دولة ليبيا
وزارة التعليم
مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية

الفيزياء

كتاب الطالب

للسنة الثانية بمرحلة التعليم الثانوي

القسم العلمي

1440 - 1441هـ

2019 - 2020 م

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

دولة ليبيا

وزارة التعليم

مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية

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 .

1441 - 1440 هـ

2020 - 2019 م

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

تمهيد

يُقسَّم محتوى هذه السلسلة إلى أجزاء تغطي الفيزياء العامة، و الميكانيكا، والفيزياء الحرارية، وخواص الموجات، وعمليات حل والمغناطيسية، والفيزياء الذرية. وتم التركيز في جميع أجزاء السلسلة على المفاهيم العلمية، والكهرباء المشكلات ابتكاريًّا، ومهارات التفكير العليا. وللوحدات فى 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، 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.

- **التربية الوطنية**: تتطلب أنشطتها من الطالب بحث التحديات والمشاكل التي تواجه المجتمع، وتطبيق مفاهيم الفيزياء في حلها.

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.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

المحتويات

الجزء الأول : الفيزياء الحرارية وخواص الموجات

الوحدة الأولى : قياس درجة الحرارة		1
1–1	درجة الحرارة، والحرارة	2
2–1	قياس درجة الحرارة	2
3–1	مقاييس درجة الحرارة	3
4–1	السوائل الترمومترية (المحرارية)	9
5–1	أنواع الترمومترات	10
	خريطة مفاهيم	13
	ركن التفكير	14
	التمرين الأول	15
الوحدة الثانية : النظرية الحركية البسيطة للمادة		17
1–2	حالات المادة الثلاث	18
2–2	النموذج الجزيئي الحركي للمادة	18
3–2	الدليل على الحركة الجزيئية	19
4–2	الضغط في الغازات	20
5–2	معمل تقانة المعلومات	23
	خريطة مفاهيم	24
	ركن التفكير	25
	التمرين الثاني	26
الوحدة الثالثة : السعة الحرارية		28
1–3	الحرارة	29
2–3	السعة الحرارية	29
3–3	الحرارة النوعية	30
4–3	معمل تقانة المعلومات	31
	خريطة مفاهيم	34
	ركن التفكير	35
	التمرين الثالث	36
الوحدة الرابعة : الانصهار والغليان		38
1–4	الانصهار والتجمد (التصلب)	39
2–4	الغليان والتكثيف	43
3–4	الحرارة الكامنة	45
4–7	البخر	50
5–7	معمل تقانة المعلومات	54
	خريطة مفاهيم	55
	ركن التفكير	56
	التمرين الرابع	57

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الوحدة الخامسة : انتقال الطاقة الحرارية 59

5–1 العمليات الثلاث لانتقال الحرارة 60

5–2 التوصيل الحراري 60

5–3 الحمل الحراري 62

5–4 الإشعاع الحراري 64

5–5 معمل تقانة المعلومات 64

5–6 نتائج وتطبيقات حياتية لانتقال الطاقة 67

خريطة مفاهيم 73

ركن التفكير 74

التمرين الخامس 75

الوحدة السادسة : الخواص العامة للموجة 77

6–1 المدخل إلى الموجات 78

6–2 الموجات المستعرضة والطولية 79

6–3 خواص الحركة الموجية 80

6–4 إنتاج الموجة وحوض الأمواج 83

6–5 الطيف الكهرومغناطيسي 86

خريطة مفاهيم 89

ركن التفكير 90

التمرين السادس 91

الوحدة السابعة : انعكاس وانكسار الضوء 93

7–1 طبيعة وانتشار الضوء 94

7–2 الأشعة الضوئية والانعكاس 95

7–3 الأشعة الضوئية والانكسار 100

7–4 الانعكاس الداخلي الكلي 108

خريطة مفاهيم 111

ركن التفكير 112

التمرين السابع 113

الوحدة الثامنة : العدسة اللامة 115

8–1 العدسات اللامة الرقيقة 116

8–2 القانون العام للعدسات 118

8–3 تطبيقات العدسات اللامة 123

خريطة مفاهيم 124

ركن التفكير 125

التمرين الثامن 126

الوحدة التاسعة : الصوت 128

9–1 طبيعة وإصدار الصوت 129

9–2 إرسال الصوت 130

9–3 الكشف عن الصوت 132

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

9–4	انعكاس الصوت	134
9–5	الصوت فوق السمعي	137
9–6	قياس سرعة الصوت	138
9–7	درجة الصوت، وشدته، ونوعه	140
	خريطة مفاهيم	143
	ركن التفكير	144
	التمرين التاسع	145

الجزء الثاني : الميكانيكا

الوحدة العاشرة : السرعة والعجلة 147

10–1	الحركة بسرعة منتظمة	147
10–2	التمثيل البياني لسرعة منتظمة	149
10–3	العجلة	150
10–4	معادلات العجلة المنتظمة	151
10–5	معادلات إضافية للعجلة الثابتة	153
10–6	مسائل متعددة المراحل	154
10–7	السرعة المتوسطة	156
	خريطة مفاهيم	158
	ركن التفكير	159
	التمرين العاشر	160

الوحدة الحادية عشر : القوة والحركة 163

11–1	قانون نيوتن الأول	163
11–2	القوة والعجلة	164
11–3	بعض أنواع القوى الأخرى	166
11–4	القوى المؤثرة معاً	167
11–5	نموذج الجسيم	169
	خريطة مفاهيم	170
	ركن التفكير	171
	التمرين الحادي عشر	172

الوحدة الثانية عشر : الحركة الرأسية 175

12–1	التسارع نتيجة الجاذبية	176
12–2	الوزن	176
12–3	قوة الاتصال العمودي	180
12–4	الكتلة والوزن	181
	خريطة مفاهيم	184
	ركن التفكير	185
	التمرين الثاني عشر	186

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

المحتويات

الوحدة الثالثة عشر : القوة ككمية متجهه		189
13–1	توحيد القوى هندسياً	189
13–2	تحليل القوة إلى مركبات	191
	تمارين **13 – (أ)**	192
13–3	توحيد القوى بواسطة المركبات المتعامدة	194
13–4	تحليل القوى جبرياً	196
	تمارين **13 – (ب)**	196
13–5	الاتزان	197
	تمارين **13 – (جـ)**	201
		203
الإجابات		211
الملحق 1 : تعريفات (Definitions)		211
المرجع :		

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الوحدة 1

قياس درجة الحرارة

Measurement of Temperature

مخرجات التعلم

في هذه الوحدة، سوف:

- تشرح كيفية استخدام حجم كتلة سائل ثابتة لتحديد مقياس درجة الحرارة، وتذكر أمثلة لخواص شبيهة أخرى.
- تشرح الحاجة لنقاط ثابتة، وتذكر المقصود بنقطة التجمد، ونقطة البخار (الغليان).
- تناقش البنية، والحساسية، والمدى، والاتجاه الطولي، والاستجابة للترمومترات الزجاجية ذات السائل.

تُعتبر درجة الحرارة مهمة في دراسة العلوم لأن كثيرًا من خواص المادة تتغير معها. ولكي ندرس كيفية تغير خواص المادة مع درجة الحرارة يجب أن نكون قادرين على قياس درجة الحرارة بدقة. سنفحص في هذه الوحدة بعض طرق قياس درجة الحرارة، وسترى أن الفكرة الرئيسة في جميع تلك الطرق هي إيجاد خاصية فيزيائية تتغير بانتظام مع درجة الحرارة، وربط التغيرات الثابتة في درجة الحرارة بالتغيرات الثابتة في الخاصية.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

1-1 درجة الحرارة، والحرارة
Temperature and Heat

الخلط بين « درجة الحرارة » و « الحرارة » خطأ شائع، فالمصطلحان ليس لهما نفس المعنى. عند التحدث عن درجة حرارة جسم ما نشير إلى درجة « سخونته » أو « برودته »، وعند التحدث عن الحرارة نشير إلى كمية الطاقة الحرارية التي تتدفق من جسم ساخن إلى جسم بارد.
وكمثال، تخيل نفسك تصب بعض الماء الساخن من غلاية إلى داخل فنجان، وتسقط أثناء ذلك قطرة صغيرة جدًّا منه بطريقة عرضية على ذراعك. تكون هنا درجة حرارة قطرة الماء هي نفسها درجة حرارة الماء في الفنجان لأنهما من نفس الغلاية، غير أن تأثير قطرة الماء الساخن على ذراعك ليست بشيء يذكر مقارنة بتأثير فنجان الماء إذا صُب كله على ذراعك. ونقول أنه توجد طاقة داخلية في فنجان الماء الساخن أكثر مما يوجد في قطرة الماء الساخن.

درجة الحرارة قياس لدرجة « سخونة » أو « برودة » جسم ما.

شكل 1 – 1 توجد طاقة داخلية أكثر في فنجان الماء الساخن مما يوجد في قطرة من الماء الساخن رغم كونهما في نفس درجة الحرارة

أسئلة التقويم الذاتي

تتدفق *الطاقة الحرارية* من درجة *حرارة أعلى* إلى درجة حرارة أدنى.
اذكر معنى المصطلحين « طاقة حرارية »، و « درجة حرارة ».

2 – 1 قياس درجة الحرارة
Measuring Temperature

كيف نقيس درجة الحرارة؟ نعرف بالخبرة أن حاسة اللمس لدينا ليست أداة تقدير جيدة لدرجة الحرارة. فإذا لمست على سبيل المثال المقبض المعدني لباب خشبي بيد واحدة، ولمست خشب الباب باليد الأخرى ستشعر بأن المقبض المعدني أبرد من الخشب رغم كونها في نفس درجة الحرارة.
ولذلك نحتاج أداة، ترمومترًا أو « ميزان حرارة »، لقياس درجة الحرارة بموضوعية. يستخدم الترمومتر خاصية فيزيائية لمادة ترمومترية (محرارية) تتغير باستمرار مع درجة الحرارة.
ويبين جدول 1 – 1 أمثلة الخواص الفيزيائية التي تتغير مع درجة الحرارة.

يستخدم الترمومتر لقياس درجة الحرارة.

شكل 1 – 2 حاسة اللمس لدينا ليست أداة تقدير دقيقة لدرجة الحرارة

جدول 1 – 1

خاصية فيزيائية	ترمومتر
1– حجم كتلة ثابتة من سائل.	ترمومتر زجاجي زئبقي، ترمومتر زجاجي كحولي.
2– قوة دافعة كهربائية (e.m.f.).	ترمومتر الازدواج الحراري
3– مقاومة قطعة فلز.	ترمومتر مقاومة.
4– ضغط كتلة ثابتة من غاز عند حجم ثابت.	ترمومتر غازي ذوحجم ثابت.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

إنشاء مقياس درجة الحرارة

لإنشاء مقياس درجة الحرارة عليك اتباع الخطوات التالية:

خطوات إنشاء مقياس درجة الحرارة:

1- اختر مادة ترمومترية (محرارية)
مثل: طول الزئبق.

2- اختر نقطتين ثابتتين
مثل: نقطة التجمد، نقطة البخار (الغليان).

3- قسّم مدى درجة الحرارة بين النقطتين الثابتتين إلى أقسام متساوية
مثل: قسّم إلى 100 قسم متساوية.

1- اختر مادة (تعرف بأنها مادة ترمومترية) لها إحدى الخواص الفيزيائية المذكورة بجدول 1 – 1.

2- اختر درجتين قياسيتين للسخونة يمكن بسهولة تقديرهما والحصول عليهما المرة تلو الأخرى، وسنشير إليهما بالنقطتين الثابتتين. ومن الشائع اختيار درجتي حرارة الثلج النقي المنصهر، وبخار الماء عند ضغط جوي قياسي واحد كدرجتين ثابتتين. وتعرف هاتان الدرجتان الثابتتان بالدرجة الثابتة الدنيا، والدرجة الثابتة العليا على التوالي. سجل قيم الخاصية الفيزيائية للمادة عند هاتين الدرجتين للحرارة.

3- قسّم مدى درجة الحرارة بين النقطتين الثابتتين إلى عدد من الأجزاء المتساوية (أو الدرجات). فتوجد على سبيل المثال في المقياس المئوي 100 علامة أو درجة متساوية بين النقطتين الثابتتين الدنيا والعليا، ونفترض هنا أن الخاصية الفيزيائية تتغير بشكل منتظم مع درجة الحرارة. ونعني بذلك أن الخاصية الفيزيائية تتغير بالتساوي وبانتظام عند تغير درجة الحرارة.

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) اذكر الخاصية الفيزيائية التي تتغير مع درجة الحرارة في الترمومتر السائلي العادي.

(ب) ماذا يقصد بمصطلح «نقطة ثابتة»؟

3-1 مقاييس درجة الحرارة
Scales Of Temperature

النقطتان الثابتتان في المقياس المئوي هما
- درجة التجمد
- درجة البخار (الغليان)

المقياس المئوي (مقياس سلسيوس)

يستخدم هذا المقياس والمبني على التجربة نقطتين ثابتتين.

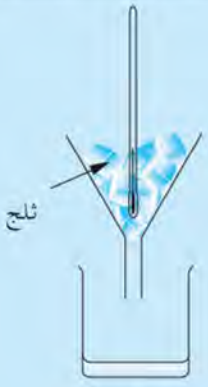
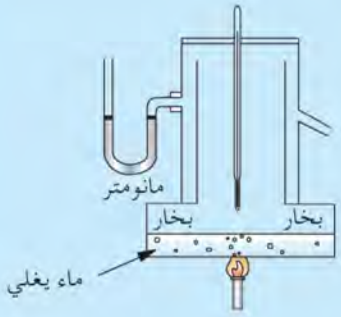
هما:

(1) **نقطة التجمد** (الدرجة الثابتة الدنيا): هي درجة حرارة الثلج النقي المنصهر عند واحد ضغط جوي قياسي، وتحدد بقيمة درجة الصفر المئوية. ويلخص جدول 1 – 2 الإجراء المتبع لتحديد درجة التجمد.

(2) **نقطة البخار (الغليان)** (الدرجة الثابتة العليا): هي درجة حرارة بخار الماء الجاف من ماء يغلي عند واحد ضغط جوي قياسي، وتحدد بقيمة 100°C. ويلخص جدول 1 – 2 الإجراء المتبع لتحديد درجة البخار (الغليان).

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

جدول 1 – 2 تدريج الترمومتر

تحديد درجة التجمد	تحديد درجة البخار (الغليان)
 شكل 1 – 3	 شكل 1 – 4
1– اغمس المستودع والجزء السفلي من ساق الترمومتر في قمع يحتوي على ثلج نقي منصهر.	1– ادخل الترمومتر في الجهاز بحيث يكون المستودع فوق الماء المغلي. ويجب بروز ساق الترمومتر أعلى قمة الجهاز.
2– للتأكد من أن الاتصال جيد بين المستودع والثلج، تُستخدم قطع ثلج صغيرة. ويجب أن يكون مستوى الزئبق في الساق أعلى سطح الثلج مباشرة.	2– يُستخدم مانومتر لضمان أن الضغط داخل الجهاز يساوي الضغط الجوي خارجه.
3– وعندما يبقي مستوى سطح الزئبق في الساق ثابتًا بعد بعض الوقت، توضع علامة عند تلك النقطة على الساق. وتتفق تلك العلامة مع نقطة التجمد وتعطي قيمة 0°C.	3– وعندما يبقي مستوى سطح الزئبق في الساق ثابتًا بعد بعض الوقت، توضع علامة عند تلك النقطة على الساق. وتتفق تلك العلامة مع نقطة البخار (الغليان) وتعطي قيمة 100°C

وبالنسبة للمقياس المئوي، فإن المسافة بين نقطة التجمد ونقطة البخار (الغليان) تقسم إلى 100 جزء متساوٍ، وتكون كل علامة على الترمومتر قياس لدرجة 1°c.

حساب درجة الحرارة على المقياس المئوي

الخاصية الفيزيائية التي تتغير مع درجة الحرارة في الترمومتر الزئبقي هي حجم كتلة ثابتة من الزئبق. فبدلًا من قياس التغيرات في حجم الزئبق مع تغير درجة الحرارة يمكننا قياس التغير في طول خيط الزئبق إذا كانت مساحة القطاع العرضي للخيط منتظمة.

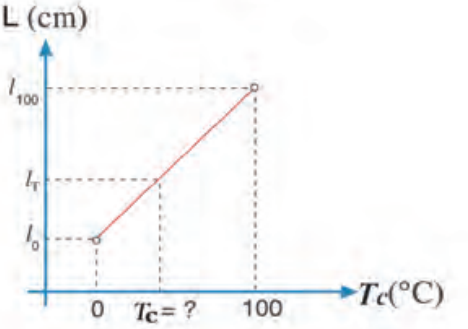
وإذا كانت مستويات السائل فوق مستودع الترمومتر الزجاجي ذي السائل هي L_0 عند غمر المستودع في ثلج منصهر نقي (شكل 1 – 5)، و L_{100} عند غمره في بخار ماء (شكل 1 – 6)، و L_T عند غمره أو وضعه في جسم غير معروف ذي درجة حرارة T مطلوب تحديدها (شكل 1 – 7)، فيمكن بسهولة حساب قيمة T باستخدام نسبة بسيطة (شكل 1 – 8) بما أن الخاصية الفيزيائية، أي الطول L ، تتناسب تناسبًا طرديًّا مع درجة الحرارة T.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

شكل 1 – 5 الثلج (0 °C)

شكل 1 – 6 بخار (غليان) الماء (100 °C)

شكل 1 – 7 جسم غير معروف (T_c°C)



شكل 1 – 8

والمعادلة هي

$$T_c(°C) = \frac{L_{T_c} - L_0}{L_{100} - L_0} \times 100$$

مثال محلول 1 – 1

وجد بالتجربة أن الطول L_0 في ترمومتر زئبقي غير مدرج كان 5 cm والطول l_{100} كان 25 cm. ما درجة الحرارة عندما يكون L_{T_c} (1) 14 cm، (2) 3 cm؟

الحـــل

المعطيات:

$L_0 = 5$ cm

$L_{100} = 25$ cm

(1) عندما،

$L_{T_c} = 14$ cm

$$L_{T_c} = \frac{L_{T_c} - L_0}{L_{100} - L_0} \times 100$$

$$= \frac{14 - 5}{25 - 5} \times 100$$

$$= 45\ °C$$

(2) عندما،

$L_{T_c} = 3$ cm

$$T_c = \frac{L_{T_c} - L_0}{L_{100} - L_0} \times 100$$

$$= \frac{3 - 5}{25 - 5} \times 100$$

$$= -10\ °C$$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

المعادلة العامة للمقياس المئوي

المعادلة هي،

$$T\ (°C) = \frac{X_T - X_0}{X_{100} - X_0} \times 100$$

حيث X الخاصية الفيزيائية التي تتغير بانتظام مع درجة الحرارة.

وتشمل أمثلة X مقاومة R لسلك بلاتين، وضغط P لكتلة ثابتة من غاز عند حجم ثابت ... إلخ.

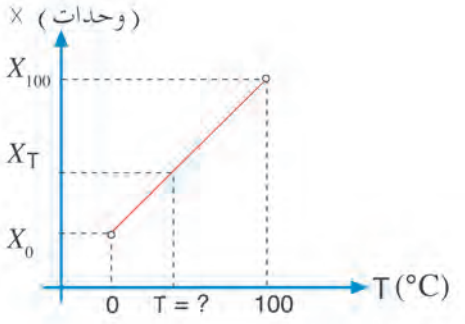
وبالنسبة لحالة X والتي تكون المقاومة R لسلك بلاتين،

$$T(°C) = \frac{R_T - R_0}{R_{100} - R_0} \times 100$$

حيث R_T تساوي مقاومة سلك بلاتين عند درجة حرارة غير معروفة ،

R_0 تساوي مقاومة سلك بلاتين عند درجة التجمد $(0°C)$،

R_{100} تساوي مقاومة سلك بلاتين عند درجة البخار (الغليان) $(100°C)$.



شكل 1 – 9

مثال محلول 1 – 2

قطعة من سلك معدني مقاومتها 800 Ω عند درجة التجمد، 810 Ω عند درجة البخار (الغليان). احسب درجة حرارة الغرفة إذا كانت مقاومة هذا السلك 803 Ω.

الحل

المعطيات: $R_0 = 800\ \Omega, R_{100} = 810\ \Omega, R_T = 803\ \Omega$

درجة حرارة الغرفة،

$$T = \frac{R_T - R_0}{R_{100} - R_0} \times 100$$

$$= \frac{803 - 800}{810 - 800} \times 100$$

$$= 30°C$$

مقياس كلفن (درجة الحرارة المطلقة)

هذا المقياس الذي أطلق عليه اسم العالم الإنجليزي كلفن مبني على نقطة ثابتة واحدة: النقطة الثلاثية للماء، وهي درجة الحرارة التي يتعايش فيها بشكل متوازن معًا كل من بخار الماء المشبع، والماء النقي، والثلج.

ووحدة هذا المقياس هي الكلفن (K)، وحدة قياس درجة الحرارة في النظام الدولي.

حيث ،

$$T(°C) = T\ (K) - 273.15$$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

والفترات الفاصلة على كل من مقياسي كلفن وسلسيوس هي نفسها، بمعنى 1 كلفن يساوي 1 درجة سلسيوس. ويتبع ذلك أن التغيرات في درجة الحرارة ستكون متساوية لكلا المقياسين.

وتكون المعادلة للتقريب في العمليات الحسابية، $T(°C) = T(K) - 273.15$، وتكتب ببساطة كالتالي:

$$T(°C) = T(K) - 273$$

جدول 1 – 3

درجة الحرارة	مقياس كلفن	مقياس سلسيوس
الصفر المطلق	0 K	-273°C
درجة التجمد	273 K	0°C
درجة البخار (الغليان)	373 K	+100°C

مثال محلول 1 – 3

بلغت درجة حرارة طفل رضيع مصاب بحمى شديدة 40°C. ما درجة الحرارة هذه على مقياس كلفن؟

الحل: باستخدام، $T(°C) = T(K) - 273$

$$T(K) = T(°C) + 273$$
$$= (40 + 273)\ K$$
$$= 313\ K$$

مثال محلول 1 – 4

وُجد أن درجة الحرارة في المحيط الشمالي أثناء منتصف الشتاء تبلغ 186 K. فما درجة الحرارة هذه على مقياس سلسيوس؟

الحل: باستخدام، $T(°C) = T(K) - 273$

$$= (186 - 273)\ °C$$
$$= -87°C$$

مثال محلول 1 – 5

سُخنت غلاية تحتوي على ماء درجة حرارته 30°C حتى 100°C. أوجد التغير في درجة الحرارة على **(1)** مقياس سلسيوس، **(2)** مقياس كلفن؟

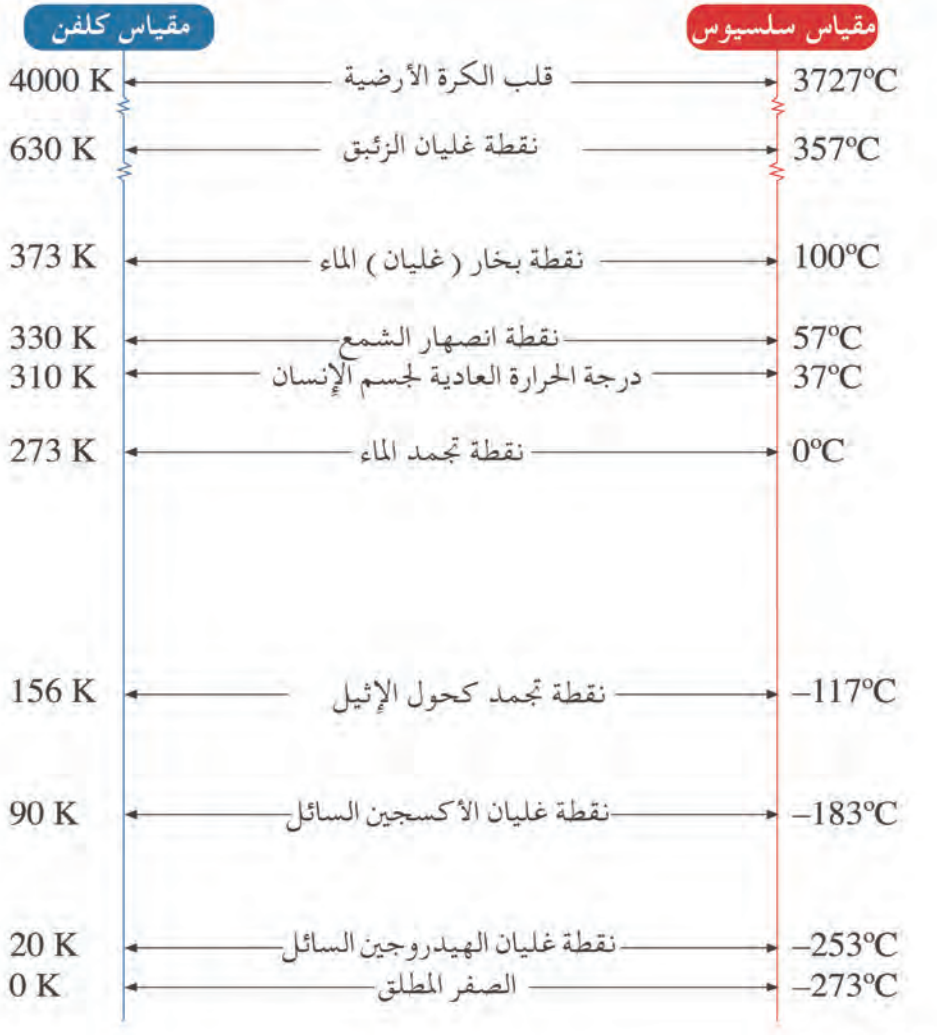
الحل:

(1) التغير في درجة الحرارة،

$$= (100 - 30)$$
$$= 70°C$$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

(2) $30°C = (30 + 273)$
$= 303\ K$
$100°C = (100 + 273)$
$= 373\ K$
التغير في درجة الحرارة،
$= 373 - 303$
$= 70\ K$
ملحوظة: الإجابتان في (1)، (2) متساويتان في المقدار.



شكل 1– 10

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) لماذا نحتاج نقطتين ثابتتين عندما ندرج ترمومترًا؟
(ب) اكتب المعادلة العامة لمقياس درجة الحرارة المئوية؟
(جـ) ما المعادلة التي تربط بين مقياس سلسيوس، ومقياس كلفن؟

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

1 – 4 السوائل الترمومترية (المحرارية)
Thermometric Liquids

السائلان المستخدمان في الترمومترات الزجاجية "ذات السائل" هما الزئبق والكحول. ويلخص جدولا 1 – 4، 1 – 5 مميزات وعيوب هذين السائلين الترمومتريين (المحراريين).

جدول 1 – 4 الزئبق كسائل ترمومتري (محراري)

المميزات	العيوب
1– موصل جيد للحرارة ومن ثم يصل السائل بأكمله إلى درجة حرارة الوسط المحيط به بسرعة.	1– سام.
2– لا يبلل (لا يتعلق بجوانب) الأنبوب.	2– قابليته للتمدد منخفضة إلى حد ما.
3– له درجة غليان عالية (357°C).	3– غالٍ.
4– يتمدد بانتظام.	4– له درجة تجمد عالية (–39°C).
5– يستجيب بسرعة لتغيرات درجة الحرارة.	ملحوظة: درجة التجمد العالية تعني أنه لايمكن استخدامه في أماكن تكون درجة الحرارة فيها منخفضة للغاية.
6– له سطح محدب يمكن رؤيته.	

جدول 1– 5 الكحول كسائل ترمومتري (محراري)

المميزات	العيوب
1– يتمدد بانتظام.	1– يبلل الأنبوب.
2– له درجة تجمد منخفضة (–115°C).	2– له درجة غليان منخفضة (78°C).
3– له قابلية للتمدد كبيرة.	3– لا يتفاعل بسرعة مع تغيرات درجة الحرارة.
4– رخيص.	4– يجب أن يُصبغ لأنه عديم اللون.
5– سائل آمن.	

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) اذكر ميزة واحدة مشتركة بين الزئبق والكحول.
(ب) اذكر ميزة واحدة لاستخدام الزئبق تكون أيضًا عيبًا لاستخدام الكحول.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

1-5 أنواع الترمومترات
Types of Thermometres

الترمومترات الزجاجية ذات السائل

وتشمل بعض الترمومترات الزجاجية ذات السائل الشائعة :

1- الترمومتر المعملي .

2- الترمومتر الطبي .

ويلخص جدولا 1 – 6، 1 – 7 سمات التصميم الرئيسة، وأيضًا الغرض أو مبدأ التشغيل وراء السمات لهذين الترمومترين . ونراعي عند مناقشة تلك السمات اعتبارين رئيسين : استجابة، وحساسية الترمومترات .

سرعة الاستجابة : تقيس مدى سرعة الترمومتر في رصد تغيرات درجة الحرارة .

الحساسية : تقيس كمية التغير في الخاصية المحرارية (مثل : طول عمود الزئبق) لكل وحدة تغير في درجة الحرارة .

المدى : يشير إلى درجتي الحرارة العظمى والصغرى التي يمكن أن يقيسها الترمومتر .

جدول 1 – 6 الترمومتر المعملي

شكل 1– 11 ترمومتر معملي

سمات التصميم الرئيسة	الغرض أو مبدأ التشغيل
1– يُحتوى الزئبق في بصيلة زجاجية ذات جدار رفيع .	1– يسمح الجدار الرفيع الزجاجي للبصيلة بتوصيل الحرارة بسرعة خلال الزجاج (موصل ضعيف للحرارة) إلى السائل .
2– تصنع البصيلة صغيرة لتحتوي على كمية صغيرة من السائل .	2– تستجيب كمية صغيرة من السائل بسرعة أكثر لأي تغير في درجة الحرارة .
3– مجرى الأنبوب الشعري يكون دقيقًا ومنتظمًا .	3– يسمح الأنبوب الدقيق بحركة ملحوظة لعمود السائل مقابل تغير صغير في درجة الحرارة (بمعنى حساسية جيدة) . ويضمن الأنبوب المنتظم تمدد متساوي للسائل .
4– تصنع جدران الأنبوب الطويل فوق البصيلة بحيث تكون سميكة .	4– يعمل كنظارة مكبرة لقراءة خيط الزئبق في الساق بسهولة .
5– حجم الترمومتر يكون صغيرًا نسبيًّا .	5– يسمح حجمه الصغير بحمله وأيضًا بإنتاجه الرخيص .

تحدٍ

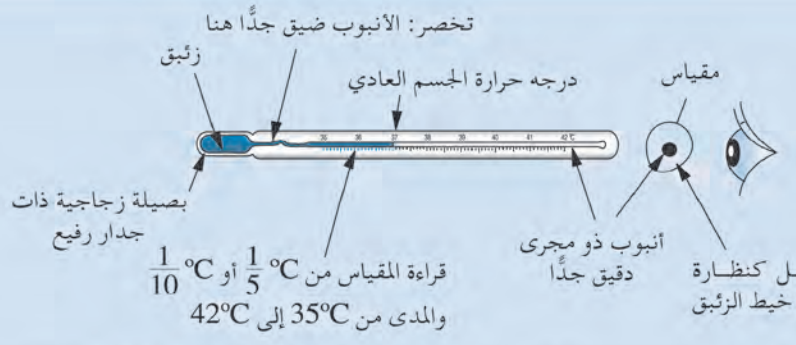
ما سمات الترمومتر المعملي التي تجعله :

(1) سريع الاستجابة؟

(2) حساسًا؟

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

جدول 1 – 7 الترمومتر الطبي



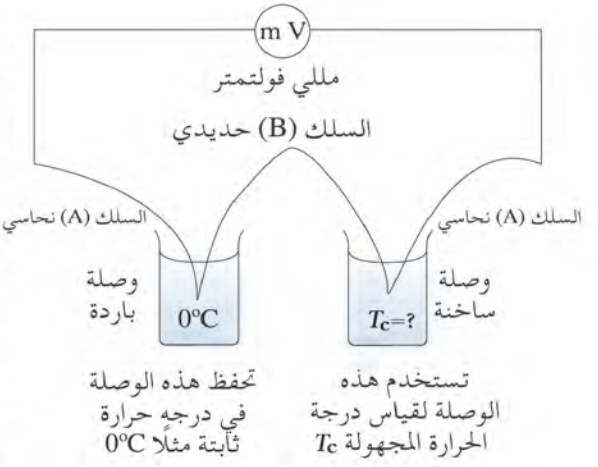
شكل 1 – 12 الترمومتر الطبي

سمات التصميم الرئيسة	الغرض أو مبدأ التشغيل
1– الجدار الزجاجي للبصيلة يكون رفيعًا.	1– يسمح ذلك بتوصيل سريع للحرارة إلى الزئبق الموجود في المستودع.
2– مجرى الأنبوب الشعري يكون دقيقًا جدًّا.	2– يُحسِّن ذلك من حساسية الترمومتر بالسماح بتغير كبير في طول خيط الزئبق مقابل تغير صغير في درجة الحرارة.
3– المقياس محدد بمدى صغير ما بين 35° C إلى 42° C.	3– بما أن درجة حرارة الجسم العادي هي 36.9°C فإن المدى القصير يسمح بدقة أكبر، ويمكن صنع الساق قصيرة بشكل معقول.
4– يوجد تخصر ضيق في الأنبوب فوق البصيلة مباشرة.	4– يضمن ذلك رصد أقصى درجة حرارة للجسم. يتمدد الزئبق في البصيلة عند ارتفاع درجة الحرارة، ويشق طريقه عبر التخصر. وعند نزع الترمومتر من فم المريض، يمنع التخصر الزئبق المنقبض من العودة إلى البصيلة بكسر خيط الزئبق عند التخصر.
5– القطاع العرضي لساق الترمومتر يتخذ شكل ثمرة الكمثري.	5– يعمل ذلك كنظارة مكبرة في اتجاه واحد من أجل قراءة سهلة لخيط الزئبق.
ملحوظة: يجب تعقيم الترمومتر الطبي في مطهر قبل استخدامه، ويجب عدم غسله في ماء ساخن جدًّا بعد نزعه من الفم أو من تحت إبط المريض.	

ترمومتر الازدواج الحراري (المزدوجة الحرارية)

يتكون ترمومتر الازدواج الحراري أساسًا من سلكين مصنوعين من فلزين مختلفين مثل النحاس والحديد. وتتصل أطراف السلكين معًا لتكوين وصلتين (شكل 1 – 13). فإذا كانت الوصلتان في درجتي حرارة مختلفتين، بمعنى وصلة ساخنة والأخرى باردة، تنتج قوة دافعة كهربائية (جهد كهربائي). كلما كان الفرق في درجة الحرارة أكبر، كلما كانت القوة الدافعة الكهربائية الناتجة عبر أطراف الوصلتين أكبر. وإذا ظلت إحدى الوصلات عند درجة حرارة باردة ثابتة مثل 0°C فيمكن استخدام الوصلة الأخرى كمجس دقيق لقياس درجات حرارة أخرى غير الصفر المئوي 0°C. والمعادلة المُعَرِّفة لترمومتر الازدواج الحراري هي كالتالي:

$E \propto \Delta T_c$ حيث E تساوي القوة الدافعة الكهربائية أو الجهد الكهربائي الناتج ΔT_c تساوي الفرق في درجة الحرارة بين الوصلتين



شكل 1 – 13

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية – ليبيا

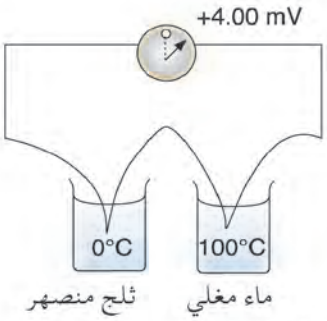
ومميزات ترمومتر الازدواج الحراري كما يلي :

1- يقيس مدى لدرجة الحرارة كبير جدًّا من 200°C– إلى 1500°C باختيار نوعي فلز مناسبين للسلكين A, B .

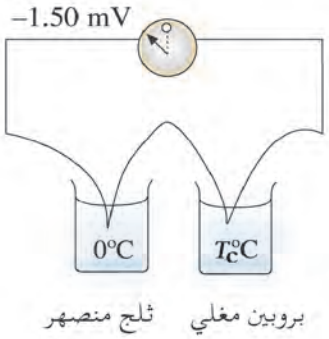
2- ولأن الوصلات السلكية صغيرة جدًّا، يُستخدم الترمومتر لقياس درجات الحرارة عند نقطة ما (بمعنى درجات حرارة محددة المكان) .

3- إنه سريع الاستجابة لدرجات الحرارة المتغيرة نظرًا لانخفاض سعته الحرارية . وترجع السعة الحرارية المنخفضة لكتلته الصغيرة ولأن الفلزات موصلات جيدة للحرارة .

4- بما أن الخرج هو إشارة كهربائية فيمكن توصيله بأداة كهربائية مناسبة لفحص التغيرات المفاجئة أو السريعة في درجة الحرارة .



شكل 1 – 14



شكل 1 – 15

مثال محلول 1 – 6

تم الحصول في ترمومتر ازدواج حراري معين على قوة دافعة كهربائية قدرها +4.00 mV بوصلة في ثلج منصهر، والوصلة الأخرى في ماء مغلي عند واحد ضغط جوي قياسي . وعند نزع الوصلة الساخنة من الماء المغلي ووضعها في بروبين مغلي كانت القوة الدافعة الكهربائية المسجلة 1.50 mV– . أوجد درجة حرارة البروبين المغلي على مقياس المزدوجة الحرارية السلسيوسي .

الحل :

بالنسبة للمزدوجة الحرارية،

تتغير القوة الدافعة الكهربائية تغير طرديًّا مع فرق درجة الحرارة .

ومن ثم، $4.00\ \text{mV} \propto (100 - 0)^\circ\text{C}$

$-1.50\ \text{mV} \propto (T - 0)^\circ\text{C}$

حيث Tc = درجة حرارة البروبين المغلي

$$\Rightarrow \frac{Tc - 0}{100 - 0} = \frac{-1.50}{4.00}$$

$$\Rightarrow Tc = \frac{-1.50}{4.00} \times 100$$

$$= -37.5^\circ\text{C}$$

ولأن القوة الدافعة الكهربائية التي تنتجها المزدوجة الحرارية تكون صغيرة، فيجب وصل عدد كبير منها على التوالي إذا كان المطلوب فولتية أكبر. ويطلق على مجموعة من الازدواجات الحرارية مرتبطة بهذه الطريقة عمود حراري (ثرموبيل)، أداة مفيدة جدًّا لاكتشاف الحرارة حيث يكون حساسًا لدرجة يمكن معها اكتشاف حرارة عود كبريت مشتعل على مسافة بعيدة .

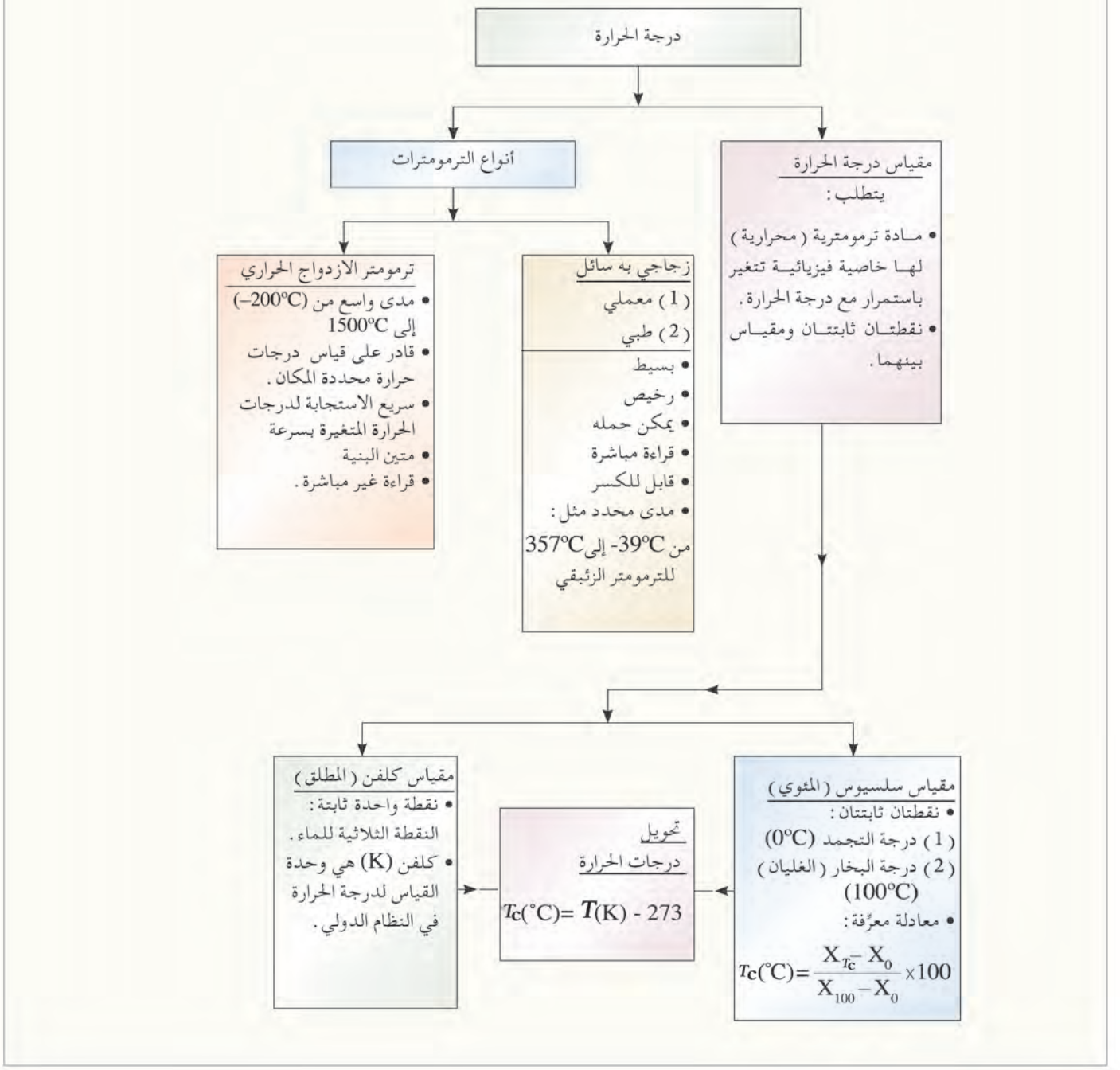
أسئلة التقويم الذاتي

(أ) ما الهدف من وجود التخصر في الترمومتر الطبي؟

(ب) لماذا نحتاج تجويفًا دقيقًا جدًّا في الترمومتر الطبي؟

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

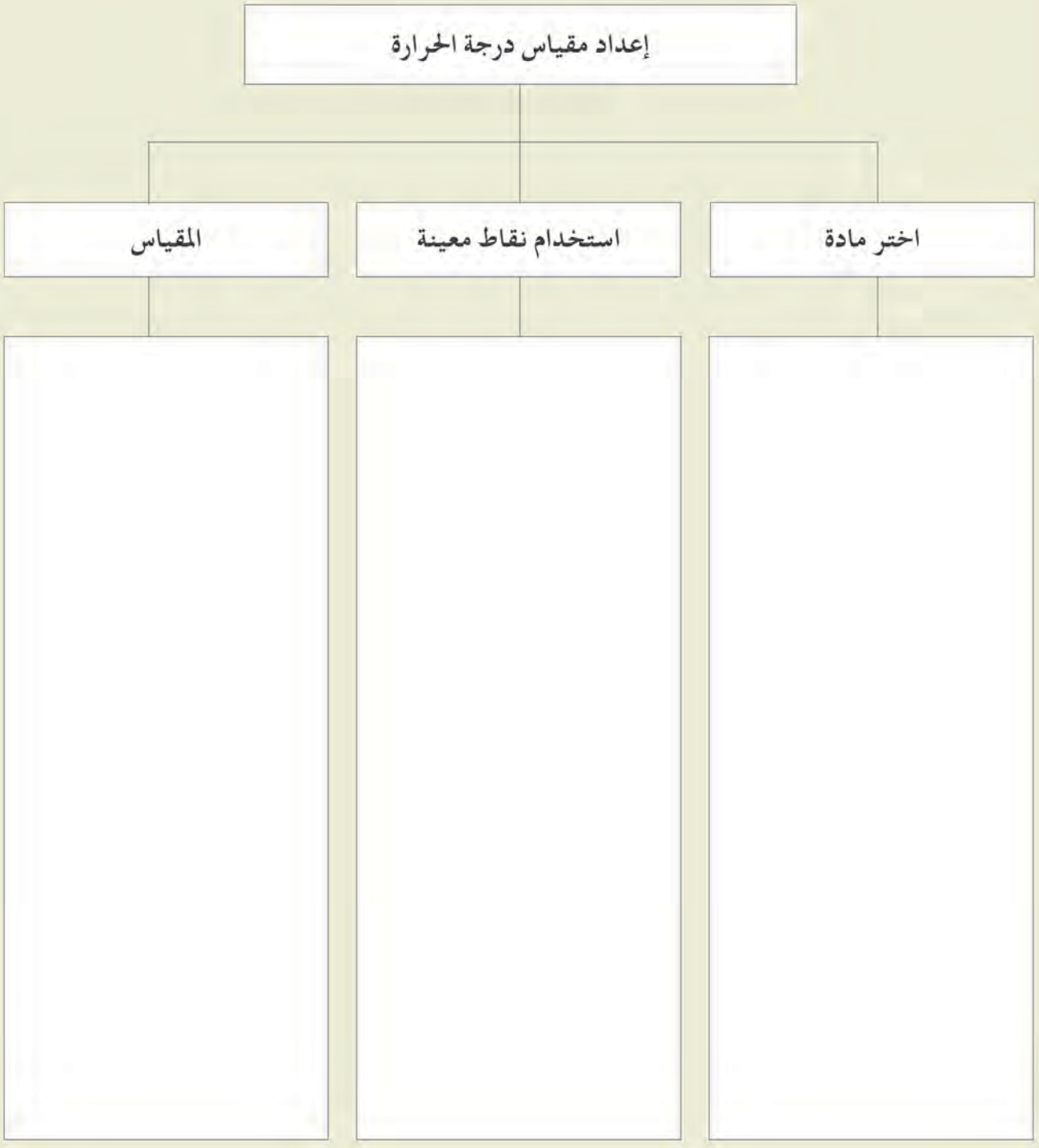
خريطة مفاهيم



جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

المهارة: إسهاب

لقد تعلمت خطوات إعداد مقياس درجة الحرارة. أكمل المنظم البياني التالي بالإسهاب في شرح كل من الخطوات المطلوبة لإعداد مقياس مئوي لدرجة الحرارة.



جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

التمرين الاول

الجزء الأول أسئلة الاختيار من متعدد

1- لايستخدم الماء كسائل ترمومتري (محراري) بصفة رئيسة لأنه:
(أ) عديم اللون.
(ب) موصل رديء للحرارة.
(جـ) لايتمدد خطيًا.
(د) له درجة غليان منخفضة 100°C.

2- أي من الترمومترات التالية هو الأنسب لقياس درجات الحرارة المتغيرة بسرعة؟
(أ) ترمومتر الازدواج الحراري.
(ب) ترمومتر زئبقي.
(جـ) ترمومتر كحولي.
(د) ترمومتر المقاومة البلاتيني.

3- يُدرَّج كل من الترمومتر الزئبقي والمزدوجة الحرارية باستخدام نفس الدرجتين الثابتتين 0°C، 100°C. وعند استخدام كل من الترمومترين لقياس درجة حرارة الجسم، ستكون درجات الحرارة المأخوذة على كل من الترمومترين هي نفسها تمامًا
(أ) لجميع درجات الحرارة بين 0°C، 100°C فقط.
(ب) فقط عند النقاط الثابتة.
(جـ) لجميع درجات الحرارة في جميع الأوقات.
(د) عند تحويلها إلى مقياس كلفن.

4- إن للترمومتر الطبي أنبوبًا شعريًا ضيقًا بحيث
(أ) يكون سريع الاستجابة لتغيرات درجة الحرارة.
(ب) يسجل أقصى درجة حرارة.
(جـ) يبين تغيرًا أكبر لارتفاع معين في درجة الحرارة.
(د) يقيس مدى درجات حرارة حتى درجة حرارة الجسم.

الجزء الثاني الأسئلة التركيبية

1- أكمل الجدول التالي:

	نوع الترمومتر	المادة الترمومترية	الخاصية الترمومترية
(أ)	زئبقي	زئبق	
(ب)	المقاومة البلاتيني	سلك بلاتين	

2- ما الدرجتان الثابتتان المختارتان لتدريج المقياس المئوي (السلسيوسي)؟ اذكر قيمهما، واشرح باختصار سبب الحاجة لمثل تلك الدرجات الثابتة؟

3- صف تجربة معملية لتحديد الدرجتين الثابتتين للترمومتر الزئبقي؟

4- (أ) عند تصنيع الترمومتر الطبي، ما العوامل التي يجب أخذها في الاعتبار لضمان حساسيته لتغيرات درجات الحرارة الصغيرة؟
(ب) ما الحدود العليا والدنيا لمثل ذلك الترمومتر بالدرجات المئوية °C؟
(جـ) ما درجة الحرارة بمقياس كلفن لرجل سليم درجة حرارة جسمه 37°C؟

5- (أ) غُمر ترمومتر زئبقي غير مدرج في ثلج منصهر وكان طول خيط الزئبق 25 mm. عند غمر الترمومتر في بخار من ماء نقي يغلي تحت واحد ضغط جوي قياسي، كان طول الخيط 200 mm.
ما درجة الحرارة بالدرجات السلسيوسية عندما يكون طول الخيط 95 mm؟
(ب) اذكر ثلاث مميزات لاستخدام الزئبق تفضيلًا على السوائل الأخرى في الترمومتر الزجاجي ذي السائل؟

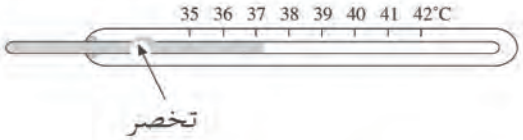
جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

6- أُنشيء ترمومتران زئبقيان A,B ببصيلات متماثلة وكان لدى المجرى الشعري لـ A مساحة قطاع مستعرض ضعف ما لدى B.

أي الترمومترين سيكون أكثر حساسية للتغير البسيط في درجة الحرارة؟ اذكر تبريرًا لإجابتك.

ترمومتر ثالث مماثل لـ A فيما عدا أن الجدران الزجاجية للمستودع كانت أرفع. كيف سيعمل بشكل مختلف عن A؟

7- (أ) يبين الشكل التالي ترمومترًا طبيًّا.



تخصر

(1) ما الهدف من وجود التخصر؟

(2) لماذا غالبًا ما يكون القطاع المستعرض للساق بيضاويًّا؟

(3) لماذا غالبًا ما يكون السطح الخلفي للترمومتر أبيض اللون؟

8- يكون مقياس الترمومتر الزئبقي خطيًّا. فإذا كان لمثل ذلك الترمومتر مقياس يمتد من $-10^{\circ}C$ إلى $110^{\circ}C$ فيكون طول المقياس 240 mm.

(أ) ما المقصود بأن المقياس خطي؟

(ب) احسب المسافة التي يتحركها طرف خيط الزئبق عند ارتفاع درجة حرارة الترمومتر

(1) من $0^{\circ}C$ إلى $1.0^{\circ}C$،

(2) من $1.0^{\circ}C$ إلى $100.0^{\circ}C$.

(جـ) ما حساسية الترمومتر؟

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الوحدة 2

النظرية الحركية البسيطة للمادة

Simple Kinetic Theory of Matter

مخرجات التعلم

في هذه الوحدة، سوف

- ☐ تقارن خواص الأجسام الصلبة، والسوائل، والغازات.
- ☐ تبين فهمًا أن الحركة البراونية توفر دليلًا على النموذج الجزيئي الحركي للمادة.
- ☐ تصف بشكل نوعي البنية الجزيئية للأجسام الصلبة، والسوائل، والغازات مع ربط خواصها بالقوى، والمسافات بين الجزيئات، وبحركة الجزيئات.
- ☐ تصف العلاقة بين حركة الجزيئات ودرجة الحرارة.
- ☐ تفسر ضغط أي غاز بدلالة حركة جزيئاته.
- ☐ تصف كيف أن أي تغير في حجم كتلة ثابتة لغاز عند درجة حرارة ثابتة ينتج عن تغير في ضغط مسلط على الغاز.
- ☐ تتذكر وتطبق العلاقة، $p_1V_1 = p_2V_2$

سنطور في هذه الوحدة نموذجًا جزيئيًّا للمادة. وكلمة جزيئي تعني ضمنًا أن النموذج يُبنى على حقيقة تكون المادة من جزيئات أو جسيمات. يجب أن يكون النموذج الجزيئي للمادة قادرًا على تفسير الخواص المتعددة للمادة. فيجب على سبيل المثال أن يكون قادرًا على وصف الحالات الثلاث للمادة، وظواهر الانصهار والغليان (تغير الحالات). وسنرى فعليًّا في هذه الوحدة، والوحدات القليلة التالية كيفية تفسير هذا النموذج لمجموعة كاملة من الظواهر الفيزيائية، ولكن دعونا أولًا نصف خواص الأجسام الصلبة، والسوائل، والغازات.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

2 – 1 حالات المادة الثلاث
Three States of Matter

ثلج

ماء

بخار ماء

شكل 2 – 1 الحالات الثلاث للماء

يبين شكل 2 – 1 الحالات الثلاث للماء: ثلج، وماء، وبخار ماء، ونطلق على هذه الحالات الثلاث: صلبة، وسائلة، وغازية على الترتيب.

ويلخص جدول 2 – 1 بعض خواص الحالات المتعددة للمادة، أي الصلبة، والسائلة، والغازية.

جدول 2 – 1 خواص الحالات المتعددة للمادة

حالة المادة	الخواص
صلبة	شكل وحجم ثابت صلدة وجاسئة عمومًا تحتاج قوة كبيرة لتغيير شكلها ذات كثافة عالية غير قابلة للانضغاط إطلاقًا
سائلة	حجم ثابت ولكن ليس لها شكل ثابت ذات كثافة متوسطة ليست قابلة للانضغاط
غازية	ليس لها شكل أو حجم ثابت ذات كثافة منخفضة قابلة للانضغاط

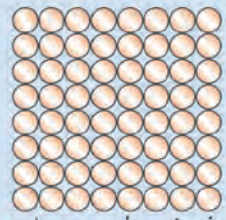
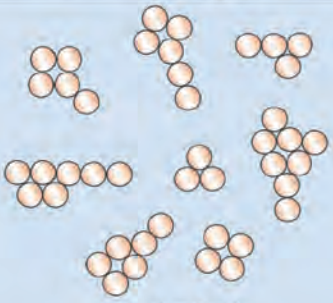
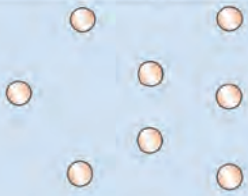
2 – 2 النموذج الجزيئي الحركي للمادة
The Kinetic Molecular Model of Matter

يمكننا ابتكار نموذج لتفسير خواص الحالات الثلاث للمادة، يفترض تكوُّنها من جسيمات دقيقة تسمى ذرات، أو مجموعات من ذرات موصولة معًا تسمى جزيئات، وتكون تلك الجسيمات في حركة مستمرة وعشوائية. هذا هو النموذج الجزيئي الحركي للمادة.

النموذج الجزيئي الحركي للمادة يصف المادة على أنها تتركب من جزيئات في حركة مستمرة وعشوائية.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

جدول 2 – 2 تفسير خواص المادة باستخدام النموذج الجزيئي الحركي

حالة المادة	ترتيب الجسيمات	حركة الجسيمات
 نموذج لجسم صلب	محتشدة معًا بقوة، وتشغل أقل حيز ممكن، وتكون عادة في نمط منتظم، مما يبرر الكثافة العالية للأجسام الصلبة.	تتذبذب حول مواقع محددة، وتبقى متماسكة معًا بالروابط بين الجزيئية القوية فيما بينها، مما يبرر الشكل والحجم الثابت للأجسام الصلبة.
 نموذج لسائل	تتواجد في عناقيد، مع تباعد الجزيئات قليلًا مقارنة بالأجسام الصلبة، مما يبرر الكثافة المتوسطة للسوائل، وميلها لتكوين قطرات صغيرة.	حرة في تحركها بين العناقيد، ولكن محجوزة داخل الوعاء الذي توجد فيه بسبب قوى الجذب بينها. ويفسر ذلك الحجم الثابت للسوائل، وتشكلها رغم ذلك تبعًا لشكل الأوعية التي تحتويها.
 نموذج لغاز	متباعدة عن بعضها جدًّا بحيث تشغل الجزيئات أي مساحة متوافرة. ويبرر ذلك الكثافة المنخفضة للغازات.	حركة مستقلة وسريعة للغاية بطريقة عشوائية. قوى الجذب بينها مهملة، مما يبرر عدم وجود حجم أو شكل محدد لها وإمكانية انضغاطها العالية.

2 – 3 الدليل على الحركة الجزيئية
Evidence of Molecular Motion

ذكرنا في الجزء السابق أن الجزيئات في تحرك مستمر عشوائي، وأنها أصغر من أن نراها مباشرة. وجُمع الدليل على تلك الحركة من الحركة البراونية والانتشار.

الحركة البراونية

تجربة 2 – 1

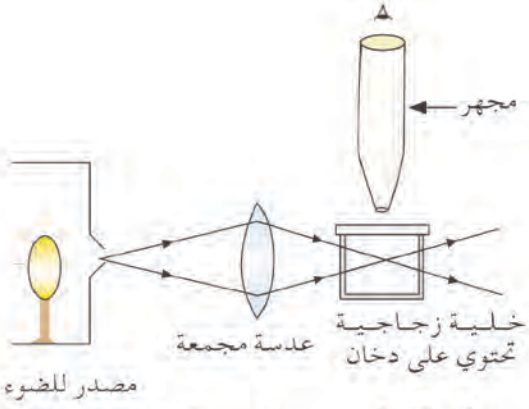
لدراسة الحركة البراونية.

الإجراء:

1- ركب جهازًا كما هو مبين في شكل 2 – 2.
2- أغلق بإحكام خلية زجاجية تحتوي على قليل من الدخان، ثم ضعها تحت المجهر.
3- ركز المجهر على الخلية.
4- لاحظ حركة جسيمات الدخان.

المشاهدة:

1- تشتت جسيمات الدخان الضوء الساقط عليها، ومن ثم تبدو كنقاط ساطعة.
2- يمكن رؤية جسيمات الدخان وهي تتحرك بشكل عشوائي أو غير منتظم.
3- كلما كانت الجسيمات كبيرة كلما كانت حركتها أقل.



شكل 2 – 2 جهاز تجريبي لملاحظة الحركة البراونية

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية – ليبيا

ترجع الحركة غير المنتظمة المشاهدة لجسيمات الدخان الي القصف بجزيئات الهواء . إن جزيئات الهواء صغيرة للغاية بحيث لا يمكن رؤيتها. ولان جسيمات الدخان أكبر بكثير من جزيئات الهواء فإنها تقصف باستمرار وبشكل غير منتظم على جوانب مختلفة بجزيئات الهواء. ويؤدي ذلك الي الحركة وغير المنتظمة لجسيمات الدخان، وتعرف تلك الحركة العشوائية بالحركة البراونية، وسميت باسم روبرت براون لانه أول من شاهدها في عام 1827

ويمكن أيضا مشاهدة نفس نوع الحركة غير المنتظمة لحبوب اللقاح في الماء.يتسبب تصادم جزيئات الماء في حركة الحبوب العشوائية

حركة الجزيئات ودرجة الحرارة

سرعة الجزيئات تتزايد مع ارتفاع درجة الحرارة.

إذا شاهدنا الحركة البراونية وعندما تكون خلية الدخان عند درجة حرارة أعلى ،ستشاهد أن جسيمات الدخان أكثر حركة،بمعنى تغير في اتجاهاتها أكثر واكثر

ويمكن تبرير ذلك بحقيقة أن جزيئات الهواء تقصف جسيمات الدخان بتكرار أكثر، مما يعني أن الجزيئات تتحرك بسرعة أكبر في درجات الحرارة الأعلى.

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) ماذا سيكون تأثير زيادة درجة الحرارة على حركة جسيمات الدخان في الحركة البراونية ؟

(ب) ماذا تتوقع رؤيته إذا كانت جسيمات الدخان أكبر بكثير ؟

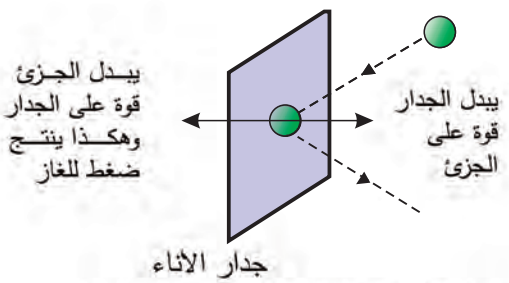
2-4 الضغط في الغازات
Pressure in Gases

يرجع الضغط في الغازات الي تصادم الجزيئات مع جدران الوعاء.

لندرس وعاء مملوءا بالهواء. إذا أُغلق الوعاء، وترك على منضدة، فسيبقى سليما ولن يهشمة الضغط الجوي الخارجي،وذلك لأن الهواء داخل الوعاء يبذل ضغطاً اتجاة الخارج مساويا للضغط الجوي خارجة ويمكن استخدام النموذج الحركي للغاز لتفسير الضغط الذي تبذلة جزيئات الهواء داخل الوعاء.

ونعرف من الدليل الذي تقدمه الحركة البراونية أن جزيئات الهواء داخل الوعاء في حالة حركة عشوائية مستمرة. فكر الآن فيما يحدث عند ارتطام جزئ بجدار الوعاء.

تكون القوة التي يبذلها الجزيء على الجدار عند التصادم مساوية وعكس القوة التي يبذلها الجدار على الجزيء (قانون نيوتن الثالث للحركة). ان التصادمات العديدة بين جزيئات الهواء والجدار هيا سبب القوة على جدران الوعاء.والقوة لكل وحدة مساحة هيا الضغط،وعلية فإن ضغط الغاز يرجع إلي تصادمات جزيئات الغاز مع جدران الوعاء.

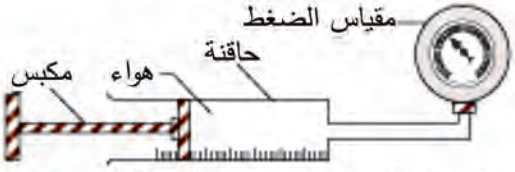


شكل 2 – 3 ضغط الغاز يرجع الي قصف الجزيئات على الجدار

علاقة ضغط الغاز بحجمة (P-V)

يمكن استخدام الجهاز في شكل 2-4 لايجاد العلاقة بين ضغط الغاز وحجمه.

فالغاز المطلوب استقصاءه محبوس داخل الحاقنة، ويدفع المكبس للدخل لزيادة ضغط الغاز، ويقاس الضغط بمقياس الضغط ،ويمكن قراءة حجم الغاز من على المقياس المدرج على الانبوب.



شكل 2 – 4 تحديد علاقة ضغط الغاز بحجمة (P-V) عند درجة حرارة ثابتة

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

كان روبرت بويل أول من استقصى العلاقة بين الضغط والحجم، وقد وجد أن ضغط كمية محددة من الغاز تناسب تناسباً عكسيا مع حجم الغاز عندما تكون درجة الحرارة ثابتة. ويمكن التعبير رياضياً عن ذلك كالتالي :

$$P \propto \frac{1}{V}$$

أو،

$$P = \frac{K}{V}$$

بمعنى، $PV = K$، حيث K كمية ثابته .

أو، $P_1V_1 = P_2V_2$

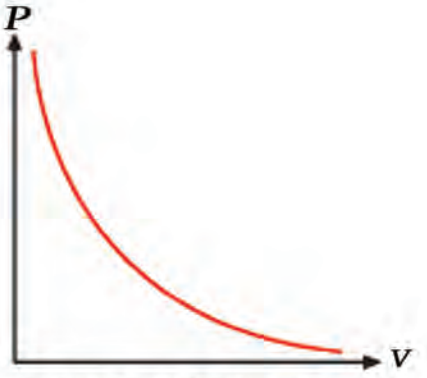
حيث

P_1، P_2 هما الضغط الابتدائي والضغط النهائي ،

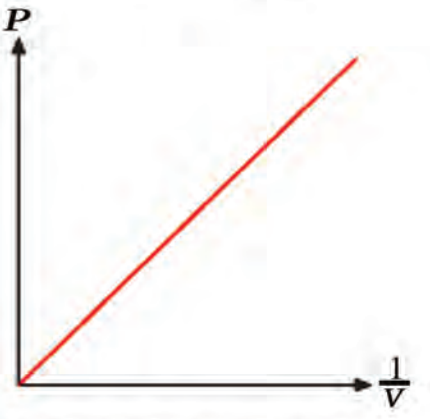
V_1، V_2 هما الحجم الابتدائي والحجم النهائي على الترتيب.

وعند رسم العلاقة البيانية P مقابل V **تكون النتيجة منحنى منتظما** كما في شكل 2-5 ولكن إذا رسمت العلاقة البيانية P مقابل $\frac{1}{V}$، تكون النتيجة خطا مستقيما (شكل 2-6)

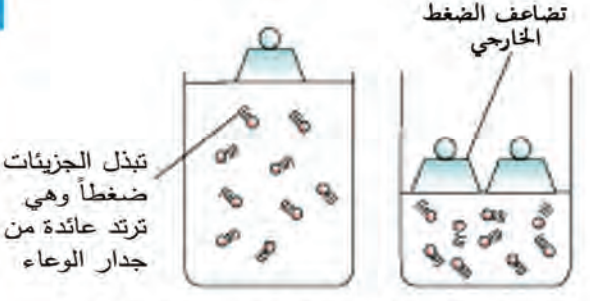
كيف يمكن تفسير تناسب الضغط تناسباً عكسياً مع الحجم باستخدام النموذج الحركي للغازات ؟ لقد رأينا أن الضغط يرجع ألى قصف الجزيئات على جدران الوعاء. والان عند خفض حجم الوعاء إلي النصف مثلاً فإن عدد الجزيئات سيتضاعف في كل وحدة حجم، مما يعني أن عدد تصادمات الجزيئات مع الجدران سيتضاعف كذلك، وعلية سيتضاعف الضغط . وفي الواقع وبنفس الاستنتاج إذا اصبح الحجم ثلث الحجم الأصلي فإن الضغط سيصبح ثلاثة أضعاف الضغط الاولى.هكذا نرى أن الضغط P يتناسب عكسيا مع الحجم V



شكل 2-5 تمثيل العلاقة البيانية P مقابل V منحنى منتظم



شكل 2-6 الخط المستقيم هو تمثيل العلاقة البيانية P مقابل $\frac{1}{V}$



شكل 2 – 7 يمكن استخدام النموذج الحركي للغازات لتفسيرتناسب ضغط الغاز تناسبا عكسيا مع الحجم

تذكر : $P_1V_1 = P_2V_2$

مثال محلول 2 – 1

تحتوي أسطوانة، مثبتا عليها مكبس، هواء تحت ضغط $1\times10^5\ Pa$ والهواء الآن في حالة انضغاط نتيجة لدفع المكبس بحيث تشغل الآن نفس كتلة الهواء خمس الحجم الأصلي دون أي تغير في درجة الحرارة.احسب ضغط الهواء.

الحل:

المعطيات : الضغط الابتدائي، $P_1 = 1\times10^5\ Pa$

لنفترض أن الحجم الابتدائي هو، V_1

فيكون الحجم النهائي، $V_2 = \frac{1}{5}V_1$

وبما أن، $P_1V_1 = P_2V_2$، حيث P_2 تساوي الضغط النهائي

$$\therefore P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2} = \frac{P_1V_1}{\frac{1}{5}V_1}$$

$$= 5P_1$$

$$= 5 \times 1\times10^5$$

$$= 5\times10^5\ Pa$$

إن الضغط النهائي الآن هو $5.0\times10^5\ Pa$ ،لاحظ أنه عند انضغاط الغاز يقل الحجم ويزيد الضغط.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

مثال محلول 2 - 2

يبين شكل 2-8 محقنا مدرجا بالسنتيمتر ، وله مكبس لايسرب الغاز . مساحة المقطع العرضي للحاقنة 10cm ويحتوي على كتلة من الغازات ذات ضغط 100 KPa والقراءة على المقياس 3 cm .ماذا يجب ان تكون علية قراءة المقياس اذا خفض الضغط الي 60 KPa تحت درجة حرارة ثابتة؟

شكل 2-8

الحل:

المعطيات :

الضغط الابتدائي، $P_1 = 100KPa = 1\times10^5\ Pa$

الضغط النهائي، $P_2 = 60KPa = 0.60\times10^5\ Pa$

$\because V = L\times A$

الحجم الابتدائي، $V_1 = 3\times10\ cm^3$

ولنفترض أن L هي قراءة الحجم النهائي على المقياس

الحجم النهائي، $V_2 = L\times10\ cm^3$

$$\because P_1V_1 = P_2V_2 \quad \therefore V_2 = \frac{P_1V_1}{P_2}$$

$$= \frac{1\times10^5 \times 3\times10}{0.60\times10^5}$$

$$= 5\times10\ cm^3$$

$$\therefore L = \frac{V_2}{10}$$

$$= 5\ cm$$

قراءة المقياس هي 5 cm ،لاحظ بما أن الضغط النهائي أقل من الضغط الايتدائي ، فيجب أن يكون الحجم أكبر مما كان علية الابتدائي.

تحد

تشيع رؤية فقاعات الهواء في حوض السمك . وتزيد الفقاعات في حجمها عند ارتفاعها من قاع الحوض الي اعلاة.وحجم فقاعه الهواء عند قاع حوض سمك يحتوي ماء 1mm وارتفاع مستوى الماء 1m

. ماحجم الفقاعة الهوائية عند ارتفاعها لقمة الحوض ؟ علما بأن كثافة الماء $p = 1000\ kgm^3$ والضغط الجوي، $p_0 = 1\times10^5 pa$ ، وعجلة الجاذبية، $g = 10\ m\ s^{-2}$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

لاستقصاء العلاقة بين الضغط وحجم عينة من الهواء عند درجة حرارة ثابتة.

الجهـاز: جهاز التداخل البيني لورشة عمل العلوم، مجس الضغط، حاقنة.

الإجراء: **1-** صل الحاقنة بمجس الضغط مستخدمًا أنبوبًا لدائنيًّا.

2- ابدأ بحجم من الهواء 20 m*l* ثم سجل الضغط.

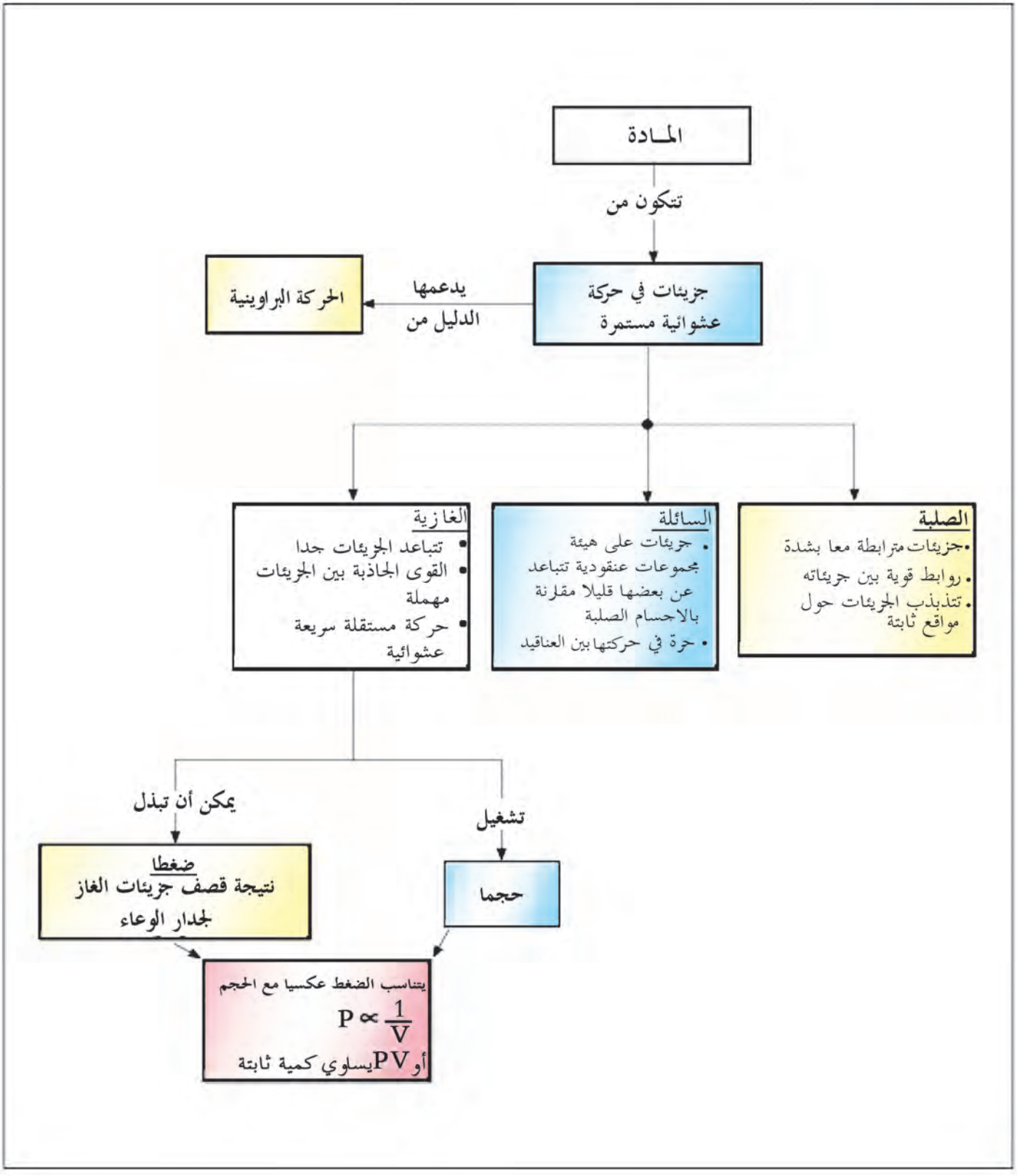
3- قلل الحجم بمقدار 2 m*l* ثم انتظر حتى تستقر قراءة الضغط قبل تسجيلها.

4- استمر في تقليل الحجم بمقدار 2 m*l* ثم افحص الضغط حتى تصل لحجم 10 m*l*.

5- بيِّن بالرسم العلاقة البيانية للحجم مقابل الضغط، ومقلوب الحجم مقابل الضغط.

6- ماذا تستنتج من نتائجك؟

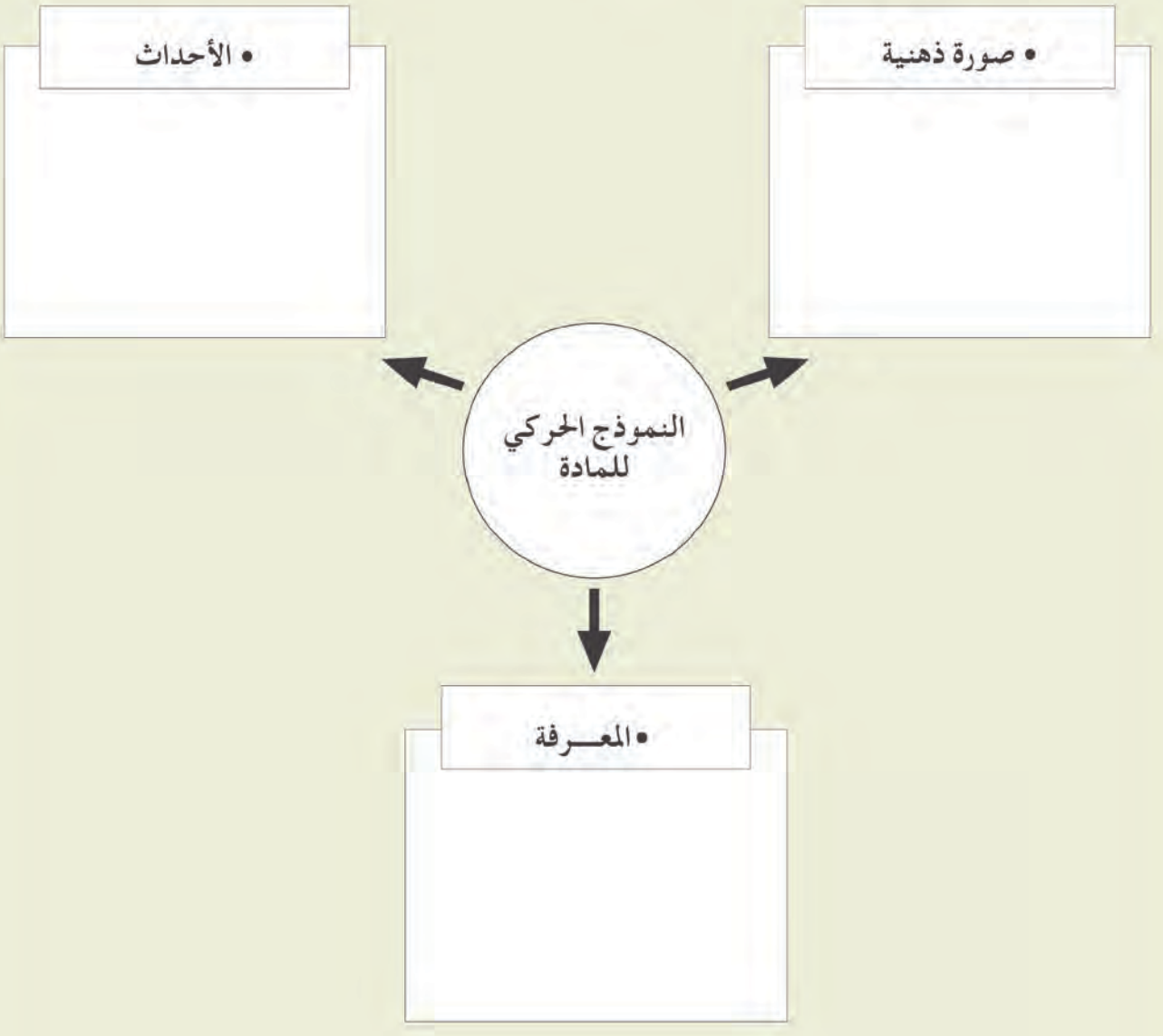
جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا



جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

المهارة: التذكر ــ بتكوين روابط

لقد درست في هذه الوحدة مفهوم «النموذج الحركي للمادة». وستحاول في هذا النشاط تذكر شيء يمكن ربطه بمفهوم «النموذج الحركي للمادة». أكمل المخطط التالي:



الصورة الذهنية: ما الصورة الذهنية التي تخطر ببالك عند التفكير في النموذج الحركي للمادة؟

الأحداث: ما الدليل أو الظواهر الفيزيائية التي تدعم هذا النموذج الحركي للمادة؟

المعرفة: الحقيقة هي جملة تصف العلاقة بين فكرتين أو أكثر. فما الحقائق التي تعلمتها عن ترتيب وحركة الجسيمات في الحالات الثلاث للمادة؟

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الجزء الأول أسئلة الاختيار من متعدد

1- تبين ظاهرة الحركة البراونية أن :
(أ) الجزيئات توجد، ويمكن رؤيتها كنقاط ساطعة تتحرك من مكان لآخر.
(ب) الجزيئات تطوف بشكل عشوائي وبسرعات عالية.
(جـ) جسيمات الدخان تسلك كجزيئات.
(د) جسيمات الدخان يمكن استخدامها كنماذج لجزيئات الهواء.

2- كيف تختلف حركة جزيئات السائل عن حركة جزيئات الغاز؟

	جزيئات السائل	جزيئات الغاز
(أ)	تتذبذب حول مواقعها المتوسطة	تتذبذب عشوائيًا
(ب)	تتحرك عشوائيًا	تتذبذب بفاعلية
(جـ)	تدور وتتذبذب عشوائيًا	تتذبذب عشوائيًا وبفاعلية
(د)	تتحرك عشوائيًا في السائل	تتحرك عشوائيًا بسرعات عالية

3- يحدث انتشار للغازات لأن جزيئات..
(أ) الغاز الموجودة بتركيز أعلى تبذل ضغطًا أعلى.
(ب) الغازات مختلفة
(جـ) الغازات تنجذب لبعضها
(د) الغازات تتحرك بشكل عشوائي.

4- طبقًا للنظرية الحركية للجزيئات فإن الضغط الذي يبذله الغاز يكون نتيجة..
(أ) تصادم جزيئات الغاز مع بعضها بسرعات عالية.
(ب) قصف جزيئات الغاز لجدار الوعاء.
(جـ) الحركة العشوائية لجزيئات الغاز.
(د) تباعد جزيئات الغاز عن بعضها.

5- يُحبس هواء تحت ضغط جوي (760 mm Hg) داخل وعاء كما هو مبين بالشكل.

عند جذب المكبس للخارج ببطء حتى يزيد الحجم بمقدار 20% مع بقاء درجة الحرارة ثابتة يصبح ضغط الهواء
(أ) 912 mm Hg (ب) 950 mm Hg
(جـ) 608 mm Hg (د) 633 mm Hg

الجزء الثاني الأسئلة التركيبية

1- مستخدمًا النظرية الحركية للمادة، ناقش كون للأجسام الصلبة حجمًا وشكلًا ثابتًا، وللسوائل حجمًا ثابتًا من دون شكل ثابت، بينما ليس للغازات حجم أو شكل ثابت.

