجوي القياسي .



(أ) يوجد بين X، Y _____ .

(ب) ضع على الرسم نقطة Z بحيث تقيس قراءة البارومتر بين Z والنقطة _____ الضغط الجوي .

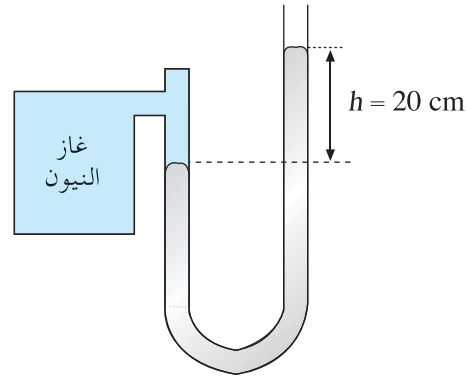
(جـ) ناقش تأثيرات استخدام أنبوب أوسع لقراءات البارومتر إن وجدت .

(د) ناقش ما تتوقع رؤيته إذا وُضع قليل من الكحول في المنطقة بين X، Y .

3- **(أ)** صف بمساعدة رسم توضيحي كيفية إعداد بارومتر زئبقي في المعمل. ولماذا يُستخدم الزئبق وليس الماء؟

(ب) يُقاس الضغط الجوي فوق سطح البحر باستخدام بارومتر زئبقي، فإذا كانت القراءة 75 cm، ما مقدار الضغط الجوي بوحدة البسكال أو $(N\ m^{-2})$؟
احسب أيضًا الضغط الجوي عند نقطة 30 m أسفل سطح البحر.
(عجلة الجاذبية g تساوي $10\ m\ s^{-2}$، كثافة الزئبق تساوي $13.6\ g\ cm^{-3}$، كثافة ماء البحر تساوي $1.025\ g\ cm^{-3}$)

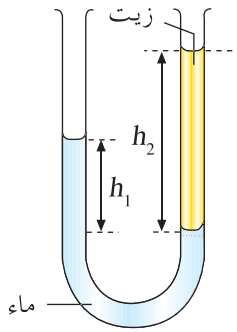
4- يبين الرسم التالي مانومترًا زئبقيًّا متصلًا بوعاء كبير يحتوي بعضًا من غاز النيون. بمعلومية أن الضغط الجوي 760 mm Hg، احسب ضغط غاز النيون.



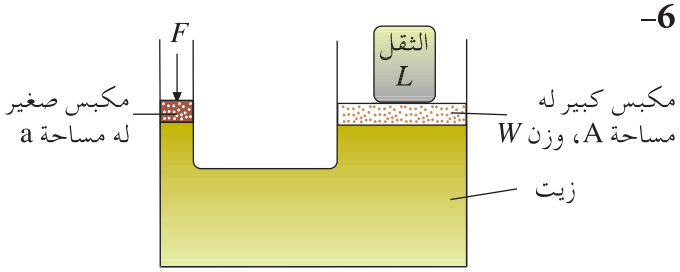
اذكر استخدامًا آخر للمانومترات.

5- **(أ)** يمكن استخدام مانومتر أنبوبي على شكل حرف U لقياس ضغط الغاز. اشرح كيفية عمله وما المقصود بمصطلح « الضغط الزائد ».

(ب) يبين الشكل التالي استخدام مانومتر أنبوبي على شكل حرف U لمقارنة كثافة سائلين. فإذا كانت $h_1 = 10\ cm$، $h_2 = 20\ cm$ احسب كثافة الزيت علمًا بأن كثافة الماء هي $1\ g\ cm^{-3}$.



6-



يبين الرسم السابق شكلًا مبسطًا لمكبس هيدروليكي. تؤثر قوة F على المكبس الصغير ذي المساحة a وذي الوزن المهمل.

اكتب عبارات لكل من:

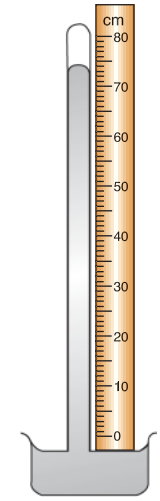
(أ) الضغط المبذول على السائل بالمكبس الصغير.

(ب) الضغط المبذول على المكبس الكبير.

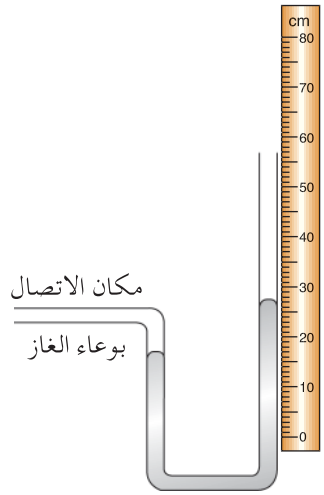
(جـ) القوة التي يبذلها المكبس الكبير على الثقل L.

وضح ما يحدث للطاقة المستخدمة في ضغط المكبس الصغير لأسفل.

7-



شكل (أ)



شكل (ب)

يبين شكل (أ) بارومترًا زئبقيًّا يستخدم لقياس ضغط الهواء ويبين شكل (ب) مانومترًا زئبقيًّا يستخدم لقياس ضغط الغاز في إناء.

ضع علامات على البارومتر:

(أ) نقطة P حيث يكون الضغط تقريبًا صفر.

(ب) نقطة Q حيث يكون الضغط 20 cm Hg أسفل الضغط الجوي.