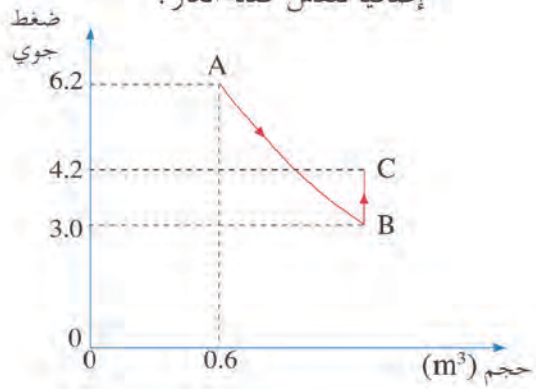
2 (أ) مستعينًا برسم يوضح الجهاز المطلوب وبياناته، كيف تبين الحركة البراونية لجسيمات الدخان في الهواء؟ ارسم كذلك المسار النموذجي لجسيم دخان في خلية الدخان.
(ب) ما تأثير رفع درجة حرارة جزيئات الهواء؟

3- فرق بين الحالات الثلاث للمادة: الصلبة، والسائلة، والغازية بدلالة:
(أ) حركة الجزيئات
(ب) المساحة التي تتواجد بين الجزيئات
(جـ) حجمها وشكلها

4- فيما يتعلق بالنظرية الحركية للغازات، اشرح زيادة ضغط الغاز المبذول عند خفض حجمه تحت درجة حرارة ثابتة.

5- حجم كتلة ثابتة من الغاز عند 760 mm Hg هي $1500\ cm^3$. فما الضغط إذا خُفض الحجم إلى $1000\ cm^3$ عند درجة حرارة ثابتة؟

6 (أ) يحتوي دورق محكم الغلق على غاز.
(1) صف حركة جزيئات الغاز.
(2) كيف تؤدي حركة جزيئات الغاز إلى ضغط يبذله الغاز على جدران الدورق؟
(ب) (1) اشرح المقصود بالحركة البراونية.
(2) مستعينًا برسم عليه البيانات، صف تجربة لشرح الحركة البراونية.
(جـ) يبين الرسم البياني تغيرات ضغط وحجم كتلة ثابتة من الغاز. فيمثل AB تغيرًا يحدث عند درجة حرارة ثابتة 20°C، ويمثل BC تغيرًا إضافيًا لنفس كتلة الغاز.



جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

(1) استخدم قيم الضغط والحجم المعطاة على الرسم لحساب الحجم عند B .

(2) اشرح طبيعة التغير الذي يمثله BC .

7 – يعتبر إطار سيارة مملوءًا بالهواء ذا حجم ثابت بصرف النظر عن أية تغيرات في درجة الحرارة أو الضغط .
استخدم النظرية الحركية للغازات للإجابة عما يلي :

(أ) كيف يبذل الهواء في إطار السيارة ضغطًا على جدران الإطار الداخلية؟

(ب) لماذا يكون الضغط هو نفسه عند جميع النقاط على الجدارن الداخلية للإطار؟

(جـ) ماذا يحدث للضغط على الجدران الداخلية للإطار إذا زادت درجة حرارة الهواء؟ فَسِّر إجابتك .

(د) يضخ هواء أكثر في الإطار بينما تبقى درجة الحرارة ثابتة حتى تصبح الجزيئات ضعف ما كانت عليه من قبل . لماذا تتوقع أن يتضاعف الضغط؟

8– (أ)

يبين الرسم على اليمين الوضع المتوازن عند درجة 0°C لشريحة مطاطية رقيقة موضوعة بإحكام على الطرف المفتوح للكوب الزجاجي الفارغ .

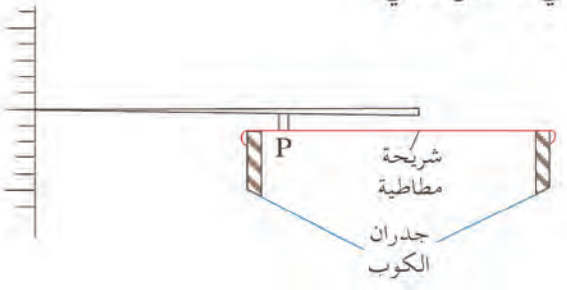
وُضع الكوب في خزانة ساخنة درجة الحرارة فيها 65°C ولم يتغير الضغط الجوي .

(1) ارسم على الكوب الأيسر موضع التوازن الجديد التقريبي للشريحة المطاطية .

(2) علل التغير في موضع توازن الشريحة المطاطية .

(3) علل حقيقة حدوث التغير ببطء .

(ب) لُصق مؤشر خفيف على الشريحة المطاطية بحيث يدور حول النقطة P بالقرب من حافة الكوب كما هو مبين في الشكل التالي :



يعمل هذا الجهاز كترمومتر بسيط . اذكر عيبين لمثل ذلك الترمومتر .

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الوحدة 3

السعة الحرارية

Heat Capacity

درسنا في الوحدة الخامسة كيفية التفكير في المادة على أنها تتكون من جزيئات في حركة عشوائية مستمرة، ونقول أن لديها طاقة داخلية لأن الجزيئات في حالة حركة. وسنتعلم في هذه الوحدة عن الحرارة. وعندما نقول أننا نمد المادة بطاقة حرارية، فما نعنيه هو أننا نزيد من الطاقة الداخلية للمادة.

مخرجات التعلم

في هذه الوحدة، سوف

- ☐ تصف الارتفاع في درجة حرارة الجسم بدلالة الزيادة في طاقته الداخلية.
- ☐ تُعرِّف مصطلحي: السعة الحرارية، والحرارة النوعية.
- ☐ تتذكر وتطبق العلاقة: الطاقة الحرارية تساوي الكتلة X الحرارة النوعية X التغير في درجة الحرارة.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

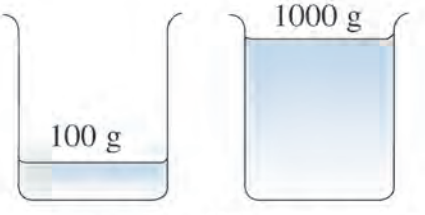
3 ـ 1 الحرارة
Heat

الحرارة هي الطاقة الحرارية التي تنتقل من جسم أسخن إلى آخر أبرد . ووحدة قياس الطاقة هي الجول (J) . وعند تسخين بعض الماء فنحن في الحقيقة نمده بطاقة .

ونعرف من قانون حفظ الطاقة أن الحرارة التي نمدها لا تختفي، ولكنها تتحول في الحقيقة إلى نوع آخر من الطاقة . تنتقل في هذه الحالة الحرارة التي مُد الماء بها إلى الطاقة الداخلية لجزيئات الماء، والتي تكون في صورتين : طاقة حركية، وطاقة كامنة . ومن ثم فإن الحرارة هي قياس للتغير في مجموع الطاقة الداخلية لجسم ما .

3 ـ 2 السعة الحرارية
Heat Capacity

إذا سخنا 100 g ، و 1000 g من الماء من 30°C إلى 60°C باستخدام نفس السخان، سنجد أن كمية 1000 g من الماء تستغرق 10 أضعاف المدة الزمنية لتسخين 100 g من الماء لنفس تغير درجة الحرارة . وبما أن قدرة السخان هي نفسها فإن كمية 1000 g من الماء تحتاج 10 أضعاف كمية الحرارة التي تحتاجها 100 g من الماء لترتفع إلى نفس درجة الحرارة .



شكل 3 ـ 1 تحتاج كمية 1000 g من الماء 10 أضعاف كمية الحرارة مقارنة بكمية 100 g من الماء لتصل إلى نفس الزيادة في درجة الحرارة

تبين هذه التجربة أن كمية الحرارة المطلوبة لرفع درجة حرارة جسم ما تعتمد على كتلة ذلك الجسم، مما يقودنا إلى مصطلح السعة الحرارية .

السعة الحرارية هي كمية الحرارة المطلوبة لرفع درجة حرارة جسم ما درجة كلفن واحدة (أو درجة سلسيوس واحدة) .

ورمز السعة الحرارية هو C .

ووحدة قياس السعة الحرارية هي $J\ K^{-1}$، أو $J\ °C^{-1}$

وعليه نقول أن لدى 1000 g من الماء سعة حرارية تعادل 10 أضعاف السعة الحرارية لكمية 100 g من الماء .

ويمكن التعبير رياضيًا عن السعة الحرارية C بما يلي :

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

حيث Q تساوي الحرارة الممتصة مقدرة بالجول (J)،

ΔT تساوي التغير في درجة الحرارة مقدرة بالكلفن (K)، أو بدرجة سلسيوس (°C) .

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

مثال محلول 3 – 1

في تجربة بسيطة، تتطلب 100 g من الماء 12600 J من الحرارة لرفعها من 30°C إلى 60°C.

1– أوجد السعة الحرارية لـ 100 g ماء.

2–أوجد السعة الحرارية لـ 1000 g ماء.

3–أوجد الحرارة المطلوبة لرفع درجة حرارة 1000 g ماء من 30°C إلى 40°C.

الحـل:

1– المعطيات: الحرارة المكتسبة، $Q = 12600\ J$

الارتفاع في درجة الحرارة، $\Delta T_c = 60°C - 30°C = 30°C$

ومن المعادلة $C = \frac{Q}{\Delta T_c}$

$$= \frac{12600}{30}$$

$$= 420\ J\ K^{-1}$$

2– بما أن كتلة 1000 g من الماء تعادل 10 أضعاف كتلة 100 g من الماء، فإن السعة الحرارية لكتلة 1000 g ماء تساوي السعة الحرارية لكتلة 100 g من الماء × 10

$$C = 10 \times 420$$

$$= 4200\ J\ K^{-1}$$

3– الحرارة المطلوبة، $Q = C\Delta T_c$

$$= 4200\ (40 - 30)$$

$$= 42000\ J$$

تذكر:

السعة الحرارية = الطاقة الحرارية / تغير درجة الحرارة ،

$$C = \frac{(Q)}{\Delta T}$$

وتعتمد أيضًا السعة الحرارية على مادة الجسم. فيحتاج على سبيل المثال الألومنيوم حرارة أكثر لترتفع درجة حرارته 1 K مقارنة بنفس الكتلة من النحاس. تحتاج في الواقع 100 g ألومنيوم 900 J من الحرارة لرفع درجة حرارته 10°C في حين تحتاج 100 g من النحاس 400 J فقط من الحرارة لرفع درجة حرارته 10°C.

3–3 الحرارة النوعية

Specific Heat Capacity

رأينا في الجزء 3–2 أن السعة الحرارية تعتمد على كتلة، وكذلك على مادة الجسم. وعليه يكون أكثر ملائمة فحص السعة الحرارية لكل وحدة كتلة أو ما يسمى بالحرارة النوعية للمادة.

وتعرَّف الحرارة النوعية بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 kg (وحدة كتلة) من مادة ما 1 K، أو 1°C.

ورمز الحرارة النوعية هو c.

ورياضيًّا يمكن كتابة معادلة الحرارة النوعية على الصورة:

$$c = \frac{C}{m} = \frac{1}{m}\left(\frac{Q}{\Delta T}\right)$$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

حيث C تساوي السعة الحرارية
Q تساوي الحرارة المكتسبة أو المفقودة
ΔT تساوي تغير درجة الحرارة
m تساوي كتلة المادة

ووحدة قياس الحرارة النوعية هي $J\ kg^{-1}\ K^{-1}$، أو $J\ kg^{-1}\ ^{\circ}C^{-1}$. ويمكننا التعبير عن المعادلة كما يلي:

$C = mc$ [السعة الحرارية تساوي الكتلة × الحرارة النوعية]

و $Q = mc\Delta T$ [الطاقة الحرارية تساوي الكتلة × الحرارة النوعية × التغير في درجة الحرارة]

4 – 3 معمل تقانة المعلومات
The IT Laboratory

لتعيين الحرارة النوعية لجسم صلب.

الجهاز: أسطوانة مصمتة ذات تجاويف، سخان، فولتميتر، أميتر، مصدر قدرة 12 V، مجس لدرجة الحرارة، جهاز جمع البيانات لورشة عمل علوم، ميزان الكتل.

الإجراء:

1- إن الجسم الصلب المطلوب تعيين حرارته النوعية، يكون في شكل كتلة أسطوانية ذات تجويفين.

2- مستخدمًا ميزان الكتلة سجل كتلة m (kg) الأسطوانة.

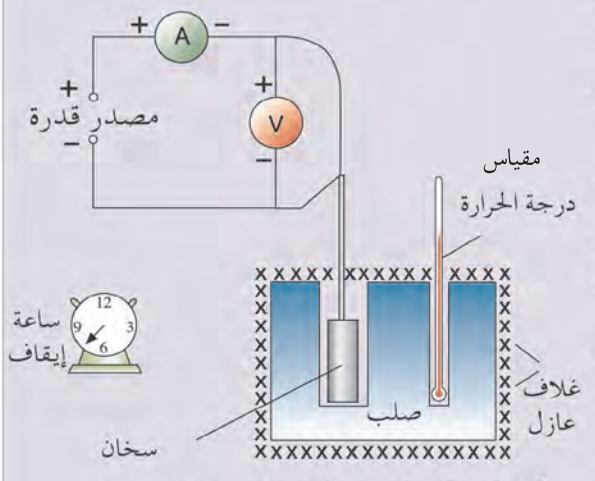
3- غلف الأسطوانة بقطعة من الصوف، لمنع فقد الحرارة وانتقالها لما يحيط بها.

4- صل السخان بمصدر القدرة 12 V، وضعه في أحد تجويفات الأسطوانة، ثم ضع مجس درجة الحرارة في التجويف الآخر. صل مجس درجة الحرارة بمدخل لجهاز التداخل البيني.

5- اضبط جهاز جمع البيانات لتسجيل درجة الحرارة ثم ابدأ في تسجيلها. ولاحظ درجة الحرارة الإبتدائية T_i.

6- شغل مصدر القدرة لمدة معينة t s (حوالي 300 s).

7- بعد تلك المدة t. اقفل السخان، واستمر في رصد درجة الحرارة لفترة. لاحظ أعلى درجة حرارة T_f وصل إليها السخان.



شكل 3 – 2 تحديد الحرارة النوعية لجسم صلب

العملية الحسابية: نفترض في هذه التجربة أن الطاقة الحرارية التي يقوم السخان بإمدادها قد امتصها الجسم الصلب كاملة. وهذا هو سبب أهمية العزل السليم في هذه التجربة باستخدام عازل جيد مثل الصوف. قدرة السخان، $P = IV$. وبما أنه يستخدم لمدة ts فإن الطاقة الحرارية التي يوفرها السخان، $Q = IVt$، ويكتسب الجسم الأسطواني هذه الكمية من الحرارة.

وعليه فمن المعادلة: $Q = mc\Delta T$، يكون لدينا:

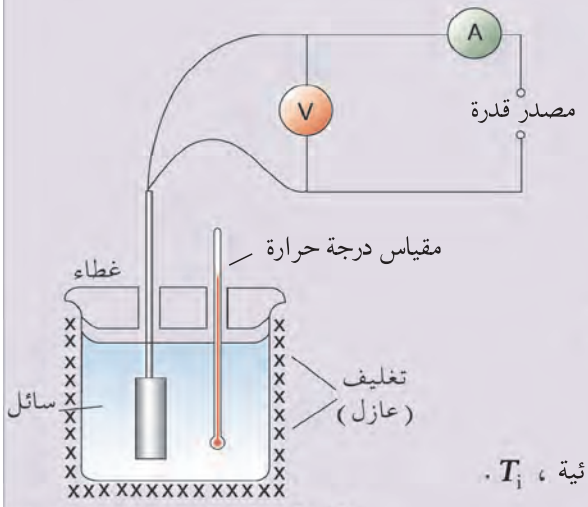
$$\left[\text{الحرارة النوعية تساوي } \frac{\text{كمية الطاقة الحرارية}}{\text{الكتلة} \times \text{التغير في درجة الحرارة}}\right] \quad c = \frac{Q}{m\Delta T}$$

$$\left[\text{الحرارة النوعية تساوي } \frac{\text{قدرة السخان} \times \textbf{الزمن المستغرق}}{\text{الكتلة (درجة الحرارة النهائية – درجة الحرارة الإبتدائية)}}\right] = \frac{IVt}{m(T_f - T_i)}$$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

لتعيين الحرارة النوعية لسائل ما.

الجهاز: مُسعِّر نحاسي (جهاز لقياس السعة الحرارية)، سخان، مقياس درجة حرارة، مصدر قدرة 12 V، فولتمتر، أميتر، مسجل بيانات ورشة عمل العلوم، ميزان كتل.



شكل 3 – 3 تحديد الحرارة النوعية لسائل

الإجراء:

1- زن السائل، وسجل كتلة السائل m_1.

2- احصل على كتلة المسعر النحاسي، m_c. (المسعِّر النحاسي هو وعاء نحاسي والحرارة النوعية للنحاس c_c هي $400\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$).

3- صب السائل الذي نريد تعيين حرارته النوعية c_1 في المسعر النحاسي.

4- ضع السخان والترمومتر في السائل. وتأكد أن المسعر النحاسي مغلف بشكل صحيح (انظر شكل 3 – 3).

5- صل مجس درجة الحرارة بجهاز التداخل البيني، ثم شغل مسجل البيانات لتسجيل درجة الحرارة.

6- ابدأ بتسجيل درجة الحرارة، ولاحظ درجة الحرارة الإبتدائية، T_i.

7- شغل مصدر القدرة لمدة معينة ts (حوالي 300 s).

8- اقفل السخان بعد هذه المدة. ثم استمر في تسجيل درجة الحرارة لفترة. لاحظ أعلى درجة وصل إليها السخان T_f.

العملية الحسابية: قدرة السخان تساوي IV

كمية الطاقة الحرارية التي يوفرها السخان، $Q = IVt$.

كمية الطاقة الحرارية التي اكتسبها السائل تساوي $m_1c_1\Delta T$

كمية الطاقة الحرارية التي اكتسبها المسعر النحاسي تساوي $m_cc_c\Delta T$

ونفترض أن السائل والمسعر قد اكتسبا جميع الحرارة التي تم إمدادها لأنه لم تفقد حرارة إلى الأجسام المحيطة بسبب التغليف الجيد.

أي: الحرارة المكتسبة تساوي الحرارة التي اكتسبها السائل + الحرارة التي اكتسبها المسعر.

$$IVt = m_1 c_1 \Delta T + m_c c_c \Delta T$$

$$\therefore c_1 = \frac{IVt - m_c c_c (T_f - T_i)}{m_1 (T_f - T_i)}$$

ويبين جدول 3 – 1 الحرارة النوعية لبعض المواد الشائعة. وعندما نقول أن الحرارة النوعية للماء، $c = 4200\ J\ kg^{-1}\ °C^{-1}$، نعني أن 4200J من الحرارة مطلوبة لرفع درجة حرارة 1 kg ماء بمقدار 1°C. ومن ناحية أخرى إذا أمددنا 4200 J من الحرارة لـ 1 kg نحاس، سترتفع درجة حرارة 1 kg من النحاس بمقدار:

$$\Delta T_c = \frac{Q}{mc}$$

$$= \frac{4200}{1 \times 400}$$

$$= 10.5°C$$

المادة	الحرارة النوعية ($J\ kg^{-1}\ K^{-1}$)
الرصاص	130
الزئبق	140
النحاس الأصفر	380
الزنك	390
النحاس	400
الحديد	460
الزجاج	670
الألومنيوم	900
كحول ميثيلي	2400
ماء البحر	3900
ماء	4200

جدول 3 – 1 الحرارة النوعية لبعض المواد الشائعة

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

وعليه نرى من المقارنة أن المواد ذات الحرارة النوعية المنخفضة ترتفع درجة حرارتها لدرجة حرارة أعلى من المواد ذات الحرارة النوعية الاعلى إذا مدت بنفس كمية الحرارة

مثال محلول 3 – 2

يمد ملف تسخين كهربائي 50 W من القدرة لقالب فلزي كتلته 0.60 kg، ويرفع درجة حرارته من 20 °C إلى 45 °C في 90 s. احسب الحرارة النوعية للفلز. ما الفرض الذي استعملته للوصول إلى إجابتك؟

الحل:

الفرض: لا تكتسب الأجسام المحيطة أية حرارة، بمعنى أن جميع الحرارة التي يمدها السخان يكتسبها الفلز فقط.

المعطيات: قدرة السخان، $P = 50\ W$

الوقت المستغرق، $t = 90\ s$

كتلة الفلز، $m = 0.60\ kg$

التغير في درجة الحرارة، ΔT_c يساوي درجة الحرارة النهائية - درجة الحرارة الابتدائية

$$\Delta T_c = 45 - 20$$
$$= 25\ °C$$

كمية الطاقة الحرارية التي يمدها السخان تساوي قدرة السخان × الوقت المستغرق

$$= P \times t = 50 \times 90 = 4500\ J$$

كمية الطاقة الحرارية التي يكتسبها الفلز تساوي $(mc\Delta T)$

∴ كمية الطاقة الحرارية التي يمدها السخان تساوي الحرارة التي يكتسبها الفلز

أي أن $Pt = (mc\Delta T)$

$$\therefore c = \frac{Pt}{m\Delta T}$$
$$= \frac{4500}{(0.60 \times 25)}$$
$$= 300\ J\ kg^{-1}\ °C^{-1}$$

ومن ثم فإن الحرارة النوعية للفلز هي $300\ J\ kg^{-1}\ °C^{-1}$

تذكر:

الحرارة النوعية تساوي

الطاقة الحرارية / (الكتلة × تغير درجة الحرارة)

$$c = \frac{Q}{m \times \Delta T}$$

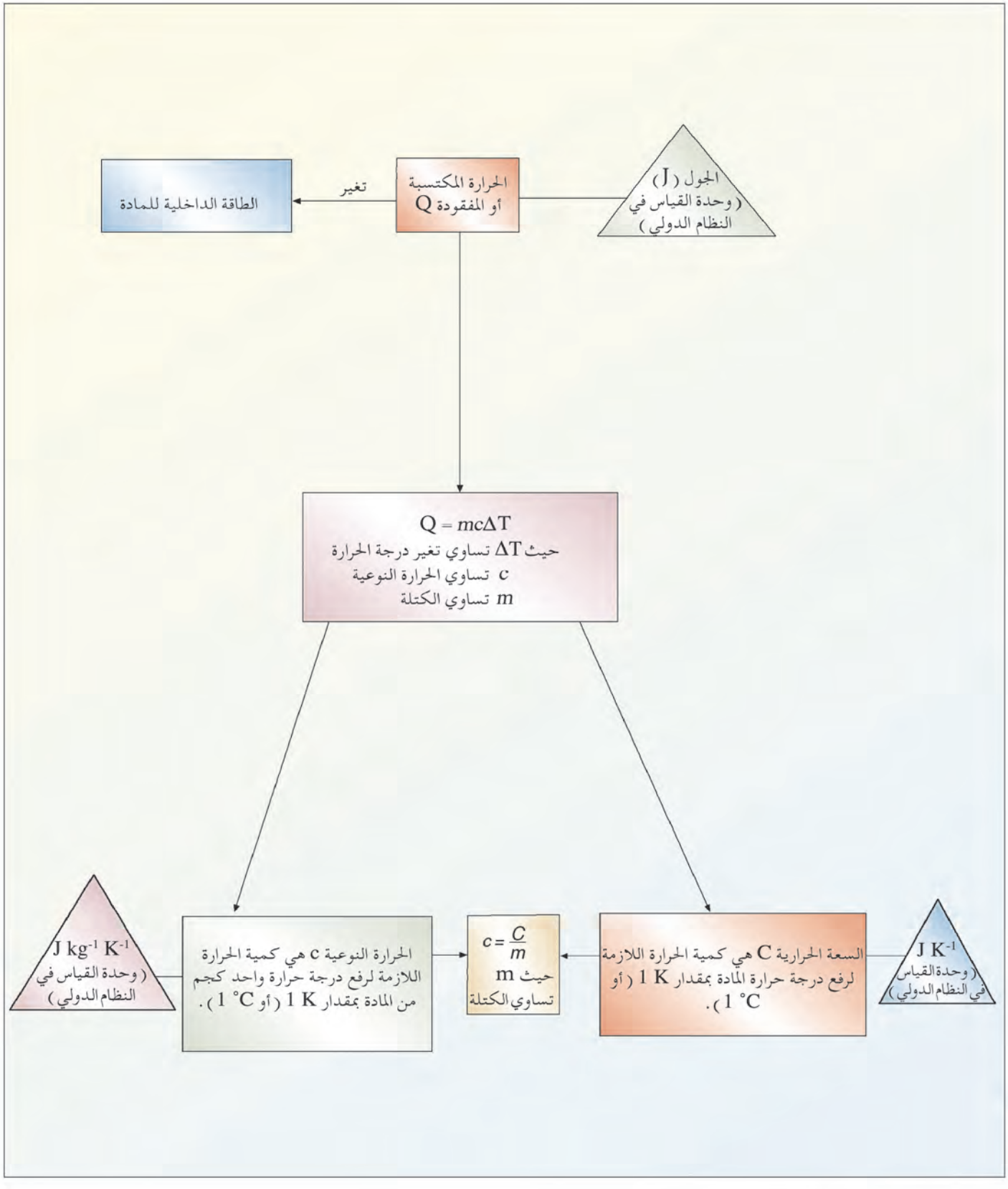
أسئلة التقويم الذاتي

(أ) تهبط في ليلة هادئة صافية درجة حرارة سطح البحر أبطأ من درجة حرارة الأرض المجاورة. فسر تلك المشاهدة.

(ب) تكون السعة الحرارية لمزدوجة حرارية صغيرة جدًا، لماذا يعتبر ذلك ميزة عند استخدامها لقياس درجة حرارة تتغير بشكل سريع؟

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

خريطة مفاهيم



جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

المهارة: التذكر بتكوين روابط

لقد درست في هذه الوحدة مفهوم «السعة الحرارية». وستقترح في هذا النشاط تعريفًا مكافئًا للسعة الغذائية بدراسة المثال التالي:

«يبحث رجل جائع عن طعام. يذهب إلى أحد مطاعم الدجاج المشوي، ويتناول بعض قطع من الدجاج ليملأ معدته».

في الفراغ التالي: اكتب تعريفًا للسعة الحرارية.

في الفراغ التالي: اكتب التعريف المكافىء للسعة الغذائية باستخدام المثال المعطى.

ناقش كيفية مد هذا المثال ليتناول مادتين مثل الماء والرمل ذوات السعة الحرارية المختلفة.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

التمرين الثاني

الجزء الأول أسئلة الاختيار من متعدد

1- عند إمداد شكل كروي فلزي بالحرارة، أي من التغيرات التالية سيحدث؟

(أ) تزيد كتلة الشكل الكروي.
(ب) ينقص حجم الشكل الكروي.
(جـ) تزيد كثافة الشكل الكروي.
(د) تزيد الطاقة الداخلية للشكل الكروي.

2- الحرارة النوعية للمادة هي كمية الحرارة المطلوبة لكي

(أ) نرفع درجة حرارة المادة بمقدار 1 كلفن.
(ب) نصهر 1 kg من المادة.
(جـ) نرفع درجة حرارة 1 kg من المادة بمقدار 1 كلفن.
(د) نزيل بالغليان 1 kg من المادة.

3- عند تسخين أسطوانة من النحاس الأصفر كتلتها 0.24 kg باستخدام سخان 2 kW، تزيد درجة حرارتها من 30°C إلى 100°C في 3.2 s. ما الحرارة النوعية للنحاس الأصفر؟

(أ) $125\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$.
(ب) $169\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$.
(جـ) $381\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$.
(د) $400\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$.

4- تُركَ فنجان قهوة درجة حرارته 80°C ليبرد حتى 30°C. فإذا كانت السعة الحرارية للفنجان والقهوة هي $2\ kJ\ K^{-1}$، ما كمية الحرارة المنبعثة أثناء التبريد؟

(أ) 0.04 kJ (ب) 60 kJ
(جـ) 100 kJ (د) 160 kJ

5- كتلة من النحاس 4 kg حرارتها النوعية $400\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$ استخدم سخان بقدرة 100 W في تسخينها لمدة 160 s. ما ارتفاع درجة الحرارة؟

(أ) 10 K (ب) 160 K
(جـ) 16 K (د) 100 K

الجزء الثاني الأسئلة التركيبية:

1- فرِّق بين السعة الحرارية C والحرارة النوعية c لجسم ما. كيف يرتبطان؟

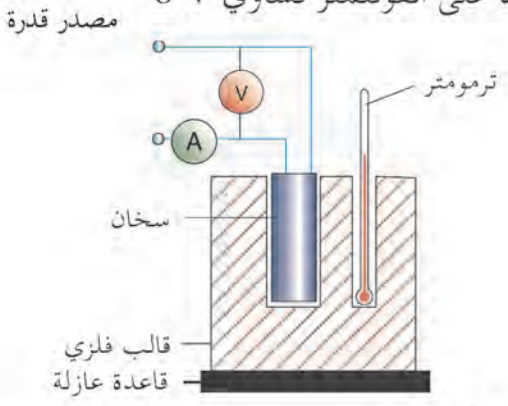
2- غلاية كهربائية قدرتها 25 W. احسب:

(أ) كمية الحرارة المولَّدة في مدة 2 s.
(ب) ارتفاع درجة حرارة 150 g من الماء إذا تم تشغيل الغلاية الكهربائية لمدة 5 min، وكانت الحرارة النوعية للماء هي $4\ J\ g^{-1}°C^{-1}$.

3- غُمر سخان قدرته 500 W بأكمله في قالب فلزي ضخم كتلته 10 kg ودرجة حرارته 30°C. ارتفعت درجة حرارة الفلز خلال 6.3 min إلى 80°C. احسب الحرارة النوعية للفلز.

4- يستخدم الجهاز الموضح في الرسم التالي لتحديد الحرارة النوعية لقالب فلزي مجهول. ولقد شُغلت الدائرة الكهربائية لفترة زمنية 500 s وتم الحصول على القراءات التالية:

التغير في درجة الحرارة يساوي 50°C
كتلة القالب الفلزي تساوي 1 kg
القراءة على الأميتر تساوي 5 A
القراءة على الفولتمتر تساوي 8 V



مستخدمًا البيانات السابقة، احسب الحرارة النوعية للفلز المجهول.

5- علل ما يلي:

(أ) المقلاة التي تستخدم في الطهي يكون لها سعة حرارية منخفضة.
(ب) ترتفع درجة حرارة سطح البحر في يوم مشمس صافي أبطأ من درجة حرارة الأرض المجاورة.

6- يستخدم موقد اشتعال لتسخين 0.50 kg من الماء في كأس. وارتفعت درجة حرارة الماء من 15°C إلى 60°C خلال 60 s. وبافتراض أن الحرارة النوعية للماء هي $4200\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$، احسب المعدل المتوسط الذي تنتقل به الحرارة إلى الماء.

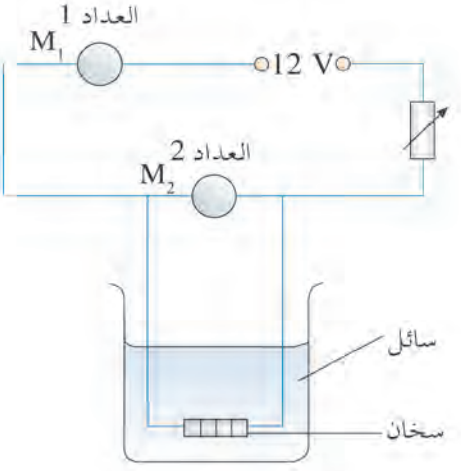
7- تم توصيل ملف تسخين ذي شدة جهد كهربائي منخفض ومقاومة 3 Ω بمصدر قدرة 12 V ذي مقاومة داخلية لاتذكر. احسب المعدل الذي تنتج به الحرارة داخل الملف.

يوضع ملف التسخين في 0.20 kg من الماء موضوع في وعاء مغلف ذي سعة حرارية لاتذكر. احسب الزمن المستغرق لرفع درجة حرارة الماء من 16°C إلى 40°C

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

[تذكر أن الحرارة النوعية للماء هي $4200\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$].

8- يبين الشكل جهازًا يستخدم لتحديد قيمة الحرارة النوعية لسائل ما.



(أ) ما الكمية التي يقيسها كل من العداد M_1، M_2؟

(ب) أثناء التجربة تفقد كمية كبيرة من الحرارة من سطح السائل.

(1) صف عمليتين مسئولتين عن هذا الفقد للحرارة.

(2) اقترح أسلوبًا يمكن بواسطته تقليل فقد الحرارة.

(جـ) زيادة درجة حرارة 0.10 kg من السائل في التجربة من 25°C إلى 50°C استغرق 300 s. وأثناء تلك المدة الزمنية، كانت الطاقة التي أمدها السخان 13600 J، وكان الجهاز يفقد حرارة بمعدل متوسط $12\ J\ s^{-1}$. وبافتراض أن السعة الحرارية للوعاء يمكن تجاهلها، احسب قيمة الحرارة النوعية للسائل.

(د) استخدام تيار أكبر في التجربة درجة الحرارة بسرعة أكبر، فلماذا يؤدي ذلك إلى التوصل إلى قيمة أكثر دقة للسعة الحرارية النوعية؟

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الوحدة 4

الانصهار والغليان

Melting and Boiling

نتعلم من دراسة الانصهار والغليان كيفية تنظيم الجزيئات لنفسها في السوائل، والغازات، والأجسام الصلبة. ففي الانصهار يتغير الشكل الصلب للمادة إلى شكلها السائل، ويتطلب ذلك طاقة حرارية كثيرة. وفي الغليان يتغير الشكل السائل للمادة إلى شكلها الغازي، الأمر الذي يتطلب طاقة حرارية أكثر. وتقودنا تلك المشاهدات لتطوير أفكارنا عن سلوك الجزيئات في الأجسام الصلبة، والسوائل، والغازات.

مخرجات التعلم

في هذه الوحدة، سوف:

- ☐ تصف الانصهار / التجمد، والغليان / التكثيف كعمليات تحويل للطاقة من دون أي تغير في درجة الحرارة.
- ☐ تفسر الفرق بين الغليان والبخر.
- ☐ تعرَّف مصطلحات: *الحرارة الكامنة، والحرارة الكامنة النوعية*.
- ☐ تشرح الحرارة الكامنة بدلالة السلوك الجزيئي.
- ☐ تتذكر وتطبق العلاقة: *الطاقة الحرارية تساوي الكتلة X الحرارة الكامنة النوعية*.
- ☐ ترسم وتفسر منحنى تبريد بياني.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

4 – 1 الانصهار والتجمد (التصلب)

Melting and Solidification

الانصهار هو تحول الحالة من صلبة إلى سائلة دون أي تغير في درجة الحرارة.

الانصهار

عند تحول جسم صلب إلى سائل بالتسخين، نطلق على حالة التحول تلك **انصهارًا**. وبالنسبة لأي مادة خام، يحدث الانصهار عند درجة حرارة محددة أو ثابتة، تُعرف **بدرجة انصهار المادة**. ويبين جدول 4 – 1 درجات انصهار بعض المواد.

جدول 4 – 1 درجة انصهار بعض المواد

المادة	درجة الانصهار (°C)
الكحول الإثيلي	-117
الثلج	0
الشمع	57
القصدير	232
الذهب	1067

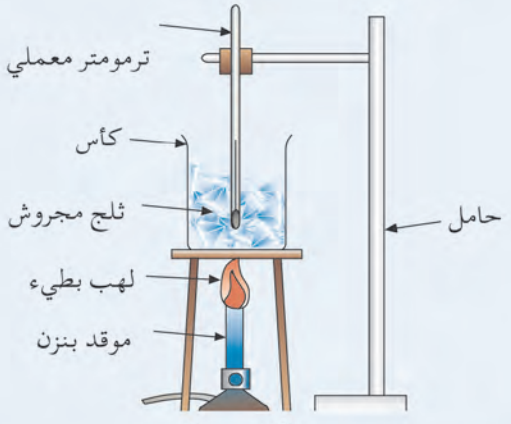
شكل 4 – 1 الانصهار

وتبين التجربة التالية كيفية الحصول على درجة انصهار مادة ما باستخدام منحنى تسخين.

تجربة 4–1

لتعيين درجة انصهار الثلج.

الجهاز: مُبَرِّد للتجميد يحتوي على ثلج عند 10°C– أو أقل، ترمومتر معملي، حامل، موقد بنزن، كأس زجاجي، ساعة إيقاف.



شكل 4 – 2

الإجراء:

1– خذ بعض الثلج من مبرد التجميد، ثم اجرشه وضعه في كأس.

2– ضع الترمومتر المعملي برفق في الثلج حتى تكون البصيلة داخل الثلج تمامًا دون أن تلمس قاع الكأس.

3– أرصد درجة الحرارة ثم ابدأ التسخين بلهب بطيء من موقد بنزن.

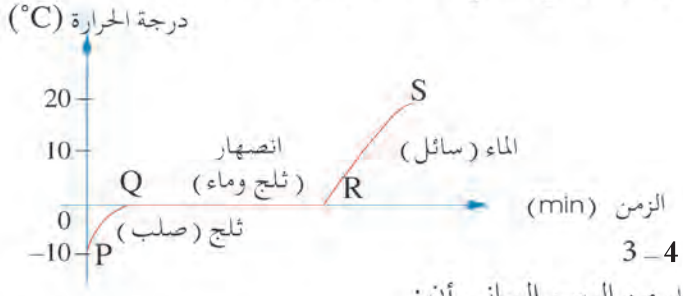
4– أرصد درجة الحرارة كل دقيقة إلى أن ينصهر كل الثلج، وتصل درجة حرارة الماء إلى 20°C.

5– ارسم العلاقة البيانية لدرجة الحرارة مقابل الزمن.

6– استنتج من العلاقة البيانية نقطة انصهار الثلج.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

يبين الرسم البياني التالي العلاقة بين درجة الحرارة والزمن :



شكل 4 – 3

نشاهد من الرسم البياني أن :

1- درجة حرارة الثلج الصلب ترتفع بالتسخين من $-10^{\circ}C$ إلى $0^{\circ}C$ كما هو موضح بالجزء PQ من المنحنى . يوجد تغير في درجة الحرارة .

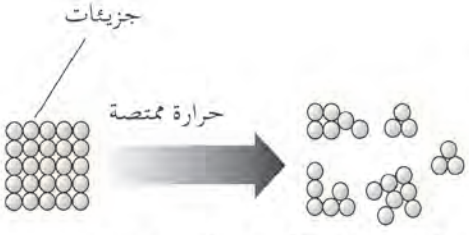
2- تبقى درجة الحرارة بعد ذلك ثابتة عند $0^{\circ}C$ أثناء انصهار الثلج كما هو موضح بالجزء المستقيم QR للمنحنى، ويحدث ذلك رغم امتصاص الحرارة . لا يوجد تغير في درجة الحرارة .

3- عند انصهار كل الثلج، ترتفع درجة حرارة الماء السائل من $0^{\circ}C$ إلى $20^{\circ}C$ كما يوضحه الجزء RS من المنحنى . و يوجد تغير في درجة الحرارة كما في حالة الثلج الصلب .

وبناءً على هذه المشاهدات، يمكننا استنتاج أن :

1- درجة انصهار الثلج هي $0^{\circ}C$ لأن تلك هي درجة الحرارة الثابتة التي ينصهر عندها الثلج ليصبح ماءً .

2- أثناء تغير الحالة من ثلج إلى ماء لا يوجد تغير في درجة الحرارة رغم وجود كمية من الحرارة يتم امتصاصها . أين ذهبت هذه الحرارة؟ يمكن تفسير ذلك بالاستفادة من النموذج الجزيئي الحركي للمادة كما هو مبين في شكل 4 – 4 .



شكل 4 – 4 الانصهار أثناء حدوثه

نرى من شكل 4 – 4 أن الحرارة التي امتصها الجسم الصلب تستخدم لأداء دور في تفتيت الروابط البين جزيئية بين جزيئات الجسم الصلب . ولهذا يمكن القول بأنه مطلوب طاقة لتفتيت الروابط البين جزيئية .

أثناء الانصهار، تبقى درجة الحرارة ثابتة عند درجة الانصهار، وتمتص المادة الحرارة.

وعند تفتت الروابط البين جزيئية، يمكن للجزيئات التحرك إلى خارج مواقعها الثابتة الأولى . ونقول أن الجسم الصلب قد انصهر، أي قد حدث تغير من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة . ويفسر ذلك عدم وجود تغير في درجة الحرارة أثناء الانصهار .

وتسمى الحرارة المكتسبة دون تغير في درجة الحرارة **حرارة الانصهار** الكامنة للمادة . فالحرارة الكامنة تعني الحرارة المختفية . ويعطينا الجزء (4 – 3) تحليلًا كميًّا لحرارة الانصهار الكامنة .

تتغير درجة الحرارة فقط عند بقاء المادة في نفس الحالة أثناء تسخينها (كما في حالة تسخين الثلج الصلب من $-10^{\circ}C$ إلى $0^{\circ}C$، والماء السائل من $0^{\circ}C$ إلى $20^{\circ}C$) .

شكل 4 – 5 التجمد

التجمد (التصلب)

تسمى العملية العكسية لتحويل سائل إلى جسم صلب **تجمد** . تتجمد أي مادة خام عند درجة حرارة مساوية لدرجة انصهارها . فيتجمد على سبيل المثال الماء ليصبح ثلجًا عند $0^{\circ}C$، ونسمى درجة الحرارة $0^{\circ}C$ درجة تجمد الماء . وتبين التجربة التالية كيفية الحصول على درجة تجمد مادة ما باستخدام منحنى تبريد .

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

تجربة 4 – 2

لتعيين درجة تجمد (نقطة انصهار) النفتالين بواسطة منحنى تبريد .

الجهاز : أنبوب غليان، كأس، حامل، نفتالين، ماء، ساعة إيقاف، ترمومتر زئبقي، موقد اشتعال .

الإجراء : **1**– ضع بعض النفتالين في أنبوب الغليان بارتفاع حوالي ثلث الأنبوب .

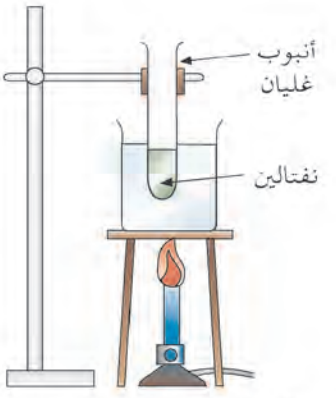
2– ثبّت أنبوب الغليان الذي يحتوي على نفتالين في حامل، ثم أنزل الأنبوب إلى داخل الكأس الذي يحتوي على ماء مغلي حتى ينصهر كل النفتالين (شكل 4 – 6) .

3– ضع ترمومترًا داخل الأنبوب، وعند وصول درجة حرارة النفتالين إلى حوالي 90°C، ارفع الأنبوب والترمومتر خارج كأس الماء المغلي (شكل 4 – 7) .

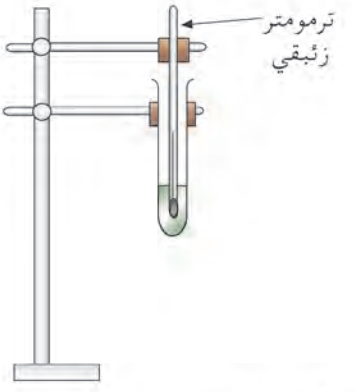
4– جفف أنبوب الغليان من الخارج ثم ابدأ في رصد درجة حرارة النفتالين كل دقيقة حتى تهبط إلى حوالي 65°C .

5– ارسم العلاقة البيانية لدرجة الحرارة مقابل الزمن .

استنتج درجة التجمد (درجة الانصهار) للنفتالين من الرسم البياني .



شكل 4 – 6



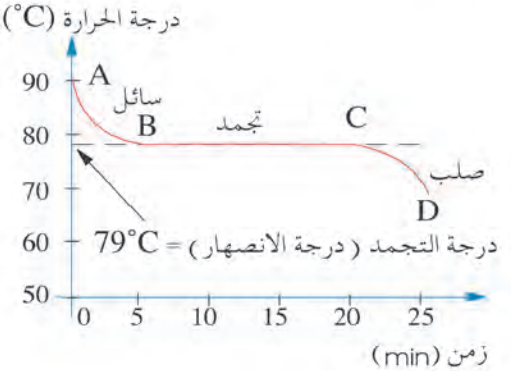
شكل 4 – 7

يبين شكل 4 – 8 منحنى التبريد للنفتالين . ونشاهد من الرسم البياني أن :

1– درجة حرارة النفتالين السائل تهبط أثناء تبريد النفتالين من 90°C إلى 79°C كما يوضحه الجزء AB من المنحنى .

2– ومن ثم تبقى درجة الحرارة ثابتة عند 79°C أثناء تجمد النفتالين كما يوضحه الجزء المستقيم BC للمنحنى . ويحدث ذلك بالرغم من فقد الحرارة وانتقالها للأجسام المحيطة . ولا يوجد تغير في درجة الحرارة .

3– عند تجمد كل النفتالين، تهبط درجة حرارة النفتالين الصلب مرة أخرى كما يوضحه الجزء CD للمنحنى .



شكل 4 – 8

وبناءً على المشاهدات، نستنتج أن :

1– نقطة تجمد النفتالين هي 79°C لأنها درجة الحرارة الثابتة التي يتحول عندها النفتالين من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة .

2– أثناء التحول من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة، لا يوجد تغير في درجة الحرارة بالرغم من فقد الحرارة إلى الأجسام المحيطة أثناء تبريد النفتالين . فمن أين تأتي الطاقة؟ يمكن تفسير ذلك مرة أخرى عن طريق النموذج الجزيئي الحركي للمادة المذكور سابقًا مع الانصهار . تنطلق الحرارة أثناء تكون الروابط البين جزيئية عند اتحاد الذرات أو الجزيئات السائلة معًا لتكوين جسم صلب . وتتخذ الآن الذرات أو الجزيئات بنية أكثر تنظيمًا مقارنة بالبنية الأقل تنظيمًا للذرات أو الجزيئات المتحركة للسائل . ويفسر ذلك عدم وجود تغير في درجة الحرارة أثناء التجمد . وتتغير درجة الحرارة فقط عندما تبرد المادة في نفس الحالة، أي الحالة السائلة (90°C إلى 79°C)، والحالة الصلبة (79°C إلى درجة حرارة الغرفة) .

تبقى أثناء التجمد درجة الحرارة ثابتة عند درجة التجمد، وتطلق المادة حرارة .

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

تأثير الشوائب على درجة تجمد الماء

يؤدي أحيانًا تمدد الماء عند تجمده أثناء الشتاء في البلاد الباردة إلى انفجار الأنابيب في أجهزة تبريد السيارات أو في المنازل. ولتجنب ذلك يستخدم السائقون مانع التجمد لخفض درجة تجمد الماء، فلا يتحول بذلك الماء إلى ثلج حتى لو انخفضت درجة حرارته تحت 0°C، لوجود مانع التجمد كأحد « الشوائب » .

وجود الشوائب يقلل من درجة تجمد الماء.

شائبة أخرى مفيدة تخفض من درجة تجمد الماء هي الملح. فيوضع الملح على الطرقات أثناء الشتاء لمنع تكوُّن الثلج الذي يعيق حركة المرور.

يعتبر إضافة الملح للثلج تطبيقًا مفيدًا آخر لتكوين مخلوط تجميد يبّرد الشيء إلى ما تحت 0°C. وبالرغم من أن الملح يمكن أن يحل مشكلة التجمد إلا أنه لا يُستخدم في جهاز تبريد السيارة لأنه يخلق مشكلة أخرى ألا وهي تآكل أجزائها.

تأثير الضغط على درجة انصهار الثلج

هل لاحظت عند ضغطك مكعبين من الثلج معًا إلتصاقهما ببعض حتى بعد تركهما؟ وبالمثل يمكن تكوين كرات الجليد بضغط قطع منها معًا بيدك. وتبين تلك الأمثلة أن درجة انصهار الثلج تنخفض مع زيادة الضغط.

فعند ضغط مكعبات أو قطع الثلج معًا، تنصهر الأجزاء الواقعة تحت الضغط العالي. وعند انتهاء الضغط يتجمد الماء مرة أخرى، وبذلك تلتحم مكعبات الثلج أو قطع الثلج معًا.

شكل 4 – 9 الضغط على مكعبي ثلج معًا

يكون السير على الثلج صعبًا بسبب تأثير الضغط هذا الذي يخفض من درجة انصهاره. فإذا كان الضغط الذي تبذله القدم كافيًا لصهر الثلج وتحويله إلى ماء، فإن الماء يتجمد مرة أخرى عند ارتفاع القدم عنه، أما الثلج المتكون على نعل الحذاء عند رفع القدم عنه فيعيق السير.

تقل درجة انصهار الثلج مع زيادة الضغط.

وكثيرًا ما يستخدم انخفاض درجة انصهار الثلج نتيجة الضغط لتفسير آلية التزلج على الثلج. فعند تحرك المتزلج، يحمل طرف النصل الدقيق لأداة التزلج وزنه الكلي. ولأن مساحة تلامس النصل الدقيق مع الثلج هي كسر بسيط من مساحة النصل، يكون الضغط المبذول كافيًا لصهر الثلج. وتساعد طبقة الماء المتكوِّنة على المزلجة من التزلج بسهولة. وتوجد نظرية أخرى تقول بأن طبقة الماء تتكون نتيجة الاحتكاك بين النصل وسطح الثلج. والإجابة في الغالب مزيج من التأثيرين.

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) لا يوجد أثناء الانصهار تغير في درجة الحرارة بالرغم من اكتساب حرارة. فأين ذهبت الحرارة؟

(ب) لا يوجد أيضًا أثناء التجمد تغير في درجة الحرارة بالرغم من فقد حرارة، فمن أين تأتي الطاقة؟

(جـ) يخفض إضافة الملح للثلج درجة انصهار الثلج. فما رأيك في إضافة السكر؟

(د) اذكر مثالًا يبين تأثير الضغط على درجة انصهار الثلج.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

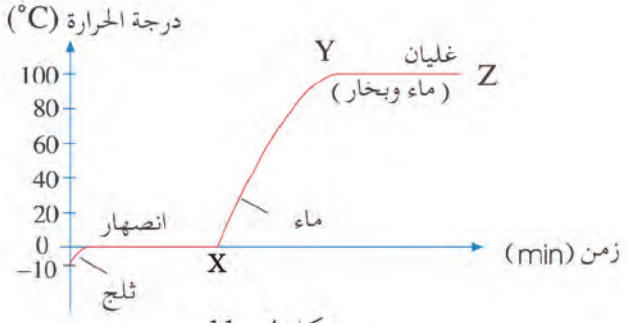
4 - 2 الغليان والتكثيف
Boiling and Condensation

عند تحول سائل نقي إلى بخار بالتسخين عند درجة حرارة مستمرة أو ثابتة فإن هذا التغير في الحالة يسمى **غليان**، وتُعرف درجة الحرارة هذه بدرجة غليان المادة. ويبين جدول 4 – 2 درجات غليان بعض المواد.

جدول 4 – 2 درجات غليان بعض المواد

المادة	درجة الغليان (°C)
هيدروجين	-253
أكسجين	-183
إثير	35
كحول	79
ماء	100
زئبق	357

التكثيف هو عكس الغليان، بمعنى أنه عند تبريد بخار المادة، يتحول إلى سائل عند نفس درجة الحرارة الثابتة كما في الغليان. وتنطلق حرارة أثناء التكثيف. ولتحديد درجة الغليان (درجة التكثيف) لمادة ما، يمكننا الاستمرار في تسخين الماء في التجربة 4 – 1 حتى يغلي. وتبين العلاقة البيانية النموذجية لدرجة الحرارة مقابل الزمن في شكل 4 – 11 منحنى تسخين الماء.



شكل 4 – 11

ومن العلاقة البيانية، نشاهد :

1- أن درجة حرارة الماء ترتفع بالتسخين إلى 100°C كما يوضحه الجزء XY من المنحنى، ويوجد تغير في درجة الحرارة لاكتساب الماء حرارة.

2- ومن ثم تبقى درجة الحرارة ثابتة عند 100°C عند غليان الماء وتحوله إلى بخار كما يوضحه الجزء المستقيم YZ . إن درجة حرارة 100°C الثابتة أو المستمرة هذه هي درجة غليان الماء. وأثناء تحول الحالة من ماء إلى بخار، لا يوجد تغير في درجة الحرارة بالرغم من وجود كمية من الحرارة يتم امتصاصها. فأين ذهبت هذه الكمية من الحرارة؟ ونستخدم كما في حالة الانصهار النموذج الجزيئي الحركي للمادة في شكل 4 – 13 لتعليل تلك الكمية المكتسبة من الحرارة.

الغليان هو تحول الحالة من سائل إلى بخار، ويحدث عند درجة حرارة ثابتة تسمى درجة الغليان.

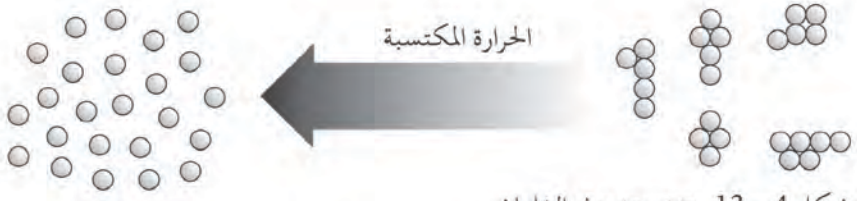
التكثيف هو العملية التي يتحول فيها البخار إلى سائل عند نفس درجة الحرارة الثابتة. وتنبعث حرارة أثناء التكثيف.

شكل 4 – 10 الغليان

شكل 4 – 12 التكثيف

أثناء الغليان، تبقى درجة الحرارة ثابتة عند درجة غليانها حيث تكتسب المادة حرارة.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا



شكل 4 – 13 عند حدوث الغليان

ويتبين من شكل 4 – 13 أن الحرارة المكتسبة بواسطة السائل تستخدم لأداء شغل في فصل الجزيئات، وتُستخدم أيضًا في دفع الهواء الجوي المحيط إلى الخلف.

والجزيئات الآن متباعدة (بمعنى زيادة ضخمة في الحجم) ولها قوى جذب بين جزيئية لا تذكر. وعند حدوث ذلك نقول أن تحولًا قد حدث في الحالة (غليان) من السائلة إلى الغازية.

والحرارة التي تكتسبها المادة دون تغير في درجة الحرارة تسمى **حرارة البخر** الكامنة للمادة. وسيعطي الجزء 4 – 3 تحليلًا كميًّا لحرارة البخر الكامنة.

شكل 4 – 14 إضافة الملح للماء النقي يزيد من درجة غليانه

تأثير الشوائب على درجة غليان الماء

إن إضافة الشوائب مثل الملح أو السكر إلى الماء النقي يرفع من درجة غليانه. ومانع التجمد المضاف للماء في جهاز تبريد السيارة يُمكِّن الماء جزئيًّا من الغليان فوق $100^{o}C$. (والعامل الآخر هو الضغط الذي عند زيادته، ترتفع كذلك درجة غليان الماء.)

وإذا استخدمنا ماء البحر، الذي يحتوي على نسبة عالية من الملح، والماء العذب، فيمكن بالتجربة توضيح أن ماء البحر له درجة غليان أعلى قليلًا من الماء العذب. شكل 4 – 14

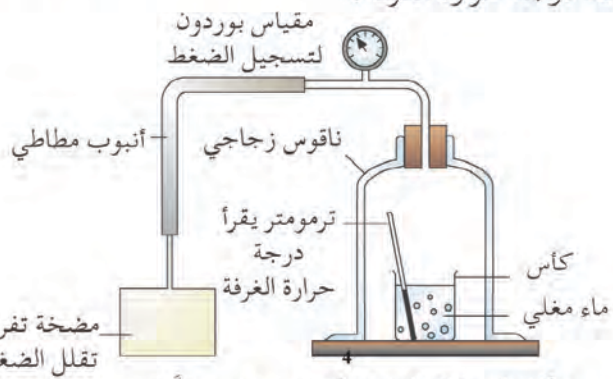
تأثير الضغط على درجة غليان الماء

لماذا تقل أزمنة الطهي إلى حد كبير عند استخدام أواني الضغط، بينما يستغرق طهي بيضة في الماء المغلي على قمة جبل عالٍ وقتًا طويلًا للغاية؟ تلك أنواع الأسئلة التي يمكن أن نجيب عنها عند فهم تأثير الضغط على درجة غليان الماء. شكل 4 – 15

شكل 4 – 15 قدر ضغط للطهي

(1) الغليان تحت ضغط مخفَّض

يبين شكل 4 – 16 تجربة لاستقصاء أثر الضغط المُخَفَّض على درجة غليان الماء. فعند انخفاض الضغط داخل الناقوس، تظهر الفقاعات في الماء ويغلي بالرغم من أن الترمومتر لا يظهر أي تغير في درجة الحرارة لأن الماء لازال عند درجة حرارة الغرفة.



شكل 4 – 16 الغليان تحت ضغط منخفَّض

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

ويكون الهواء عند قمة الجبل أقل كثافة، ولذا يكون الضغط أدنى عند مقارنته بمستوى البحر. ولهذا يغلي الماء عند درجة حرارة أدنى، مما يفسر استغراق طهي بيضة وقتًا طويلًا حتى لو كان الماء يغلي وترى فقاعات الهواء فيه.

تغلي غلاية مملوءة بالماء في جبل نفوسه على ارتفاع 1000 m فوق سطح البحر عند 97°C تقريبًا بدلًا من 100°C، وتغلي المياه في الغلاية عند قمة جبل إيفرست على ارتفاع 9000 m فوق سطح البحر عند 70°C فقط.

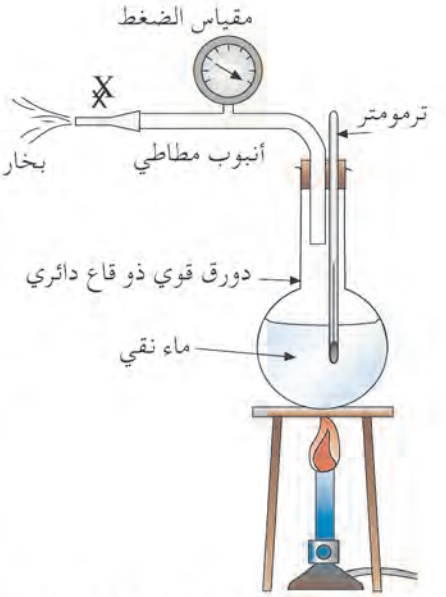
إن للغليان تحت ضغط منخفض ميزة في أنه يستخدم طاقة أقل للتخلص من الماء الزائد أو غير المطلوب، كما في إنتاج اللبن المبخر، أو بلورات السكر الناعم.

(2) الغليان تحت ضغط مرتفع

يبين شكل 4 – 17 تجربة لاستقصاء تأثير زيادة الضغط على درجة غليان الماء. فعند رؤية الماء يغلي، وعندما تصبح قراءة الترمومتر 100°C عند 1 ضغط جوي، اضغط على الأنبوب المطاطي لإغلاقها عند الموضع X مستخدمًا زرَّدية. استمر في التسخين، وراقب تسجيل الترمومتر لارتفاع بسيط (1 – 2°C) فوق 100°C، ومقياس الضغط يسجل ضغطًا أعلى من 1 ضغط جوي. ثم حرر الضغط بسرعة بنزع الزردية والتوقف عن التسخين.

لا يجرى هذه التجربة إلا المعلم لأن الضغط المرتفع في الدورق يجب ملاحظته بعناية.

وترتفع في قدر الضغط (الخاص بالطهي) درجة غليان الماء إلى 120°C بزيادة ضغط الهواء في القِدْر إلى حوالي 2 ضغط جوي. وتفسر درجة الحرارة العالية تلك إمكانية طهي طعام كالخضروات بسرعة كبيرة في قِدْر الضغط.



شكل 4 – 17 الغليان تحت ضغط مرتفع

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) لا يوجد أثناء الغليان تغير في درجة الحرارة رغم اكتساب كمية كبيرة من الحرارة، فإلى أين ذهبت الحرارة؟

(ب) لا يوجد أيضًا أثناء التكثيف تغير في درجة الحرارة بالرغم من انبعاث الحرارة، فإلى أين ذهبت الحرارة؟

(جـ) لماذا تكون نقطة غليان ماء البحر أعلى من درجة غليان ماء البِرَك؟

(د) لماذا تستغرق البيضة وقتًا أطول لطهيها عند الارتفاعات العالية؟

4 – 3 الحرارة الكامنة
Latent Heat

تعلمنا في الأجزاء السابقة التحولات التي تحدث في مادة ما عند تغير حالتها. ونعرف بشكل كيفي كيفية وصف عمليتي الانصهار والبخر باستخدام النموذج الجزيئي، وسنتعلم في هذا الجزء كيفية وصف تلك العمليات بشكل كمي.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والتربوية – تيبيل

الحرارة الكامنة للإنصهار

إذا وضعت مكعبًا صغيرًا من الثلج، ومكعبًا ثلجيًّا كبيرًا على منضدة مكشوفة، ستلاحظ أن المكعب الكبير يستغرق وقتًا أطول لينصهر من المكعب الصغير (شكل 4 – 18)، وذلك لأن المكعب الكبير لديه حرارة انصهار كامنة أكبر بكثير مقارنة بمكعب الثلج الصغير.

مكعب كبير من الثلج

مكعب صغير من الثلج

شكل 4 – 18 لدى مكعب الثلج الكبير حرارة انصهار كامنة كبيرة، ويستغرق وقتًا أطول لينصهر

إن **الحرارة الكامنة للإنصهار** L_f لجسم صلب هي الحرارة المطلوبة لتغييره من الحالة الصلبة إلى السائلة أوالعكس دون أي تغير في درجة الحرارة.

إن وحدة قياس حرارة الانصهار الكامنة L_f هي الجول (J).

وبالطبع كلما كانت كتلة الجسم الصلب أكبر كلما احتاجت حرارة أكثر لصهرها، أي كلما كانت حرارتها الكامنة أكبر.

ومن المفيد معرفة ماهية حرارة الانصهار الكامنة لكتلة 1 kg. وتستخدم الحرارة الكامنة النوعية للانصهار للإشارة إلى الحرارة الكامنة للانصهار لكل وحدة كتلة أو 1 kg من الكتلة.

الحرارة الكامنة النوعية لانصهار مادة صلبة هي الحرارة المطلوبة لتحويل 1 kg منها من الحالة الصلبة إلى السائلة أو العكس، دون أي تغير في درجة الحرارة.

إن وحدة قياس حرارة الانصهار الكامنة النوعية ℓ_f هي الجول لكل كيلو جرام ($J\ kg^{-1}$).

ومن التعريفين السابقين، يكون لدينا:

$$L_f = \ell_f \times m$$

حيث: L_f تساوي الحرارة الكامنة للانصهار،

ℓ_f تساوي الحرارة الكامنة النوعية للانصهار.

m تساوي كتلة الجسم الصلب.

مثال محلول 4 – 1

قطعة مثلجات كتلتها 150 g. فإذا كانت الحرارة الكامنة النوعية لانصهار الثلج هي $340\ 000\ J\ kg^{-1}$، أو $340\ kJ\ kg^{-1}$، أوجد الحرارة المطلوبة لصهر المثلجات.

الحل:

المعطيات: الكتلة، $m = 150\ g = 0.150 kg$

الحرارة الكامنة النوعية، $\ell_f = 340000\ J\ kg^{-1}$

ومن المعادلة، $L_f = \ell_f \times m$

$$= 340\ 000 \times 0.150$$
$$= 51\ 000\ J$$
$$= 51\ kJ$$

∴ المطلوب لصهر المثلجات كمية من الحرارة قدرها 51 kJ.

مثال محلول 4 – 2

غُمر تمامًا سخان ينتج حرارة بمعدل ثابت 1000 W في مكعب من الثلج كتلته 3 kg عند درجة حرارة 0°C. استغرق المكعب 1020 s لينصهر تمامًا. احسب قيمة الحرارة الكامنة النوعية لانصهار الثلج. ما الفرض الذي استعملته في عمليتك الحسابية؟

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الحـــــل :

المعطيات : قدرة السخان، $P = 1000\ W$

الزمن المستغرق، $t = 1020\ s$

الكتلة، $m = 3\ kg$

الحرارة التي يمدها السخان، $Q = Pt$

$= 1000 \times 1020$

$= 1020000\ J$

الحرارة الكامنة لمكعب الثلج ذي الكتلة $3\ kg$، $L_f = Q$

$= 1020000\ J$

الفرض : يمد السخان ذو القدرة $1000\ W$ الحرارة الكامنة لانصهار الثلج لمدة $1020\ s$ ولا تفقد حرارة إلى الأجسام المحيطة .

وعليه، فإن الحرارة الكامنة النوعية لانصهار الثلج ℓ_f هي

$$\ell_f = \frac{L_f}{m}$$

$$= \frac{1020000}{3}$$

$$= 340000\ J\ kg^{-1}$$

∴ الحرارة الكامنة النوعية لانصهار الثلج هي $340\ J\ kg^{-1}$

تجربة 4 – 3

لقياس الحرارة الكامنة النوعية للثلج ℓ_f .

الجهاز : مسعر نحاسي مغلف، ترمومتر، قطع من الثلج .

الإجراء : **1**– املأ مسعرًا جافًّا ونظيفًا بماء سبق تسخينه حتى حوالي $8°C$ فوق درجة حرارة الغرفة .

2– احسب كتلة الماء (m_1) .

3– أرصد درجة حرارة الماء عندما تكون حوالي $5°C$ فوق درجة حرارة الغرفة (T_{c_1}) .

4– أضف قطعة واحدة من الثلج في كل مرة، ثم قَلِّبْ الماء حتى ينصهر كل الثلج قبل إضافة قطعة أخرى .

5– استمر في إضافة الثلج حتى تصبح درجة الحرارة $5°C$ تحت درجة حرارة الغرفة (T_{c_2}) .

6– أوجد كتلة الماء في المسعر (m_2) .

العمليات الحسابية : بافتراض أن كمية الحرارة المتبادلة بين الماء في الكأس والأجسام المحيطة هي كمية مهملة، وأن الحرارة التي يفقدها الماء تساوي الحرارة التي يكتسبها الثلج عند تحوله إلى ماء .

$$m_1 c_w (T_{c_1} - T_{c_2}) = (m_2 - m_1)\,\ell_f + (m_2 - m_1) c_w (T_{c_2} - O)$$

$$\Rightarrow \ell_f = \frac{m_1 c_w (T_{c_1} - T_{c_2}) - (m_2 - m_1)\, c_w (T_{c_2})}{(m_2 - m_1)}$$

حيث c_w هي الحرارة النوعية للماء .

احتياطات : يجب تجفيف قطع الثلج على ورق نشاف قبل إضافتها للماء .

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

حرارة البخر الكامنة

يمكننا تعريف الحرارة الكامنة والحرارة الكامنة النوعية للبخر بطريقة مماثلة.

حرارة البخر الكامنة L_v لمادة ما، هي كمية الطاقة الحرارية المطلوبة لتحويلها من حالة السيولة إلى حالة البخر أو العكس دون تغير في درجة الحرارة.

وحدة قياس حرارة البخر الكامنة L_v هي الجول (J).

حرارة البخر الكامنة النوعية ℓ_v لمادة ما هي كمية الطاقة الحرارية المطلوبة لتحويل 1 kg منها من حالة السيولة إلى حالة البخر أو العكس دون تغير في درجة الحرارة.

ووحدة قياس حرارة البخر الكامنة النوعية ℓ_v هي الجول لكل كيلو جرام ($J\ kg^{-1}$).

لاحظ تعريف حرارة البخر الكامنة على أنها كمية الحرارة المطلوبة لتحويل أية مادة من سائل إلى بخار، ولكن إذا تكثفت المادة من بخار إلى سائل، تنبعث في هذه الحالة كمية حرارة مكافئة للحرارة الكامنة للبخر. ويكون لدينا من التعريفات المعادلة التالية:

$$L_v = \ell_v \times m$$

حيث L_v تساوي الحرارة الكامنة للبخر،
ℓ_v تساوي الحرارة الكامنة النوعية للبخر،
m تساوي كتلة السائل.

وبالمثل عند تجمد مادة من الحالة السائلة، فإن الحرارة المنبعثة تكون الحرارة الكامنة للانصهار.

مثال محلول 4 – 3

وُجه لفترة قصيرة نفاث من بخار الماء عند 100°C نحو كتلة ضخمة من الثلج عند 0°C. فتكثف بعض البخار ليكون ماءً وانصهر بعض الثلج. وكون البخار المتكثف 0.40 kg ماء عند 0°C. احسب:

(1) كمية الحرارة المنبعثة من كتلة البخار هذه عند تحولها إلى ماء عند 100°C.

(2) كمية الحرارة المنبعثة من الماء وهو يبرد لدرجة حرارة الثلج.

(ضع في اعتبارك أن الحرارة الكامنة النوعية لبخر الماء تساوي $2200\ kJ\ kg^{-1}$، وأن الحرارة النوعية للماء تساوي $4.2\ kJ\ kg^{-1}\ K^{-1}$).

الحل:

(1) الحرارة المنبعثة مساوية للحرارة الكامنة لكتلة 0.40 kg ثلج.

أي، $L_v = m\ell_v$

$= 0.40 \times 2200$

$= 880\ kJ$

(2) يبرد بخار الماء من 100°C إلى 0°C، أي

$\Delta T = 100 - 0$

$= 100\ K$

وعليه فإن الحرارة المنبعثة، $Q = mc\Delta T$

$= 0.40 \times 4.2 \times 100$

$= 168\ kJ$

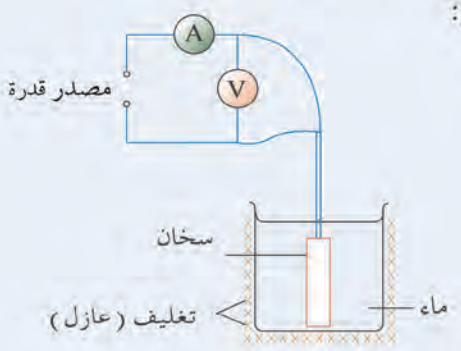
جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

تجربة 4–4

لقياس حرارة البخر الكامنة النوعية لبخار الماء ℓ_v.

الجهاز: مصدر قدرة مستمر، سخان يُغمر في الماء، فولتمتر، أميتر، كأس معزول، ترمومتر.

الشكل:



شكل 4 – 19

الإجراء: 1– احسب كتلة الماء في الكأس (m_1).

2– شغل السخان ودع البخار يتصاعد عند غليان الماء.

3– شغل الساعة بمجرد بدء الماء في الغليان.

4– لا حظ قراءة الأميتر (I) والفولتمتر (V).

5– بعد غليان حوالي 10% إلى 20% من الماء، أقفل السخان وغط الكأس بغطاء.

6– أوقف الساعة وسجل زمن التسخين (t).

7– احسب كتلة الماء المتبقية في الكأس (m_2).

العملية الحسابية: بافتراض أن فقدان الحرارة إلى الأجسام هو كمية مهملة، وأن كمية الحرارة التي يمدها السخان تساوي كمية الحرارة التي يكتسبها الماء لتكوين بخار ماء

$$IVt = (m_1 - m_2)\,\ell_v$$

وحرارة البخر الكامنة النوعية لبخار الماء،

$$\ell_v = \frac{IVt}{(m_1 - m_2)}$$

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) سُخِّنَت عينة من الثلج كانت عند $-10^{\circ}C$ حتى أصبحت بخار ماء عند $100^{\circ}C$، اذكر تأثير الحرارة على العينة عند كل مرحلة من مراحل التسخين.

(ب) غُمِس سخان قدرته 2 kW في كأس به 0.250 kg ماء عند $10^{\circ}C$. احسب المدة الزمنية المطلوبة لتحويل الماء بأكمله إلى بخار ماء.

(حرارة البخر الكامنة النوعية للماء تساوي $2200\ kJ\ kg^{-1}$، الحرارة النوعية للماء تساوي $4.2\ kJ\ kg^{-1}K^{-1}$).

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

4-4 البخر
Evaporation

الغليان والبخر

إذا نظفت أرضية الغرفة بالماء، ستلاحظ أن السطح المبلل يجف بعد فترة. ونقول أن الطبقة الرقيقة للماء على السطح قد تعرضت لعملية بخر. فالبخر هو تحول حالة سائل إلى بخاره عند أي درجة حرارة. إنه يختلف عن الغليان رغم أن العمليتين تشملان تحول حالة سائل إلى بخاره. ويعطينا جدول 4 – 3 ملخصًا للفروق بين الغليان والبخر.

جدول 4 – 3 الفرق بين الغليان والبخر

الغليان	البخر
1– يحدث عند درجة حرارة محددة.	1– يحدث عند أي درجة حرارة.
2– عملية سريعة.	2– عملية بطيئة.
3– يحدث داخل السائل.	3– يحدث فقط على سطح السائل.
4– تتكون الفقاعات في السائل.	4– لا تتكون الفقاعات في السائل.
5– تبقى درجة الحرارة ثابتة أثناء الغليان.	5– قد تتغير درجة الحرارة.
6– يتم إمداد الحرارة من مصدر للطاقة.	6– يتم إمداد الحرارة من الأجسام المحيطة.

البخر عملية تبريد.

يسبب البخر تبريدًا

قد تشعر بالبرودة عند الخروج من حمام السباحة إلى الهواء الطلق في يوم مشمس جاف، (وخاصة إذا كانت الرياح تهب). لماذا؟ السبب هو تبخر الماء الموجود على جسمك.

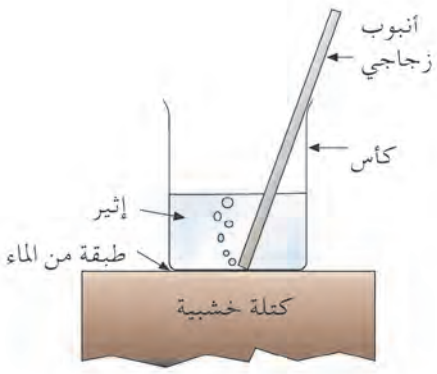
ويتطلب البخر حرارة، ويكون في هذا المثال مصدر الحرارة هو جسمك، ولأن جسمك يفقد حرارة عند تبخر الماء ستشعر بالبرودة. وتبين التجربة التالية أن البخر يسبب تبريدًا.

تجربة 4 – 5

لتوضيح أن البخر يسبب تبريدًا.

الجهاز: أنبوب زجاجي، كأس، إثير، بعض الماء، كتلة خشبية.

الإجراء:
1– ضع كأسًا يحتوي سائلًا متطايرًا مثل الإثير فوق طبقة رقيقة من الماء على كتلة خشبية. والسائل المتطاير هو أي سائل يتبخر بسهولة.
2– مستخدمًا أنبوبًا زجاجيًا، أنفخ الهواء في الإثير لتكوين فقاعات.
3– راقب الطبقة الرقيقة من الماء لأي تغير ملحوظ.



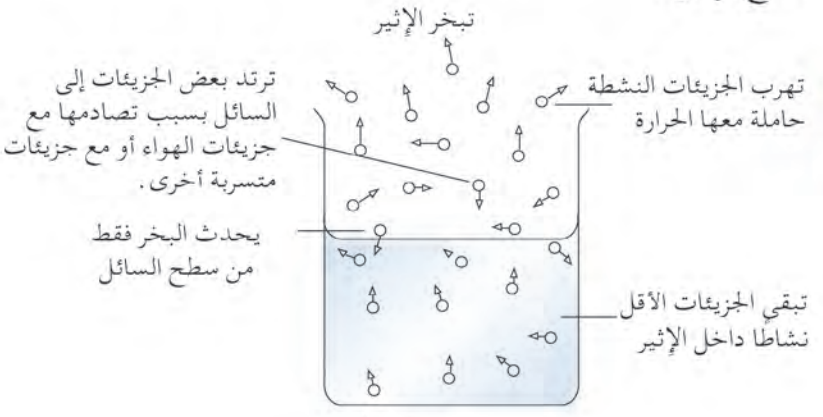
شكل 4 -20

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

إن نتائج التجربة 4 – 5 نتائج شيقة. فيمكن بعد بعض الوقت رؤية الكأس ملتصقًا بالكتلة الخشبية نتيجة تكون طبقة رقيقة من الثلج عند قاعه. ويوضح ذلك أنه أثناء تبخر الإثير، يحدث تبريد فيه مما يخفض درجة حرارته إلى تحت $0^{\circ}C$ بكثير. ولكي يحدث ذلك، تنتقل الحرارة من الطبقة الرقيقة للماء خلال قاع الكأس إلى الإثير لأن درجة حرارة الماء أعلى من درجة حرارة الإثير. وتهبط في النهاية درجة حرارة الماء إلى $0^{\circ}C$، ويحدث التجمد.

ويمكن بسهولة تفسير التبريد عن طريق البخر باستخدام النموذج الجزيئي الحركي للمادة. ويبين شكل 4 – 22 كيفية حدوث البخر عند سطح الإثير.

يرجع تبخر أي سائل إلى جزيئات عند السطح طاقتها أكبر من متوسط الطاقة الحركية المنبعثة من بقية السائل.



شكل 4 -21 عملية البخر

وتكون جزيئات الإثير السائل عند أي درجة حرارة في حركة عشوائية مستمرة بسرعات مختلفة. ويمتص السائل الحرارة من الأجسام المحيطة، ويزيد نفخ الهواء فيه من معدل امتصاص الحرارة. ولهذا تكتسب جزيئات الإثير طاقة، وتتحرك أسرع.

وتكون جزيئات الإثير الأكثر نشاطًا عند السطح قادرة على التغلب على قوى الجذب لأسفل من قبل جزيئات الإثير الأخرى، ومن ثم الانطلاق للغلاف الجوي. قد تنجذب الجزيئات الهاربة ببطء إلى السائل، وتكون المحصلة النهائية تركها لسائل ذي جزيئات أقل نشاطا خلفها.

إن السائل ذا الجزيئات الأبطأ هو سائل أبرد لأن درجة حرارة السائل تتناسب طرديًّا مع متوسط الطاقة الحركية للجزيئات. ويفسر ذلك هبوط درجة حرارة الإثير أثناء حدوث البخر.

وتشمل بعض التأثيرات والاستخدامات اليومية للبخر:

1 – تأثيرًا تبريديًّا على الجلد عند استخدام عطر متطاير، أو عند تبخر العرق.

2 – تجفيف الملابس المبتلة أو المياه على أرصفة الطريق في الهواء الطلق.

3 – وضع قطعة من الإسفنج مبللة بالماء على جبهة شخص مصاب بحمى لخفض حرارة جسده أثناء تبخر الماء. ويمكن بهذه الطريقة خفض درجة حرارة المريض.

4 – وبالإضافة لعملية التكثيف، يستخدم البخر في عملية تبريد الثلاجة المنزلية، والتي سنصفها بالتفصيل فيما بعد.

شكل 4 -22 مسح جبهة مريض يعاني من حمى شديدة بإسفنجة مبتلة بالماء

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

العوامل التي تؤثر على معدل البخر

1 – درجة الحرارة

رغم حدوث البخر عند أية درجة حرارة، إلا إن رفع درجة حرارة السائل تزيد من معدل البخر. فالسائل الأدفأ يعني نشاط عدد أكبر من الجزيئات في الطبقة السطحية بشكل كاف ليهرب. ومن ثم فإن تسخين أي سائل سيزيد من معدل البخر.

2 – رطوبة الهواء المحيط

عند قول أن الهواء رطب، نعني وجود كثير من بخار الماء فيه. ويتناقص معدل البخر مع زيادة الرطوبة، فلا تجف الملابس الرطبة بسهولة إذا كان الهواء المحيط رطبًا، وتستغرق أرضيات المنزل وقتًا أطول لتجف في اليوم الممطر. والعكس صحيح كذلك، أي يزيد معدل البخر مع نقص الرطوبة. فإذا نمت على سبيل المثال في حجرة مكيفة حيث رطوبة الهواء منخفضة جدًّا، ستشعر بأن حلقك وجلدك جافان للغاية.

3 – مساحة سطح السائل

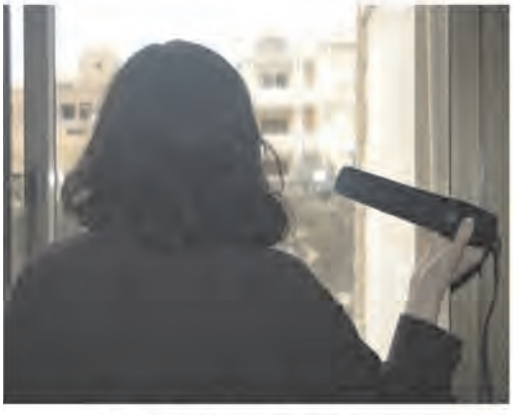
يزيد معدل البخر مع زيادة المساحة السطحية المعرضة من السائل، وذلك لأن البخر يحدث فقط من سطحه. وتعني مساحة سطحية أكبر إمكانية تسرب جزيئات أكثر من السطح. وهذا سبب تعليق الملابس المبتلة بنشرها بطريقة تعرض أقصى مساحة سطح ممكنة منها.

4 – حركة الهواء فوق سطح السائل

إذا كنت مبتلًا بالعرق، وتقف تحت مروحة سقف تعمل بأقصى سرعة ستجد أن تبخر عرقك سريع جدًّا، فأنت تبرد أسرع في الهواء المتحرك مقارنة بالهواء الساكن. وينطبق ذلك أيضًا على تجفيف الشعر المبلل باستخدام مجفف الشعر، وذلك لأن الهواء المتحرك يزيل جزيئات السائل بمجرد هروبها من السطح، مما يزيد من معدل البخر.

5 – الضغط

انخفاض الضغط الجوي يزيد من معدل البخر. تجف على سبيل المثال الملابس المبتلة أسرع عند قمة الجبل أو عند الارتفاعات الشاهقة حيث يكون الضغط الجوي أدنى من مستوى البحر.

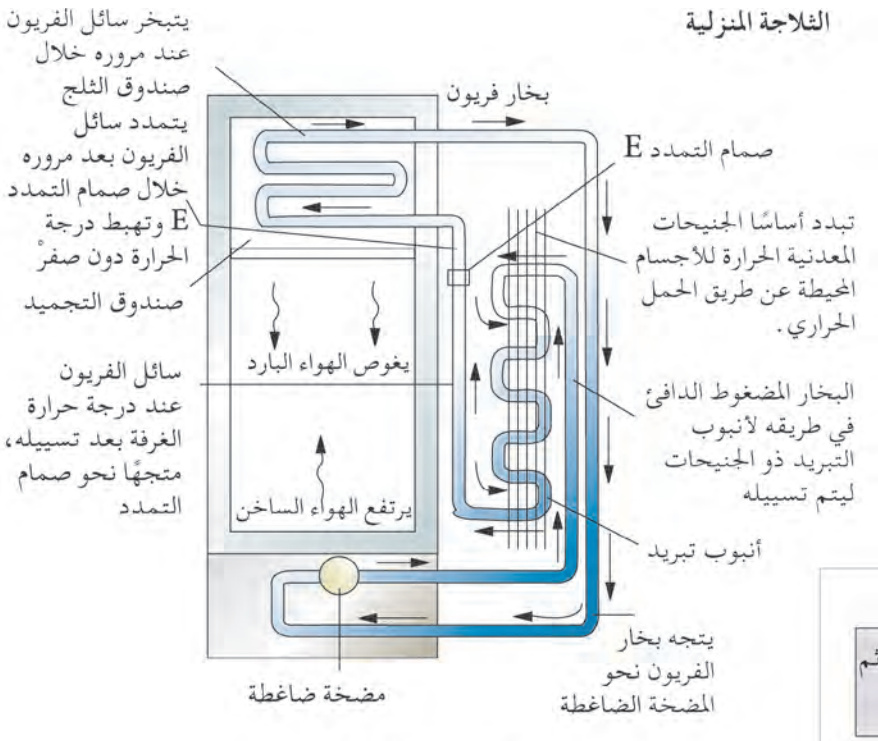


شكل 4 -23 تجفيف الشعر المبتل بمجفف الشعر

6 – طبيعة السائل

إذا رجعت إلى جدول 4 – 2 عن درجات غليان بعض المواد، ستلاحظ أن الإثير له درجة غليان أدنى مقارنة بالكحول أو الماء. فكلما كانت درجة غليان السائل أدنى، كلما كان معدل البخر أعلى. وهذا سبب تبخر الإثير أسرع بكثير من الماء تحت نفس الشروط الفيزيائية. الزئبق من الناحية الأخرى، بالكاد يتبخر عند درجة حرارة الغرفة بسبب درجة غليانه المرتفعة 357°C.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا



شكل 4 -24 رسم تخطيطي للثلاجة المنزلية

يبين مخطط الانسياب في شكل 4 -25 كيفية عمل الثلاجة المنزلية بتطبيق عمليتي التكثيف والبخر. يستخدم سائل الفريون، وهو سائل شديد التطاير يغلي عند حوالي $-30^{\circ}C$. ويبدأ مخطط الانسياب من النقطة التي يبدأ فيها تشغيل المضخة الضاغطة.

ويستخدم تيرموستات (منظم لدرجات الحرارة) قابل للضبط داخل الثلاجة ليتحكم في درجة حرارة الهواء داخلها.

تضغط المضخة الضاغطة بخار الفريون الداخل إليها، ثم تضخه نحو أنابيب التبريد الموجودة خارج الثلاجة.

يتكثف البخار المنضغط الدافئ إلى فريون سائل، وتنتقل الحرارة من البخار إلى الأجسام المحيطة خارج الثلاجة عن طريق الحمل الحراري عبر الجنيحات المعدنية.

يتمدد الآن الفريون السائل عند درجة حرارة الغرفة، ويدخل الأنبوب الذي يحيط بصندوق التجميد بعد المرور خلال صمام التمدد E. ويخفض ذلك من درجة حرارة الفريون السائل حتى دون $0^{\circ}C$.

ولأن درجة حرارة الهواء في صندوق التجميد أعلى بكثير من درجة حرارة الفريون السائل فإن الفريون السائل يتبخر. ويسبب ذلك حدوث تبريد في الهواء المحيط بصندوق التجميد أثناء نزع الحرارة من الهواء داخله.

ولأن الهواء المبرد في صندوق التجميد أكثر كثافة، فإنه يتحرك نحو قاع الثلاجة، في حين يرتفع الهواء الدافئ من القاع تجاه صندوق التجميد لكي يبرد.

يتجه الآن بخار الفريون المتبخر بعد مروره خلال الأنبوب في صندوق التجميد نحو المضخة الضاغطة.

شكل 4 -25 مخطط انسياب العمليات في الثلاجة المنزلية

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) اذكر الفروق بين الغليان والبخر.

(ب) لماذا ينتج تأثير تبريدي عند وضع طبقة من العطر على الجلد؟

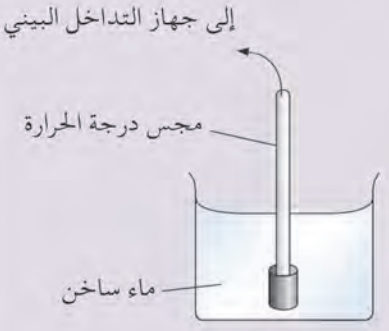
(جـ) لماذا يزيد معدل تبخر سائل مع درجة الحرارة؟

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

لفحص الخصائص التبريدية للماء.

الجهاز: كأس، مجس درجة الحرارة، جامع بيانات ورشة عمل العلوم، ماء ساخن.

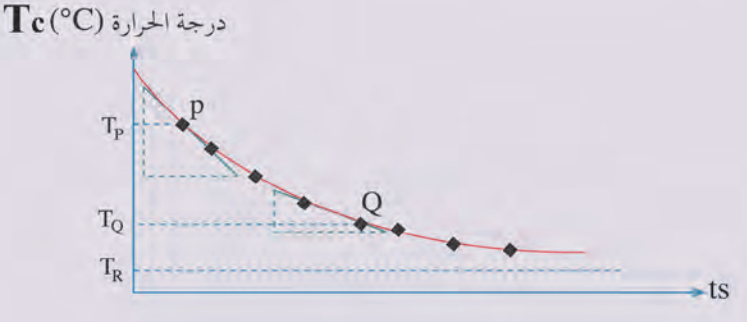
الإجراء:
1- صل مجس درجة الحرارة بجهاز التداخل البيني.
2- شغل جهاز التداخل البيني لرصد درجة الحرارة (محور – y) مقابل الزمن (محور – x).
3- اضبط معدل العينة عند 30 s، أي أن الحاسوب سيقوم بعملية التسجيل كل 30 s.
4- صب الماء الساخن في الكأس، ثم ضع مِجَس درجة الحرارة في الماء.
5- ابدأ عملية التسجيل، وشاهد العلاقة البيانية: درجة الحرارة – الزمن على شاشة الحاسوب.
6- بعد 300 s، أوقف عملية التسجيل.



شكل 4-26

المشاهدة: يبين شكل 4-27 منحنى التبريد المميز.

نشاهد من منحنى التبريد أن معدل هبوط درجة الحرارة يعتمد على الزيادة في درجة حرارة الماء عن درجة حرارة الغرفة.
ويعطي ميل المماس معدل هبوط درجة الحرارة. يكون على سبيل المثال ميل المماس عند درجة حرارة T_P أكبر منه عند Q. ولهذا يمكننا القول بأن معدل هبوط درجة الحرارة عند P أعلى من معدل هبوط درجة الحرارة عند Q.

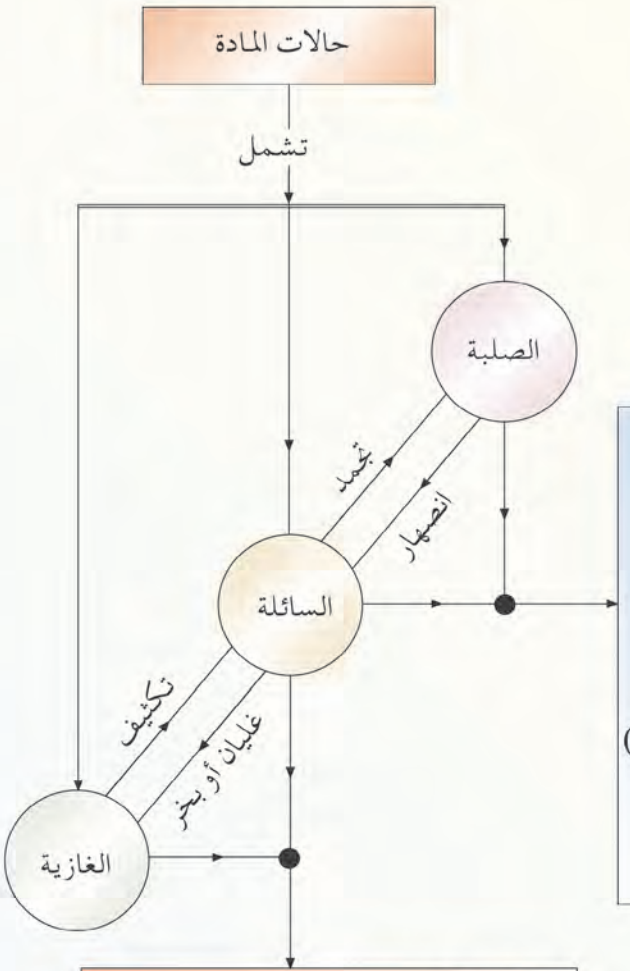


شكل 4-27

الاستنتاج: يكون معدل هبوط درجة الحرارة أعلى عندما تكون درجة حرارة الجسم أعلى من درجة حرارة الأجسام المحيطة به.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

خريطة مفاهيم



درجة الانصهار
- تقل بالضغط المتزايد

درجة التجمد
- تقل بوجود شوائب

الحرارة الكامنة للانصهار L_f والحرارة الكامنة النوعية للانصهار ℓ_f.
- $L_f = m\ell_f$، حيث:

L_f تساوي الحرارة الكامنة للانصهار (J)
m تساوي الكتلة (kg)
ℓ_f تساوي الحرارة الكامنة النوعية للانصهار ($J\ kg^{-1}$)

درجة الغليان
- تزيد بوجود شوائب
- تنخفض بخفض الضغط
- ترتفع بزيادة الضغط

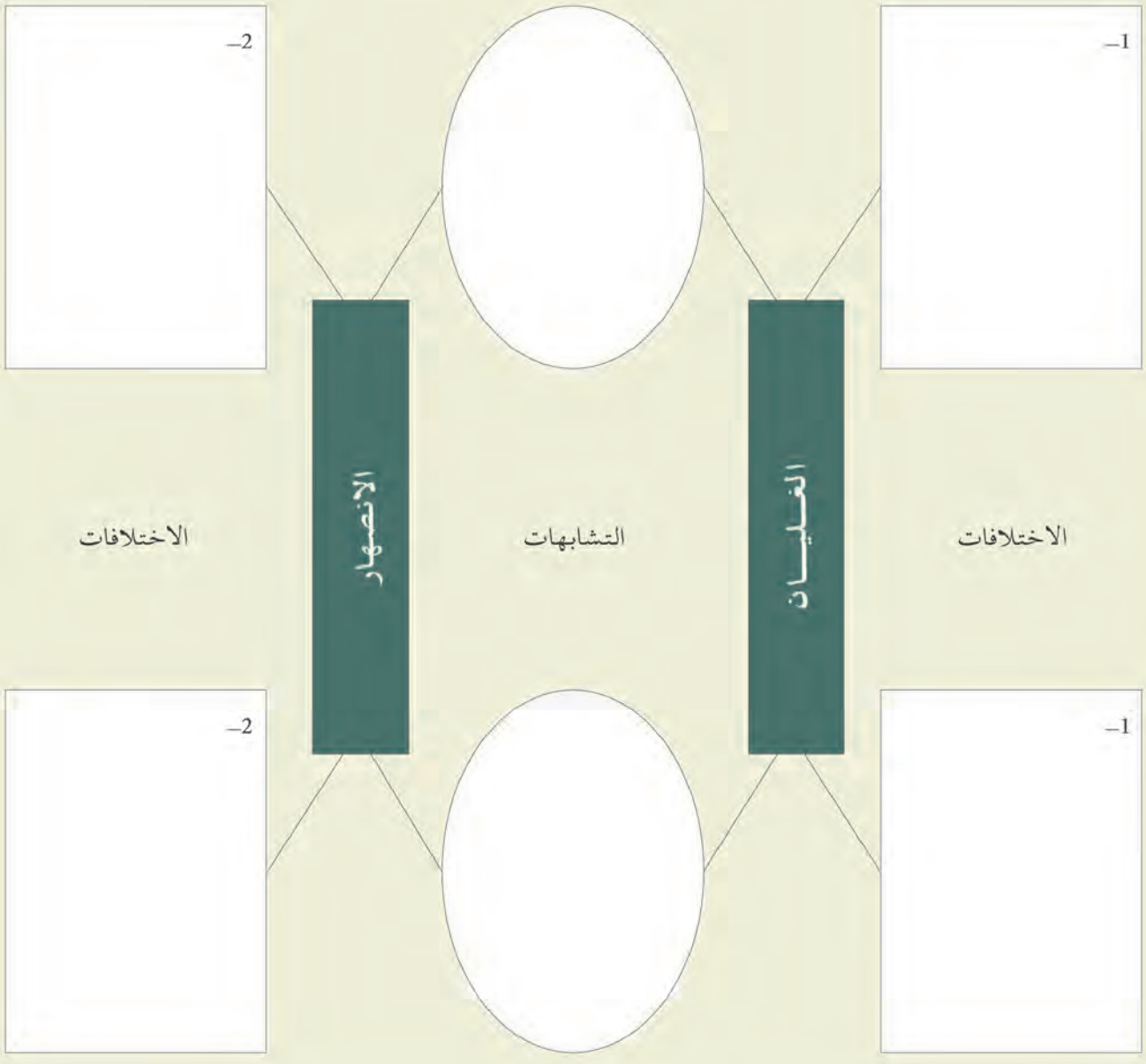
الحرارة الكامنة للبخر L_v والحرارة الكامنة النوعية للبخر ℓ_v.
- $L_v = m\ell_v$، حيث

L_v تساوي الحرارة الكامنة للبخر (J)
m تساوي الكتلة (kg)
ℓ_v تساوي الحرارة الكامنة النوعية للبخر ($J\ kg^{-1}$)

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

المهارة: المقارنة

لقد تعلمت عن عمليتي الانصهار والغليان. أكمل المخطط التنظيمي التالي لتسجل تشابهين واختلافين بين العمليتين.



كلمات معاونة مقترحة	* حرارة * حالات المادة * درجة حرارة * كمية الحرارة

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

التمرين الرابع

الجزء الأول أسئلة الاختيار من متعدد

1- عند انصهار جسم صلب، تظل درجة الحرارة ثابتة بالرغم من استمرار التسخين لأن:
(أ) الحرارة تستخدم في تفكيك الروابط البين جزيئية
(ب) الجسم الصلب لا يمتص أية حرارة.
(جـ) الجزيئات تتحرك أسرع.
(د) الجزيئات تتباعد أكثر.

2- عند تحول سائل إلى غاز عند درجة حرارة ثابتة، تُعرف درجة الحرارة هذه
(أ) بصفرها المطلق.
(ب) بدرجة غليانها.
(جـ) بدرجة بخرها.
(د) بدرجة الندى لديها.

3- عند تسخين 0.5 kg ألومنيوم باستخدام سخان قدرته 1.5 kW، تتحول تمامًا كتلة الألومنيوم إلى سائل في مدة 2.1 min، تبقى أثناءها درجة حرارتها ثابتة عند 660°C. ما الحرارة الكامنة النوعية لانصهار الألومنيوم؟
(أ) $64\ kJ\ kg^{-1}$
(ب) $6.30\ kJ\ kg^{-1}$
(جـ) $378\ kJ\ kg^{-1}$
(د) $94.5\ kJ\ kg^{-1}$

4- إذا اعتبرنا أن الحرارة الكامنة النوعية لبخر الأكسجين هي $214\ kJ\ kg^{-1}$، ما كمية الحرارة التي ستمتص عند غلي 3 kg أكسجين عند درجة غليانه؟
(أ) 64 kJ
(ب) 140 kJ
(جـ) 14 kJ
(د) 642 kJ

5- يصاحب دائمًا البخر تبريدًا لأن
(أ) جزيئات الهواء تبرد سطح السائل.
(ب) الجزيئات الأكثر نشاطًا تترك السائل.
(جـ) تتبقى في السائل جزيئات سائل أقل.
(د) تعود الجزيئات المتسربة مرة أخرى إلى السائل.

الجزء الثاني الأسئلة التركيبية

1- (أ) عرّف المصطلحين، درجة الانصهار ودرجة الغليان.
(ب) ما تأثير الشوائب على درجة انصهار الثلج ودرجة غليان الماء؟

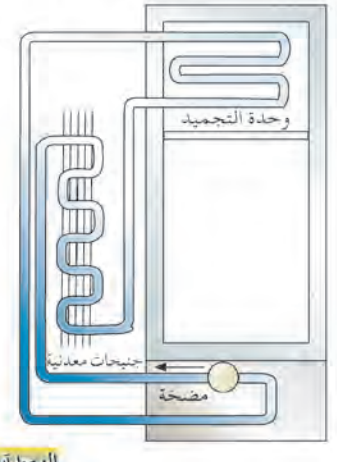
2- يُسخَّن ثلج عند -10°C إلى 0°C والتسخين الإضافي يجعله ينصهر ويتحول إلى ماء (كذلك عند 0°C). يستمر التسخين، ويتحول الماء في النهاية عند 100°C إلى بخار الماء. برسم العلاقة البيانية: درجة الحرارة مقابل الزمن تتبع تحولات الحالة التي حدثت، ثم ضع مسميات الأجزاء على الرسم البياني التي تتضمن الحرارة الكامنة للانصهار، والحرارة الكامنة للبخر. عرّف كلًا من الحرارة الكامنة للانصهار وللبخر.

3- (أ) ما البخر؟ اذكر أربعة عوامل تؤثر على معدل البخر ثم اشرح بدلالة السلوك الجزيئي لماذا ينتج البخر تأثيرًا تبريديًّا.
(ب) بمساعدة رسم تخطيطي وعليه بياناته، صف تجربة تبين أن البخر يسبب تبريدًا.

4- ما الفروق الأربعة الرئيسة بين الغليان والبخر؟

5- (أ) ما المقصود بمصطلح: الحرارة الكامنة للانصهار لجسم صلب؟
(ب) يتم مد طاقة حرارية لجسم صلب منصهر بمعدل ثابت 2000 W. احسب كتلة الجسم الصلب الذي تحول إلى سائل خلال 2 min، مع افتراض أن الحرارة الكامنة النوعية لانصهار الجسم الصلب هي $95000\ J\ kg^{-1}$ وأن التبادل الحراري مع الأجسام المحيطة يمكن إهماله.

6- يبين الرسم المكونات الأساسية لجهاز تبريد يحتوي على سائل متطاير يعرف بغاز أو بسائل تبريد.



جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

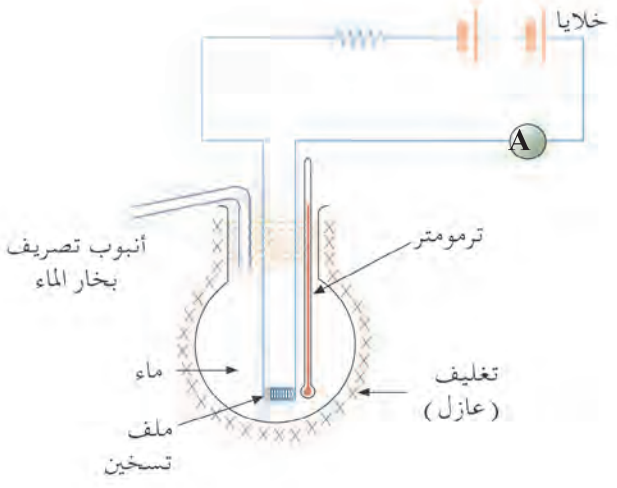
(أ) اشرح كيفية خفض غاز التبريد الدوّار أثناء مروره خلال وحدة المبرد من درجة حرارة محتوياتها .

(ب) ما الهدف من وجود المضخة؟

(جـ) لماذا تصبح الجنيحات (الريش) المعدنية الخارجية دافئة أثناء عمل الثلاجة؟ وما مصدر تلك الطاقة الحرارية؟

(د) عند وضع وعاء ماء في وحدة التجميد، تهبط درجة حرارة الماء من درجة حرارة الغرفة (15°C) إلى درجة التجمد خلال 15 min تقريبًا . ومع ذلك يكون من الضروري الانتظار لمدة 1.5 hr إضافية قبل تجمد الثلج تمامًا . لماذا نعتاد الانتظار تلك المدة الزمنية الطويلة لكي يتكون الثلج الصلب تمامًا في الثلاجة؟

7- يبين الرسم أدناه جهازًا تجريبيًّا يمكن استخدامه لتعيين الحرارة الكامنة النوعية لبخر الماء عند درجة غليانه العادية . ويستخدم الترمومتر لفحص درجة غليان السائل .



(أ) صف كيفية الحصول على كتلة الماء المتبخر خلال فترة زمنية معينة . يمكنك بيان أي أداة إضافية ترى استخدامها على الرسم .

(ب) يُسَد أنبوب التصريف حتى يرتفع الضغط داخل الدورق . كيف ستتغير قراءة الترمومتر الموضح في الرسم؟ اذكر بإيجاز سببًا لإجابتك .

(جـ) اذكر تأثير (إن وُجد) استخدام الماء المالح بدلًا من الماء العذب على درجة الغليان المنظورة .

(د) تبخر 9 g من الماء في تجربة معينة عند مرور تيار 2 A خلال ملف التسخين لمدة 630 s وكانت مقاومة ملف التسخين 8 Ω . احسب الحرارة الكامنة النوعية لبخر الماء بافتراض عدم تسرب أي حرارة من الدورق .

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الوحدة 5

انتقال الطاقة الحرارية

Transfer of Thermal Energy

مخرجات التعلم

في هذه الوحدة، سوف

- ☐ تبين فهمًا بأن الطاقة الحرارية تنتقل من منطقة ذات درجة حرارة أعلى إلى منطقة ذات درجة حرارة أدنى.
- ☐ تبين فهمًا بأن المناطق المتساوية في درجة الحرارة تكون في حالة توازن حراري.
- ☐ تصف بدلالة الجزيئات كيفية حدوث انتقال الطاقة في الأجسام الصلبة.
- ☐ تصف بدلالة تغيرات الكثافة، الحمل الحراري في السوائل.
- ☐ تبين فهمًا بأن انتقال حرارة جسم ما بالإشعاع الحراري لا يتطلب وسطًا ماديًا، وأن معدل سرعة انتقال الطاقة يتأثر بما يلي:
  - (1) لون وقوام السطح،
  - (2) درجة حرارة السطح،
  - (3) مساحة السطح.
- ☐ تطبق مفهوم انتقال الطاقة الحرارية في الاستخدامات اليومية.

تتناول هذه الوحدة الطرق الثلاث التي تنتقل بها الطاقة الحرارية من مكان لآخر. وسنناقش في الجزء الخاص بالتوصيل الحراري كون ملمس بعض الأجسام باردًا بينما يكون ملمس أجسام أخرى دافئًا، حتى حين تكون الأجسام جميعها عند نفس درجة الحرارة. وسندرس في الجزء الخاص بالحمل الحراري كيفية انتقال الطاقة الحرارية في وسائط حرة الحركة. وأخيرًا، سنكتشف في الجزء الخاص بالإشعاع الحراري كيفية وصول الطاقة الحرارية من الشمس إلينا رغم وجود فراغ بين الشمس والأرض.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

5 – 1 العمليات الثلاث لانتقال الحرارة

The Three Processes of Heat Transfer

إن وضع جسمين بدرجتي حرارة مختلفتين في اتصال حراري مع بعضهما البعض يحدث انتقالاً للطاقة الحرارية من الجسم ذي درجة الحرارة الأعلى إلى الجسم ذي درجة الحرارة الأدنى حتى يصبح الجسمان عند نفس درجة الحرارة، ويقال عندئذ أن الأجسام في حالة توازن حراري.

ويبين شكل 5 – 1 مجموعة من الناس حول مشواة. ويشعر كل شخص بحرارة عالية بسبب الحرارة المنبعثة من الفحم المحترق. كيف تكون الحرارة (الطاقة الحرارية) المنبعثة من الفحم الساخن للغاية قادرة على الوصول إلى الناس دون الاتصال المباشر بهم؟

سنتعلم في هذه الوحدة كيفية انتقال الحرارة بواسطة ثلاث عمليات مختلفة: التوصيل، والحمل، والإشعاع. وتسهم العمليات الثلاث في نقل الحرارة من الفحم إلى الناس المجتمعين حوله.

شكل 5 – 1 تنتقل الحرارة إلى الناس حول المشواة

5 – 2 التوصيل الحراري

Conduction of heat through solids

توصيل الحرارة خلال الأجسام الصلبة

تجربة 5 – 1

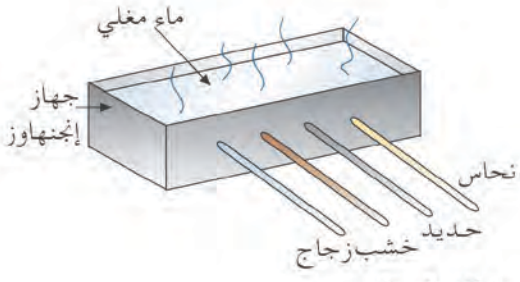
لاستقصاء سريان الحرارة خلال الأجسام الصلبة.

الأدوات: جهاز إنجنهاوز لمقارنة توصيل الأجسام الصلبة للحرارة، قضبان ذات أبعاد متساوية ولكنها مصنوعة من مواد مختلفة.

الإجراء:
1- ضع طبقة من الشمع المنصهر على الأجزاء المكشوفة من القضبان خارج الخزان بالتساوي (شكل 5 – 2).
2- صب ماءً مغليًا في الحوض بحيث تُغمر أطراف القضبان تحته.

المشاهدات: راقب أطوال الشمع الذي انصهر على الأطراف المختلفة للقضبان خلال فترة زمنية معينة.

تسري الحرارة في التجربة التي تستخدم جهاز إنجنهاوز من منطقة درجة حرارتها أعلى إلى منطقة درجة حرارتها أدنى. ولهذا ينصهر الشمع على القضبان عند سريان الحرارة من الماء المغلي (الطرف الساخن) تجاه الطرف البارد للقضبان. ينصهر الشمع لمسافة أبعد على القضيب النحاسي، يتبعه الحديدي، ثم الزجاجي، فالخشبي. وبمعنى آخر يكون طول الشمع غير المنصهر أقصر على القضيب النحاسي، وأطول على القضيب الخشبي.



شكل 5 – 2

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

التوصيل الحراري هو انتقال الطاقة الحرارية دون أي انسياب للوسط.

ويمكن التوصل إلى استنتاجين مهمين:

1- تنساب الحرارة خلال مادة القضبان دون أي انسياب للمادة. وتسمى عملية انتقال الطاقة الحرارية دون أي انسياب للمادة الوسيطة **توصيلًا حراريًّا**.

2- توصل المواد المختلفة الحرارة بمعدلات مختلفة. وبما أن طول الشمع غير المنصهر المتبقي هو الأقصر على النحاس، والأطول على الخشب، فيمكن القول بأن النحاس موصل جيد للحرارة، وأن الخشب موصل رديء للحرارة. ومصطلح آخر يمكن استخدامه لوصف الموصل الرديء للحرارة هو **العازل**.

وعمومًا فإن الفلزات (مثل النحاس، والفضة، والفولاذ، والحديد) موصلات جيدة للحرارة، بينما اللافلزات (مثل الزجاج، واللدائن، والخشب، والطوب، والصوف)، والغازات (مثل الهواء)، والسوائل (مثل الماء) موصلات رديئة للحرارة.

فلماذا يكون معدل انتقال الحرارة في النحاس أسرع بكثير منه في الخشب؟ تقترح التجربة السابقة أن آلية انتقال الحرارة في الموصلات الجيدة مختلفة عن مثيلاتها في المواد العازلة.

آليتا التوصيل الحراري

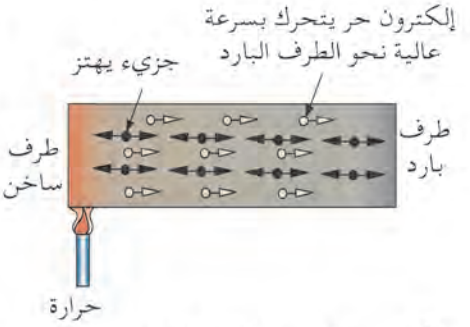
تتكون جميع الأجسام الصلبة (فلزات أو لافلزات) من جسيمات دقيقة تسمى ذرات، أو مجموعات من الذرات تسمى جزيئات. ويوجد مع ذلك فرق مهم واحد بين الفلزات واللافلزات: تحتوي الفلزات على إلكترونات حرة كثيرة قادرة على الحركة بشكل عشوائي بين الجزيئات، بينما تحتوي اللافلزات على إلكترونات حرة قليلة جدًّا.

ويبين شكلا **5 – 3**، **5 – 4** ما يحدث لقضيب النحاس (فلز) والقضيب الخشبي (لافلز) عند تسخينهما من طرف واحد.

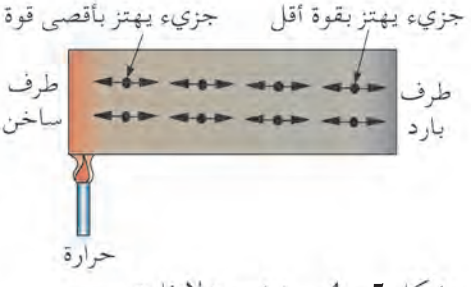
فعند مد طرف واحد من القضيب بالحرارة، تهتز الجزيئات عند الطرف الساخن بشدة، وتزاحم الجزيئات المجاورة فتجعلها تهتز أيضًا. ولهذا تنتقل بعض الطاقة الحركية للجزيئات المهتزة عند الطرف الساخن إلى الجزيئات المجاورة لها.

إن عملية مرور الحرارة تلك من الطرف الساخن إلى الطرف البارد عن طريق الاهتزاز الجزيئي شائعة في كل من النحاس (فلز) والخشب (لافلز) (انظر شكلي **5 – 3**، **5 – 4**). إنها آلية بطيئة نسبيًّا لنقل الحرارة مقارنة بآلية أخرى لنقل الحرارة تحدث في الفلزات: **الانتشار الحر للإلكترونات**.

تتحرك الإلكترونات الحرة في النحاس أسرع عند تسخين القضبان نتيجة احتوائها على طاقة حركية أكثر. وتنتشر تلك الإلكترونات سريعة الحركة والحاملة للطاقة إلى الأجزاء الأبرد للفلز، ثم تنقل طاقتها الحركية إلى الجزيئات بالتصادم معها. ويفسر ذلك كون معدل انتقال الحرارة في الموصلات الجيدة للحرارة (فلزات) أسرع بكثير من معدل انتقالها في المواد العازلة (لا فلزات).



شكل **5 – 3** نحاس (فلز)



شكل **5 – 4** خشب (لا فلز)

آليتا التوصيل الحراري هما الاهتزازات الجزيئية، والانتشار الحر للإلكترونات.

توصيل الحرارة خلال السوائل والغازات

يمكن كذلك توصيل الحرارة في السوائل والغازات من منطقة أسخن إلى منطقة أبرد. ورغم ذلك فإن عملية التوصيل في السوائل والغازات غير فعالة. فيشمل توصيل الحرارة في السوائل والغازات انتقال الطاقة الحركية من الذرات أو الجزيئات سريعة الحركة إلى تلك بطيئة الحركة خلال عملية التصادمات. والتصادمات بين الذرات أو الجزيئات ليست متكررة بدرجة كبيرة في السوائل، وهي أقل تكرارًا في الغازات حيث تكون الذرات والجزيئات أكثر تباعدًا. ويفسر ذلك كون الهواء موصل أردأ للحرارة من الماء، والذي بدوره موصل أردأ للحرارة من معظم الأجسام الصلبة.

السوائل والغازات موصلات رديئة للحرارة مقارنة بالأجسام الصلبة.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

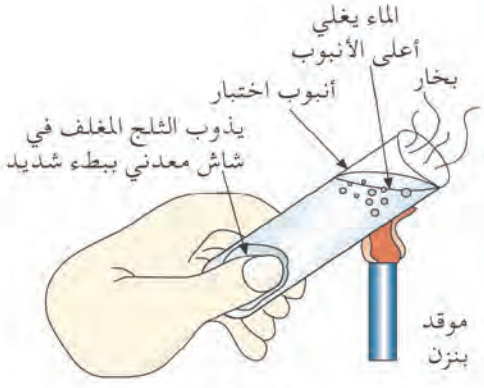
وستبين التجربة التالية أن الماء موصل رديء للحرارة.

تجربة 5-2

لتوضيح أن الماء موصل رديء للحرارة.

الأدوات: أنبوب اختبار، ثلج، شاش معدني، موقد بنزن، ماء.

الإجراء:
1- غلف قطعة الثلج بقطعة من الشاش المعدني ثم ضعها في قاع أنبوب الاختبار.
2- املأ أنبوب الاختبار بماء الصنبور حتى نهايته تقريبًا.
3- سخّن الأنبوب عند الطرف العلوي كما هو مبين بالرسم.
4- راقب الماء وهو يغلي، والثلج أسفل منه.



شكل 5 - 5

سيكوّن الماء عند الطرف العلوي لأنبوب الاختبار في التجربة 5 - 2 فقاعات، ثم يغلي دون أن تشعر الأصابع التي تمسك بقاع الأنبوب بأي ألم. سينصهر الثلج المغلف بقطعة من الشاش المعدني ببطء شديد، مبينًا أن معدل انتقال الحرارة من الطرف الساخن للماء إلى الطرف البارد بطيء جدًّا. وبمعنى آخر فإن الماء موصل رديء للحرارة.

إن معظم السوائل (باستثناء الزئبق المصهور) هي موصلات رديئة للحرارة. وتعتبر الغازات مثل الهواء أردأ موصلات للحرارة (أو مواد عازلة جيدة للحرارة). انظر الجزء **5** - 6 لبعض التطبيقات اليومية، ولمتابعة نتائج التوصيل الحراري.

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) هل الحرارة المنقولة من نار الشواء إلى شخص يقف أمامها مثال جيد لانتقال الحرارة عن طريق التوصيل؟
(ب) اذكر آليتي توصيل الحرارة في الأجسام الصلبة.

5-3 الحمل الحراري

Convection

العملية الثانية لانتقال الحرارة التي سنناقشها هي الحمل الحراري، وتتضمن نقل الحرارة خلال أحد الموائع (أي سائل أو غاز) عن طريق الحركة الكلية للمائع نفسه. تبين التجربتان التاليتان انتقال الحرارة عن طريق الحمل الحراري في الموائع.

الحمل الحراري هو انتقال الطاقة الحرارية عن طريق تيارات في الوسط المادي (سائل أو غاز).

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية - ليبيا

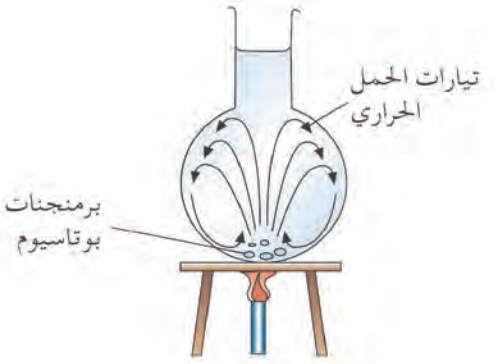
تجربة 5 – 3

لبيان الحمل الحراري في الماء.

الأدوات: دورق كبير ذو قاع مستدير، بلورات برمنجنات البوتاسيوم، موقد اشتعال.

الإجراء: **1**– املأ الدورق بالماء، ثم ضع بعض بلورات برمنجنات البوتاسيوم بحرص عند قاع الدورق (انظر شكل 5 – 6)

2– ضع موقد اشتعال ذا لهب صغير تحت الدورق، ثم راقب البلورات.



شكل 5 – 6

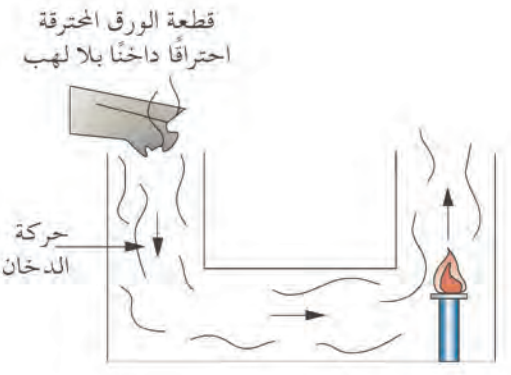
تجربة 5 – 4

لبيان الحمل الحراري في الهواء.

الأدوات: صندوق كبير ذو مدخنتين في أعلاه، وقطعة زجاج شفاف في أحد جوانبه.

الإجراء: **1**– ضع الشمعة تحت إحدى المدخنتين ثم اشعلها.

2– أدخل في المدخنة الأخرى دخانًا بوضع قطعة ورق تحترق احتراقًا بطيئًا داخنًا بلا لهب فوقها ثم راقب حركة الدخان.



شكل 5 – 7

نلاحظ في التجربة 5 – 3 تيارات ماء أرجوانية اللون ترتفع رأسيًّا في مركز الدورق، ثم تهبط مرة أخرى بطول جوانبه (شكل 5 – 6).

وسنلاحظ في التجربة 5 – 4 حركة الدخان لأسفل من مدخنة، ثم ارتفاع الدخان في المدخنة الأخرى.

آلية الحمل الحراري

يمثل دوران تيارات الماء الأرجوانية في شكل(5 – 6)» أو حركة الدخان في شكل(5 – 7)تيارًا للحمل الحراري. فعند تسخين الماء عند قاع الدورق ذي القاع المستدير (أو الهواء فوق الشمعة) فإنه يتمدد، ويصبح مائعًا أقل كثافة من المائع المحيط، ولذا يبدأ في الارتفاع. وعندها، تهبط مناطق المائع الأبرد في الجزء العلوي للدورق لكونها أكثر كثافة، وهو ما تبينه الأسهم في شكلي(5– 6، 5 – 7) إن حركة المائع (أي الماء أو الهواء) الراجعة إلى فرق في الكثافة، تؤدي إلى تيار للحمل الحراري.

وتحدث تيارات الحمل الحراري فقط في الموائع (أي السوائل أو الغازات)، ولا تحدث في الأجسام الصلبة. وذلك لأن الحمل الحراري يتضمن الحركة الحجمية للموائع التي تحمل معها الحرارة. وبالنسبة للأجسام الصلبة فإن الحرارة تنتقل من جزيء لآخر من دون أي حركة للجزيئات نفسها.

انظر الجزء(5 – 6)لبعض التطبيقات اليومية، ونتائج الحمل الحراري.

تيار الحمل الحراري هو حركة المائع نتيجة تغير كثافات أجزاء المائع المختلفة.

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) هل الحرارة المنتقلة من مكواة ساخنة إلى شخص ممسك بها في وضع الكي لأسفل هي مثال جيد لانتقال الحرارة عن طريق الحمل الحراري؟

(ب) اذكر آلية انتقال الحرارة في الموائع.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

5 – 4 الإشعاع الحراري
Radiation

الإشعاع الحراري هو العملية الثالثة لانتقال الحرارة التي سنناقشها. لايحتاج الإشعاع الحراري على عكس التوصيل الحراري والحمل الحراري إلى مادة وسيطة لانتقال الحرارة – يمكن أن يحدث في فراغ. فتصل على سبيل المثال، الحرارة من الشمس إلى الأرض بعملية الإشعاع الحراري.

إن التوصيل الحراري أو الحمل الحراري ليس ممكنًا بسبب الفراغ بين الشمس والأرض. فالشمس ترسل موجات كهرومغناطيسية ذات ترددات وأطوال موجية مختلفة، ولكنها ذات سرعة واحدة في الفراغ (انظر الوحدة **6**).

الضوء جزء فقط من هذا الطيف من الموجات الكهرومغناطيسية، والجزء الذي يجعلنا نشعر بالدفء هو الموجات دون الحمراء (أو الإشعاع دون الأحمر). وتسمى الحرارة التي تسببها الموجات دون الحمراء **حرارة إشعاعية**. وبالإضافة إلى الشمس ترسل أيضًا الأجسام الساخنة مثل المكواة الحديدية الساخنة بعض الحرارة الإشعاعية. فكلما كان الجسم أسخن، كلما كانت كمية الحرارة الإشعاعية الصادرة أكبر.

الإشعاع هو الانبعاث المستمر للموجات دون الحمراء من أسطح جميع الأجسام، وينتقل خلال الفضاء من دون مساعدة وسط مادي.

شكل 5 – 8 الشمس هي مصدر رئيس للحرارة الإشعاعية

امتصاص الإشعاع دون الأحمر

تمتص جميع الأجسام والأسطح الإشعاع دون الأحمر. ويسبب الامتصاص ارتفاعًا في درجة الحرارة، وسندرس في الجزء 5 – 5 كيفية تأثير طبيعة السطح على قدرته على امتصاص الحرارة الإشعاعية.

5 – 5 معمل تقانة المعلومات
The IT Laboratory

لاستقصاء امتصاص الإشعاع بواسطة سطح أسود، وسطح فضي.

الأدوات: مِجسّان لدرجة الحرارة، جهاز جمع البيانات بورشة عمل علوم، رقائق الألومنيوم، مصباح إضاءة كهربائي قدرة 100 W.

الإجراء:

1- صل مِجسّي الحرارة بجهاز التداخل البيني لمعالجة البيانات، أحدهما بقناة أنالوج (A)، والآخر بقناة (B).

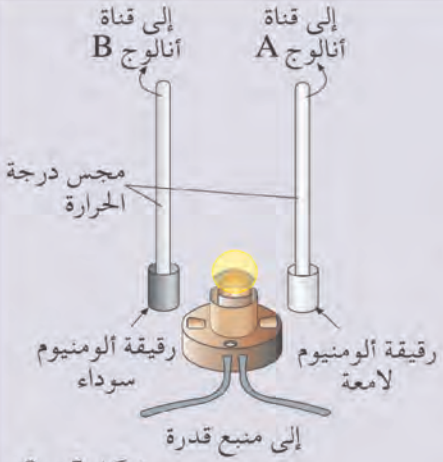
2- اضبط معدل أخذ العينة على 1 s. ويعني ذلك أن الحاسوب سيأخذ قراءة درجة الحرارة كل 1 s.

3- غلّف أطراف مجسي درجة الحرارة برقائق من الألومنيوم ذات حجم واحد. مستخدمًا قلم لَبّادٍ أسود لوّن رقيقة الألومنيوم الخاصة بمجس درجة حرارة القناة (A) باللون الأسود، ثم ضع المجسين على مسافة متساوية من المصباح الكهربائي.

4- ابدأ تسجيل درجة الحرارة، ولاحظ العلاقة البيانية بين درجة الحرارة والزمن، ولاحظ درجة الحرارة المبدئية لكل من المجسين، T_i.

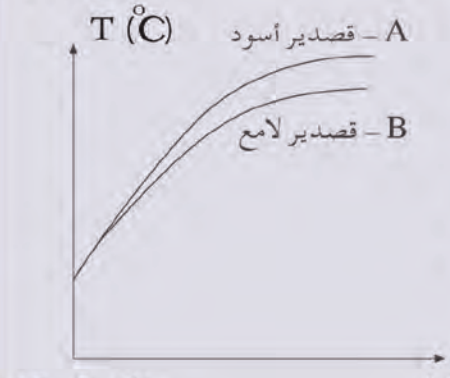
5- شغل مصباح الإضاءة، وراقب ارتفاع درجة حرارة كل من المجسين.

6- أوقف عمل مصباح الإضاءة بعد 60 s.



شكل 5 – 9

المشاهدة: يبين شكل 5 – 10 تسجيلًا نموذجيًا لدرجة حرارة المجسين ذوي الرقيقة السوداء والرقيقة اللامعة. يُشاهد امتصاص رقيقة الألومنيوم السوداء للإشعاع بمعدل أسرع مقارنة برقيقة الألومنيوم اللامعة.



شكل 5 – 10

الاستنتاج: تمتص الأسطح السوداء القاتمة الإشعاع دون الأحمر أسرع، مقارنة بالأسطح البيضاء اللامعة.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

انبعاث الإشعاع دون الأحمر

ينبعث الإشعاع دون الأحمر من جميع الأجسام والأسطح، ويتسبب في هبوط درجة حرارتها. ونشاهد في التجربة التالية كيفية تأثير طبيعة السطح على معدل انبعاث الإشعاع دون الأحمر.

لاستقصاء انبعاث الإشعاع من سطح أسود، وسطح فضي.

الأدوات: مِجَسّان لدرجة الحرارة، جهاز جمع بيانات معمل العلوم، علبتان متماثلتان من القصدير (واحدة سوداء والأخرى لامعة)، ماء مغلي من غلايتين كهربيتين.

الإجراء:

1- صل مِجَسّي درجة الحرارة بجهاز التداخل البيني لمعالجة البيانات، أحدهما بقناة أنالوج (A)، والآخر بقناة (B).

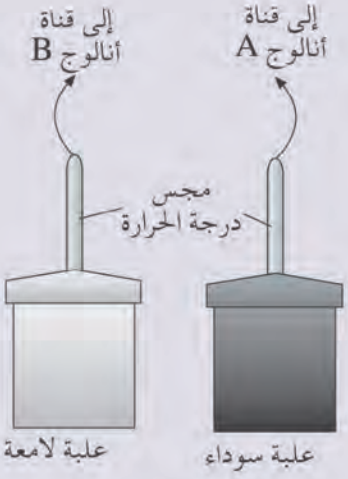
2- اضبط معدل أخذ العينة على 10 s.

3- صب الماء المغلي في العلبتين في وقت واحد حتى يمتلئا تمامًا إلى الحافة.

4- ضع الغطاء، ومِجَسّي درجة الحرارة على العلبتين. القناة (A) ترصد درجة حرارة الماء في العلبة السوداء، والقناة (B) في العلبة اللامعة.

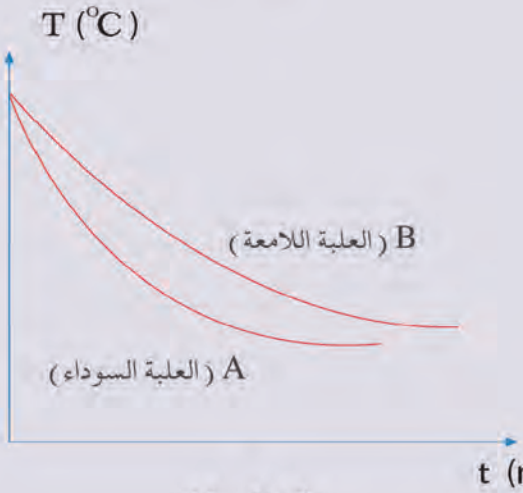
5- ابدأ في تسجيل درجات الحرارة. ولاحظ العلاقة البيانية بين درجة الحرارة والزمن لكل من المجسين.

6- توقف عن التسجيل بعد 10 min.



شكل 5 – 11

يبين شكل 8 – 12 علاقة بيانية نموذجية بين الزمن ودرجة الحرارة.



شكل 5 – 12

المشاهدة: يُشاهد هبوط درجة حرارة العلبة السوداء بمعدل أسرع من العلبة اللامعة. والسبب هو أن العلبة السوداء تبعث حرارة أكثر من العلبة اللامعة.

الاستنتاج: الأسطح السوداء القاتمة هي مصادر أفضل لانبعاث الإشعاع دون الأحمر من الأسطح البيضاء اللامعة.

وعمومًا فإن المصدر الجيد لانبعاث الحرارة الإشعاعية هو أيضًا مصدر جيد لامتصاص الحرارة الإشعاعية. وعلى العكس، فإن المصدر الضعيف لانبعاث الحرارة الإشعاعية هو أيضًا مصدر ضعيف لامتصاص الحرارة الإشعاعية. انظر الجزء 5 – 6 للتطبيقات اليومية وعواقب الإشعاع.

الأسطح السوداء القاتمة مصادر انبعاث أفضل للإشعاع دون الأحمر من الأسطح البيضاء اللامعة.

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) اذكر مثالين من الحياة اليومية لانتقال الحرارة بالإشعاع الحراري.

(ب) اذكر آلية انتقال الحرارة بالإشعاع الحراري.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية - ليبيا

عوامل تؤثر على معدل انتقال الطاقة بالإشعاع الحراري

يعتمد معدل انتقال الطاقة بالإشعاع الحراري على ثلاثة عوامل:

كلما كانت درجة حرارة السطح أعلى، كلما كان معدل انتقال الطاقة بالإشعاع الحراري أعلى.

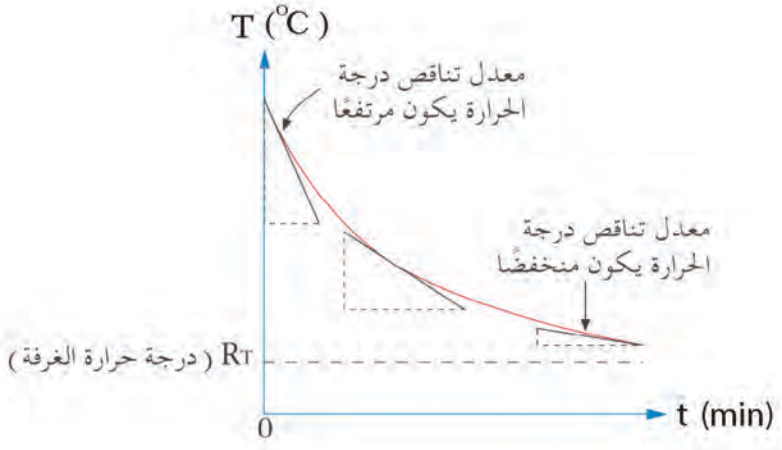
1- لون وقوام السطح

لقد رأينا في الجزء 5 – 5 أن الأسطح السوداء القاتمة هي مصادر أفضل لانبعاث الإشعاع دون الأحمر من الأسطح البيضاء اللامعة. ويبين أيضًا شكل 5 – 12 أن المعدل الذي ينبعث به الإشعاع دون الأحمر يكون أعلى إذا كان السطح قاتمًا وأسود.

كلما كانت مساحة السطح أكبر، كلما كان معدل انتقال الطاقة بالإشعاع الحراري أعلى.

2- درجة حرارة السطح

يعتمد كذلك معدل انتقال الطاقة بالإشعاع الحراري على درجة حرارة السطح. فكلما كانت درجة حرارة سطح الجسم أعلى بالنسبة لدرجة حرارة الغرفة، كلما كان معدل انتقال الطاقة أعلى. ويبين ذلك شكل 5 – 12.



شكل 5 – 13 يعتمد معدل تناقص درجة الحرارة على درجة حرارة السطح

ويبين شكل 5 – 13 علاقة بيانية مماثلة، للزمن مقابل درجة حرارة جسم ينبعث منه الإشعاع دون الأحمر. يكون في البداية معدل انخفاض درجة الحرارة مرتفعًا، ونستنتج ارتفاع معدل انتقال الطاقة بالإشعاع الحراري. ويصبح بمرور الوقت معدل تناقص درجة الحرارة أدنى، ولذا ينخفض أيضًا معدل انتقال الطاقة.

3- مساحة السطح

العامل الثالث الذي يؤثر على معدل انتقال الطاقة بالإشعاع الحراري هو مساحة سطح الجسم. فإذا قارنّا جسمين كتلتهما متماثلة، ومصنوعين من نفس المادة، ولكن لهما مساحات سطح مختلفة، نجد أن الإشعاع دون الأحمر ينبعث من الجسم ذي المساحة السطحية الأكبر بمعدل أعلى.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

بعض نتائج التوصيل الحراري

1- حبس الهواء لاستخدامه كعازل

إن للطيور ريشًا، وللثدييات كالقطط والدببة القطبية فروًا لحجز الهواء، فالهواء عازل جيد للحرارة، مما يقلل من فقد الحرارة من أجسامها الدافئة إلى محيطها البارد أثناء الشتاء أو في الأيام الممطرة.

ويحتاج الإنسان للملابس لحجز الهواء لأن أجسامنا تحتوي على شعر قليل جدًّا لا يستطيع تدفئتنا.

2- أحاسيس مختلفة من الموصِّلات الجيدة والرديئة للحرارة

إذا لمست في يوم بارد المقبض الفلزي لباب بإحدى يديك، ولمست الجزء الخشبي من نفس الباب باليد الأخرى، ستشعر بأن المقبض الفلزي أكثر برودة من الجزء الخشبي رغم كون الجزأين في نفس درجة الحرارة.

والسبب أن الفلز موصل أفضل بكثير للحرارة من الخشب، مما يعني أن الفلز يوصل الحرارة بعيدًا عن يدك أسرع بكثير من الخشب.

ويمكن الإحساس بنفس التأثير إذا سرت حافي القدمين على أرضية رخامية ومن ثم على سجادة. ستشعر مرة ثانية بأن الأرضية الرخامية أبرد من السجادة.

بعض التطبيقات اليومية للتوصيل الحراري

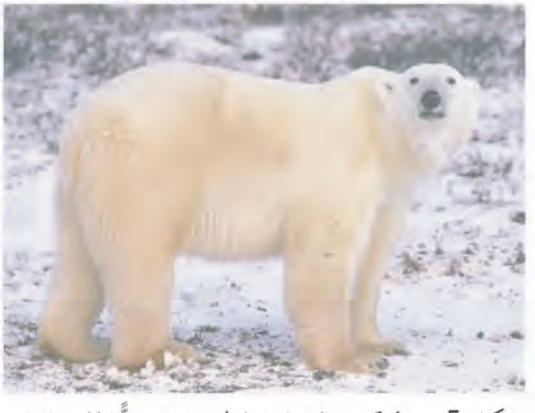
استخدامات الموصِّلات الجيدة للحرارة

عندما يتطلب الأمر حركة الحرارة بسرعة خلال مادة ما، تُستخدم الموصِّلات الجيدة للحرارة. وفيما يلي بعض أمثلة استخدام الفلزات (الموصِّلات الجيدة للحرارة):

1- تُصنع عادة أواني الطهي، والغلايات، والقدور، والمراجل من الألومنيوم أو الفولاذ الذي لا يصدأ حين يتطلب الأمر تسخينًا مباشرًا.

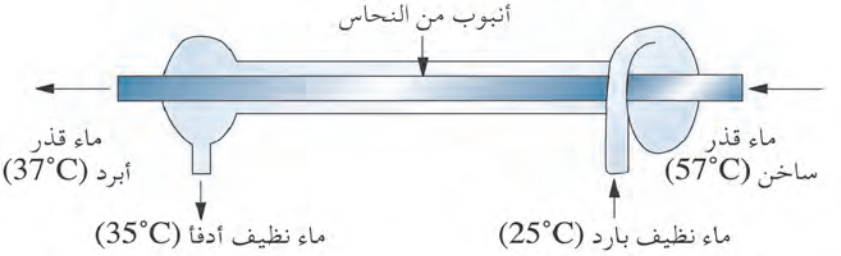
2- تُصنع قضبان اللحام من الحديد، ويصنع طرفها من النحاس لأن النحاس مُوصِّل أفضل بكثير للحرارة من الحديد.

3- تُمكِّن المبادلات الحرارية مثل تلك التي تستخدم في المغسلة من توفير الوقود. ويبين شكل 5 – 16 مبادلًا حراريًّا يستخدم في مغسلة مصنوع من النحاس، وهو موصل جيد جدًّا للحرارة.



شكل 5 – 14 الهواء عازل جيد جدًّا للحرارة، يُمكِّن الثدييات من الاحتفاظ بالدفء في اليوم البارد

شكل 5 – 15 قضيب لحام حديدي



شكل 5 – 16 المبادل الحراري للمغسلة: يستخدم الماء القذر الساخن، الناتج من الغسيل الساخن، لتسخين الماء النظيف البارد بالتوصيل الحراري السريع خلال جدران الأنبوب النحاسي.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

شكل 5 – 17 تصنع مقابض الأواني المنزلية من الخشب أواللدائن

استخدامات الموصِّلات الرديئة للحرارة (المواد العازلة)

المـواد العازلـة تكون مفيـدة للغايـة إذا أردنا تقليل سـريان الحرارة أو فقدها. وفيما يلي بعض التطبيقات الشائعة للمواد العازلة:

1- تصنع مقابض القدور، والغلايات، وأواني الشاي، وأسلاك اللحام من الخشب أو من اللدائن وهي موصلات رديئة جدًّا للحرارة. يمكن الإمساك من خلالها بالقدر أو بالحديد الساخن دون حرق أيدينا.

2- تُصنـع عـادة حصائر الطاولة مـن الفلين حتى يمكـن وضع أواني الطهي الحارة عليها دون إتلاف سطح الطاولة.

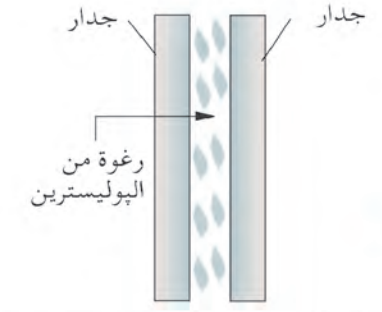
شكل 5 – 18 حصائر الطاولة

3- تستخدم نشارة الخشـب لتغطية قطع الثلج بسبب خاصية العزل الجيدة لديها.

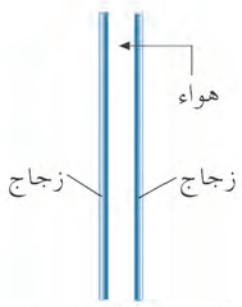
4- تكـون المغرفة الخشـبية مفيـدة جـدًّا لتقليب أو لغرف الحسـاء الساخن، وكذلك لغرف الأرز المطهي حديثًا.

5- تستخدم البطاطين أو الملابس الصوفية لحفظ دفء الناس في الأيام الباردة.

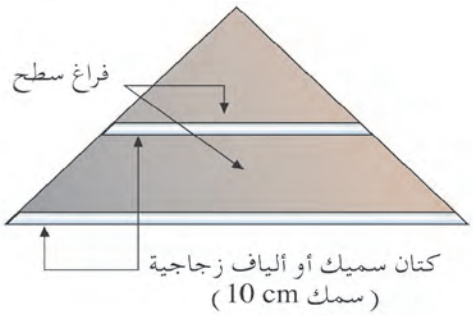
6- يسـتخدم الزجاج الليفي ورغوة البوليسـترين الممتدة التي تحبس كميات كبيرة من الهواء، كعـوازل في جدران المنازل، وصناديق الثلج، والثلاجات. يشـيع كذلك اسـتخدام الزجاج المزدوج لأن الهـواء موصل رديء جـدًّا للحرارة. وتبين الأشـكال 5 – 19 إلى 5 – 21 بعض الأمثلة:



شكل 5 – 19 العازل الجداري الفجوي



شكل 5 – 20 الزجاج المزدوج



شكل 5 – 21 عزل السقف

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) لماذا يكون ارتداء طبقات قليلة من الملابس الرقيقة أكثر فاعلية من طبقة سميكة واحدة في اليوم البارد؟
(ب) اذكر استخدامين للموصلات الجيدة للحرارة.
(جـ) اذكر استخدامين للموصلات الرديئة للحرارة.

التربية الوطنية

ناقش المشاكل التي قد تواجه بعثة اتجهت إلى القطب الجنوبي على الأقدام نتيجة البرد القارس. ما التدابير التي اتخذوها للتغلب على تلك المشاكل؟

بعض نتائج الحمل الحراري

1- تكوين نسيم البحر ونسيم الأرض

يبين شكلا 5 – 22، 5 – 23 كيفية تسبب الحمل الحراري الطبيعي في الهواء لنسيم البحر في النهار، ولنسيم الأرض في الليل.

تسخن الأرض أثناء النهار أسرع من ماء البحر، مما يدفئ الهواء فوق سطحها الساخن، ومن ثم يرتفع لأعلى. ونتيجة لذلك يتحرك الهواء الأبرد نسبيًا فوق سطح البحر تجاه الأرض ليحل محل الهواء الأسخن. إن حركة الهواء تلك من البحر إلى الأرض هي نسيم البحر.

وتبرد الأرض أثناء الليل أسرع من ماء البحر. ولذا يكون الهواء فوق سطح البحر أسخن من الهواء فوق الأرض. ويتكون نتيجة ذلك تيار عكسي للحمل الحراري لأن الهواء الدافئ فوق سطح البحر يرتفع ويحل محله الهواء الأبرد من الأرض. ويكوِّن ذلك نسيم الأرض.

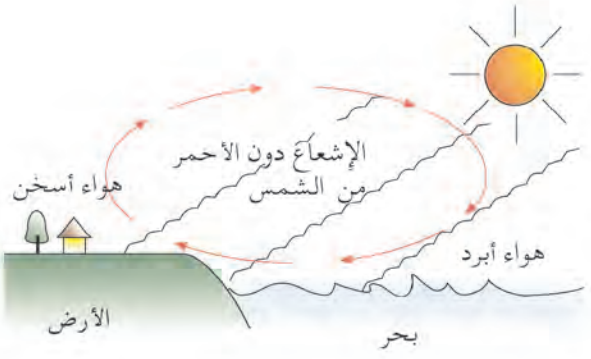
2- تيارات الحمل الحراري في الغرفة

عند دخول مجموعة من الناس غرفة ما تتكون تيارات للحمل الحراري. ويبين شكل 5 – 24 تيارات الحمل الحراري بالقرب من شخص ما.

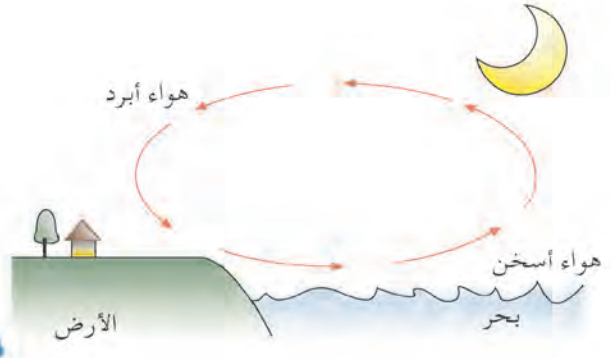
تعمل الحرارة المتولدة من العمليات الجسدية كالتنفس على تسخين الهواء القريب من الجسم بالتوصيل الحراري. ومن ثم يرتفع الهواء الدافئ لأنه أقل كثافة بينما يهبط الهواء الأبرد الأكثر كثافة لأسفل ويكوِّن ذلك تيارًا للحمل الحراري.

3- تيارات الحمل الحراري في بركة ماء

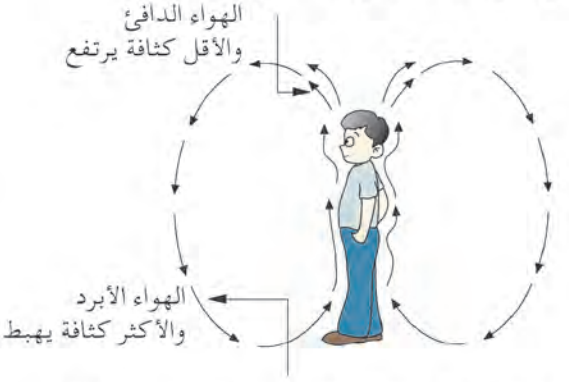
يكون الهواء فوق سطح البركة عند بداية الشتاء أبرد من الماء فيها. ولذا تفقد الطبقات العليا من الماء حرارة للهواء، وتصبح أكثر كثافة من الماء الأدفأ تحتها. ويهبط الماء الأبرد لأسفل، بينما يرتفع الماء الأدفأ تحتها لأعلى. ويكوِّن ذلك تيارات حمل حراري.



شكل 5 – 22 أثناء النهار: نسيم البحر



شكل 5 – 23 أثناء الليل: نسيم الأرض



شكل 5 – 24 تيارات حمل حراري بالقرب من شخص في غرفة

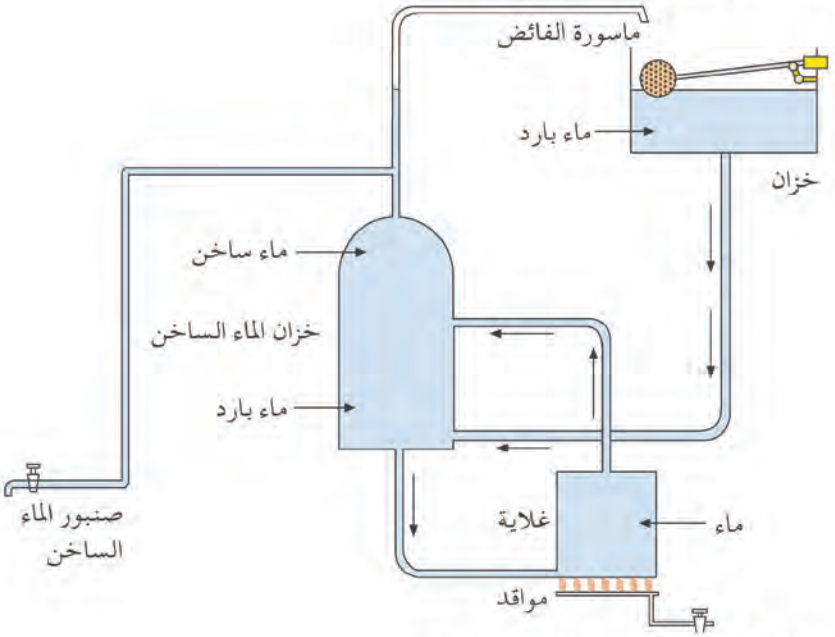
جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

ولحسن حظ الحياة البحرية، يسلك الماء سلوكًا شاذًّا حيث تصل كثافته إلى أقصاها عند هبوط درجة حرارته إلى 4°C. وأي هبوط إضافي في درجة الحرارة من 4°C في اتجاه 0°C يجعل الماء يتمدد، مما يعني أن تيارات الحمل الحراري تتوقف عند وصول درجة حرارة الماء عند قاع البركة إلى 4°C.

تتجمد الطبقة العليا من الماء لتصبح جليدًا طافيًا، ومن ثم يعمل كطبقة عازلة لمنع أي فقد حرارة إضافي من الماء الأدفأ أسفل.

بعض التطبيقات اليومية للحمل الحراري

1- أجهزة الماء الساخن المنزلية



شكل 5 – 25 جهاز الماء الساخن بالمنزل

إن مبدأ تشغيل جهاز الماء الساخن الذي يعمل بالغاز في البيوت مبني على الحمل الحراري في السوائل كما في شكل (5 – 25) :

يُسَخَّن الماء في الغلاية بواسطة مواقد غاز، فيتمدد ويصبح أقل كثافة، ومن ثم يرتفع ويتدفق إلى النصف العلوي من الأسطوانة.

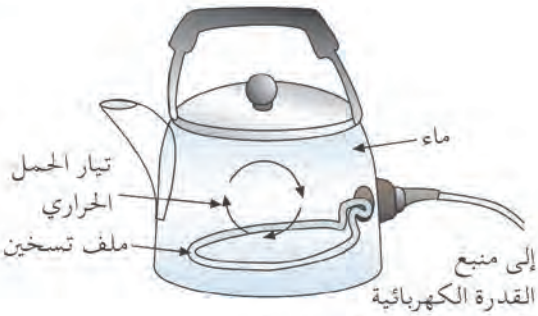
ولاستبدال الماء الساخن، يهبط الماء البارد من الخزان إلى النصف الأدنى من الأسطوانة ثم إلى داخل الغلاية بسبب فرق الضغط.

وتتصل ماسورة الفائض بالأسطوانة للحالات التي ترتفع فيها درجة حرارة الماء لتصبح عالية جدًّا، وتسبب تمددًا كبيرًا للماء الساخن.

ويجب أن يكون موقع صنبور الماء الساخن النازل من ماسورة الفائض أدنى من الخزان، حتى يتسبب فرق الضغط بين الحوض والصنبور في حركة الماء إلى خارجه.

2- الغلايات الكهربائية

يوضع دائمًا ملف تسخين الغلاية الكهربائية عند قاعها كما هو مبين بشكل (5 – 26).



شكل 5 – 26 غلاية كهربائية

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

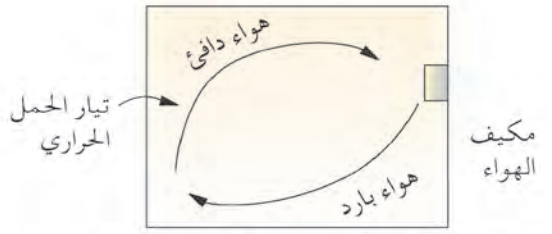
وعند تشغيل منبع القدرة الكهربائية يسخن الماء القريب من ملف التسخين، ويتمدد ويصبح أقل كثافة، ويرتفع بينما تهبط الأجزاء الأبرد في جسم الماء لأسفل لتحل محل الماء الساخن.

3- مكيفات الهواء

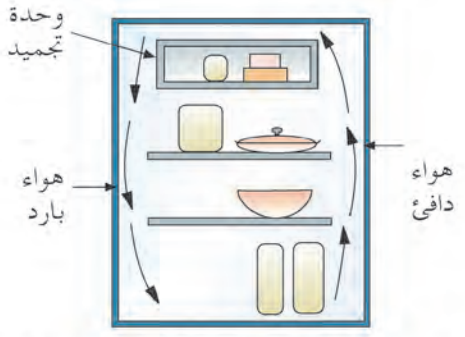
إن المروحة الدوّارة داخل مكيف الهواء تجبر الهواء الجاف البارد على الخروج إلى داخل الغرفة. فيغوص الهواء البارد لأنه أكثر كثافة، بينما يرتفع الهواء الدافئ الأقل كثافة، وينسحب إلى داخل المكيف حيث يُبَرَّد. ويُعاد بتلك الطريقة تدوير الهواء، وتهبط درجة حرارته إلى القيمة السابق ضبطها على الترموستات (منظم درجات الحرارة).

4- الثلاجات

تعمل الثلاجات بنفس طريقة مكيفات الهواء. توضع وحدة التجميد عند القمة لتبريد الهواء. يهبط الهواء البارد الأكثر كثافة لأسفل، بينما يرتفع الهواء الدافئ لأعلى. ويكوِّن ذلك تيارات حمل حراري داخل الثلاجة تساعد على تبريد محتوياتها.



شكل 5 – 27 يُركَّب دائمًا مكيف الهواء بالقرب من سقف الحجرة



شكل 5 – 28 تيارات الحمل الحراري في الثلاجات

شكل 5 – 29 يمكن أن يصبح حمام الشمس الزائد ضارًّا

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) ما الاتجاه الأكثر احتمالًا لهبوب النسيم ليلًا بطرابلس ؟
(ب) اذكر اسم أي ثلاثة تطبيقات للحمل الحراري؟

بعض نتائج الإشعاع الحراري

1- لون وقوام الملبس

يكون ارتداء الملابس السوداء القاتمة غير مريح في الأيام المشمسة مقارنة بالملابس البيضاء المتألقة بسبب الكمية الكبيرة التي تمتصها الملابس السوداء من الحرارة الإشعاعية.

2- سرطان الجلد

مع ازدياد تلف طبقة الأوزون في الغلاف الجوي يتزايد تعرض الإنسان لإشعاع ضار من الشمس. إن الإشعاع فوق البنفسجي من الشمس هو أحد أسباب سرطان الجلد.

بعض التطبيقات اليومية للإشعاع الحراري

1- الدوارق المفرغة

يُصَمَّم الدورق المفرغ (أو الترموس) لحفظ السوائل ساخنة، بتقليل فاقد الحرارة بأربع طرق : التوصيل الحراري، والحمل الحراري، والإشعاع الحراري، والبخر. يمنع الفراغ الموجود بين الجدران الزجاجية المزدوجة للدورق الحمل الحراري، والتوصيل الحراري خلال جوانبه. ويكون التوصيل الحراري خلال الهواء المحبوس فوق السائل (انظر شكل 5 – 30) أقل ما يمكن لأن الهواء موصل رديء جدًّا للحرارة. وتصنع عادة السدادة من اللدائن الذي هو أيضًا موصل رديء للحرارة.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

شكل 5 – 30 دورق مفرغ (ترموس)

لايحدث حمل حراري وبخر إلا عند إزالة السدادة اللدائنية أثناء الاستخدام. ويعتبر إيقاف فقد الحرارة بالإشعاع صعبًا لأن الحرارة الإشعاعية يمكنها المرور خلال الفراغ.

ولتقليل فاقد الحرارة عن طريق الإشعاع، تُطلى جدران الزجاج باللون الفضي حتى تعكس الحرارة الإشعاعية إلى داخل السائل الساخن.

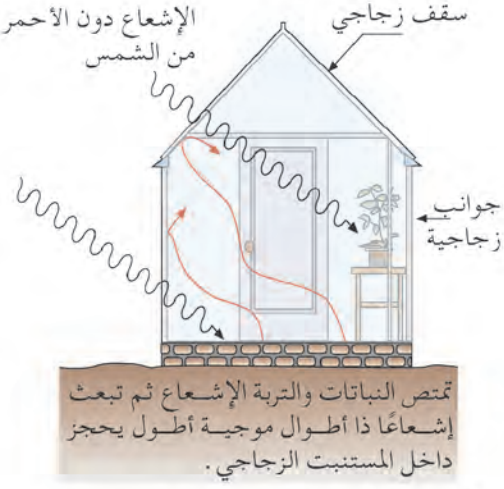
2- إبريق الشاي

لأن الأسطح اللامعة مصادر رديئة للإشعاع، يظل الشاي دافئًا في الأباريق اللامعة لمدة أطول منه في أباريق الشاي السوداء. ولأن الأسطح اللامعة وسائل امتصاص رديئة للإشعاع الحراري، تحتفظ الأوعية اللامعة بالسائل البارد باردًا لمدة أطول من الأوعية السوداء.

شكل 5 – 31 إبريق شاي لامع

3- المستنبت الزجاجي (الصوبة)

إن المستنبت الزجاجي مفيد جدًّا في مساعدة نباتات معينة على النمو بشكل أفضل بحجزه الحرارة داخله. ففي اليوم الدافئ يمر الإشعاع دون الأحمر من الشمس خلال زجاج المستنبت، فتمتصه التربة والنباتات داخله. ولهذا تصبح التربة والنباتات أكثر دفئًا، وتبعث إشعاعًا دون الأحمر ذا أطوال موجية أطول، لأنها مصدر درجة حرارته أدنى مقارنة بالشمس. ولا تكون تلك الأطوال الموجية الأطول قادرة على المرور خلال الزجاج (يسمح الزجاج بمرور الإشعاع قصير الموجة من الشمس إلى الداخل، ولكنه يعمل كجدار واقٍ للإشعاع طويل الموجة الخارج). وهكذا تُحبس الحرارة داخل المستنبت الزجاجي، وينتج عن ذلك ارتفاع درجة الحرارة داخله، وهو أمر جيد لنمو النبات.



شكل 5 – 32 المستنبت الزجاجي

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) هل تعتبر الحرارة المنتقلة من سقف من زنك ساخن إلى شخص أسفله مثالًا جيدًا لانتقال الحرارة عن طريق الإشعاع الحراري؟ اشرح ذلك.

(ب) ما الهدف من الفراغ الموجود في الدورق المفرغ المستخدم لتخزين السائل البارد؟

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

انتقال الطاقة الحرارية

بواسطة عملية

(1) التوصيل الحراري إما عن طريق الاهتزاز الجزيئي أو انتشار الإلكترونات الحرة في الأجسام الصلبة.

(2) الحمل الحراري عن طريق التيارات في الوسط المادي (غاز أو سائل).

(3) الإشعاع الحراري عن طريق انبعاث الموجات دون الحمراء.

تؤدي إلى

تطبيقات يومية: (1) قدور الطهي (2) مبادلات الحرارة (3) العزل الجداري الأجوف (4) أجهزة الماء الساخن المنزلية (5) الثلاجات (6) دوارق مفرغة ... إلخ.

عواقب يومية: (1) تكوين نسيم البحر ونسيم الأرض (2) سرطان الجلد ..... إلخ.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

المهارة : تعين أنماط وعلاقات

لقد درست كيفية احتفاظ الدورق المفرغ بالسوائل الساخنة ساخنة. دعنا في هذا النشاط نعيد تحليل الدورق المفرغ لنرى أيضًا كيفية احتفاظه بالسوائل الباردة باردة لمدة زمنية طويلة.

كيف يحتفظ الدورق المفرغ بالسوائل الباردة باردة؟

بسماته الخاصة الثلاث

يقلل انتقال الحرارة عن طريق	يقلل انتقال الحرارة عن طريق	يقلل انتقال الحرارة عن طريق
عملية	عملية	عملية

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

التمرين الخامس

الجزء الأول أسئلة الاختيار من متعدد

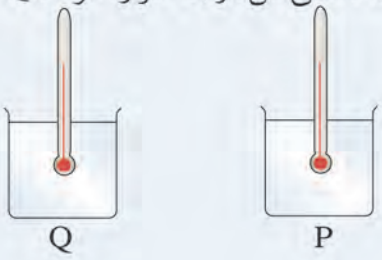
1- كيف تنتقل الحرارة وفقًا للنظرية الحركية البسيطة من الطرف الساخن للقضيب الزجاجي إلى الطرف البارد؟
الجزيئات من الطرف الساخن
(أ) تتحرك إلى الطرف البارد.
(ب) تهتز أكثر وتنقل الطاقة إلى الجزيئات المجاورة.
(جـ) ترسل إشعاعًا دون الأحمر إلى الطرف البارد.
(د) تتحرك من مكان لمكان، وتصطدم بالجزيئات الأبرد، وتنقل الطاقة إليها.

2- الملابس الصوفية تكون فعالة في الاحتفاظ بدفء أجسامنا لأن
(أ) الهواء المحجوز في الصوف يعمل كعازل.
(ب) فقد الحرارة يُمنع عن طريق الحمل والإشعاع الحراري.
(جـ) الصوف مشع رديء للحرارة، وماص جيد للحرارة.
(د) الصوف يحتفظ بدرجات حرارة عالية.

3- يجب وضع عنصر التسخين في خزان الماء الساخن عند القاع لأن
(أ) التوصيل الحراري لا يحدث عندما يكون السخان عند قمة الخزان.
(ب) الماء الساخن سيرتفع ويكوّن تيارًا للحمل الحراري.
(جـ) الحرارة الإشعاعية تتحرك أسرع في الاتجاه لأعلى.
(د) السخان يجب أن يغطى بالماء في جميع الأوقات.

4- يمنع الفراغ انتقال الحرارة في الدورق المفرغ عن طريق
(أ) الإشعاع فقط.
(ب) التوصيل فقط.
(جـ) الحمل فقط.
(د) التوصيل والحمل.

5- صُبَّت في التجربة التالية كميات متساوية من الماء الساخن في الوعائين، وكانت درجة حرارة كل من الوعائين والمحتويات واحدة. ووجد بعد ساعة أن درجة حرارة الوعاء P أدنى من درجة حرارة الوعاء Q.



ويبين ذلك أن P ..... أفضل للحرارة من Q.
(أ) موصل.
(ب) ماص.
(جـ) مشع.
(د) موصل وماص.

الجزء الثاني الأسئلة التركيبية

1- (أ) اذكر الوسائل الثلاث التي تنتقل بها الحرارة. أي تلك الوسائل لا يحتاج وسط مادي لانتقال الحرارة؟
(ب) صف تجربة لتميز بين الموصِّلات الجيدة والرديئة للحرارة؟
(جـ) الفلزات موصِّلات جيدة للحرارة بينما الخشب موصل رديء للحرارة (بمعنى عازل). ناقش العبارة السابقة مشيرًا إلى آلية انتقال الحرارة في الأجسام الصلبة؟

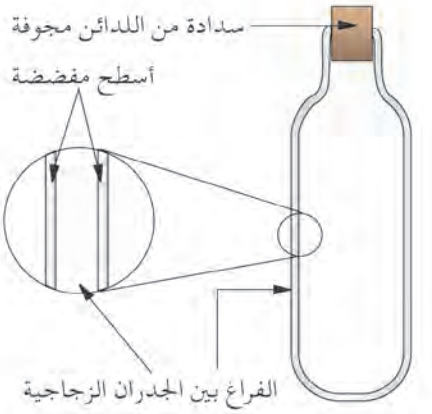
2- (أ) ما تيارات الحمل الحراري؟
(ب) صف تجربة تبين تيارات الحمل الحراري في الهواء؟
(جـ) لماذا يهب النسيم من البحر تجاه الأرض أثناء النهار، ويهب النسيم من الأرض تجاه البحر في الليل؟

3- صف تجاربَ بسيطة تبين ما يلي:
(أ) السطح القاتم مشع أفضل للحرارة من السطح اللامع.
(ب) المشعاع الجيد للحرارة هو أيضًا ماص جيد للحرارة.

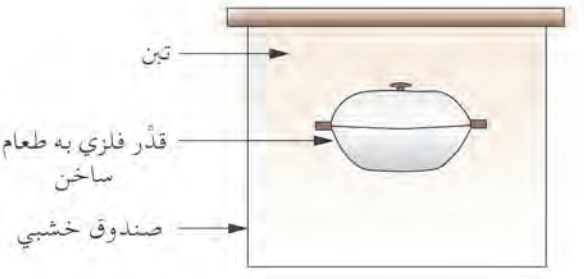
4- (أ) ما الحرارة الإشعاعية؟
(ب) لماذا تغطى بدل الفضاء أو البدل المضادة للحريق بسطح من فلز لامع؟
(جـ) لماذا تزود أجهزة الإشعاع الحراري (المبرد) في السيارة أو محركات الدراجات البخارية بجنيحات تبريد ملونة بلون أسود قاتم، ويكون لها أكبر مساحة سطحية ممكنة؟

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

5- يبين الرسم دورقًا مُفَرَّغًا بسيطًا . اشرح كيفية تصميم الدورق المفرغ بحيث يضمن أقل فاقد ممكن للحرارة، وحتى تظل المشروبات ساخنة .