ضع علامات على المانومتر

(جـ) نقطة R حيث يكون الضغط 5 cm Hg أعلى من الضغط الجوي.

(د) نقطة S حيث يكون للضغط أقصى قيمة.

الإجابات

التمرين الأول

الجزء الأول

1– ب　　2– د　　3– جـ

الجزء الثاني

1– kg, m, s

2– (ب) μ　　(جـ) 10^{-3}　　(د) c

(هـ) $10^{-4}m^2$　　(و) M

3– (أ) 2.04 cm

4– 12.64 mm

التمرين الثاني

الجزء الأول

1– جـ　　2– د　　3– أ

4– د　　5– د

الجزء الثاني

1– (ب) (1) 3.3 km h^{-1}　　(2) 2.7 km h^{-1}　　(3) 3.1 km h^{-1}

3– (أ) 20 m s^{-2}　　(ب) 40 m s^{-1}　　(جـ) t =12 إلى 16 s

(د) 520 m　　(هـ) 32.5 m s^{-1}

4– (ب) (1) 0.4 m s^{-2}　　(2) 0.3 m s^{-2}

(3) نفس المسافة المقطوعة

6– (أ) 3.5 m s^{-2}　　(ب) 22 .5 m s^{-1}　　(جـ) 337.5 m

7– (ب) 0.40 m s^{-1}　　(جـ) 0.6 m　　(د) صفر

(هـ) 0.2 m s^{-2}

8– (أ) A : الوزن　　B : الوزن　　C : مقاومة الهواء

(ب) 9.8 m s^{-2}

9– 9.8 m s^{-2}

التمرين الثالث

الجزء الأول

1– (جـ)　　2– (جـ)　　3– (جـ)

4– (ب)

الجزء الثاني

1– (ب) 10 N عند 18° إلى الأفقي

(جـ) (1) 10 m s^{-2}　　(2) 100 kg　　(3) 2×10^{-4} N

2- (جـ) (1) $400\ m\ s^{-2}$ (2) 24 KN

3- 5.77 KN

4- $3.66\ m\ s^{-2}$

6- (1) $200\ m\ s^{-2}$ (2) 15 KN

التمرين الرابع

الجزء الأول

1- د 2- ب 3- د

الجزء الثاني

5- (ب) $110\ cm^3$

التمرين الخامس

الجزء الأول

1- ب 2- د 3- ب

4- أ 5- ب

الجزء الثاني

1- (ب) (1) $F_P = 505\ N,\ F_Q = 145\ N$

(2) $F_P = 325\ N,\ F_Q = 325\ N$

2- (ب) العزم = 72 N m،

X = 60 N، مبدأ العزوم

4- (ب) (2) 1800 N (3) 1800 N (4) 525 N

التمرين السادس

الجزء الأول

1- جـ 2- أ 3- د

4- ب 5- ب

الجزء الثاني

1- (ب) (1) 200 J (2) 10 m (3) 0.04 N

(4) 7200 m

3- (ب) (1) 200 J (2) 120 J (3) $14.1\ m\ s^{-1}$

4- (أ) الكيميائية، كامنة جاذبة، الكامنة الجاذبة، حركية، الحركية، الصوتية، حرارية

5- (جـ) (1) 100 W (2) 5 W

6- (2) 9 J (3) 12 J (4) 75 %

7- (1) 3 J (2) $7.1\ m\ s^{-1}$

8- (أ) 48 kJ (ب) (1) 36 kJ (2) $30\ m\ s^{-1}$

التمرين السابع

الجزء الأول

1– أ　　2– جـ　　3– د　　4– أ

الجزء الثاني

1– (ب) 1250 Pa.　　7500 Pa

2– (أ) فراغ　　(ب) Y　　(جـ) لا تأثير

3– (ب) 1.02×10^5 Pa ، 4.10×10^5 Pa

4– 960 mm Hg

5– (ب) 0.50 g cm^{-3}

الملحق

قائمة بمواقع شبكة الإنترنت (URLs)

الوحدة الأولى قياس الكميات الفيزيائية

- الوحدات في النظام الدولي

http://physics.nist.gov/cuu/Units/index.html

- المقياس الورني

http://socrates.moe.edu.sg/schools/scgs/ntnujava/ruler/vernier.html

الوحدة الثانية السرعة القياسية والسرعة الاتجاهية والعجلة (التسارع)

- السرعة الاتجاهية والعجلة

http://wigner.byu.edu/VELandACC/TabbedVELandACC.html

- السقوط الحر

http://www.explorescience.com/activities/Activity-page.cfm?ActivityID=27
http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/mmedia/newtlaws/efff.html
http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/mmedia/newtlaws/efar.html

الوحدة الثالثة القوى

- القوى المتوازنة وغير المتوازنة

http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/Class/newtlaws/u211d.html

- جمع المتجهات

http://www.explorescience.com/activities/Activity–page.cfm?ActivityID=15

الوحدة الرابعة الكتلة والوزن والكثافة

- شدة مجال الجاذبية

http://www.solarviews.com/eng/homepage.htm

- الكثافة

http://www.explorescience.com/activities/Activity–page.cfm?ActivityID=29

الوحدة الخامسة التأثير الدوّار للقوى

- مبدأ العزوم

http://home.a-city.de/walter.fendt/physengl/lever.htm

- مركز الثقل

http://www.explorescience.com/activities/Activity–page.cfm?ActivityID=33

ملاحظات

ملاحظات

ملاحظات

ملاحظات