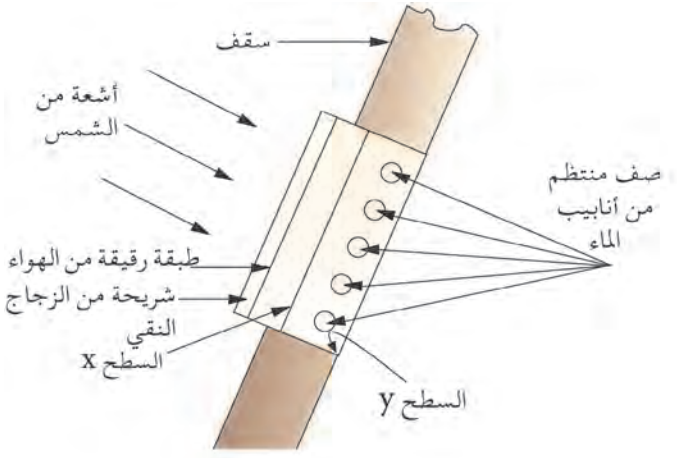
6- يبين الرسم طريقة تستخدم أحيانًا في المعسكرات الخلوية لحفظ الطعام دافئًا طوال الليل. يُسَخَّن في المساء الطعام في قدرٍ فلزي، يوضع بعد ذلك في صندوق خشبي محاطا بتبن غير محكم. وعند نزع القدر في الصباح التالي من التبن يكون الطعام ما يزال دافئًا .



(أ) اشرح كيفية تقليل التبن غير المحكم فقد الحرارة من الطعام؟

(ب) اذكر ما يحدث إذا تم تعبئة التبن بإحكام شديد . برر إجابتك؟

7- تحول الألواح الشمسية الطاقة الواصلة إليها من الشمس في شكل إشعاع كهرومغناطيسي إلى حرارة (طاقة داخلية للماء) يبين الرسم التالي قطاعًا عرضيًّا لأحد أنواع الألواح الشمسية المثبتة في سقف منزل .



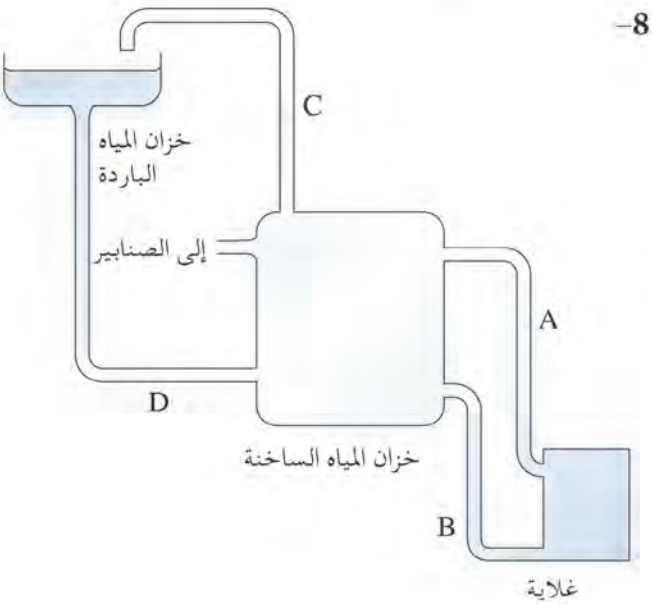
(أ) ما اسم هذا النوع من الإشعاع الكهرومغناطيسي؟

(ب) أحد الأسطح X، Y ملون بلون أسود قاتم، والآخر مغطى برقائق ألومنيوم .

(1) أي السطحين مدهون باللون الأسود القاتم X أم Y؟ اذكر سببًا لاختيارك؟

(2) لماذا تصنع الشريحة الأمامية من الزجاج؟ اشرح كيفية تحقيق الشريحة لهدفها؟

8-



يبين الرسم السمات الضرورية لجهاز المياه الساخنة المنزلي .

(أ) ما اسم العملية التي يرتفع بها الماء الساخن من الغلاية إلى خزان المياه الساخنة؟

(ب) هل يرتفع الماء الساخن إلى خزان المياه الساخنة خلال الأنبوب (A) أم (B)؟

(جـ) ما الهدف من الأنبوب C؟

(د) ما الهدف من الأنبوب D؟

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الوحدة 6

الخواص العامة للموجة

General Wave Properties

مخرجات التعلم

في هذه الوحدة، سوف :

- ☐ تصف المقصود بحركة الموجة كما توضحها اهتزازات الحبال، والأسلاك الزنبركية، والموجات في حوض الأمواج.
- ☐ تذكر المقصود بمصطلح صدر الموجة.
- ☐ تبين فهمًا بأن الموجات تنقل الطاقة من دون نقل المادة.
- ☐ تعرف السرعة القياسية ، والتردد، وطول الموجة، والزمن الدوري ، والسعة.
- ☐ تتذكر العلاقة : سرعة الموجة = التردد × الطول الموجي
- ☐ تطبق العلاقة بين سرعة الموجة ، والتردد، و الطول الموجي.
- ☐ تقارن الموجات المستعرضة والطولية، وتذكر أمثلة مناسبة لكل منها.
- ☐ تذكر أن جميع الموجات الكهرومغناطيسية هي موجات مستعرضة تتحرك بنفس السرعة العالية في الفراغ، وتذكر مقدار تلك السرعة.
- ☐ تصف المكونات الرئيسة للطيف الكهرومغناطيسي.
- ☐ تناقش دور المكونات التالية في التطبيقات المذكورة:

(1) الموجات اللاسلكية في اتصالات الإذاعة والتلفاز.

(2) الموجات الميكرومترية في الإرسال المرئي، والاتصالات الهاتفية عبر الأقمار الصناعية.

(3) الموجات دون الحمراء في الأجهزة الكهربائية المنزلية، وأجهزة التحكم عن بعد، وأجهزة الإنذار.

(4) الضوء في الألياف البصرية، وفي الاستخدامات الطبية، ووسائل الاتصالات السلكية واللاسلكية.

(5) الأشعة فوق البنفسجية في العلاج، وفي التعقيم، وفي أنابيب الفلورسنت.

(6) أشعة إكس في استخدامات المستشفيات، وفي التطبيقات الهندسية.

(7) أشعة جاما في العلاج الطبي.

ندرس الموجات وسلوكها لفهم العلم الحديث. فبجانب الموجات الضوئية والصوتية المعتادة، تمكن العلم الحديث من استخدام أنواع كثيرة من الموجات مثل الموجات اللاسلكية (لحمل إشارات كهربائية)، وأشعة إكس (للتصوير في الأغراض الطبية والصناعية)، والإشعاع دون الأحمر (للتصوير في الظلام أو خلال الضباب البسيط أو الكثيف)، والإشعاع فوق البنفسجي (لبدء تفاعلات كيميائية).

وقد يكون لديك بعض الأفكار عن الموجات نتيجة لخبراتك مع الماء في حوض الاستحمام أو في البحر. ونحتاج إلى معرفة أكثر حتى نستخدم الموجات بشكل أفضل. ستناقش هذه الوحدة أفكارًا كثيرة قد لا تعرفها من قبل.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

6 - 1 المدخل إلى الموجات

Introducing Waves

- يمكن تصور الموجة كانتشار للاضطراب من مكان لآخر.
- مصدر أي موجة هو اهتزاز أو تذبذب.
- توفر الحركة الموجية آلية لنقل الطاقة من نقطة إلى أخرى من دون الانتقال الفيزيائي لأي مادة بين النقطتين.

الموجات من حولنا

الموجات المائية منظر مألوف على الشواطئ، وهي أحد الأنواع العديدة للحركة الموجية حولنا، والتي تشمل الموجات الصوتية من الأجهزة الصوتية، والموجات الضوئية من الشمس، والموجات اللاسلكية من أجهزة الإرسال في محطات الإذاعة، والموجات الكهرومغناطيسية مثل أشعة جاما وأشعة إكس، والموجات الميكرومترية.

وتحمل الموجات طاقة، فتتسبب على سبيل المثال الموجات الزلزالية الناتجة أثناء الزلازل في تلفيات كبيرة للمباني وما يحيط بها.

شكل 6 - 1 الموجات حولنا

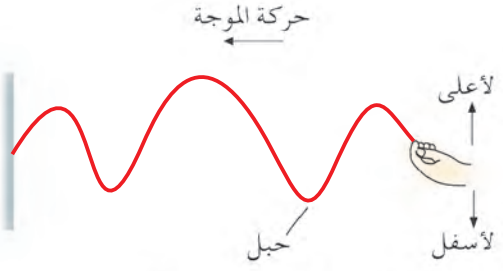
ما الموجة؟

يمكن تصور الموجة كانتشار للاضطراب من مكان لآخر، فعند إلقاء حصية في بركة ذات ماء ساكن، تتحرك على سطح الماء موجات دائرية تجاه الخارج. وتنتقل الطاقة بانتشار تلك الموجات الدائرية.

شكل 6 - 2 موجات دائرية

مصدر الموجات

إن مصدر أية موجة هو اهتزاز أو تذبذب. فيمكنك على سبيل المثال إنتاج موجات على حبل ما بتثبيت أحد أطرافه في جدار، ثم تحريك الطرف الأخر لأعلى ولأسفل (شكل 6 - 3). تُكوِّن هذه التحركات لأعلى ولأسفل الاهتزازات أو الذبذبات.



شكل 6 - 3 توليد موجات حبلية

ونستطيع من شكل 6 - 3 ملاحظة أن الموجات الحبلية تتحرك جانبيًّا، بينما يتحرك الحبل نفسه لأعلى ولأسفل. ويمكننا القول بأن الحبل هو الوسط الذي تتحرك أو تتولد خلاله الموجات الحبلية.

يُعتبر الماء في المثال السابق عن الحصية التي سقطت في بركة ماء ساكن، وسطًا تتولد خلاله الموجات المائية. تتحرك الجزيئات المائية فقط لأعلى ولأسفل (كما في حالة الجسيمات في الحبل)، بينما تنتشر الموجات المائية للخارج. ويمكن استنتاج ذلك بمشاهدة حركة أي أجسام طافية (مثل أوراق الشجر) على سطح البركة. عند اجتياز الموجات المائية الدائرية تلك الأجسام الطافية فإن الأجسام تعلو وتهبط نتيجة حركة جزيئات الماء أسفلها لأعلى ولأسفل. وينطبق ذلك فقط على الموجات في الماء الساكن وليس على الموجات في البحار المفتوحة حيث تكون الحركة الموجية أكثر تعقيدًا.

شكل 6 - 4 الأجسام الطافية تعلو وتهبط على سطح الماء، ولا تتحرك جانبيًّا عندما تجتازها موجة

ويمكننا من المثالين المذكورين ملاحظة خاصية مهمة مشتركة لجميع التحركات الموجية: توفر الحركة الموجية آلية لنقل الطاقة من نقطة لأخرى من دون الانتقال الفيزيائي للوسط (مثل الحبل أو الماء) بين النقطتين.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية - ليبيا

6 – 2 الموجات المستعرضة والطولية

Transverse and Longitudinal Waves

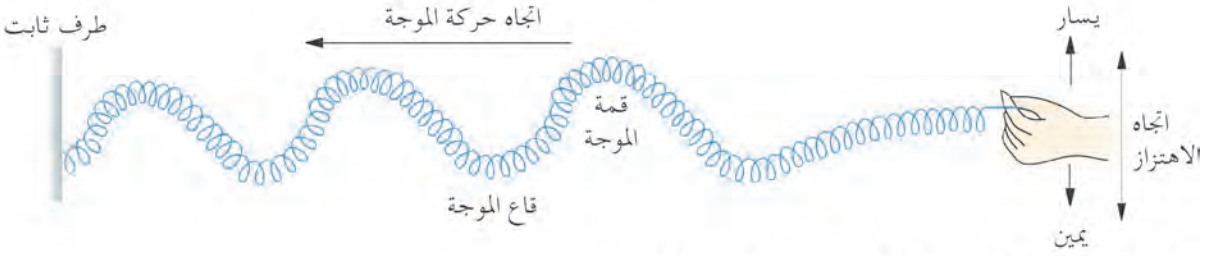
يمكن تصنيف جميع الموجات إلى نوعين: موجات مستعرضة، وموجات طولية. والموجات الحبلية، والمائية، والضوئية، واللاسلكية أمثلة للموجات المستعرضة، بينما الموجات الصوتية، والموجات الناتجة في زنبرك مشدود يتذبذب رأسيًا أمثلة للموجات الطولية.

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) ما الموجة؟
(ب) كيف تحدث الموجة؟

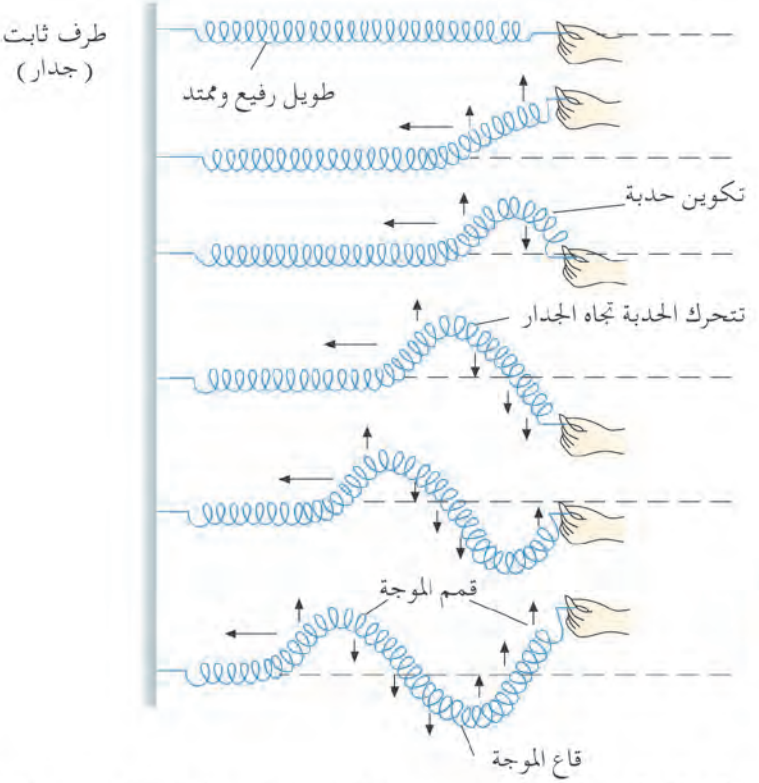
الموجات المستعرضة

تنتشر الموجات المستعرضة في اتجاه متعامد على اتجاه الاهتزاز. ويبين شكل 6 – 5 موجة مستعرضة أنتجت على زنبرك رفيع موضوع على أرضية ناعمة (أو منضدة طويلة).



شكل 6 – 5 موجة مستعرضة على زنبرك طويل رفيع (منظر أفقي)

ويبين شكل 6 – 6 كيفية إنتاج الموجة المستعرضة السابقة في زنبرك طويل رفيع على مراحل.



شكل 6 – 6 توليد موجات مستعرضة باستخدام زنبرك رفيع طويل (منظر أفقي)

تعرف الموجات التي تنتشر في اتجاه متعامد على اتجاه الأهتزاز بالموجات المستعرضة.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

اجذب زنبركًا طويلًا رفيعًا بطول أرضية ناعمة (أو منضدة طويلة) بحيث يكون أحد طرفيه مثبَّتًا . أمسك الطرف الآخر، وحرِّكه جهة اليسار واليمين بشكل متكرر . ترى عندئذ سنام (قمم وقيعان) تتحرك بعيدًا عنك تجاه الجدار .

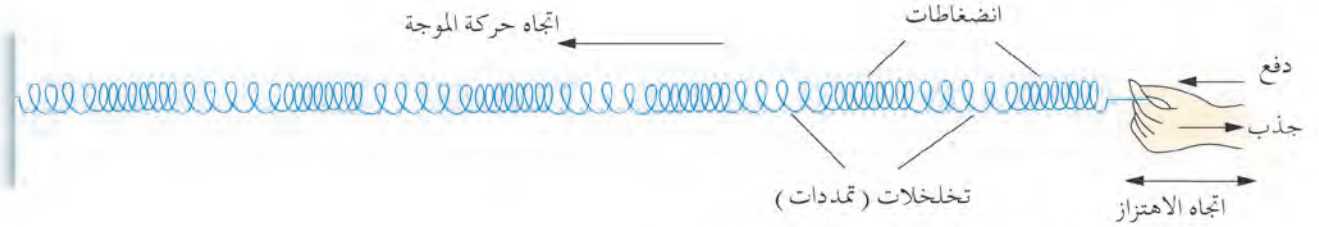
وتمثل الأسهم الرأسية (↓ و ↑) حركة الجسيمات في الزنبرك الممتد وهي تنزاح يمينًا ويسارًا، في حين يمثل السهم الأفقي(←) حركة الموجة بطول الزنبرك .

لاحظ أن الأسهم تشكل زوايا قائمة مع بعضها البعض، بمعنى أنه بالنسبة للموجات المستعرضة فإن إزاحة الجسيمات تكون على شكل زوايا قائمة مع اتجاه مسار حركة الموجة .

تسمى الموجات التي تسير في اتجاه مواز لاتجاه الاهتزاز موجات طولية .

الموجات الطولية

تتحرك الموجات الطولية في اتجاه مواز لاتجاه الاهتزازات . ويبين شكل 6 – 7 موجة طولية أنتجت على نفس الزنبرك الطويل الرفيع المتمدد على أرضية ناعمة (أو منضدة طويلة) .



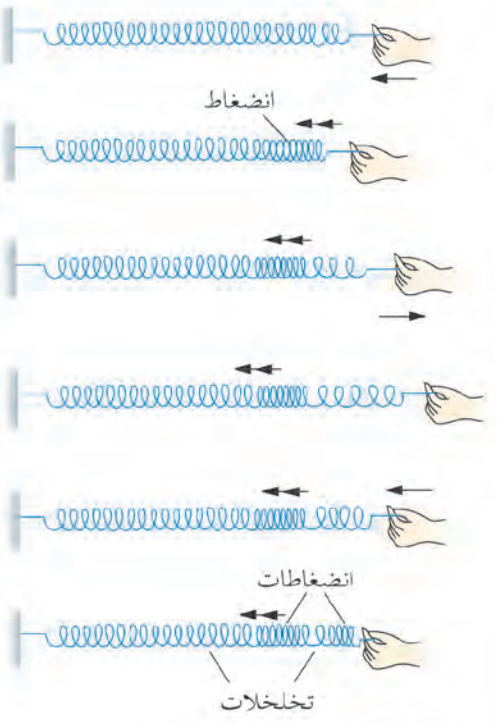
شكل 6 – 7 موجة طولية على زنبرك طويل رفيع (منظر افقي)

ويمكننا مرة ثانية باستخدام الزنبرك الطويل الرفيع توضيح كيفية توليد موجات طولية (شكل 6 – 8) .

يتم مد الزنبرك نفسه على الأرضية الناعمة (أو المنضدة الطويلة) بتثبيت أحد طرفيه . أمسك الطرف الأخر للزنبرك، وحرِّكه للأمام وللخلف (بمعنى دفع وجذب) لينضغط ويتمدد .

ترى التخلخلات (الامتدادات)، والانضغاطات تتحرك بطول الزنبرك تجاه الجدار . وتمثل الأسهم (⟸) حركة الموجة بطول الزنبرك، بينما تمثل الأسهم (⟵ و⟶) اتجاه الاهتزاز (الذي يكون في نفس الاتجاه مثل إزاحة الجسميات في الزنبرك) .

لاحظ أن الأسهم تكون بطول نفس الخط، بمعنى أنه بالنسبة للموجات الطولية تكون إزاحة الجسيمات على خط واحد معًا أو تكون موازية لاتجاه حركة الموجة .



شكل 6 – 8 توليد موجات طولية باستخدام زنبرك طويل رفيع (منظر أفقي)

أسئلة التقويم الذاتي

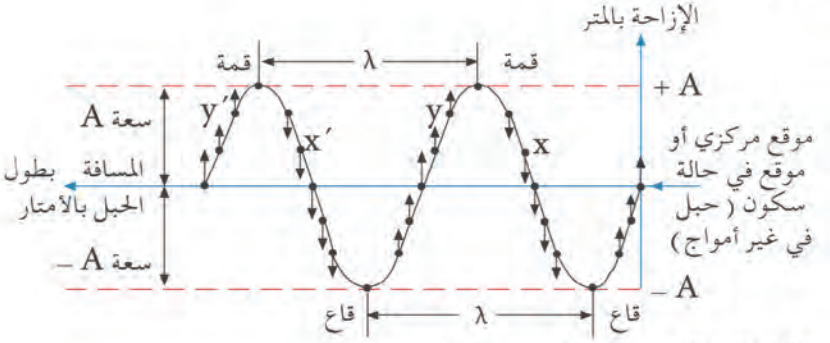
(أ) اذكر مثالين للموجات المستعرضة، ومثالين للموجات الطولية .

(ب) اذكر اختلافين بين الموجات المستعرضة، والموجات الطولية .

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

وصف الموجات

يبين شكل 6 – 9 رسمًا بيانيًّا لإزاحة حبل بمحاذاة طوله في لحظة معينة، وتبين الأسهم على الرسم اتجاه حركة الجسيمات في الحبل. السهم الأقصر يعني سرعة أبطأ، في حين السهم الأطول يعني سرعة أعلى. والنقاط (بمعنى الجسيمات) من دون أي أسهم تعني أنها في حالة سكون مؤقت.



شكل 6 9 موجة حبل مستعرضة

تستخدم المصطلحات التالية لوصف حركة الموجة:

1- **قمة وقاع الموجة**: هي النقاط المرتفعة والمنخفضة التي تميز الموجات المستعرضة فقط. وبالنسبة للموجات الطولية نستخدم مصطلحي: *انضغاطات وتخلخلات*.

2- **السعة، A**: هي الإزاحة القصوى من حالة السكون أو الموقع المركزي في أي من الاتجاهين، ووحدة قياسها في النظام الدولي هي المتر (m).

3- **الطور**: يقال إن نقطتين (مثل (x و x')، (y و y')) متفقتان في الطور لأنهما يتحركان في نفس الاتجاه بنفس السرعة، ولهما نفس الإزاحة من موضع السكون. أي قمتين أو أي قاعين هما في طور واحد

4- **الطول الموجي، λ**: هي أقصر مسافة بين أي نقطتين على موجة ما، يكونا متفقتين في الطور. وأسهل نقطتين يمكن اختيارهما لمسافة طول موجي واحد هما قمتين متتابعتين، أو قاعين متتاليين، ووحدة القياس في النظام الدولي هي المتر (m).

5- **التردد، f**: هو عدد الموجات الكاملة المنتجة كل ثانية. ومن شكل 6 – 9 توجد موجتين كاملتين، وإذا أنتجا في ثانية واحدة، نقول أن تردد تلك الموجة هو موجتين كل ثانية أو 2 هيرتز. والهيرتز (Hz) هو وحدة القياس في النظام الدولي للتردد.

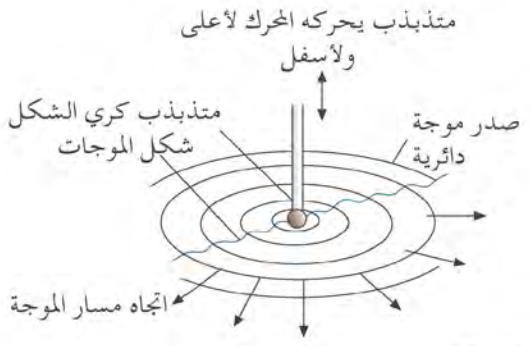
6- **الزمن الدوري، $\mathcal{T}$**: هو الزمن المستغرق لإنتاج موجة كاملة، ووحدة قياس الزمن في النظام الدولي هي الثانية (s). ويشمل ذلك ضمنًا المعادلة التي تربط الزمن $\mathcal{T}$ والتردد f:

$$\mathcal{T} = \frac{1}{f}$$

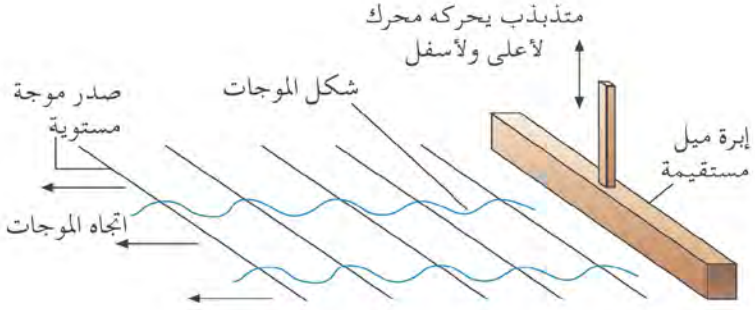
7- **السرعة القياسية للموجة، v**: هي المسافة التي تقطعها الموجة في ثانية واحدة. ووحدة قياسها في النظام الدولي هي المتر لكل ثانية ($m\,s^{-1}$).

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

8- **صـدر الموجة**: هي خط تخيلي على موجـة يربط جميع النقاط التي لها نفس طور الاهتزاز. فيمكن على سبيل المثال رسم صدر الموجـة بوصل جميع قممهـا. ويكون دائمًا اتجـاه حركة الموجة متعامدًا على صدرها، ويبين شكلا 6 – 10، 6 – 11 كيفية إنتاج صدور موجات دائرية ومستوية.



شكل 6 – 10 الموجات المائية الدائرية



شكل 6 – 11 الموجات المائية المستوية

سـتتحرك قمة الموجة خلال فترة واحدة ($\mathcal{T}$) مسافة طول موجي واحد (λ). ولهذا تُعْطَى سرعة الموجة $\mathbf{v}$ بالعلاقة:

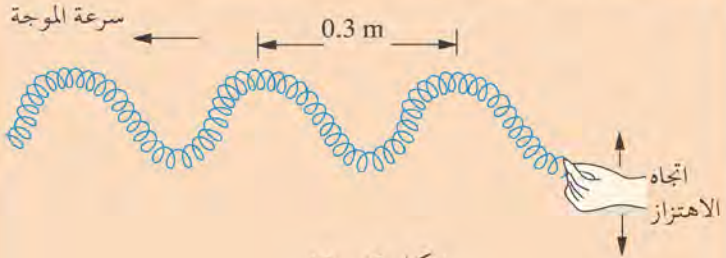
$$\mathbf{v} = \frac{\lambda}{\mathcal{T}}$$ (سرعة الموجة تساوي المسافة / الزمن)

ولكن $\frac{1}{\text{الزمن الدوري}}$ يساوي التردد، $f = \frac{1}{\mathcal{T}}$

ولهذا، سرعة الموجة تساوي التردد × الطول الموجي، $\mathbf{v} = f\,\lambda$

مثال محلول 6 – 1

يبين شكل 6 – 12 موجات تتحرك على زنبرك طويل ورفيع ذات تردد 3 Hz وطول موجي 0.3 m. ما سرعة الموجة؟



شكل 6 – 12

الحـل:

المعطيات: تردد الموجة، $f = 3$ Hz

الطول الموجي، $\lambda = 0.3$ m

سرعة الموجة تساوي التردد × طول الموجة

$$\mathbf{v} = f\,\lambda$$
$$= (3)\,(0.3)$$
$$= 0.9 \text{ m s}^{-1}$$

تذكر: سرعة الموجة تساوي التردد × طول الموجة، $v = f\lambda$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

مثال محلول 6 – 2

سرعة ضوء أخضر ذو طول موجي 0.6 μm في الفراغ هي $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
ما تردده؟

الحـــل:

المعطيات: طول الموجة، $\lambda = 0.6 \text{ μm}$

$= 0.6 \times 10^{-6} \text{ m}$

سرعة الضوء، $c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

وباستخدام معادلة الموجة [السرعة تساوي التردد × طول الموجة]، $c = f\lambda$
حيث f التردد المجهول للضوء الأخضر.

ولهذا، $f = \frac{c}{\lambda}$

$$= \frac{3 \times 10^8}{0.6 \times 10^{-6}}$$

$$= 5 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

هـل لاحظت من المثالين المحلولين أن سـرعة وتردد الضـوء الأخضر (جزء من مجموعة الموجات الكهرمغناطيسـية) أكبر بكثير من سـرعة وتردد الموجات فـي الزنبـرك الرفيـع الطويل؟ تكـون في الواقع سـرعة الضوء فـي الفراغ هي السـرعة المحددة (أو القصوى) التي لا يمكن لأي جسـم متحرك أن يجتازها. إنهـا حوالـي $3 \text{ x } 10^8 \text{ m s}^{-1}$. وسـيتناول الجـزء 6 – 5 الموجات الكهرومغناطيسية المدهشة والتي يعتبر الضوء المنظور أحد أعضائها.

أسئلة التقويم الذاتي

ما المسافة (بدلالة الطول الموجي) بين قمة ما، والقاع المجاور لها؟

6–4 إنتاج الموجة وحوض الأمواج

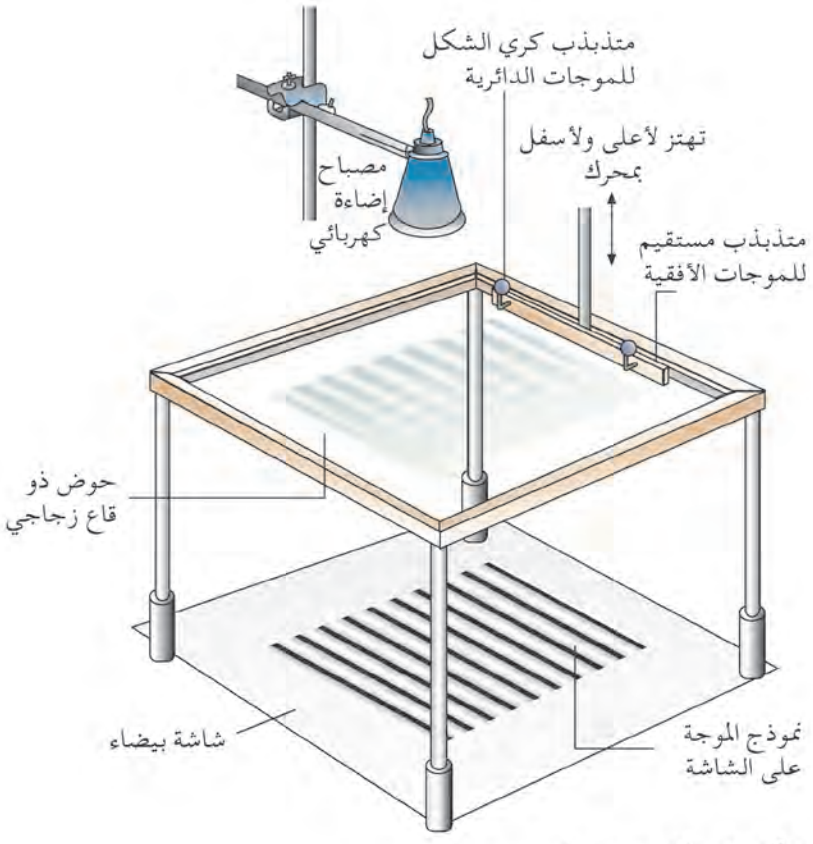
Wave Production and the Ripple Tank

رأينـا فـي الأجزاء السـابقة كيفية إنتـاج الموجات في الحبـال والزنبركات الرفيعـة الطويلـة، كما رأينا كيفية إنتـاج حصية أُلقت في بركة ماء سـاكن لموجات مائية دائرية. ويمكن بسـهولة توليد موجات مائية في المعمل بواسطة حوض الأمواج.

حوض الأمواج

يبين شـكل 6 – 13 حوض أمـواج، وهو أداة مفيدة جـدًّا، ليس فقط لتوليد الموجات المائية، ولكن أيضًا لبيان خواصها (مثل الانعكاس والانكسار).

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا



شكل 6 – 13 حوض الأمواج

تركيب حوض الأمواج

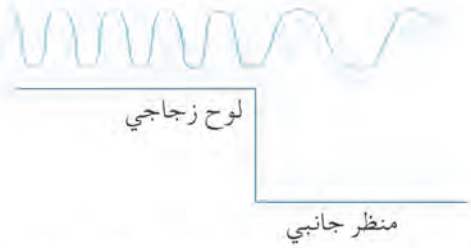
يتكون حوض الأمواج من (حوض ذي قاع زجاجي ضحل)، ومصدر للضوء (مثل مصباح إضاءة كهربائي) أعلى الحوض مباشرة، وشاشة بيضاء أسفل منها. وتستخدم الشاشة لالتقاط صورة الظلال المكونة عند عبور الموجات المائية للحوض.

توليد موجات مستوية وموجات دائرية

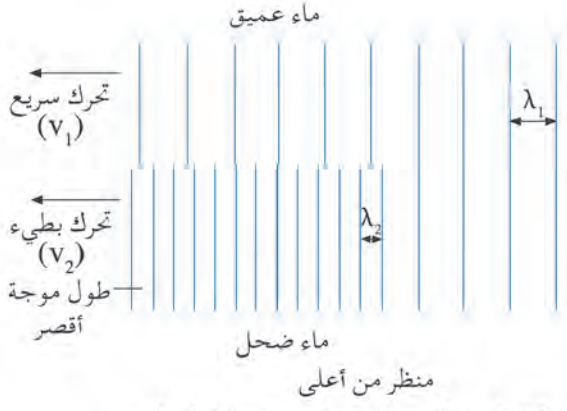
يمكن إنتاج موجات مستوية في حوض الأمواج باستخدام متذبذب مستقيم مصنوع إما من الخشب أو من اللدائن، ويمكن تكوين موجات دائرية باستخدام متذبذب كري مصنوع من اللدائن. عند وضع المتذبذب المستقيم في الماء، وهزه بفعل المحرك، تُنتج موجات مستوية (أو موجات دائرية إذا استخدمت الإبرة الكرية). وتُرى تلك الموجات كخطوط ناصعة وداكنة على الشاشة أسفل الحوض (انظر شكل 6 – 13). وتبين الخطوط مواضع قمم وقيعان الموجات.

التأثير على الموجات المتحركة من الماء العميق إلى الماء الضحل

إذا وضعت لوحًا زجاجيًّا في الحوض لتكوين منطقة من الماء الضحل (شكل 6 – 14)، يتناقص الطول الموجي للموجات المستوية عند مروره من الماء العميق إلى الماء الضحل، أي λ_2 أصغر من λ_1. وتكون سرعة الموجات في الماء الضحل أبطأ منها في الماء الأعمق، أي $\mathbf{V}_2$ أصغر من $\mathbf{V}_1$ (شكل 6 – 15). ومع ذلك يظل التردد من دون تغيير لأن المصدر هو الذي يحدده.



شكل 6 – 14 يُكوِّن اللوح الزجاجي منطقة مائية ضحلة

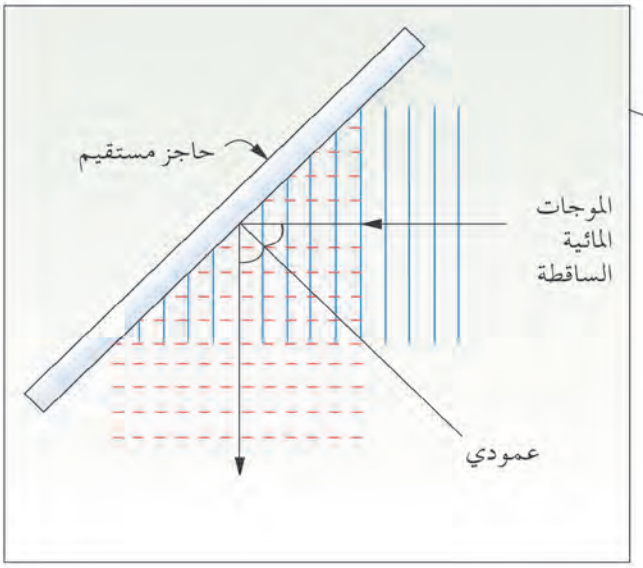


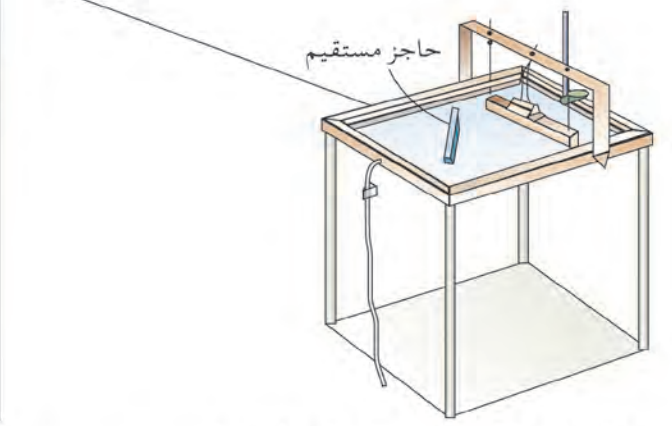
شكل 6 – 15 تتناقص السرعة والطول الموجي للموجات من الماء العميق إلى الماء الضحل

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

انعكاس الموجات

يبين شكل 6 – 16 انعكاس الموجات عمليًّا. يتسبب حاجز مستقيم يقف معتدلًا بالماء في انعكاس الموجات الساقطة القادمة.

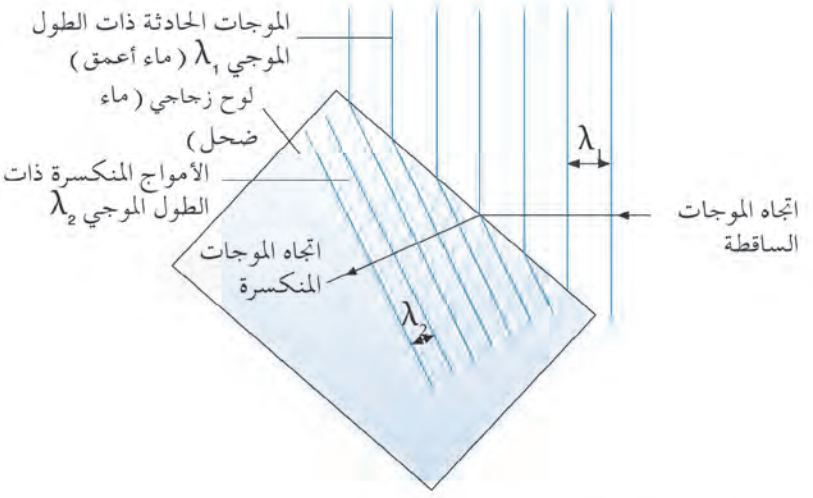




شكل 6 – 16 انعكاس الموجات المستوية

انكسار الموجات

يبين شكل 6 – 17 انكسار الموجات عمليًّا، بوضع لوح زجاجي بزاوية على الموجات المستوية القادمة. ويتسبب الفرق في عمق الماء في حدوث انكسار للموجات.



شكل 6 – 17 انكسار الموجات المستوية

أسئلة التقويم الذاتي

تتحرك الموجات المائية من طرف بركة ضحل إلى الطرف الأعمق. اذكر التغيرات (إن وجدت) في التردد، والطول الموجي، وسرعة الموجة.

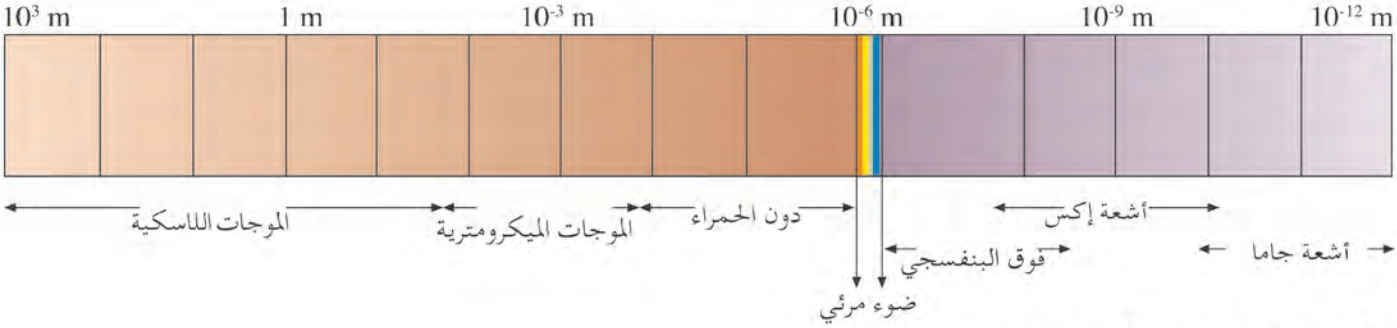
جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

6 – 5 الطيف الكهرومغناطيسي

Electromagnetic Spectrum

يبين شكل 6 – 18 الطيف الكهرومغناطيسي . فهو يمتد من أشعة جاما (ذات الطول الموجي الأقصر) إلى الموجات اللاسلكية (ذات الطول الموجي الأطول) . ويكون الطيف الكهرومغناطيسي مستمرًا، بمعنى : لاتوجد فيه فجوات، ولا توجد ترددات غير موجودة في أي مكان في المدى، ولا يوجد حد فاصل بين أحد أنواع الموجات والنوع الذي يليه بل تتداخل الموجات المتتالية مع بعضها البعض . ويبين جدول 6 – 1 الأطوال الموجية النموذجية، والترددات المناظرة في تلك العائلة من الموجات الكهرومغناطيسية .

- الطول الموجي لأشعة جاما هو الأقصر (ولها أعلى تردد) في الطيف الكهرومغناطيسي .
- الطول الموجي للموجات اللاسلكية هو الأطول (ولها أدنى تردد) في الطيف الكهرومغناطيسي .
- الضوء المرئي هو مجرد أحد الأعضاء السبعة في مجموعة الموجات الكهرومغناطيسية .
- تتحرك جميع الموجات الكهرومغناطيسية بنفس السرعة $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ في الفراغ .



شكل 6 – 18 الطيف الكهرومغناطيسي

جدول 6 – 1

اسم الموجة الكهرومغناطيسية	الطول الموجي النموذجي λ وتردده المناظر f
أشعة جاما (γ)	$\lambda = 1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$ $f = 3 \times 10^{20} \text{ Hz}$
أشعة إكس	$\lambda = 100 \text{ pm} = 10^{-10} \text{ m}$ $f = 3 \times 10^{18} \text{ Hz}$
فوق البنفسجي	$\lambda = 10 \text{ nm} = 10^{-8} \text{ m}$ $f = 3 \times 10^{16} \text{ Hz}$
الضوء المرئي	$\lambda = 0.6 \text{ μm}$ (أخضر) $= 0.6 \times 10^{-6} \text{ m}$ $f = 5 \times 10^{14} \text{ Hz}$
دون الأحمر	$\lambda = 100 \text{ μm} = 10^{-4} \text{ m}$ $f = 3 \times 10^{12} \text{ Hz}$
الموجات الميكرومترية	$\lambda = 3 \text{ cm} = 3 \times 10^{-2} \text{ m}$ $f = 10^{10} \text{ Hz}$
الموجات اللاسلكية	$\lambda = 3 \text{ m}$ $f = 10^8 \text{ Hz}$

$1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$
$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$
$1 \text{ μm} = 10^{-6} \text{ m}$

تشمل الموجات اللاسلكية :
1- الموجات اللاسلكية ذات التردد فوق العالي UHF .
2- الموجات اللاسلكية ذات التردد العالي جدًا VHF .
3- الموجة اللاسلكية القصيرة .
4- الموجة اللاسلكية المتوسطة .
5- الموجة اللاسلكية الطويلة .

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

فيما يلي بعض الخواص المشتركة لجميع الموجات الكهرومغناطيسية :

1- جميعها موجات مستعرضة .

2- تتحرك بنفس السرعة $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ في الفراغ، ولكنها تبطئ في الأوساط المادية الأخرى مثل الماء والزجاج .

3- لا تحتاج أي وسط مادي لتنتشر من نقطة لأخرى .

4- تتبع قوانين الانعكاس والانكسار .

5- تُنقل الطاقة من مكان لآخر . فنستقبل على سبيل المثال الإشعاع الكهرومغناطيسي من الشمس خلال الفراغ (الخواء) إلى الأرض .

6- يمكن للمادة أن تبعثها وتمتصها .

7- المعادلة الموجية : السرعة تساوي التردد × طول الموجه، تنطبق على جميع هذه الموجات .

8- لا يتغير ترددها عند الانتقال من وسط (مثل الماء) إلى وسط آخر (مثل الزجاج)، وذلك لأن التردد يعتمد فقط على مصدر الموجة . تتغير فقط سرعاتها وأطوالها الموجية من وسط لآخر، فعند دخول الضوء مثلاً من الفراغ إلى الماء تتناقص السرعة من حوالي $c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ في الفراغ إلى حوالي $v = 2.25 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ في الماء . ويتناقص كذلك الطول الموجي بشكل متناظر عند انتقال الضوء من الفراغ إلى الماء . ويبقى التردد فقط من دون تغيير .

9 - لا تحمل أية شحنات لأن جميع الموجات الكهرومغناطيسية تتكون من مجالات كهربائية تذبذبية، ومجالات مغناطيسية تشكل زوايا قائمة مع بعضها البعض .

توليد الموجات الكهرومغناطيسية، والكشف عنها، وبعض الخواص الخاصة

يقدم جدول 6 – 2 بعض المعلومات الشيقة عن كل عضو في عائلة الموجات الكهرومغناطيسية :

جدول 6 – 2

الاسم	تولدت عن طريق	تم الكشف عنها بواسطة	الخواص / الاستخدامات الخاصة
أشعة جاما	تغيرات في مستويات الطاقة في النواة	(أ) الألواح الفوتوغرافية . (ب) غرف التأين . (جـ) الوميض الفوسفوري .	(أ) ينفذ إلى المادة (مثل : التصوير بأشعة إكس) . (ب) يؤيِّن الغازات . (جـ) يسبب التفلور . (د) يسبب انبعاثًا كهروضوئيًا من الفلزات . (هـ) ينعكس الضوء، ويحيد عن طريق البلورات، مما يسمح بقياس المسافة بين الشبكات الأيونية . (و) أشعة جاما مفيدة في علاج السرطان .
أشعة إكس	(أ) النقص السريع في سرعة الإلكترونات سريعة الحركة (مثال : عن طريق هدف تنجستيني) . (ب) تغيرات في طاقة الإلكترونات المدارية في المدارات الداخلية .		
فوق البنفسجي	الإلكترونات المدارية للذرات، كما في أنابيب التفريغ الغازي تحت تأثير الجهد العالي، والقوس الكهربائي، والشمس، والمصباح الكهربائي الذي يعمل ببخار الزئبق .	(أ) التصوير الفوتوغرافي . (ب) الخلية الكهروضوئية . (جـ) التفلور .	(أ) يمتصها الزجاج . (ب) يمكن أن تحدث تفاعلات كيميائية كثيرة، مثل اسمرار بشرة الإنسان . (جـ) تؤين الذرات في الغلاف الجوي، فينتج عنها طبقة الغلاف الجوي المتأين . (د) تستخدم الأشعة فوق البنفسجية لتعقيم التجهيزات الطبية .

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

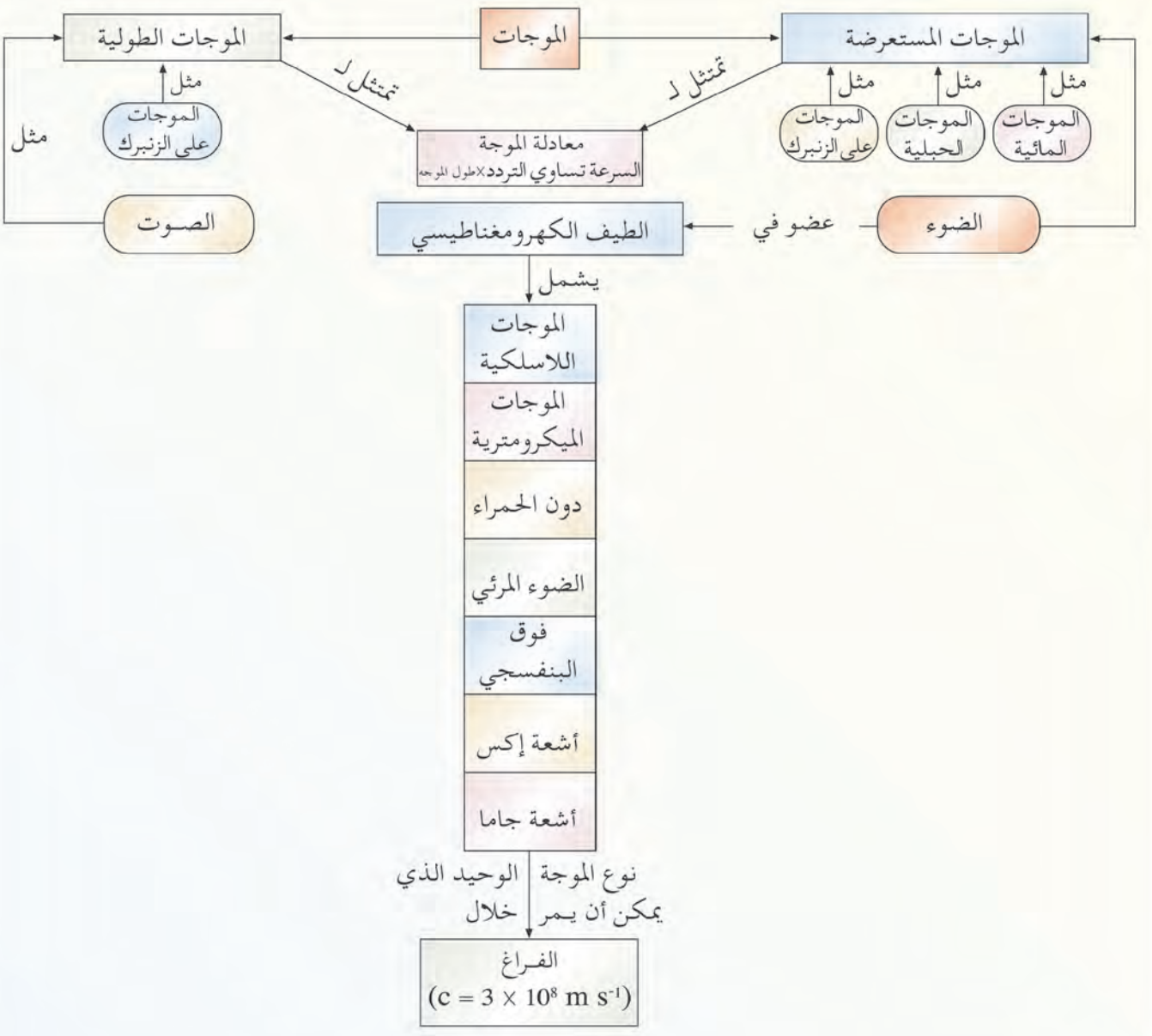
الاسم	تولدت عن طريق	تم الكشف عنها بواسطة	الخواص / الاستخدامات الخاصة
الضوء المرئي	إعادة ترتيب الإلكترونات المدارية الخارجية في الذرات والجزيئات، مثل: أنبوب التفريغ الغازي، الأجسام الصلبة والسائلة المتوهجة.	(أ) العين (ب) الألواح الفوتوغرافية (جـ) الخلية الضوئية	(أ) يكتشف باستثارة الأطراف العصبية لشبكية عين الإنسان. (ب) يمكن أن تحدث فعلًا كيميائيًّا. (جـ) تستخدم في الألياف البصرية في وسائل الاتصال السلكية واللاسلكية وفي الطب، مثل منظار الجهاز الهضمي.
دون الأحمر	(أ) الإلكترونات الخارجية في الذرات والجزيئات. (ب) تغير في الطاقة الاهتزازية والدورانية للجزيئات، مثل المادة المتوهجة.	(أ) التصوير الفوتوغرافي عن طريق لوح خاص. (ب) تأثير تسخين خاص (مثل جهاز قياس الإشعاع، وجهاز قياس الحرارة الإشعاعية). (جـ) خلايا التوصيل الضوئي.	(أ) مفيدة لشرح البنية الجزيئية. (ب) أقل تشتتًا بالجزيئات الجوية من الضوء المرئي ـ مفيدة للتصوير الفوتوغرافي في الضباب.
الموجات الميكرومترية	أجهزة إلكترونية خاصة مثل أنبوب كليسترون.	(أ) الدائرة الصمامية معدة كمستقبل للميكروويف. (ب) الصمام الثنائي متصل الرؤوس. (جـ) أجهزة قياس الحرارة الإشعاعية باستخدام المقاوم الحراري.	(أ) الاتصال بالرادار. (ب) تحليل التفاصيل الدقيقة للبنية الجزيئية والذرية. (جـ) بما أن الطول الموجي، $\lambda = 3 \times 10^{-2}\,m$ فإنها مفيدة لعرض جميع خواص الموجة على المقياس الذي تراه العين. (د) مفيد في الاتصالات الهاتفية مثل الهاتف المحمول.
الموجات اللاسلكية	إلكترونات متذبذبة في دوائر كهربائية خاصة مرتبطة بهوائيات لاسلكية.	دائره كهربائية تذبذبية بشكل مضبوط (أي، مستقبل لاسلكي).	(أ) التليسكوب اللاسلكي. (ب) الاتصالات عن طريق الرادار.

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) اذكر المكونات السبعة الرئيسة للطيف الكهرومغناطيسي.
(ب) ما سرعة الضوء في الفراغ؟

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

خريطة مفاهيم



جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

المهارة: المقارنة

درست في هذه الوحدة المكونات الرئيسة للطيف الكهرومغناطيسي. ونقارن الآن مكونات «الضوء المرئي» و«الضوء غير المرئي» للطيف الكهرومغناطيسي.

مقارنة «الضوء المرئي» و «الضوء غير المرئي»

كيف يتشابهان؟

1-

2-

3-

كيف يختلفان؟

1-

2-

3-

الاستنتاج

كلمات معاونة مقترحة	* عين الإنسان * السرعة في الفراغ * الطول الموجي * التردد * تطبيقات

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

التمرين السادس

الجزء الأول أسئلة الاختيار من متعدد

1- تنقل الموجة
(أ) الجزيئات (ب) المادة
(جـ) الطاقة (د) القوة

2- تتولد موجات مائية في حوض الأمواج بمعدل 5 Hz، أي أن عدد الموجات التي تمر خلال نقطة ثابته خلال 1s :
(أ) 0.2 (ب) 2.5 (جـ) 5 (د) 10

3- أي مما يلي مثالاً للموجات الطولية؟
(أ) الموجات في حوض الأمواج.
(ب) الموجات الضوئية في الماء.
(جـ) وتر من أوتار الجيتار في حالة اهتزاز.
(د) الموجات الصوتية التي يحدثها وتر.

4- ما الطول الموجي في الهواء لصوت ذي تردد 2500Hz؟ مع العلم بأن سرعة الصوت في الهواء هي $330\ m\ s^{-1}$.
(أ) 0.0004 m (ب) 0.003 m
(جـ) 0.132 m (د) 7.58 m

5- لدى جميع الموجات الكهرومغناطيسية نفس
(أ) السرعة في الفراغ.
(ب) التردد في وسط معين.
(جـ) التردد في الفراغ.
(د) السرعة في وسط معين.

الجزء الثاني الأسئلة التركيبية

1- أكمل الجدول التالي :

	حركة الموجة	اضطراب	نوع الموجة
(أ)	الموجات الصوتية	تغيرات في ضغط الهواء أو الكثافة	———
(ب)	الموجات ———	تغيرات في مواقع الجزيئات المائية	———
(جـ)	الموجات ———	تحرك أحد أطراف الحبل من موضع السكون	مستعرضة
(د)	الموجات الضوئية	تغيرات في المجالات الكهربائية والمغناطيسية في الوسط	———

2- ارسم صورة مع البيانات لبيان الشكل الموجي في حبل ذي **طول موجي** 5 cm، و**سعة** 3 cm. اشرح المصطلحات باللون الأسود.
بافتراض أن الموجة الحبلية تتحرك من اليسار إلى اليمين بسرعة $0.50\ m\ s^{-1}$. احسب تردد التذبذبات.

3- (أ) ميِّز بين الموجات المستعرضة والطولية، مع ذكر مثال لكل منها.
(ب) ماذا تعني عبارة « تردد ذو 2 Hz »؟

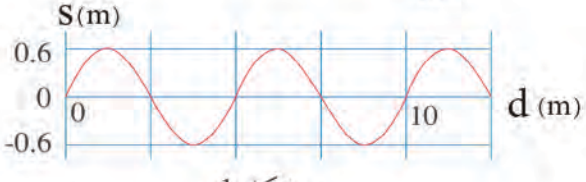
4- يمكن استخدام زنبرك طويل ورفيع لشرح كل من حركة الموجة المستعرضة والطولية. صف مع الرسم كيفية عمل ذلك مع توضيح الطول الموجي لكل نوع من الحركة الموجية على الرسم.
ارسم بشكل كروكي العلاقة البيانية بين الإزاحة والمسافة للأشكال الموجية التالية :
(أ) موجتان لهما نفس السعة، والسرعة، ولكن تردد إحداهما ضعف الأخرى.
(ب) موجتان لهما نفس السرعة، والتردد، ولكن سعة إحداهما ضعف الأخرى.

5- يمكن تمثيل الطيف الكهرومغناطيسي طبقًا لترتيب تزايد الترددات كما يلي :

لاسلكي	X	مرئي	أشعة فوق بنفسجية	Y	أشعة جاما

(أ) حدد نوعي الإشعاع في X، Y.
(ب) ماذا تقول عن سرعتيهما في الفراغ؟

6- (أ) يبين شكل 1 العلاقة البيانية لاختلاف إزاحة موجة مقابل المسافة بطول الموجة عند وقت معين.

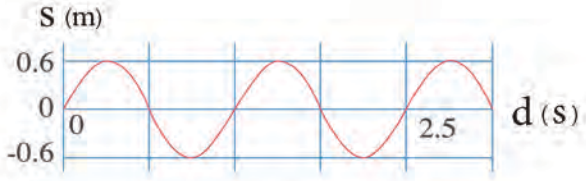


شكل 1

اذكر قيمة :
(1) سعة الموجة.
(2) الطول الموجي للموجة.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

(ب) يبين شكل 2 رسمًا بيانيًا لتغيرات إزاحة نفس الموجة مقابل الزمن عند نقطة معينة بطول الموجة.



شكل 2

حدد قيمة:

(1) زمن دورة واحدة كاملة.

(2) تردد الموجة.

(جـ) احسب سرعة الموجة المرسومة في شكلين 1، 2؟

7- (أ) تمثل A، B، C، D في الشكل التالي جسيمات في وسط ما، تمر خلاله موجات بشكل مستمر في الاتجاه الذي يشير إليه السهم. ⟵

A B C D

• • • • • • • • • •

صف حركة الجسيمات A، B، C، D عندما تكون الموجة

(1) مستعرضة،

(2) طولية.

(ب) (1) ارسم رسمًا توضيحيًا بمقياس كامل لموجة مستعرضة ذات طول موجي 40 mm وسعة 15 mm؟

يجب أن يمثل الرسم الموجة في لحظة معينة، ويجب بيان طولين موجيين على الأقل.

(2) احسب سرعة الموجة التي رسمتها إذا كان ترددها 150 Hz؟

8- يرصد الجدول التالي الإشعاع المتضمن للطيف الكهرومغناطيسي بترتيب تزايد الطول الموجي.

أشعة جاما	أشعة إكس	A	مرئي	B	لاسلكي

زيادة الطول الموجي ⟵

(1) اذكر اسم الإشعاع A؟

(2) صف كيفية اكتشاف الإشعاع B؟

(3) صف بإيجاز أحد استخدامات أشعة إكس؟

(4) اذكر طريقتين تختلف فيهما الموجات الكهرومغناطيسية عن الموجات الصوتية؟

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الوحدة 7

انعكاس وانكسار الضوء

Reflection and Refractin of Light

مخرجات التعلم

في هذه الوحدة، سوف . .

- تُعرِّف المصطلحات المستخدمة في الانعكاس والتي تشمل العمودي، وزاوية السقوط، وزاوية الانعكاس.
- تحدد عند الانعكاس أن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.
- تستخدم مبدأ الانعكاس في التشييدات، والقياسات، والحسابات.
- تعرِّف المصطلحات المستخدمة في الانكسار، وتشمل زاوية السقوط، وزاوية الانكسار، والعمودي.
- تتذكر العلاقة $\frac{\sin i}{\sin r}$ تساوي مقدار ثابت.
- تطبق ($\frac{\sin i}{\sin r}$ تساوي مقدار ثابت) على مواقف جديدة أو لحل مسائل ذات صلة.
- تعرِّف معامل انكسار وسط ما بدلالة نسبة سرعة الضوء في الفراغ وفي الوسط.
- تعرِّف المصطلحات: الزاوية الحرجة، والانعكاس الداخلي الكلي.
- تعين الأفكار الرئيسة في الانعكاس الكلي الداخلي، وتطبقها على استخدام الألياف البصرية في وسائل الاتصال السلكية واللاسلكية، وتذكر مميزات استخدامها.

قد تتمكن إذا نظرت حولك، من ذكر أسماء عدد من أجهزة تكوين الصور – آلة التصوير، جهاز العرض العلوي، آلة التصوير بالمسجل المرئي، المجهر، النظارات، أنواع المرايا المختلفة، آلة النسخ الضوئي، وآلات أخرى. نحن نعيش في مجتمع يستخدم مثل تلك الأجهزة بشكل متكرر. فما السمات التي تشترك فيها تلك الأجهزة؟ أي أفكار في علم الفيزياء تُستخدم في تلك الأجهزة؟ سندرس في هذه الوحدة بعض تلك الأفكار.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

- يمكن تعريف الضوء بأنه ذلك الجزء من الطيف الكهرومغناطيسي الذي يمكن أن تكشفه عين الإنسان.
- ينتقل الضوء في خطوط مستقيمة تسمى أشعة.
- يبين تكوين الظل (بما في ذلك كسوف الشمس)، وآله التصوير ذات الثقب انتشار الضوء في خطوط مستقيمة.

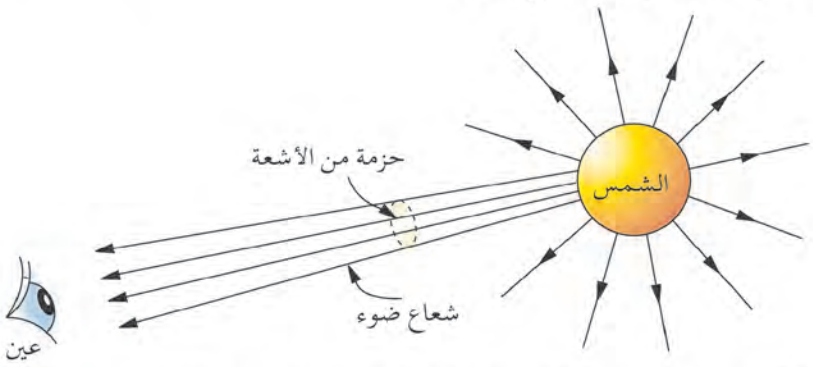
ما الضوء؟

نعرّف الضوء في هذه الوحدة بأنه ذلك الجزء من الطيف الكهرومغناطيسي الذي يمكن لعين الإنسان اكتشافه (انظر الجزء 6 – 5 للرجوع إلى رسم الطيف الكهرومغناطيسي).

تكشف عين الإنسان الضوء في مدى من الألوان: الأحمر، فالبرتقالي، فالأصفر، فالأخضر، فالأزرق، فالنيلي، فالبنفسجي. وتُكوِّن تلك الألوان السبعة ضوءًا أبيض عند خلطها.

ينتقل الضوء في خطوط مستقيمة

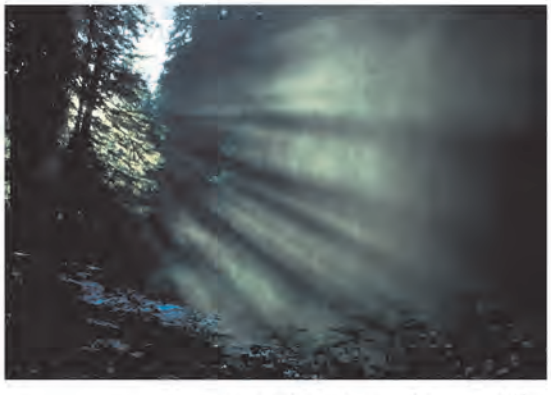
يبين شكل 7 – 1 طاقة ضوئية من الشمس، تنتقل إلى العين في خطوط مستقيمة تسمى أشعة.



شكل 7 – 1 ينتقل الضوء في خطوط مستقيمة تسمى أشعة

ماذا نقصد بشعاع الضوء؟ يتكون أحيانًا لدينا انطباعًا بأنه يمكننا «رؤية» أشعة ضوء في الحجرة المغبرة بالتراب، أو في الجو الغائم. ويسبب ذلك الانطباع استطارة الضوء عن طريق جسيمات التراب العالقة (في الحجرة المغبرة بالتراب) أو قطرات الماء (في الجو الغائم). إن فكرة الشعاع هي فكرة اخترعها العلماء. فكلما رأيت عبارة «شعاع ضوء» فاعلم أنها تشير إلى الخط الذي يسير الضوء بطوله. ولا توجد في الواقع أشعة ضوء في شكل أسهم، وإنما ترسم الأسهم على الأشكال البيانية لتمثل الاتجاه الذي ينتقل فيه الضوء.

وتعرف حزمة الأشعة بأنها حزمة ضوئية، ويبين شكل 7 – 3 ثلاثة أنواع من الحزم الضوئية.



شكل 7 – 2 «رؤية» أشعة ضوء

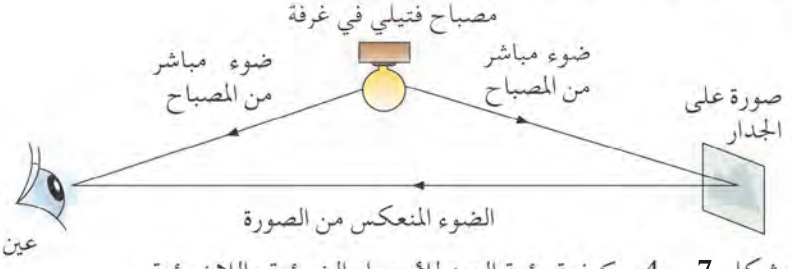
شكل 7 – 3 ثلاثة أنواع من الحزم الضوئية

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الأجسام المضيئة، وغير المضيئة

أي جسم (مثل الشمس، أو شمعة مضاءة، أو مصباح متوهج) يصدر نورًا بنفسه يسمى جسمًا مضيئًا. وعلى العكس من ذلك فإن أي جسم (مثل الطاولة، أو الجدار، أو الصورة) لايصدر ضوءًا بنفسه يسمى جسمًا غير مضيء.

ويبين شكل 7 – 4 كيفية رؤية العين للمصباح المضاء (جسم مضيء)، وللصورة (جسم غير مضيء).



شكل 7 – 4 كيفية رؤية العين للأجسام الضوئية واللاضوئية

ترى العين في شكل 7 – 4 المصباح الكهربائي بسبب النور الصادر منه والذي يدخل العين مباشرة. أما الصورة، فلا يمكن للعين أن تراها إلا عن طريق دخول الضوء المنعكس من الصورة إلى العين. فإذا أطفئ المصباح، وأصبحت الحجرة مظلمة تمامًا، فلا يمكن رؤية الصورة (أو بالطبع المصباح غير المضاء) لعدم دخول ضوء إلى العين. ويؤكد ذلك حقيقة رؤية العين للأجسام غير المضيئة بانعكاس الضوء عليها.

قوانين الانعكاس

تجربة 7 – 1

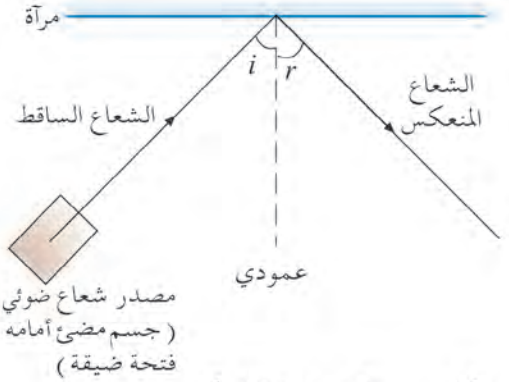
لتوضيح قوانين الانعكاس

الأدوات: مصدر شعاع ضوئي، شريحة من مرآة مستوية، منقلة، قطعة من الورق.

الإجراء: **1**– ركب الجهاز كما هو مبين بشكل 7 – 5.

2– غير زاوية السقوط i، ثم قس زاوية الانعكاس r.

3– قارن قيم زاوية السقوط i وزاوية الانعكاس r.



شكل 7 – 5 قوانين الانعكاس

سوف تبين المشاهدات الدقيقة من التجربة 7 – 1 أن لكل قيمة زاوية سقوط i، تكون قيمة زاوية الانعكاس r المناظرة لها هي نفسها. ويمكن الآن تلخيص قوانين الانعكاس كما يلي:

القانون الأول للانعكاس

الشعاع الساقط، والشعاع المنعكس، والعمودي على السطح العاكس جميعها تقع في نفس المستوى.

القانون الثاني للانعكاس:

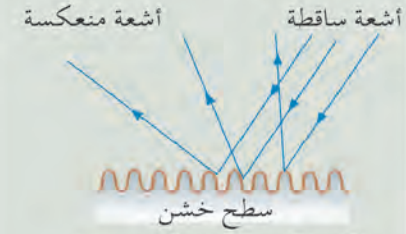
تتساوى زاوية السقوط مع زاوية الانعكاس (أي، $i = r$).

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

أنواع الانعكاس

يلخـص جدول 7 – 1 نوعي الانعكاس : الانعكاس المنتظم (أو المرآوي)، والانعكاس المنتشر (غير المنتظم) .

جدول 7 – 1 نوعا الانعكاس

نوع الانعكاس	الخواص
(أ) انعكاس منتظم شكل 7 – 6 انعكاس منتظم	1– ينعكـس الضـوء فـي اتجـاه واحد فقط . 2– يحدث على الأسطح الملساء مثل مرآة، أو سطح ماء صاف ساكن .
(ب) انعكاس منتشر  شكل 7 – 7 انعكاس منتشر	1– ينعكس الضـوء خلال مدى من الزوايا المختلفة . 2– يحدث على الأسطح الخشنة مثـل جـدار غيـر ناعـم، أو شاشة ورقية، أو قماش .

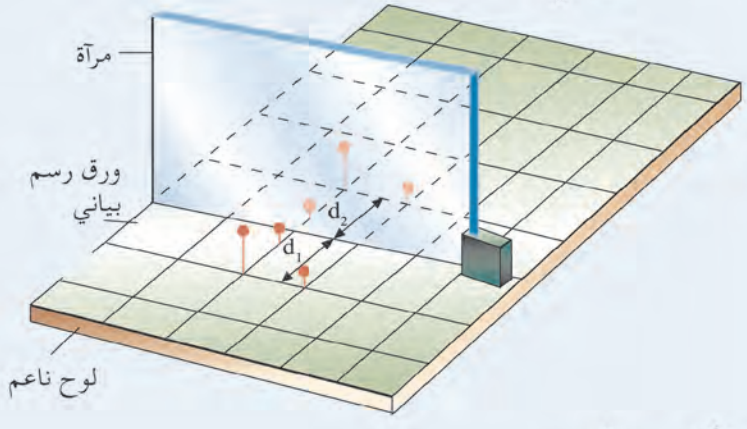
لاحظ في كل من الانعكاسـين المنتظم والمنتشـر، تحقيق كل شـعاع قوانين الانعكاس . وتكون دائمًا زاوية السقوط مساوية لزاوية الانعكاس .

أشعة تواجه مرايا مسطحة

تجربة 7 – 2

لإيجاد موضع وخواص صورة كونتها مرآة مستوية .

الأدوات : مرآة مستوية، ثلاثة دبابيس، ورقة رسم بياني، حامل خشبي .



شكل 7 – 8

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الإجراء: **1**- كوِّن الجهاز كما هو مبين بشكل **7** – 8.

2- لاحظ الصورة المكونة.

3- عد المربعات بين الدبابيس والمرآة، وأيضًا بين الصورة والمرآة لإيجاد المسافات d_1، d_2 على التوالي. ثم قارن هاتين المسافتين.

ويمكن بناءً على التجربة **7** – 2 تلخيص خواص الصورة التي كونتها مرآة مستوية كما يلي:

(أ) لها نفس حجم الجسم الأصلي.

(ب) منعكسة جانبيًّا (انعكاس اليسار إلى اليمين).

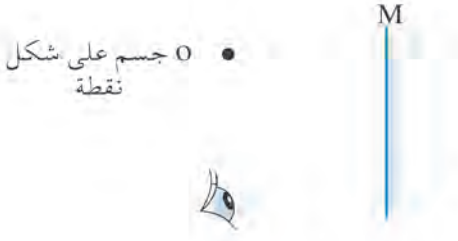
(جـ) معتدلة رأسيًّا.

(د) تقديرية (لايمكن للصورة التقديرية أن تسقط على شاشة لأن الأشعة الضوئية لا تتقابل فعليًّا في موضع الصورة. ولهذا إذا وضعت شاشة عند موضع الصورة، فلن ترى أي شيء على الشاشة).

(هـ) تتكون عند موضع خلف المرآة يكافئ بُعد الجسم أمام المرآة (مما يفسر سبب $d_1 = d_2$).

مخططات الأشعة في المرايا المستوية

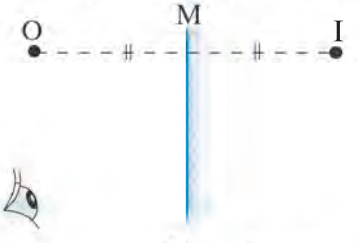
يبين شكل **7** – 9 جسمًا على شكل نقطة O أمام مرآة مستوية M.



شكل **7** – 9

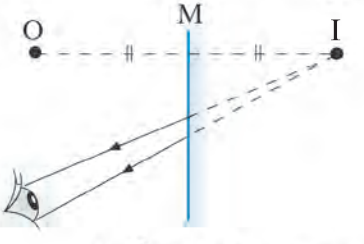
ولرسم الصورة I للجسم O يمكن اتخاذ الخطوات الثلاث التالية:

الخطوة 1: ارسم خطًا منقوطًا من الجسم O، متعامدًا على المرآة M، ثم مده ليتخلل المرآة. يمكن وضع علامة I بسهولة على موضع الصورة لأن كلًّا من I، O على مسافة متساوية من المرآة، وكذلك لأن حجم الصورة هو نفس حجم الجسم. يبين شكل **7** – 10 ذلك.



شكل **7** – 10 تحديد موضع الصورة I

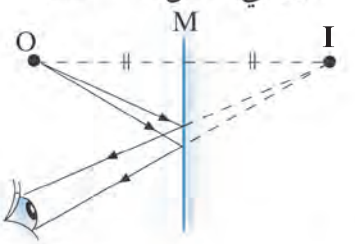
الخطوة 2: صل موضع الصورة I بالعين عن طريق خطوط متكسرة داخل المرآة M، لتشير إلى الأشعة التقديرية القادمة من I، متبوعة بخطوط بارزة من سطح المرآة إلى العين، لتمثل أشعة حقيقية منعكسة من المرآة. يبين شكل **7** – 11 ذلك.



شكل **7** – 11 تحديد موضع الأشعة المنعكسة

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

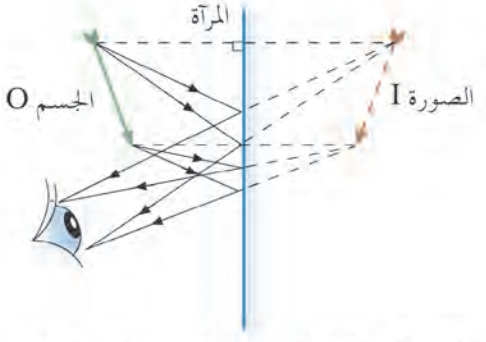
الخطوة 3: صل موضع الجسم O بمواضع الأشعة المنعكسة على المرآة، لتحديد موقع الأشعة الساقطة. يكمل ذلك مخطط الأشعة المبين في شكل 7 – 12.



شكل 7 – 12 تحديد موقع الأشعة الساقطة

ولرسم صورة جسم ممتد كالسهم المبين في شكل 7 – 13، يمكن تطبيق نفس الخطوات الثلاث السابقة باعتبار الجسم الممتد مكونًا من عدد من النقاط. ونأخذ عادة في اعتبارنا النقطتين الطرفيتين للجسم الممتد عند رسم الصورة كما هو مبين في شكل 7 – 14.

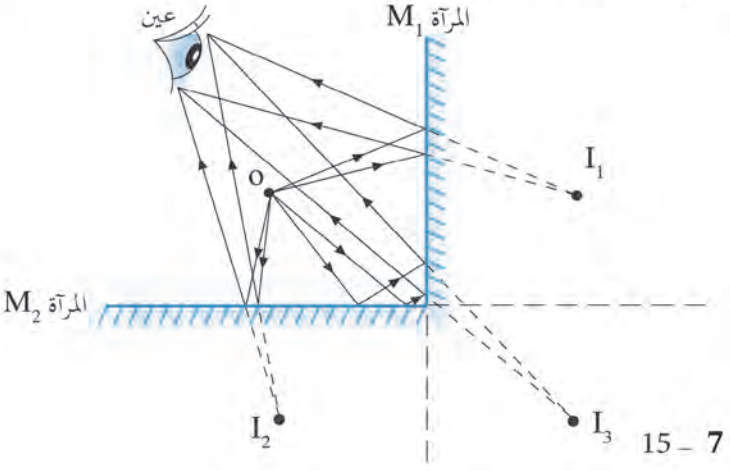
شكل 7 – 13 جسم ممتد



شكل 7 – 14 الصورة I للجسم الممتد O

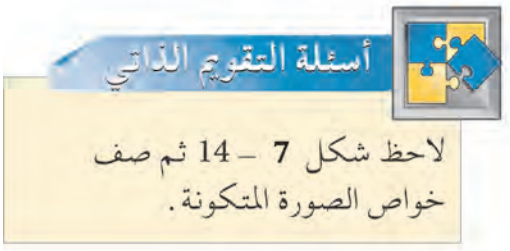
صور متعددة في المرايا المستوية

يبين شكل 7 – 15 الصور الثلاث I_1، I_2، I_3 التي تكونها مرآتان متعامدتان على جسم على هيئة نقطة O بينهما. وتكونت I_1، I_2 بانعكاسات بسيطة، بينما تكونت I_3 بانعكاسين.



شكل 7 – 15

وبإمالة مرآتين عند زوايا مختلفة سينتجان أعدادًا مختلفة من الصور للجسم. إن أحد المواضع الشيقة يكون بوضع المرآتين متوازيتين كل منهما مع الأخرى. يتكون عدد لانهائي من الصور لأي جسم موضوع بينهما.



جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

بعض التطبيقات المهمة للمرايا المستوية

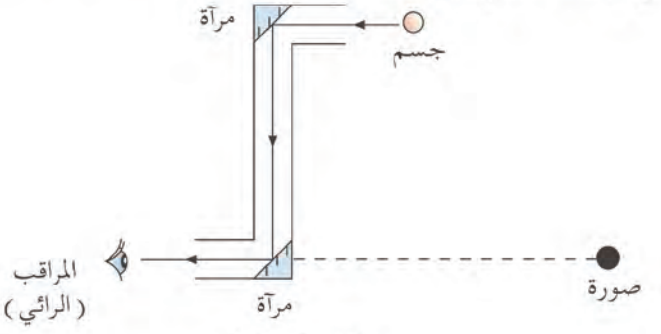
1- كشف النظر

تُقلب الحروف المضيئة عرضيًّا حتى يراها المريض صحيحة في المرآة. وتظهر في نفس الوقت الحروف أبعد مما تكون عليه في الواقع، ولذلك لا يستدعي الأمر حجرة كشف طويلة.

شكل 7 - 16

2- البيرسكوب (منظار الأفق)

تسمح المرايا للمراقب (الرائي) برؤية جسم ما، بإحضار الصورة إلى مكان ملائم للرؤية.

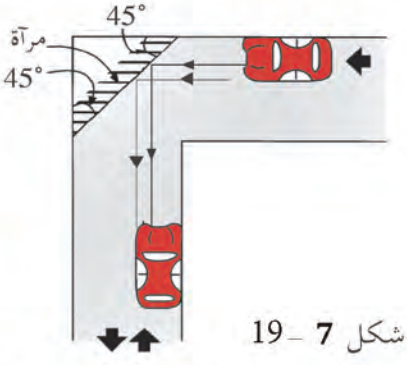


شكل 7 - 17

3- الزوايا العمياء

إن تركيب مرآة مستوية عند زاوية على الطريق يسمح للسائقين بالرؤية حول المنحنيات العمياء (الرسم التالي لم يرسم بمقياس نسبي).

شكل 7 - 18 مرآة الزاوية العمياء

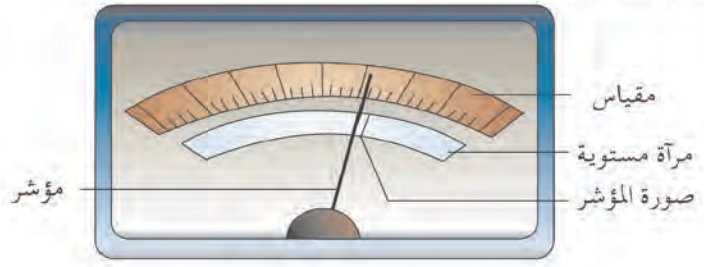


شكل 7 - 19

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية - ليبيا

4- مقاييس الأجهزة

تزيل المرآة المستوية أخطاء اختلاف الرؤية في مقاييس الأجهزة بتكوين صورة للمؤشر.



شكل 7 - 20

5- استخدامات أخرى

تستخدم كذلك المرايا المستوية في أدوات بصرية كثيرة مثل التليسكوب، وأجهزة العرض العلوي، وأجهزة الليزر. استخدام شائع آخر للمرآة المستوية هو في تركيب المشكال (منظار النماذج المتغيرة) الذي يعطي صورًا متعددة ملونة لقطع صغيرة من الزجاج الملون.

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) اذكر الطريقتين التي ترى بهما عين الإنسان الأشياء من حولنا.

(ب) اذكر الصفات الخمس للصورة التي تكونها المرآة المستوية.

7 - 3 الأشعة الضوئية والانكسار

Light Rays and Refraction

الانكسار هو انحناء الضوء عند انتقاله من وسط إلى آخر.

الانكسار عند الأسطح المستوية

يبين شكل 7 - 21 سلوك شعاع ضوء ينتقل من الهواء إلى الزجاج، ثم إلى الهواء مرة أخرى. وعند الحد الفاصل بين الهواء والزجاج، نشاهد شعاع الضوء يغير اتجاهه عند الدخول من الهواء إلى الزجاج، وعند ترك الزجاج إلى الهواء مرة ثانية. وبمعنى آخر ينحني شعاع الضوء، ونسمي هذا التأثير الانحنائي للضوء عند مروره من مادة شفافة (وسط بصري) إلى أخرى **انكسارًا**.

شكل 7 - 21 انكسار شعاع ضوئي داخل كتلة زجاجية

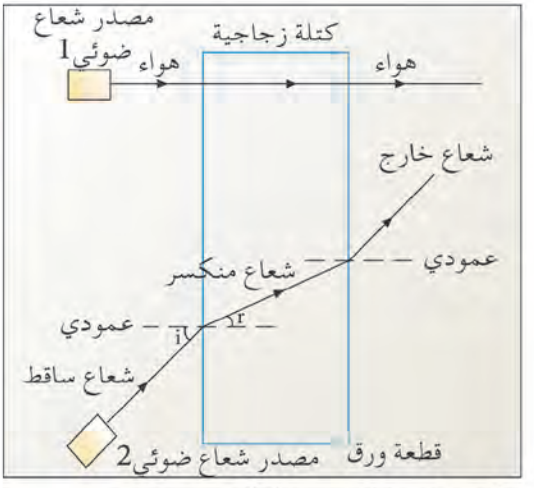
جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

عند دخول الضوء إلى وسط أكثر كثافة ضوئية، تبطؤ سرعته.

ينتج الانكسار عن السرعات المختلفة للضوء في أوساط بصرية مختلفة. فسرعة الضوء في الهواء على سبيل المثال هي $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ تقريبًا. تتناقص تلك السرعة إلى $2.3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ تقريبًا عند انتقال الضوء من الهواء إلى الماء، وإلى $2 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ تقريبًا عند انتقاله من الهواء إلى الزجاج.

ونقول أن الزجاج وسط بصري أكثر كثافة ضوئية من الماء، وأن الماء وسط بصري أكثر كثافة ضوئية من الهواء. وكلما كانت الكثافة الضوئية للوسط أكبر، كلما كانت سرعة الضوء في ذلك الوسط أبطأ.

قوانين الانكسار



شكل 7 – 22 قوانين الانكسار

تجربة 7 – 3

لبيان انكسار الضوء خلال كتلة زجاجية.

الأدوات: كتلة زجاجية مستطيلة ذات وجه واحد مصقول، مصدر شعاع ضوئي، قطعة من الورق.

الإجراء:

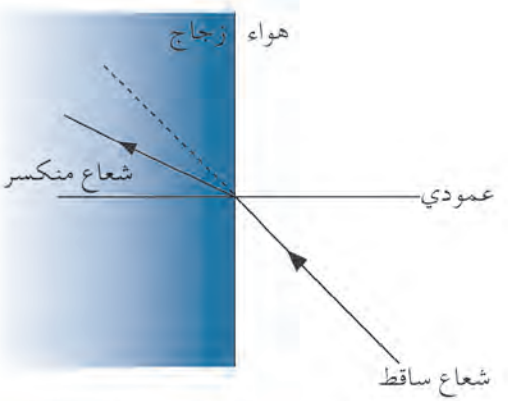
1- ضع الكتلة الزجاجية على قطعة ورق بحيث يكون الوجه المصقول لأسفل.
2- ارسل شعاعين مستقيمين من الضوء خلال الكتلة الزجاجية كما هو مبين في شكل 7 – 22.
3- راقب مساري الشعاعين الضوئيين.
4- نوّع زاوية السقوط i، ثم قس زاوية الانكسار r.

ويمكن رصد المشاهدات التالية من التجربة 7 – 3:

1- يمر الشعاع الضوئي من مصدر الشعاع الضوئي 1 مستقيمًا خلال كتلة الزجاج ثم يخرج إلى الهواء.
2- ينحني الشعاع الضوئي من مصدر الشعاع الضوئي 2 تجاه العمودي عند مروره خلال كتلة الزجاج، أي: زاوية السقوط i أكبر من زاوية الانكسار r.
3- ينحني الشعاع الضوئي بعيدًا عن العمودي عند مروره من الكتلة الزجاجية إلى الهواء مرة أخرى.
4- يبين جدول 7 – 2 مجموعة نموذجية من النتائج لزاوية السقوط i في الهواء، وزاوية الانكسار r في الزجاج.

جدول 7 – 2 جدولة زاوية السقوط i، وزواية الانكسار r.

زاوية السقوط ° (i)	زاوية الانكسار ° (r)
20	13
30	20
40	25
50	31
60	35
70	39



شكل 7 – 23 «ينحني» الشعاع المنكسر تجاه العمودي في الزجاج

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

وبناءً على المشاهدات، يمكن التوصل إلى الاستنتاجات الثلاثة التالية :

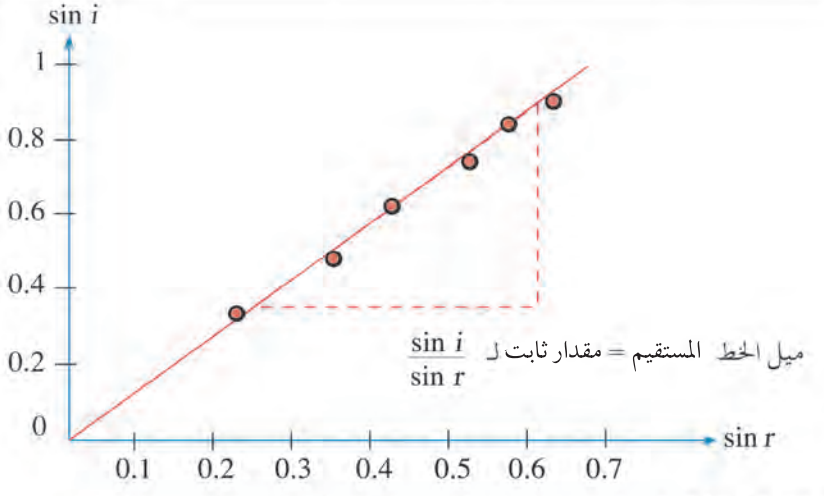
1- عند سقوط شعاع ضوئي عموديًّا على الحد الفاصل بين الوسطين (أو بطول الشعاع العمودي)، يمر الشعاع على استقامته من دون انحناء رغم أن سرعته أقل في الوسط البصري الأكثر كثافة ضوئية .

2- عند سقوط شعاع ضوئي بزاوية حادة على الحد الفاصل بين الوسطين، ينحني الشعاع المنكسر تجاه العمودي عند انتقال الضوء من وسط بصري أقل كثافة ضوئية (مثل الهواء) إلى وسط بصري أكثر كثافة ضوئية (مثل الزجاج) كما هو مبين في شكل 7 – 23 . والعكس صحيح، بمعنى أن الشعاع الضوئي ينحني بعيدًا عن العمودي عند تحركه من وسط (مثل الزجاج) إلى وسط آخر أقل كثافة ضوئية (مثل الهواء) .

3- وعلى عكس حالة الانعكاس حيث تكون زاوية السقوط i متساوية مع زاوية الانعكاس r، فإن العلاقة بين زاوية السقوط وزاوية الانكسار أكثر تعقيدًا . ففي عام 1621 اكتشف عالم الرياضيات الهولندي ويلبرورد سنيل أن نسبة $\frac{\sin i}{\sin r}$ تساوي مقدار ثابت (انظر جدول 7 – 3) . ويمكن أيضًا كبديل رؤية العلاقة بين r، i برسم العلاقة البيانية $\sin i$ مقابل $\sin r$. وسيتكون لدينا خطًا بيانيًّا مستقيمًا ذا انحدار ثابت، يعطي النسبة الثابتة $\frac{\sin i}{\sin r}$ (انظر شكل 7 – 24) .

جدول 7 – 3 العلاقة بين زاوية السقوط i وزاوية الانكسار r

$\frac{\sin i}{\sin r}$	$\sin r$	$\sin i$	(r) °	(i) °
1.5	0.22	0.34	13	20
1.5	0.34	0.50	20	30
1.5	0.42	0.64	25	40
1.5	0.52	0.77	31	50
1.5	0.57	0.87	35	60
1.5	0.63	0.94	39	70



شكل 7 – 24 العلاقة البيانية لـ i sin مقابل r sin

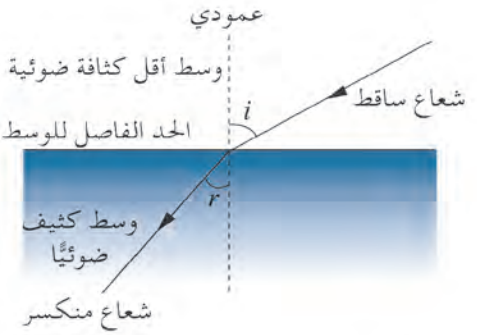
جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

ويمكن الآن تلخيص تلك الاستنتاجات عن انكسار الضوء في القانونين التاليين للانكسار:

القانون الأول للانكسار
الشعاع الساقط، والعمودي، والمنكسر تقع جميعًا في نفس المستوى.

القانون الثاني للانكسار (قانون سنيل)
نسبة جيب زاوية السقوط ($\sin i$) إلى جيب زاوية الانكسار ($\sin r$) لوسطين معينين هي كمية ثابتة أي أن:

$\frac{\sin i}{\sin r}$ تساوي مقدار ثابت

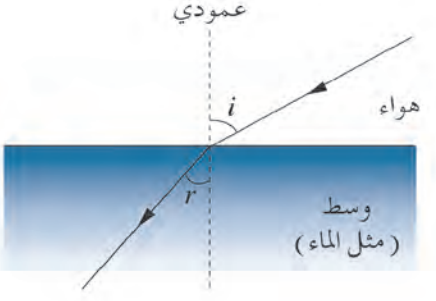


شكل 7 – 25

وبالنسبة لحالة شعاع ضوئي مار من فراغ (أو عمليًا من الهواء) إلى وسط معين (مثل الماء) كما هو مبين في شكل 7 – 26، تُعرف النسبة الثابتة $\frac{\sin i}{\sin r}$ بمعامل الانكسار n لهذا الوسط (في هذه الحالة، الماء).

$$n = \frac{\sin i}{\sin r}$$

كلما زادت قيمة معامل الانكسار لوسط، كلما كان انحناء الضوء أكبر عند مروره من الهواء إلى ذلك الوسط. ويبين جدول 7 – 4 معاملات الانكسار لبعض الأوساط البصرية، ويلاحظ أن الألماس له أكبر معامل انكسار بينها، بينما يكون معامل الانكسار للهواء هو الأصغر.
ويبين كذلك الجدول سرعة الضوء في كل وسط بصري. لاحظ أن سرعة الضوء في الماس هي الأدنى لأن الماس هو الوسط الأكثر كثافة ضوئية مقارنة بالأوساط الأخرى. والمادة ذات القيمة الأكبر لمعامل الانكسار هي مادة أكثر كثافة ضوئية.



شكل 7 – 26

جدول 7 – 4 معاملات الانكسار وسرعات الضوء في بعض المواد الشفافة

الوسط	معامل الانكسار، n	سرعة الضوء (10^8 m s^{-1}).
الألماس	2.4	1.25
الزجاج	1.5* حوالي	2 حوالي
البرسبكس	1.5	2
الماء	1.33	2.25
الثلج	1.3	2.3
الهواء	1.000 293	2.999

* بالنسبة للزجاج، يتراوح معامل الانكسار بين 1.48 و1.96 معتمدًا على تركيب الزجاج.

شكل 7 – 27 بريق الماس

معامل الانكسار وسرعة الضوء

تكون سرعة الضوء في الفراغ حوالي 3×10^8 m s^{-1}، وكما ذكرنا سابقًا، تتناقص سرعة الضوء عند انتقاله من الفراغ (الهواء عمليًا) إلى وسط أكثر كثافة ضوئية مثل الزجاج أو الماء.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

ويمكن من النظرية الموجية للضوء إثبات أنه بالنسبة للضوء الذي يمر من فراغ إلى داخل وسط يكون:

معامل انكسار الوسط يساوي $\frac{\text{سرعة الضوء في الفراغ}}{\text{سرعة الضوء في الوسط}}$

$$n = \frac{c}{v}$$

معامل انكسار وسط معين هو نسبة سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعة الضوء في ذلك الوسط.

مثال محلول 7 – 1

بما أن سرعة الضوء في الفراغ هي $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ أحسب سرعة الضوء في زجاج تاجي ذي معامل انكسار 1.52.

الحـــل:

المعطيات: سرعة الضوء في الفراغ، $(c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1})$

معامل انكسار الزجاج التاجي، $(n = 1.52)$

وباستخدام، $n = \frac{c}{v}$ حيث v تساوي سرعة الضوء في الزجاج التاجي

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3 \times 10^8}{1.52} = 1.97 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

أسئلة التقويم الذاتي

هـل يمكـن أن يقـل معامل انكسـار وسط عن 1؟ اشرح ذلك.

مثال محلول 7 – 2

يبين شـكل 7 – 28 شعاعًا ضوئيًا سـاقطًا على سطح الماء بزاوية سقوط 60°، ومعامل الانكسار للماء هو 1.33.

(أ) احسب زاوية الانكسار.

(ب) أكمل الرسم.

الحـــل:

المعطيات: $i = 60°$

$n = 1.33$

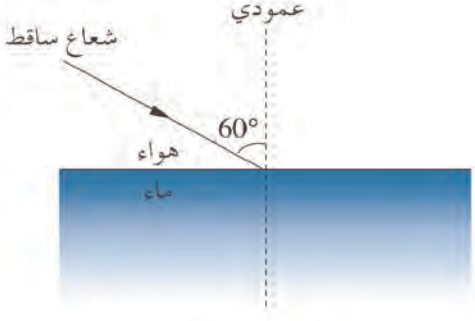
(أ) وباستخدام $n = \frac{\sin i}{\sin r}$

$$1.33 = \frac{\sin 60°}{\sin r}$$

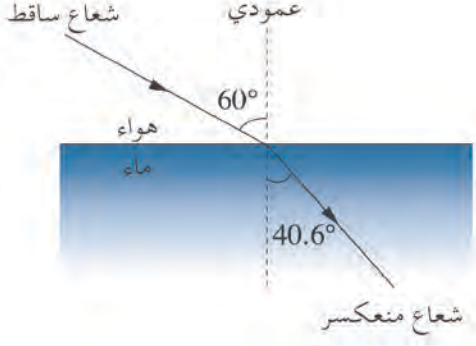
$$\sin r = \frac{\sin 60°}{1.33}$$

$$\therefore r = 40.6°$$

(ب) يبين شكل 7 – 29 الرسم بعد اكتماله.



شكل 7 – 28



شكل 7 – 29

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

لقـد رأينا مما سـبق أنه عند انتقال الضوء إلى وسـط أكثر كثافة ضوئية بزاوية ما، ينحني الشـعاع الضوئي تجاه العمودي كما في شـكل 7 – 29 بالمثـال المحلول 7 – 2. ماذا يحدث لشـعاع ضوئي يخرج من وسـط أكثر كثافة ضوئية إلى وسط أقل كثافة ضوئية؟

من شكل 7 – 29 إذا عكسنا اتجاه انتقال الشعاع الضوئي (أي يتحرك الآن الشعاع الضوئي من الماء إلى الهواء)، فإن زاوية سقوط الشعاع الضوئي علـى الحد الفاصل بـين الهواء – الماء تصبح الآن 40.6°. ولحسـاب زاوية الانكسار عند مرور الشعاع الضوئي من الماء إلى الهواء،

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{n}$$

$$\Rightarrow \frac{\sin 40.6^\circ}{\sin r} = \frac{1}{1.33}$$

$$\Rightarrow \sin r = 1.33 \sin 40.6^\circ$$

$$\Rightarrow \therefore r = 60^\circ$$

وعليه فإن الأشـعة الضوئية التي تنتقل من وسط أكثر كثافة ضوئية إلى وسط أقل كثافة ضوئية تنكسر بعيدًا عن العمودي.

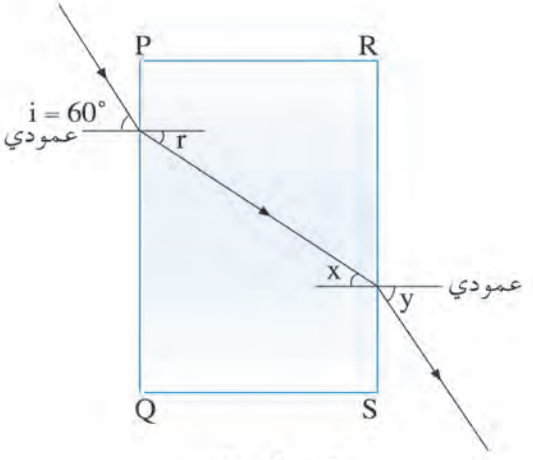
تحـــل

سـقط شعاع ضوئي على كتلة مسـتطيلة من الزجاج ذات معامل انكسار 1.5، إذا ارتطم الشـعاع بالسـطح PQ بزاوية سـقوط 60° كما هو مبين بشكل 7 – 30، احسب:

(أ) زاوية الانكسار r عند الحد الفاصل بين الهواء والزجاج (PQ).

(ب) زاوية السقوط x في كتلة الزجاج.

(جـ) زاوية الانكسار y عند الحد الفاصل بين الزجاج والهواء (RS).



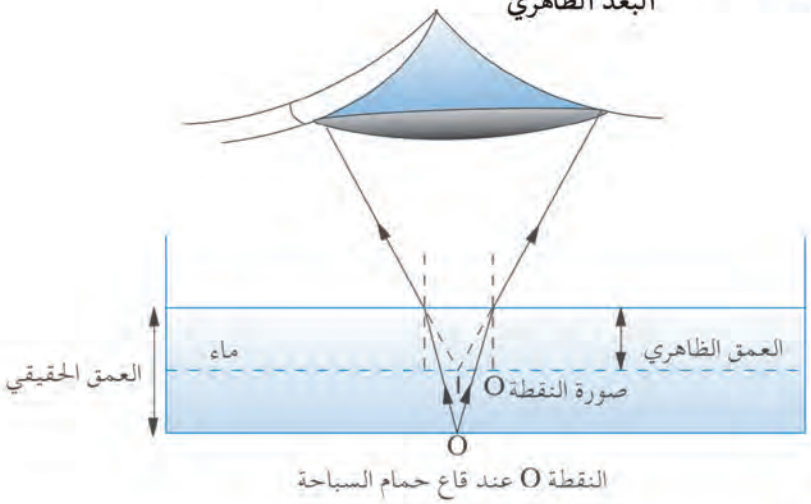
شكل 7 – 30

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

بعض ظواهر الانكسار اليومية :

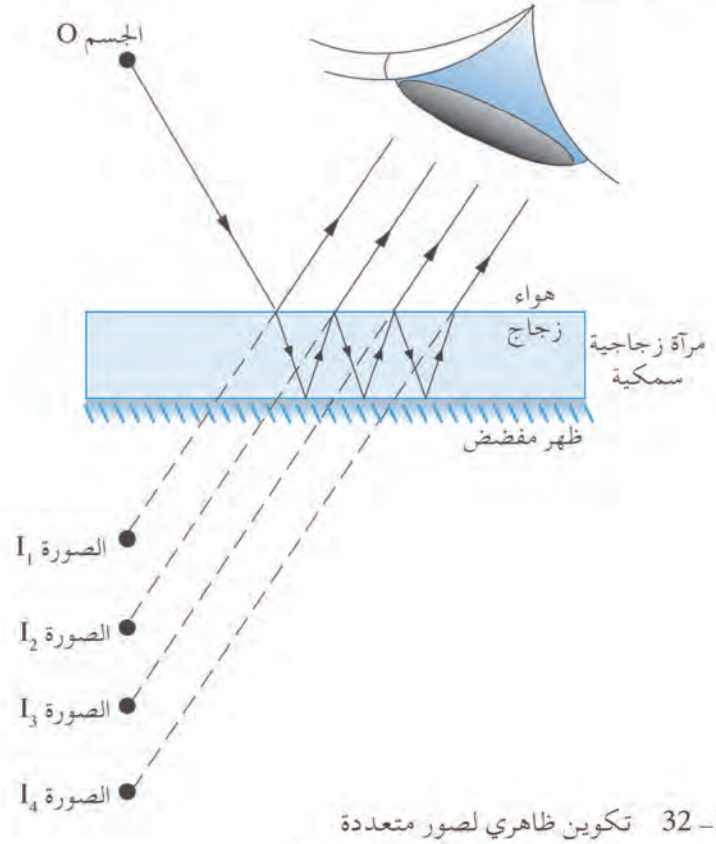
1- يبدو حمام السباحة أكثر ضحالة (أقل عمقًا) من حقيقته .

$$\text{معامل الانكسار} = \frac{\text{البعد الحقيقي}}{\text{البعد الظاهري}}$$



شكل 7 – 31 احساس مزيف بالعمق
(شكل ليس مرسومًا بمقياس رسم)

2- تُكوِّن المرآة الزجاجية السميكة صورًا متعددة .



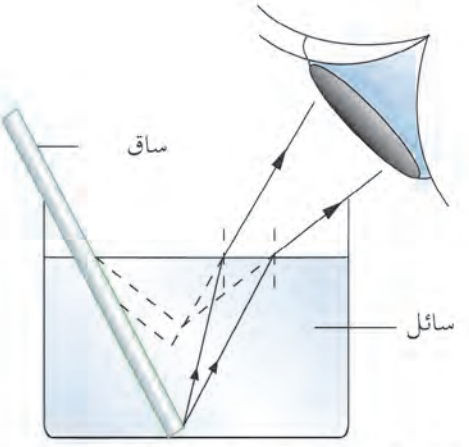
شكل 7 – 32 تكوين ظاهري لصور متعددة
(شكل ليس مرسومًا بمقياس رسم)

جدول 3 – 5

الصورة	السمات
I_1	صورة خافتة
I_2	صورة ناصعة جدًّا
I_3	صورة أكثر خفتانًا
I_4	الصورة الأكثر خفتانًا

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

3- تبدو الأجسام «منحنية» في السوائل.

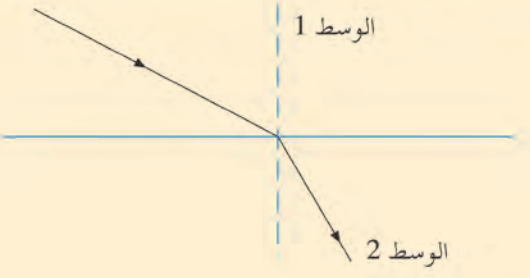


شكل 7 - 33 تبدو الأجسام «منحنية» في السائل

4- ظواهر يومية أخرى مرتبطة بالانكسار.

يسـهم أيضًا الانكسار في تكوين قوس قزح والسراب. ويتكون قوس قزح بتوليفة من الانكسار والانعكاس الداخلي الكلي، وتشتت الضوء الأبيض إلى الألوان السبعة. ويتكون السراب الذي يظهر كبرك الماء على الطريق في الأيام الحارة بتوليفة من الانكسار والانعكاس الداخلي الكلِّي.

أسئلة التقويم الذاتي



شكل 7 - 34

1- اكتب البيانات التالية على الرسم:
(أ) شعاع منكسر.
(ب) زاوية سقوط.
(جـ) عمودي.

2- إذا كانت زاوية السـقوط 75^{o} وزاوية الانكسار 40^{o}، ما معامل الانكسار بين الوسطين 1، 2؟

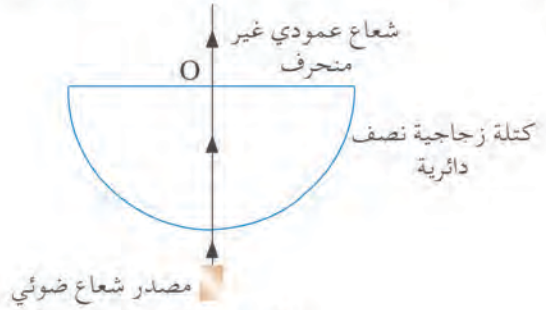
3- إذا كانت سرعة الضوء في الوسط 1 هي $3 \times 10^{8}\ m\ s^{-1}$، فماذا ستكون سرعة الضوء في الوسط 2؟

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

7 – 4 الانعكاس الداخلي الكلي
Total Internal Reflection

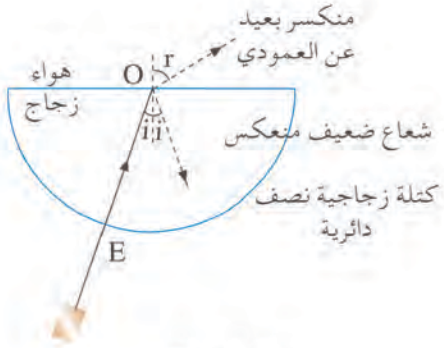
لـم ندرس في الجزء السـابق إلا المواقف التي يمر فيها الضوء من وسـط أقل كثافـة ضوئيـة إلى وسـط أكثر كثافـة ضوئية . وسنسـتقصي الآن بتمعن سـلوك الضوء عنـد الانتقال من وسـط أكثر كثافة ضوئية إلى وسـط أقل كثافة ضوئية . وسنتابع خطوة بخطوة استقصاء ما يحدث عند تزايد زاوية سقوط الضوء تصاعديًا في وسط أكثر كثافة ضوئية .

وجه عموديًا شـعاع ضوء ضيقًا خلال الكتلة الزجاجية نصف الدائرية (شكل 7 – 35) . يمر الشعاع الضوئي خلالها من دون أي انحراف .



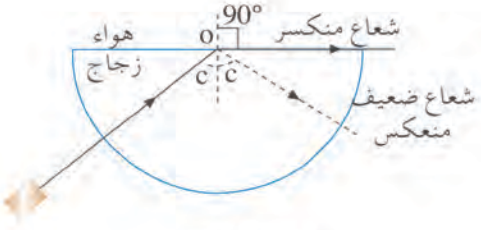
شكل 7 – 35

تزيد زاوية السـقوط في الوسـط الأكثر كثافة ضوئيـة بتحريك مصدر الشـعاع الضوئـي على قوس دائـرة مركزها O (شـكل 7 – 36) . يدخل الشعاع الضوئي الكتلة نصف الدائرية عند E من دون أي انحراف ، ولكن عند سقوط الشعاع عند O بزاوية ولتكن i ، سيترك الشعاع الكتلة وينكسر بعيدًا عن العمودي لأنه ينتقل من وسـط أكثر كثافة ضوئية إلى وسط أقل كثافة ضوئية .



شكل 7 – 36

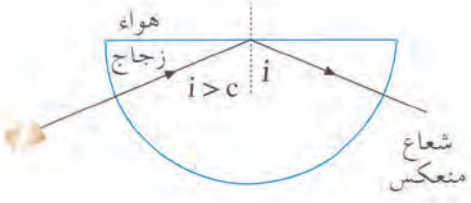
ومع تزايد زاوية السـقوط ، ستصل إلى قيمة حرجة عندما تصبح زاوية الانكسـار r في الوسط الأقل كثافة 90^o (شـكل 7 – 37) . وتُعرف زاوية السقوط التي تكون عندها زاوية الانكسار 90^o بالزاوية الحرجة c .



شكل 7 – 37

وتعرَّف الزاوية الحرجة بأنها زاوية السقوط في الوسط الأكثر كثافة ضوئية التي تقابلها زاوية انكسار في الوسط الأقل كثافة ضوئية تساوي 90^o .

وإذا تزايدت زاوية السـقوط إلى درجة أكبر من الزاوية الحرجة c يتضح عدم وجود أي شـعاع منكسـر . ويُرى الضوء منعكسًـا بشـدة (شـكل 7 – 38) . وفـي هـذه الحالة يتـم تطبيق قوانين الانعـكاس ، وتُعرف تلك الظاهرة **بالانعكاس الداخلي الكلي** .



شكل 7 – 38

يحدث الانعكاس الداخلي الكلي عندما :

(1) يمر الشـعاع الضوئي من وسط أكثر كثافة ضوئية إلى وسط أقل كثافة ضوئية .

(2) تكون زاوية السـقوط في الوسط الأكثر كثافة ضوئية أكبر من الزاوية الحرجة .

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الزاوية الحرجة ومعامل الانكسار

ولإيجاد العلاقة بين الزاوية الحرجة ومعامل انكسار الوسط الأكثر كثافة ضوئية. اعتبر شعاعًا ضوئيًا يتحرك من وسط أكثر كثافة ضوئية وليكن الزجاج، إلى الهواء (انظر شكل 7 – 36). تصبح الآن زاوية السقوط i هي الزاوية الحرجة c، بحيث تكون زاوية الانكسار r هي $90°$، أي: زاوية السقوط (i) تساوي الزاوية الحرجة (c)، وزاوية الانكسار (r) تساوي $90°$، انظر الشكل (7-37) وعند الحد الفاصل بين الزجاج والهواء، وبمبدأ قابلية الضوء للانعكاس، تحصل على المعادلة:

$$n = \frac{\sin 90°}{\sin c} = \frac{1}{\sin c}$$

حيث n هو معامل الانكسار

$$\therefore \quad \sin c = \frac{1}{n}$$

حيث $\sin c$ هي جيب الزاوية الحرجة

مثال محلول 7 – 3

منشور ذو زاوية قائمة (إحدى زواياه $90°$) مصنوع من زجاج ذي معامل انكسار 1.5. يدخل إلى المنشور شعاع ضوئي كما هو مبين بشكل 7 – 39.

شكل 7 – 39

(أ) احسب الزاوية الحرجة للمنشور.

(ب) أكمل مسار الشعاع حتى يخرج إلى الهواء مرة أخرى.

الحـــل:

(أ) المعطيات: معامل الانكسار، $n = 1.5$

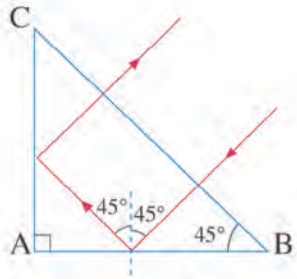
تعطى الزاوية الحرجة بالعلاقة:

$$\sin c = \frac{1}{n}$$

$$= \frac{1}{1.5}$$

$$\Rightarrow c = 41.8°$$

(ب) سيدخل الشعاع الضوئي إلى المنشور بزاوية قائمة، ولاينكسر (شكل 7 – 40). وعند السطح AB، تكون زاوية السقوط $45°$. ولأن زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة البالغة $41.8°$ سيحدث انعكاس داخلي كلي. وبالمثل يوجد انعكاس داخلي كلي عند السطح CA. سيخرج الشعاع الضوئي مكونًا زاوية قائمة مع سطح الضلع BC.



شكل 7 – 40

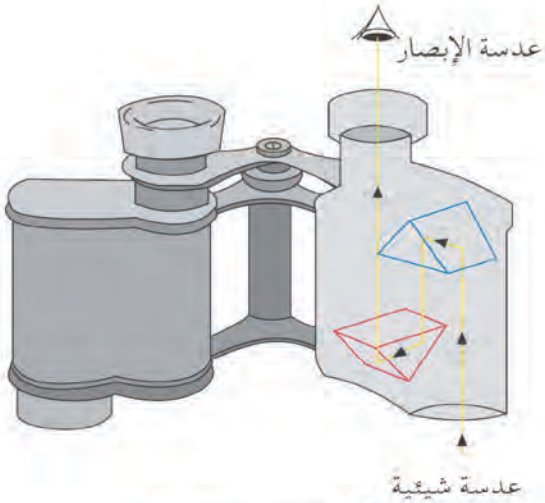
جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

تطبيقات الانعكاس الداخلي الكلي

1- البيرسكوب (منظار الأفق) والمنظار ثنائي العينين

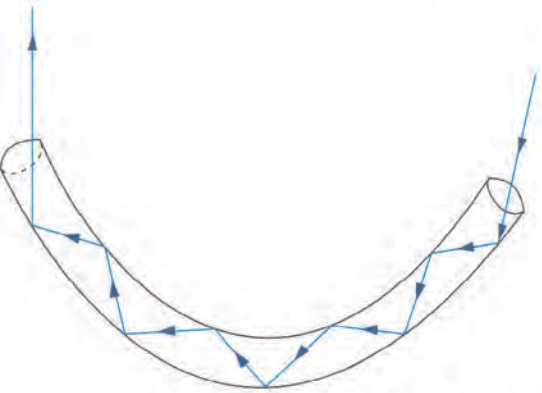
يبين شكل (7 – 41) بيرسكوبًا، يصنع باستخدام منشورين قائمي الزاوية. تسقط الأشعة الضوئية على السطح الداخلي للمنشورين بزوايا أكبر من الزاوية الحرجة. ومن ثم تنعكس الأشعة الضوئية داخليًّا.

شكل 7 – 41 بيرسكوب يستخدم منشورين قائمي الزاوية



شكل 7 – 42 المنشور داخل المنظار

ويستفيد أيضًا المنظار ثنائي العينين (شكل 7 – 42) من المنشورات لتقليل طول الأداة ولإنتاج صورة معتدلة. لاحظ أن الأشعة الضوئية في المنظار ثنائي العينين تكون منكسرة بزاوية 180° بكل منشور على عكس البيرسكوب حيث تنكسر الأشعة الضوئية بزاوية 90° فقط بكل منشور.



شكل 7 – 43 انعكاس داخلي كلّي داخل ليفة بصرية

2- الألياف البصرية

أحد التطبيقات المهمة للانعكاس الداخلي الكلي توجد في الألياف البصرية. فتتكون الليفة البصرية من لب من زجاج أو لدائن ذي معامل انكسار عالٍ، ويُغطّى عادة بطبقة زجاج ذي معامل انكسار أدنى (شكل 7 – 43). ينعكس الشعاع الضوئي الداخل في الليفة البصرية داخليًّا عند الأسطح. وبالرغم من أن الليفة البصرية قد تكون منحنية، إلا أن الضوء سيظل ينعكس داخليًّا.

وتستخدم الآن الألياف البصرية على نطاق واسع في وسائل الاتصالات السلكية واللاسلكية. فيمكنها حمل معلومات أكثر بكثير من الأسلاك النحاسية، وهي أخف، وأصبحت أيضًا أرخص في تصنيعها من الأسلاك النحاسية.

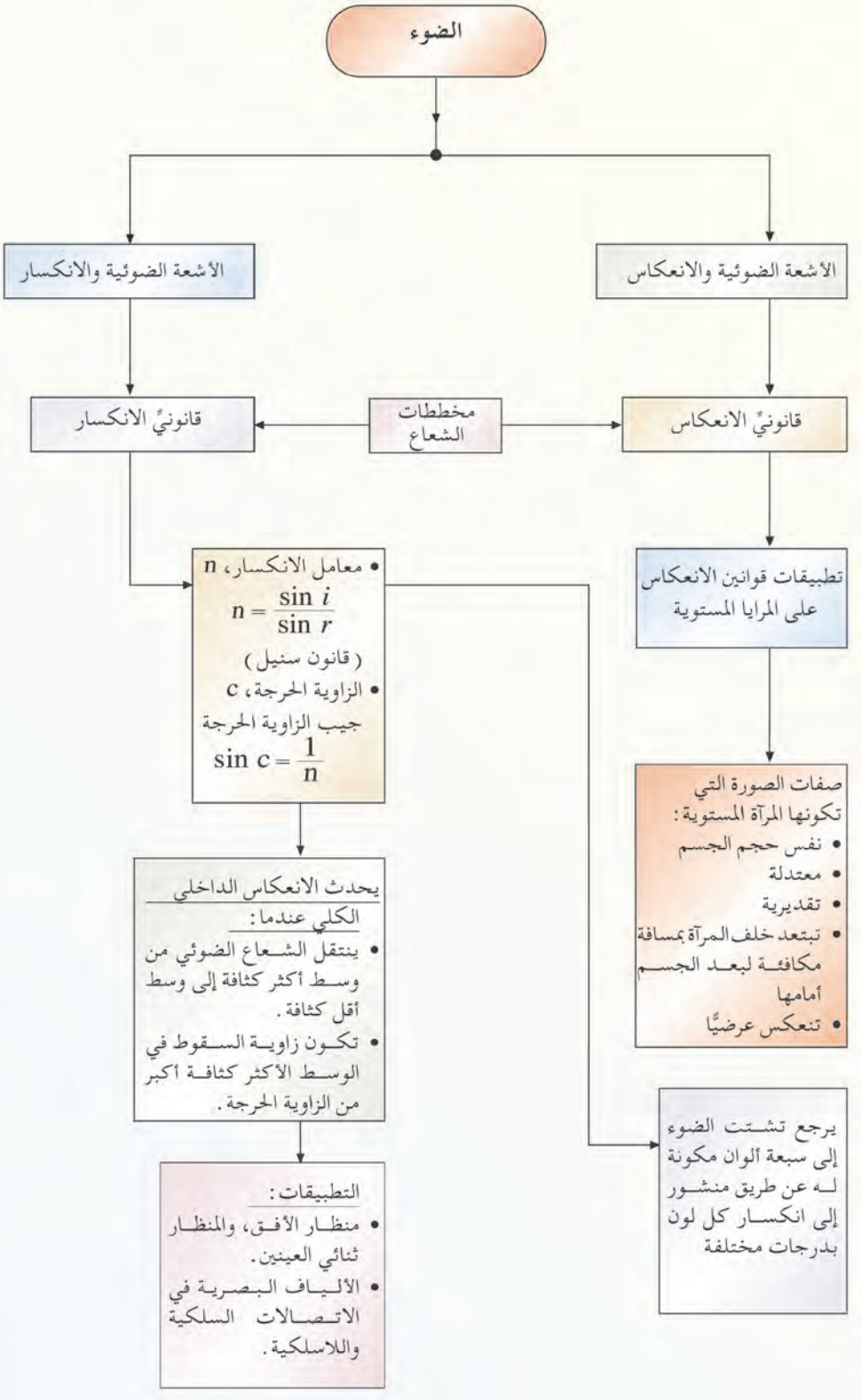
أسئلة التقويم الذاتي

(أ) منشور زجاجي مصنوع من زجاج ذي معامل انكسار n يساوي 1.9، عيِّن الزاوية الحرجة للزجاج.

(ب) اذكر تطبيقين للانعكاس الداخلي الكلي.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

خريطة مفاهيم



جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

المهارة: التحقق

تخيل المشهد التالي:
يستخدم صياد مسدسًا يعمل بالليزر لاصطياد سمكة يراها، فيصيبها. ويدعى إمكانية استخدام رمح لإصابة السمكة بنفس الطريقة. استخدم المنظم البياني التالي للتحقق من ادعائه.

العبارة المطلوب التحقق من صحتها
يمكن للصياد إصابة السمكة برمح بنفس طريقة إصابته لها بمسدس يعمل بالليزر.

- **أخطاء محتملة في افتراضه**
  1-
  2-

- **حقائق علمية عن انكسار الضوء**
  1-
  2-

الاستنتاج:

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

التمرين السابع

الجزء الأول أسئلة الاختيار من متعدد

1- أي العبارات التالية عن حجم الصورة المكونة في مرآة مستوية خطأ؟

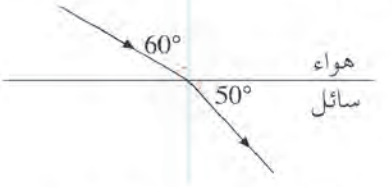
(أ) تكون الصورة أطول من المرآة.

(ب) يعتمد ارتفاع الصورة على بُعد الجسم عن المرآة.

(جـ) يكون عرض الصورة هو نفس عرض الجسم.

(د) يعتمد ارتفاع الصورة على ارتفاع الجسم.

2- يبين الرسم شعاعًا ضوئيًّا ساقطًا على سطح سائل، ومساره اللاحق.



يعطي معامل انكسار السائل بالعلاقة

(أ) $\frac{\sin 60^\circ}{\sin 50^\circ}$ (ب) $\frac{\sin 30^\circ}{\sin 50^\circ}$

(جـ) $\frac{\sin 60^\circ}{\sin 40^\circ}$ (د) $\frac{\sin 40^\circ}{\sin 60^\circ}$

3- معامل انكسار البنزين هو 1.5، ما الزاوية الحرجة للبنزين؟

(أ) 0.667° (ب) 42°

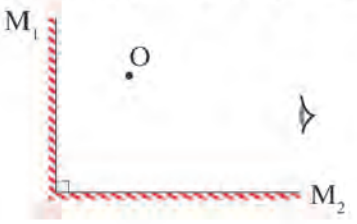
(جـ) 48° (د) 90°

الجزء الثاني الأسئلة التركيبية

1- (أ) اذكر قانوني الانعكاس مستعينًا برسم توضيحي.

(ب) ينظر سائق حافلة في مرآة مستوية طولها 20 cm وضعت على بعد 50 cm أمامه. فإذا كانت النافذة الخلفية تبعد 500 cm عن المرآة المستوية، ما مقدار الطول من النافذة الخلفية الذي يمكن للسائق الرؤية من خلاله عند النظر في المرآة أثناء القيادة؟

2- (أ) يبين الرسم التالي جسمًا O موضوعًا بين مرآتين مستويتين متعامدتين M_1، M_2، اذكر عدد الصور التي يمكن أن تتكون، ووضح ذلك عن طريق تكوين الأشعة.

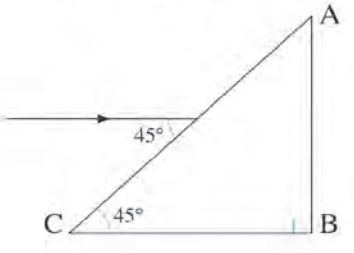


(ب) يمكن تكوين صور متعددة باستخدام مرآة زجاجية سميكة تحتوي على طبقة فضية على سطحها الخلفي. مستعينًا برسم شعاعي، بيِّن كيف يمكن تكوين تلك الصور. أي صورة يمكن أن تكون الأسطع؟

3- (أ) ما انكسار الضوء؟ وضح بالرسم.

(ب) شعاع ضوئي ساقط على منشور قائم الزاوية ذي معامل انكسار 1.5 كما هو مبين في الرسم. مستخدمًا قانون سنيل احسب زاوية انكسار الشعاع داخل المنشور.

(جـ) ناقش ما إذا كان سيحدث انعكاس داخلي كلي لهذا الشعاع داخل المنشور عند اصطدامه بالسطح AB في المنشور.

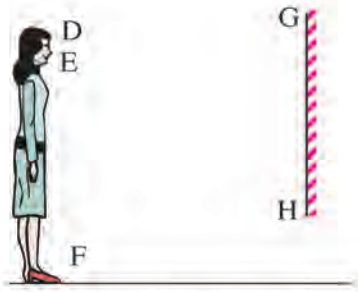


4- (أ) (1) كيف تبرهن بتجربة معملية، العلاقة بين زوايا السقوط والانعكاس لأشعة ضوئية ساقطة على مرآة مستوية؟

(2) كيف يختلف انعكاس حزمة ضوئية متوازية من ورقة بيضاء عن الانعكاس من سطح فلزي لامع؟ اشرح إجابتك.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

(ب)



ليس مرسومًا بمقياس

تمثل DEF في الرسم شخصًا يقف أمام مرآة مستوية رأسية GH، وينظر إليها. تمثل D قمة رأس ذلك الشخص، وتمثل E العينين، وتمثل F القدمين. طول الشخص 150 cm وعيناه 10 cm أسفل قمة رأسه.

(1) انقل الرسم في كراسة (لاداعي لأن يكون رسمك بمقياس نسبي، ويمكن تمثيل DEF بخط).

(2) وضح على رسمك المسار الذي يتخذه شعاع ضوئي ينتقل:

(أ) من قمة رأس الشخص، ويدخل العينين.

(ب) من أقدام الشخص، ويدخل العينين. حدد في كل حالة زوايا السقوط والانعكاس عند سطح المرآة.

(3) احسب أقل طول للمرآة يُمَكِّن الشخص من رؤية صورة كاملة لنفسه. ماذا سيكون ارتفاع قاع تلك المرآة عن الأرض؟

(4) افترض أن المرآة تحركت بعيدًا عن الشخص بسرعة $1\ m\ s^{-1}$. حدد السرعة التي ستبدو الصورة تتحرك بها، ثم حدد اتجاه الحركة.

5-

في تجربة لتحديد معامل انكسار الزجاج، سلَّط أحد الطلبة شعاع ضوء أخضر على كتلة زجاجية سميكة مستطيلة الشكل كما هو مبين أعلاه، ثم رسم علامة على الورقة الموضوعة تحتها تشير إلى مسار الشعاع عند دخوله وخروجه من الكتلة الزجاجية.

(1) انقل الرسم السابق إلى كراسة، ثم أكمله لتبين مسار الشعاع عند مروره خلال الكتلة الزجاجية ثم عند خروجه في النهاية.

(2) عين على رسمك الزوايا التي ستقاس لتحديد معامل انكسار كتلة الزجاج.

(3) كيف يمكنك تحسين دقة قيمة معامل الانكسار التي نحصل عليها باستخدام ذلك الجهاز؟

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الوحدة 8

العدسة اللَّامة

Converging Lens

تعلمنا في الوحدة السابقة أن الضوء ينكسر عند مروره من وسط إلى وسط آخر. وسندرس في هذه الوحدة تأثير العدسة على الضوء. وسنتعلم كذلك عن خواص العدسات كما تستخدم في أجهزة تكوين الصورة مثل آلة التصوير، وجهاز العرض العلوي، والعدسة المكبرة.

مخرجات التعلم

في هذه الوحدة، سوف

- ☐ تصف تأثير العدسة اللامة الرقيقة على شعاع ضوء.
- ☐ تُعرِّف المصطلح: البُعد البؤري.
- ☐ ترسم مخططات أشعة لتوضيح تَكوُّن الصور الحقيقية والتقديرية للجسم باستخدام العدسة اللامة الرقيقة.
- ☐ تُعرِّف المصطلح: التكبير الطولي.
- ☐ ترسم رسومات بمقياس نسبي لاستنتاج البعد البؤري المطلوب لقيم تكبير معينة.
- ☐ تصف استخدام عدسة وحيدة كعدسة مكبرة وفي آلة العرض، وترسم مخططات شعاع لتبين كيفية تكوين كل منها للصورة.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

8 – 1 العدسات اللامة الرقيقة
Thin converging lenses

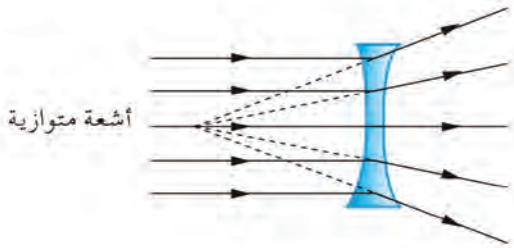
أنواع العدسات

تُصنع عادة العدسات من الزجاج أو اللدائن الشفاف. وتُستخدم على نطاق واسع في النظارات، وآلات التصوير، وآلات العرض، والتليسكوبات، وأدوات بصرية أخرى كثيرة. توجد عدستان بلوريتان خاصتان في عيني الإنسان، تمكناه من تكوين الصور. ويبين جدول 8 – 1 النوعين الرئيسين للعدسات.

جدول 8 – 1 أنواع العدسات

عدسات لامة (أسمك عند المركز)			عدسات مفرقة (أنحف عند المركز)		
عدسة محدبة الوجهين	عدسة مستوية محدبة	عدسة مقعرة محدبة	عدسة مقعرة الوجهين	عدسة مستوية مقعرة	عدسة محدبة مقعرة

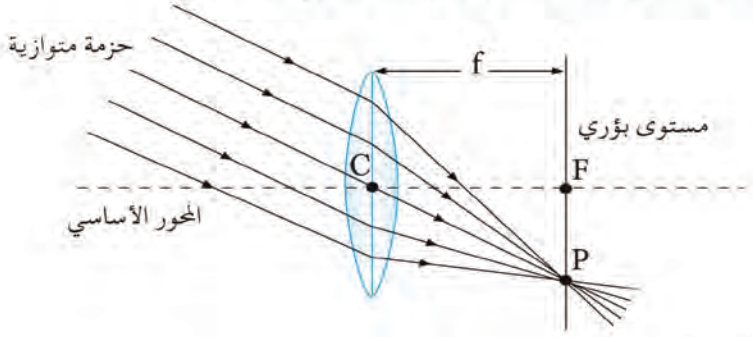
يجمع النوع اللام من العدسات أشعة الضوء كما هو مبين في شكل (8 – 1)، بينما يفرق النوع المفرَّق منها أشعة الضوء كما هو مبين في شكل (8 – 2).



شكل 8 – 2 تأثير العدسة المفرِّقة على الأشعة المتوازية

العدسة اللامة الرقيقة

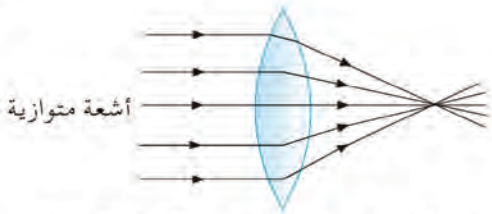
يبين شكلا (8 – 3، 8 – 4) تأثير العدسة اللامة الرقيقة على حزمة ضوئية متوازية. ويمكن تعريف العدسة الرقيقة كعدسة سمكها صغير مقارنة ببعدها البؤري (انظر شكل 8 – 3).



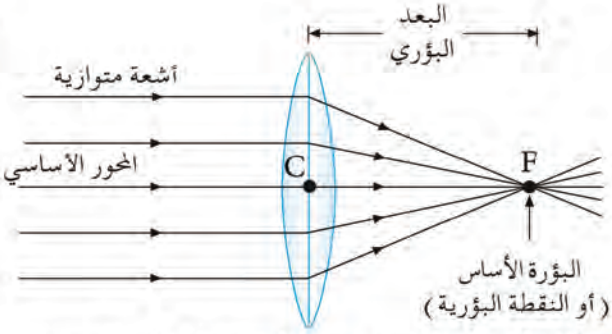
شكل 8 – 4 تأثير العدسة اللامة الرقيقة على الحزمة الضوئية المتوازية، غير موازية للمحور الأساسي

تحدٍّ

لاحظ شكلين 8 – 1، 8 – 2. هل يمكنك وصف كيفية حدوث الانكسار عند مرور الضوء خلال العدسات؟



شكل 8 – 1 تأثير العدسة اللامة على الأشعة المتوازية



شكل 8 – 3 تأثير العدسة اللامة الرقيقة على الحزمة الضوئية المتوازية، موازية للمحور الأساسي

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

وفيما يلي الخصائص الرئيسية للعدسة اللامة الرقيقة :

المركـــز البصري ، C – يكون المركز البصري للعدسة المتماثلة محدبة الوجهين ، هو النقطة الواقعة في الوسط بين سطحي العدسة على محورها الأساس ، ونرى من شكلي(8 – 3، 8 – 4)أن الأشعة المارة خلال المركز البصري لا تنحرف .

2- **المحور الأساسي**– هو الخط المار بشكل متماثل خلال المركز البصري للعدسة .

3- **البؤرة الرئيسية،F**– ستتجمع جميع الأشعة القريبة من والموازية للمحور الأساسي بعد انكسارها بالعدسة عند نقطة تعرف بالبؤرة الرئيسية . ويشار إليها عادة بالنقطة البؤرية .

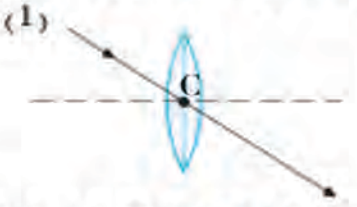
4- **الـــبعد الـــبؤري f**– هو المسافة بين المركز البصري،C، والبؤرة الأساسية،F .

5- **المستوى البؤري**– هو المستوى الذي يمر بكل من النقطتين F و P. ويتعامد المستوى البؤري على المحور الأساس .

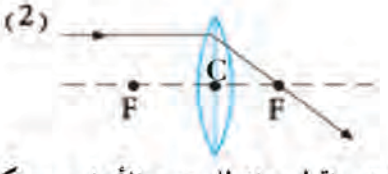
وبما أن الأشعة الضوئية تمر خـــــلال العدسات إما من اليسار أو من اليمين، فيكون لكل عدسة لامة رقيقة بؤرتين أساسيتين، ومن ثم بعـــــداً بؤرياً واحداً على كل جانب من جانبي لاعدسة

مخططات الأشعة

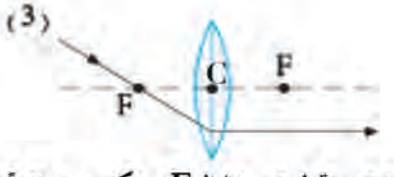
عند رسم مخططات الأشعة، يمكننا اختيـــار أي شعاعين من الأشعة الثـــــلاثة التالية لإيجاد موضع الصورة التي كونتها الـــــــعدسة. هـــذه الأشعة الخاصة الـــثلاثة مبينة في الأشكال (8 – 5 إلى 8 – 7).



شكل 8 – 5 شعاع ساقط خلال المركز البصري C، يمر دون انحناء

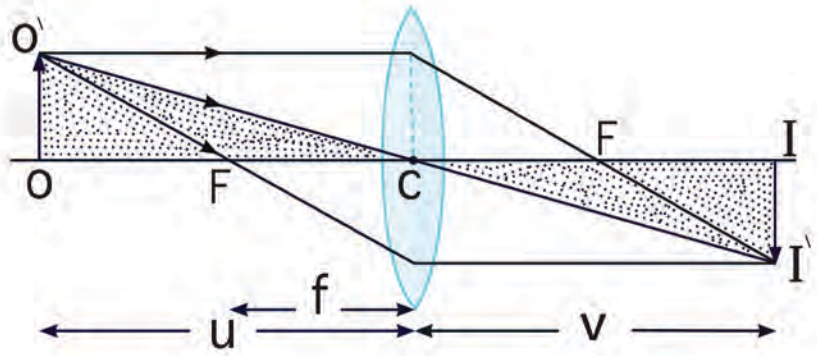


شكل 8 – 6 شعاع ساقط مواز للمحور الأساسي، ينكسر بالعدسة ليمر خلال F



شكل 8 – 7 شعاع ساقط يمر خلالF، ينكسر موازياً للمحور الأساسي

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

حيث

البعد البـــؤري (f)

بعد الصورة عن العدسة (v)

بعد الجسم عن العدسة (u)

مثال محلول 8 - 1

وضع جسم على بعد 20cm من عدسة لامة بعدها البؤري 15cm

أوجد بعد الصورة و خواصها .

الحل :

$u = 20cm$

$f = 15cm$

بإستخدام القانون العام للعدسات

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

$$\frac{1}{15} = \frac{1}{20} + \frac{1}{v}$$

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{15} - \frac{1}{20} = \frac{5}{300}$$

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{60}$$

$$\therefore v = 60\ cm$$

لإجاد خواص الصورة

نوجد التكبير

$$m = \frac{v}{u}$$

$$m = \frac{60}{20} = 3$$

∴ خواص الصورة

حقيقية – مقلوبة – مكبرة ثلاث مرات

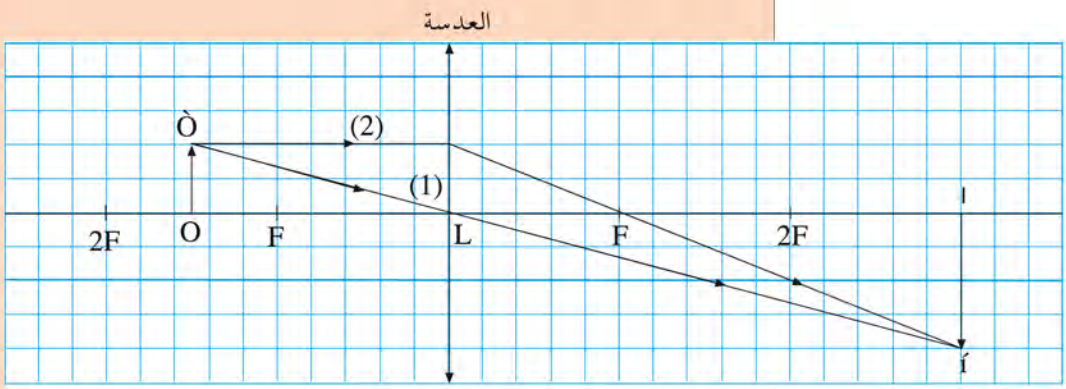
جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

مثال محلول 8 – 2

وضُع جسم ارتفاعه 2 cm على بعد 7.5 cm من عدسة لامة، وكان البعد البؤري للعدسة 5 cm، أوجد مستعينًا بالرسم بمقياس نسبي موضع الصورة، ثم صف خواصها.

الحل:

المقياس الأفقي : مربع واحد يمثل 1 cm.
المقياس الرأسي : مربع واحد يمثل 1 cm.
والحل معطى في شكل 8 – 8.



شكل 8 – 8

1) يمر الشعاع خلال المركز البصري دون انحناء.
2) ينكسر الشعاع الموازي للمحور الأساس بالعدسة ليمر خلال النقطة F

الصورة على بُعد 15 cm من العدسة.

خواص الصورة
- مقلوبة،
- حقيقية،
- مكبرة.

وبما أن الصورة حقيقية، فإن ذلك يعني أنه في حالة وضع شاشة على بعد 15 cm من العدسة، ستتكون على الشاشة صورة مكبرة، ومقلوبة، وواضحة، وحادة المعالم.

تتكون مرة أخرى صورة حقيقية عندما تتجمع معًا جميع الأشعة القادمة من نقطة ما على جسم ما (مثل ó) عند نقطة وحيدة أخرى (مثل: Í). لاحظ إمكانية استقبال صورة حقيقية على الشاشة.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

هل يمكنك التفكير في تطبيق تُستخدم فيه العدسة كما في المثال المحلول 8 – 1؟

التكبير الطولي

لاحظنا في المثال المحلول 8 – 1 أن ارتفاع الصورة 4 cm، مقارنة بارتفاع الجسم البالغ 2 cm، ولذا يمكن القول أن الصورة مكبرة.

ويعرَّف التكبير الطولي، m على أنه

التكبير الطولي يساوي $\frac{\text{ارتفاع الصورة}}{\text{ارتفاع الجسم}}$ أو، $m = \frac{h_i}{h_o}$

ومن ثم فإن التكبير الطولي في المثال المحلول 8 – 1

هو $m = \frac{4\ cm}{2\ cm}$

$\therefore \quad m = 2$

معادلة بديلة

ارجع إلى شكل 8 – 8 في المثال المحلول 8 – 1.

لاحظ أن $\Delta OO'L$، $\Delta II'L$ مثلثان متشابهان، ولهذا يكون لدينا:

$$\frac{II'}{OO'} = \frac{LI}{LO}$$

وعليه يكون التكبير الطولي، m

يساوي $\frac{\text{بعد الصورة}}{\text{بعد الجسم}}$ يساوي $\frac{\text{ارتفاع الصورة}}{\text{ارتفاع الجسم}}$

أو، $m = \frac{v}{u} = \frac{hi}{ho}$

حيث v يساوي بعد الصورة

u يساوي بعد الجسم

ومن المثال المحلول 8 – 1،

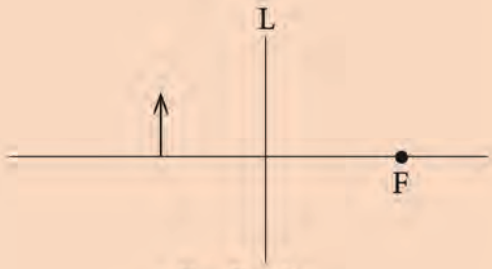
$v = 15\ cm$ ،$u = 7.5\ cm$

$\therefore\ m = \frac{15}{7.5} = 2$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

مثال محلول 8 – 3

يبين شكل 8 – 9 جسمًا صغيرًا طوله 1 cm، وضع على بعد 1.5 cm من عدسة لامة رقيقة L ذات بعد بؤري 2 cm. مستعينًا بمخطط أشعة مناسب، عَيِّن موقع، وحجم، وخواص الصورة المكونة.



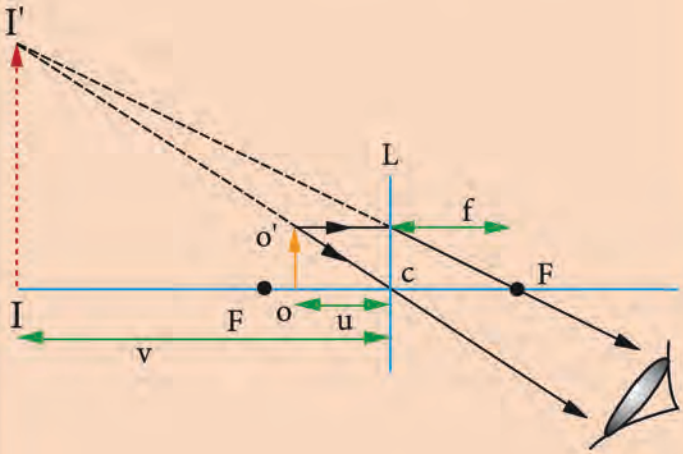
شكل 8 – 9

الحل:

المعطيات: طول الجسم، $OO' = 1\ cm$

بعد الجسم، $u = 1.5\ cm$

البعد البؤري، $f = 2\ cm$



وباستخدام رسم بمقياس نسبي

بعد الصورة، $v = 6\ cm$.

طول الصورة، $II' = 4\ cm$

الصورة المكونة تكون معتدلة، مكبرة، وتقديرية، وعلى نفس جانب العدسة خلف الجسم.

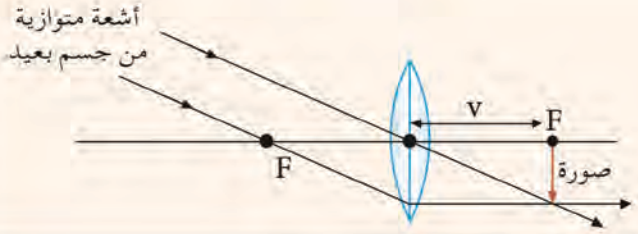
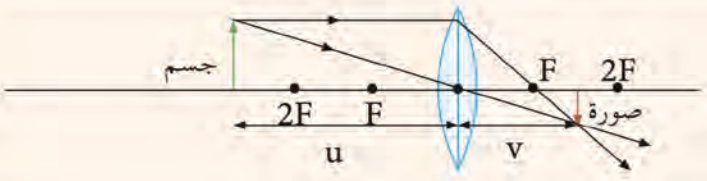
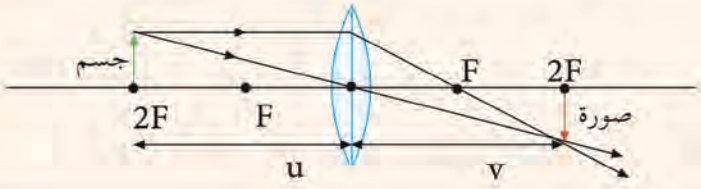
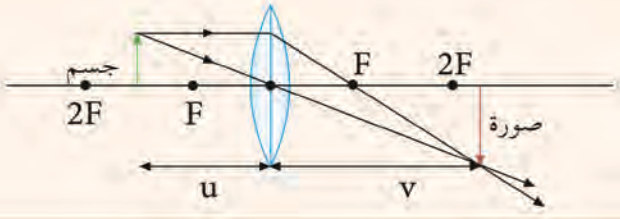
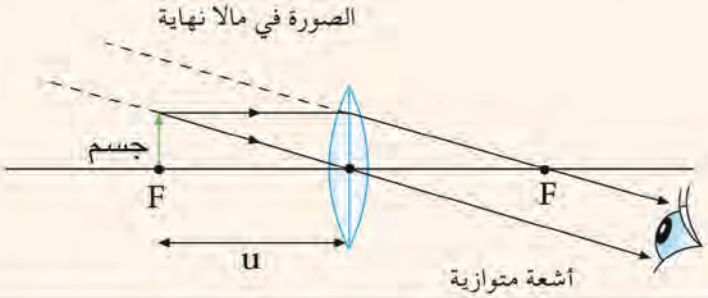
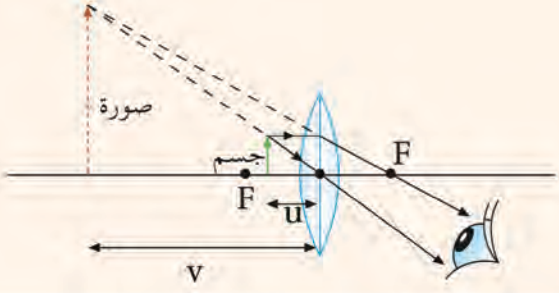
تتكون الصورة التقديرية حيث يبدو مصدر الأشعة التقديرية. لاحظ أنه في حالة وضع شاشة عند I'، لا تتكون أية صورة على الشاشة. وطريقة مشاهدة الصورة هي بالنظر خلال العدسة من الجانب المقابل للجسم.

تحدٍ

- هل يمكن أن تحسب التكبير الطولي للمثال المحلول 8 – 2؟
- اذكر تطبيقًا للعدسة المستخدمة في المثال المحلول 8 – 2.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

جدول **8** – 2 صور تكونها العدسة اللامة الرفيعة

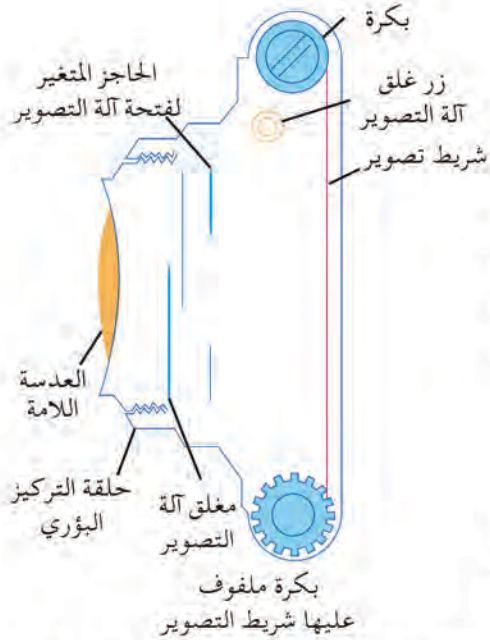
بعد الجسم (u)	مخطط الأشعة	نوع الصورة	بعد الصورة (v)	الاستخدامات
$u = \infty$ بعد لا نهائي		مقلوبة حقيقية مصغرة	$v = f$ على الجانب المقابل للعدسة	عدسة شيئية لتليسكوب
$u > 2f$		مقلوبة حقيقية مصغرة	$f < v < 2f$ على الجانب المقابل للعدسة	آلة التصوير، العين
$u = 2f$		مقلوبة حقيقية مساوية للجسم	$v = 2f$ على الجانب المقابل للعدسة	آلة نسخ مستندات تصور نسخة مكافئة للجسم
$f < u < 2f$		مقلوبة حقيقية مكبرة	$v > 2f$ على الجانب المقابل للعدسة	آلة العرض، آلة تكبير الصور الفوتوغرافية
$u = f$		معتدلة مكبرة تقديرية	$v = \infty$ وعلى نفس الجانب من العدسة	لإنتاج حزمة ضوئية متوازية، كما في ضوء كشاف
$u < f$		معتدلة مكبرة تقديرية	الصورة خلف الجسم؛ على نفس الجانب من العدسة	عدسة مكبرة

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

3-8 تطبيقات العدسات اللامة
Applications of Converging Lenses

آلة التصوير

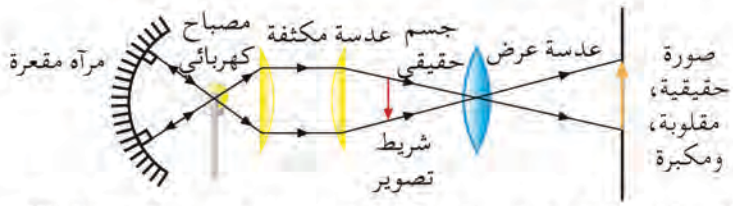
تستخدم آلة التصوير عدسة محدبة (في العادة عدسات عديدة) لإنتاج صورة حقيقية، ومقلوبة، ومصغرة على شريط تصوير (شكل 8 – 10). ويتم التركيز البؤري بتحريك العدسة بعيدًا أو قريبًا من الفيلم. ويتطلب الجسم البعيد أن تكون المسافة من العدسة إلى شريط التصوير هي البعد البؤري للعدسة. ويتطلب الجسم القريب أن تكون مسافة الصورة أكبر من البعد البؤري.



شكل 8 – 10 تنتج العدسة اللامة في آلة التصوير صورة حقيقية، مقلوبة، ومصغرة.

آلة عرض الشرائح

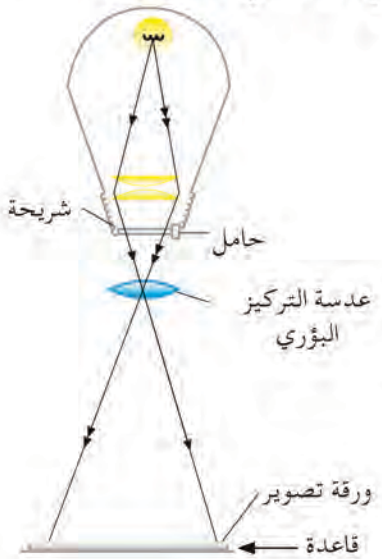
تستخدم بشكل أساسي آلة عرض الشرائح عدسة محدبة لتكوين صورة مقلوبة، مكبرة، وحقيقية للشريحة أو شريط التصوير على شاشة. وتوضع الشريحة، بصفتها الجسم، على مسافة بين f و2f من العدسة.



شكل 8 – 11 توضع الشريحة في آلة عرض الشرائح على مسافة بين f و2f من عدسة آلة العرض لإنتاج صورة مكبرة، حقيقية، ومقلوبة.

آلة تكبير الصور الفوتوغرافية

إن مبدأ تشغيل آلة تكبير الصور الفوتوغرافية هو أساسًا نفس مبدأ آلة عرض الشرائح. إنها تستخدم العدسة المحدبة لإنتاج صورة حقيقية، مكبرة، ومقلوبة لشريط التصوير على ورق تصوير. إن طريقة عمل التركيز البؤري في آلة التكبير هي نفسها في آلة العرض.



شكل 8 – 12 يوضع شريط التصوير في آلة تكبير الصور الفوتوغرافية على مسافة بين f، 2f من عدسة التركيز البؤري لإنتاج صورة حقيقية، مقلوبة، ومكبرة .

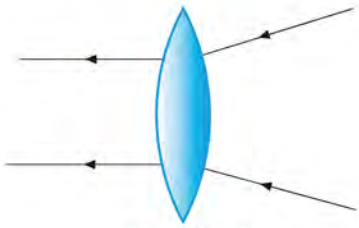
جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) يبين شكل 8 – 13 أشعة ضوئية تمر خلال عدسة لامة رقيقة. هل مخطط الأشعة صحيح؟ ولماذا؟

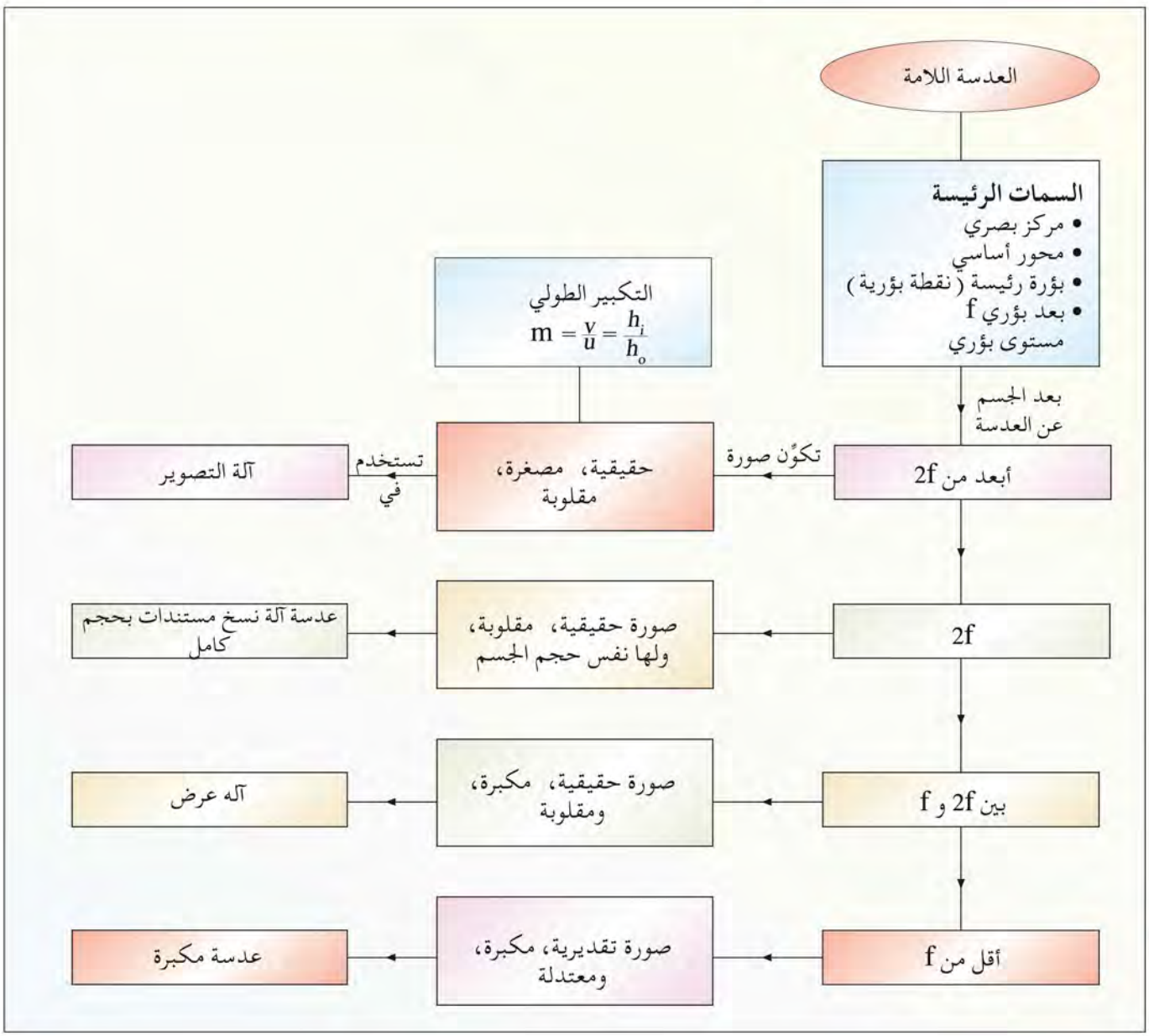
(ب) لإنتاج صورة مكبرة لجسم ما باستخدام عدسة لامة رقيقة، أين يجب وضع ذلك الجسم؟

(جـ) اذكر أي استخدامين للعدسات اللامة في الأجهزة البصرية؟



شكل 8 – 13

خريطة مفاهيم



جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

المهارة: تحديد الخواص والمكونات

لقد تعلمت عن آلة العرض، وستحلل في هذا النشاط أجزاءها لترى ما إذا كانت كلها ضرورية.

■ **الغرض**: التعرف على أجزاء ووظائف آلة العرض

آلة العرض

أجزاء

مرآه مقعرة	عدسة مكثفة	عدسة آلة عرض

ما وظيفة كل جزء؟

ماذا سيحدث إذا فقد كل جزء؟

الاستنتاج:

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

التمرين الثامن

الجزء الأول أسئلة الاختيار من متعدد

1- تستخدم العدسة اللامة الرقيقة لتركيز الأشعة من الشمس على قطعة ورق. وعندما تحرق الأشعة ثقبًا في الورقة، تكون المسافة بين العدسة والورقة _____ البعد البؤري للعدسة.

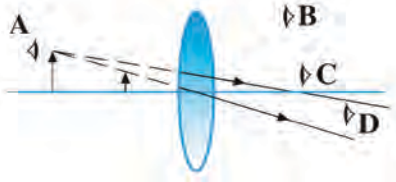
(أ) أقل من نصف

(ب) مساوية لنصف

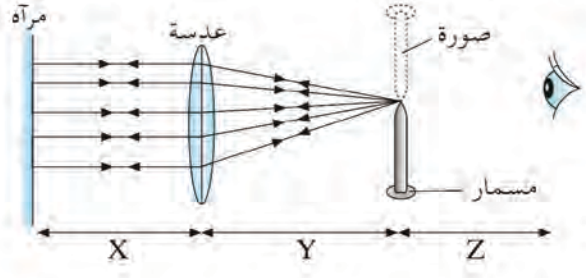
(جـ) مساوية ل.

(د) مساوية لضعف.

2- يبين الرسم عدسة تستخدم لملاحظة صورة مكبرة لجسم صغير. عند أي موضع يجب أن تكون العين لترى الصورة بوضوح؟



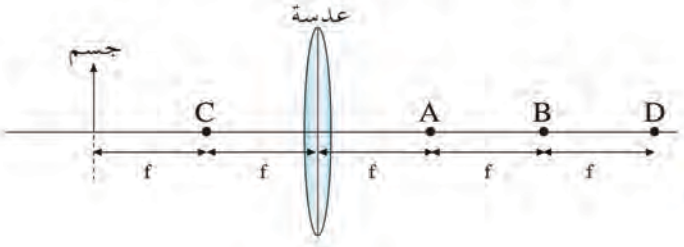
3- يبين الرسم شخصًا يحاول قياس البعد البؤري للعدسة.



أي مسافة تمثل البعد البؤري للعدسة؟

(أ) X (ب) Y (جـ) Z (د) Y + X

4- يبين الرسم جسمًا موضوعًا أمام عدسة لامة ذات بعد بؤري f. عند أي موضع ستتكون الصورة؟



5- الصورة المتكونة على شريط آلة تصوير بسيطة هي:

(أ) حقيقية، مقلوبة، ومصغرة.

(ب) تقديرية، معتدلة، ومصغرة.

(جـ) تقديرية، معتدلة، ومكبرة.

(د) حقيقية، مقلوبة، ومكبرة.

الجزء الثاني الأسئلة التركيبية

1- (أ) ماذا تفهم من مصطلح: البعد البؤري لعدسة لامة رقيقة؟

(ب) صف مستعينًا بمخطط أشعة، كيفية استخدام مثل تلك العدسة كعدسة مكبرة؟

2- ارسم رسومات منفصلة تبين عدسة لامة تُستخدم

(أ) كعدسة كاميرا لإنتاج صورة مصغرة.

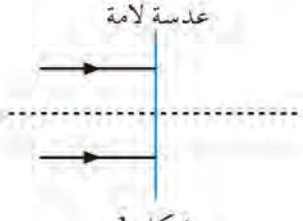
(ب) كعدسة آلة عرض لإنتاج صورة حقيقية مكبرة.

3- تُستخدم العدسة اللامة لعرض صورة شريحة ما على شاشة تبعد 1000 mm عن العدسة، والتي لها بعد بؤري 200 mm. طول الصورة هو 250 mm. مستعينًا برسم بمقياس نسبي مناسب، حدد . .

(1) بُعد الشريحة عن العدسة.

(2) طول الشريحة.

4- يشير الخط المستقيم في شكل 1 إلى موقع عدسة لامة.



شكل 1

أكمل الشكل لتبين تأثير العدسة على الأشعة الساقطة الموضحة بالرسم. عين البؤرة الأصلية للعدسة باستخدام حرف F.

5- ينظر جامع طوابع إلى طابع بريد طوله 2 cm خلال عدسة يدوية موضوعة على بعد 2.8 cm من الطابع. الصورة التي يراها تبدو مكبرة 3 مرات.

اذكر نوع العدسة المستخدمة في العدسة اليدوية وكم يكون بعدها البؤري ؟

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

6- أستخدمت عدسة لامة لأحدات صورة مقلوبة مكبرة أربع مرات فإذا كانت المسافة بين الجسم و العدسة (5 cm) فما البعد البؤري للعدسة .

7- وضع جسم إرتفاعه (1 cm) على بعد (6cm) من عدسة لامة بعدها البؤري (12cm) إحسب إرتفاع صورته و أوصافها

8- إستخدمت عدسة لامة بعدها البؤري (20cm) في التكبير فكانت الصورة الناتجة معتدلة مكبرة ثلاث مرات أحسب بعد كل من الجسم و الصورة عن العدسة .

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الوحدة 9

الصوت

Sound

مخرجات التعلم

في هذه الوحدة، سوف ..

- ☐ تصف إحداث الصوت بواسطة المصادر المتذبذبة.
- ☐ تصف الطبيعة الطولية للموجات الصوتية بدلالة عمليات الانضغاط والتخلخل، وتستنتج:
  - (1) الحاجة لوسط تنتقل خلاله تلك الموجات.
  - (2) اختلاف سرعة الصوت في الهواء، والسوائل، والأجسام الصلبة.
- ☐ تذكر المدى التقريبي للترددات المسموعة.
- ☐ تصف طريقة مباشرة لتعيين سرعة الصوت في الهواء، وتجرى العمليات الحسابية الضرورية.
- ☐ تصف كيفية إصدار انعكاس الصوت للصدى.
- ☐ تُعرِّف الصوت فوق السمعي، وتصف استخدامًا واحدًا له، مثل الفحص قبل الولادة ، التنظيف.
- ☐ تفسر كيفية ارتباط ارتفاع وطبقة الموجات الصوتية بالسعة والتردد.

إن أحد الأسباب الرئيسة للتعلم عن الصوت هو ملاقاتنا له كل لحظة في حياتنا في شكل موسيقا، وضوضاء، واتصال. ومن حصيلة المفردات اللغوية الهائلة التي لدينا للأصوات (مثل: صلصلة، رنين، أزيز، طرقة، فرقعة، هسهسة)، والصفات المختلفة التي نصف بها الصوت (مثل: مرتفع، منخفض، خفيف ، عالٍ، شجي، صافٍ، حاد) يكون لدينا بالتأكيد مجموعة متنوعة هائلة من الأصوات. وسنتعلم كيفية إصدار الصوت، وكيفية تصنيفه، وكيفية انتقاله خلال الوسائل العديدة، وموضوعات أخرى. فكلما فهمنا أكثر عن الصوت، كلما تمكننا من استخدامه والتحكم فيه بشكل أفضل.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

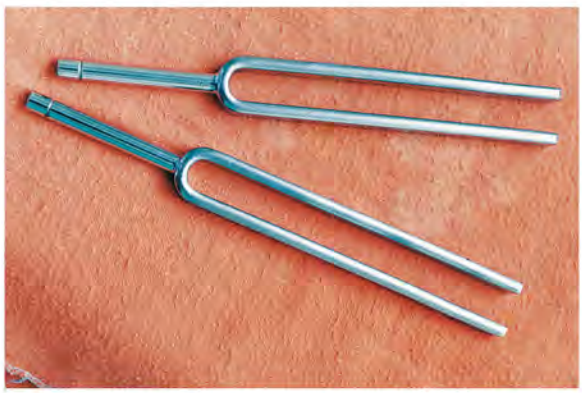
9 – 1 طبيعة وإصدار الصوت

The Nature and Production of Sound

الصوت شكل من أشكال الطاقة، وينتقل من نقطة إلى أخرى كموجة. وكما ذكرنا في الوحدة السابقة، الصوت مثال للموجة الطولية.

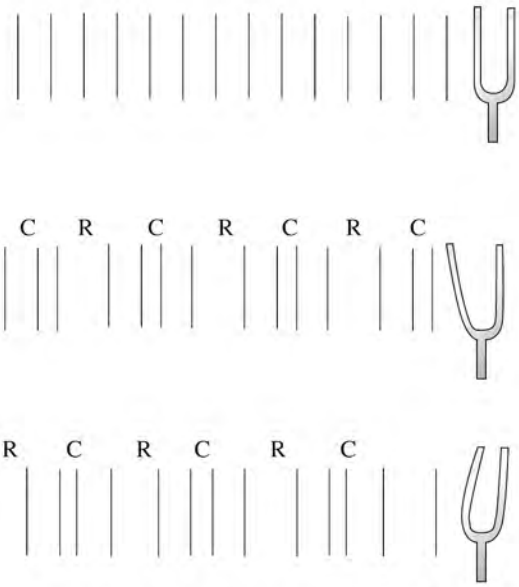
وتقوم مصادر متذبذبة موضوعة في وسط ما بإنتاج الصوت، ويكون عادة الوسط هواءً، ولكن يمكن أن يكون غازًا، أو سائلًا، أو جسمًا صلبًا. فالجسم المتذبذب في وسط ما مثل الهواء، ينتج موجات صوتية بزحزحة طبقات جسيمات الهواء. إن ذلك يشبه الموجات الطولية التي تصدر عند ذبذبة زنبرك طويل رفيع بمحاذاة طوله.

ويبين شكل **9** – 1 مثالين شائعين لمصدري تذبذب، يرسلا موجات صوتية إلى الهواء.



شكل **9** – 1 مصدران شائعان للصوت

الشوكة الرنانة مصدر تذبذب شائع للصوت. فهي أداة ذات شعبتين فولاذيتين صلبتين، وتحدث نغمة موسيقية عند طرقها. ويبين شكل **9** – 2 الطبيعة الطولية للموجات الصوتية التي تحدثها الشوكة الرنانة المتذبذبة. لاحظ إصدار طبقات الهواء المتزحزحة سلسلة من الانضغاطات (C) والتخلخلات (R).

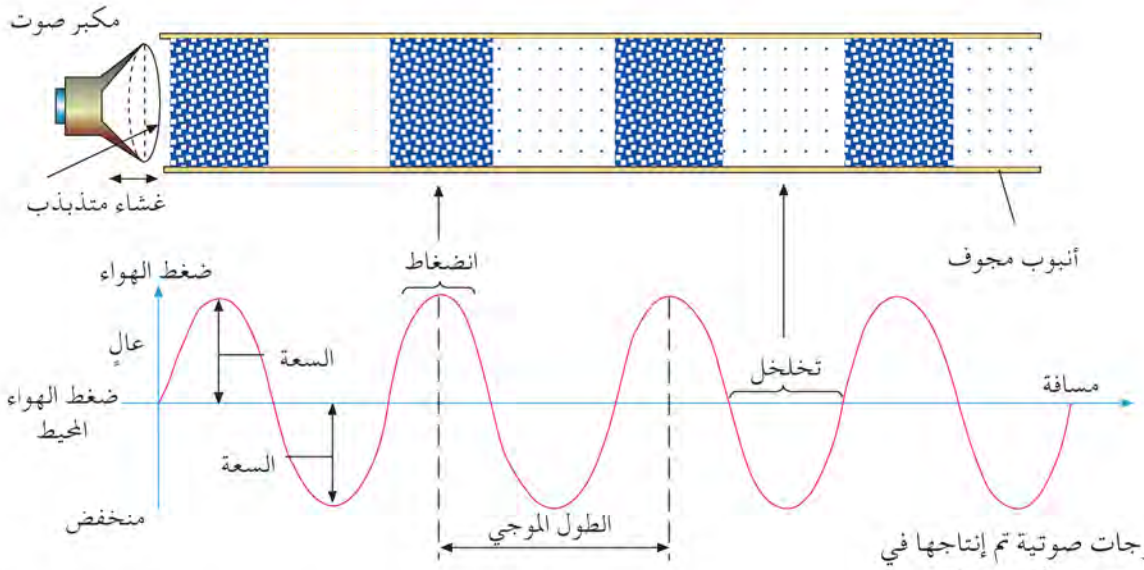


شكل **9** – 2 ترسل الشوكة الرنانة المتذبذبة موجات صوتية طولية

الموجة الصوتية مثال للموجة الطولية

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

يمكن اعتبار انضغاطات وتخلخلات الموجات الصوتية في الهواء تغيرات في ضغط الهواء. فالانضغاطات أماكن يكون ضغط الهواء فيها أعلى بشكل طفيف من ضغط الهواء المحيط. والتخلخلات أماكن يكون ضغط الهواء فيها أدنى بشكل طفيف من ضغط الهواء المحيط. ويبين شكل **9 ـ 3** الموجات الصوتية التي يحدثها الغشاء المتذبذب لمكبر صوت في أنبوب مجوف به هواء.



شكل **9 ـ 3** موجات صوتية تم إنتاجها في أنبوب مجوف به هواء

يرتفع ضغط الهواء في أي مكان بطول الأنبوب تتحرك فيه الموجات الصوتية عن ضغط الهواء المحيط، ثم يهبط لأدنى منه. ويستمر حدوث ذلك الارتفاع والهبوط في ضغط الهواء بشكل منتظم طالما يصدر صوتًا.

والمسافة بين أي انضغاطين أوتخلخلين متتاليين هي الطول الموجي λ لموجة الصوت. وأقصى تغير للضغط يعطي سعة الموجة الصوتية A.

أسئلة التقويم الذاتي

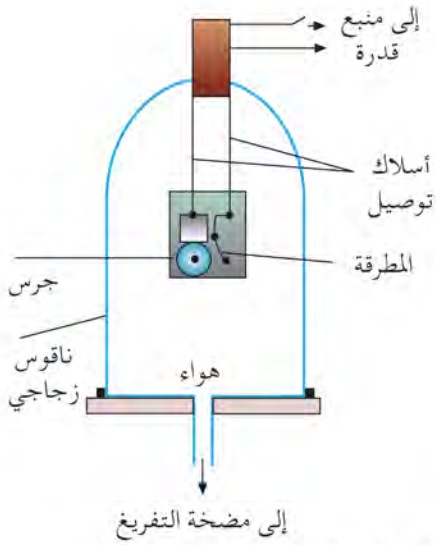
(أ) ما طبيعة الصوت؟

(ب) كيف يصدر الصوت؟

9 ـ 2 إرسال الصوت
The Transmission of Sound

الطبيعة الميكانيكية للصوت

الموجات الصوتية موجات ذات طبيعة ميكانيكية، لأنها تتطلب وسطًا تنتقل خلاله. وعلى عكس الموجات الضوئية ذات الطبيعة الكهرومغناطيسية، لا يمكن للموجات الصوتية المرور خلال فراغ. ويمكن استخدام تجربة الناقوس الزجاجي المبينة بشكل **9 ـ 4** للبرهنة على أن الموجات الصوتية لا تمر خلال فراغ.



شكل **9 ـ 4** تجربة الناقوس الزجاجي

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

يتطلب الصوت وسطًا للإرسال

شَغِّل الجرس الكهربائي قبل تشغيل المضخة. سترى حركة القارع وتسمع الصوت في نفس الوقت.

وعند تشغيل مضخة التفريغ، يزداد خفتان الصوت بمرور الوقت. ويصبح في النهاية الصوت خافتًا لدرجة لا يمكنك سماعه بعدها، رغم استمرار رؤية القارع وهو يطرق الجرس (القرص). وإذا تركت الهواء يعود إلى الناقوس الزجاجي، ستسمع الصوت مرة أخرى. ويبين ذلك أنه لا يمكن إرسال الصوت دون وسط (في هذه الحالة الهواء).

يجب الانتباه في هذه التجربة لئلا يلمس الجرس الزجاج، وأن تكون أسلاك التوصيل رفيعة لمنع أي موجات صوتية من المرور خلالها إلى خارج الناقوس عند اهتزاز القارع بشدة.

وسط الإرسال

أي وسط له جسيمات يمكن أن تتذبذب سيرسل صوتًا، ولكن ستؤثر طبيعة الوسط على سرعة الموجات الصوتية. وتكون عمومًا سرعة الصوت في أي سائل خمسة أضعاف سرعته في الغازات، وتكون سرعة الصوت في الجسم الصلب حوالي 15 ضعف سرعته في الغازات. ويفسر ذلك اكتشاف المجاهدين الليبيين اقتراب جيش العدو بوضع الأذن على الأرض لسماع العجلات الحربية حتى قبل سماعها في الهواء. ويبين جدول **9** – 1 سرعات الصوت النموذجية في الأوساط المختلفة.

ينتقل الصوت أسرع في الأجسام الصلبة

هل يمكنك تفسير ذلك؟

جدول **9** – 1 سرعات الصوت في بعض الأوساط

الوسط	السرعة التقريبية للصوت ($m\ s^{-1}$)
هواء	330
ماء	1500
حديد	5000

وتتأثر سرعة الصوت في الهواء بالتغيرات في بعض الشروط الفيزيائية. ويبين جدول **9** – 2 تأثير الشروط الفيزيائية على سرعة الصوت في الهواء.

جدول **9** – 2 تأثير الشروط الفيزيائية على سرعة الصوت في الهواء.

التغيرات في	التأثير على سرعة الصوت في الهواء
درجة الحرارة، T	سرعة الصوت تتناسب مع $\sqrt{T}$.
الرطوبة	ينتقل الصوت أسرع عند ارتفاع الرطوبة.
الضغط	لايؤثر تغير الضغط على سرعة الصوت.

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) هل يتحرك الصوت خلال بالون مملوء بالهيدروجين؟

(ب) هل ينتقل الصوت مباشرة من سفينة فضاء لأخرى قريبة منها؟

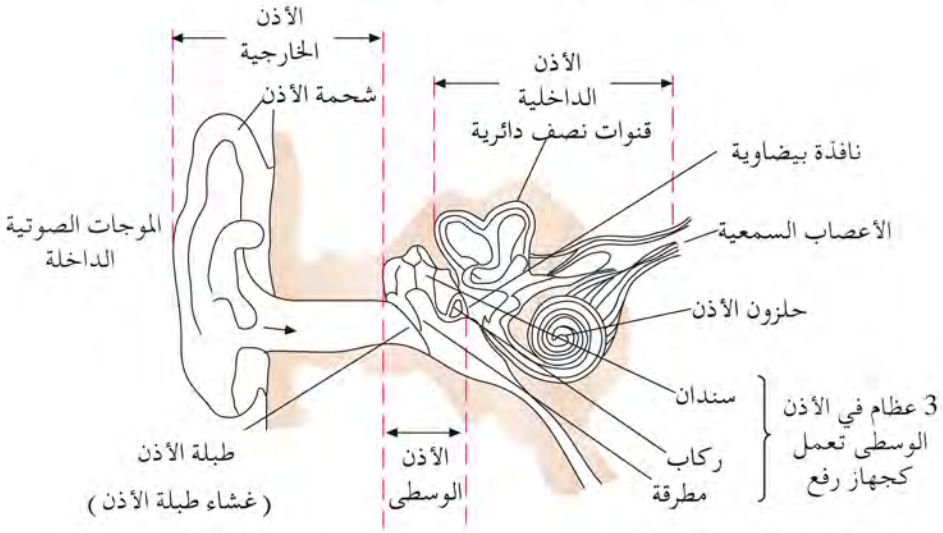
(جـ) اذكر تقديرًا تقريبيًّا لسرعة الصوت في الأجسام الصلبة، والسوائل، والهواء.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

9 – 3 الكشف عن الصوت
The Detection of Sound

أذن الإنسان

يبين شكل **9** – 5 تركيب أذن الإنسان .



شكل **9** – 5 أذن الإنسان

ويبين مخطط انسياب العمليات التالي كيفية استجابة الأذن للموجات الصوتية الداخلة إليها .

الأذن الخارجية

المرحلة 1 : تستقبل شحمة الأذن الموجات الصوتية الداخلة، وتوجهها بطول القناة (حوالي 3 cm) تجاه طبلة الأذن (أو الغشاء الطبلي) .

المرحلة 2 : تتسبب الانضغاطات والتخلخلات للموجات الصوتية الطولية في تذبذب طبلة الأذن .

الأذن الوسطى

المرحلة 3 : تلتقط العظام الثلاث في الأذن الوسطى اهتزازات طبلة الأذن . وتعمل تلك العظام كجهاز رفع لتضخيم القوة و الضغط حوالي 25 مرة عند النوافذ البيضاوية .

الأذن الداخلية

المرحلة 4 : تُحدث الاهتزازات عند النافذة البيضاوية موجات ضغط في سائل الأذن الوسطى الذي يحتوي أنبوب حلزون الأذن .

المرحلة 5 : تلتقط الخلايا الحسية داخل أنبوب حلزون الأذن موجات الضغط، وتنتج نبضات عصبية تحملها الأعصاب السمعية إلى المخ كأصوات تسمع .

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

وتجعل قناة الأذن التي طولها 3 cm آذاننا حساسة جدًّا للتردد 3000 Hz . فما مدى الترددات التي تكشفها أذن الإنسان؟ وبمعنى آخر، ما مدى إمكانية السمع؟

إمكانية السمع (المسموعية)

يُعرف مدى الترددات الذي يمكن أن يسمعه السامع **بمدى المسموعية** (إمكانية السمع).

وتُعرف القيمة العليا والدنيا للمدى بحدود المسموعية. فيكون الحد الأدنى لأذن الإنسان 20 Hz تقريبًا، والحد الأعلى 20000 Hz . وبمعنى آخر يفترض أن تكون الأذن قادرة على سماع صوت ذي ترددات أكبر من 20 Hz وأقل من 20000 Hz .

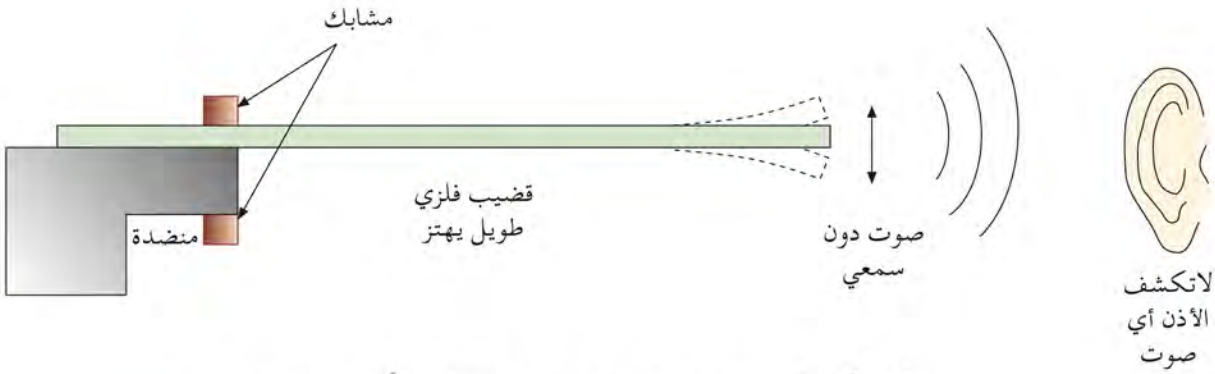
إن للأشخاص المختلفين مدى مختلف من المسموعية. ولعلك لاحظت أن كبار السن عمومًا، لا يستطيعون السمع مثل الصغار لأن قدرة طبلة الأذن على الاستجابة للصوت تتناقص مع العمر، ويصبح مدى المسموعية أقل بكثير لأن الحد الأدنى يرتفع والحد الأعلى يهبط. ويمكن بيان عدم استطاعة آذاننا سماع صوت ذي ترددات عالية جدًّا (فوق سمعي)، أو ترددات منخفضة جدًّا (دون سمعي). إذا أطلقت صفارة كلب، قد يستجيب بالنباح، ولكنك لاتستطيع سماع صوت الصفارة، لأن الصوت الصادر منها فوق الحد الأعلى للمسموعية (20000 Hz). ويمكن لكلبك أن يسمع الصوت لأن الحد الأعلى لمسموعية الكلاب أعلى من 20000 Hz . أمثلة أخرى للصوت فوق السمعي تشمل بلورات الكوارتز المتذبذبة، وأصوات الخفافيش.

ويمكن للصوت فوق السمعي المرور خلال مواد كثيرة لا يستطيع الصوت في المدى المسموع المرور خلالها، ويُستخدم الصوت فوق السمعي للكشف عن الألغام في البحر، والجنين في رحم الأم.

وبالمثل يمكن بيان عدم استطاعة آذاننا سماع صوت ذي ترددات منخفضة جدًّا بهز شريط فلزي طويل (انظر شكل 9 – 8). رغم رؤية الشريط الفلزي يهتز، لا يُسمع أي صوت لأن الصوت الصادر دون الحد الأدنى لمسموعية أذن الإنسان.

شكل **9** – 6 لا يستطيع الكبار السمع بجودة سمع الصغار

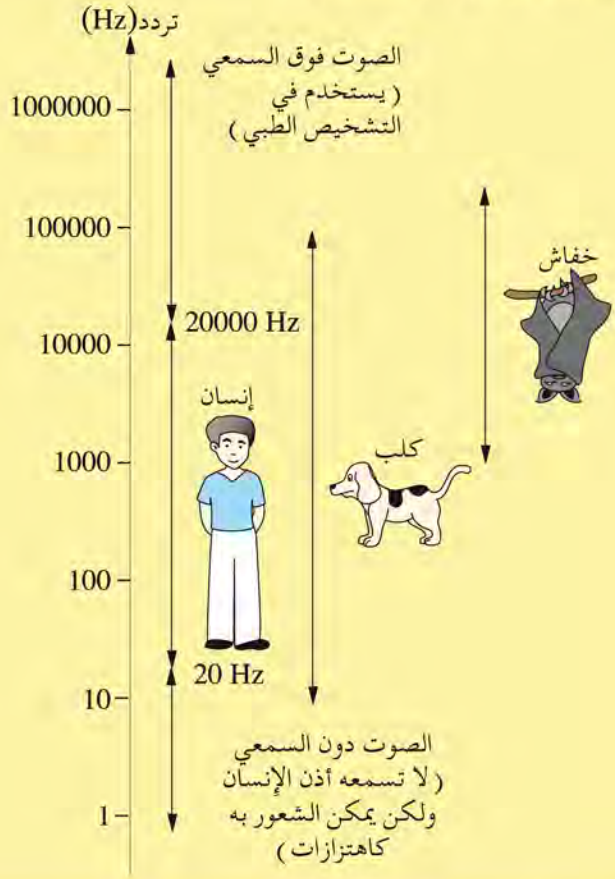
شكل **9** – 7 يمكن للكلب أن يكشف الصوت فوق السمعي



شكل **9** – 8 (شريط فلزى طويل يهتز يحدث صوتًا دون سمعي)

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

شكل 9 – 9 طيف من الترددات الصوتية



9 – 4 انعكاس الصوت
The Reflection of Sound

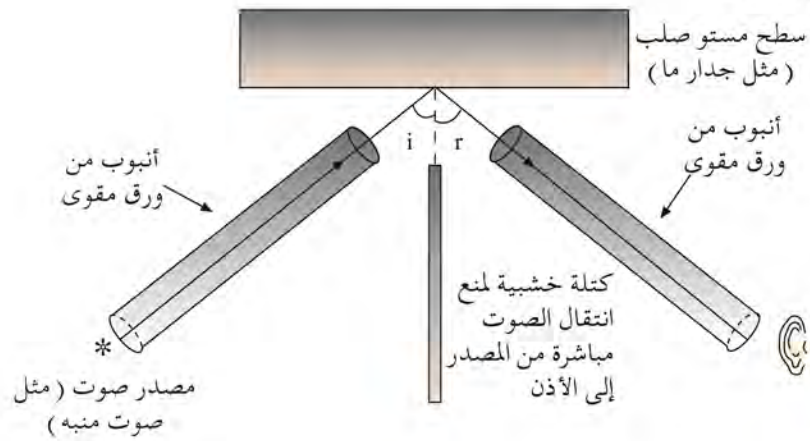
صدى الصوت هو انعكاس للصوت

تكوين صدى الصوت

تتعرض أيضًا الموجات الصوتية للانعكاس مثل الموجات الضوئية. ويبين شكل **9** – 10 تجربة بسيطة تبين انعكاس الصوت.

إن صدى الصوت هو الصوت المسموع بعد انعكاسه من أسطح مستوية صلبة مثل جدار، أو جرف صخري بعيد. فإذا وقفت على مسافة (وليكن 50 m) من جدار في مدرستك، وصفقت بيديك مرة واحدة، ستسمع صدى تصفيقك منعكسًا من الجدار (انظر شكل **9** – 11).

شكل **9** – 10 انعكاس الصوت



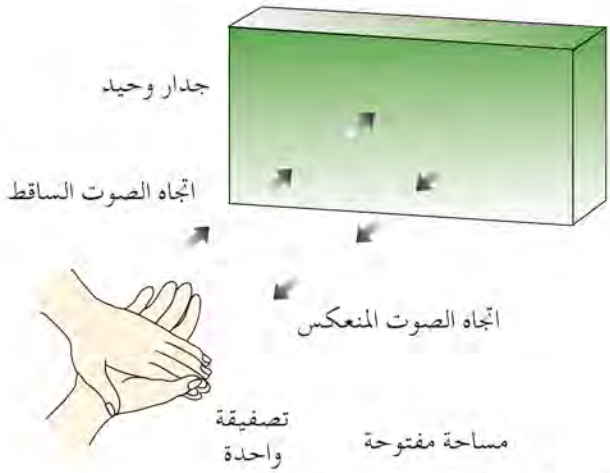
تكشف الأذن الصوت المنعكس كأعلى ما يكون عندما تتساوي زاوية السقوط i مع زاوية الانعكاس r.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

ومع ذلك إذا حاولت الصراخ في قاعة ألعاب رياضية خالية بمدرستك، سيكون التأثير مختلفًا عَمّا في شكل **9** – 11. فبدلًا من سماع صدى واحد مميز، ستسمع أصداءً عديدة سببها الانعكاسات المتعددة للصوت من الأسطح العاكسة الكثيرة، مثل السقف والجدران في قاعة الألعاب الرياضية المغلقة.

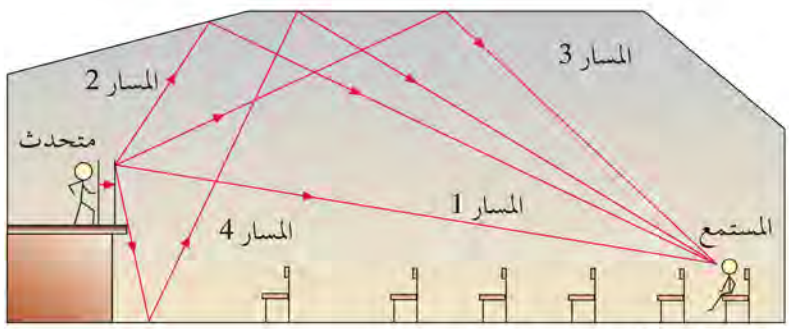
وتخلق أصداء الصوت التي تسببها الانعكاسات العديدة من الأسطح العاكسة الكثيرة لصالة كبيرة انطباعًا بأن الصوت يستمر لوقت طويل. ونسمى ذلك التأثير للصوت الممتد الناتج عن اندماج أصداء كثيرة، الارتجاع أو **ترجيع الصدى**.

إن تأثير الارتجاع مهم جدًّا عند تصميم البنايات، وعلى وجه الخصوص الصالات الكبيرة. ويبين شكل **9** – 12 المسارات المحتملة العديدة لصوت متحدث يصل إلى مستمع جالس في صالة كبيرة.



شكل **9** – 11 تكوين صدى صوت وحيد

إن المسار 1 هو الحالة التي يصل فيها الصوت مباشرة إلى المستمع. والمسارات من 2 إلى 4 هي فقط بعض أمثلة لوصول الصوت من المتحدث إلى المستمع عن طريق انعكاس وحيد أو انعكاسات متعددة. وسيكون لدى الصالة المصممة بشكل جيد الكم الصحيح من الارتجاع لاستخدامها. وتصمم صالة الحفلات الموسيقية بشكل مختلف عن قاعة المؤتمرات. فالارتجاع الزائد عن اللازم يجعل الأصوات الموسيقية والآدمية غير مميزة (يصعب تمييزها)، بينما الارتجاع الأقل من اللازم يجعل الأصوات الموسيقية والآدمية تبدو ضعيفة. ولذلك تغطى الجدران العاكسة بمواد تمتص الصوت مثل البوليسترين أو الستائر، للسيطرة على كمية الموجات الصوتية المنعكسة.

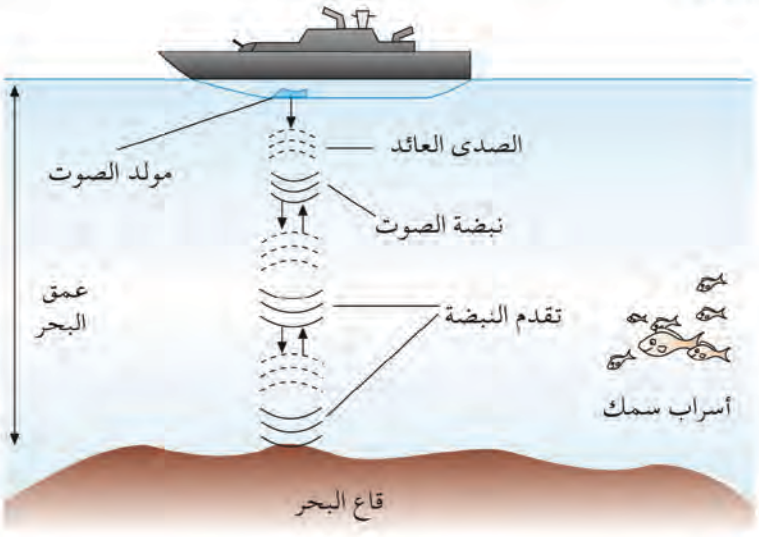


شكل **9** – 12 تصميم الصالات الكبيرة

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

استخدامات صدى الصوت

بإرسال إشارة (نبضة صوت)، وملاحظة الفترة الزمنية قبل وصول الإشارة المنعكسة (صدى الصوت)، يمكن معرفة عمق البحر وموقع أسراب السمك (انظر شكل **9** – 13). وتستخدم الجيوش رجع صدى الصوت الناشيءعن أمواج صوتية عالية التردد للكشف عن مواقع الألغام.



شكل **9** – 13 أحد الاستخدامات الممكنة لصدى الصوت

وتستخدم الخفافيش صدى الصوت للكشف عن وجود العوائق أثناء طيرانها. فيصدر الخفاش صوتًا عالي التردد، ينعكس من أي جسم في مساره. ويسمع الخفاش الصدى، فيتمكن من تحديد موضع العوائق وتجنبها.

مثال محلول 9 – 1

يقف رجل على مسافة ما من جرف صخري (شكل **9** – 14)، ويطلق صيحة فيسمع صداها بعد 4 s. كم يبعد هذا الرجل عن الجرف الصخري؟

(تذكر أن سرعة الصوت في الهواء هي $330\ m\ s^{-1}$)

الحل:

المعطيات:

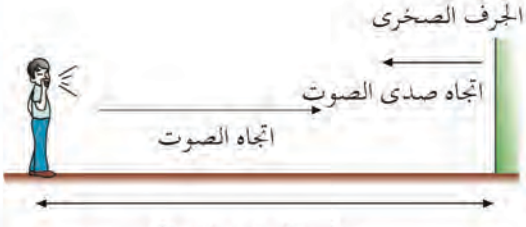
الزمن المستغرق لانتقال الصوت من الرجل إلى الجرف وارتداده إليه. $t = 4\ s$، وسرعة الصوت، $v = 330\ m\ s^{-1}$

وباستخدام $v = \frac{2s}{t}$ حيث s هي المسافة بين الرجل والجرف الصخري.

وعليه، $s = \frac{vt}{2}$

$$= \frac{(330 \times 4)}{2}$$

$$= 660\ m$$



شكل **9** – 14

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

تحدٍ

حط أحد الناجين من حطام سفينة على جزيرة تبعد 3000 m عن جرف صخري رأسي (شكل 9 – 15)، ورأي سفينة راسية بين الجزيرة والجرف الصخري. ثم سمع نفيرين من بوق السفينة تفصل بينهما 4 s. احسب المسافة s التي تبعدها السفينة عن الجزيرة (بافتراض أن سرعة الصوت تساوي $330\ m\ s^{-1}$).

شكل 9 – 15

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) ضع الكلمة المفقودة:

« ينتج عن انعكاس الصوت » .

(ب) اذكر معنى: الارتجاع (ترجيع الصدى) .

(جـ) اكتب استخدامين لصدى الصوت .

تحدٍ

يصدر مصدر متذبذب صوتًا فوق سمعي بتردد 40 kHz. احسب الطول الموجي لهذا الصوت فوق السمعي في الماء إذا كانت سرعة الصوت في الماء $1500\ m\ s^{-1}$.

9 – 5 الصوت فوق السمعي

Ultrasound

يعرف الصوت ذو الترددات التي تفوق الحد الأعلى لمدى التردد البشري بالصوت فوق السمعي. وتُصَنَّف عمومًا الترددات الأعلى من 20 kHz كترددات فوق سمعية.

تطبيقات الصوت فوق السمعي

1- الصوت فوق السمعي في التشخيص الطبي

يمكن استخدام الصوت فوق السمعي للحصول على صور الأجزاء الداخلية لجسم الإنسان. ويشيع في الواقع استخدامه في فحوص قبل الولادة لفحص نمو الجنين (شكل 9 – 16) .

وترسل نبضات الصوت فوق السمعي إلى داخل الجسم بواسطة جهاز إرسال، ثم تُستقبل أصداء الصوت المنعكسة من أي سطح داخل الجسم. وبمراقبة الفترة الزمنية، يمكن معرفة عمق السطح العاكس داخل الجسم.

شكل 9 – 16 صورة بالصوت فوق السمعي للرحم والجنين

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

أسئلة التقويم الذاتي

ما مميزات استخدام الصوت فوق السمعي في فحوص قبل الولادة مقارنة بأشعة إكس؟

2- الصوت فوق السمعي في التنظيف

قد ينتج عن إرسال الصوت فوق السمعي ذي الطاقة العالية فقاعات مجوفة. وتنشأ تلك الفقاعات المجوفة في مواقع التخلخل، وقد تحل محل الملوثات في الأسطح، كما يسمح ذلك التأثير للمواد الكيميائية النقية بالاتصال بالملوثات المتبقية على السطح لإزالتها.

إن التنظيف فوق السمعي فعال خاصة في تنظيف الأسطح غير المنتظمة، أو التجويفات الداخلية والممرات.

9-6 قياس سرعة الصوت

Measuring the Speed of Sound

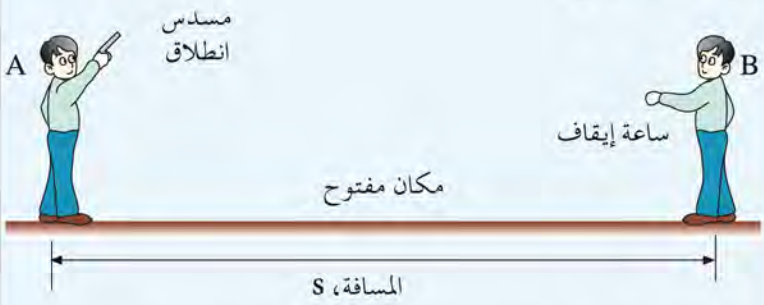
يمكن قياس سرعة الصوت في الهواء إما بطريقة مباشرة أو بطريقة غير مباشرة (طريقة صدى الصوت).

تجربة 9 - 1

لقياس سرعة الصوت في الهواء بطريقة مباشرة.

الأدوات: مسدس انطلاق، ساعة إيقاف، شريط قياس.

الرسم التوضيحي:



الإجراء:

1- باستخدام شريط قياس، يقف المراقبان A، B بعيدًا عن بعض على مسافة محددة s في مكان مفتوح.

2- يُطلق المراقب A مسدس انطلاق.

3- يبدأ المراقب B، عند رؤيته لوميض المسدس، في تشغيل ساعة الإيقاف، ثم يوقفها عند سماعه الصوت. تُسجل بعد ذلك الفترة الزمنية t.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

إن مجموعة نموذجية لبيانات المسافة والزمن هي المسافة : $s = 800\ m$، الزمن : $t = 2.4\ s$،

وتعطى سرعة الصوت في الهواء بالعلاقة، $\frac{\text{المسافة التي ينتقل فيها الصوت}}{\text{الزمن المستغرق}}$

$$V = \frac{s}{t}$$

$$V = \frac{800}{2.4}$$

$$V = 333\ m\ s^{-1}$$

ويمكن تحسين نتيجة سرعة الصوت في الهواء v بطريقتين :

1- كرر التجربة عدة مرات، ثم احسب قيم سرعة الصوت لكل تجربة، وأوجد متوسط القيمة. تقلل تلك الطريقة الأخطاء التي تحدث عشوائيًا عند إيجاد الفترة الزمنية بين رؤية وميض المسدس وسماع صوته.

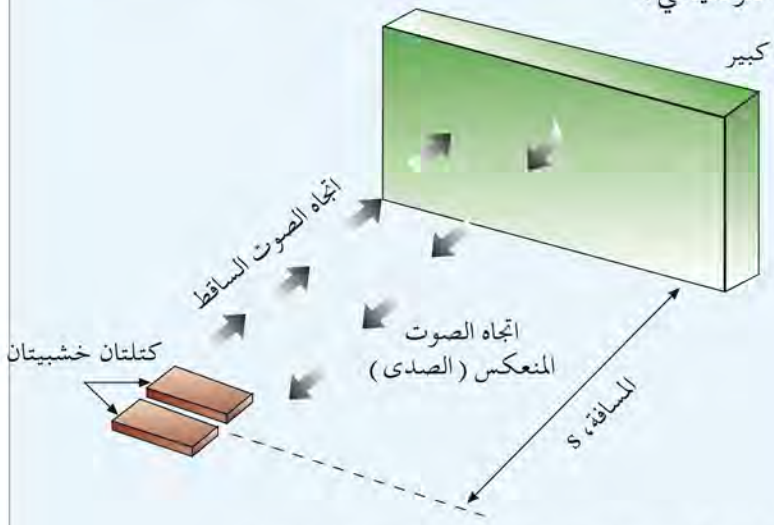
2- يستبدل المراقبان A، B موقعهما ويكرران التجربة. يلغي ذلك الإجراء تأثير الرياح على سرعة الصوت في الهواء.

تجربة 9 - 2

لقياس سرعة الصوت في الهواء بطريقة غير مباشرة (طريقة صدى الصوت).

الأدوات : كتلتان من الخشب للتصفيق بهما، ساعة إيقاف، شريط قياس.

الرسم التوضيحي :



شكل 9 - 17 طريقة صدى الصوت لقياس سرعة الصوت

الإجراء : **1**- قس المسافة s بزاوية قائمة مع جدار كبير.
(يجب ألا توجد أسطح عاكسة كبيرة قريبة).

2- أحدث صوت تصفيق حاد بقرع كتلتي الخشب معًا.
كرر الصوت على فترات منتظمة لتتوافق مع صدى الصوت.
وبمعنى آخر يتوافق صوت التصفيقة الثانية مع صدى الصوت الصادر من الجدار من التصفيقة الأولى.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

3- ابدأ تشغيل ساعة الإيقاف من الصفر، وعد أصوات التصفيق، ثم أوقف الساعة عند (وليكن) 50 صفقة.

4- كرر الخطوة 3 لإيجاد متوسط الزمن للخمسين تصفيقة. وعليه، احسب الفترة الزمنية t بين أصوات التصفيق.

مجموعة نموذجية لبيانات المسافة والزمن هي المسافة: $s = 100\ \text{m}$، والزمن: $t = 0.61\ \text{s}$. ثم تعطى سرعة الصوت في الهواء بالعلاقة

$$v = \frac{\text{المسافة التي ينتقلها الصوت}}{\text{الزمن المستغرق بين التصفيق}}$$

$$v = \frac{2s}{t}$$

$$= \frac{2(100)}{0.61}$$

$$= 328\ \text{m s}^{-1}$$

أسئلة التقويم الذاتي

(أ) تقف امرأة على مسافة 1 km من عاصفة، فتسمع صوت الرعد بعد 3 S من رؤية وميض البرق. احسب سرعة الصوت في الهواء.

(ب) أُرسلت نبضات موجات فوق سمعية من سفينة تجاه قاع البحر. فإذا استُقبل صدى الصوت بعد 1 S ، احسب عمق البحر مع اعتبار أن سرعة الصوت في الماء هي $1500\ \text{m s}^{-1}$.

9-7 درجة الصوت، وشدته، ونوعه

Pitch, Loudness and Quality

درجة الصوت كمية غير موضوعية ترتبط بالكمية الموضوعية للتردد.

نحاط يوميًّا بمجموعة متنوعة وهائلة من الأصوات. تعتبر الأصوات الصادرة عن المذياع، والإذاعة المرئية، والأدوات الموسيقية مفيدة، بينما تعتبر الأصوات مثل تلك الصادرة عن الأعمال الإنشائية، والطائرات النفاثة، وقطار الأنفاق، وحركة المرور في طريق مزدحم غير مطلوبة. ويمكن وصف الصوت بدلالة درجته، وشدته، ونوعه.

درجة الصوت

عند وصف نغمة موسيقية أو صوت بأنه "عالٍ" أو "منخفض"، فنحن نعلق على درجة الصوت. إن درجة الصوت نسبية، وبمعنى آخر نحكم على درجة الصوت قياسًا بالأصوات الأخرى. تعتبر على سبيل المثل درجة صوت تردده 200 Hz عالية بالنسبة لصوت تردده 100 Hz، ومع ذلك تعتبر درجة صوت تردده 200 Hz منخفضة بالنسبة لصوت تردده 400 Hz.

وترتبط درجة الصوت بالكمية الفيزيائية المسماة بالتردد. (ارجع إلى الوحدة التاسعة لتعريف التردد). كلما كان التردد عاليًا، كلما كانت درجة الصوت عالية. وعند مضاعفة التردد، فأنت ترفع درجة الصوت بثمان نغمات متتالية، بغض النظر عن قيمة التردد. عندما تغير على سبيل المثال من نغمة C الـ 256 Hz إلى نغمة C الـ 512 Hz، ترفع درجة الصوت ثماني نغمات متتالية.

شكل 9 - 18 موسيقا صادرة عن مجموعة موسيقية

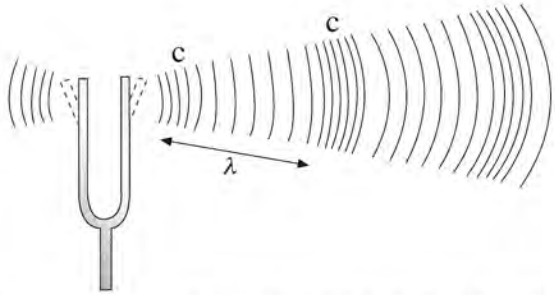
جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

وبمعنى آخر تبعد النغمتان الموسيقيتان الـ 256 Hz (C الوسطى) والـ 512 Hz (C العليا) عن بعضهما بمقدار ثماني نغمات موسيقية متتالية.

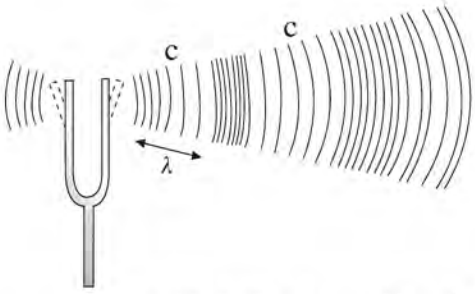
ويمكن دراسة مفهوم درجة الصوت في معمل المدرسة بواسطة شوكتين رنانتين ذوات أطوال مختلفة. ويبين شكلا **9** – 20، **9** – 21 شوكة رنانة ذات شُعَب طويلة، وشوكة رنانة ذات شُعَب قصيرة تنتجان موجات صوتية ذات ترددات مختلفة. عند تذبذب الشوك الرنانة بالضرب عليها بمطرقة مطاطية صلبة، ترسل كل من الشوكتين موجات صوتية ذات ترددات مختلفة إلى الهواء المحيط.

شكل **9** – 19 ضوضاء من حركة المرور

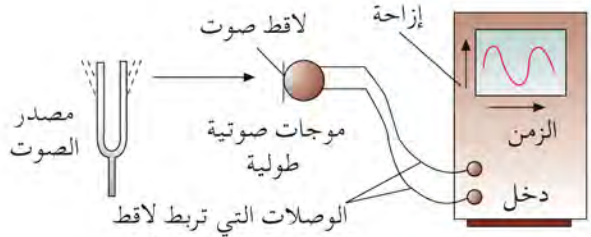
الطريقة المعتادة لملاحظة الأشكال الموجية للموجات الصوتية ذات الترددات المختلفة هي السماح لتلك الموجات الصوتية بالاصطدام بلاقط صوت، يُحوِّل الطاقة الصوتية الداخلة إلى راسم ذبذبات كاثودي إلى طاقة كهربائية (انظر شكل **9** – 24).



شكل **9** – 20 تنتج الشوكة الرنانة ذات الشعب الطويلة موجات صوتية ذات تردد أدنى وطول موجي أطول.

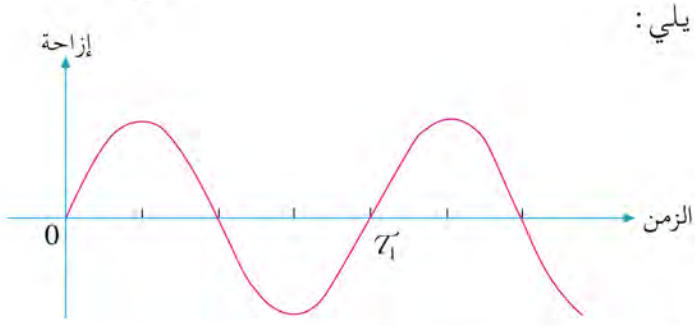


شكل **9** – 21 تنتج الشوكة الرنانة ذات الشعب القصيرة موجات صوتية ذات تردد أعلى وطول موجي أقصر.

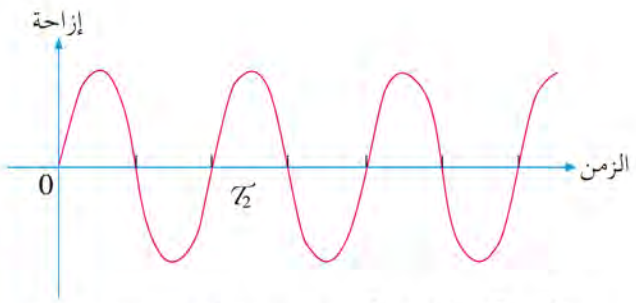


شكل **9** – 22 يسمح جهاز راسم الذبذبات بملاحظة الأشكال الموجية للموجات الصوتية.

ستكون الأشكال الموجية التي تظهر على شاشة جهاز راسم الذبذبات في حالة الشوكتين الرنانتين ذوات الأطوال المختلفة مع نفس الأساس الزمني كما يلي:



شكل **9** – 23 الشكل الموجي لشوكة رنانة أطول ذات تردد أدنى f_1



شكل **9** – 24 الشكل الموجي لشوكة رنانة أقصر ذات تردد أعلى f_2

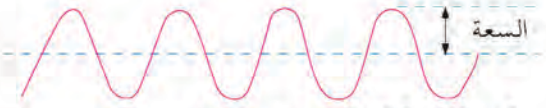
جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

ويتبين من شكلي **9** – 23، **9** – 24 أن الزمن الدوري $\mathcal{T}_1$ للشوكة الرنانة الأطول تكون أطول من الزمن الدوري $\mathcal{T}_2$ للشوكة الرنانة الأقصر.

وبما أن الزمن الدوري، $\mathcal{T} = \frac{1}{f}$ حيث f تساوي التردد، فإن ذلك يبين أن التردد، $f_1 = \frac{1}{\mathcal{T}_1}$ للشوكة الرنانة الأطول يكون أدنى من التردد، $f_2 = \frac{1}{\mathcal{T}_2}$ للشوكة الرنانة الأقصر.

شدة الصوت

شدة الصوت كمية لا موضوعية (ذاتية). قد يعتبر شخص « حجم صوت » (جهارة) معين مرتفعًا، بينما يعتبره الآخرون منخفضًا. ترتبط شدة الصوت بالسعة، وهي كمية موضوعية. فكلما كانت السعة أكبر، كلما كان الصوت مرتفعًا. ويبين شكلا **9** – 25، **9** – 26 شكلين موجيين لنفس التردد، ولكن بسعة اهتزاز (ذبذبة) مختلفة.



شكل **9** – 25 يكون للصوت المرتفع سعة موجية كبيرة

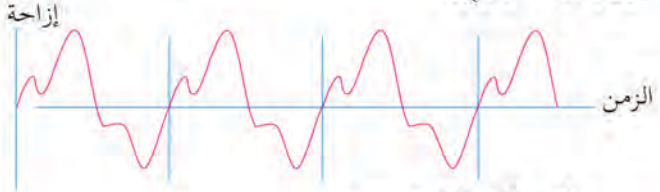
شكل **9** – 26 يكون للصوت المنخفض سعة موجية صغيرة

نوع الصوت

إذا عزفت نفس النغمة على آلات موسيقية مختلفة، فسيختلف صوتها رغم أن التردد والسعة هما نفسهما. لماذا؟

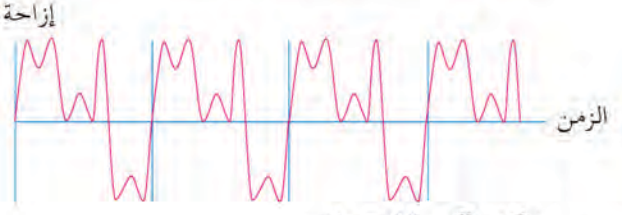
تتكون الأصوات التي تصدرها الآلات الموسيقية من تردد أساسي (ذي سعات أكبر) مع نغمات توافقية كثيرة ذات ترددات أعلى (ذات سعات أصغر) مركبة على، أو مضافة إلى التردد الأساسي. وتصدر الآلات المختلفة أعدادًا مختلفة من النغمات التوافقية، والتي عند إضافتها إلى التردد الأساسي، تصدر أشكالاً موجية مختلفة لتعطي النوعية الخاصة (أو جرس صوتي) للأصوات الصادرة من كل آلة. وفي حالة الشوكة الرنانة، فإن الشكل الموجي الناتج هو منحنى جيبي (انظر شكلي **9** – 29). وبالنسبة للآلات الأخرى مثل الناي الخشبي والكمان تكون الأشكال الموجية مختلفة حتى لو كان للنغمات الصادرة نفس التردد والسعة (انظر أشكال **9** – 28، **9** – 30).

شكل **9** – 27 يختلف صوت الآلات الموسيقية عند عزف نفس النغمة.



شكل **9** – 28 ناي خشبي

شكل **9** – 29 شوكة رنانة



شكل **9** – 30 كمان

أسئلة التقويم الذاتي

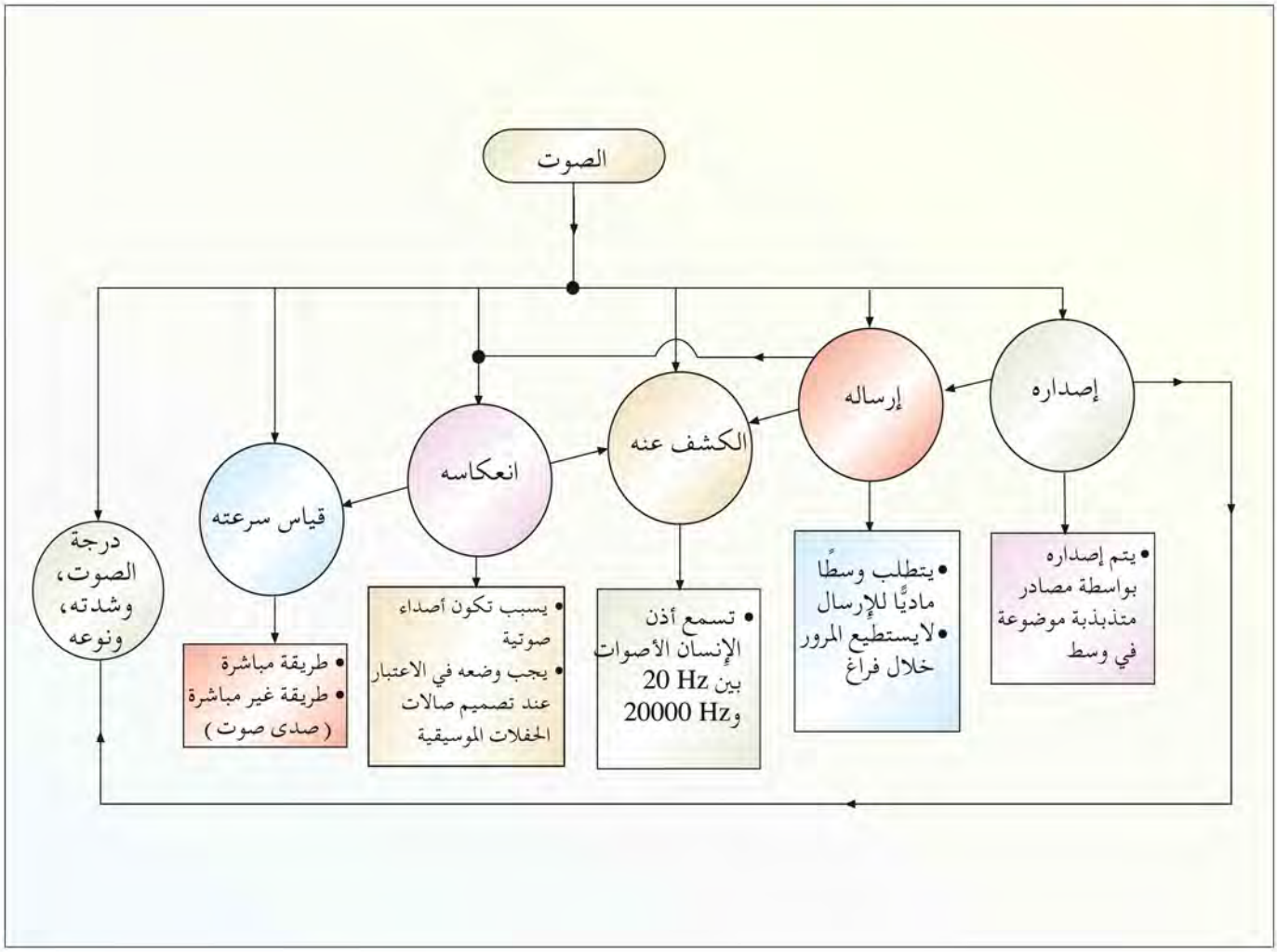
السرعة، والتردد، والطول الموجي، والسعة. أي منها مرتبط:

(أ) بشدة صوت الموجات الصوتية؟

(ب) بدرجة صوت الموجات الصوتية؟

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

خريطة مفاهيم

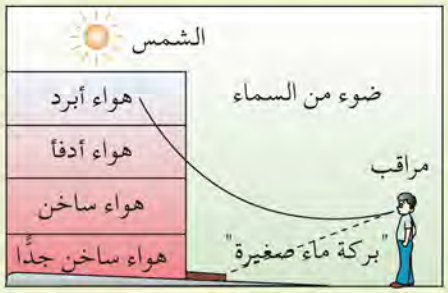


جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

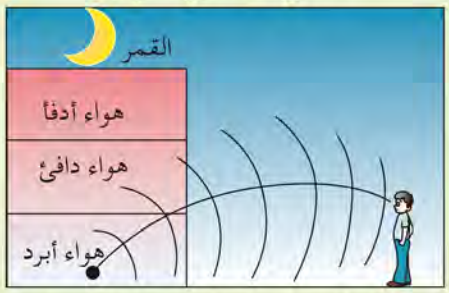
المهارة: التجريد

التجريد مهارة التوصل إلى نمط عام من معلومات متناثرة، ثم تطبيق ذلك النمط على موقف آخر.

يبين شكلا 1، 2 التاليان أحد تأثيرات الانكسار المستمر للضوء والصوت.



شكل 1: تأثير السراب



شكل 2: انكسار الموجات الصوتية

أكمل المنظم البياني التالي:

■ **الفكرة المجردة**

تنحني الموجات (تنكسر) عند انتقالها من وسط إلى وسط آخر.

■ **حرفيًّا**

النقاط الرئيسة في شكل 1

■ **حرفيًّا**

اكتب قائمة ببعض الحقائق عن شكل 2 تكون مختلفة، ولكن تتبع نمطًا مماثلًا لما في شكل 1.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

التمرين الثاني

الجزء الأول أسئلة الاختيار من متعدد

1- أي من العبارات التالية أفضل وصف لكيفية انتقال الصوت من مكان لآخر؟
(أ) الموجات الصوتية موجات مستعرضة تبثها اهتزازات الجسيمات.
(ب) الموجات الصوتية موجات مستعرضة لا ترى عين الإنسان تحركاتها.
(جـ) الموجات الصوتية موجات طولية تبثها اهتزازات الجسيمات.
(د) الموجات الصوتية موجات طولية تتحرك تجاه الخارج في دوائر ذات أنصاف دوائر متزايدة.

2- يشير الانضغاط في موجة صوتية إلى:
(أ) منطقة تتحرك فيها الجزيئات لتصبح قريبة جدًّا من بعضها.
(ب) منطقة تتزاحم فيها صدور الموجات معًا.
(جـ) مجموعة جزيئات تهتز لإحداث صوت.
(د) صدر الموجة الذي يسبب اهتزاز الجزيئات الهوائية.

3- يمكن للشخص العادي سماع أصوات تقع ترددتها بين:
(أ) 10 Hz و 10 kHz.
(ب) 20 Hz و 20 kHz.
(جـ) 25 Hz و 25 kHz.
(د) 30 Hz و 30 kHz.

4- يتصل الرواد في الفضاء ببعضهم البعض عن طريق وصلات لاسلكية لأن
(أ) الموجات الصوتية تصبح مشوشة في الفضاء.
(ب) البدل التي يلبسونها تمتص بعض ترددات الصوت.
(جـ) تنتقل الموجات الصوتية في الفراغ ببطء شديد.
(د) الموجات الصوتية لا يمكنها الانتقال في الفراغ.

5- يقف صبي في ممر طويل على مسافة 10 m أمام جدار، ثم يحدث صوتًا حادًّا بقرع الأرضية. فإذا كانت سرعة الصوت في الهواء $340\ m\ s^{-1}$، بعد كم من الزمن سيُسمع صدى الصوت؟
(أ) 0.015 s (ب) 0.029 s
(جـ) 0.059 s (د) 17 s

الجزء الثاني الأسئلة التركيبية

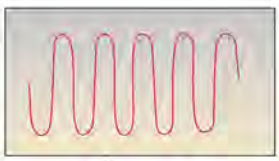
1- (يُرسل الصوت كحركة موجية طولية، ويُحدث تخلخلات وانضغاطات في الوسط).
(أ) اشرح باختصار معنى المصطلحات: حركة موجة طولية – انضغاطات – تخلخلات.
(ب) ما المسافة بين مركز أي تخلخل ومركز أقرب انضغاط؟

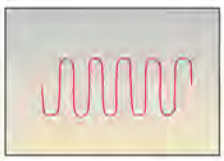
2- (أ) باعتبار أن سرعة الصوت في الهواء $330\ m\ s^{-1}$، احسب تردد نغمة تكوِّن طولًا موجيًّا 5 cm في الهواء؟
(ب) هل هذا التردد داخل حدود مسموعية أذن الإنسان؟

3- أكمل الجدول التالي.

	سرعة الصوت ($m\ s^{-1}$)	الوسط
(أ)	330	———
(ب)	———	ماء
(جـ)	———	فولاذ

4- يقرع كل من عبدالله وطارق شوكة رنانة. وكانت الأشكال الموجية للصوت الناتج كمايلي:


شوكة عبدالله الرنانة


شوكة طارق الرنانة

ماذا يمكن استنتاجه عن الصوت الصادر من الشوكتين الرنانتين؟

5- (أ) اشرح كيفية تكون صدى الصوت؟
(ب) يقف رجل على بعد معين من جرف صخري، ثم يطلق صيحة ويسمع صداها بعد 4 s. كم يبعد عن الجرف الصخري؟ (سرعة الصوت في الهواء هي $330\ m\ s^{-1}$).

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

6- في تجربة لتحديد سرعة الصوت في الهواء، قرع طالب كتلتين خشبيتين ببعضهما، وكان واقفًا على بعد 125 m من جدار مرتفع. سمع الطالب صدى الصوت خلال 1s من قرع الكتل الخشبية معًا. وعندما قرع كتلتي الخشب بشكل متكرر وبمعدل منتظم معين، لم يعد يسمع صدى الصوت.

(أ) لماذا لا يستطيع سماع الصدى عند قرعه للكتل بمعدل معين؟

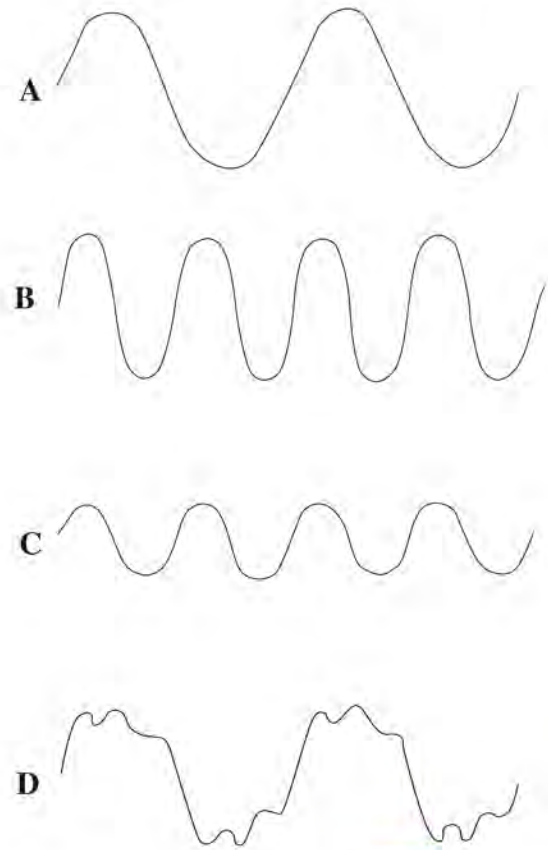
(ب) أدنى معدل لقرع الكتل الخشبية لا يمكن عنده سماع الصدى هو 81 قرعة في الدقيقة. احسب قيمة سرعة الصوت في الهواء.

7- استُخدم لاقط صوت لتحويل موجات صوتية عديدة إلى ذبذبات كهربائية، عُرضت بعدئذ على جهاز راسم ذبذبات مضبوط بشكل مناسب. وتبين المسارات الأربع التالية الإزاحة مقابل الزمن بنفس المقياس. في كل من المساحات التالية اكتب حرفًا، أو عند الضرورة، أكثر من حرف من A، B، C، D. أي صوت أو أصوات لديه/لديها ...

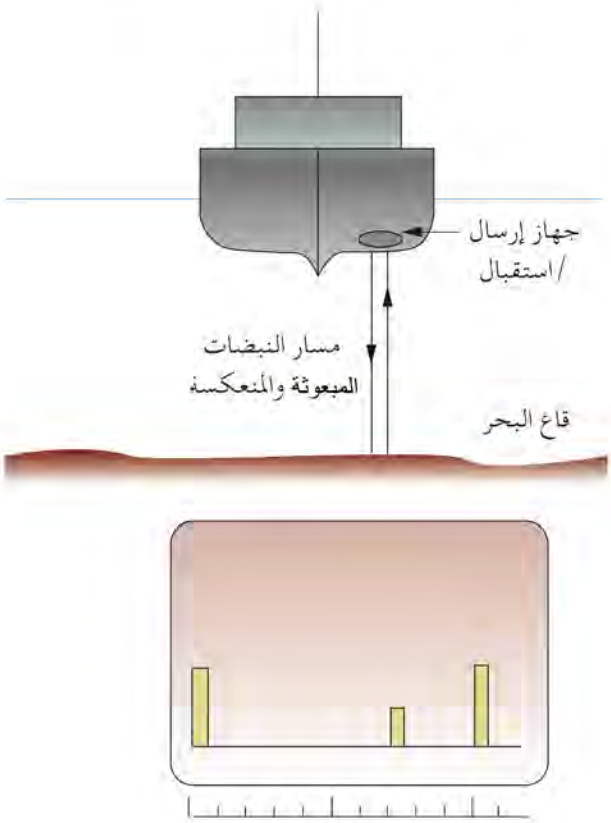
(1) نفس درجة الصوت مثل A؟

(2) نفس اهتزازة الصوت مثل A؟

(3) نفس درجة الصوت مثل B؟



8- يبين الرسم التالي قاربًا يرسل نبضات موجات فوق سمعية (صوت عالي التردد) عند فواصل بينية 10 ms. تنعكس إشارات الموجات من قاع البحر وتُستقبل أصداء الصوت عند القارب. وتعرض للتيسير كل من النبضات الخارجة والأصداء على جهاز رسم ذبذبات متزامن. يبين جهاز رسم الذبذبات على الشاشة (انظر الرسم) نبضتين للموجات فوق السمعية، وبينهما صدى صوت من قاع البحر. ويبين مقياس قريب من الشاشة تأخر الوقت ms.



شاشة عرض جهاز راسم الذبذبات

(1) ما الزمن المستغرق لانتقال نبضة من القارب إلى قاع البحر والعودة، علمًا بأنها أقل من 10 ms؟

(2) سرعة الصوت في الماء هي $1500\ m\ s^{-1}$. احسب العمق المناظر للماء أسفل جهاز الإرسال.

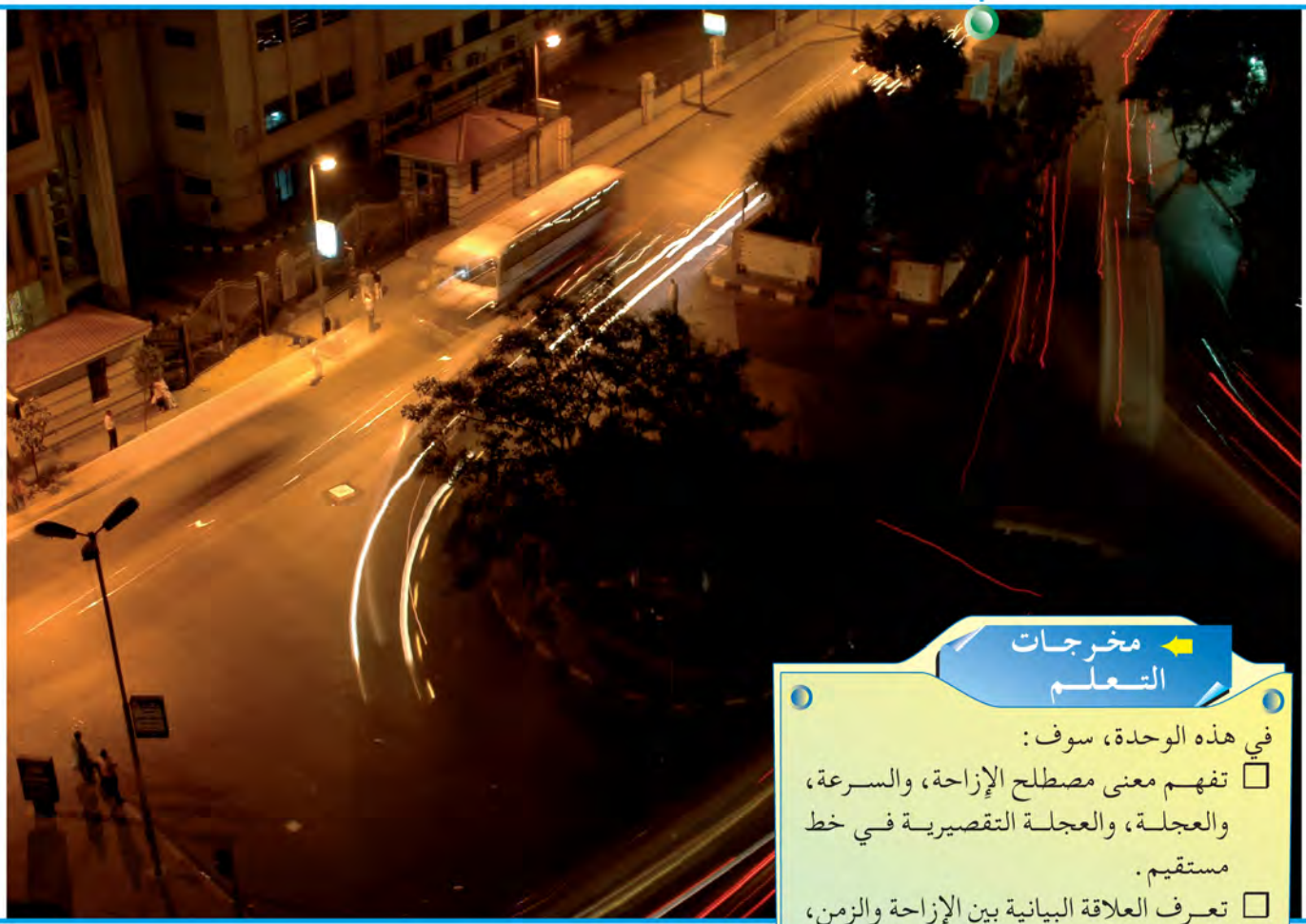
(3) كيف ولماذا ستتغير الصورة على الشاشة عندما يتحرك القارب إلى مياه أكثر عمقًا؟

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الوحدة 10

السرعة والعجلة

Velocity and acceleration



مخرجات التعلم

في هذه الوحدة، سوف:

- ☐ تفهم معنى مصطلح الإزاحة، والسرعة، والعجلة، والعجلة التقصيرية في خط مستقيم.
- ☐ تعرف العلاقة البيانية بين الإزاحة والزمن، والعلاقة البيانية بين السرعة والزمن.
- ☐ تعبر عن السرعة بوحدات الأنظمة المختلفة.
- ☐ تعرف قوانين السرعة المنتظمة والعجلة المنتظمة.
- ☐ تكون قادرًا على حل مسائل الحركة بسرعة منتظمة، وبعجلة منتظمة، والمسائل التي قد تكون أكثر تعقيدًا.

10-1 الحركة بسرعة منتظمة

Motion with constant velocity

تسير فرقة كشفية في خط مستقيم بسرعة (100) خطوة في الدقيقة نحو الشرق، أين ستكون الفرقة بعد (90) دقيقة؟

لاحظ أننا استخدمنا كلمة **السرعة** (velocity) وليس مقدار السرعة (Speed)، فهي مقدار السرعة في اتجاه معين.

فمثلًا: سيارتان تتحركان في اتجاهين متضادين {إحداهما في اتجاه الشمال والأخرى في اتجاه الجنوب} قد يكون لهما نفس مقدار السرعة [مثلًا: 90 كيلومتر في الساعة] ولكن لهما سرعتين مختلفتين، أحدهما (90 k.p.h) شمالًا، والأخرى (90 k.p.h) جنوبًا.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

يُستخدم الاختصار (k.p.h) بدلًا من (kilometer per hour) وذلك لأنه الاختصار الشائع في أجهزة قياس السرعة للسيارات، ولكن في دراستنا العلمية نستخدم الاختصار (km / hr) وهو الاختصار الذي نستعمله في هذا الكتاب.

فالجواب للسؤال الذي طرحناه هو (9000) خطوة شرقًا ، فتكون الفرقة قد قطعت مسافة – في هذه الحالة تُسمى إزاحة (displacement) – (9000) خطوة شرقًا. فالإزاحة (displacement) هي المسافة(distance) في اتجاه معين.

والإجابة كانت نتيجة ضرب [100× 90 = 9000]، وهي حالة خاصة للقاعدة العامة:

> الجسم الذي يتحرك بسرعة منتظمة (u) في اتجاه معين فإن إزاحته (s) بعد زمن قدره (t) في ذلك الاتجاه تكون (s = ut).

المعادلة (s = ut) يمكن كتابتها كالتالي:

$u = \frac{s}{t}$ أو $t = \frac{s}{u}$

وعلى الطالب اختيار المعادلة المناسبة لإيجاد المطلوب في كل حالة.

مثال محلول 10 – 1

تقطع سيارة بين طرابلس وبنغازي مسافة (1035 km) شرقًا، بسرعة (90 km/hr). أوجد الزمن المستغرق؟

الحل

نعرف أن (s = 1035 km) و (u = 90 km / hr)، ونريد أن نجد (t)، فنستخدم القانون:

$$t = \frac{s}{u} = \frac{1035\ km}{90\ km / hr} = 11.5\ hr$$

أو (11) hr و(30) min.

من المعروف أن السيارة لن تسير في خط مستقيم، وقد استخدمنا هذا النموذج الرياضي لتسهيل الحل ليس إلا.

الوحدات المستخدمة في الميكانيكا هي المتر (m) للإزاحة، والثانية (s) للزمن، والمتر لكل ثانية (m/s) للسرعة.

وهذه الوحدات تُسمى بالوحدات العالمية (SI)، وقد اتفق العلماء في جميع أنحاء العالم على استخدام هذه الوحدات.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

مثال محلول 10 – 2

حول مقدار السرعة (144 km / hr) إلى (m/s).

الحـل

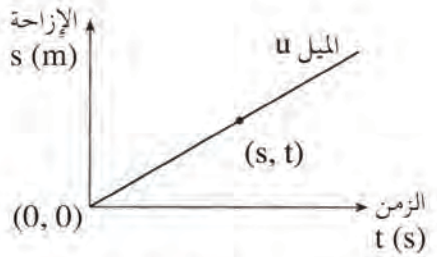
$$144\ \frac{km}{hr} = \frac{144 \times 10^3 m}{60 \times 60\ s}$$

$$= 40\ m/s$$

10 – 2 التمثيل البياني لسرعة
Graphs for constant velocity

ليس من الضروري أن نستخدم المعادلات للتعبير عن النماذج الرياضية، فهناك مثلًا التمثيل البياني. وهناك نوعان مستخدمان من التمثيل البياني في الميكانيكا.

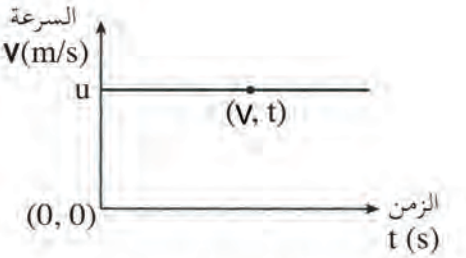
الأول: التمثيل البياني للإزاحة والزمن كالذي في شكل 10– 1، وتكون إحداثيات أية نقطة في الرسم هي (t ،s)، حيث (s) تمثل الإزاحة للجسم المتحرك بعد فترة زمنية (t).
لاحظ أن (s = 0) عندما تكون (t = 0)، أي أن الخط المستقيم يمر بنقطة الأصل فإذا كانت السرعة منتظمة فإن ($u = \frac{s}{t}$)، فيكون ميل الخط المستقيم هو مقدار السرعة الثابتة، أي أن الرسم البياني يكون خطًا مستقيمًا ويكون ميله (u).



شكل 10 – 1

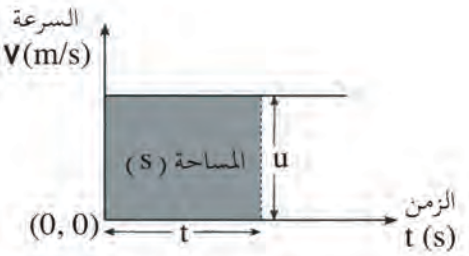
للجسم الذي يتحرك في خطٍ مستقيم بسرعة ثابتة (u) تكون العلاقة البيانية بين الإزاحة والزمن خطًا مستقيمًا ويكون ميله (u).

والنوع الثاني هو **التمثيل البياني للسرعة والزمن**
[انظر شكل 10– 2]، وتكون إحداثيات أية نقطة في الرسم (v ،t) حيث (v) سرعة الجسم عند أية لحظة زمنية (t) فإذا كانت سرعة الجسم ثابتة، فإن معادلة الخط تكون
(v = u)، ويكون موازيًا لمحور الزمن.



شكل 10 – 2

كيف نحسب الإزاحة من الشكل؟ يُجيب شكل 10– 3 عن هذا السؤال، وهي أن الإزاحة تساوي مساحة الشكل المظلل الذي هو عبارة عن مستطيل أبعاده (t) و(u).



شكل 10 – 3

تكون الإزاحة لجسم متحرك في خط مستقيم وبسرعة منتظمة بعد فترة زمنية (t) هي المساحة تحت خط السرعة والزمن للفترة الزمنية من (t = 0) إلى (t).

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

10-3 العجلة
Acceleration

إن السيارة الواقفة لا تستطيع فجأة أن تتحرك بسرعة منتظمة، فلا بد أن تمر فترة تزداد فيها سرعتها حتى تصل إلى السرعة المنتظمة المطلوبة، ومعدل تغير السرعة يُسمى بالعجلة (acceleration) ويُرمز لها بالرمز (a).

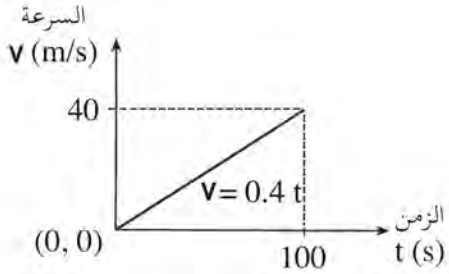
افرض مثلًا أن سرعة السيارة تزداد من (0.0 km / hr) إلى (144 km / hr) في (100 s) بمعدل ثابت، أي أن سرعة السيارة تغيرت من (0.0 m/s) إلى (40 m/s)، بمعنى أن سرعة السيارة ازدادت بسرعة (0.4 m/s) في كل ثانية.

وحدات العجلة في النظام العالمي للوحدات هي (m/s^2) وتقرأ مترًا على الثانية تربيع وبالتالي تكون عجلة السيارة في المثال السابق ($0.4\ m/s^2$).

وإذا أعدنا النظر في المثال السابق، فإننا نقول: إن سرعة السيارة بعد زمن قدره (t) قد وصلت إلى (0.4 t m/s) وهو ما نُعبر عنه رياضيًّا كالتالي ($v = 0.4\ t$).

فإذا مثلنا العلاقة بيانيًّا بين السرعة والزمن فإن معادلة الخط المستقيم في شكل10- 4 تكون($v = 0.4\ t$)، ويكون ميل الخط المستقيم الواصل بين النقطتين (0,0) و (100,40) هو (0.4).

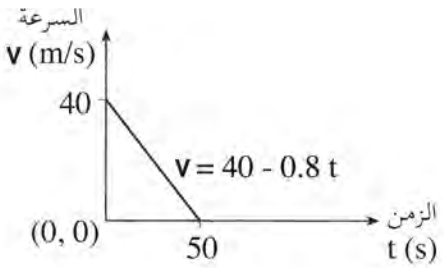
العلاقه البيانيه بين السرعه و الزمن للجسم الذي يتحرك بعجلة منتظمة (a) يكون خطًا مستقيمًا ويكون ميله (a).



شكل10- 4

الآن افرض أن السيارة ستتوقف عند الإشارة الضوئية، وأن مكابح السيارة ستؤثر لمدة (50 s) حتى تتوقف تمامًا، فإذا تناقصت السرعة بمعدل ثابت، أي ($\frac{40}{50}\ m/s^2$)، أو ($0.8\ m/s^2$)، فإننا نقول: إن عجلة السيارة تناقصية (deceleration).

يُبين شكل10- 5 العلاقة البيانية بين السرعة والزمن عندما تكون العجلة تناقصية وفي هذه الحالة تكون معادلة الخط المستقيم ($v = 40 - 0.8t$).



شكل10- 5

هناك ملاحظتان على شكل10- 5 وهما:

1 – أن الخط المستقيم لا يمر بنقطة الأصل، حيث إنه عند (t = 0) كانت سرعة السيارة (40 m/s)، وتُسمى السرعة عند (t = 0) بالسرعة الابتدائية (initial velocity)، ويُرمز لها بالرمز (u).

2 – إن ميل الخط المستقيم سالب، لأن السرعة تتناقص وهذا يعني أن العجلة سالبة أي ($a = -0.8\ m/s^2$).

سواءً كانت السرعة تتزايد كما في شكل10- 4 أو تتناقص كما في شكل10- 5 فإن الإزاحة مازالت تُعطى بالمساحة تحت الخط المستقيم، في الحالة الأولى تكون الإزاحة هي مساحة المثلث التي تكون قاعدته (100) وارتفاعه (40)، أي أن المساحة ($\frac{1}{2} \times 100 \times 40 = 2000$).

أي أن السيارة قد قطعت مسافة (2000 m) أو (2 km)في أثناء تزايد سرعتها من (0 m/s) إلى (40 m/s).

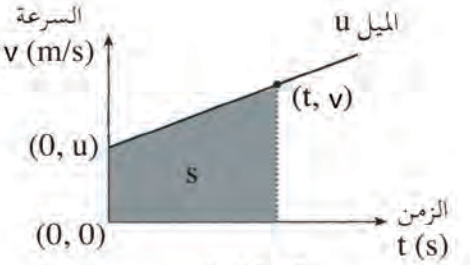
وفي الحالة الثانية تكون الإزاحة مساحة المثلث الذي قاعدته (50) وارتفاعه (40)، أي أن السيارة ستقف بعد (1000 m) ، أو (1 km).

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

10-4 معادلات للعجلة المنتظمة
Equations for constant acceleration

يمثل شكل **10**- 6 رسمًا بيانيًا للعلاقة بين السرعة والزمن حيث السرعة الابتدائية التي يتحرك بها الجسم (u) عندما أثرت عليه عجلة منتظمة (a) عند الزمن $(t = 0)$ زادت في سرعته بمقدار(at) بعد زمن مقداره (t).
ونستطيع أن نعبر عما سبق بالمعادلة الجبرية التالية:

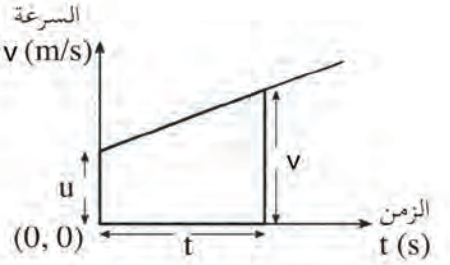
$$v = u + at$$



شكل 10- 6

لاحظ في المعادلة أن (u) و(a) ثابتتان، وأن (v) تتغير تبعًا لتغير(t) ولاحظ أيضًا أن ميل الخط المستقيم هو العجلة المنتظمة (a) وأن تقاطع الخط المستقيم مع محور السرعة هو السرعة الابتدائية (u) وعند استعمال المعادلة السابقة يجب مراعاة أن الوحدات المستخدمة يجب أن تكون متجانسة.

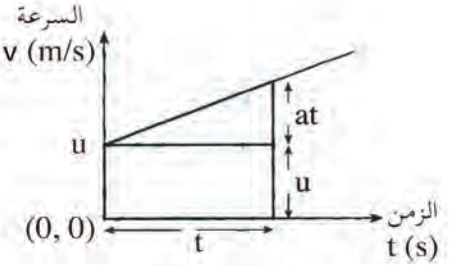
لإيجاد معادلة الإزاحة يجب إيجاد المساحة المظللة في الرسم البياني بين النقطتين (u، o) و (v، t) وذلك بإحدى الطريقتين التاليتين:
الطريقة الأولى موضحة في شكل **10**- 7 وهي إيجاد مساحة شبه المنحرف، حيث الضلعان المتوازيان هما الطول (u) والطول (v) والقاعدة (t) وتكون مساحة شبه المنحرف في هذه الحالة هي:



شكل **10**- 7

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

والطريقة الثانية موضحة في شكل **10**- 8، حيث قسمنا المساحة إلى جزأين هما مساحة المستطيل الذي طوله (t) وعرضه (u)، فتكون مساحته (ut)، والجزء الآخر عبارة عن مثلث قاعدته (t) وارتفاعه (at)، فتكون مساحته $(\frac{1}{2} \times t \times at)$ فيكون مجموع المساحتين:



شكل **10**- 8

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

مثال محلول 10- 3

تدخل سيارة سباق المرحلة الأخيرة من السباق بسرعة (35 m/s) وتقطع مسافة (600 m) في (12 s). أوجد سرعتها النهائية عند خط النهاية بفرض أن العجلة منتظمة.

الحل:

نحن نعلم أن السرعة الابتدائية (35 m/s)، وأن المسافة (600 m) عند $(t = 12\ s)$، وبالتعويض في المعادلة:

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

$$600 = \frac{1}{2}(35 + v)\,12$$

أو:

$$35 + v = \frac{600 \times 2}{12} = 100$$

أي أن: $v = 65\ m/s$

أي أن السيارة ستقطع خط النهاية بسرعة (65 m/s).

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

مثال محلول 10 – 4

يتحرك دراج بسرعة ابتدائية مقدارها (1.5 m/s)، تسارع بعجلة مقدارها ($2\ m/s^2$). أوجد الزمن الذي يستغرقه ليقطع مسافة (22 m)، وأوجد سرعته.

الحل:

المعطيات هي أن السرعة الابتدائية (1.5 m/s) والعجلة ($2\ m/s^2$) والمطلوب إيجاد (t) عندما تكون الإزاحة (22 m). المعادلة التي تربط هذه الكميات هي:

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

وبالتعويض نجد أن:

$$22 = 1.5\,t + \frac{1}{2}(2)\,t^2$$

والتي يمكن كتابتها كالتالي:

$$t^2 + 1.5\,t - 22 = 0$$

وهي معادلة من الدرجة الثانية *، ولها حلان هما:

$$t = \frac{-1.5 \pm \sqrt{(1.5)^2 - 4 \times 1 \times (-22)}}{2}$$ *

أي أن:

$$t = -5.5\ s$$

أو:

$$t = 4\ s$$

أي أن الإجابة الأولى ليست صحيحة فيزيائيًا، وذلك لأن الزمن لا يمكن أن يكون سالبًا فتكون الإجابة الصحيحة ($t = 4\ s$).

أي أن الدراج سيستغرق وقتًا مقداره($t = 4\ s$) ليقطع مسافة (22 m).

لإيجاد سرعته بعد أن يقطع مسافة (22 m) في (4 s) نستخدم المعادلة:

$$v = u + at$$

وبالتعويض نجد أن:

$$v = 1.5 + 2 \times 4$$

$$v = 9.5\ m/s$$

---

* حل المعادلة من الدرجة الثانية:

$$ax^2 + bx + c = 0$$

يكون:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

10-5 معادلات إضافية للعجلة الثابتة
More equations for constant acceleration

كل القوانين في الفقرة السابقة تحتوي على خمسة كميات فيزيائية هي السرعة الابتدائية (u) والعجلة (a) والزمن (t) والسرعة النهائية (v)

ويمكن إيجاد علاقة جديدة بين هذه الكميات، وذلك بكتابة المعادلة كالآتي: $t = \frac{v - u}{a}$

وبالتعويض في المعادلة: $s = \frac{1}{2}(u + v)t$

عن نجد أن: $s = \frac{1}{2}(u + v)\frac{v - u}{a}$

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

أو:

$$2as = v^2 - u^2$$

والتي يمكن كتابتها كالتالي:

$$v^2 = u^2 + 2as$$

عندما يتحرك جسم بعجلة ثابتة (a)، وسرعة ابتدائية (u)، فإن المعادلات التالية تُعطي العلاقة بين الإزاحة (s) والسرعة النهائية (v) بعد زمن قدره (t):

$$v = u + at$$

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

$$v^2 = u^2 + 2as$$

مثال محلول 10 - 5

انطلقت قذيفة من فوهة مدفع بسرعة (240 m/s). فإذا كان طول ماسورة المدفع (0.9 m)، أوجد عجلة القذيفة.

الحل:

قبل أن تنطلق القذيفة كانت في حالة سكون، أي أن سرعتها الابتدائية تساوي صفرًا أي ($u = 0$ m/s)، وسرعتها عند الفوهة (240 m/s). أو ($v = 240$ m/s)، والمسافة التي قطعتها ($S = 0.9$ m)، بالتعويض في المعادلة:

$$v^2 = u^2 + 2as$$

$$(240)^2 = 0^2 + 2 \times a \times 0.9$$

أو:

$$a = \frac{(240)^2}{2 \times 0.9} = 32000 \text{ m/s}^2$$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

مثال محلول 10 - 6

تسير سيارة بسرعة (96 km / hr)، وعلى مسافة (100 m) يرى سائق السيارة حافلة واقفة أمامه، فيضغط على الفرامل مما يجعل السيارة تسير بعجلة تناقصية مقدارها ($4\ m/s^2$) فهل يستطيع سائق السيارة تفادي الاصطدام بالحافلة؟

الحل:

لكي لا تصطدم السيارة بالحافلة يجب على السائق إيقاف السيارة قبل أن تقطع المسافة (100 m)، وهذا يعني أن السرعة النهائية للسيارة تكون صفرًا والسرعة الابتدائية للسيارة هي (96 km / hr)، وبالنظام العالمي للوحدات تكون سرعتها الابتدائية

$\frac{96 \times 1000}{60 \times 60} = 26.7\ m/s$ وباستخدام القانون:

$$v^2 = u^2 + 2as$$

$$0 = (26.7)^2 - 2 \times 4 \times s$$

أي أن:

$$s = \frac{(26.7)^2}{8} = 89.1\ m$$

أي أن السيارة ستقف قبل أن تصل إلى الحافلة بحوالي (11 m)، أي أن السيارة لن تصطدم بالحافلة.

10-6 مسائل متعددة المراحل

Multi - stage problems

يمكن أن نجزئ حركة الجسم إلى عدة مراحل، فمثلًا قد يتحرك الجسم بسرعة منتظمة ثم يتسارع بعجلة منتظمة، أو قد تتناقص سرعته بعجلة تقصيرية منتظمة ... وهكذا.

فعلينا في كل مرحلة أن نستخدم القانون المناسب للحركة، أو نرسم خطًّا بيانيًّا يبين العلاقة بين السرعة والزمن.

مثال محلول 10 - 7

يبدأ عداء في سباق (100 m)، حركته بسرعة (6 m/s)، ثم يتسارع بعجلة منتظمة حتى يصل إلى أقصى سرعة وهي (10 m/s) بعد مسافة (40 m)، ثم يواصل عدوه بهذه السرعة إلى نهاية السباق، أوجد الزمن الذي يستغرقه ليقطع مسافة (100 m).

الحل:

في مرحلة التسارع، نعرف أن السرعة الابتدائية (6 m/s) والنهائية (10 m/s) والمسافة المقطوعة (40 m)، وباستخدام القانون:

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

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

$$40 = \frac{1}{2}(6 + 10)\,t$$

أو:

$$t = \frac{80}{16} = 5\ s$$

المرحلة المتبقية من السباق وهي (60 m)، كان العداء يجري بسرعة منتظمة وهي (10 m/s)، فنستخدم القانون:

$$s = ut$$

أي:

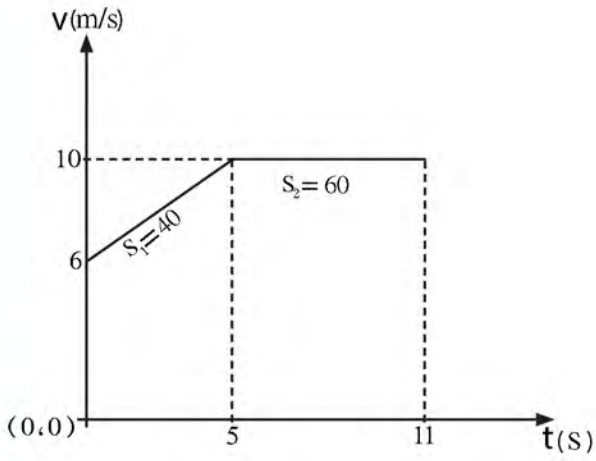
$$60 = 10t$$

ونجد أن:

$$t = 6s$$

أي الزمن الكلي $(5 + 6 = 11s)$

ويمكن أن نرسم العلاقة بيانيًّا كما في شكل **10**– 9:



شكل **10**– 9

مثال محلول 10 – 8

المسافة بين محطتي قطار (960 m). يبدأ القطار حركته من المحطة الأولى من السكون ويتسارع بعجلة منتظمة مقدارها $(0.5\ m/s^2)$ حتى تصل سرعته إلى (15 m/s) ويسير بهذه السرعة لفترة من الوقت، ثم تتناقص سرعته بعجلة ثابتة مقدارها $(1.5\ m/s^2)$ فإذا كان الزمن الذي يستغرقه القطار بين المحطتين (84 s)، أوجد الزمن الذي يتحركه القطار بالسرعة المنتظمة.

الحل:

في المرحلة الأولى، تكون سرعة القطار الابتدائية (0.0 m/s) وعجلته $(0.5\ m/s^2)$ وسرعته النهائية (15 m/s)، وباستخدام المعادلة:

$$v = u + at$$

$$15 = 0 + 0.5t$$

ومنها نجد أن:

$$t = \frac{15}{0.5} = 30s$$

وهو الزمن الذي استغرقه حتى يصل إلى السرعة المنتظمة (15 m/s).

ولإيجاد الزمن الذي استغرقه وهو يتحرك بالعجلة التقصيرية $(1.5\ m/s^2)$ حتى يقف في المحطة التالية، نستخدم المعادلة:

$$v = u + at$$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

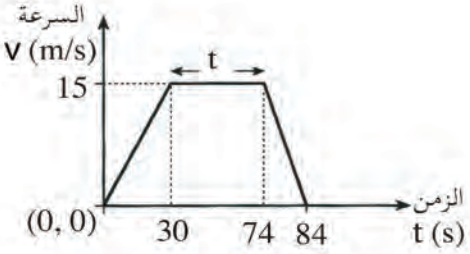
حيث ($u = 15\ m/s$) و ($v = 0.0\ m/s$)، أي:

$$0 = 15 - 1.5t$$

ومنها نجد أن:

$$t = \frac{15}{1.5} = 10s$$

أي الزمن الكلي الذي استغرقه في زيادة سرعته من ($0.0\ m/s$) إلى ($15\ m/s$)، وفي تناقص سرعته من ($15\ m/s$) إلى ($0.0\ m/s$) هو ($30 + 10 = 40s$) وحيث إن زمن الرحلة الكلي ($84s$)، فيكون الزمن الذي استغرقه وهو يتحرك بالسرعة الثابتة ($84 - 40 = 44s$)، وشكل10- 10 يبين رحلة القطار بيانيًا.



شكل10 - 10

10-7 السرعة المتوسطة
Average - Velocity

نستطيع كتابة القانون:

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

كالتالي:

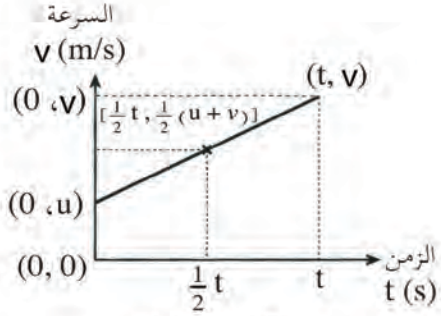
$$\frac{s}{t} = \frac{1}{2}(u + v)$$

حيث تسمى ($\frac{s}{t}$) بالسرعة المتوسطة، أي أن الجسم الذي يتحرك بعجلة منتظمة تكون سرعته المتوسطة هي متوسط مجموع السرعتين الابتدائية والنهائية.

في(شكل10- 11)، لاحظ أن إحداثيات النقطة التي في منتصف الخط الذي يمثل حركة الجسم هي:

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

أي أن $\frac{1}{2}(u + v)$ هي أيضًا سرعة الجسم عند منتصف الزمن.



شكل10 - 11

مثال محلول 10 - 9

تقطع سيارة مسافة ($400\ km$) بسرعة ($80\ km/hr$)، ثم تقطع مسافة أخرى مقدارها ($700\ km$) بسرعة ($70\ km/hr$). أوجد متوسط السرعة للسيارة خلال الرحلة الكلية.

الحل:

يعطى متوسط السرعة بالعلاقة ($\frac{s}{t}$) أي الإزاحة الكلية المقطوعة على الزمن الكلي.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

نجد الزمن (t_1) خلال المرحلة الأولى، حيث المسافة المقطوعة $(s_1 = 700\ km)$ والسرعة $(v_1 = 80\ km/hr)$، أي:

$$t_1 = \frac{s_1}{v_1} = \frac{400}{80} = 5\ hr$$

ونجد (t_2) خلال المرحلة الثانية، حيث المسافة المقطوعة $(s_2 = 700\ km)$ و $(v_2 = 70\ km/hr)$، أي:

$$t_2 = \frac{s_2}{v_2} = \frac{700}{70} = 10\ hrs$$

فتكون الإزاحة الكلية $(400 + 700 = 1100\ km)$ والزمن الكلي $(5 + 10 = 15\ hr)$، ونجد السرعة المتوسطة من العلاقة:

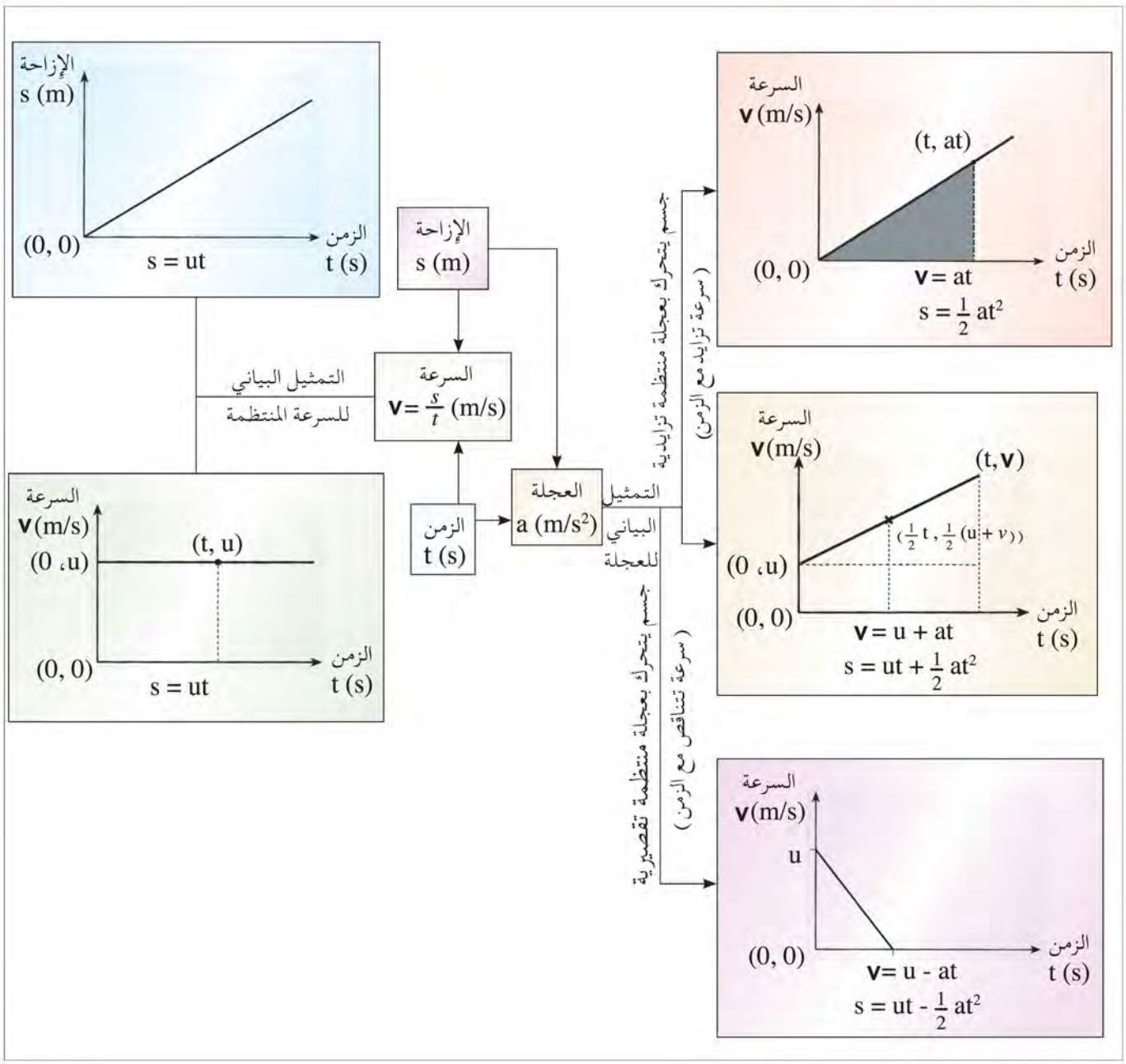
$$v = \frac{s}{t} = \frac{1100}{15} = 73.3\ km/hr$$

عندما يتحرك جسم بعجلة ثابتة لفترة زمنية، فإن الكميات التالية تكون متساوية:

- متوسط السرعة.
- متوسط السرعة الابتدائية والنهائية.
- السرعة عند منتصف الزمن.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

خريطة مفاهيم

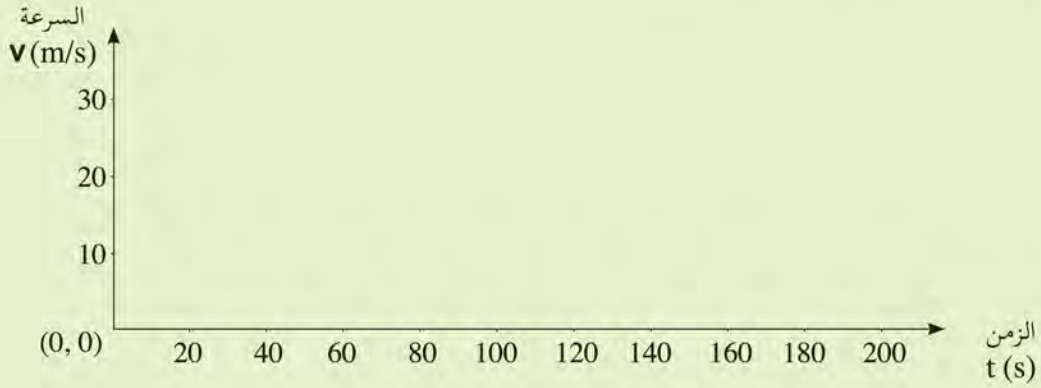


جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

المهارة : التطبيق والفهم

ركب أحمد مع والده في السيارة لكي يذهب إلى المدرسة . بدأت السيارة الحركة في زمن $(t = 0)$ وبلغت سرعتها $72\ km/hr$ بعد زمن $20\ s$ ثم سار دقيقتين بانتظام بهذه السرعة ولكنه رأى حادثة على الطريق على بعد $110\ m$ فاستخدم مكابح السيارة لكي تقف بعد $10\ s$.

ارسم حركة السيارة بيانيا على الشكل التالي



1- قبل أن ترسم ما هي الخطوات التي يجب إجراؤها؟

_____

_____

2- من الرسم البياني كيف تحسب المسافة التي تحركتها السيارة في كل مرحلة؟

المرحلة الأولى _____

المرحلة الثانية _____

المرحلة الثالثة _____

3- هل هناك معلومات ناقصة لديك لتحسب المسافات الثابتة باستخدام القوانين التي تعلمتها؟ وما هو القانون المستخدم في كل مرحلة؟

المرحلة الأولى _____

المرحلة الثانية _____

المرحلة الثالثة _____

4- هل ستقف السيارة قبل الحادثة أم ستصطدم بها؟ كيف وصلت إلى النتيجة؟

_____

_____

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

التمرين العاشر

تمارين 10 – أ

1. أوجد الزمن الذي يستغرقه عداء ليقطع مسافة (1500 m) بسرعة (7.5 m/s)؟
2. يتحرك قطار بسرعة منتظمة (60 m/s) جنوبًا لمدة 20 min . أوجد الإزاحة بـ km .
3. أوجد الزمن الذي تستغرقه سفينة لتقطع مسافة (630 km) ، إذا كانت سرعتها (70 km/hr)
4. تمشي فرقة من المستكشفين نحو القطب الجنوبي بسرعة 1.8 km/hr . أوجد الإزاحة بعد المشي لمدة 14 hr .
5. تطلق بارجة حربية على بعد 120 km من الشاطئ نيران مدافعها، أوجد الزمن المستغرق ليصل صوت المدافع إلى الشاطئ إذا علمت أن سرعة الصوت في الهواء (344 m/s).
6. إذا كان الضوء من نجم بعيد جدًّا يصل إلى الأرض بعد (8 . 65) yer. أوجد بعد النجم عن الأرض، علمًا بأن سرعة الضوء (3×10^8 m/s).
7. إذا كانت السرعة القصوى على الطريق السريع 120 km/hr . حول هذه السرعة إلى الوحدات العالمية.
8. يقطع قطار مسافة 500 km في 12.5 hr بسرعة منتظمة.
   (أ) ارسم علاقة بيانية بين السرعة والزمن.
   (ب) ارسم علاقة بيانية بين الإزاحة والزمن.
9. تطير طائرة بسرعة منتظمة 800 km/hr لتقطع مسافة بين مدينتين مقدارها 1600 km .
   (أ) ارسم علاقة بيانية بين الإزاحة والزمن.
   (ب) ارسم علاقة بيانية بين السرعة والزمن.

تمارين 10– ب

1. زادت سرعة سيارة شرطة من (15 m/s) إلى (35 m/s) في زمن قدره (5 s) . وضح هذا بيانيًّا إذا كانت العجلة منتظمة أوجد العجلة ، و أيضاً أوجد المسافة المقطوعة في هذا الزمن .
2. تجري متسابقة في المارثون بسرعة (5 m/s)، ثم تزيد من سرعتها عندما كانت على بعد (100 m) من خط النهاية وتقطع هذه المسافة في (16 s)، بفرض أن العجلة منتظمة،أجد سرعتها عندما تتخطى خط النهاية.
3. يتحرك قطار بسرعة (20 m/s) ثم أخذ في التسارع بعجلة ثابتة وقطع مسافة (1 km) في (25 s) . أوجد العجلة ، ثم أوجد سرعة القطار بعد أن يقطع هذه المسافة . وضّح العلاقة بين السرعة والزمن بيانيًّا، وأوجد الزمن الذي يستغرقه القطار ليقطع ($\frac{1}{2}$) الكيلومتر الأول .
4. يبدأ عداء في التسارع من السكون ليصل إلى (10 m/s) بعد أن قطع مسافة (30 m) . أوجد الزمن الذي يستغرقه ليصل إلى هذه السرعة واحسب العجلة . وضّح العلاقة بيانيًّا بين السرعة والزمن.
5. تبدأ طائرة حركتها من السكون لتصل إلى سرعة إقلاع مقدارها (60 m/s) بعد مسافة (900 m) . أوجد الزمن الذي استغرقته لتصل إلى سرعة الإقلاع . وأوجد العجلة .
6. يتحرك قطار بسرعة (80 m/s) عندما كبح السائق سرعته لمدة (30 s) لتتناقص سرعته بعجلة مقدارها ($2\ m/s^2$) .
   أوجد سرعة القطار في نهاية هذه المدة الزمنية، ثم أوجد المسافة التي قطعها القطار في أثناء كبح السرعة.
7. يهبط منطاد بسرعة (10 m/s)، وعندما كان على ارتفاع (300 m) أثرت عليه عجلة تناقصية مقدارها ($0.4\ m/s^2$) . أوجد الزمن الذي يستغرقه المنطاد ليتوقف عن الهبوط، وأوجد ارتفاعه في هذه الحالة.

تمارين 10 – جـ

1. في الحالات التالية، يتحرك جسم في خط مستقيم بعجلة ثابتة، أوجد المطلوب في كل حالة من الحالات التالية :
   (أ) ($a = 4\ m/s^2$) ، ($s = 5m$) ،
   ($u = 9\ m/s$) ، أوجد (v)
   (ب) ($v = 14\ m/s$) ، ($a = 3\ m/s^2$) ،
   ($u = 10\ m/s$) ، أوجد (s)

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

(جـ) ($v = 11\ m/s$)، ($s = 56m$)، ($u = 17\ m/s$)، أوجد (a)

(د) ($a = -2\ m/s^2$)، ($t = 5s$)، ($u = 14\ m/s$)، أوجد (s)

(هـ) ($a = 1\ m/s^2$)، ($t = 6s$)، ($v = 20\ m/s$)، أوجد (s)

(و) ($u = 10\ m/s$)، ($s = 65\ m$)، ($t = 5s$)، أوجد (a)

(ز) ($v = 12\ m/s$)، ($s = 210m$)، ($u = 18\ m/s$)، أوجد (t)

(ح) ($a = 4\ m/s^2$)، ($s = 35m$)، ($u = 9\ m/s$)، أوجد (t)

2. يدخل قطار نفقًا بسرعة (20 m/s) ويخرج منه بسرعة (55 m/s)، فإذا كان طول النفق (1500 m)، أوجد مدة القطار في النفق وأوجد العجلة.

3. تبدأ دراجة نارية حركتها من السكون وتتسارع بعجلة مقدارها ($0.1\ m/s^2$)، أوجد سرعتها بعد أن تقطع مسافة (45 m).

4. تغيرت سرعة دراجة من (5 m/s) إلى (7 m/s) بعد أن قطعت مسافة (200 m) أوجد العجلة.

5. أوجد المسافة التي قطعها قطار نقصت سرعته من (55 m/s) إلى (35 m/s)، إذا كانت العجلة التقصيرية التي يتحرك بها ($0.6\ m/s^2$).

6. تغادر سفينة مدخل الميناء بسرعة (3 m/s) وتتسارع بعجلة مقدارها ($0.04\ m/s^2$) حتى تصل سرعتها إلى (15 m/s).

(أ) أوجد المسافة التي قطعتها حتى تصل إلى سرعتها النهائية.

(ب) أوجد الزمن الذي تستغرقه لتقطع مسافة (2km).

7. تناقصت سرعة متزلجة بعجلة مقدارها ($10\ m/s^2$)، فإذا كانت سرعتها الابتدائية (30 m/s)، أوجد المسافة التي تقطعها حتى تقف.

8. تناقصت سرعة كرة بعجلة مقدارها ($0.3\ m/s^2$)، فإذا كانت سرعتها الابتدائية (6 m/s). أوجد أقصى مسافة تقطعها الكرة.

9. تزايدت سرعة دراج بعجلة مقدارها ($0.8\ m/s^2$)، أوجد سرعته بعد أن يقطع مسافة (165 m)، علمًا بأن سرعته الابتدائية (5 m/s).

10. تسير سيارة بسرعة (10 m/s)، وعندما كانت على بعد (25 m) من الإشارة الضوئية تغير الضوء الأخضر إلى الضوء الأصفر، فإذا كان الضوء الأصفر يبقى لمدة ثانيتين، أوجد أدنى عجلة يجب أن تتحرك بها السيارة حتى تجتاز الإشارة قبل أن تتغير إلى الأحمر.

11. تتناقص سرعة قطار بعجلة مقدارها ($0.4\ m/s^2$)، أوجد الزمن الذي يستغرقه حتى يقف، إذا كانت سرعته الابتدائية (5 m/s).

تمارين 10– د

1. يقطع درَّاج المسافة بين نقطتين (A) و(B) حيث المسافة بينهما (240 m)، وصل الدَّراج النقطة (A) بسرعة (12 m/s)، وواصل رحلته بهذه السرعة لفترة زمنية، ثم ضغط على الفرامل حتى وقف عند النقطة (B)، فإذا تناقصت سرعته أثناء الفرملة بعجلة منتظمة مقدارها ($3\ m/s^2$)، أوجد الزمن الذي استغرقه ليقطع المسافة بين (A) و(B).

2. تتحرك سيارة بسرعة (15 m/s)، وتزايدت سرعتها بعجلة منتظمة مقدارها ($\frac{1}{2}\ m/s^2$)، لمدة (30 s)، أوجد سرعتها عندئذ، والمسافة التي قطعتها في هذا الزمن.

3. تتحرك سيارة بسرعة (10 m/s)، وتتزايد سرعتها بعجلة منتظمة مقدارها ($0.5\ m/s^2$). توجد إشارة ضوئية على بعد (400 m)، وعندما تكون السيارة على بعد (100 m) من الإشارة يفرمل السائق بعجلة تقصيرية منتظمة ويقف عند الإشارة الضوئية. ارسم العلاقة البيانية بين (t, v) لحركة السيارة، وأوجد سرعة السيارة عندما فرمل السائق، وأوجد العجلة التقصيرية.

4. تتحرك سيارة بسرعة (30 m/s)، وتفرمل بعجلة تقصيرية مقدارها ($0.5\ m/s^2$)، ثم تفرمل بقوة أكبر بعجلة تقصيرية مقدارها ($1.5\ m/s^2$) حتى تقف، فإذا كانت المسافة التي قطعتها (804 m)، أوجد سرعة السيارة عندما زادت عجلتها التقصيرية، والزمن الكلي الذي استغرقته لكي تقف.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

5. وقفت سيارة ودراجة نارية جنبًا إلى جنب عند الإشارة الضوئية. وعندما أصبح ضوء الإشارة أخضر تزايدت سرعة السيارة بعجلة ($1.5\ m/s^2$) إلى سرعة قصوى ($30\ m/s$)، وتزايدت سرعة الدراجة بعجلة ($2.5\ m/s^2$) إلى سرعة قصوى ($20\ m/s$). واصل الاثنان رحلتهما بسرعة منتظمة، أوجد متى تصبح السيارة والدراجة جنبًا إلى جنب مرة أخرى؟

6. تزداد سرعة متزلج على الجليد من ($4\ m/s$) إلى ($10\ m/s$) في ($10\ s$).
(أ) أوجد متوسط السرعة؟
(ب) أوجد المدة الزمنية التي يتحرك بها بأقل من السرعة المتوسطة؟

7. يقطع دراج مسافة ($1\ km$) الأولى في ($100\ s$)، ومسافة ($1\ km$) التي تليها في ($80\ s$). أوجد العجلة التي يتحرك بها.

8. تناقصت سرعة قطار بعجلة تقصيرية منتظمة، فيمر بالنقطة (A) وبعد فترتين زمنيتين متساويتين كل منهما ($40\ s$) يمر بالنقطتين (B) و(C) حيث ($AB = 1800\ m$) و ($BC = 1400\ m$).
(أ) أوجد سرعة القطار عند النقطة (A).
(ب) أوجد المسافة التي يقطعها قبل أن يقف.

تمارين متنوعة 10

1. تبدأ سيارة حركتها من السكون من النقطة (A) وتسير في خط مستقيم بعجلة منتظمة لمدة ($20\ s$) حتى تصل إلى النقطة (B)، فإذا كانت سرعة السيارة عند النقطة (B) هي ($30\ m/s$)، أوجد:
(أ) العجلة.
(ب) سرعة السيارة عند النقطة (C) حيث (C) تقع بين النقطتين (A) و(B) حيث ($AC = 40\ m$)

2. تتحرك سيارة بسرعة ابتدائية (u) وتتزايد سرعتها بعجلة منتظمة مقدارها ($0.07\ m/s^2$) حتى تصل سرعتها إلى ($27.6\ m/s$).
(أ) فإذا قطعت السيارة في هذه الأثناء مسافة ($1050\ m$) أوجد (u).
(ب) احسب الزمن اللازم حتى تصل إلى سرعتها النهائية؟

3. يتحرك درَّاج بعجلة منتظمة وفي خط مستقيم، ويمر بثلاث نقاط (A) و(B) و(C) حيث ($AB = BC = 20\ m$)، فإذا كانت سرعة الدراج عند النقطة (A) ($8\ m/s$)، وعند (B) ($12\ m/s$)، أوجد سرعته عند النقطة (C).

4. تمر سيارة بالنقطة (A) بسرعة ($10\ m/s$) وتتحرك بعجلة ($a\ m/s^2$) لفترة زمنية (ts) حتى تصل إلى النقطة (B) حيث تكون سرعتها ($v\ m/s$). تتحرك السيارة بهذه السرعة لمدة ($10\ s$) حتى تصل إلى النقطة (C). من النقطة (C)، تتحرك بعجلة ($3\ a$) لفترة زمنية (ts) حتى تصل سرعتها إلى ($20\ m/s$)، حتى تصل إلى النقطة (D).
(أ) ارسم العلاقة البيانية (t, v) واثبت أن ($v = 12.5\ m/s$).
(ب) إذا كانت المسافة بين (A) و(D) هي ($675\ m$) أوجد (a) و(t)؟

5. يوضح شكل التالي العلاقة بين (t, v) لحركة درَّاج، من المعلومات التي بالرسم، أوجد العجلة عند ($t = 2s$)، والمسافة الكلية المقطوعة.

6. يجري رجل ليلحق بالحافلة بسرعة ($3\ m/s$). عندما يكون الرجل على بعد ($100\ m$) من المحطة تمر به الحافلة بسرعة ($8\ m/s$)، فإذا تناقصت سرعة الحافلة بانتظام، أوجد العجلة التي يجب أن يتحرك بها الرجل حتى يصل المحطة عندما تصل الحافلة.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الوحدة 11

القوة والحركة

Force and motion

مخرجات التعلم

في هذه الوحدة، سوف

- ☐ تفهم قانون نيوتن الأول.
- ☐ تعرف بعض أنواع القوى.
- ☐ تفهم قانون نيوتن الثاني وكيفية تطبيقه على الأجسام التي تتحرك في خط مستقيم.
- ☐ فهم فكرة التوازن.

1-11 قانون نيوتن الأول (Newton's First Law)

درسنا كيف نستعمل الرياضيات لنصف حركة جسم، وأجاب العالم الإنجليزي إسحاق نيوتن (1643-1727) (Isaac Newton) عن السؤال الذي يقول «كيف نستطيع باستخدام الرياضيات شرح لماذا تتحرك الأجسام بهذه الطريقة؟» في كتاب ضمنه ثلاثة قوانين سُميت بقوانين نيوتن للحركة (Newton's Law of Motion)، ومن الحقائق المذهلة أن تكون كل الميكانيكا التي ندرسها هي نتاج تطبيق هذه القوانين.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

قانون نيوتن الأول :
كل جسم يبقى على حالته من السكون أو الحركة المنتظمة في خط مستقيم ما لم تؤثر عليه قوى خارجية تغير من حالته .

من الصعب أن نرى هذا القانون مطبقًا على سطح الأرض أو قريبًا منها، وذلك لاستحالة التخلص من كل القوى . وقد حاول مخترعون اختراع آلات دائمة الحركة ولكنهم فشلوا .

ولكن يمكن أن نقترب من تطبيق القانون كما في المثال التالي :

فعندما تركب دراجة وتقودها على سطح مستوٍ فإنه بإمكانك قيادتها بسرعة منتظمة لفترة ما، ولكن بعد فترة ستتناقص هذه السرعة بفعل مقاومة الهواء– مثلًا، وهذا موضح في(شكل11– 1)حيث عبرنا عن مقاومة الهواء بسهم في عكس اتجاه الحركة .

شكل11– 1

مثال آخر: عندما تقذف بحجر على سطح بحيرة متجمدة، فإن الحجر سيتوقف في النهاية مهما كانت نعومة الجليد، وذلك بسبب الاحتكاك بين سطح الحجر والسطح الجليدي (انظر شكل11– 2) .

شكل11– 2

الذي يقوله قانون نيوتن الأول هو : إذا كانت سرعة الجسم تتزايد أو تتناقص، فإنه لابد من وجود شيء ما يسبب في هذا التغير، وهذا الشيء أسماه نيوتن بالقوة (Force) .

فمقاومة الهواء والاحتكاك نوعان من أنواع القوة .

11-2 القوة والعجلة
Force and Acceleration

من قانون نيوتن الأول نعرف فقط أن هناك قوة تسبب في تغيير سرعة الجسم، ولكننا لا نعرف شيئًا عن مقدار القوة ولا مقدار العجلة التزايدية أو التناقصية الناتجة عن تأثير هذه القوة، وهذا موضوع قانون نيوتن الثاني .

افرض أن السيارة التي تقودها نفذ منها الوقود على بعد مسافة قصيرة من محطة وقود . يمكن أن تقنع الراكبين معك في دفع السيارة إلى المحطة، وهو ما نوضحه في(شكل11– 3).

شكل11– 3

في البداية كانت السيارة واقفة، ولكن الدفع سبب في تحرك السيارة بسرعة تزايدية، نرى في الشكل أن اتجاه القوة واتجاه العجلة في نفس الاتجاه، منطقيًّا أنه كلما زاد الدفع كلما زادت العجلة التي تتحرك بها السيارة، وهذا هو ملخص قانون نيوتن الثاني الذي يقول :

التغير في الحركة يتناسب طرديًّا مع القوة المؤثرة، ويكونان في نفس الاتجاه .

ولكننا من التجربة نعرف أن دفع سيارة صغيرة يختلف عن دفعنا لحافلة كبيرة، وعليه فيجب أن نأخذ في اعتبارنا جسامة الجسم المتحرك، وهو ما نعبر عنه بالكتلة (Mass) .

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

وحدة الكتلة في النظام العالمي للوحدات هي الكيلو جرام، واختصارًا (kg)، وفي بعض الأحيان نعبّر عن كتلة الأجسام الكبيرة بالطن (tonne)، حيث (1 tonne = 1000 kg)، ونعبّر عن كتلة الأجسام الصغيرة بالجرام، واختصارًا (g)، حيث $(1\,g = \frac{1}{1000}\,kg)$ فمثلًا كتلة سيارة صغيرة حوالي طن واحد، وكتلة دبوس حوالي جرام واحد.

نص قانون نيوتن الثاني يقول حرفيًّا: إن القوة المؤثرة على الجسم تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب الكتلة والعجلة الناتجة، فإذا رمزنا للقوة (force) بالرمز (F)، ولكتلة الجسم (mass) بالرمز (m)، وللعجلة (acceleration) بالرمز (a)، فإننا يمكن أن نكتب القانون جبريًّا كالتالي:

$$F = c\,m\,a$$

حيث (c) ثابت التناسب.

كيف نتعامل مع الثابت (c)؟ الجواب يكمن في حيلة ذكية وهي في اختيارنا لوحدات القوة (F) حتى يكون مقدار الثابت (c) مساويًا للواحد الصحيح. ونستطيع ذلك، لأننا نعرف أن وحدات الكتلة هي (kg)، ووحدات العجلة هي (m/s^2)، ولكننا لم نشر إلى حد الآن إلى وحدات القوة فنختار وحدات القوة لتكون نيوتن (newton)، وهو مقدار القوة التي نحتاجها لتسبب عجلة مقدارها $(1\,m/s^2)$ عندما تؤثر على جسم كتلته (1kg).

وبالتعويض في المعادلة السابقة نجد أن:

$$1 = c \times 1 \times 1$$

أي أن $(c = 1)$

ووحدة القوة نيوتن تكتب اختصارًا (N). فنلخص قانون نيوتن الثاني كالتالي:

قانون نيوتن الثاني:

عندما تؤثر قوة مقدارها (FN) على جسم كتلة (m kg)، فإن مقدار العجلة الناتجة $(a\,m/s^2)$ تُعطى بالعلاقة التالية:

$$F = m\,a$$

مثال محلول 11 - 1

تدفع قوة مقدارها (150 N) سيارة كتلتها (1200 kg)، احسب عجلة السيارة، وأوجد الزمن اللازم لتصل سرعتها (1.5 m/s).

الحل:

لإيجاد العجلة نستخدم قانون نيوتن الثاني:

$$F = ma$$

$$150 = 1200\,a$$

ونجد أن:

$$a = 0.125\ m/s^2$$

ولإيجاد الزمن نستخدم القانون:

$$v = u + at$$

$$1.5 = 0 + 0.125t$$

أي أن:

$$t = 12s$$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

مثال محلول 11 – 2

وُضِعَ حجر كتلته (18 kg) فوق سطح جليدي، ثم قذف بقوة مما جعله يكتسب سرعة مقدارها (2 m/s)، فإذا توقف الحجر بعد مسافة (30 m)، احسب عجلة الحجر التقصيرية، واحسب قوة الاحتكاك.

الحل:

نجد العجلة من معادلة الحركة:

$$v^2 = u^2 + 2as$$

$$0 = (2)^2 + 2 \times a \times 30$$

أي أن:

$$a = -\frac{4}{60} = -\frac{1}{15} m/s^2$$

في شكل 11– 4 نرى أن قوة الاحتكاك في عكس اتجاه الحركة، أي أن قانون نيوتن الثاني:

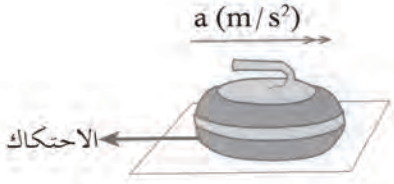
$$F = m\,a$$

يكتب كالتالي:

$$-f = m\,a$$

$$-f = 18 \times (-\frac{1}{15})$$

أي أن قوة الاحتكاك، أو $(f = 1.2\ N)$.



شكل 11– 4

11 – 3 بعض أنواع القوى الأخرى

Some other types of forces

هناك طريقة أخرى لتوصيل السيارة التي نفد منها الوقود إلى محطة الوقود، وهي أن تجرها سيارة أخرى إلى المحطة، وفي هذه الحالة تكون القوة هي قوة جذب الخيط، وتسمى القوة في هذه الحالة بقوة الشد، وهو ما نراه في (شكل 11– 5).

شكل 11– 5

الاحتمال الآخر لتوصيل السيارة إلى محطة الوقود، هو أن تمشي إلى المحطة راجلًا وتشتري صفيحة من البنزين، ثم تقود السيارة إلى المحطة، وفي هذه الحالة تسمى القوة بقوة القيادة، وهو ما نراه في (شكل 11– 6).

شكل 11– 6

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

مثال محلول 11 – 3

يجـذب أقوى رجل في العالم شـاحنة كتلتها (20 tonne) بواسـطة خيط، فإذا كان الشد في الخيط (800 N)، أوجد الزمن الذي يستغرقه الرجل في الجذب لتتحرك الحافلة مسافة (1 m).

الحـــل:

باستخدام قانون نيوتن الثاني: $F = ma$

$$F = T = ma$$

ومراعاة أن تكون كتلة السيارة بالكيلوجرام، نجد أن:

$$800 = (20 \times 1000)a$$

$$a = 0.04\ m/s^2$$

ولإيجاد الزمن نستخدم معادلة الحركة:

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

$$1 = 0 + \frac{1}{2} \times 0.04\ t^2$$

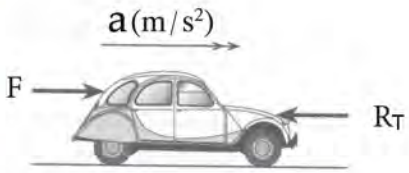
$$t = \sqrt{\frac{1}{0.02}} = \sqrt{50} = 7.07s$$

11-4 القوى المؤثرة معًا

Forces Acting together

في بعض الأحيان تؤثر أكثر من قوة في آن واحد على الجسـم، مثلا، دعنا نفكر في السيارة التي نفذ منها الوقود وتوقفت. في البداية نحتاج إلى قوة دفع أقل وعندما تتحرك السيارة فإنه توجد قوة مقاومة للحركة، وما علينا إلا دفع السيارة بقوة دفع مساوية لهذه المقاومة، وهذا ما نوضحه في شكل 11 – 7، حيـث (F) تمثـل قوة الدفع، وهي في اتجاه الحركة، بينما(R_T) تمثل المقاومـة (Resistance)، وهي تؤثر في عكس اتجاه الحركة، وحيث إنه لا توجد عجلة، فإن: $F - R_T = 0$

وتسمى($F - R_T$) بالقوة الصافية (Net Force).



شكل 11 – 7

إذا أثرت عدة قوى على جسم موازية لاتجاه الحركة، فإن القوة الصافية تكون الفرق بين مجموع القوى في اتجاه معين ومجموع القوى في الاتجاه المضاد، وفي اتجاه الأكبر.

فإذا كانت القوة الصافية صفرًا، فإن القوى على الجسم تكون في حالة اتزان (Equilibrium)، ويكون الجسم في حالة سكون، أو يتحرك بسرعة منتظمة (قانون نيوتن الأول).

القوة الصافية هي حاصل ضرب كتلة الجسم والعجلة (قانون نيوتن الثاني).

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

مثال محلول 11- 4

يريد طفلان دفع صندوق على أرضية حجرة، الطفل الأول يجذب الصندوق بقوة (20 N)، والثاني يدفع الصندوق بقوة (25 N)، ولكن الصندوق لا يتحرك، أوجد قوة الاحتكاك المقاومة للحركة.

الحل:

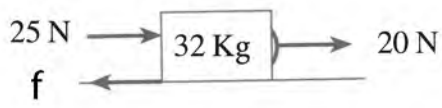
يوضح شكل 11- 8 القوتين المؤثرتين على الصندوق، فإذا كانت قوة الاحتكاك (f)، فإن القوة الصافية تكون (f -20+25)، وحيث إن الصندوق لا يتحرك، فإن:

$$20 + 25 - f = 0$$

أي أن:

$$f = 45N$$

لاحظ أن كتلة الصندوق لم تدخل في حساباتنا، ومقدار قوة الاحتكاك تكون هي نفسها بغض النظر عن كتلة الصندوق طالما كان الصندوق في حالة سكون.



شكل 11- 8

مثال محلول 11- 5

يدفع عاملان صندوق أسمنت كتلته (300 kg) على الأرض، يدفع العامل الأول الصندوق بقوة (200 N) والثاني بقوة (240 N)، فإذا كانت قوة الاحتكاك بين الصندوق والأرض (380 N)، أوجد العجلة التي يتحرك بها الصندوق.

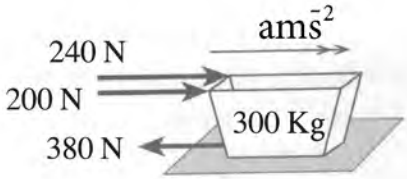
الحل:

يوضح شكل 11- 9 القوى المؤثرة على الصندوق، وباستخدام قانون نيوتن الثاني:

$$F = ma$$
$$200 + 240 - 380 = 300a$$
$$60 = 300a$$

ومنها نجد أن:

$$a = 0.2\ m/s^2$$



شكل 11- 9

مثال محلول 11- 6

يجر خيط عربة كتلتها (250 kg) ضد قوة احتكاك مقدارها (150 N)، فإذا بدأت العربة حركتها من السكون، وقطعت مسافة مقدارها (60 m) في زمن قدره (10 s)، أوجد الشد في الخيط.

الحل:

يوضح شكل 11- 10 القوى المؤثرة على العربة، باستخدام قانون نيوتن الثاني:

$$F = ma$$
$$T - 150 = 250a$$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

لا نستطيع إيجاد (T) في المعادلة السابقة حتى نجد (a)، ولإيجاد (a) نستخدم معادلة الحركة :

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

$$60 = 0 + \frac{1}{2}a(10)^2$$

ومنها نجد أن :

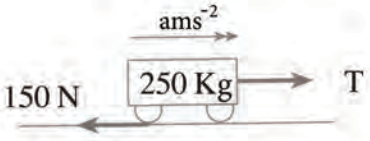
$$a = 1.2\ m/s^2$$

و بالتعويض عن (a) في المعادلة الأولى :

$$T - 150 = 250 \times 1.2$$

نجد أن :

$$T = 450N$$



شكل11- 10

مثال محلول 11- 7

يدفع بحاران قاربًا صغيرًا كتلته (90kg) على الشاطئ بسرعة منتظمة (2m/s). يجـذب الأول القارب بقـوة (P) ويدفع الثاني القارب بقوة (P+15)، فإذا كانت قوة الاحتكاك (105N)، أوجد (P).

الحـــل :

القـوى المؤثـرة على القـارب موضحة فـي شـكل11- 11، وحيث إن القارب يتحرك بسـرعة منتظمة، فإن العجلة تساوي صفرًا، ومن قانون نيوتن الثاني :

$$F = ma$$

$$p + (p + 15) - 105 = 0$$

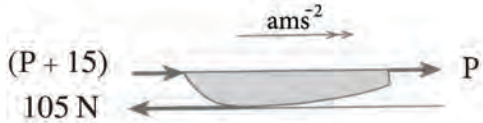
أي أن :

$$2p = 90$$

أو :

$$p = 45N$$

لاحظ أننا لا نحتاج إلى كتلة القارب !!



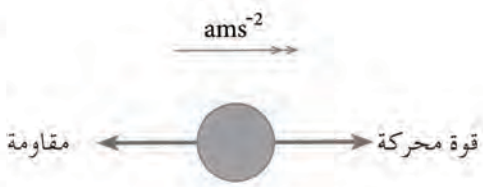
شكل11- 11

11-5 نموذج الجسيم

The particle model

في هذا الفصل استخدمنا قوانين نيوتن على أجسام ذات أحجام مختلفة، مثل السيارة والصندوق والحجر، ولكن في جميع الأحوال تسببت القوى المؤثرة في تغيير سرعة الجسم، ولم تجعل الجسم يدور، في هذه الحالة يمكن اعتبار أن الجسم عبارة عن جسيم (Particle)، [شكل11- 12].

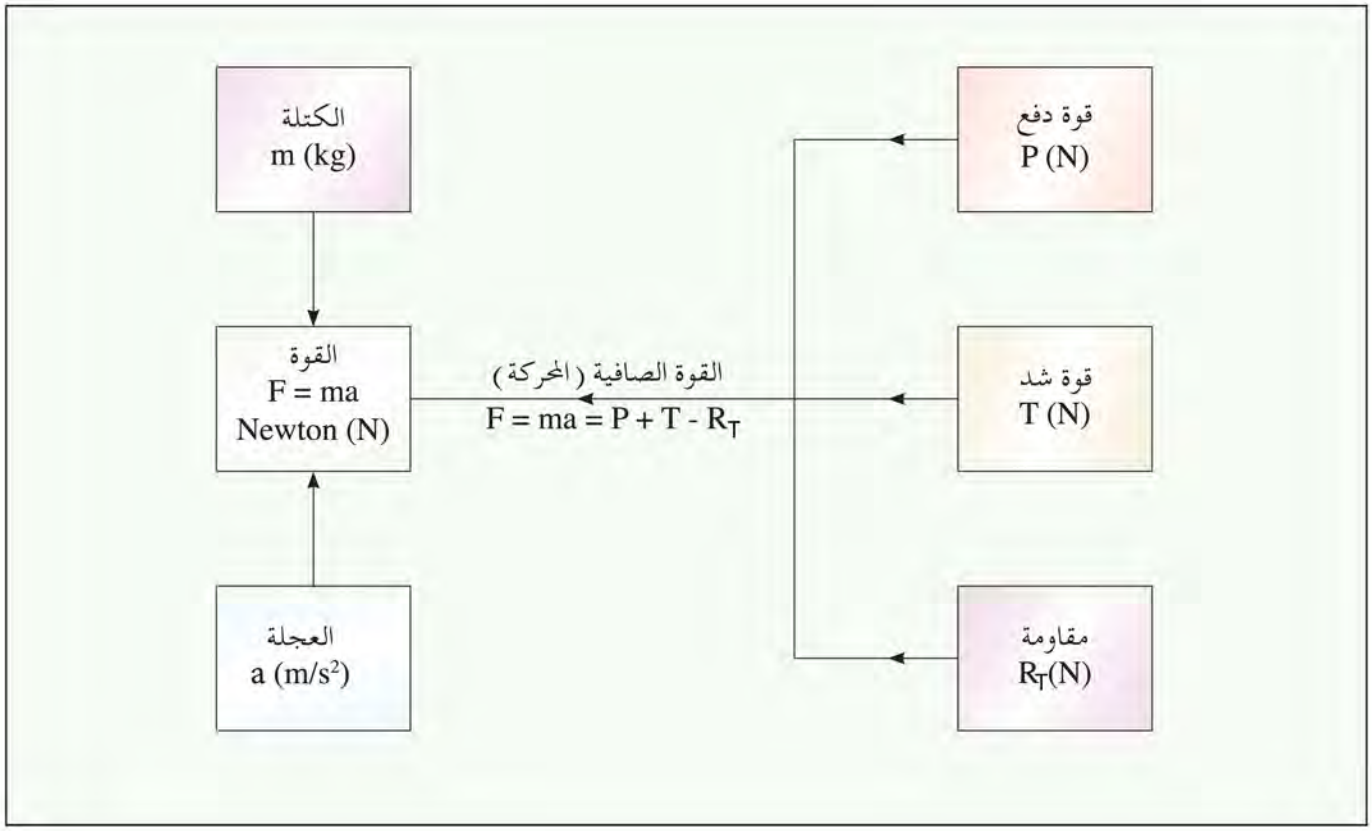
الجسـيم في لغتنا العادية عبارة عن جسم صغير جدًّا، ولكن في الأحوال التـي ذكرناهـا وطالما نحن مهتمون بحركة الجسـم فقط، فإننا نسـتطيع استخدام نموذج الجسيم.



شكل11- 12

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

خريطة مفاهيم



جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

المهارة: التفكير والتطبيق

لديك سيارة كتلتها 1000 kg . بدأت الحركة من السكون ووصلت سرعتها 10 m/s في زمن قدره 10 s ، وقوة احتكاك الأرض بالعجلات 1000 N . دخلت في بقعة زيت على الطريق طولها 125 m ثم سارت على الطريق مرة أخرى .

المشكلة

↓

كيف تحسب قوة محرك السيارة

↓

نحسب أولًا _____

ثم نحسب _____

وبالتالي قوة محرك السيارة = _____

عند تحرك السيارة داخل بقعة الزيت والتي مقاومتها للحركة تساوي صفرًا هل ستتحرك بنفس العجلة التي كانت تتحرك بها سابقًا؟ لماذا؟

_____

_____

هل ستكون عجلة حركة السيارة حينئذٍ أكبر من أو أقل من أو تساوي عجلة حركة السيارة في المرحلة الأولى؟ ولماذا؟

_____

هل تستطيع أن تحسب عجلة حركة السيارة عند خروجها من بقعة الزيت مباشرة؟

_____

_____

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

التمرين الحادي عشر

تمارين 11 – أ

1. إذا كانت قوة محرك سيارة كتلتها (800 kg) هي (1200 N)، أوجد العجلة التي تتحرك بها السيارة بفرض أنه لا توجد قوى تقاوم الحركة.

2. تجر حافلة سيارة كتلتها (1200 kg) بواسطة خيط، أوجد العجلة التي تتحرك بها السيارة، إذا كان الشد في الخيط (750 N).

3. احسب مقدار القوة اللازمة لتقلع طائرة كتلتها (2200 kg) بعجلة مقدارها ($4.2\ m/s^2$)

4. يجذب قارب بخاري متزلجًا مائيًا بقوة مقدارها (52 N)، فإذا كانت العجلة التي يتحرك بها المتزلج ($0.8\ m/s^2$)، أوجد كتلته.

5. وضعت قطعة خشبية كتلتها (400 g) على طاولة بحيث تبعد مسافة (1.6 m) من حافتها. جُذبت القطعة بواسطة سلك أفقي، فإذا كان الشد في السلك (0.08 N)، احسب الزمن اللازم الذي تستغرقه القطعة لتصل الحافة.

6. يقذف طفلان صندوقًا على بحيرة متجمدة نحو بعضهما البعض، فيقذف الطفل الأول بالصندوق للطفل الثاني بسرعة (5 m/s) فيصل الثاني والذي يبعد مسافة (8 m) بعد زمن قدره (2.5 s)، فإذا كانت كتلة الصندوق (0.4 kg)، احسب العجلة التقصيرية التي يتحرك بها الصندوق، واحسب قوة الاحتكاك.

7. يتحرك جسم كتلته (1 kg) بعجلة منتظمة، فيمر بالنقطة (A) بسرعة (6 m/s)، وبالنقطة (B) بسرعة (3.6 m/s)، فإذا كانت المسافة بين النقطتين (A)، (B) هي (12 m)، احسب مقدار القوة التي تقاوم الحركة.

8. يدفع رجل سيارة بقوة مقدارها (127.5 N)، فزاد سرعتها من (1 m/s) إلى (2.8 m/s) في زمن قدره (12 s)، أوجد كتلة السيارة.

9. يتحرك جسم كتلته (10 kg) بسرعة (15 m/s)، أثرت عليه قوة احتكاك مقدارها (60N) فجعلته يتوقف، أوجد المسافة التي يتحركها قبل أن يقف.

10. ينزلق صندوق خشبي كتلته (2 kg) فوق سطح خشبي، ويتوقف بعد أن يقطع مسافة (5 m)، فإذا كانت سرعة الصندوق الابتدائية (8 m/s)، أوجد قوة الاحتكاك بين الصندوق والسطح.

11. يتحرك قارب كتلته (3000 kg) بسرعة ابتدائية (u)، أثرت عليه قوة ناتجة عن مقاومة الماء ومقدارها (370 N) جعلته يتوقف بعد زمن قدره (20 s)، أوجد مقدار (u).

12. نفد الوقود من سيارة كتلتها (1000 kg) مما جعلها تتوقف على مسافة (30 m) من محطة الوقود، دُفِعَت السيارة بقوة (120 N) حتى وصلت المحطة. احسب العجلة التي تحركت بها السيارة، والزمن الذي استغرقته للوصول للمحطة.

13. تنطلق رصاصة كتلتها (120 g) بسرعة (150 m/s)، واستقرت في كتلة خشبية، بفرض أن الرصاصة تتحرك أفقيًا وأن قوة المقاومة (10000 N)، احسب المسافة التي اخترقتها الرصاصة.

14. تهبط طائرة كتلتها (30 tonne) وتلمس سطح الارض بسرعة (55m/s) وتقف بعد مسافة (560 m)،أوجد القوة المؤثرة.

تمارين 11 – ب

1. يحاول ثلاثة رجال تحريك صندوق، فيدفع اثنان الصندوق بقوة (150 N)، (120N)، ويجذب الثالث الصندوق بقوة مقدارها(XN)،ولكن الصندوق لم يتحرك، فإذا كان مقدار القوة التي تقاوم الحركة (385N)، أوجد مقدار القوة (X).

2. يدفع طفل صندوقًا كتلته(m kg) بقوة مقدارها(25N)، وتدفع أخته من الجهة المقابلة الصندوق بقوة (13N)، فإذا بقي الصندوق ساكنًا وكان مقدار قوة الاحتكاك (3mN)، أوجد (m). وإذا زادت قوة دفع الطفل إلى (35N)، اثبت أن العجلة التي يتحرك بها الصندوق هي ($2.5\ m/s^2$)

3. تتحرك دراجة نارية بعجلة مقدارها ($5\ m/s^2$) ضد قوة احتكاك مقدارها (120N)، فإذا كانت كتلة الدراجة وقائدها (400kg)، أوجد قوة المحرك.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

4. تتحرك سيارة كتلتها (1200kg)، بسرعة منتظمة مقدارها (20 m/s) ضد قوة احتكاك مقدارها (300 N)، أوجد قوة محرك السيارة .فإذا زاد سائق السيارة من سرعتها إلى (30 m/s) في زمن قدره (30 s)، وبقيت قوة الاحتكاك ثابتة، أوجد قوة المحرك الإضافية .

5. يجذب طالب صندوقًا كتلته (85 kg) على الأرض بقوة (180 N)، فإذا كان الصندوق يتحرك بعجلة مقدارها ($0.18\ m/s^2$) أوجد قوة الاحتكاك بين الصندوق والأرض .

6. يدفع طفل صندوقًا كتلته (8 kg) ضد قوة احتكاك مقدارها (16 N) . احسب قوة دفع الطفل في حالة :
(أ) الحركة بسرعة منتظمة .
(ب) الحركة بعجلة منتظمة مقدارها ($1.2\ m/s^2$)

7. يُدفع جسم كتلته (5 kg) على سطح خشن بقوة (45 N)، فإذا كان الجسم يتحرك بسرعة منتظمة، أوجد مقدار قوة الاحتكاك، وإذا زادت قوة الدفع إلى (55 N)، أوجد عجلة الجسم بفرض أن قوة الاحتكاك لم تتغير .

8. يُجذب متزلج مائي كتلته (80 kg) بوساطة خيط على سطح الماء بقوة جذب مقدراها (300 N)، فإذا قطع مسافة (100 m) في زمن قدره (6.8 s)، وكانت المقاومة (140N)، أوجد سرعته الابتدائية .

9. فرمل قطار كتلته (5000 kg) عندما كان يتحرك بسرعة (0.25 m/s) فوقف بعد (0.4 s)، أوجد قوة الفرامل .

10. تُجَرُّ بارجة حربية كتلتها (2×10^5 kg) بقوة مقدارها (2.5×10^4 N) وبعجلة مقدرها ($0.06\ m/s^2$)أوجد مقاومة الماء .

11. يُجر جسم كتلته (2.5 kg) بواسطة خيط على سطح خشبي بعجلة مقدارها ($2.7\ m/s^2$)، فإذا كان مقدار قوة الاحتكاك (4 N)، أوجد الشد في الخيط . فإذا انقطع الخيط في اللحظة التي كان الجسم يتحرك بها بسرعة (3 m/s)، أوجد المسافة التي يقطعها الجسم قبل أن يقف .

12. تؤثر قوة مقدارها (5400 N) على قارب كتلته (m)، فإذا كانت مقاومة الماء (1200N)، والعجلة التي يتحرك بها القارب ($1.6\ m/s^2$) أوجد قيمة (m) .

13. يدفع عامل صندوقًا كتلته (m) على سطح خشبي بقوة مقدارها (180 N)، فإذا كان مقدار قوة الاحتكاك (3 mN).والعجلة التي يتحرك بها الصندوق ($0.45\ m/s^2$)، أوجد (m) .

14. يتحرك قارب بخاري كتلته (8 tonne) بسرعة منتظمة مقدارها (28 km/hr)، فإذا كانت قوة المحرك (780 N)، أوجد مقاومة الماء . فإذا توقف المحرك، أوجد الزمن الذي يستغرقه القارب قبل أن يقف بفرض أن مقدار المقاومة لم يتغير .

تمارين متنوعة 11

1. تتحرك سيارة كتلتها (850 kg) بعجلة مقدارها ($1.4\ m/s^2$)، فإذا كانت القوة التي يبذلها المحرك (XN)، ومقاومة الاحتكاك (450N)، أوجد (x) .

2. يُجر جسم كتلته (m kg)بواسطة خيط، فإذا كان الشد في الخيط (4.5mN)، وقوة الاحتكاك (4mN)، أوجد الزمن الذي يستغرقه الجسم ليقطع مسافة (30 m) من السكون .

3. يتحرك قارب كتلته (2300 kg) بعجلة مقدارها ($2m/s^2$)، فإذا كانت القوة التي يبذلها محرك القارب (6000N)، أوجد القوة المقاومة للحركة .

4. يجذب طفل دمية كتلتها (1.8 kg) بسرعة منتظمة مقدارها (0.6 m/s) بواسطة سلك، فإذا زادت قوة الجذب بمقدار (0.36 N)، أوجد الزمن الذي تستغرقه الدمية لتقطع مسافة (16 m) من لحظة زيادة قوة الجذب .

5. يبذل ثلاثة رجال كل منهم قوة مقدارها (250 N) لدفع صندوق كبير كتلته (280kg)، ولكن الصندوق لم يتحرك . أوجد قوة الاحتكاك المقاومة للحركة .
وعندما استعانوا برجل رابع يدفع بقوة (300 N) بدأ الصندوق يتحرك بعجلة ($0.4\ m/s^2$)، أوجد قوة الاحتكاك في هذه الحالة .

6. جُذب جسم ساكن على سطح أملس [لا توجد قوة احتكاك] بقوة مقدارها (6 N) حتى أصبحت سرعته (2.4 m/s) بعد فترة زمنية مقدارها (8 s) . أوجد كتلة الجسم .

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

7. تطير طائـرة كتلتها (12000 kg)، بسـرعة منتظمة مقدارهـا (75m/s)، فـإذا كانـت مقاومـة الهـواء (9000N)، أوجد قوة محرك الطائرة.

8. وُضـع صنـدوق كبيـر كتلتـه (45 kg) علـى ظهـر شـاحنة، لو أثـرت عليه قـوة مقدارهـا (90 N) فإن الصنـدوق سـيبدأ بالانزلاق .عندمـا كانـت سـرعة الشاحنة (12 m/s) فرمل السائق بانتظام حتى وقفت الشاحنة بعد مسافة (35m). هل سينزلق الصندوق؟

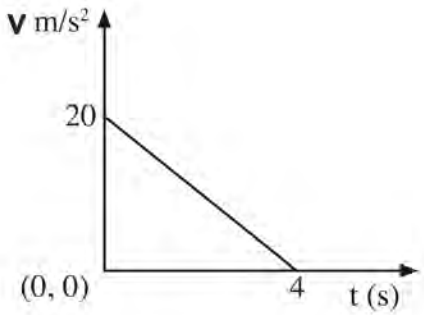
9. يتحرك جسم كتلته (100 kg) بسرعة منتظمة مقدارها (15 m/s). أثرت عليـه مقاومة فجعلته يتوقف بعد دقيقـة واحـدة، أوجد عجلة الجسـم والقـوة المقاومة للحركة.

10. عندما تقذف قاذفة قنابـل كتلتها (2000 kg) فإنها ترتد بسـرعة ابتدائية مقدارها (3m/s). أوجد أدنى قوة تجعلها تتوقف قبل أن ترتد مسافة (2m).

11. أستخدمت مكابح سيارة كانت تسير بسرعة (12 m/s) فتوقفت بعد (5 s)، فإذا كانت كتلة السيارة (800 kg)، وقوة الاحتكاك (200 N)، أوجد قوة الفرامل.

12. أثرت قوة مقدارها (10 N) على جسـم ساكن كتلته (2 kg) فأصبحت سرعته(**v**m/s) بعد زمن قدره(8s) ، اثبت أن (**v** = 40 m/s).
واصل الجسم حركته بهذه السرعة لمدة (10 s) وعندها أثرت عليـه قوة مقاومة مقدارهـا (XN)حتى توقف. فإذا كانت المسـافة الكلية المقطوعة (800 m)، أوجد زمن تأثير العجلة التقصيرية،وقيمة (X).

13. يوضح الشكل التالي سيارة كتلتها (600 kg) تتحرك بسـرعة (20 m/s)، وعندمـا فرمـل السـائق توقفت السيارة بعد (4 s)، احسب قوة الفرامل.



جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الوحدة 12

الحركة الرأسية

Vertical motion

مخرجات التعلم

في هذه الوحدة، سوف :

- ☐ تعرف أنه في حالة إهمال مقاومة الهواء تسقط الأجسام بعجلة ثابتة (g).
- ☐ تعرف مفهوم الوزن وتستطيع أن تميز بين الوزن والكتلة.
- ☐ تعرف أن الجسم الذي كتلته (m) يكون وزنه (mg).
- ☐ تعرف صيغة معادلات الحركة والاتزان في اتجاه رأسي.
- ☐ تعرف قوة الأتصال العمودية [الرأسية].
- ☐ تعرف المقاييس والموازين المستخدمة لقياس الكتلة.

يحتوي هذا الباب على موضوع الحركة الرأسية وتطبيق قوانين نيوتن على جسم متحرك في خط رأسي.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

12-1 التسارع نتيجة الجاذبية
(Acceleration due to gravity)

كتب نيوتن [إذا كنت أستطيع أن أرى أبعد مما يراه الآخرون، فذلك لأنني أقف على أكتاف عمالقة].

وكان جاليليو من أهم هؤلاء العمالقة (1564 – 1624) فمن خلال المشاهدة التجريبية والحجة الرياضية استطاع جاليليو أن يُبين أنه عندما يسقط جسم فإنه يسقط بعجلة ثابتة والذي يبدو الآن فكرة بسيطة، إلا أنه في ذلك الوقت كان فكرة جديدة لدرجة أن جاليليو نشر أبحاثه في آخر أيام حياته.

وتجربة أخرى قام بها جاليليو وهي إسقاط كرات مختلفة الكتل، والتي لاحظ فيها أنها استغرقت نفس الوقت لتسقط.

من هذا يتضح أن جميع الأجسام تسقط بعجلة ثابتةواحدة بافتراض إهمال مقاومة الهواء.

تسقط الأجسام نحو الأرض في خط رأسي بعجلة ثابتة واحدة بشرط إهمال مقاومة الهواء.

تُدعى هذه العجلة بعجلة الجاذبية الأرضية ويرمز لها بالحرف (g) ولها اسم آخر هو عجلة السقوط الحر.

ولا تكون قيمة العجلة (g) متساوية عند كل النقاط على سطح الكرة الأرضية، ويرجع السبب في ذلك لتشوه كروية الأرض وكذلك لدورانها حول محورها، تكون قيمتها حوالي ($9.78m/s^2$) عند خط الاستواء، و ($9.83m/s^2$) عند الأقطاب وهي تتغير قليلًا بالارتفاع، فمثلًا عند قمة جبل إفرست تكون ($\frac{1}{4}\%$) أقل من قيمتها عند مستوى سطح البحر، إلا أن قيمتها على العموم على سطح الأرض تكون($9.8m/s^2$) وهي صحيحة لرقمين معنويين.

وإذا كنت ترغب في الحصول على تقريب مناسب للإجابة فيمكن استخدام قيمة أبسط لقيمة العجلة وهي ($g = 10\ m/s^2$) وهي القيمة المُستخدمة في هذا الكتاب. مما يسهل العمليات الحسابية.

12-2 الوزن
(Weight)

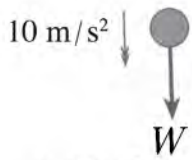
إذا تسارع جسم فإن قانون نيوتن الثاني ينص على وجود قوة تسبب ذلك

لكي يسقط بالتعجيل فإن القوة يجب أن تؤثر عموديًا إلى أسفل وهي قوة جذب الأرض للجسم والتي تُسمى بقوة الجاذبية الأرضية ولجسم معين فإنها تُسمى [وزن] الجسم.

إن وزن جسم على أو قرب سطح الأرض هو قوة جذب الأرض له.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

يوضح شكل 12- 1 رسمًا توضيحيًّا لجسم كتلته (m kg) ساقط بعجلة مقدارها ($10\ m/s^2$)، فيكون وزن الجسم (W N) ومن قانون نيوتن الثاني :-



شكل 12- 1

$$W = mg = m \times 10 = 10m\ N$$

في النظام العالمي للوحدات (SI units) يكون وزن جسم كتلته (m kg) تقريبًا [(10 m) N]

مثال محلول 12- 1

أوجد وزن الآتي :

1. منضدة كتلتها (24 kg).
2. سيارة كتلتها (1 ton). حيث (1 ton = 1000 kg).
3. كيس كتلته (7 kg).

الحل

(أ) وزن المنضدة تقريبًا ($42 \times 10 = 420$ N).

(ب) وزن السيارة تقريبًا (10 kN) أو ($1000 \times 10 = 10000$N).

(جـ) وزن الكيس تقريبًا ($7 \times 10 = 70$N).

الوحدات مثل (1 ton) و (kN) تُسمى وحدات إضافية للوحدات الدولية، وذلك لأجل تميزها عن الوحدات الدولية الأساسية مثل (kg) و (N).

مثال محلول 12- 2

يُرفع جندي مُصاب إلى طائرة إنقاذ مروحية، فإذا كانت كتلته 55 kg. أوجد الشد في السلك عندما يُرفع الجندي إلى أعلى.

(أ) بسرعة ثابتة مقدارها (4 m/s)

(ب) بعجلة مقدارها ($0.8 m/s^2$)

الحل

القوتان اللتان تؤثران على الجندي هما وزنه والشد في السلك.

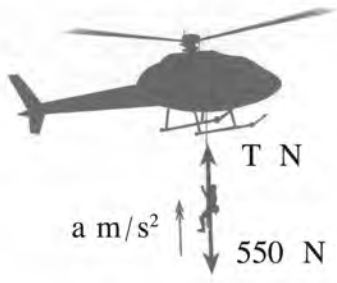
وزن الجندي تقريبًا ($55 \times 10 = 550$ N).

(أ) عندما يُرفع الجندي بسرعة ثابتة فإن عجلته تساوي صفرًا، وعليه تكون القوتان (وزن الجندي والشد) في الخيط في حالة اتزان، وهذا يعني أن :

$$T - 550 = 0$$

أو $T = 550$ N

أي أن الشد في السلك يكون تقريبًا (550 N).



شكل 12- 2

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

(ب) عندما تكون العجلة ($0.8\ m/s^2$)، فإن قانون نيوتن الثاني ينص على أن :

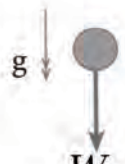
$$T - 550 = 55 \times 0.8$$

والتي تُعطي $(T = 550 + 44 = 594\ N)$

فيكون الشد في السلك (594N).

ويمكن أن نعبر عما سبق [جبريًّا] دون الحاجة للتعويض عن (g) أو (m).

وهو ما يوضحه شكل12- 3 والذي هو صورة محورة عن شكل12- 1، حيث فرضنا جسمًا كتلته (m) يسقط بعجلة (g) فيكون وزن الجسم (mg) أو $W = mg$.



شكل12- 3

وزن أي جسم كتلته (m) هو (mg)

مثال محلول 12 - 3

تُستخدم مجموعة من البكرات لرفع صندوق ثقيل، حيث توجد 6 أسلاك رأسية لكل منها شد (T) ترفع الصندوق إلى أعلى بعجلة (a) أوجد كتلة الصندوق بدلاله (T) و (a) و (g).

الحل

نفرض أن كتلة الصندوق (m)، والقوى المؤثرة على الصندوق والعجلة موضحة في شكل(12 - 4).

محصلة القوى على الصندوق إلى أعلى تكون $(6T - W)$

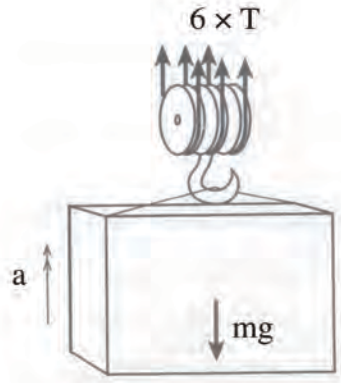
حيث $(W = mg)$

وباستخدام قانون نيوتن الثاني $(6T - W = ma)$

في هذا المثال نفرض أن قيمة كل من (T)، (a)، (g) تكون معلومة ولكن قيمة الكتلة غير معلومة

$$6T = ma + W$$
$$= ma + mg$$
$$= m(a + g)$$

ومنها نجد أن : $m = \frac{6T}{a + g}$



شكل12- 4

مثال محلول 12- 4

أنزلت آلة كتلتها 280 kg إلى قاع منجم بواسطة سلكين ربطا في قفص كتلته 20 kg. في الثلاث ثواني الأولى من النزول كان الشد في كل سلك 900 N و في الثواني 16 اللاحقة كان الشد في كل سلك 1500 N وفي 8 s الأخيرة كان الشد في كل سلك 1725 N. أوجد عمق المنجم.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الحـل

إن كتلـة الآلـة والقفص الكليـة تكون 300 kg وعليـه يكون وزنهما

$$W = 300 \times 10 = 3000\ N$$

[والشكل12- 5 يوضح القوى]. من الهبوط في ثلاث مراحل يمكن أن تجد عجلة القفص باستخدام قانون نيوتن الثاني.

المرحلة الأولى:

$$T = 900\,N$$

$$3000 - 2 \times 900 = 300\ a$$

ونجد أن $a = \frac{3000 - 1800}{300}$

$$= 4 m/s^2$$

في المرحلة الثانية:

$$T = 1500\ N$$

$$3000 - 2 \times 1500 = 300\ a$$

$$a = 0$$

المرحلة الثالثة:

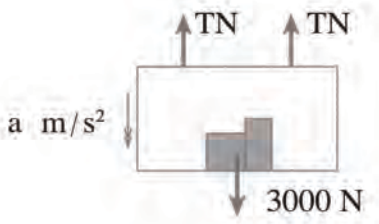
$$T = 1725\ N$$

$$3000 - 2 \times 1725 = 300\ a$$

$$a = \frac{3000 - 3450}{300}$$

$$= \frac{-450}{300}$$

$$= -1.5\ m/s^2$$



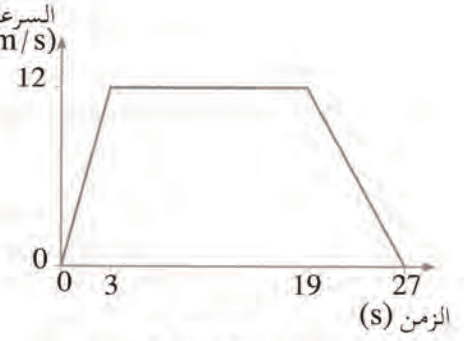
شكل12- 5

إن الهبـوط ممثل بالرسـم البياني للسـرعة و الزمن في شـكل12- 6. أثناء مرحلـة التعجيل الأولى تكون العجلة تسـاوي ($4\ m/s^2$) وهذا يعني بأن السرعة وصلت بعد (3 s) إلى (12 m/s) ويمكن أن تجد المسافة المقطوعة بحسـاب المسـاحة المحصورة تحت الرسـم البياني والتي يمثلها شـكل شبه المنحرف ذي الجانبين المتوازيين طولهما 27، 16 وبارتفاع 12

عليه تكون المساحة

$$S = \frac{1}{2}(16 + 27) \times 12$$

$$\therefore S = 258\ m$$



شكل12- 6

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

12 – 3 قوة الإتصال العمودي
(Normal contact force)

وضع جهاز راديو على منضدة شكل12 – 7 . لماذا لا يسقط خلالها؟
إن الجواب الواضح لأن هناك منضدة .

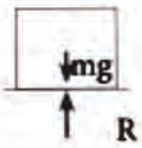
شكل12 – 7

إن علم الميكانيكا يطلب تفسيرًا لذلك، حيث إن جهاز الراديو لا يتحرك . عليه يجب أن تكون محصلة القوى المؤثرة عليه تساوي صفرًا، نحن نعرف أحد هذه القوى، ألا وهي وزنه يؤثر إلى أسفل، فإذا كانت محصلة القوى تساوي صفرًا يلزم وجود قوة أخرى لها نفس المقدار مثل الوزن لكن تؤثر إلى أعلى، وتأتي هذه القوة نتيجة لاتصال الراديو بالمنضدة والتي تدعى قوة رد الفعل العمودي وهذا ما يوضحه شكل12 – 8 .
إن استعمال كلمة عمودي لها نفس الإحساس مثل الخط العمودي بزاوية قائمة على المماس واتجاه قوة الاتصال يكون بزاوية قائمة في المنطقة التي حدث فيها الاتصال بين جهاز الراديو والمنضدة .

شكل12 – 8

عندما يتصل جسم بسطح توجد على الجسم قوة في اتجاه عمودي في نقطة الاتصال تُدعى هذه القوة بقوة الإتصال العمودية .

وتدعى قوة الإتصال العمودية في بعض الأحيان رد الفعل العمودي . عندما يستقر جسم كتلته m على سطح أفقي مثل الذي في شكل 12– 9 القوتان المؤثرتان عليه هما وزنه mg وقوة الاتصال العمودية R التي توثر إلى أعلى، وهذه القوى تكون في حالة اتزان، هذا يعني أن : **R = mg**



شكل12 – 9

والجسم كري مثل حصاة أو كرة توجد نقطة واحدة للاتصال بالسطح بدلا من منطقة، والسطح يكون المستوى المماسي للجسم وتكون نقطة اتصال القوى في زاوية قائمة للمستوى والتي تم توضيحها في شكل12 – 10 .

شكل12 – 10

مثال محلول 12 – 5

وضع كتاب كتلته **0.5 kg** على رف أفقي مسطح والموضح في شكل12 – 11 . أوجد مقدار قوة الاتصال العمودية .

الحل

وزن الكتاب يكون

$$W = mg$$
$$W = 0.5 \times 10$$
$$W = 5\ N$$

القوة الوحيدة الأخرى على الكتاب تكون قوة الاتصال العمودية والتي تكون ايضًا 5 N .

شكل12 – 11

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

مثال محلول 12- 6

توجد حاوية في الميناء بانتظار تحميلها على سفينة حاويات كتلة الحاوية 6000 kg، وصلت الحاوية بسلك من رافعة، في البداية كان الشد بطيئًا ثم زاد الشد تدريجيًا رفعت الحاوية من على سطح الأرض. ارسم رسمًا بيانيًا يوضح العلاقة بين قوة الاتصال العمودية والشد في السلك.

الحل

توجد ثلاث قوى تؤثر على الحاوية:

- وزنها.
- قوة الاتصال العمودية من الأرض.
- الشد في السلك.

كما هو موضح في شكل **12**- 12

وزن الحاوية $6000 \times 10 = 60000\ N$

افرض أن قوة الاتصال العمودية ($R\ N$) والشد في السلك ($T\ N$).

حيث إن القوى الثلاث في اتزان لذلك فإن محصلة القوى تكون صفرًا.

عليه:

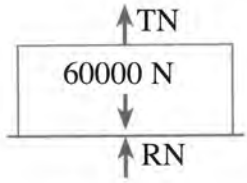
$$R + T - 60000 = 0$$

وشكل **12**- 13 يوضح هذه المعادلة

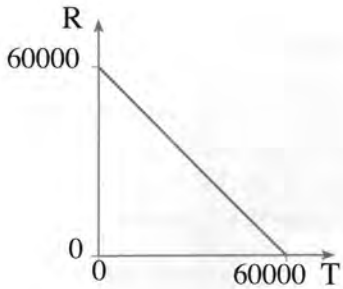
لاحظ أنه تم رسم $T \geq 0$ وكذلك $R \geq 0$

لأنه لا يمكن أن يكون الشد أو قوة الاتصال العمودية سالبة.

وفي البداية عندما كان الشد بطيئًا $T = 0$ و $R = 60000$ وعند شد السلك، ازدادت قيمة الشد T ونقصت تبعًا لذلك قيمة R وأخيرًا عندما صار الشد $T = 60000$ أصبحت $R = 0$ في تلك النقطة أصبحت الحاوية على وشك الرفع من سطح الميناء.



شكل 12- 12



شكل 12- 13

4-12 الكتلة والوزن (Mass and weight)

تستخدم بعض الكلمات في العلوم والرياضيات مأخوذة من اللغة اليومية، لكنهم يصنفونها بمعنى أكبر دقة مثل الوزن. هذه بعض الملاحظات والتي ربما تسمعها أو تقرأها في الصحف. هذا كيس من البطاطس وزنه 3 kg، فيل يزن 6 Tonne تقريبًا، حقيبة ظهر تزن 16 kg، يزن الملاكم 159 باوند.

في جميع هذه العبارات السابقة في الميكانيكا الاستخدام الصحيح هو استبدال عبارة الوزن بعبارة الكتلة ووزنه بكتلته.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية - ليبيا

مثلًا في حالـة كيس البطاطس ربما ترغب في معرفة الكتلة والوزن وبذلك تكـون الكتلـة مهمة من أجـل تغذية العائلة إلا أنـك إذا كنت ترغب في حملهـا إلى البيت وزنها 30 N هو الذي يهمك لأن هذه تشـد عضلات ذراعك .

وفي حالة الفيل كتلته تكون مهمة لسيارة رحلة الصيد ، لكن عندما يمشي فوق جسر فإن وزنه مهم لأنه ربما يحطم الجسر .

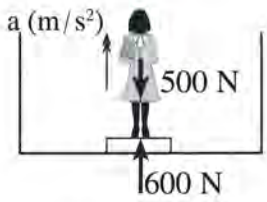
تبقـى كتلة حقيبـة الظهر ثابتة وزنهـا 160 N والتي تتغيـر قليلًا عندما تصعد إلى الجبل لأن قيمة العجلة (g) تتغير بالارتفاع .

بالنسـبة للملاكم الوزن لا يهم لكن كتلته هي التي تحدد طريقة استعداده لتوجيه اللكمات إلى خصمه أو كم من الضرر الذي يلحقه بخصمه .

وهناك بعض الصعوبات تظهر عند استخدام آلات القياس مثل ميزان الحمام أو الميـزان الزنبركي والناس الذين يسـتخدمون ميـزان الحمام لأنهم قلقون بشـأن كتلتهم إلا أن قياس الكتل مباشـرة صعب عليه ومن المناسب قياس القوة .

وعليه فإن الميزان يقيس القوة التي تدعم جسمك والتي تساوي وزنك فإذا دل الميزان على أن كتلتك تكون 80 kg ، فهو في الحقيقة يقيس قوة قدرها $80 \times 10 = 800\ N$.

ويمكنك توضيح ذلك عن طريق إجراء التجربة في المثال الآتي :
تسـكن طالبة في الدور العاشر من مبنى عال ، واشترت ميزان حمام جديد وقررت استخدامه عندما تصعد في المصعد ، في البداية قرأ الميزان 50 kg ، وبعـد غلـق الأبواب ترتفع القراءة إلـى 60 kg ، إلا أنها تعود إلى 50 kg ، وعندمـا يقترب المصعد من الدور العاشـر تهبط القراءة إلى 35 kg . وضح ذلك .



شكل 12- 14

قبـل البدء في التحـرك قرأ الميزان 50 kg وهي تمثل كتلة الطالبة ، وما يقوم بـه الميزان هو قياس قـوة الاتصال العمودية والمؤثرة على قدميها وهو يعادل وزنها والذي يساوي 500 N .

وعندما يبدأ المصعد في الصعود يقرأ الميزان 60 kg وهذا لا يعني أن كتلة الطالبـة قد تغيرت ، لكن قـوة الاتصال العمودية تكـون 600 N ويرجع ذلـك التغير إلى عجلة المصعد ، والقوى المؤثرة على الطالبة هي وزنها وقوة الاتصال العمودية وهي موضحة في شكل 12- 14 .

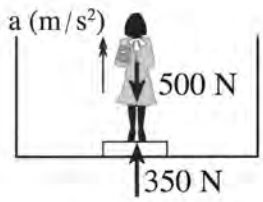
بتطبيق قانون نيوتن الثاني على حركة المصعد إلى الأعلى

$$600 - 500 = 50\ a$$

$$a = \frac{100}{50} = 2 m/s^2$$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

في لحظة بداية الحركة تسارع المصعد بمعدل $2m/s^2$، رجعت بعدها قراءة الميزان إلى 50 kg عليه تكون قوة الاتصال العمودية تساوي 500 N مثل وزن الطالبة وتكون القوى في حالة اتزان وحيث إن المصعد في حركة عليه يجب أن يتحرك بسرعة ثابتة نحو نهاية المصعد عندما يتباطأ المصعد، يقرأ الميزان 35 kg، قوة الاتصال العمودية 350 N، كما هو موضح في شكل 12-15



شكل 12- 15

وباستخدام قانون نيوتن الثاني :

$$350 - 500 = 50\ a$$

$$a = \frac{-150}{50} = -3\ m/s^2$$

هذا يعني أن المصعد في المرحلة الأخيرة من حركته يتسارع بعجلة تقصيرية قدرها $3\ m/s^2$ أو يتباطأ بمعدل $3\ m/s^2$.

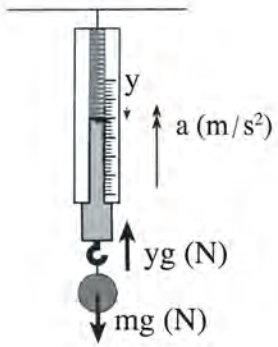
مثال محلول 12- 7

علقت كتلة ثقيلة m في سقف مصعد بسلك، ثم قطع السلك وعلق ميزان زنبركي في طرفي السلك، وعندما صعد المصعد بعجلة قدرها $(a\ m/s^2)$ كانت القراءة على الميزان $(y\ kg)$ أوجد المعادلة التي تربط a و y.

والشكل 12-16 يوضح هذا الجهاز.

الحل

يستخدم الميزان الزنبركي لقياس الأوزان للأجسام عندما يُثبت الطرف العلوي، وهذا يعني عندما يقرأ الميزان $(y\ kg)$ يكون الشد في السلك المتصل بالكتلة m يساوي $(yg\ N)$.



شكل 12- 16

في حالة تسارع المصعد تكون القوى المؤثرة على الكتلة m هي الوزن $(mg.N)$ والشد في السلك $(yg.N)$ ومن قانون نيوتن الثاني :

$$yg - mg = ma$$

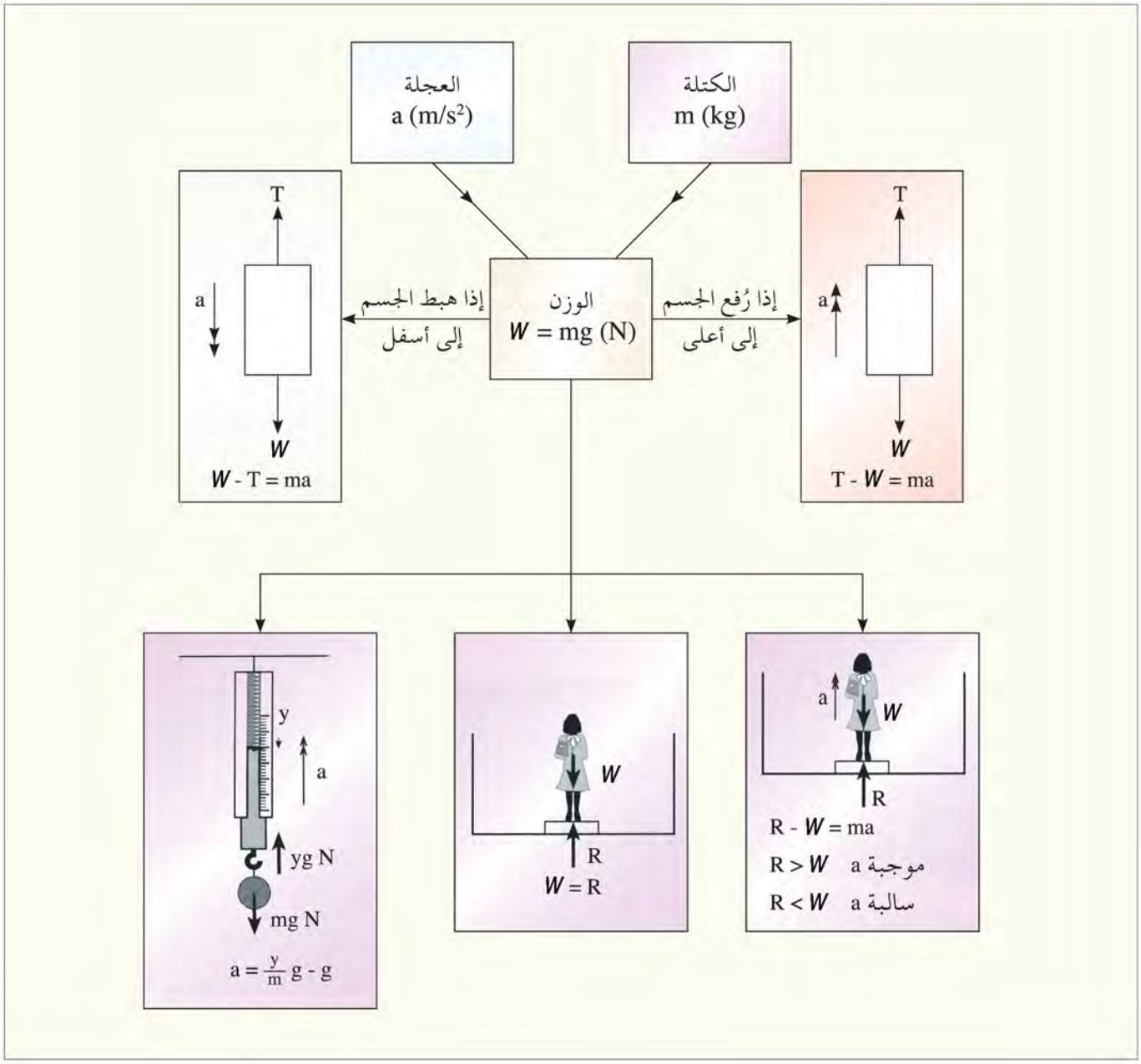
والتي يمكن إعادة ترتيبها :

$$a = \frac{g}{m}y - g$$

ويمكن استخدام هذا الجهاز لقياس العجلة ويدعى المعجل (جهاز قياس العجلة) من خلال قراءة الميزان الزنبركي(y)وباستخدام المعادلة لحساب العجلة(a).

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

خريطة مفاهيم



جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

المهارة: الفهم والتطبيق

اشـترى خالد ميزانًا جديدًا للحمام ووضعه داخل المصعد ووقف عليه فوجد أنه قرأ 60 kg، وعندما بدأ المصعد في الحركة إلى أعلى تغيرت القراءة إلى 69 kg، ثم عادت مرة أخرى أثناء حركة المصعد إلى أعلى إلى 60 kg، وعندما اقترب المصعد من الطابق الذي يسكنه خالد هبطت القراءة إلى 42 kg.
اعتقد خالد أن هذا الميزان غير دقيق.

هل تشارك خالد هذا الاعتقاد؟

_____

هل تستطيع أن تفسر لخالد ما حدث؟

_____

ما دلالة القراءة الأولى 60 kg؟

_____

لماذا زادت قراءة الميزان إلى 69 kg عند بداية حركة المصعد إلى أعلى؟

_____

هل تستطيع حساب عجلة حركة المصعد؟

_____

لماذا عادت قراءة الميزان إلى 60 kg مرة أخرى؟

_____

ما هي عجلة حركة المصعد حينئذٍ؟

_____

لماذا هبطت قراءة الميزان إلى 42 kg قبل نهاية المرحلة الأخيرة؟

_____

هل تستطيع حساب عجلة حركة المصعد حينئذٍ؟

_____

ماذا تتوقع أن تكون قراءة الميزان عندما تفتح أبواب المصعد؟

_____

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

التمرين الثاني

تمارين 12– أ

1. أوجد وزن الآتي:
(أ) طفل رضيع كتلته(3 kg).
(ب) عملة معدنية كتلتها(10 g).
(جـ) شجرة كتلتها(800 kg).

2. شحنة أمتعة وزنها(170 N). أوجد كتلتها.

3. رافعة ترفع حمولة(350 kg)وكان الشد في السلك عندما ترفع الحمولة(4200 N). احسب عجلة الحمولة.

4. يتحرك المصعد الذي يرفع عمال المناجم إلى سطح المنجم بعجلة قدرها ($1.2\ m/s^2$) فإذا كانت الكتلة الكلية للقفص وعمال المنجم(1600 kg). أوجد الشد في سلك المصعد.

5. الكتلة الكلية لمنطاد الهواء الساخن وحمولته (1300 kg). كم يكون الدفع العلوي عندما يتحرك المنطاد بسرعة ثابتة؟ وعندما يتم التخلّص من(50 kg)من حمولته. أوجد العجلة الفورية للمنطاد بفرض إهمال مقاومة الهواء (الدفع العلوي هو قوة الطفو الصاعدة والتي لا تتغير عندما يرمى الثقل خارج المنطاد).

6. كرة فولاذية كتلتها(1.8 kg) تسقط عموديًّا في الماء بعجلة قدرها ($5.6\ m/s^2$). أوجد مقدار القوة التي تقاوم حركة الكرة.

7. في محاكاة لإقلاع مركبة فضائية، رائد فضاء كتلته (85 kg)يشعر بقوة ثابتة من المقعد مقدارها (7000 N). احسب عجلة رائد الفضاء في المحاكاة.

8. طفل كتلته(45 kg)محصور على الشاطئ الذي يتعرض للمد، عامل انقاذ كتلته(75 kg)ينزل أسفل بالحبل من قمة منحدر وتم رفعهما سويًّا بعجلة ثابتة مقدارها ($0.6\ m/s^2$). أوجد الشد في السلك لمرحلة الاعتلاء. وعندما كانا بالقرب من قمة المنحدر كان الشد في السلك(1020 N)وكانا يتحركان بعجلة تقصيرية ثابتة. احسب مقدار العجلة التقصيرية.

9. أقصى حمولة لرافعة كتلتها(600 kg)يمكن أن تحمله هي(450 kg). أوجد الشد في السلك عندما يحمل أقصى حمولة له ويتحرك:
(أ) إلى أعلى بعجلة مقدارها ($0.2\ m/s^2$).
(ب) بسرعة ثابتة ($3\ m/s$).
(جـ) إلى أسفل بعجلة مقدارها ($0.2\ m/s^2$).
(د) إلى أسفل بعجلة تقصيرية مقدارها ($0.2\ m/s^2$).

10. إذا كان الشد في سلك عمودي(1250 N)عندما يرفع عارضة بسرعة ثابتة. احسب الشد في السلك عندما ترفع العارضة بعجلة قدرها ($0.2\ m/s^2$) بفرض إهمال مقاومة الهواء.

11. منطاد كتلته(840 kg)يرتفع عموديًّا بسرعة ثابتة، كنتيجة للتخلّص من بعض أثقاله يعجل المنطاد فورًا بمعدل ($0.5\ m/s^2$). احسب كتلة الثقل المتخلص منه.

12. تشعر مظلية بمقاومة(RN)عندما يتحرك بسرعة(v m/s) وحيث ($R = 135v$) وبافتراض أن المظلية تتحرك بشكل عمودي إلى أسفل في كل وقت وفي اللحظة التي تتحرك فيها بسرعة ($8\ m/s$) كانت عجلتها التقصيرية تساوي ($2\ m/s^2$) أوجد كتلتها. فإذا تناقصت سرعتها حتى وصلت إلى مقدار ثابت، أوجد هذه السرعة.

13. حجر كتلته(0.1 kg)يسقط عموديًّا في بحيرة بسرعة ارتطام ($15\ m/s$) ويغوص مسافة(18 m)في 2 s. أوجد قوة المقاومة بافتراض أنها ثابتة التأثير.

14. وعاء كتلته(4 kg)ينزل أسفل بئر بسرعة ثابتة أوجد الشد في حبل التنزيل عندما امتلأ الوعاء بالماء رفع بعجله تابتة مقدارها ($0.8\ m/s^2$) فإذا كان الشد في الحبل أثناء الرفع يساوي(216 N)، احسب كمية الماء في الوعاء.

15. رُفعت حمولة كتلتها M بعجلة ثابتة من السكون حتى وصلت سرعتها v في مسافة S وكان الشد في السلك T. أوجد تعبيرًا للمسافة S بدلالة T، M، g، v.

16. حاوية كتلتها الكلية(200 kg)تحمل على سفينة شحن باستعمال نظام البكرات مثل النوع المستعمل في المثال 3–3 باستخدام سلكين عموديين في هذه العملية رفعت الحاوية رأسيًّا إلى أعلى من على سطح الأرض إلى ارتفاع قدره (hm)في الثلاث ثواني الأولى، حيث كان الشد في السلك الواحد يساوي(1200 N)وفي الثانية التالية تحركت الحاوية بسرعة ثابتة وفي الثواني الست التالية قبل أن تقف كان الشد في كل سلك يساوي T. أوجد قيمة كل من الارتفاع h والشد T.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

17. حمولة وزنها(7 kN)تُرفع من السكون بعجلة ثابتة بواسطة سلك وبعد رفع الحمولة مسافة(20 m) وارتخى السلك فجأه واستمرت الحمولة في الصعود إلى مسافة(4 m)قبل السكون لحظيًا بافتراض إهمال مقاومة الهواء. أوجد الشد في السلك قبل أن يصبح بطيئًا.

تمارين 12- ب

1. يستقر كتاب على سطح منضدة وكانت قوة الاتصال العمودية المؤثرة على الكتاب من المنضدة تساوي (28N). أوجد كتلة الكتاب.

2. تستقر عربة كتلتها(4 Tonne)على منصة. أوجد قوة الاتصال العمودية المؤثرة على العربة من المنصة في حالة أن:
(أ) المنصة مستقرة.
(ب) المنصة هابطة بعجلة ($0.5\ m/s^2$).

3. يستقر برميل زيت كتلته (250 kg) على سطح الأرض ربط البرميل بسلك رأسيًا وزيد الشد تدريجيًا وفي أحد المراحل كان الشد في السلك (1800N). أوجد مقدار قوة الاتصال العمودية بين البرميل والأرض في هذه الحالة. ماذا يحصل لو أصبحت قيمة الشد (2500 N).

4. تقف فتاة كتلتها (38kg) في مصعد. أوجد قوة الاتصال العمودية المؤثرة على قدمي الفتاة من أرضية المصعد عندما يكون المصعد:
(أ) ساكنًا.
(ب) متحركًا إلى أعلى بعجلة ($1.8\ m/s^2$).
(جـ) متحركًا إلى أعلى بسرعة ثابتة قدرها (4 m/s).

5. ترفع رافعة لشاحنة حاوية لنضائد السيارات بعجلة ($1.5\ m/s^2$) فإذا كانت قوة الاتصال العمودية المؤثرة على الحاوية من أذرع الرافعة الأفقية تساوي (1610N). أوجد كتلة الحمولة.

6. تستقر طائرة نفاثة كتلتها 7 Tonne على طابق في حاملة طائرات والذي يمكن تنزيله إلى أسفل ليسمح للطائرة النفاثة بالسكون داخل الناقلة. أوجد مقدار قوة الاتصال العمودية المؤثرة على إطارات الطائرة من الجزء النازل من الطابق عندما يهبط بعجلة ($0.4m/s^2$).

7. طيار لمنطاد الهواء الساخن كتلته (85kg) بمجرد مغادرة المنطاد الأرض ازدادت قوة الاتصال العمودية المؤثرة على الطيار من سطح المنطاد حتى أصبحت (901N) ويقف خلال المرحلة الأولى من الارتفاع. احسب عجلة المنطاد في هذه المرحلة من الحركة.

8. عندما يقف رجل على ميزان حمام موضوع على أرضية مصعد ساكن تكون القراءة (90kg). وعندما تحرك المصعد إلى أعلى وجد أن القراءة كانت (86kg). فسر هذا التغير وصف حركة المصعد في هذه المرحلة.

9. تحرك مصعد إلى أسفل من السكون بعجلة ثابتة وقطع مسافة s في زمن t حيث ($s - \frac{1}{6}gt^2$). وضع صندوق كتلته m على أرضية المصعد أوجد قوة الاتصال العمودية المؤثرة على الصندوق من سطح المصعد بدلالة m و g.

10. وصل ميزان زنبركي بسقف مصعد متحرك إلى أسفل، وعندما علق جسم كتلته (8kg) في الميزان الزنبركي كانت القراءة عليه (8.4kg) وضح أن المصعد تباطأ ثم أوجد مقدار عجلته التقصيرية.

11. يقف رجل كتلته (M kg)وابنه كتلته (m kg) في مصعد، فعندما يتحرك المصعد إلى أعلى بعجلة مقدارها ($1\ m/s^2$) كان مقدار قوة الاتصال العمودية المؤثرة على الرجل بواسطة المصعد تساوي (880 N)، وعندما تحرك المصعد بسرعة ثابتة كان مجموع قوة الاتصال العمودية المؤثرة على الرجل والطفل بواسطة أرضية المصعد (1000N). أوجد قيمة كل من M و m.

12. علق ميزان زنبركي في سقف مصعد، وعلقت في الميزان حقيبة وزنها (10 m N)بواسطة سلك. عندما تسارع المصعد إلى أعلى بعجلة قدرها ($a\ m/s^2$)كانت القراءة عليه (125 N)، وعندما تسارع إلى أسفل بعجلة قدرها ($a\ m/s^2$)كانت القراءة (90N). أوجد قيمة كل من m و a.

تمارين متنوعة 12

1. طرد إغاثة غذائي كتلته (80 kg) يُنزل عموديًا من مروحية عن طريق سلك بإهمال مقاومة الهواء. احسب الشد في السلك عندما يُنزل الطرد بعجلة مقدارها ($0.5\ m/s^2$).

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

2. يقف طفل كتلته (60 kg) في مصعد يتحرك إلى أعلى بعجلة مقدارها ($0.5\ m/s^2$). ارسم القوى المؤثرة على الطفل ثم أوجد قيمها.

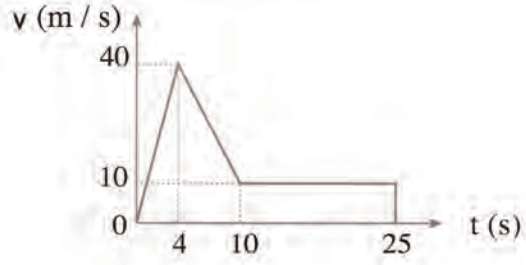
3. عندما تحرك حمل إلى أسفل بسرعة ثابتة مقدارها (2 m/s) كان الشد في السلك الداعم (6000N). احسب الشد في السلك عندما يتحرك الحمل إلى أسفل بعجلة قدرها ($2\ m/s^2$).

4. يهبط منطاد كتلته (680 kg) بعجلة ثابتة مقدارها ($0.4\ m/s^2$). أوجد قوة الدفع المؤثرة على المنطاد، وعندما وصلت سرعته إلى (1.5 m/s) خفف منه حتى وصلت عجلته ($0.2\ m/s^2$). احسب:
(أ) مقدار ما تم تخفيفه.
(ب) الزمن الذي يواصل فيه المنطاد الهبوط قبل أن يبدأ في الارتفاع.

5. لاعبة سيرك كتلتها m تهبط على حبل عمود من ارتفاع h وفي الثلاثة أرباع الأولى من هبوطها تمسك الحبل بيدها وساقيها لكي تنتج قوة احتكاك تُعادل $\frac{5}{9}$ وزنها ثم تشد قبضتها لكي تصل إلى السكون عند نهاية الحبل. ارسم بيانيًا (v، t) لتوضيح هبوطها أوجد قوة الاحتكاك المبذولة في الربع الأخير إذا كان ارتفاع الحبل 60m.
واحسب:
(أ) أقصى سرعة لها.
(ب) الزمن المستغرق في الهبوط.

6. يسقط مفك كتلته 0.15kg من عامل بناء في حوض به ماء عمقه 1 متر ويدخله بسرعة (8 m/s) ويصطدم بقاع الحوض بسرعة (9 m/s).
(أ) ما هي القوى المؤثرة على المفك في الماء عدا وزنه.
(ب) بافتراض أن المفك يسقط في الماء بعجلة ثابتة ($a\ m/s^2$). احسب (a) ثم أوجد قوة المقاومة لحركة المفك في الماء.

7. يوضح الشكل المبين رسما تقريبيا لـ (v، t) لحركة مظلي يهبط عموديًا، حيث (vm/s) سرعته بعد زمن (t (s من قفزه من الطائرة، استعمل المعلومات المعطاة في الشكل لوصف مختصر لهبوط المظلي ولحساب الارتفاع الذي قفز منه المظلي، فإذا كانت كتلته 90 kg احسب القوة المؤثرة إلى أعلى على المظلة عندما $t = 7s$. اذكر طريقتين صحيحتين يمكن قبولهما لرسم (v، t) لحركة المظلي تختلف عن الرسم التقريبي للشكل الموضح.



جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الوحدة 13

Force as a vector quantity

القوة ككمية متجهة

في هذه الوحدة سنتعامل مع القوة على أنها كمية متجهة، وعندما تنتهي من دراسة هذه الوحدة يجب أن:

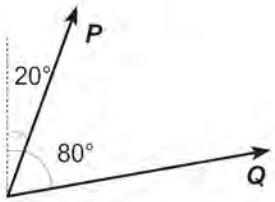
- تفهم معنى المحصلة والمركبة.
- تكون قادراً على إيجاد محصلة قوتين أو أكثر.
- تكون قادراً على إيجاد مركبات القوة في اتجاهين.
- تفهم جمع وطرح المتجهات.
- تستطيع التعبير عن توازن قوتين أو أكثر.
- تكون قادراً أن تمثل ثلاث قوى بمثلث القوى.

1.13 توحيد القوى هندسيا (Combining force geometrically)

درسنا مفاهيم ميكانيكية مثل الإزاحة والسرعة والعجلة والقوة والشيء الذي يجمع بين هذه المفاهيم هو أننا – لكي نصفها – نحتاج إلى المقدار والاتجاه، وهذه الكميات الميكانيكية تعرف بأنها كميات متجهة (vector quantities).

في المقابل هناك كميات فيزيائية أخرى نحتاج لوصفها معرفة مقدارها فقط، مثل طاقة الحركة والكتلة، وهذه الكميات تسمى بالكميات غير المتجهة أو كميات عددية (scalar quantities).

نعبر عن الكمية المتجهة بحرف أسود داكن، أو يكون على الحرف سهم، مثل ($\vec{P}$)، يمثل الكمية المتجهة – هندسياً – سهم يعين اتجاه المتجه كما في الشكل(1.13)، وطول السهم يتناسب مع طول المتجهة، فطول المتجه ($\vec{P}$) مثلا ($2\ cm$) واتجاهه يصنع



الشكل (1.13)

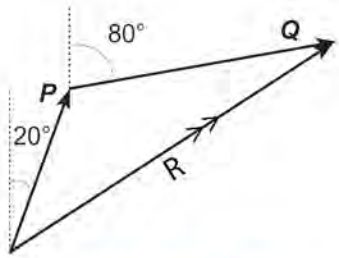
جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

زاوية مقدارها ($20°$) مع العمودي، فإذا كان كل ($1\ cm$) يمثل ($5\ N$) فان مقدار القوة (P) هو ($10\ N$)، أما مقدار القوة (Q) فهو ($15\ N$) فيكون طول السهم ($3\ cm$) وهي تصنع زاوية مقدارها ($80°$) مع العمودي.

الآن افرض أن القوتين ($\overrightarrow{P}$)، ($\overrightarrow{Q}$) تؤثران علي جسيم في آن واحد،

في أي اتجاه سيتحرك الجسيم ؟

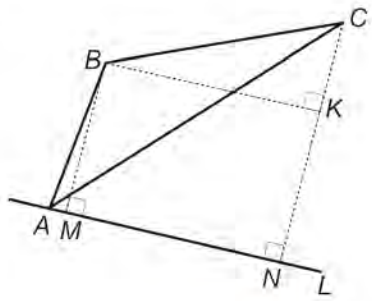
للإجابة على هذا السؤال يجب إيجاد قوة واحدة تمثل القوتين ($\overrightarrow{P}$)،($\overrightarrow{Q}$) تمثيلا تاما، وهذا يمكن عمله بأخذ السهم الذي يمثل ($\overrightarrow{Q}$) ووضع نهايته علي رأس السهم الذي يمثل($\overrightarrow{P}$)، بحيث يصنع زاوية مقدارها ($80°$) مع العمودي كما في شكل(2.13)، ثم توصيل نهاية السهم الذي يمثل القوة ($\overrightarrow{P}$) برأس السهم الذي يمثل القوة ($\overrightarrow{Q}$). هذا السهم الذي يمثل القوة ($\overrightarrow{R}$) له تأثير القوتين معا، ويسمى بالمحصلة (resultant) للقوتين ($\overrightarrow{P}$)، ($\overrightarrow{Q}$).



الشكل (13-2)

فإذا قسنا طول السهم الذي يمثل المحصلة فإننا سنجده ($4.4\ cm$)، وحيث إن كل ($1\ cm$) يمثل ($5\ N$)، فان مقدار المحصلة يكون ($22\ N$)، ونجد أن الزاوية التي تصنعها المحصلة مع العمودي هي ($57°$).

ولتفسير ذلك، أنظر إلي الشكل(3-13)، فنرى أن الخطوط (AB)، (BC)، (AC)، تمثل القوتين ($\overrightarrow{P}$)، ($\overrightarrow{Q}$)، والمحصلة ($\overrightarrow{R}$).



الشكل (13-3)

ارسم الخط (AL) في أي اتجاه، ثم ارسم الخطين (CN)،(BM) بحيث يكونان عموديين على الخط (AL)، والخط (BK) بحيث يكون موازياً للخط (AL)، فترى أن:

$$AN = AM + MN = AM + BK$$

يمثل الخط (AB) القوة ($\overrightarrow{P}$) التي مقدارها ($10\ N$)، وهذا يعني أن طول (AM) يمثل ($10 \cos \angle BAL\ N$)، وهي مركبة ($\overrightarrow{P}$) في اتجاه (AL)، وبنفس الطريقة يمثل (BK) و(AN) مركبتي القوة ($\overrightarrow{Q}$)، والمحصلة ($\overrightarrow{R}$). في اتجاه (AL).

أي أن: $(AM+BK=AN)$

وهذا يوضح أن تأثير القوتين ($\overrightarrow{P}$)،($\overrightarrow{Q}$) معا في اتجاه (AL)، يساوي تأثير المحصلة في نفس الاتجاه (AL).

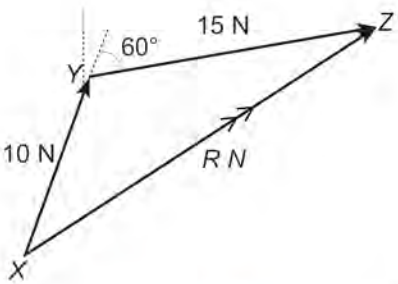
مثال 13 . 1 :

أوجد المحصلة ($\overrightarrow{R}$) للقوتين ($\overrightarrow{P}$)، و($\overrightarrow{Q}$) الموضحين في شكل (4-13) جبريا.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الحل:

مثلنا هذه القوي في الشكل (**2.14**) بالمثلث (XYZ)، بحيث كان($XY = 10\ N$)، و($YZ = 15\ N$)، و($XZ = R$)، وأيضا الزاوية بين اتجاه ($\overrightarrow{P}$)، و($\overrightarrow{Q}$) هي ($80° - 20° = 60°$)، وبالتالي تكون الزاوية (XYZ) ($180° - 60° = 120°$).



الشكل(4.13)

وباستخدام قاعدة جيب التمام (*The cosine rule*)

$$R^2 = 10^2 + 15^2 - 2 \times 10 \times 15 \cos 120°$$

$$R^2 = 100 + 225 - 300 \times (0.5) = 475$$

أو:

$$R = \sqrt{475} = 21.79\ N$$

أي أن مقدار المحصلة ($\overrightarrow{R}$) هو ($21.79\ N$)، ولإيجاد اتجاه المحصلة، أي اتجاه مقدار الزاوية (YXZ) نستخدم قاعدة الجيب (*Sin rule*)، أي أن:

$$\frac{15}{\sin \angle YXZ} = \frac{R}{\sin 120°}$$

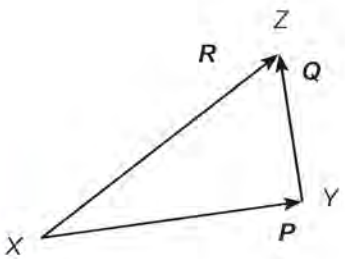
أو:

$$\sin \angle YXZ = \frac{15 \times \sin 120°}{21.79} = 0.596$$

أو:

$$\angle YXZ = 36.58°$$

أي أن اتجاه المحصلة يصنع مع العمودي زاوية مقدارها ($20+36.58° = 56.58°$).



الشكل(5.13)

هناك حالة خاصة، وهي أنه عندما تكون القوتان متعامدتين كما في شكل (5.13)، وفي هذه الحالة تكون:

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad \tan \angle YXZ = \frac{Q}{P}$$

2.13 تحليل القوة إلى مركبات

(Splitting a force into components)

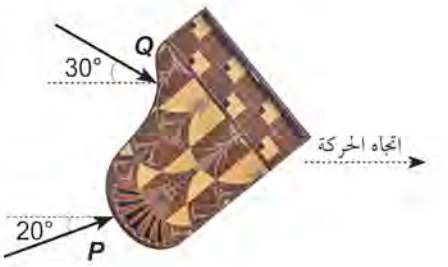
افرض أنك تريد أن تحرك شيئاً ثقيلاً، ولكن ليس لديك القوة لتفعل ذلك وحدك تستعن بصديق، وتأمل أن تكون قوتكما كافية لذلك، فكم من قوة على كل منكما أن يبذل؟

هذه عكس المسألة التي ناقشناها في الفقرة السابقة، فأنت الآن تعرف المحصلة ($\overrightarrow{R}$) وتريد أن تجد القوتين ($\overrightarrow{P}$)، و($\overrightarrow{Q}$). وتسمى القوتان ($\overrightarrow{P}$)، و ($\overrightarrow{Q}$) بمركبتي ($\overrightarrow{R}$).

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

مثال 2.14

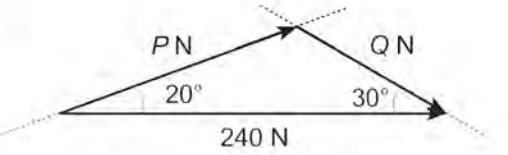
يريد رجلان تحريك بيانو على خشبة مسرح. ولعمل ذلك فإنهما يحتاجان إلى قوة مقدارها ($240\ N$)، فيدفع الأول بقوة ($\overrightarrow{P}$) والتي تصنع زاوية مقدارها ($20°$) في الاتجاه المطلوب، والثاني بقوة ($\overrightarrow{Q}$) والتي تصنع زاوية مقدارها ($30°$) كما في الشكل (13-6). أوجد القوة التي يدفع بها كل رجل؟



الشكل (13-6)

الحل:

يوضح الشكل (6.13) الوضع الحقيقي للمسألة، والشكل (7.13) يرسم مثلث القوى لحساب القوتين ($\overrightarrow{P}$)، و($\overrightarrow{Q}$)، حيث القوة ($\overrightarrow{P}$) تصنع زاوية مقدارها ($20°$) مع المحصلة، والقوة ($\overrightarrow{Q}$) تصنع زاوية مقدارها ($30°$) مع المحصلة، فتكون زاوية المثلث الثالثة ($130°$)، وباستخدام قاعدة الجيب نجد أن:



الشكل (13-7)

$$\frac{P}{\sin 30°} = \frac{Q}{\sin 20°} = \frac{240}{\sin 130°}$$

أي أن: $$P = \frac{240}{\sin 130°} \times \sin 30° = 156.65\ N$$

و $$Q = \frac{240}{\sin 130°} \times \sin 20° = 107.15\ N$$

أي أن الرجلين يجب أن يدفعا البيانو بقوتين هما ($156.65\ N$) و($107.15\ N$).

تمارين 13-أ

1. باستخدام مقياس رسم مناسب، أوجد محصلة القوتين ($\overrightarrow{P}$)، و($\overrightarrow{Q}$) في الحالات التالية، ثم تحقق من الإجابة بواسطة الحساب:
   أ). مقدار ($\overrightarrow{P}$) ($15\ N$) وتصنع مع العمودي زاوية مقدارها ($25°$)، ومقدار ($\overrightarrow{Q}$) ($10\ N$)، وتصنع مع العمودي زاوية مقدارها ($75°$).
   ب). مقدار ($\overrightarrow{P}$) ($20\ N$) وتصنع مع العمودي زاوية مقدارها ($30°$)، ومقدار ($\overrightarrow{Q}$) ($15\ N$) وتصنع مع العمودي زاوية مقدارها ($115°$).
   ج). مقدار ($\overrightarrow{P}$) ($25\ N$) وتصنع مع العمودي زاوية مقدارها ($45°$)، ومقدار ($\overrightarrow{Q}$) ($20\ N$) وتصنع مع العمودي زاوية مقدارها ($200°$).
   د). مقدار ($\overrightarrow{P}$) ($10\ N$) وتصنع مع العمودي زاوية مقدارها ($65°$).

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية - ليبيا

و مقدار ($\overrightarrow{Q}$) ($5\ N$) وتصنع مع العمودي زاوية مقدارها ($310°$).

2. تُدفع سيارة بواسطة رجلين، مقدار القوة واتجاهها التي يبذلها كل رجل مبينة في الشكل، أوجد محصلة القوتين.

3. باستخدام مقياس الرسم، أوجد محصلة القوتين ($\overrightarrow{P}$)، و($\overrightarrow{Q}$) في الحالات التالية، ثم تحقق من الإجابة بواسطة الحساب:

أ). مقدار ($\overrightarrow{P}$) ($20\ N$) واتجاهها مع العمودي ($30°$)، واتجاه ($\overrightarrow{Q}$) مع العمودي($65°$) واتجاه المحصلة ($\overrightarrow{R}$) مع العمودي ($45°$).

ب). مقدار ($\overrightarrow{P}$) ($25\ N$) واتجاهها مع العمودي ($35°$)، واتجاه ($\overrightarrow{Q}$) مع العمودي ($125°$)، واتجاه المحصلة ($\overrightarrow{R}$) مع العمودي ($60°$).

ج). مقدار ($\overrightarrow{P}$) ($15\ N$) واتجاهها مع العمودي($50°$)، واتجاه ($\overrightarrow{Q}$) مع العمودي ($210°$)، واتجاه المحصلة ($\overrightarrow{R}$) مع العمودي ($100°$).

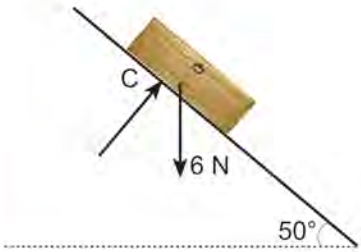
د). مقدار ($\overrightarrow{P}$) ($30\ N$) واتجاهها مع العمودي($75°$)، واتجاه ($\overrightarrow{Q}$) مع العمودي ($330°$)، واتجاه المحصلة ($\overrightarrow{R}$) مع العمودي ($35°$).

4. تلعب طفلة وزنها ($450\ N$) في أرجوحة، تؤثر عليها القوة ($\overrightarrow{P}$) بزاوية مقدارها ($35°$) كما في الشكل، فإذا كانت محصلة القوة ($\overrightarrow{P}$) ووزن الطفلة في اتجاه الأفقي:

أ). أوجد مقدار المحصلة.

ب). حدد اتجاه العجلة التي تتحرك بها الطفلة.

ج). أوجد مقدار العجلة التي تتحرك بها الطفلة.



5. ينزلق صندوق وزنه ($6\ N$) على سطح أملس مائل بزاوية ($50°$) مع الأفقي، أثرت عليه قوة ($\overrightarrow{C}$) كما في الشكل، المقابل فإذا كانت المحصلة لوزن الصندوق والقوة ($\overrightarrow{C}$) في اتجاه السطح، أوجد:

أ). مقدار المحصلة.

ب). مقدار القوة $\overrightarrow{C}$.

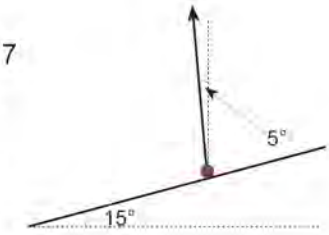
ج). مقدار العجلة التي يتحرك بها الصندوق.

6. تؤثر القوة ($\overrightarrow{F}$) في الاتجاه الأفقي نحو الشرق ولها مركبتان ($\overrightarrow{P}$)، و($\overrightarrow{Q}$)، فإذا كانت المركبة ($\overrightarrow{P}$) معروفة أوجد مقدار المركبة ($\overrightarrow{Q}$) في الحالات التالية:

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

أ). مقدار ($\overrightarrow{F}$) ($20\,N$) واتجاهها مع العمودي ($50°$).

ب). مقدار ($\overrightarrow{F}$) ($20\,N$) واتجاهها مع العمودي ($120°$).



7. ينزلق جسم على سطح مائل بزاوية مقدارها ($15°$) مع الأفقي، أثرت عليه قوة مقدارها ($50\,N$) تصنع زاوية مقدارها ($5°$) مع العمودي كما في الشكل أوجد مركبتي القوة:

أ). في اتجاه السطح، وفي الاتجاه العمودي على السطح.

ب). في الاتجاه الأفقي، وفي الاتجاه العمودي.

3.13 توحيد القوى بواسطة المركبات المتعامدة

(Combining forces by perpendicular components)

عملية تحليل وتوحيد القوى في اتجاهين متعامدين يجعلنا نفكر في طريقة أخرى لإيجاد المحصلة لقوتين أو أكثر:

الخطوة الأولى: اختر اتجاهين متعامدين.

الخطوة الثانية: حلل كل قوة إلى مركبتين في الاتجاهين المتعامدين.

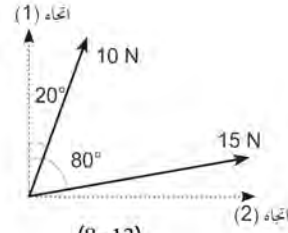
الخطوة الثالثة: في كل اتجاه، أوجد مجموع المركبات.

الخطوة الرابعة: أوجد المحصلة لمجموع المركبات.

الخطوة الخامسة: أوجد اتجاه المحصلة

مثال 1.3.13

استخدم هذه الطريقة لإيجاد محصلة القوتين ($\overrightarrow{P}$)، و($\overrightarrow{Q}$) الموضحتين في شكل (8.13).



(8-13)

الحل:

اختر الاتجاهين المتعامدين اللذين في الشكل المقابل، فتكون مركبتا ($\overrightarrow{P}$):

في الاتجاه (1) $10 \cos 20° = 9.39\ N$

وفي الاتجاه (2) $10 \sin 20° = 3.42\ N$

ومركبتا ($\overrightarrow{Q}$) في الاتجاه (1) $15 \cos 80° = 2.61\ N$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

وفي الاتجاه (2) $15 \sin 80° = 14.77\ N$

فيكون مجموع المركبتين في الاتجاه (1) $9.39 + 2.61 = 12\ N$

وفي الاتجاه (2) $3.42 + 14.77 = 18.19\ N$

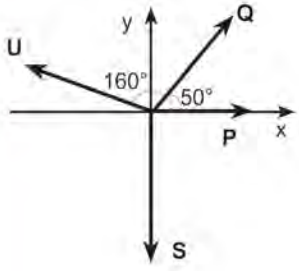
فيكون مقدار المحصلة $(\vec{R})$ $\vec{R} = \sqrt{(12)^2 + (18.19)^2} = 21.79\ N$

واتجاه المحصلة

$$\theta = \tan^{-1} \frac{18.19}{12} = 57°$$

مثال 2.3.13

تؤثر أربع قوى على جسيم كما في شكل (9.13)، أوجد المحصلة $(\vec{R})$، إذا كان مقدار $(\vec{P})$ $(6\ N)$، و$(\vec{Q})$ $(8\ N)$، و$(\vec{S})$ $(12\ N)$، و$(\vec{U})$ $(10\ N)$.



الشكل (13-9)

الحل:

نجد المركبة في اتجاه (x) لكل قوة:

للقوة $(\vec{P})$: $6 \cos 0° = 6\ N$

للقوة $(\vec{Q})$: $8 \cos 50° = 5.14\ N$

للقوة $(\vec{S})$: $12 \cos 270° = 0.0\ N$

للقوة $(\vec{U})$: $10 \cos 160° = -9.4\ N$

ونجد المركبة في اتجاه (y) لكل قوة:

للقوة $(\vec{P})$: $6 \sin 0° = 0.0\ N$

للقوة $(\vec{Q})$: $8 \sin 50° = 6.13\ N$

للقوة $(\vec{S})$: $12 \sin 270° = -12.0\ N$

للقوة $(\vec{U})$: $10 \sin 160° = 3.42\ N$

فيكون مجموع المركبات الأفقية (اتجاه(x)) هو:

$$x = 6 + 5.14 + 0.0 - 9.4 = 1.74\ N$$

ومجموع المركبات العمودية (اتجاه(y)) هو:

$$Y = 0.0 + 6.13 - 12.0 + 3.42 = -2.45\ N$$

فيكون مقدار المحصلة:

$$R = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{(1.74)^2 + (-2.45)^2} = 3.0\ N$$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

واتجاهها:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{-2.45}{1.74} = -54.6^\circ$$

وهذا يعني أن المحصلة تميل على المحور(x) بزاوية مقدارها

$$180^\circ - 54.6^\circ = 125.4^\circ$$

4.13 تحليل القوى جبرياً (Using algebraic notation)

تسمى عملية إيجاد المحصلة ($\vec{R}$) للقوتين ($\vec{P}$)، و($\vec{Q}$) بجمع المتجهات (*Vector addition*)، وتكتب كالتالي:

$$\vec{R} = \vec{P} + \vec{Q}$$

وهذا الجمع يختلف تماماً عن الجمع العادي، فإذا كان مقدار ($\vec{P}$) ($10\,N$) ومقدار ($\vec{Q}$) ($5\,N$)، فليس من الضروري أن يكون مجموعهما ($15\,N$).

إذا استعملنا طريقة التحليل لإيجاد المحصلة، فإنه يمكننا أن نعبر عن المركبتين في الاتجاهين (x) و (y) بـ$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix}$، والذي يُسمى بعمود المتجه (*Column vector*) وعليه فإنه يمكن حل المثال (2.3.7) كالآتي:

$$\vec{R} = \vec{P} + \vec{Q} + \vec{S} + \vec{U}$$

$$\vec{R} = \begin{pmatrix} 6 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 8\cos 50^\circ \\ 8\sin 50^\circ \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -12 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 10\cos 160^\circ \\ 10\sin 160^\circ \end{pmatrix}$$

$$\vec{R} = \begin{pmatrix} 6 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 5.14 \\ 6.13 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -12 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -9.4 \\ 3.42 \end{pmatrix}$$

$$\vec{R} = \begin{pmatrix} 6 + 5.14 + 0 + (-9.4) \\ 0 + 6.13 + (-12) + 3.42 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.74 \\ -2.45 \end{pmatrix}$$

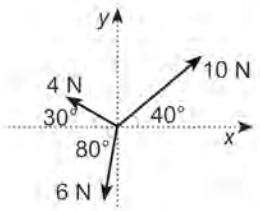
تمارين 13-ب

1. أعد حل المسألة رقم (1) في التمارين (13- أ) باستخدام تحليل القوى إلى مركبتين أفقية وعمودية؟

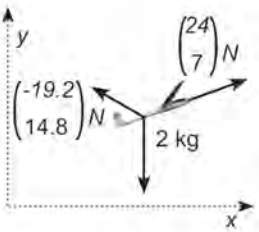
2. أوجد مقدار المحصلة واتجاهها للقوى $N\begin{pmatrix} -5 \\ 12 \end{pmatrix}$ ، و $N\begin{pmatrix} -18 \\ -8 \end{pmatrix}$، و $N\begin{pmatrix} 4 \\ 9 \end{pmatrix}$، و $N\begin{pmatrix} 4 \\ -5 \end{pmatrix}$.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

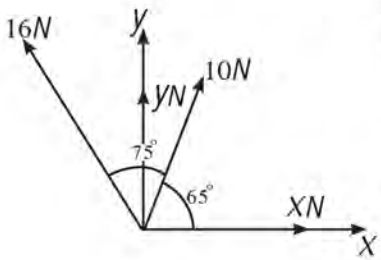
3. عبر عن القوى التي بالشكل المقابل بعمود المتجه، أوجد المحصلة على شكل عمود المتجه، ثم أوجد مقدار واتجاه المحصلة؟



4. يمثل الشكل المقابل مجسماً لطائرة كتلتها $(2\ kg)$. فإذا كانت قوة محركها $\begin{pmatrix}24\\7\end{pmatrix}N$ ومقاومة الرياح $\begin{pmatrix}-19.2\\14.8\end{pmatrix}N$، أوجد مقدار العجلة واتجاهها؟

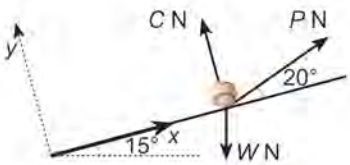


5. في الشكل المقابل، إذا كانت محصلة القوي $\begin{pmatrix}7\\24\end{pmatrix}N$. أوجد مقدار القوتين (x) و(y).



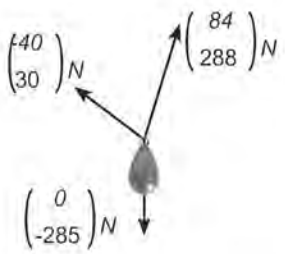
6. يتحرك جسم كتلته $(2.6\ kg)$ أفقيا في خط مستقيم تحت تأثير القوتين $\begin{pmatrix}X\\0.2\end{pmatrix}N$ و$\begin{pmatrix}0.7\\0.3\end{pmatrix}N$. فإذا زادت سرعته من $(2\ \frac{m}{s})$ إلى $(3.5\ \frac{m}{s})$ في $(3\ s)$. أوجد مقدار (x).

7. يتحرك جسم وزنه $(\overrightarrow{W})$ إلى أعلى مستوى مائل، وتؤثر عليه القوتان $(\overrightarrow{P})$ و$(\overrightarrow{C})$ كما في الشكل، أوجد المحصلة على شكل عمود المتجه؟



8. أوجد مقدار المحصلة واتجاهها للقوى $\begin{pmatrix}2\\7\end{pmatrix}N$، و$\begin{pmatrix}8\\-5\end{pmatrix}N$، و$\begin{pmatrix}-5\\10\end{pmatrix}N$.

9. ثقل وزنه $(285\ N)$ مشدود بواسطة خيطين يؤثران بقوة شد $\begin{pmatrix}84\\288\end{pmatrix}N$ و$\begin{pmatrix}-40\\30\end{pmatrix}N$ كما في الشكل، أوجد مقدار واتجاه المحصلة؟



10. يتحرك جسيم كتلته (m) أفقياً في خط مستقيم تحت تأثير القوى $\begin{pmatrix}2mx\\-m\end{pmatrix}$، و$\begin{pmatrix}m\\mx\end{pmatrix}$ و$\begin{pmatrix}mx\\2mx\end{pmatrix}$، فإذا كانت سرعة الجسيم الابتدائية $(1.5\ \frac{m}{s})$، وقطع مسافة $(7\ m)$ في زمن قدره $(2s)$. أوجد مقدار (x)؟ .

5.13 الاتزان (Equilibrium)

الاتزان هو أن تكون المحصلة لمجموعة من القوى المؤثرة على جسم تساوي صفراً،

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

وفي هذه الحالة إما أن يكون الجسم ساكناً أو يتحرك بسرعة منتظمة.

أ ـ قوتان في حالة اتزان:

الشكل (13-10)

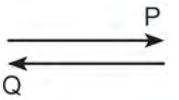
يوضح الشكل (13.10) شخصين يجذبان حبلاً في اتجاهين متضادين، فإذا كانت القوتان ($\overrightarrow{P}$)، و($\overrightarrow{Q}$) اللتان يجذبان بها الحبل متساويتين فإن المحصلة تكون صفراً (الشكل 13.10)، أي أن:

$$\overrightarrow{P} + \overrightarrow{Q} = \overrightarrow{0}$$

أو:

$$\overrightarrow{P} = -\overrightarrow{Q}$$

حيث الإشارة السالبة تعني أن تأثير القوة في عكس الاتجاه.



الشكل (13-11)

ب ـ ثلاث قوى في حالة اتزان:

المثال الأول:

صندوق كبير كتلته (80 kg). على سطح مائل بزاوية مقدارها (5°) مع الأفقي. فإذا كان الصندوق في حالة سكون نتيجة دفع شخص له بزاوية تصنع مع الأفقي (30°) كما هو موضح بالشكل (13.12) أوجد مقدار القوة التي يدفع بها الشخص.

الشكل (13-12)

المثال الثاني:

في أحد التدريبات العسكرية، يحاولون إنزال جندي كتلته (80 kg) فوق نهر بواسطة خيط مشدود إلى طائرة مروحية، فإذا أمسك الجندي بخيط النجاة الذي على حافة النهر، جُذب إلي الحافة كما هو موضح بالشكل (13.13)

فإذا كان الخيط يصنع مع العمودي زاوية مقدارها (5°)، وخيط النجاة يصنع مع الأفقي زاوية (30°)، أوجد مقدار الشد في خيط النجاة.

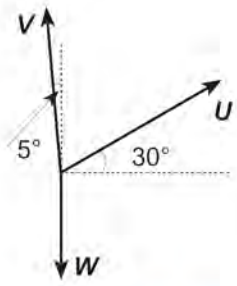
للوهلة الأولي يبدو وكأن المثالين مختلفان، ولكن إذا اعتبرنا أن الصندوق والجندي

الشكل 13-13

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

جسمان تؤثر عليهما مجموعة من القوى كما في شكل (14.13)، فإن المثالين متشابهان تماما.

فالقوة ($\vec{U}$) تمثل دفع الشخص، أو الشد في خيط النجاة، بينما تمثل القوة ($\vec{V}$) قوة الإتصال العمودية، أو الشد في خيط الطائرة المروحية. ونلاحظ أن خطوط هذه القوى تمر بنقطة واحدة تمثل الجسم، ويُسمى كل خط بخط عمل القوة.



الشكل (13-14)

في المثالين يكون الوزن ($\vec{W}$) مساوياً للقوتين ($\vec{U}$) التي تصنع زاوية مقدارها (30°) مع الأفقي و($\vec{V}$) التي تصنع زاوية مقدارها (5°) مع العمودي. فتكون محصلة ($\vec{U}$)، و($\vec{V}$) مساوية للوزن ($\vec{W}$)، وهو ما نكتبه في صيغة جبرية كالتالي:

$$\vec{U} + \vec{V} = -\vec{W}$$

أو:

$$\vec{U} + \vec{V} + \vec{W} = 0$$

وهذه المعادلة يوضحها الشكل(13. 15)، وهو ما نسميه بمثلث القوى (*triangle of forces*).

الشكل (13-15)

مثلث القوى:
إذا كانت القوى ($\vec{X}$) و ($\vec{Y}$) و ($\vec{Z}$) في حالة توازن، فإن هذه القوى يمكن أن نمثلها بأضلاع مثلث كل ضلع فيه يمثل القوة مقدارا واتجاها.

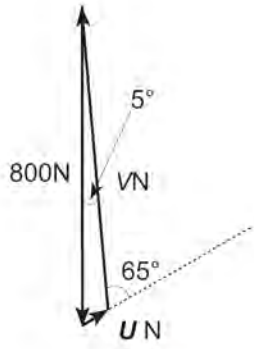
ونستطيع الآن أن نجد مقدار القوة ($\vec{U}$) إما بالرسم حسب مقياس رسم معين، أو باستخدام قاعدة الجيب، فمن الشكل(16.13)، نجد أن:

$$\frac{U}{\sin 5^\circ} = \frac{800}{\sin 115^\circ}$$

أو

$$U = \frac{800 \sin 5^\circ}{\sin 115^\circ} = 76.9\ N$$

أي أن القوة التي يدفع بها الشخص، أو الشد في خيط النجاة يساوي (76.9 N).



الشكل (13-16)

مثال 1.5.13

ثلاث خيوط معقودة مع بعض من أحد نهايتها، وفي النهاية الأخرى علقت أثقال وزنها (5 N)، و(7 N)، و(9 N) كما هو موضح شكل (17.13). فإذا كان النظام في حالة توازن، أوجد الزاويتين (α°)، و(β°).

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الحل :

تؤثر القوى $(5\ N)$، و$(7\ N)$، و$(9\ N)$ عند العقدة كما هو مبين في الشكل(18.13)، وحيث إن العقدة في حالة اتزان، فإن هذه القوى تكون مثلث قوى كما في شكل(19.13)

ونستطيع أن نجد الحل إما بواسطة الرسم حسب مقياس رسم معين، أو باستخدام حساب المثلثات كالتالي:

نستخدم قاعدة جيب التمام الزاويتين $(\alpha°)$، و$(\beta°)$

$$7^2 = 5^2 + 9^2 - 2 \times 5 \times 9 \times \cos \alpha°$$

و:

$$5^2 = 7^2 + 9^2 - 2 \times 7 \times 9 \times \cos \beta°$$

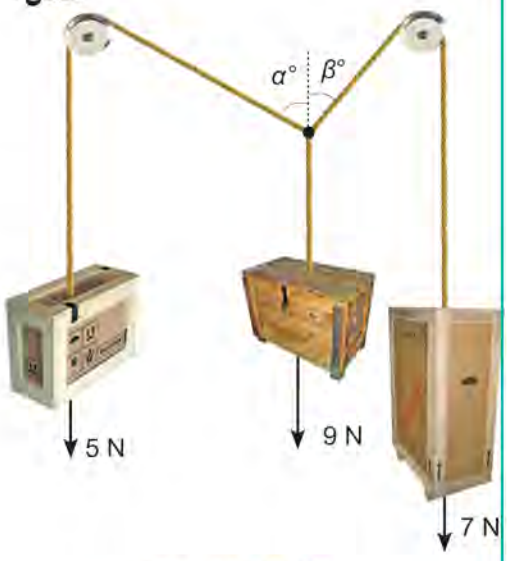
ومن المعادلتين نجد أن:

$$\cos \alpha° = \frac{57}{90}, \quad \alpha° = 50.7°$$

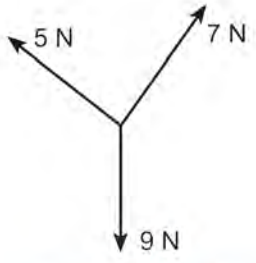
و:

$$\cos \beta° = \frac{105}{126}, \quad \beta° = 33.5°$$

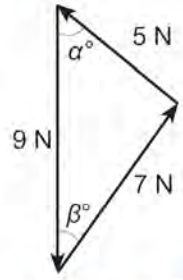
أي أن القوة $(5\ N)$ تصنع زاوية مع العمودي مقدارها $(50.7°)$ والقوة $(7\ N)$ تصنع زاوية مع العمودي مقدارها $(33.5°)$.



الشكل (13-17)



الشكل (13-18)

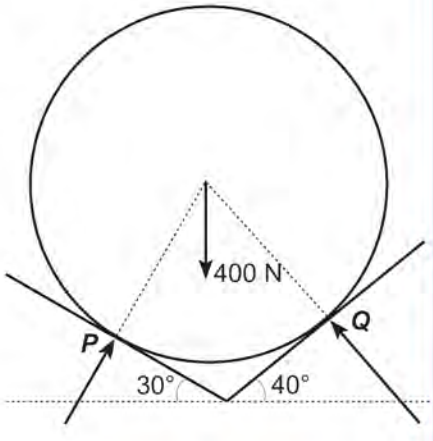


الشكل (13-19)

مثال 2.5.13

قناة مكونة من لوحين مستطيلين يميلان على الأفقي بزاويتين $(30°)$ و$(40°)$. وضع جدع شجرة أُسطواني وزنه $(400\ N)$ في القناة بحيث كان محوره أفقياً كما شكل (20.13)، أوجد مقدار قوتي التلامس العمودية $(\overrightarrow{P})$ و$(\overrightarrow{Q})$

أ.) باستخدام مثلث القوى. ب). بتحليل القوى.



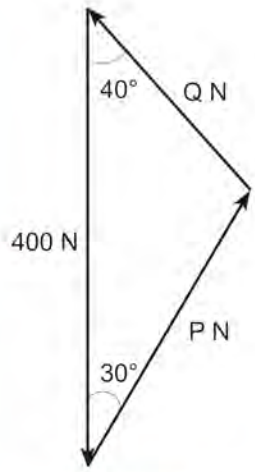
الشكل (13-20)

الحل:

أ) تصنع القوة $(\overrightarrow{P})$ زاوية مقدارها $(30°)$ مع العمودي، والقوة $(\overrightarrow{Q})$ زاوية مقدارها $(40°)$ مع العمودي، فيكون مثلث القوى كما في شكل(21.13) وباستخدام قاعدة الجيب نجد أن:

$$\frac{P}{\sin 40°} = \frac{Q}{\sin 30°} = \frac{400}{\sin 110°}$$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا



الشكل (13-21)

أي أن: $P = 400 \frac{\sin 40^\circ}{\sin 110^\circ} = 273.6\ N$

و: $Q = 400 \frac{\sin 30^\circ}{\sin 110^\circ} = 212.8\ N$

ب). نجد أولاً المركبات الأفقية للقوى الثلاث، وهي الوزن $(400\ N)$ و$(\overrightarrow{PN})$ و$(\overrightarrow{QN})$:

$$0 + P\cos 60^\circ - Q\cos 50^\circ = 0$$

أو: $$0.5P = 0.643Q$$

$$P = 1.286Q \qquad (1)$$

ثم نجد المركبات العمودية للوزن (400) $(\overrightarrow{PN})$ و$(\overrightarrow{QN})$:

$$-400 + P\sin 60^\circ + Q\sin 50^\circ = 0$$

$$-400 + 0.866P + 0.766Q = 0 \qquad (2)$$

وبالتعويض عن $(\overrightarrow{P})$ في المعادلة (2) باستخدام المعادلة (1) نجد أن:

$$-400 + 0.866(1.286Q) + 0.766Q = 0$$

أو: $$1.88Q = 400, \quad Q = 212.8\ N$$

وبالتعويض في المعادلة (1) عن $(\overrightarrow{Q})$ نجد أن:

$$\overrightarrow{P} = 1.286 \times 212.8 = 273.6\ N$$

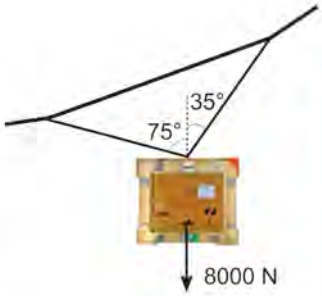
تمارين 13-جـ

1. جسم في حالة توازن تحت تأثير ثلاث قوى $(\overrightarrow{P})$و$(\overrightarrow{Q})$و$(\overrightarrow{R})$. أوجد مقدار $(\overrightarrow{Q})$ و$(\overrightarrow{R})$ في الحالتين التاليتين:

أ.) أذا كان مقدار $(\overrightarrow{P})$ $(10\ N)$ وفي الاتجاه الموجب لمحور (x)، واتجاه $(\overrightarrow{Q})$ مع العمودي (210°) واتجاه $(\overrightarrow{R})$ مع العمودي (340°).

ب). إذا كان مقدار $(\overrightarrow{P})$ $(20\ N)$ واتجاهها مع العمودي (20°)، واتجاه $(\overrightarrow{Q})$ في اتجاه الموجب للمحور (x) واتجاه $(\overrightarrow{R})$ مع العمودي (240°)

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا



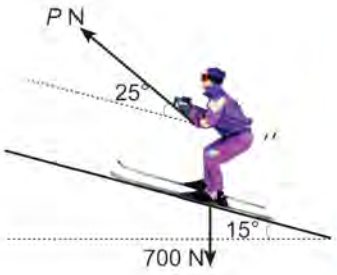
2. صندوق كبير وزنه $(8000\ N)$ مشدود بسلكين كما في الشكل، أوجد الشد في السلكين، إذا كان الصندوق ساكنا؟

3. جسم كتلته $(5\ kg)$ على سطح أملس مائل بزاوية مقدارها $(20°)$، فإذا كان الجسم ساكنا تحت تأثير قوة مقدارها $(\overrightarrow{P})$ واتجاهها إلى أعلى السطح، أوجد:

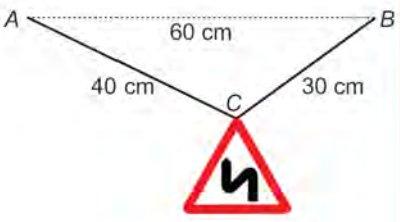
أ.) القوة التي يؤثر بها السطح على الجسم.

ب). القوة التي يؤثر بها الجسم على السطح.

ج). مقدار $(\overrightarrow{P})$.



4. يُجذب متزلج وزنه $(700\ N)$ على سطح مائل بزاوية مقدارها $(15°)$ بواسطة قوة مقدارها $(\overrightarrow{P})$ تصنع زاوية مقدارها $(25°)$ مع السطح كما في الشكل. فإذا كان المتزلج يتحرك بسرعة منتظمة أوجد مقدار $(\overrightarrow{P})$؟



5. علامة مرورية صغيرة وزنها $(6\ N)$ معلقة بواسطة سلكين (AC) و(BC) كما في الشكل. فإذا كان طول السلك (AC) $(40\ cm)$، وطول السلك (BC) $(30\ cm)$، والمسافة بين (A) و(B) $(60\ cm)$، أوجد الشد في كل سلك؟

6. تجلس طفلة وزنها $(300\ N)$ في أرجوحة، فإذا كان الشد في خيط الأرجوحة $(320\ N)$، وكانت الطفلة في حالة سكون تحت تأثير قوة مقدارها $(130\ N)$ كما في الشكل، أوجد الزاوية التي يصنعها خيط الأرجوحة مع الاتجاه العمودي، والزاوية التي تصنعها القوة مع الاتجاه العمودي.

7. تُجذب سفينة بواسطة خيطين كما في الشكل، فإذا كان الشد في الخيط الأول $(45000\ N)$ والثاني $(20000\ N)$ ومقاومة الماء للسفينة $(52000\ N)$، أوجد الزاوية التي يصنعها كل خيط مع اتجاه حركة السفينة، إذا علمت أن السفينة تتحرك بسرعة منتظمة.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الإجابات

التمرين الأول

الجزء الأول

1- جـ 2- أ 3- ب

4- جـ

الجزء الثاني

1- (أ) حجم (أو طول عمود الزئبق)

(ب) المقاومة

4- (ب) 35 °C, 42 °C (جـ) 310 K

5- (أ) 40 °C

التمرين الثاني

الجزء الأول

1- ب 2- د

3- د 4- ب

5- د

الجزء الثاني

5- 1140 mm Hg

6- (جـ) (1) $1.24\ m^3$

8- (أ) $99\ cm^3$

التمرين الثالث

الجزء الأول

1- د 2- جـ 3- جـ

4- جـ 5- أ

الجزء الثاني

2- (أ) 200 J (ب) 12.5°C

3- $378\ J\,Kg^{-1}\ ^{-1}$

4- $400\ J\,Kg^{-1}\ ^{-1}$

6- 1575 W

7- 48 W, 420 s

8- (جـ) $4000\ J\,Kg^{-1}\ ^{-1}$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

التمرين الرابع

الجزء الأول

1- أ　　2- ب　　3- جـ

4- د　　5- ب

الجزء الثاني

5- (ب) 2.53 kg

7- (د) $2240\ kJ\ kg^{-1}$

التمرين الخامس

الجزء الأول

1- ب　　2- أ　　3- ب

4- د　　5- جـ

الجزء الثاني

7- (أ) إشعاع دون الأحمر　　(ب)(1) السطح X

8- (أ) الحمل الحراري　　(ب)الأنبوب A

التمرين السادس

الجزء الأول

1- ب　　2- جـ　　3- د

4- جـ　　5- أ

الجزء الثاني

1- (أ) طولية　　(ب)المائية، مستعرضة　　(جـ) الحبل

(د) مستعرضة

2- 10 Hz

5- (أ) X: دون حمراء Y: ، أشعة X

(ب) نفس السرعة في الفراغ

6- (أ) (1) 0.6 m　　(2) 5 m

(ب) (1) 1.25 s　　(2) 0.8 Hz　　(جـ) $4\ m\ s^{-1}$

7- (ب) (2) $6\ m\ s^{-1}$

8- (1) فوق البنفسجية

التمرين السابع

الجزء الأول

1- ب　　2- جـ　　3- ب

الجزء الثاني

1- (ب) 220 cm

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

3- (ب) 28° (جـ) لايوجد انعكاس داخلي كلي

4- (ب) (3) 70 cm, 75 cm

(4) $2\ m\ s^{-1}$ بعيدًا عن الشخص

التمرين الثامن

الجزء الأول

1- جـ 2- د 3- ب

4- ب 5- أ

الجزء الثاني

3- (1) 250 mm (2) $60\ mm^2$

5- عدسة لامة بعدها البؤري (2.1cm)

6- 4 cm

7- 12 cm على نفس جانب الجسم ، 2 cm تقديرية معتدلة

8- 40 cm - $13\frac{1}{3}$ cm

التمرين التاسع

الجزء الأول

1- جـ 2- أ 3- ب

4- د 5- جـ

الجزء الثاني

1- (ب) نصف طول موجة

2- (أ) 6.6 kHz

3- (أ) هواء (ب) $1500\ m\ s^{-1}$ (جـ) $5000\ m\ s^{-1}$

5- (ب) 660 m

6- (ب) $333\ m\ s^{-1}$

7- (1) د (2) ب (3) جـ

8- (1) 7 ms (2) 5.25 m

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

الإجابات

التمرين العاشر

تمارين 10 - أ

1- (200 s)
2- (72 km) جنوبًا
3- (9 hrs)
4- (25.2 km) جنوبًا
5- (5.8 min)
6- $(8.2 \times 10^{13}\ km)$
7- $(33\frac{1}{3}\ m/s)$
8- _____
9- _____

تمارين 10 - ب

1- $(4\ m/s^2)$، (125 m)
2- (7.5 m/s)
3- $(1.6\ m/s^2)$، (60 m/s)،(15.5 s)
4- (6 s)، $(1.67\ m/s^2)$
5- (30 s)، $(2\ m/s^2)$
6- (20 m/s)، (1500 m)
7- (25 s)، (175 m)

تمارين 10 - ج

1- أ- (11 m/s)، ب- (16 m)، جـ- $(-1.5\ m/s^2)$
د- (45 m)، هـ- (102 m)، و- $(1.2\ m/s^2)$
ز- (14 s)، ح- (2.5 s)

2- (40 s)، $(\frac{7}{8}\ m/s^2)$
3- (3 m/s)
4- $(0.06\ m/s^2)$
5- (1500 m)
6- (2.7 km)، (250 s)
7- (45 m)
8- (60 m)
9- (17 m/s)
10- $(2.5\ m/s^2)$
11- (12.5 s)

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

تمارين 10 - د

1- (22 s)
2- (30 m/s)، (675 m)
3- (20 m/s)، ($2\ m/s^2$)
4- (12 m/s)، (44 s)
5- (22 s)
6- (7 m/s)، (5 s)
7- ($\frac{1}{36}\ m/s^2$)
8- (50 m/s)، (5000 m)

تمارين متنوعة 10

1- ($1.5\ m/s^2$)، (11.0 m/s)
2- (24.85 m/s)، (40 s)
3- (15 m/s)
4- ($\frac{1}{8}\ m/s^2$)، (20 s)
5- ($2\ m/s^2$)، (160 m)
6- ($0.08\ m/s^2$)

التمرين الحادي عشر

تمارين 11 - أ

1- ($1.5\ m/s^2$)
2- ($0.625\ m/s^2$)
3- (9240 N)
4- (65 kg)
5- (4 s)
6- ($1.44\ m/s^2$)، (0.576 N)
7- (0.96 N)
8- (850 kg)
9- (18.75 m)
10- (12.8 N)
11- ($2.47\ m/s^2$)
12- ($0.12\ m/s^2$)، (22.4 s)
13- (13.5 cm)
14- (81 kN)

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية - ليبيا

تمارين 11 - ب

1- (115 N)
2- (4 kg)
3- (2120 N)
4- (300 N)، (400 N)
5- (164.7 N)
6- (16 N)، (25.6 N)
7- (45 N)، (2 m/s^2)
8- (7.9 m/s)
9- (3125 N)
10- (1.3×10^4 N)
11- (10.75 N)، (2.81 m)
12- (2625 N)
13- (52.2 kg)
14- (780 N)، (80 s)

تمارين متنوعة 11

1- (1640 N)
2- (11 s)
3- (1400 N)
4- (10 s)
5- (750 N)، (938 N)
6- (20 kg)
7- (9000 N)
8- نعم
9- (0.25 m/s^2)، (25 N)
10- (4500 N)
11- (1720 N)
12- (12 s)، (6.67 N)
13- (3000 N)

التمرين الثاني عشر

تمارين 12 - أ

1- أ- (30 N)، ب- (0.1 N)، جـ- (8000 N)
2- (17 kg)
3- (2 m/s^2)
4- (17900 N)
5- (13000 N)، (0.4 m/s^2)
6- (7.92 N)

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

7- $(72.4\ m/s^2)$

8- $(1.5\ m/s^2)$ $(1270\ N)$

9- أ - $(10700\ N)$، ب - $(10500\ N)$، جـ - $(10300\ N)$، د - $(10700\ N)$

10- $(1275\ N)$

11- $(40\ kg)$

12- $(90\ kg)$ $(6.67\ m/s)$

13- $(1.6\ N)$

14- $(16\ kg)$ $(40\ N)$

15- $(s = \frac{Mv^2}{2\,(T - Mg)})$

16- $(900\ N)$ $(33\ m)$

17- $(8400\ N)$

تمارين 12 - ب

1- $(2.8\ kg)$

2- أ - $(40\ kN)$، ب - $(38\ kN)$

3- $(700\ N)$ (البرميل يترك الأرض).

4- أ - $(380\ N)$، ب - $(448\ N)$، جـ - $(380\ N)$

5- $(140\ kg)$

6- $(67200\ N)$

7- $(0.6\ m/s^2)$

8- يسجل المقياس قوة رد الفعل العمودي بين الرجل والميزان، غير (الوزن) يتناقص بمعدل $0.444\ m/s^2$.

9- $(2/3\ mg)$

10- $(0.5\ m/s^2)$

11- $(20kg)$ $(80kg)$

12- $(1.63\,m/s^2)$ $(107.5kg)$

تمارين متنوعة 12

1- $(760\ N)$

2- (وزنه)، $(600\ N)$، قوة رد فعل عمودي تؤثر إلى أعلى، $(630\ N)$

3- $(4800\ N)$

4- $(6528\ N)$، أ - $(40\ kg)$، ب - $(7.5\ s)$

6- $W\ (3 - 2k)$

7- $N(\frac{7}{3}\ mg)$، أ - $(20\ m/s)$، ب - $(6\ s)$

8- أ - توجد قوة تؤثر إلى أعلى قوة الطفو ومقاومة الماء.

ب - $(8.5\ m/s^2)$، $(0.225\ N)$

9- $(4\ m/s^2)$، $(6000\ N)$

10- أ - في البداية يتسارع بمعدل $(10\ m/s^2)$ لمدة $4\ s$ وبعدها يتباطأ بمعدل $(5\ m/s^2)$ لمدة $6\ s$ قبل أن يسقط إلى الأرض بسرعة ثابتة لمدة $15\ s$.

ب - $(380\ m)$، $(1380\ N)$

مثل الخط المستقيم سيكون منحني والزوايا يمكن تحسينها.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية - ليبيا

التمرين الثالث عشر

تمارين 13-أ

السؤال (1) أ). $44.64°, 22.8\ N$ ب). $65°, 26\ N$ ج). $95.9°, 10.9\ N$

د). $35.1°, 9.10\ N$

السؤال (2) $0.029°, 543\ N$

السؤال (3) أ). $33.5\ N$ ب). $27.6\ N$ ج). $5.46\ N$

د). $32.0\ N$

السؤال (4) أ). $315\ N$ ب). أفقياً إلى اليسار. ج). $6.86\ \frac{m}{s^2}$

السؤال (5) أ). $4.6\ N$ ب). $3.86\ N$ ج). $7.5\ \frac{m}{s^2}$

السؤال (6) أ). $12.9\ N$ ب). $10N$

السؤال (7) أ). $8.68\ N, 49.2\ N$ ب). $49.81\ N, 4.36\ N$

تمارين 13-ب

السؤال (1) أ). $44.64°, 22.8\ N$ ب). $65°, 26\ N$ ج). $95.9°, 10.9\ N$

د). $35.1°, 9.10\ N$

السؤال (2) $151.9°, 17\ N$

السؤال (3) $N\begin{pmatrix}7.66\\6.43\end{pmatrix}, N\begin{pmatrix}-3.46\\2\end{pmatrix}, N\begin{pmatrix}-1.04\\-5.9\end{pmatrix}, \begin{pmatrix}3.16\\2.52\end{pmatrix}\text{N}, 4.042\text{ N}, 38.6\text{ N}$

السؤال (4) $20.6°, 2.56\ \frac{m}{s^2}$ السؤال (5) $4.66\ N, 15.03\ N$ السؤال (6) $(-1.9\ N)$ أو $0.5\ N$

السؤال (7) $\begin{pmatrix}0.94\,P - 0.26\,W\\0.34\,P + C - 0.97\,W\end{pmatrix}$ السؤال (8) $67.38°, (13\ N)$

السؤال (9) $106.3°, 36.9°, 55\ N$ السؤال (10) $\pm\frac{1}{3}$

تمارين 13-جـ

السؤال (1) أ). $11.3\ N, 12.26\ N$ ب). $37.6\ N, 25.7\ N$ السؤال (2) $8220\ N, 4880\ N$

السؤال (3) أ). $46\ N$ ب). $46\ N$ ج). $16.76\ N$

السؤال (4) $200\ N$ السؤال (5) $6.05N, 5.44\ \text{N}$

السؤال (6) أ). $105.6°, 112.4°$ ب). $141.5°, 51.1°$

السؤال (7) $86.7°, 23.9°$ السؤال (8) $58.8°, 22.33°$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

المرجع

أ : الوحدات الأساسية (fundamental units)

اعتمد المؤتمر العالمي للأوزان والقياس النظام العالمي للوحدات (SI units) والذي يُعتبر نسخة حديثة للنظام المتري، والوحدات الأساسية في هذا النظام هي سبع وحدات مدونة في الجدول التالي :-

الجدول (أ)

الكمية	رمز الكمية	الوحدة	رمز الوحدة	الأبعاد
الطول (length)	ℓ	متر (meter)	m	m
الكتلة (mass)	m	كيلو جرام (kilogram)	kg	kg
الزمن (time)	t	ثانية (second)	s	s
درجة الحرارة (Temperature)	T	كلفن (kelvin)		K
التيار الكهربائي (electric current)	I	أمبير (ampere)	A	A
شدة الإضاءة (luminous intensity)	I	قنديلية أو شمعة (candela)	cd	cd
المول (mole)	n	المول (mole)	mol	mol

ب : الوحدات المشتقة (Derived units)

الوحدات المشتقة هي نتيجة ضرب أو قسمة الوحدات الأساسية، وفي الجدول (ب) نختار بعضًا منها .

الجدول (ب)

الكمية	رمز الكمية	الوحدة	رمز الوحدة	الأبعاد
العجلة (acceleration)	a	متر / ثانية^2 (meter /second^2)	m/s^2	m/s^2
الطاقة (Energy)	E	جول (Joul)	J	$kg\ m^2/s^2$
السرعة (velocity)	v	متر / ثانية (meter /second)	m/s	m/s
القوة (force)	F	نيوتن (Newton)	N	$kg\ m/s^2$
القدرة (power)	P	وات (watt)	W	$kg\ m^2/s^3$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

جـ : الرمـــوز (Notations)

الكمية الفيزيائية	الرمز	الوحدة
العجلة (acceleration)	a	m/s^2
الطاقة (Energy)	E	$kg\ m^2/s^2$
القوة (force)	F	$kg\ m/s^2$
القدرة (power)	*P*	$kg\ m^2/s^3$
الزمن (time)	t	s
السرعة النهائية (final velocity)	v	m/s
السرعة الابتدائية (initial velocity)	u	m/s

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا