



# الفيزياء

كتاب الطالب  
المستوى العاشر

**PHYSICS** | GRADE  
STUDENT BOOK **10**

الفصل الدراسي الأول  
FIRST SEMESTER  
2021 - 2020





حضره صاحب السّموّ الشيخ تميم بن حمد آل ثاني  
أمير دولة قطر

### النشيد الوطني

فَسَمَا يِمْنُ رَفَعَ السَّمَاءُ  
قَطَرُ سَتَبَقَى حُرَّةُ  
قَسَمًا يِمَنْ نَشَرَ الضِيَاءُ  
سِيرُوا عَلَى نَهْجِ الْأَلَى  
تَسْمُو بِرُوحِ الْأَوْفِيَاءُ  
قَطَرُ بِقَلْبِي سِيرَةُ  
وَعَلَى ضِيَاءِ الْأَنْبِيَاءُ  
قَطَرُ الرِّجَالِ الْأَوَّلِينَ  
عِزٌّ وَأَمْجَادُ الْإِبَاءُ  
وَحَمَائِمُ يَوْمَ الْفِدَاءُ  
حُمَانُنَا يَوْمَ النِّدَاءُ  
جَوَارِحُ يَوْمَ السَّلَامُ



المراجعة والتدقیق العلمي والتربوي  
كلية الآداب والعلوم - جامعة قطر  
خبرات تربوية وأكاديمية من المدارس

---

الإعداد والإشراف العلمي والتربوي  
فريق من الخبراء التربويين  
إدارة المناهج الدراسية ومصادر التعلم

## مقدمة

الحمدُ لله رب العالمين، والصلوة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين، سيدنا محمدٌ وعلى آله وصحبه أجمعين، وبعد..

أبناءنا الطلبة:

تسعى دولة قطر من خلال رؤية 2030، واستناداً إلى «الإطار العام للمنهج التعليمي الوطني لدولة قطر»، إلى تطوير نظامها التعليمي، وإعداد مناهج وطنية ملتزمة بمعايير الجودة العالمية، بغية بناء الإنسان وإعداده إعداداً سليماً، وتسليحه بالمعرفة والقيم والمهارات والاتجاهات التي تؤهلها مواكبة التطورات العالمية في المجالات كافة، حتى أصبحت دولة قطر تنافس الدول المتقدمة في مجال التعليم وال مجالات الأخرى.

ويعد الكتاب المدرسي مصدراً رئيساً من مصادر المعرفة، وأحد الركائز المهمة في العملية التعليمية، جاء حصيلةً لمزيج متجانسٍ من الخبرات المعرفية والثقافية والاجتماعية والفنية، وُضعت من قبل خبراء متخصصين، فالكتاب وسيلة منظمةٌ من وسائل التعليم، وهو أداةٌ من أدوات التوجيه التربوي، والأساس الذي يستعين به المعلم في إعداد دروسه.

لقد تم تأليف هذا الكتاب الذي يستهدف طلبة المستوى العاشر في التعليم العام، ويتوافق مع قدراتهم؛ بحيث تتدرج المعلومات فيه تدريجاً منطقياً، ويهدف إلى رفع مستوى كفاءة الطلبة وخبراتهم، وإثارة دافعياتهم وتفاعلهم مع زملائهم ومعلّمهم؛ لاكتساب المعلومات والمهارات والكفايات، من خلال الأنشطة الصحفية واللاصفية.

يحقق محتوى الكتاب تنمية مهارات التفكير والبحث العلمي والاستقصاء بنوعيه؛ الموجه والمفتوح، وحل المشكلات. ويتضمن كل درس أنشطةً عمليةً متنوعةً، وأسئلة تقويم تمهيدي وتكويني وختامي؛ حيث تجذب في مقدمة كل درس أسئلة تمهيديةً لتحديد معرفة الطلبة وخبراتهم السابقة، وأسئلة في نهاية كل فقرة تحت عنوان «اخْتِرْ نَفْسَكَ» تقيس ما تم تعلمه، ثم تقويمًا خاصًا بكل درس، وفي نهاية كل وحدة. كما يشتمل الكتاب على رسوم وأشكال توضيحية تحقق مهارة قراءة الأشكال والرسوم البيانية. يحتوي كتاب الفيزياء للصف العاشر في فصليه على وحدات عدة دراسية تشمل: «الكميات الفيزيائية، والقياس ودقته وضبطه، وعلم الحركة، وطبيعة المادة وخصائصها، وطبيعة الضوء وسلوكه، ومبادئ الكهرباء والمتناطيسية».

ونحن إذ نضع بين يديك هذا الكتاب، لندعوك إلى التفاعل الإيجابي مع محتواه وأنشطته المختلفة؛ لتحقيق الهدف المنشود منه.

ونسأل الله عز وجل لك التوفيق والسداد،،،

## بعض أقسام هذا الكتاب

### مفتاح الكفايات:

التفكير الإبداعي والتفكير الناقد	(CT)	
ال Alfahiyat الalfahiyat المعرفيةLiteracy	(L)	
ال Alfahiyat العدديةNumeracy	(N)	
ال التواصلCommunication	(C)	
التعاون والمشاركةCooperation and Participation	(CP)	
الاستقصاء والبحثInquiry and Research	(IR)	
حل المشكلاتProblem Solving	(PS)	

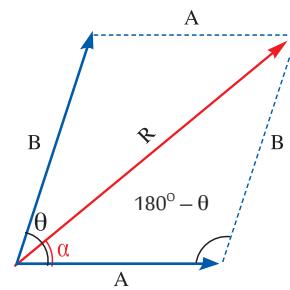
مفتاح كفايات الإطار العام للمنهاج التعليمي الوطني لدولة قطر ، ويشير إلى مجموعة كفايات معرفية ومهارية ووجدانية يعمل منهاج العلوم على تنميتها لدى الطلبة.

### مسائل حسابية:

توظيف العلاقات الكمية والقوانين العلمية لتنمية المهارات الحسابية

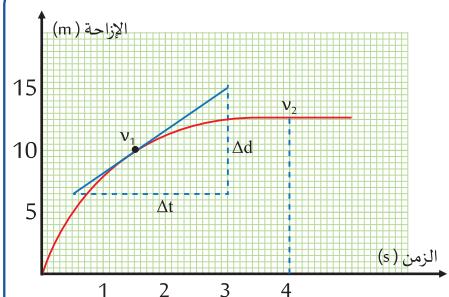
$$R^2 = A^2 + B^2 - 2AB \cos(180^\circ - \theta) , \cos(180^\circ - \theta) = -\cos\theta$$

$$R^2 = A^2 + B^2 + 2AB \cos\theta \Rightarrow R = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos\theta}$$



### الأشكال التوضيحية:

معينات بصرية توضح المحتوى العلمي عن طريق صور ورسوم وأشكال بيانية، تبني مهارة قراءة الأشكال وتحليل الرسوم البيانية وتمثيل العلاقات العلمية لدى الطلبة.



## اخبر نفسك:

التحقق من مدى استيعاب الطالب للأفكار أثناء الدرس

حدّد ما إذا كانت العلاقة الآتية صحيحةً من حيث وحدات القياس أم لا.

$$v = \frac{1}{2} a t^2$$



## الأنشطة:

مواقف تفاعلية لتنمية القدرة على التطبيق العملي للأفكار الجديدة، والتدريب على الأنشطة العملية

نشاط 3-1

### قياس الكميات الفيزيائية واشتقاق وحداتها



- يشتق وحدات كميات فيزيائية.
- يحسب الكميات المشتقة عملياً.

الأهداف

مجسمٌ متوازي مستطيلات، مسطرة مدرجة بتدريج 30 cm ، ميزان (يفضل إلكتروني) مدرج بوحدة g.

الأدوات

## المصطلحات العلمية:

### المفردات الرئيسية



مفردات علمية رئيسية يتناولها الدرس  
باللغتين العربية وإنجليزية.

Measurement

القياس

SI unit

النظام الدولي للوحدات

Fundamental quantities

الكميات الأساسية

## الجدائل التوضيحية:

عرض البيانات بشكل منظم  
لتوضيح المحتوى واستنتاج  
العلاقات.

الرمز	الوحدة الأساسية	رمز الكمية	الكمية الأساسية
m	meter	L	الطول
kg	kilogram	m	الكتلة
s	second	t	الزمن

مراجعة الدرس:

**مجموعة من الأفكار الرئيسة التي يتناولها الدرس.**

مجموعة من الأسئلة لقياس مدى استيعاب الطلبة للأفكار الواردة في الدرس، تشمل أسئلة الاختيار المتعدد والأسئلة ذات الإجابة القصيرة.

**٥** تقويم الوحدة الأولى

- اخبار الامانة الصالحة في كل معايير
- اولا الكهرباء الاردنية تكتيكة سلطة
- انتفاضة الاردن
- المباركيون
- امساك
- درجة الحرارة
- اولا القتيل الاردني
- $5 \times 10^3$  W . 4
- $5 \times 10^3$  W . 8

مثال

مسائل محلولة تقدم  
للطالب طريقة الحل  
بخطوات مبسطة  
وواضحة.

سيارة تسير بسرعة 90 km/h ، غير عن سرعتها بوحدة m/s .

$$v = 90 \text{ km/h} = 90 \text{ km/h} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 25 \text{ m/s}$$

## مثال 5



الحل

العلم والعلماء:

# تعزيز القيم من خلال تقدير جهود ومساهمات العلماء في اكتشاف وتطور المعرفة العلمية.

مخطط المادة:

# UNIT 1

## الوحدة الأولى: الكميات الفيزيائية والقياس Physical Quantities and Measurement

## **(SI) International System of Units**

## **الدرس الأول: ١- النظام الدولي للوحدات**

## Precision and Accuracy in Measurement

## **الدرس الثاني: الدقة والضبط في القياس**

UNIT  
2

## الوحدة الثانية: المتجهات وعلم الحركة Vectors and Motion

## Vector Quantities

## لدرس الأول: 1-2 الْكَمِيَّاتُ الْمُتَجَهَّةُ

## Motion in One Dimension

## لدرس الثاني: 2- الحركة في بعدي واحد

UNIT 3

## الوحدة الثالثة: المادة والطاقة Matter and Energy

## الدرس الأول: طبيعة المادة ونموذج الحركة الجزيئية Nature of Matter and Kinetic Particle Model

## Thermal Energy and Temperature

### 3-2 الطاقةُ الحراريةُ ودرجةُ الحرارة

## Specific Heat and Latent Heat

### 3-3 الحرارة النوعية والحرارة الكامنة

## الفيزياء Physics

عندما يسمع معظم الناس كلمة «فيزياء» يتبرد إلى أذهانهم الصواريخ والمركبات الفضائية والمفاعلات النووية وغيرها من الأمور والأحداث الكبيرة، وهذه وإن كان منشؤها علم الفيزياء، لكن ذلك لا يعني أن الفيزياء مقتصرة على علماء الصواريخ وعلماء الذرة فقط! فنحن محاطون بالفيزياء طوال الوقت، ونستخدم الفيزياء كل يوم، سواءً كنا ندرك ذلك أم لا..؛ فعندما ننظر في المرأة، أو نستخدم مقياس الحرارة، أو عندما نركب السيارة أو الطائرة، وعندما نشغل الحاسوب أو الهاتف، فنحن نوظف علم الفيزياء في حياتنا؛ فعلم الفيزياء يعني بكل تطبيقات الحياة، بما فيها المادة في جميع حالاتها، والطاقة بجميع أشكالها.

ويعرف علم الفيزياء (علم الطبيعة)، بأنه العلم الذي يدرس كل ما يتعلق بالمادة والطاقة والتفاعل فيما بينهما، فهو يهتم بدراسة الظواهر الطبيعية والكونية المختلفة ويتبنّاً بسلوكها. ويشمل علم الفيزياء دراسة مجالاتٍ وفروعٍ كثيرةً وواسعةً؛ من أبرزها: الفيزياء الذرية، والفيزياء النووية، والكهرومغناطيسية، والبصرية، والفلك، وفيزياء الكم، والديناميكا الحرارية، والعديد من الفروع الأخرى.

علم الفيزياء من العلوم التجريبية ويشكل القاعدة الأساسية لختلف العلوم الأخرى؛ مثل علم الكيمياء وعلم الأحياء وعلم الفلكل. ويعود علم الفيزياء سبباً للتقدم في الحضارة الإنسانية؛ فهو يقدم التفاصيل الدقيقة لفهم الأشياء بدءاً بالجسيمات الأولية إلى النواة والذرة، ثم الجزيئات والخلايا الحية، وأعضاء جسم الإنسان، والحواسيب، ووسائل الاتصالات، والأجهزة الطبية. ويمتد فهم الفيزياء إلى الغلاف الجوي للأرض، والكواكب، والنجوم، وال مجرات، وانتهاءً بالكون نفسه. ويرتبط علم الفيزياء أيضاً ارتباطاً وثيقاً بالرياضيات، التي تعد لغة الفيزياء، فهي وسيلة للتعبير عن القوانين، واستخدام المعادلات الرياضية والرسومات البيانية.

هذه التطبيقات وإنجازات المائة لعلم الفيزياء تمّت بفضل الله -سبحانه وتعالى- وعلى أيدي الكثير من علماء الفيزياء الذين قدّموا للبشرية كل هذه الإنجازات والتطورات، فنحن نُجلّهم ونقدّر إنجازاتهم العظيمة والمميزة؛ ومن هؤلاء: الإدريسي، والكندي، والحسن بن الهيثم، وإسحاق نيوتن، وفارادي، وروبرت كولوم، وألبرت أينشتاين، وماكس بلانك.

## الفهرس



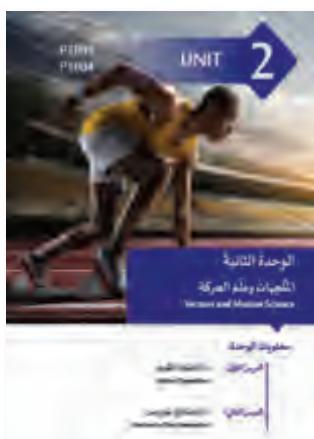
### الوحدة الأولى: الكميات الفيزيائية والقياس Physical Quantities and Measurement

الدرس الأول:

1-1 النظام الدولي للوحدات (SI) **16**  
International System of Units

الدرس الثاني:

2-1 الدقة والضبط في القياس **29**  
Precision and Accuracy in Measurement



### الوحدة الثانية: المتجهات وعلم الحركة Vectors and Motion Science

الدرس الأول:

1-2 الكميات المتجهة **62**  
Vector Quantities

الدرس الثاني:

2-2 الحركة في بُعدٍ واحدٍ **90**  
Motion in One Dimension

## الفهرس



### الوحدة الثالثة: المادة والطاقة Matter and Energy

1-3 طبيعة المادة ونموذج الحركة الجزيئية  
Nature of Matter and Kinetic Particle Model

الدرس الأول: 126

2-3 الطاقة الحرارية ودرجة الحرارة  
Thermal Energy and Temperature

الدرس الثاني: 150

3-3 الحرارة النوعية والحرارة الكامنة  
Specific Heat and Latent Heat

الدرس الثالث: 172

## مفتاح كفايات الإطار العام للمنهاج التعليمي الوطني لدولة قطر

### QNCF Key Competencies

<p>التفكير الإبداعي والتفكير الناقد</p> <p>Creative and Critical Thinking</p>	<p>(CT)</p> 
<p>الكفاية اللغوية</p> <p>Literacy</p>	<p>(L)</p> <span style="font-size: small;">أ B ئ</span>
<p>الكفاية العددية</p> <p>Numeracy</p>	<p>(N)</p> 
<p>التواصل</p> <p>Communication</p>	<p>(C)</p> 
<p>التعاون والمشاركة</p> <p>Cooperation and Participation</p>	<p>(CP)</p> 
<p>الاستقصاء والبحث</p> <p>Inquiry and Research</p>	<p>(IR)</p> 
<p>حل المشكلات</p> <p>Problem Solving</p>	<p>(PS)</p> 



P1001  
P1002

# UNIT

1



## الوحدة الأولى

### الكميات الفيزيائية والقياس

### Physical Quantities and Measurement

محتويات الوحدة:

1-1 النظام الدولي للوحدات (SI)  
International System of Units

الدرس الأول:

2-1 الدقة والضبط في القياس  
Precision and Accuracy in Measurement

الدرس الثاني:

# النظام الدولي للوحدات (SI) International System of Units

P1001



في يوم 23 ديسمبر 1999، فقد الاتصال مع المركبة الفضائية «مسبار المريخ المناري» التابعة لوكالة ناسا للفضاء، حيث تبين أنها تحطمت نتيجة حركتها في مسار خاطئ غير المسار الافتراضي المقرر لها. ماذا تتوقع أن يكون السبب وراء ذلك؟ عندما تقرأ الخبر تعتقد أن خطأ كبيراً غير مألوف قد حصل وكان خارجاً عن السيطرة، إلا أن الحقيقة أنه خطأ المهندسين في القيام بتحويلٍ بسيط بين وحدات القياس من النظام البريطاني إلى النظام المترى. وكما صرّح المحققون فهي تُعد سقطةً مخجلة أدت إلى فقدان مركبة بالقرب من سطح المريخ، تبلغ تكلفتها 125 مليون دولار.

ما الفرق بين النظام المترى والنظام البريطاني للوحدات؟ وما أهمية الاتفاق على نظام دولي للوحدات؟

## الدَّرْسُ الأوَّلُ

1-1

في يوم 23 ديسمبر 1999، فقد الاتصال مع المركبة الفضائية «مسبار المريخ المناري» التابعة لوكالة ناسا للفضاء، حيث تبين أنها تحطمت نتيجة حركتها في مسار خاطئ غير المسار الافتراضي المقرر لها. ماذا تتوقع أن يكون السبب وراء ذلك؟ عندما تقرأ الخبر تعتقد أن خطأ كبيراً غير مألوف قد حصل وكان خارجاً عن السيطرة، إلا أن الحقيقة أنه خطأ المهندسين في القيام بتحويلٍ بسيط بين وحدات القياس من النظام البريطاني إلى النظام المترى. وكما صرّح المحققون فهي تُعد سقطةً مخجلة أدت إلى فقدان مركبة بالقرب من سطح المريخ، تبلغ تكلفتها 125 مليون دولار.

### المفرداتُ الرَّئِيسَةُ



Measurement	القياس
SI unit	النظام الدولي للوحدات
Fundamental quantities	الكميات الأساسية
Derived quantities	الكميات المشتقة
Fundamental unit	الوحدة الأساسية
Derived unit	الوحدة المشتقة
Prefix	البادئة
Standard unit	الوحدة المعيارية
Standard form	الصيغة القياسية
Units analysis	تحليل الوحدات

### التَّجَارِبُ وَالآدِشَطَةُ

1-1 حادثة تحطم المركبة الفضائية على سطح المريخ.

1-2 قياس الكميّات الفيزيائيّة واشتراق وحداتها.

### مُخَرَّجَاتُ التَّعْلِيمِ

يتوقع في نهاية الدرس أن يكون الطالب قادرًا على أن:

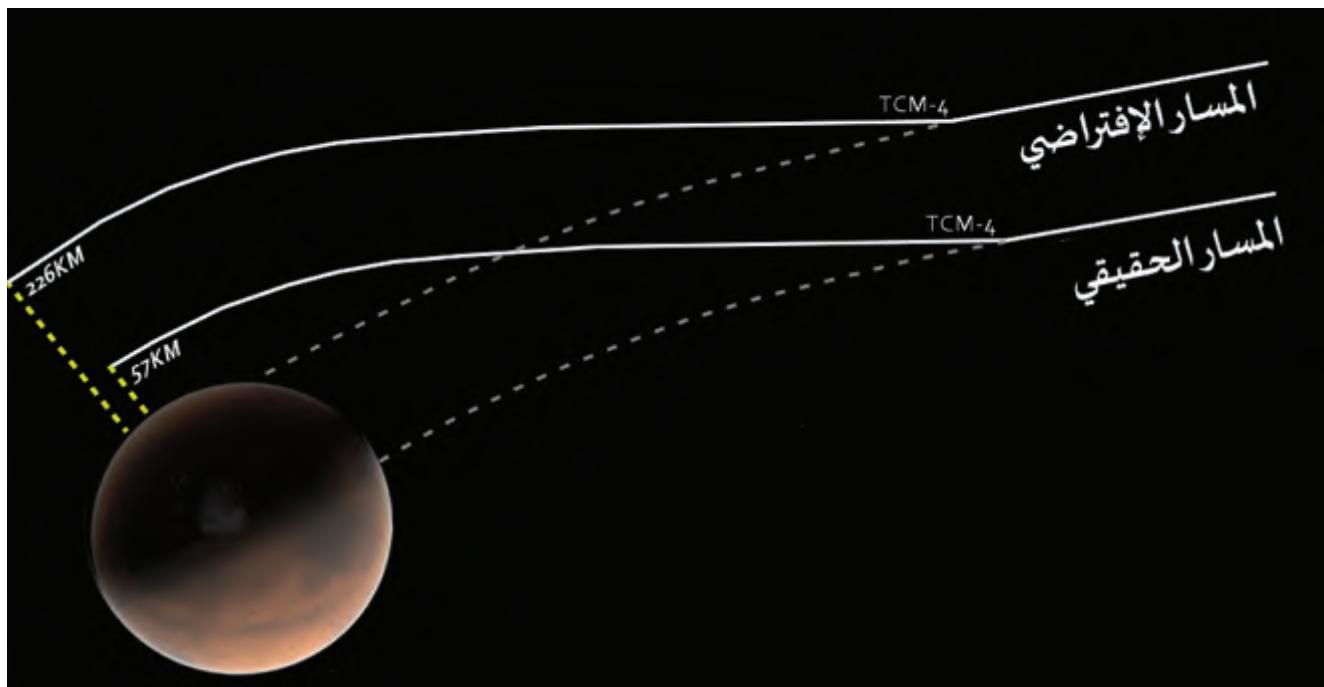
• يميز بين وحدات النظام الدولي الأساسية والمشتقة ويستخدم البادئات المناسبة.

• يتعامل مع مدى المقادير ويعبر بشكل صحيح عن الكميّات الفيزيائيّة باستخدام الصيغة القياسية للنظام الدولي.

## نشاط 1-1



## حادثة تحطم المركبة الفضائية على سطح المريخ.



الشكل 1-1: مساري المركبة الافتراضي وال حقيقي

ضمِنَ مجموعاتٍ صغيرة. ابحثُ في مصادر المعرفة المتاحة عن حادثة تحطم المركبة الفضائية التابعة لوكالة NASA عام 1999 على سطح المريخ نتيجة خطأ متعلِّق باستخدام أنظمة قياسٍ مختلفة، ثم ناقش زملائك في كيفية حدوث ذلك. الصورة في الشكل (1-1) ربما تساعدك في فهم الحادثة.

## التحليل :

1. ما أثرُ استخدام أكثرَ من نظامٍ لقياسٍ في عملية إطلاق المركبة؟
2. كم تبلغُ المسافةُ بين المسارِ الافتراضي (المُخطَّط له) والمسارِ الحقيقي للمركبة الذي أدى إلى تحطُّمها؟
3. كيف أدى اختلافُ مسارِ المركبة إلى تحطُّمها؟

## القياس Measurement

نستخدم في حياتنا اليومية العديد من الأجهزة والأدوات لقياس كمياتٍ فизيائيةٍ مختلفة، فنستخدم المسطّرة لقياس الطول، والساعة لقياس الزمن، وميزان الحرارة لقياس درجة الحرارة، والميزان الإلكتروني لقياس الكتل في محلات التجارية، أمّا المستشفيات فتحوي العديد من أجهزة القياس مثل أجهزة قياس الضغط والسكري والنظر وفحص الدم والبول وجهاز فحص هشاشة العظام وغيرها.

عند إجراء أي عملية قياس لكمية ما؛ فإننا نستخدم رقمًا ووحدةً مناسبة؛ فمثلاً نقول: كتلة الحقيبة المدرسية 5kg فالرقم 5 يمثل مقدار الكتلة (الكمية) والرمز kg يمثل وحدة قياس الكتلة بالكيلوجرام، وتُمثل الكيلوجرام هنا الوحدة المعيارية لقياس الكتلة، وتُعرف الوحدة المعيارية standard unit بشكل عام بأنها الوحدة التي تم اعتمادها دولياً كمعيار للقياس. فنحن نقارن هنا كتلة الحقيبة مع كتلة 1kg: كتلة الحقيبة خمسة أضعاف كتلة الكيلوجرام الواحد، وهنا يجب التأكيد على أهمية تحديد وحدة للقياس؛ فلا معنى لقولنا إن المسافة بين العاصمة الدوحة ومدينة دُخان تساوي 55 دون ذكر وحدة القياس؛ لأن 55 كيلومتر تختلف عن 55 ميل رغم أنها كلها وحدات طول.

يُعرف القياس measurement بأنه عملية مقارنة كمية مجهولة بكمية أخرى معيارية متفق عليها من النوع نفسه (تسمى وحدة القياس) بهدف معرفة عدد مرات احتواء الكمية المجهولة على الكمية المعيارية. ويتم ذلك باستخدام أداة ملائمة، ويعبر عن الكمية المُقاسة برقم متبع بوحدة قياس مناسبة.

مثال 1	الحل
عَبِّرْ عن كتلة الجفنة في الشكل (1-2) بالطريقة الصحيحة.	كتلة الجفنة = 128.93 g



الشكل 1-3: عداد السرعة في السيارة



الشكل 1-2: ميزان إلكتروني لقياس كتلة الجفنة

كم تبلغ سرعة السيارة في الشكل (1-3)؟



## النظام الدولي للوحدات (SI) International System of Units



الشكل 4-1: الوحدة المعيارية للكيلوجرام

استخدمت دول كثيرة مُنذ مئات السنين أنظمةً مختلفةً لقياس، أبرزها النظام البريطاني (قدم- باوند- ثانية) والنظام المتر (متر- كيلوجرام- ثانية) والنظام الفرنسي (سنتيمتر- جرام- ثانية)؛ وأدى ذلك إلى ظهور صعوباتٍ كثيرةٍ في التعامل وتبادل البيانات والمعلومات، من أجل ذلك، وفي مؤتمر دولي للأوزان والمقاييس عام 1961 تم اعتماد نظام مُوحِّد لقياس سُمّيَّ النظام الدولي للوحدات (SI units) تستخدِمه جميع الدول، ويشتمل هذا النظام الدولي حالياً على سبع وحداتٍ أساسيةٍ fundamental units لقياس سبع كمياتٍ فизيائيةٍ fundamental quantities مُوضحةً في الجدول (1-1) وذلك اعتماداً على وحداتٍ معياريةٍ ثابتةٍ لا تتغيرُ لكلٍ من الطول والكتلة، محفوظةً بالمكتب الدولي للأوزان والمقاييس في باريس، كما تم اعتماد تَعرِيفٍ مُحدَّدٍ لكلٍ من (الثانية- والأمبير- والكلفن- والمول- والشمعة).

وقد تم إعادة تَعرِيف الوحدات الأساسية عِدَّة مراتٍ للوصول إلى تَعرِيفاتٍ أكثر دقةً وثباتاً، فمثلاً، كان هناك اعتماد قديم، منذ عام 1790 للوحدة المعيارية للكيلوجرام على أنها «كتلة أسطوانة من البلاتين-الإيريديوم محفوظة في وعاء زجاجي خاصٍ في المكتب الدولي» كما هو موضح في الشكل (1-4). ومنذ ذلك التاريخ والعلماء يبحثون عن تَعرِيفٍ جديدٍ لها لا يعتمدُ على مجسمٍ ماديٍ قابلٍ للتغيير ولو بمقدارٍ ضئيلٍ جداً - ينتج عن ذراتٍ من الغبار أو عملية التنظيف - حتى عام 2018 حيث اتفقت الدول الأعضاء في المكتب الدولي للأوزان والمقاييس، وعددها نحو 60 دولة - من بينها دولة قطر - على إعادة تَعرِيف الكيلوجرام على أساس قيمةٍ ضئيلةٍ، لكنها لا تتغيرُ تُسْعَى (ثابت بلانك، ورمزها  $h$ ) ومقدار هذا الثابت يساوي  $6.62607015 \times 10^{-34}$  J.s والذى يمكن التعبير عنه بوحدة  $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$  وبما أن كلاً من الكيلوجرام (kg) والمتر (m) والثانية (s) مُعرفةٌ في النظام الدولي للوحدات، ومن معرفة قيمة (ثابت بلانك  $h$ ) تمكّن العلماء من التوصل لتعريفٍ دقيقٍ وثابتٍ للكيلوجرام. وصوَّت العلماء أيضاً لتحديد تَعرِيفات الوحدات (أمبير، كلفن، مول) على أن يبدأ العمل بالتعريفات الجديدة بتاريخ 20 مايو 2019.

الرمز	الوحدة الأساسية	رمز الكمية	الكمية الأساسية
m	meter متر	L	الطول length
kg	kilogram كيلو جرام	m	الكتلة mass
s	second ثانية	t	الزمن time
K	Kelvin كلفن	T	درجة الحرارة temperature
mol	mole مول	n	كمية المادة amount of substance
A	ampere أمبير	I	التيار الكهربائي electric current
cd	candela شمعة	I <sub>v</sub>	شدة الإضاءة luminous intensity

جدول 1-1: الكميات الأساسية ووحدات قياسها في النظام الدولي للوحدات

أما الكميات المشتقة derived quantities وهي الكميات التي يمكن اشتقاقها من الكميات الأساسية، مثل: السرعة والتّساع والقوّة والحجم وغيرها، فيمكن اشتقاق وحداتٍ خاصةٍ بها، تُسمى وحداتٍ مشتقةً derived units وهي الوحدات التي يمكن اشتقاقها من الوحدات الأساسية.



جيمس واط عالم في الرياضيات والفيزياء والكيمياء، ولد في مدينة غرينوك في اسكتلندا عام 1736 م. يُعد أحد أبرز أقطاب الثورة الصناعية بفضل اختراعه وتطويره للمحرك البخاري. سميت وحدة قياس القدرة الكهربائية (واط) باسمه.

تستخدم وحداتٌ شائعةٌ للاستعمال التجاري والمُحلي ولكنها ليست وحداتٍ أساسيةً أو مشتقةً، مثل: (وحدة الدقيقة لقياس الزمن  $s = 60 \text{ min}$ ) ووحدة اللتر لقياس الحجم ( $1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ l}$ ) ووحدة الطن لقياس الكتلة ( $1 \text{ ton} = 1000 \text{ kg}$ ). كما أن هناك وحداتٍ سُميّت بأسماء بعض العلماء تكريماً لجهودهم، مثل: وحدة قياس القدرة الكهربائية الواط (W) نسبة للعالم البريطاني جيمس واط، ووحدة قياس الضغط (Pa) نسبة للعالم الفرنسي بليز باسكال، ووحدة قياس الجهد الكهربائي الفولت (V) نسبة للعالم الإيطالي اليساندرا فولتا، وغيرها.

اشتق الوحدة التي تُقاس بها الكميات الفيزيائية الآتيةً معتمداً على وحداتِ النظام الدولي:

-a السرعة  $v = \frac{d}{t}$  علماً أن  $d$ : المسافة ،  $t$ : الزمن

-b التسارع  $a = \frac{v}{t}$  علماً أن  $v$ : السرعة

-c الحجم  $V = L \cdot w \cdot h$  علماً أن  $L$ : الطول ،  $w$ : العرض ،  $h$ : الارتفاع

مثال 2

سنسخدم العلاقات الرياضية لتلك الكميات لاستtraction وحداتها على النحو الآتي:

a.  $v = \frac{d}{t}$

$$\text{Unit of } (v) = \frac{\text{unit of } (d)}{\text{unit of } (t)} = \frac{m}{s} = m/s$$

b.  $a = \frac{v}{t}$

$$\text{Unit of } (a) = \frac{\text{unit of } (v)}{\text{unit of } (t)} = \frac{m/s}{s} = m/s^2$$

c.  $V = L \cdot w \cdot h$

$$\text{Unit of } (V) = \text{unit of } (L) \times \text{unit of } (w) \times \text{unit of } (h) = m \cdot m \cdot m = m^3$$

الحل

1- اشتق وحدة قياسي كل من الكميات الفيزيائية الآتية بحسب النظام الدولي للوحدات:



-a القوة  $F = ma$  علماً بأن  $m$ : الكتلة ،  $a$ : التسارع

-b المقاومة الكهربائية ( $R$ ) علماً بأن  $V = IR$  حيث  $V$ : فرق الجهد الكهربائي ووحدة فولت،

I : شدة التيار الكهربائي .

2- صنفِ الكميات الفيزيائية الآتية إلى أساسيةٍ ومشتقّة:

(التردد، كمية المادة، الارتفاع، الوزن، الكثافة).

## بادئاتُ النَّظَامِ الدُّولِيِّ لِلْوِحدَاتِ SI Prefixes

بَرَزَتْ مُشَكَّلاً فِي اسْتِخْدَامِ بَعْضِ وِحدَاتِ النَّظَامِ الدُّولِيِّ لِقِيَاسِ الْكَمِيَاتِ الصَّغِيرَةِ جَدًا أَوِ الْكَبِيرَةِ جَدًا مِثْلَ: الْمَسَافَةَ بَيْنِ الشَّمْسِ وَالْأَرْضِ الَّتِي تَسَاوِي  $150000000000\text{ m}$ ؛ لِذَلِكَ تَمَّ اللجوءُ لِاِسْتِخْدَامِ بَادِئَاتِ النَّظَامِ الدُّولِيِّ لِلْوِحدَاتِ كَمَا هُوَ مُوضَّحُ فِي الجُدولِ (1-2) الَّتِي تَعْتمَدُ عَلَى اِسْتِخْدَامِ أُسٍّ مَنَاسِبٍ لِلرَّقْمِ 10 - وَهَذِهِ مِنْ أَبْرَزِ إِيجَابِيَّاتِ هَذَا النَّظَامِ - حِيثَ أَصْبَحَتْ وِحدَةُ قِيَاسِ تَلْكَ الْكَمِيَاتِ أَفْضَلَ وَأَسْهَلَ لِفَظًا وَكِتَابَةً، إِضَافَةً إِلَى سُهُولَةِ التَّحْوِيلِ مِنْ بَادِئَةٍ لِأُخْرَى بِالضَّربِ أَوِ الْقِسْمَةِ عَلَى الرَّقْمِ (عَشْرَةً) مَرْفُوعًا إِلَى أُسٍّ مَلَائِمٍ، فَمَثَلًا: بَدَلًا مِنْ كِتَابَةِ قُطْرِ الْأَرْضِ  $12.6\text{ Mm}$  نَكْتُبُهَا  $12600000\text{ m}$ ، كَذَلِكَ طَولُ مَوْجَةِ الضَّوءِ الْأَحْمَرِ  $0.7\mu\text{m}$  نَكْتُبُهَا  $0.0000007\text{ m}$ .

الأس	معامل الضرب	الرمز	اسم البادئة
$10^9$	1000000000	G	جيغا
$10^6$	1000000	M	ميجا
$10^3$	1000	k	كيلو
$10^2$	100	h	هكتو
$10^1$	10	da	ديكا
$10^{-1}$	0.1	d	ديسي
$10^{-2}$	0.01	c	سنти
$10^{-3}$	0.001	m	ميلي
$10^{-6}$	0.000001	$\mu$	ميكرô
$10^{-9}$	0.000000001	n	نانو

جدول 1-2: أهم بادئات النَّظَامِ الدُّولِيِّ لِلْوِحدَاتِ

- **ملاحظة:** عند قراءةِ رمزِ البادئةِ وَالْوِحدَةِ فِي الْقِيَاسِ تُقْرَأُ لِفَظًا بِأَسْمَاهَا وَلَيْسَ رَمْزًا فَمَثَلًا  $5\mu\text{m}$  تُقْرَأُ 5 ميكرومتر.

## مثال 3



عَبَرْ عن وحدات قياس الكميات الفيزيائية الآتية بحسب ما يُقابلها:

- $400 \text{ mm} = \dots \text{ m}$
- $6000 \text{ V} = \dots \text{ MV}$
- $5.6 \times 10^4 \text{ kg} = \dots \text{ mg}$

$$m = 10^{-3}, \quad M = 10^6, \quad k = 10^3$$

- $400 \text{ mm} = 400 \times 10^{-3} \text{ m}$
- $6000 \text{ V} = 6000 \text{ V} \times \frac{1 \text{ MV}}{10^6 \text{ V}} = 6000 \times 10^{-6} \text{ MV} = 6 \times 10^{-3} \text{ MV}$
- $5.6 \times 10^4 \text{ kg} = 5.6 \times 10^4 \times 10^3 \text{ g} = 5.6 \times 10^7 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mg}}{10^{-3} \text{ g}} = 5.6 \times 10^{10} \text{ mg}$

الحل

## مثال 4



تيار كهربائي (I) مقداره  $8 \text{ mA}$  ، عَبَرْ عنه باستخدام الbadietat الآتية:

- a-  $\mu\text{A}$       b-  $\text{mA}$       c-  $\text{kA}$

$$m = 10^{-3}, \quad \mu = 10^{-6}, \quad M = 10^6$$

- $I = 8 \text{ mA} = 8 \times 10^{-3} \text{ A}$   
 $= 8 \times 10^{-3} \text{ A} \times \frac{1 \mu\text{A}}{10^{-6} \text{ A}} = 8 \times 10^3 \times \mu\text{A}$
- $I = 8 \text{ mA} = 8 \times 10^{-3} \text{ A}$   
 $= 8 \times 10^{-3} \text{ A} \times \frac{1 \text{ mA}}{10^6 \text{ A}} = 8 \times 10^{-9} \text{ MA}$
- $I = 8 \text{ mA} = 8 \times 10^{-3} \text{ A}$   
 $= 8 \times 10^{-3} \text{ A} \times \frac{1 \text{ kA}}{10^3 \text{ A}} = 8 \times 10^{-6} \text{ kA}$

الحل

## مثال 5



. سيارة تسير بسرعة  $90 \text{ km/h}$  ، عَبَرْ عن سرعتها بوحدة  $\text{m/s}$ .

$$v = 90 \text{ km/h} = \frac{90 \text{ km}}{\text{h}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 25 \text{ m/s}$$

الحل

1. عِرْ عن وحدات قياس الكميات الفيزيائية الآتية بحسب ما يقابلها:

a.  $5820 \text{ kg} = \dots \text{ g}$

b.  $24 \times 10^5 \text{ Hz} = \dots \text{ MHz}$

c.  $5.4 \text{ s} = \dots \mu\text{s}$

d.  $2 \times 10^{-5} \text{ J} = \dots \text{ kJ}$



2. إذا علمت أن كثافة الزيت النباتي ( $850 \text{ kg/m}^3$ ) ، احسب كثافته بوحدة  $\text{g/cm}^3$

## الصيغة القياسية Standard form

تَظَهُرُ أحياناً قياساتٌ تحتوي أرقاماً كثيرةً جدًا يصعبُ كتابتها أو لفظُها أو التعاملُ معها مثل: سرعة الضوء  $300000000 \text{ m/s}$  وطول موجة أشعة جاما  $0.0000000002 \text{ m}$  وبعض القياسات يصعب التعامل معها حتى باستخدام بادئات النظام الدولي مثل: كتلة الشمس وشحنة الإلكترون، وبالتالي نلجأ لاستخدام الصيغة القياسية العلمية Standard form؛ وذلك بكتابة تلك الأرقام على الصيغة الآتية:  $10^n \times N$  حيث إن الرمز  $N$  عدد أقل من 10 وأكبر من أو يساوي 1،  $1 < N \leq 10$  والرمز  $n$  : يمثل الأس (عددًا صحيحًا)، وهذا يسهل علينا كتابة تلك الأرقام والتعامل معها في العمليات الحسابية، وبالتالي يمكن كتابة سرعة الضوء بالصيغة القياسية على الشكل  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$  وطول موجة أشعة جاما  $10^{-11} \text{ m}$ . ومن الأمثلة الأخرى على استخدام الصيغة القياسية كتلة الشمس  $1.989 \times 10^{30} \text{ kg}$  وشحنة الإلكترون  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

عِرْ عن الكميات الفيزيائية الآتية بالصيغة القياسية؟



a. قطر كوكب المريخ  $6779000 \text{ m}$

b. نصف قطر ذرة الهيدروجين  $0.00000000053 \text{ m}$

c. شدة التيار الكهربائي الذي يشعر به الإنسان  $0.4 \text{ mA}$

• **ملاحظة:** راجع الأرقام التي تعاملت معها في هذا الدرس وأعد كتابتها بالصيغة القياسية.

## نشاط 2-1



## قياس الكميات الفيزيائية واشتقاق وحداتها

الأهداف:

- يشتقُّ وحداتِ كمياتٍ فيزيائية.
- يحسبُ الكمياتِ المشتقةَ عملياً.
- يكتبُ النتائجَ مستخدماً وحداتِ النظامِ الدولي وبادئاتهِ والصيغةِ القياسية.

الأدوات:

مُجَسَّمٌ متوازيٌّ مستطيلات، مسطرةٌ مدرجةٌ بتدريج  $30\text{ cm}$  ، ميزانٌ (يُفضَّل إلكتروني) مدرجٌ بوحدة  $\text{g}$ .

الخطوات:

- إشتقَّ وحدة قياسٍ كُلِّيٍّ من: (المساحة، الحجم، الكثافة) وذلك بالتعاون مع زملائك في المجموعة.
- أكملِ البياناتِ في الجزءِ المظللِ من الجدولِ والمتعلقةِ باشتلاقِ الوحدات.
- قِسْ أبعادَ مُجَسَّمٍ متوازيٌّ مستطيلاتٍ باستخدامِ المسطرةِ بوحدة  $(\text{cm})$  وقِسْ كتلةَ المُجَسَّمِ باستخدامِ الميزانِ بوحدة  $(\text{g})$  ثم سجلُها على دفترك.
- احْسِبْ مساحةً أحدِ أوجهِ المُجَسَّمِ ، وحجمَ المُجَسَّمِ وكتافةً مادةَ المُجَسَّمِ ثم سَجِّلْ مقدارَ هذهِ الكمياتِ في الجدول.
- أكُتبِ الكمياتِ التي تم حسابُها بالصيغةِ القياسية. ثم تبادلِ نتائجَك مع زملائك في المجموعاتِ الأخرى.

$$\text{الطول} = \dots \quad \text{العرض} = \dots \quad \text{الارتفاع} = \dots \quad \text{الكتلة} = \dots$$

الصيغة القياس	نتيجة القياس		الوحدة المشتقة		العلاقة الرياضية	الكمية الفيزيائية	
	المقدار	الرمز	الإسم	الرمز		الرمز	الإسم
							المساحة
							الحجم
							الكتافة

## التحليل:

1. ما الوحداتُ الأساسيةُ التي استخدمتها في اشتقاقِ الوحداتِ المشتقة؟
2. هل يوجدُ اختلافٌ في النتائج بين المجموعات؟ ما سببُ الاختلافِ - إنْ وُجدَ - برأيك؟

## تحليل الوحدات Units analysis

عند كتابة علاقة رياضية لحل مسألة ما، ربما نكون غير متأكدين من صحة تلك العلاقة؛ لذا نلجأ إلى استخدام تحليل الوحدات units analysis وهي عملية التحقق من العلاقات بين الكميات الفيزيائية بتحديد وحداتها؛ أي أننا نتعامل مع الوحدات باعتبارها كمياتٍ جبريةً فيمكن جمع وطرح الكميات الفيزيائية بشرط أن يكون لها الوحدات نفسها.

ولإثبات صحة أي علاقة يجب أن تكون وحدات الطرف الأيمن منها هي نفسها وحدات الطرف الأيسر، فمثلاً العلاقة الرياضية الخاصة بحساب الزمن الدوري للبندول البسيط .

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

حيث  $T$  : الزمن الدوري ووحدته ( $s$ ) ،  $L$  : الطول ووحدته ( $m$ ) ،  $g$  : تسارع الجاذبية ووحدته ( $m/s^2$ )

عند تعويض وحدات القياس لطرفي المعادلة، نعتبر  $2\pi$  عدداً ليس له وحدة

تكون وحدات الطرف الأيسر  $s$

$$\sqrt{\frac{m}{(m/s^2)}} = \sqrt{s^2} = s$$

وتكون وحدات الطرف الأيمن:

نلاحظ أن وحدات قياس الطرف الأيمن تساوي وحدات قياس الطرف الأيسر، إذا فالمعادلة صحيحة.

حدّد ما إذا كانت العلاقة الآتية صحيحةً من حيث وحدات القياس أم لا.

$$v = \frac{1}{2} a t^2$$



- ملاحظة:** تساوي وحدات القياس على طرفي المعادلة لا يضمن صحتها، ولكن اختلاف الوحدات على طرفي المعادلة يعني أن المعادلة غير صحيحة.

## مراجعة الدرس الأول

### الأفكار الرئيسية:

- القياس: عملية مقارنة كمية مجهولة بكمية أخرى معيارية متفق عليها من النوع نفسه (تسمى وحدة القياس) لمعرفة عدد مرات احتواء الأولى على الثانية.
- الكميات الفизيائية تصنف إلى نوعين: الكميّات الأساسية والكميّات المشتقّة (التي تُشتق من الكميّات الأساسية).
- النظام الدولي للوحدات (SI): نظامٌ مُوحَّدٌ لِلقياس تَسْتَخْدِمُهُ الدُّولُ جَمِيعُهَا، وَيَشْتَمِلُ عَلَى سَبْعٍ وِحدَاتٍ قياسٍ أساسية لسبعين كميّاتٍ فِيزيائِيةً أساسيةً.
- الوحدات المشتقّة هي: الوحدات التي يَتَمُّ اشتقاقيها اعتماداً على الوحدات الأساسية.
- تُستَخدَمُ بادئاتُ النَّظَامِ الدُّولِيِّ لِلتَّعَامِلِ مع وِحدَاتِ قياسِ الْكَمِيَّاتِ الصَّغِيرَةِ جَدًا وَالكَبِيرَةِ جَدًا.
- تُستَخدَمُ الصيغة القياسية  $N \times 10^{-n}$  ، لتسهيل التعامل مع الأرقام الكبيرة جداً والصغيرة جداً والتي يصعب أحياناً كتابتها أو قراءتها أو لفظها، حتى باستخدام بادئاتِ النَّظَامِ الدُّولِيِّ.
- تحليل الوحدات: عملية التحقق من العلاقات بين الكميّات الفيزيائية بتحديد وحداتها.

## تقدير الدرس الأول

1. اختر الإجابة الصحيحة في كلٍ مما يأتي:

1. ما الوحدة الأساسية لقياس درجة الحرارة في النظام الدولي للوحدات؟

Kelvin (K) .a

Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) .b

mole ( mol) .c

Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) .d

2. إذا علمت أن الشغل  $W$  يعطى بالعلاقة  $(W = F.d)$  حيث وحدة  $F$  هي:  $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$ ، فما هي وحدة قياس الشغل؟

( $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$ ) .a

( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^2$ ) .b

( $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}$ ) .c

( $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$ ) .d

## تابع تقويم الدرس الأول

3. ما الصيغة القياسية لمتوسط بُعد الأرض عن القمر (384400000 m) ؟

( $3844 \times 10^5$  m) .a

( $3.844 \times 10^{-8}$  m) .b

( $3.844 \times 10^8$  m) .c

( $3.844 \times 10^{-5}$  m) .d

2. وَضَعِّ المقصود بالمفاهيم الآتية: (القياس، الكمية المشتقة، النظام الدولي للوحدات).

3. ما الفرق بين الوحدات الأساسية والوحدات المشتقة؟

4. حَوَّلِي الكميَات الآتية إلى الوحدة المُقابِلة؟ 

$5 \mu\text{m} = \dots \text{nm}$  .a

$72 \text{ km/h} = \dots \text{m/s}$  .b

$12 \text{ kHz} = \dots \text{MHz}$  .c

5. ما وِحدَة قيامِ الثابت  $k$  في قانون كولوم ؟ حيث  $F = \frac{k q_1 q_2}{d^2}$  حيث  $F$ : القوة وَوِحدَتها نيوتن (N)

q: الشُّحنة وَوِحدَتها كولوم (C) ، d: المسافة وَوِحدَتها (m) .

6. عَلَى: يبحثُ العلماءُ عن المعيار (الوحدة المعيارية) الأكثَر دِقَّةً وثباتاً للكميَات الفيزيائية؟ 

7. مَركبة مكتوبٌ عليها الحُمولة القصوى ton 1.5 ، أراد تاجر تحميل عَبْوات بلاستيكية تحتوي كل عَبْوة 1.6 من الزيت، إذا علمَ أن كثافة الزيت  $0.8 \text{ g/cm}^3$  ، كيف تُساعِدُ التاجر في حساب العدد الأقصى للعبوات المُمكِن تحميلها في المَركبة بأمان؟ (تجاهل كُتلة العَبوات الفارغة).

8. حدَّد ما إذا كانت العلاقة الآتية صحيحةً من حيث وحدات القياس أم لا.

$$v_f^2 = v_i^2 + 2ad$$

حيث  $a$ : التسارع  $v$ : السرعة . d: الإزاحة

# الدقة والضبط في القياس

## Precision and Accuracy in Measurement

P1002

## الدرس الثاني

### 2-1



ابتكر الإنسان القوس واستخدمها في عملية الصيد مُنذُ فجر التاريخ؛ فتمكن من رمي الحيوانات بالسهام عن بُعد، ثم أستخدمت القوس سلاحاً في الحروب، فكان لرماة السهام دور حاسم في المعارك عبر التاريخ. وفي الوقت الحاضر تُستخدم القوس ضمن الألعاب الرياضية، وقد أدرجت رياضة الرماية بالقوس ضمن مُنافسات البطولات العالمية. وتحتاج هذه الرياضة إلى الدقة في التصويب، كما تحتاج أيضاً إلى ضبط القوس من أجل إصابة الهدف بدقة.

**ما الفرق بين دقة الرامي في التصويب وضبط القوس التي يستخدمها الرامي؟**

#### المفردات الرئيسية



Precision	الدقة
Accuracy	الضبط
Measurement errors	أخطاء القياس
Uncertainty	هامش خطأ
Absolute error	الخطأ المطلق
Percentage error	الخطأ النسبي المئوي
Actual value	القيمة المقبولة
Measured value	القيمة المقاومة
Random error	الخطأ العشوائي
Regular error	الخطأ المنتظم

#### التجارب والأنشطة

- 3- قياس بعض الكميات الفيزيائية الأساسية (الطول، الكتلة، الزمن)
- 4- قياس الأبعاد الصغيرة باستخدام القدم ذات الورنية.
- 5- قياس الأبعاد الصغيرة باستخدام الميكرومتر

#### مخرجات التعليم

يتوقع في نهاية الدرس أن يكون الطالب قادرًا على أن:

- يوضح كيفية الحصول على قياسات دقيقة ومضبوطة في المهمات العملية.
- يحسب هامش الخطأ المطلق والخطأ النسبي المئوي في النتائج التجريبية بأساليب مختلفة، بما في ذلك الحد الأقصى والحد الأدنى لميل الخط المستقيم في الرسم البياني.
- يضع افتراضات مبسطة ومقبولة لحل المشكلات.

## نشاط 3-1



## قياس بعض الكميات الفيزيائية الأساسية

الهدف:

يقيسُ بعضَ الكمياتِ الفيزيائيةِ الأساسيةِ بطريقةٍ صحيحةٍ.

الأدوات:

شريطٌ مترٌ مُدرجٌ بوحدةٍ (cm). ميزانٌ حساسٌ. ساعةٌ إيقاف. كرةٌ بلاستيكيةٌ صغيرة. شريطٌ ورقيٌ لاصق.

## الخطوات :

يُوزَعُ الطلبةُ ضمنَ مجموعاتٍ، وتُوزَعُ المهامُ على أعضاءِ كلِّ مجموعة.

1. حَدِّدْ نقطةً على الحائط أو السبورة، على ارتفاعٍ 1.5 m، بوضعٍ علامةً عندها باستخدام الشريطِ اللاصق.
2. قِسْ ارتفاعَ هذه النقطةَ عن سطح الأرض، وسجِّلِ القياسَ في الجدول.
3. استخدم الميزانَ الحساسَ لقياسِ كتلةِ الكرةِ وسجِّلْها في الجدول.
4. امسكِ الكرةَ بيديكَ وضَعْها بجوارِ العلامةِ المثبتةَ على الحائط.
5. أفلِتِ الكرةَ من يدكَ لتسقطَ سُقوطاً حُرّاً، وليقُمْ زميلُكَ بقياسِ زمنِ السقوطِ باستخدام ساعةِ الأيقاف وتسجيِّله في الجدول.
6. كَرِّرِ الخطواتِ السابقةَ جميعَها مرتينِ ، ثم سجِّلِ النتائجَ في الجدول.

المحاولة الثالثة	المحاولة الثانية	المحاولة الأولى	الكمية الفيزيائية
			كتلة الكرة (g)
			الارتفاع (cm)
			زمن السقوط (s)

## التحليل :

1. هل اختلفت نتيجة عملية القياسِ لأيِّ من الكمياتِ من محاولةٍ لأخرى؟
2. أيُّ الكمياتِ كان الاختلافُ كبيراً في نتائجِ قياسِها؟
3. ما سببُ الاختلافِ في قياسِ الكميةِ نفسها بين كلِّ عمليةٍ قياسِ وأخرى؟
4. قارنْ نتائجَ القياسِ لمجموعتك مع نتائجِ المجموعاتِ الأخرى.

## نشاط اختياري

يمكن إجراء نشاط لقياس زمن سقوط الكرة من الارتفاع المحدد باستخدام البوابات الضوئية وجهاز قارئ البيانات الرقمي، ومقارنة دقة النتيجة مع نتيجة القياس باستخدام ساعة الإيقاف.

## القياس في الفيزياء Measurements in Physics

يقوم علم الفيزياء وباقى العلوم الأخرى على التجربة العلمي، فيضع العلماء الفرضيات لحل المشكلات ثم يجرون التجارب للتحقق من صحة فرضياتهم، وتنتهي كل تجربة عملية بأخذ القياسات لاستخراج نتائج التجربة، ولأسباب مختلفة قد تتفاوت هذه القياسات من شخص إلى آخر، أو من أداة قياس إلى أخرى، ويُوصَف التفاوت في القياسات بخطأ القياس. وللتقليل من الخطأ في نتيجة القياس، يُكرر العلماء القياس أكثر من مرة، ويحسبون المتوسط الحسابي لهذه القياسات. وبوجه عام يسعى العلماء إلى التقليل من الخطأ في القياسات العلمية؛ من أجل ذلك يجب أن يتصف القياس بصفتين، هما: الضبط والدقة. فكل أداة قياس بحاجة للضبط حتى نحصل منها على نتائج صحيحة. وكل شخص يجري عملية قياس عليه الالتزام بالدقة في ملاحظة أداة القياس وقراءة تدريجهما.

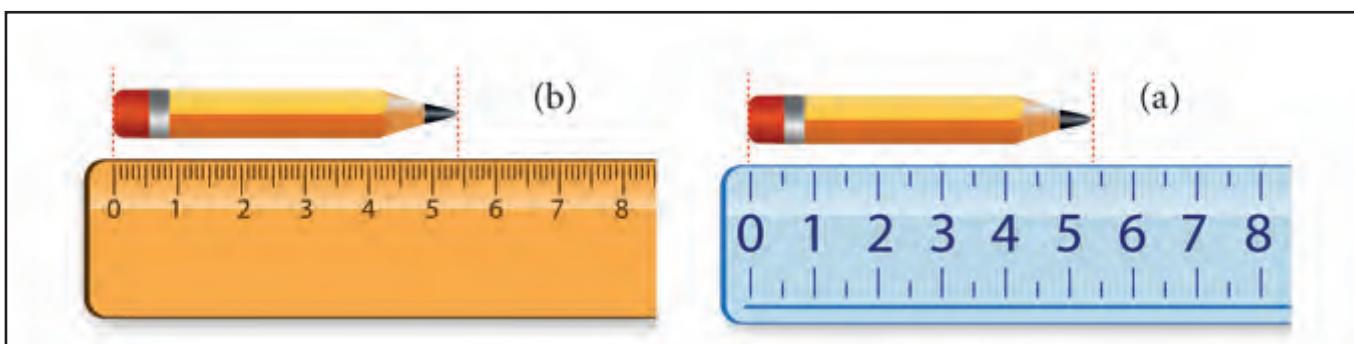
لقد حرص الإسلام على ضبط الكيل والميزان، والدقة في الوزن وفي كل أشكال القياس الأخرى، وأكَّد ذلك في آياتٍ كثيرة، وبين حال المطوفين يوم القيمة وما ينتظرون من عقاب، قال الله تعالى: ﴿ وَأَوْفُوا الْكَيْلَ وَالْمِيزَانَ بِالْقِسْطِ لَا نُكَلِّفُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا ﴾ (الأنعام: 152)، وهذه وصيَّةٌ تكفل حُسن التعامل بين الناس؛ فالكيل والميزان والمساحة والأطوال أمورٌ أساسيةٌ في التعامل اليومي بين الناس، يؤدون بها الحقوق بينهم، فإذا اختلت المقاييس ضاعت الحقوق، وعممت السرقة والغشُّ بين الناس.

فماذا نعني بكلٍ من الدقة والضبط في القياس؟

**الدقة في القياس Precision :** هي مدى تقارب نتائج القياس عند تكرار عملية قياس الكمية نفسها عدة مرات، وهي صفةٌ للقياس الجيد. ويُوجَدُ نوعان للدقة، هما: حساسية الأداة، ودقة الشخص الذي يجري عملية القياس.

1. **حساسية الأداة Sensitivity :** وهي مقدمة الأداة على قياس الكميات الصغيرة، وهي متعلقة بتدرج أداة القياس، فكلما كان تدرج الأداة صغيراً كانت حساسيتها للقياس أكبر، ويكون هامش الخطأ uncertainty في القياس قليلاً. وهامش الخطأ يكون دائماً مساوياً لنصف أقل تدرج في الأداة، ويكون الخطأ في القياس على شكل زيادة أو نقصان في مقداره.

للمقارنة بين حساسية أداتين مختلفتين، لاحظ الشريط المترى في الشكل (a / 5-1) الذي يظهر عليه أن أصغر تدرج هو  $0.5 \text{ cm}$ ؛ لذلك يكون هامش الخطأ فيه بمقدار  $0.25 \text{ cm}$  زيادةً أو نقصاناً في نتيجة قياس طول القلم، وتكتب النتيجة على الصورة  $(5.5 \pm 0.25 \text{ cm})$ ، بينما نلاحظ أن المسطرة في الشكل (b / 5-1) مدرجة بمقدار  $0.1 \text{ cm}$ ، ويكون هامش الخطأ فيها بمقدار  $0.05 \text{ cm}$  زيادةً أو نقصاناً في قياس طول القلم، فتكتب النتيجة على الصورة  $(5.4 \pm 0.05 \text{ cm})$ .



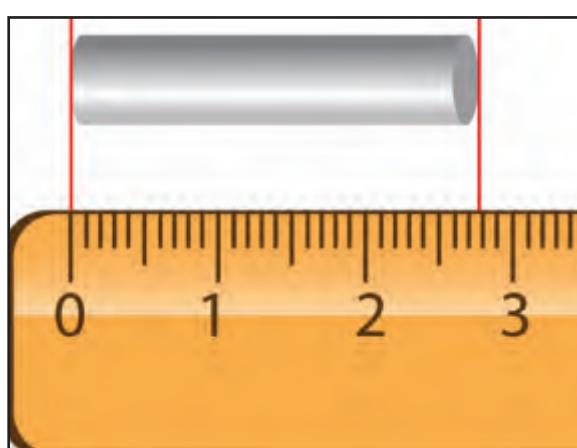
الشكل 5-1 : حساسية الشريط المترى والمسطرة.

### مثال 1

عَبَّرْ عن قياس طول الأنبوب المُبيَّن بالشكل (6-1) باستخدام المسطرة، مُوضِّحاً هامش الخطأ في القياس.

نلاحظ من الشكل أن نهاية طرف الأنبوب تقع على محاذاة الفراغ بين التدرجين  $2.7 \text{ cm}, 2.8 \text{ cm}$  ، لكما أقرب إلى التدرج  $2.8$  ، وحيث إن هامش الخطأ في المسطرة هو  $0.05 \text{ cm}$  فإن نتيجة القياس تساوي  $(2.8 \pm 0.05 \text{ cm})$ . أي أن القيمة الحقيقية لطول الأنبوب تقع بين الرقمين  $2.75 \text{ cm}$  و  $2.85 \text{ cm}$ .

الحل



الشكل 6-1 : القياس باستخدام المسطرة.

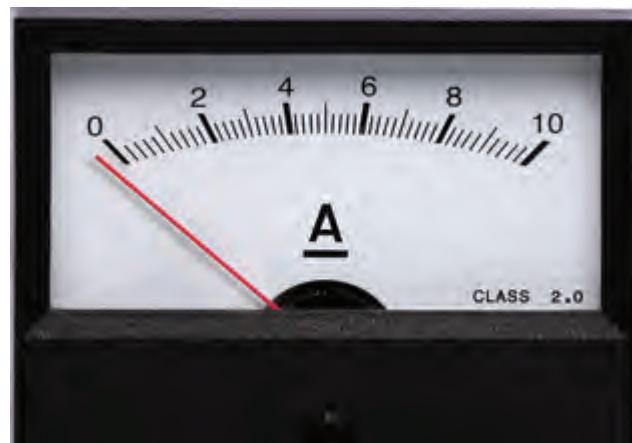
ما مقدار هامش الخطأ في ميزان له حساسية لقياس الكتل الصغيرة التي يصل مقدارها إلى  $10\text{ g}$  ؟



2. دقة الشخص: وهي مقدرة الشخص على الحصول على قيم قياسات متقاربة من بعض، وتعتمد هذه الدقة على مهارة الشخص الذي يجري عملية القياس، فإذا قام طالب بقياس سمل الكتاب ثلاث مراتٍ وحصل على ثلاثة قياسات، هي:  $2.6\text{ cm}$ ,  $2.4\text{ cm}$ ,  $1.8\text{ cm}$ , ثم قام طالب آخر بقياس سمل الكتاب نفسه فحصل على ثلاثة قياسات أخرى، هي:  $2.3\text{ cm}$ ,  $2.4\text{ cm}$ ,  $2.4\text{ cm}$ . نجد أن قياسات الطالب الأول كانت متباعدةً بعضها عن بعض في حين كانت قياسات الطالب الثاني متقاربةً أكثر؛ مما يعني أن الطالب الثاني أكثر دقةً في إجراء قياساته.

**الضبط في القياس Accuracy** يعني مدى قرب القيمة التي يحصل عليها الشخص بالقياس من القيمة المقبولة. وتُعرف القيمة المقبولة actual value للقياس بأنها القيمة التي توصل إليها العلماء أو المتخصصون وتم اعتمادها من قبلهم، ومثل ذلك حجم الذرة أو سرعة الضوء، وقد تكون القيمة المقبولة معتمدةً من قبل شخص أو جهة معينة مثل حجم علبة العصير، أو طول القلم، أو سمل كتاب. ويعتمد مدى اقتراب القيمة المقاسة من القيمة المقبولة على أداة القياس وضبطها، فيجب أن تكون الأداة صالحة للقياس، ويكون تدريجها مضبوطاً، ويتضمن ضبط الأداة نوعين من الضبط، هما: ضبط الصفر، بحيث يكون مؤشر الأداة منطبقاً على الصفر، وضبط التدرج بحيث يكون منتظماً ويعطي قراءاتٍ سليمة؛ لذلك يجب أن تجرى عمليات معايرة دورية لأدوات القياس.

ومثال على عدم ضبط صفر الأداة؛ أن يكون لديك جهاز أميتر لقياس شدة التيار الكهربائي، وتلاحظ أن مؤشر الأميتر لا ينطبق على الصفر في حالة عدم مرور تيار فيه، كما في الشكل (1-7). عند استخدام هذا الجهاز فإنه سيعطي دائماً قراءات أقل من القيمة الصحيحة.



شكل 1-7: جهاز أميتر بحاجة إلى معايرة لضبط الصفر.

## مثال 2

ذهبَتَ إلى متجرِ ذهبٍ ولاحظَتَ أنَّ الميزانَ لا يُشيرُ إلى الصفرِ في حالة عدم وجود كُتلةٍ عليه، كما يُوضَحُ الشكلُ (8-1)، فما نوعُ الخللِ في الميزان، وما أثرُ ذلك في أي قطعةٍ ذهبيةٍ يبيعُها المتجرُ.

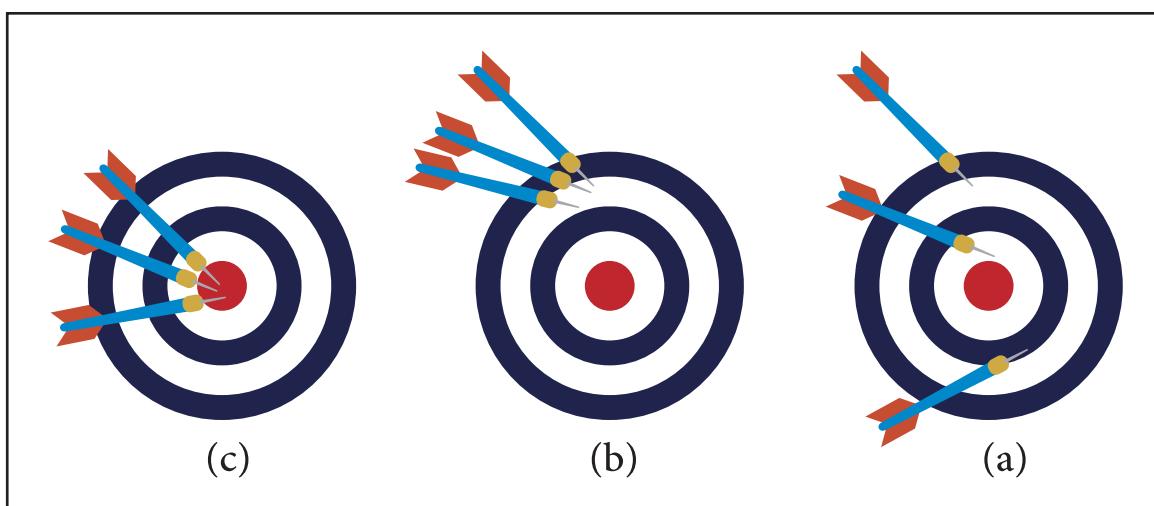
## الحل

يَحتوي الميزانُ على خطأً في صفرِ التدريجِ، فهو يُشيرُ إلى كتلةٍ  $0.2\text{ g}$  في حالة عدم وجود كتلةٍ عليه، وسوف يكونُ أثراً ذلك في الكتيلِ التي يَقِيسُها بأنْ قيمَتَها الحقيقيةَ ستقُولُ أقلَّ من القيمة المُقاسَةِ، فعندَ وَضْعِ قطعةٍ كتلتها  $1.28\text{ g}$  ، مثلاً فإنَّ القياسَ سوف يَظُهر  $1.48\text{ g}$



شكل 8-1: خلل في الميزان.

ويمكنُ توضيحُ كلٍّ من الدقةِ والضبطِ بتفصيلٍ أكثر، عن طريقِ لوحَةِ التصويبِ، كما في الشكل (9-1).



شكل 9-1: الدقة والضبط في لوحة التصويب.

- اللوحة (a): نلاحظ أن إصابات الأسمم لللوحة متباعدة عن بعضها، ويدلُّ هذا على أن الرامي لا يتصف بالدقة، كما نلاحظ أن الإصابات لم تقترب من المركز، ويدلُّ هذا على عدم ضبط القوس؛ أي أن تصويبه غير دقيق وغير مضبوط. وهذا يُشبه عملية قياس الكميّات الفيزيائية والحصول على قياسات متباعدة ولا ينطبق أيٌ منها على القيمة المقبولة لقياس.
  - اللوحة (b): نلاحظ أن الأسمم أصابات اللوحة في منطقة واحدة وكانت متقاربةً من بعضها، ويدلُّ هذا على أن الرامي يتصف بالدقة، إلا أن الإصابات بعيدة عن المركز؛ مما يدل على أن القوس المستخدمة في الرماية لم تكن مضبوطة ولم تساعد الرامي على تحديد الهدف بشكل صحيح، أي أن الرميات دقيقة وغير مضبوطة. وهذا يُشبه شخصاً يَقِيس بدقّة ويحصل على قياسات متقاربة؛ لأنّه يمتلك مهارات القياس وينتفع بها، لكن مشكلته في عدم ضبط أداة القياس.
  - اللوحة (c): نلاحظ أن الأسمم أصابات اللوحة في مركزها وكانت جميعها متقاربةً، ويدلُّ هذا التقارب على دقة الرامي، وتدلُّ الإصابة في المركز على الضبط الجيد للأداة؛ أي أن الرميات دقيقة ومضبوطة. وهذا يُشبه شخصاً يَقِيس بدقّة لأنّه يمتلك مهارات القياس ويستخدم أداة قياس مضبوطة تُعطي قراءات سليمة.
- نلاحظ من المثال السابق أن لكل من دقة الشخص في عملية القياس وحساسية أداة القياس وضبطها أهمية كبيرة في الحصول على نتائج قياس تتصرف بالدقة (متقاربة في قيمها)، وتتصف بالضبط (قيمتها قريبة من القيمة المقبولة لقياس).

**ما الفرق بين حساسية أداة القياس ودقة القياس؟ وكيف تؤثر كلٌّ منهما في نتائج**

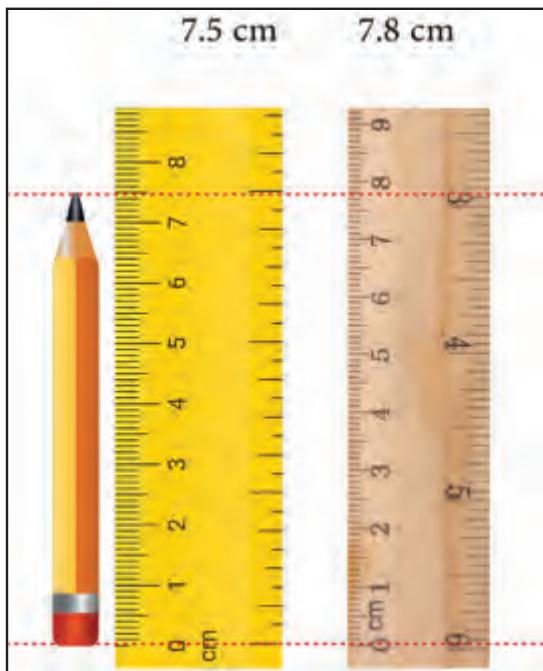


**القياس؟**

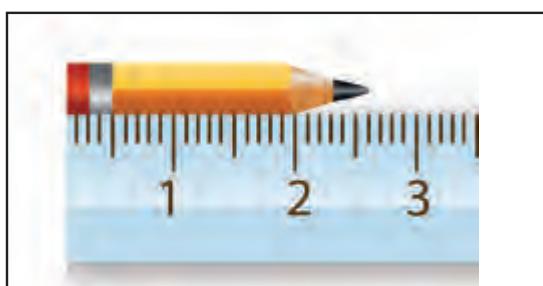
## أخطاء القياس Measurement errors

تنتُج أخطاء القياس measurement errors عن أسباب مختلفة تتعلق بكلٍّ من الدقة والضبط، فعند إجراء تجربة وتكرار قياس الكمية الواحدة عدّة مرات نحصل على قيم مختلفة لهذه الكمية تسمى كلٌّ منها قيمة مقاسة measured value ، ويُعرف خطأ القياس measurement error بأنه الفرق بين القيمة المقاسة والقيمة المقبولة. وللتقليل من خطأ القياس نقوم بحساب المتوسط الحسابي لمجموعة القيم المقاسة، وبذلك يُحسب خطأ القياس بأنه الفرق بين القيمة المقبولة المعتمدة من قبل العلماء المتخصصين والمتوسط الحسابي للقيم المقاسة جميعها.

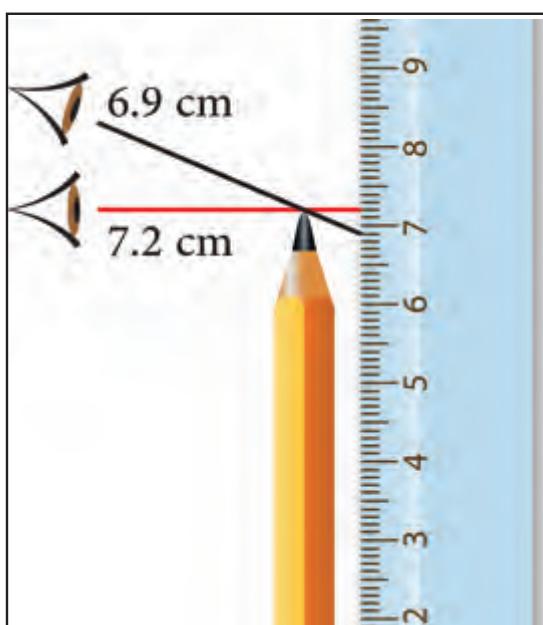
## أنواع أخطاء القياس: تُصنَّفُ الأخطاء إلى نوعين: منتظمة وعشوائية.



الشكل 10-1 : عدم معايرة التدرج .



شكل 11-1 : الخطأ الصفرى



شكل 12-1 : زاوية النظر.

1. **الأخطاء المنتظمة Regular errors** : هي أخطاء تظهر على شكل مقدار ثابت يضاف إلى جميع القيم المقاسة، أو يطرح منها؛ فيجعل هذه القياسات جميعها تنحرف عن القيمة المقبولة بالمقدار نفسه. وللأخطاء المنتظمة مصادر محددة، منها:

- التدرج غير الصحيح لأداة القياس، مثل بعض المساطر الخشبية أو البلاستيكية التي تختلف في طولها عن مساطر أخرى، مع أنها جميعها لها نفس الوحدات ونفس القياس، لكنها ليست معايرة بدقة. لاحظ الشكل (10-1).
  - الخطأ الصفرى، وهو عدم انطباق المؤشر على صفر التدرج في حالة عدم القياس. لاحظ اختفاء الصفر في المسطرة، كما يُبيّن الشكل (11-1). هل القياس  $2.6\text{ cm}$  يمثل الطول الحقيقي للقلم؟
  - الممارسة غير الصحيحة للشخص الذي يقيس، لأنها تتحيز دائمًا في النظر إلى التدرج بشكل مائل، كما في الشكل (12-1) لاحظ الفرق بين القياس الصحيح والقياس الخطأ لطول القلم.
- يؤدي كل مصدرٍ من هذه المصادر الثلاثة إلى ظهور خطأً منتظمً في القياس على شكل زيادة أو نقصان في جميع القياسات بمقدار ثابت؛ ومع هذا إلا أن مصادر الأخطاء المنتظمة لا تؤثر في دقة القياسات، أي أن مقدرة الشخص على الحصول على قياسات متقاربة لن تتأثر.

2. **الأخطاء العشوائية Random errors**: هي أخطاء تحدث عند القياس وتكون بشكل غير منتظم، وتنتج عن متغيرات غير معروفة ولم تكون متوقعةً، وقد تظهر هذه الأخطاء على شكل زيادة في قراءة ونقصان في قراءة أخرى، ولا يكون لها مقدار ثابت. ومن مصادر الأخطاء العشوائية:

- **تغيرات غير متوقعة** في بيئة التجربة، مثل: اختلاف اتجاه الرياح عند قياس السرعة، أو اختلاف درجة الحرارة عند قياس المقاومة الكهربائية.
- **عدم تحيز الشخص**: لأن يغير من زاوية نظره إلى التدرج فينظر عند كل قياس من زاوية مختلفة، وفي هذه الحالة قد يكرر الشخص عملية القياس ولا يحصل على النتيجة نفسها.
- **عدم استجابة أداة القياس للكميات الصغيرة**، لأن نضع كتلة 20 g على ميزان مخصص لقياس كتل الأشخاص، فلا يعطي قراءة.

**يبين الجدول (1-3) القيمة المقبولة والقيمة المقاسة التي حصل عليها الطالبان حمد وسالم  
عند قياسهم ثلاثة كميات مختلفة.**



1. ما نوع الخطأ الناتج في قياسات كل من الطالبين حمد وسالم؟
2. ما المصادر المتوقعة للخطأ الناتج في قياسات الطالب حمد؟
3. ما المصادر المتوقعة للخطأ الناتج في قياسات الطالب سالم؟

قياس الطالب سالم	قياس الطالب حمد	القيمة المقبولة	الكمية المقاسة
3.50 kg	3.68 kg	3.64 kg	كتلة حقيبة الكتب
0.48 kg	0.49 kg	0.45 kg	كتلة كتاب الفيزياء
0.25 kg	0.36 kg	0.32 kg	كتلة كتاب الكيمياء

الجدول 1-3 : قياسات الطالبين حمد وسالم.

## حساب الخطأ في القياس Calculating Measurement Errors

تنهي كل تجربة بأخذ القياسات وتسجيلها واستخراج النتائج. وللتقليل من الخطأ في القياس تكرر خطوات التجربة مرات عدّة وتسجل نتيجة القياس لكل محاولة في جدول يتضمن رقم المحاولة والقيمة المُقاسة، ثم يُحسب الخطأ لكل قيمة مُقاسة على مرحلتين الخطأ المطلق ثم الخطأ النسبي المئوي، كما يأتي:

- **الخطأ المطلق Absolute Error** وهو القيمة المطلقة للفرق بين القيمة المقبولة  $actual\ value$  والقيمة المُقاسة  $measured\ value$ .

$$\text{الخطأ المطلق} = | \text{القيمة المقبولة} - \text{القيمة المُقاسة} |$$

$$AE = |AV - MV|$$

- **الخطأ النسبي المئوي Percentage Error** هو النسبة المئوية للخطأ المطلق  $absolute\ error$  إلى القيمة المقبولة  $actual\ value$ .

$$\text{الخطأ النسبي المئوي} = \frac{\text{الخطأ المطلق}}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100\%$$

$$PE = \frac{AE}{AV} \times 100\%$$

والخطأ في القياس يكون دائمًا موجباً، لأنه يُحسب من القيمة المطلقة للفرق بين القيمتين.

## مثال 3

قاسَ فَيُّ قُطْرَ أَنْبُوبٍ فَحَصَلَ عَلَى الْقِيَاسَاتِ 22 cm, 18 cm, 23 cm. إِذَا عَلِمَتَ أَنَّ القيمة المقبولة لقطر الأنابيب هي 20 cm . فَاحسِبِ الْخَطَأَ الْمُطْلَقَ وَالْخَطَأَ النِّسْبِيَّ لِكُلِّ محاولةٍ وَرَتَّبِ النَّتائِجَ فِي جُدُولٍ.

1- تحليل المسألة: اكتب نتائج القياس في الجدول 1-6 :

المجهول		المعلوم		القيمة المقبولة
PE	AE	MV	رقم المحاولة	
= ?	= ?	22 cm	1	
= ?	= ?	18 cm	2	
= ?	= ?	23 cm	3	
20 cm			القيمة المقبولة	

2. إيجاد الكمية المجهولة: استخدم العلاقة الرياضية المناسبة:

$$a. AE_1 = |AV - MV_1| = |20 - 22| = 2 \text{ cm}$$

الخطأ المطلق في القياس الأول:

$$AE_2 = |AV - MV_2| = |20 - 18| = 2 \text{ cm}$$

الخطأ المطلق في القياس الثاني :

$$AE_3 = |AV - MV_3| = |20 - 23| = 3 \text{ cm}$$

الخطأ المطلق في القياس الثالث :

$$b. PE_1 = \frac{AE_1}{AV} \times 100 \% = \frac{2}{20} \times 100 \% = 10 \% \quad \text{الخطأ النسبي المئوي في القياس الأول :}$$

الحل

$$PE_2 = \frac{AE_2}{AV} \times 100 \% = \frac{2}{20} \times 100 \% = 10 \% \quad \text{الخطأ النسبي المئوي في القياس الثاني :}$$

$$PE_3 = \frac{AE_3}{AV} \times 100 \% = \frac{3}{20} \times 100 \% = 15 \% \quad \text{الخطأ النسبي المئوي في القياس الثالث:}$$

PE	AE	MV	رقم المحاولة
10 %	2 cm	22 cm	1
10 %	2 cm	18 cm	2
15 %	3 cm	23 cm	3

أجرى طالبُ قياسين مختلفين لكتلٍ من طول قلمِ رصاصٍ وطول غرفةِ الصف، ثم سجّلَ الأطوالَ الحقيقيةَ ونتائجَ القياس في الجدول الآتي، احسب الخطأ المطلق والخطأ النسبي.

مثال 4

الخطأ النسبي المئوي	الخطأ المطلق	الطول المقاس	الطول الحقيقى	الكمية
= ?	= ?	9.9 cm	10 cm	طول قلم رصاص
= ?	= ?	867 cm	850 cm	طول غرفة الصف

الخطأ المطلق في قياسِ القلم :

$$\Delta E_1 = |10 - 9.9| = 0.1 \text{ cm}$$

الخطأ النسبي المئوي في قياسِ القلم :

$$PE_1 = \frac{0.1}{10} \times 100\% = (0.01 \times 100)\% = 1\%$$

الخطأ المطلق في قياسِ غرفةِ الصف :

الحل

$$\Delta E_2 = |850 - 867| = 17 \text{ cm}$$

الخطأ النسبي المئوي في قياسِ غرفةِ الصف :

$$PE_2 = \frac{17}{850} \times 100\% = (0.02 \times 100)\% = 2\%$$

- قياس غرفةِ الصف أقل دقةً من قياس طول القلم.

لا يُعدُ الخطأ المطلق دليلاً على دقةِ القياس، بينما الخطأ النسبي المئوي يُعبّرُ عن دقةِ القياس؛ لذلك فإنَّ قياسَ طولِ غرفةِ الصفِ كان أقل دقةً من قياسِ طولِ القلم، لأنَّ الخطأ النسبي المئوي فيه كان أكبر.

للتقليلِ من أخطاءِ القياسِ والحساباتِ المترتبةِ عليها، يلجأُ الباحثون إلىأخذِ المزيدِ من القياساتِ، ثم استخراجِ المتوسطِ الحسابيِّ لها. وكلما زادَ عددُ هذه القياساتِ اقتربَتْ قيمةُ المتوسطِ الحسابيِّ لها من القيمةِ المقبولة، وبهذا تَقلُّ نسبةُ الخطأِ في القياس.

في المثالِ السابقِ: احسبِ المتوسطَ الحسابيَّ للقياساتِ الثلاثةِ، ثم احسبِ الخطأَ المطلقَ والخطأَ النسبيَّ لهذا المتوسطِ بالنسبةِ إلى القيمةِ المقبولةِ. وقارنْ نتيجَتكَ مع الإجاباتِ السابقة.



## قياس الأبعاد (الأطوال) الصغيرة Measurement of Small Dimensions

تَعْرِفَتْ فِيمَا سَبَقَ إِلَى بَعْضِ أَدَوَاتِ قِيَاسِ الْأَبْعَادِ، مُثَلُّ: (الْمَسْطَرَةُ وَالشَّرِيطَةُ الْمُتَرِيُّ). وَتَعْرِفَتْ إِلَى دَقَّةِ الْقِيَامِ لِهَذِهِ الْأَدَوَاتِ، وَإِلَى هَامِشِ الْخَطْلَاءِ فِي كُلِّ مِنْهَا، وَأَثْرَهُ فِي دَقَّةِ الْقِيَامِ. لَكِنْ تُوجَدُ بَعْضُ الْأَطْوَالِ الصَّغِيرَةِ مُثَلُّ: سُمْكُ الْوَرْقَةِ وَقُطْرُ شَعْرَةِ الإِنْسَانِ وَالكَثِيرِ مِنَ الْأَجْسَامِ الصَّغِيرَةِ الْمُسْتَخْدَمَةِ فِي التَّطَبِيقَاتِ التَّكْنُولُوْجِيَّةِ الَّتِي لَا تَصْلُحُ الْمَسْطَرَةُ لِقِيَاسِ أَبْعَادِهَا؛ لِذَلِكَ تُسْتَخْدِمُ أَدَوَاتٌ خَاصَّةٌ أَكْثَرَ دَقَّةً، مُثَلُّ: الْقَدْمَةُ ذَاتُ الْوَرْنِيَّةِ وَالْمِيكْرُومِيْتر.

**القدمَةُ ذاتُ الْوَرْنِيَّةِ Vernier caliper** وَهِيَ أَدَاءٌ تُسْتَخْدِمُ لِقِيَاسِ الْأَبْعَادِ الصَّغِيرَةِ، وَتَحْتَوِي عَلَى تَدْرِيْجَيْنِ أَحَدُهُمَا ثَابِتٌ وَمُدْرَجٌ بِمَقْدَارِ 1 mm، وَالثَّانِي مُتَحْرِكٌ وَمُدْرَجٌ بِمَقْدَارِ 0.1 mm، وَدَقَّةُ الْقِيَامِ فِي الْوَرْنِيَّةِ هِيَ 0.1 mm، لِذَلِكَ فَإِنْ هَامِشُ الْخَطْلَاءِ فِيهَا يَسَاوِي 0.05 mm، وَعِنْدَ اسْتِخْدَامِ الْقَدْمَةِ ذاتِ الْوَرْنِيَّةِ فِي الْقِيَامِ، فَإِنَّهُ يُوضَعُ الْجَسْمُ الْمَرَادُ قِيَامُ طَوْلِهِ بَيْنَ فَكَيْهَا ثُمَّ تُغلَقُ عَلَيْهِ بِلَطْفٍ. وَتُؤْخَذُ قِرَاءَتَاهُ ثُمَّ تُجْمِعُانِ مَعًا. وَلِلْقَدْمَةِ ذاتِ الْوَرْنِيَّةِ ثَلَاثَةُ اسْتِخْدَامَاتٍ، كَمَا فِي الشَّكْلِ (a / 13-1).

1. قِيَاسُ الْقُطْرِ الْخَارِجيِّ لِلأنْبُوبِ وَالسُّمْكِ وَالطَّوْلِ.

2. قِيَاسُ الْقُطْرِ الدَّاخِليِّ لِلأنْبُوبِ.

3. قِيَاسُ الْعَمْقِ الدَّاخِليِّ لِلأنْبُوبِ.



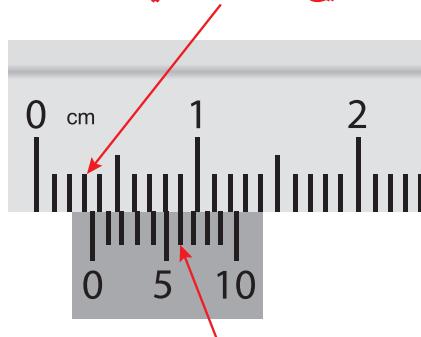
شكل 1-13 a: استخدامات الورنية.

### كيف تقرأ الورنية؟

في الشكل (13-1 / b)؛ نلاحظ أن قراءة التدرج الثابت تساوي (0.3 cm = 3 mm)، وقراءة التدرج المتحرك تساوي 0.6 mm، لأن التدرج المتحرك السادس فقط مطابق لدرج ثابت؛ بذلك تكون قراءة الورنية، هي:

$$3 \text{ mm} + 0.6 \text{ mm} = 3.6 \text{ mm}$$

**يقرأ التدرج الثابت الذي يسبق الصفر**



**يقرأ التدرج المتحرك المنطبق**

شكل 1/13-1b: قراءة الورنية.

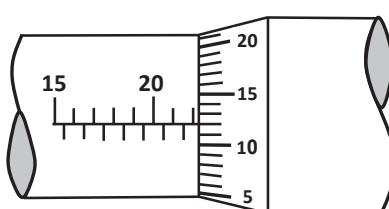
**الميكروميترا (Micrometer)** أداة تستخدم لقياس الأبعاد الصغيرة جداً، وتحتوي على تدريجين أحدهما ثابت على الساق وهو مدرج بمقدار 0.5 mm، والدرج الثاني متحرك على القرص وهو مدرج بمقدار 50 درجة، مقدار كل منها 0.01 mm ، كما في الشكل (14-1)، ودقة القياس في الميكروميترا 0.01 mm ؛ لذلك فإن هامش الخطأ فيه يساوي 0.005 mm.

وعند استخدام الميكروميترا في عملية القياس، يوضع الجسم المراد قياس طوله أو قطره بين فكييه ثم يغلق عليه ببطء، وتؤخذ قراءتا التدريجين وتجمعان معًا.

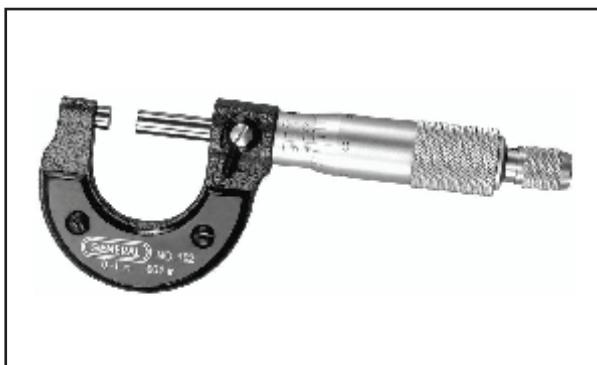
### كيف يقرأ الميكروميترا؟

في الشكل (15-1)؛ نلاحظ أن قراءة التدرج الثابت تساوي 22 mm، وقراءة المtragدة على القرص تساوي 0.12 mm ، تكون القراءة الكلية للميكروميترا:

$$22 \text{ mm} + 0.12 \text{ mm} = 22.12 \text{ mm}$$

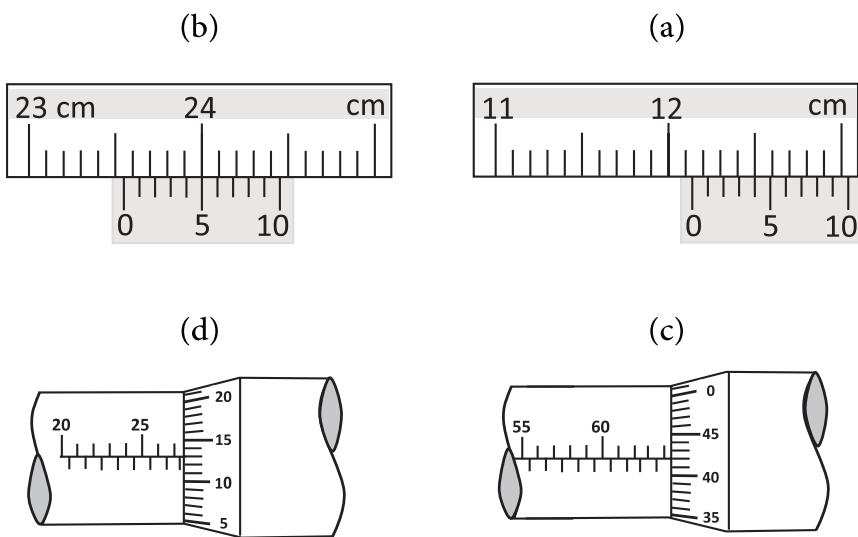


شكل 15-1: الميكروميترا.



شكل 14-1: الميكروميترا.

اقرأ القياسات الظاهرة على كلٍ من الأدوات (d, c, b, a) في الشكل (16-1). ثم سجّل النتائج في الجدول، مع تحديد هامش الخطأ لكل قراءة.



شكل 16-1: قراءات الورنية والميكرومتر.

مثال 5

باتباع الطريقة الصحيحة في قراءة كلٍ من التدرجين الثابت والمتحرك على كلٍ أداة، ثم جمعهما معاً، نحصل على الجدول الآتي:

القراءة مع هامش الخطأ	القراءة	التدريج المتحرك	التدريج الثابت	الأداة
$121.4 \pm 0.05 \text{ mm}$	121.4 mm	0.4 mm	$12.1 \text{ cm} = 121 \text{ mm}$	القدم ذات الورنية (a)
$235.5 \pm 0.05 \text{ mm}$	235.5 mm	0.5 mm	$23.5 \text{ cm} = 235 \text{ mm}$	القدم ذات الورنية (b)
$64.42 \pm 0.005 \text{ mm}$	64.42 mm	0.42 mm	64 mm	الميكرومتر (c)
$27.63 \pm 0.005 \text{ mm}$	27.63 mm	0.13 mm	27.5 mm	الميكرومتر (d)

الحل

## نشاط 4-1



## قياس الأبعاد الصغيرة باستخدام القدم ذات الورنية

الهدف:

يقيس الأطوال الصغيرة باستخدام القدم ذات الورنية.

الأدوات:

قدم ذات الورنية ، كرة فولاذية معلومة القطر.

الأمن والسلامة:

تَوَخِّي الحذر عند التعامل مع أدوات حادة أو مدببة.

## الخطوات :

1. قس قطر الكرة باستخدام القدم ذات الورنية، على أن يُكَرَّرَ زملاؤك في المجموعة القياس مرتين، سجّل القراءات في الجدول.
2. احسب المتوسط الحسابي للقراءات الثلاث.
3. خذ القيمة المقبولة لقطر الكرة من معلمك وسجلها في الجدول.
4. احسب الخطأ المطلق والخطأ النسبي المئوي لكل قياس، وسجلهما في الجدول.
5. احسب الخطأ المطلق والخطأ النسبي المئوي للمتوسط الحسابي وسجلهما في الجدول.

الطالب	قياس قطر الكرة mm	الخطأ المطلق mm	الخطأ النسبي المئوي
1			
2			
3			
المتوسط الحسابي			
القيمة المقبولة = ..... (قطر الكرة الذي يزودك به المعلم).			

## التحليل :

1. قارن نتائج مجموعتك مع المجموعات الأخرى فيما يتعلق بالخطأ المطلق والخطأ النسبي المئوي.
2. ما رأيك في دقة القياس باستخدام القدم ذات الورنية وهامش الخطأ فيها إذا ما قارنتها بدقة المسطرة وهامش الخطأ فيها؟
3. ما أهمية إيجاد المتوسط الحسابي للقياسات؟ هل يُفيد في تقليل مقدار الخطأ في القياس؟ ووضح إجابتك.

## نشاط 5-1



## قياس الطول باستخدام الميكرومتر

يُقِيسُ الأطوال الصغيرةً باستخدَامِ الميكرومِيتَر.	الهدف:
ميكرومِيتَر، كرة فولاذية معلومة القطر. (المُستخدمة في النشاط السابق)	الأدوات:
تَوَخِّي الحذرَ عند التعاملِ مع أدواتٍ حادةٍ أو مُدببةٍ.	الأمن والسلامة:

## الخطوات:

1. قِسْنَ قُطْرَ الكرةِ باستخدَامِ الميكرومِيتَر، علَى أَن يُكَرَّرَ زملاُوكُ في المجموعةِ القياسِيَّةِ مرتَين، وسَجِّلِ القراءاتِ في الجدول.
2. احْسِبِ المُتوسطَ الحسابيَّ للقراءاتِ الثلاث.
3. حُذِّرِ القيمةُ المُقبولةُ لقُطْرِ الكرةِ من معلمك وسُجِّلْها في الجدول.
4. احْسِبِ الخطأَ المطلَقَ والخطأَ النسبيَّ المئويَّ لـكُلِّ قياسٍ، وسُجِّلْهُما في الجدول.
5. احْسِبِ الخطأَ المطلَقَ والخطأَ النسبيَّ المئويَّ للمُتوسطِ الحسابيِّ وسُجِّلْهُما في الجدول.

الطالب	قياس قطر الكرة mm	الخطأ المطلَق mm	الخطأ النسبي المئوي
1			
2			
3			
المتوسط الحسابي			
القيمة المقبولة = ..... (قطر الكرة الذي يزودك به المعلم).			

## التحليل:

1. قارِنْ نتائِجَ مجموعاتِكَ مع المجموعاتِ الأخرى فيما يتعلُّقُ بالخطأ المطلَقِ والخطأ النسبيِّ المئويِّ.
2. قارِنْ نتائِجَ القياسِ بالميكرومِيتَر مع النتائِجِ التي حصلتَ عليها في النشاطِ الساُبُقِ باستخدَامِ الورنيةِ.  
ما زَانَتْ؟
3. ما رأيَكَ في دقةِ القياسِ باستخدَامِ الميكرومِيتَر وهامشِ الخطأِ فيه إِذا ما قارنتها بدقةِ القدمةِ ذاتِ الورنيةِ وهامشِ الخطأِ فيها؟
4. ما أهميَّةِ إيجادِ المُتوسطِ الحسابيِّ للقياساتِ؟

## تحديد هامش الخطأ بالرسم البياني Determining uncertainty graphically

لاحظنا فيما سبق أنه يمكن استخراج الخطأ في القياس عن طريق حساب المتوسط الحسابي للقيم المقصورة ثم إيجاد الفرق بينه وبين القيمة المقبولة للقياس. وبزيادة عدد القياسات يقترب مقدار المتوسط الحسابي لها من القيمة المقبولة للقياس؛ وبالتالي يقل الخطأ في القياس.

عند إجراء التجارب وتسجيل القياسات في جداول خاصة من أجل التمثيل البياني للعلاقة بين المتغيرات، يجب مراعاة هامش الخطأ في تلك القياسات عند تمثيلها على الرسم. حيث يستخرج هامش الخطأ لنتيجة التجربة بطريقة الرسم البياني، وفق الخطوات الآتية:

1. إعداد جدول يتضمن القياسات التجريبية.
2. تمثيل كل زوج من القياسات بنقطة على إحداثيات الرسم البياني.
3. رسم خط مستقيم يكون له أقل ميل ممكن، بحيث يمر في معظم النقاط أو بالقرب منها.
4. رسم خط مستقيم يكون له أكبر ميل ممكن، بحيث يمر في معظم النقاط أو بالقرب منها.
5. استخراج ميل كل خط، ثم إيجاد الفرق بين ميل الخطين.
6. استخراج هامش الخطأ لقيمة النهاية لنتيجة التجربة بقسمة الفرق بين الميلين على 2.

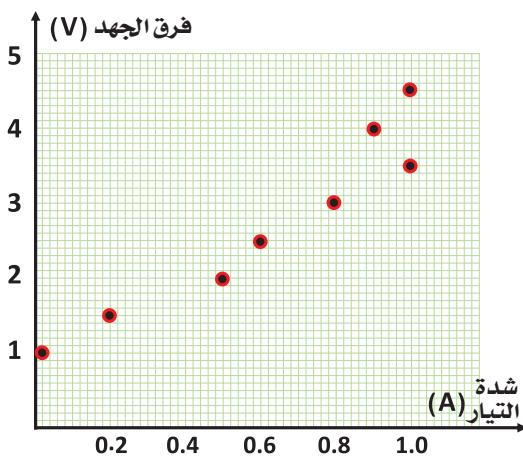
لتوسيع هذه الطريقة نطرح المثال الآتي:

أجرى سعيد تجربة لقياس مقاومة الكهربائية لسلك فلزّي، فاستخدم جهاز فولتميتر لقياس فرق الجهد الكهربائي بين طرفي السلك، وجهاز أمبير لقياس شدة التيار الكهربائي المار فيه. وسجل النتائج في الجدول الآتي:

فرق الجهد (Volt)	شدة التيار (ampere)
4.5	1.0
4.0	0.9
3.5	1.0
3.0	0.8
2.5	0.6
2.0	0.5
1.5	0.2
1.0	0.0

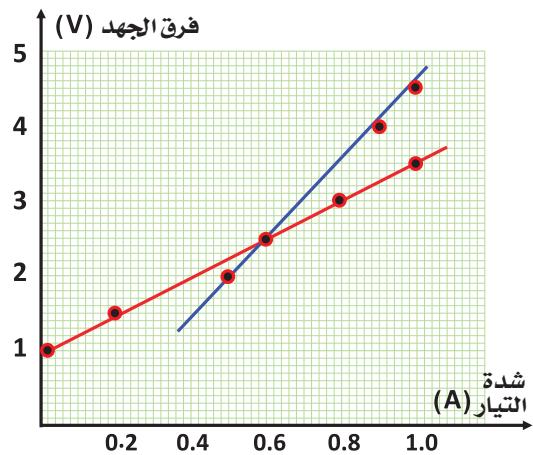
مثال 6

مثّل هذه النتائج بيانياً ثم احسب ميل منحني العلاقة لإيجاد مقدار مقاومة وحدة هامش الخطأ فيها.



شكل 17-1: تمثيل الأزواج المرتبة بالرسم.

1. نمثل بيانات الجدول على الرسم البياني في الشكل (17-1)، بحيث تكون شدة التيار على محور (x)، وفرق الجهد على محور (y). لاحظ أن النقاط على الرسم لا تقع على استقامة واحدة؛ وذلك بسبب أخطاء القياس في كل من الجهد والتيار.



شكل 18-1 : رسم أدنى ميل وأقصى ميل.

2. نرسم خطين مستقيمين، يمر كل خط بأكبر عدد من النقاط. بحيث يكون أحدهما لهحد الأدنى من الميل (ويظهر باللون الأحمر). والخط الثاني يكون لهحد الأقصى من الميل (يظهر باللون الأزرق). كما في الشكل (18-1).
- الحل

3. ميل كل من الخطين:

الحد الأدنى للميل يساوي:

الحد الأعلى للميل يساوي:

$$\frac{(3.5 - 1.5)}{(1.0 - 0.2)} = \frac{2}{0.8} = 2.5$$

$$\frac{(4.5 - 2.0)}{(1.0 - 0.5)} = \frac{2.5}{0.5} = 5.0$$

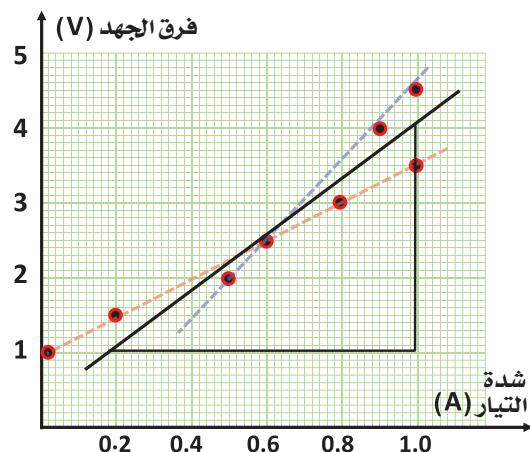
$$5.0 - 2.5 = 2.5$$

$$\frac{2.5}{2} = 1.25$$

4. الفرق بين ميل الخطين يساوي:

هامش الخط يساوي:

6. نرسم خطًا يتوسطُ الخطين السابقين ويُمثلُ أفضل ميل للعلاقة بين الجهد والتيار، كما في الشكل (19-1) ومتىًله يساوي قيمة المقاومة المطلوب حساؤها مع مراعاة هامش الخطأ الذي حصلنا عليه في الخطوة السابقة.



شكل 19-1 : رسم أفضل ميل للعلاقة.

أفضل ميل يساوي

$$\frac{(4.0 - 1.0)}{(1.0 - 0.2)} = \frac{3.0}{0.8} = 3.75$$

مقدار المقاومة مع هامش الخطأ يساوي

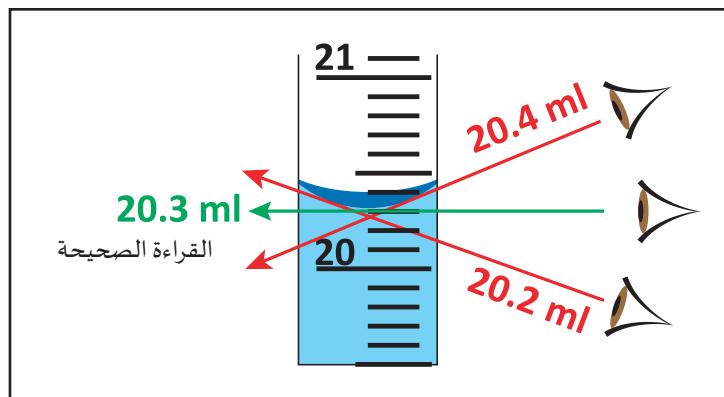
$$3.75 \pm 1.25 \Omega$$

## القياسُ الجيدُ وافتراضاتُ التبسيط Simplified Assumptions

للحصول على نتائج قياسٍ جيدٍ تتصف بالدقة والضبط؛ حتى يكون هامش الخطأ فيها أقلَّ ما يُمكن، يجب مراعاة الأمور الآتية:

1. ضبطُ أدواتِ القياس ومعاييرُ صفرِ الأداةِ والتأكدُ من سلامتها تدريجها.
2. استخدامُ الأداةِ بطريقةٍ صحيحة، واستبعادُ مصادرِ الخطأ المتعلقة بطريقةِ القياس.
3. زيادةُ عددِ القياساتِ للكمية الواحدة واستخراجُ المتوسطِ الحسابي للقياسات.
4. إتقانُ الشخصِ لعمليةِ القياس. واستبعادُ كافةِ مصادرِ الخطأ الشخصية.

من الأمثلة على الأخطاء الشخصية، عدمُ النظر إلى التدريج بشكلٍ عمودي؛ كما هو الحال عند قراءةِ تدريج المِهْبَار أو مقياسِ الحرارة أو الفولتميتر؛ إذ ينبع عن النظر إلى الجهاز أو الأداة بشكلٍ مائلٍ تغييرٌ ظاهريٌّ في موقعِ التدريج يؤدي إلى قراءةٍ غير صحيحة. لاحظِ الشكل (1-20) الذي يُبيّن الاختلافَ في زاويةِ النظر إلى تدريج المِهْبَار المُدرج عند قياسِ حجمِ السائل، وأثر ذلك في نتيجةِ القياس.



الشكل 1-20: خطأ القياس الناتج عن اختلاف زاوية النظر.

رغم كلِّ الإجراءاتِ المُتخذة للتخلصِ من أخطاءِ القياس، إلا أنه لا يُمكن الحصولُ على نتائجٍ خاليةٍ من الأخطاء تماماً، لذلك يُهمِّلُ الباحثُ بعضَ مصادرِ الخطأ ويغفلُ النظرَ عن وجودها، عندما لا تؤثُّ كثيراً في النتيجة النهائية للتجربة، ومن الأمثلة على ذلك:

1. إهمالُ بعضِ مصادرِ الأخطاء العشوائية التي يكونُ تأثيرُها في نتائج التجربة ثانوياً وبسيطاً، ولا تسبِّب خللاً جوهرياً فيها، مثل: التَّغَيُّرُ المُفاجئُ في بيئَةِ التجربة كما يحدثُ عند تَغَيُّرِ سرعةِ الهواء أثناء قياسِ الكتل الصغيرة، أو عدمِ دقةِ الشخصِ الذي يجري عمليةِ القياس، فلا يلاحظُ أحدى القراءاتِ بشكلٍ واضح.

2. إهمال بعض مصادر الأخطاء المنتظمة عندما لا يكون لها تأثير كبير على الحسابات والنتيجة النهائية، أو يكون تحديد الخطأ فيها أمراً صعباً، مثل: الخطأ الناتج عن زمن رد الفعل عند الشخص الذي يقيس فترات زمنية قصيرة باستدام ساعة إيقاف. أو تأثير مقاومة الهواء في حركة الأجسام عند قياس زمن سقوطها من ارتفاعات قليلة إلى سطح الأرض.

أجرى الطالبان (بلال و محمد) تجربة لقياس كتلة كميات من أملأح مختلفة، فوضع كلّ منهما كمية الملح على قطعة مختلفة من الورق، وسجل القياسات في الجدول. لكن تبيّن عند إجراء الحسابات أنه نتج عن وجود قطعة الورق فوق الميزان زيادة منتظمة في جميع نتائج القياس، وأن الكتل الحقيقية للأملأح كانت كما في الجدول.

كتلة كبريتات النحاس	كتلة كلوريد الكالسيوم	كتلة كلوريد الصوديوم	
88.8 g	37.0 g	62.5 g	نتائج الطالب بلال
86.6 g	34.8 g	60.3 g	نتائج الطالب محمد
86.3 g	34.5 g	60.0 g	الكتل الحقيقية للأملأح

مثال 7

أيُ الطالبين يُمكّنه إهمال مصدر الخطأ والقبول بوجود قطعة الورق؟ وأيهما عليه استبعاد مصدر الخطأ؟

نلاحظ أن مقدار الخطأ في نتائج الطالب محمد كان صغيراً ولن يكون له أثر واضح على نتائج التجربة، لأن كتلة الورقة التي استخدمها كانت 0.3g، ويمكن إهمالها. في حين كان مقدار الخطأ عند الطالب بلال كبيراً، وسوف يكون له أثر واضح على نتائج التجربة، حيث كانت كتلة الورقة التي استخدمها 2.5g؛ لذلك عليه عدم إهمال مصدر الخطأ ومعالجة ذلك بالحسابات بأن يطرح كتلة الورقة من كل قياس، أو يعيد التجربة.

الحل

مثال 8

أجرى عبد الله تجربة لقياس زمن سقوط كرة مطاطية من ارتفاع محدد، ثم حَسَبَ تَسَارُعَ السقوط الحر؛ فحصل على النتيجة  $9.7 \text{ m/s}^2$ ، ثم كرر التجربة بإسقاط كرة بلاستيكية وَحَسَبَ التَّسَارُعَ؛ فحصل على النتيجة  $9.6 \text{ m/s}^2$ . إذا علمت أن القيمة المقبولة لتسارع السقوط الحر، هي  $9.8 \text{ m/s}^2$ . فهل كان أثُرُ مقاومة الهواء للكرة البلاستيكية كبيراً بحيث يتطلّب الأمر إعادة التجربة والتخلص من مقاومة الهواء؟

الحل

نلاحظ أن الخطأ في نتائج قياس الزمن بالنسبة للكرتين لا يختلف كثيراً، أي أن تأثير مقاومة الهواء في الكرة البلاستيكية لم يكن كبيراً؛ وبالتالي يمكن إهمال مقاومة الهواء والاحتفاظ بنتائج التجربة.

لماذا يُسمح بإهمال بعض مصادر الخطأ المنظم في النتائج التجريبية؟



## مراجعة الدرس الثاني

### الأفكار الرئيسية:

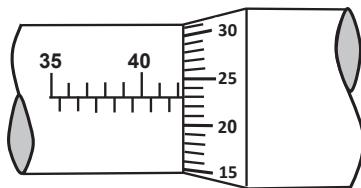
- دقة القياس: هي درجة إتقان القياس؛ وتنتج عن حساسية الأداة ودقة الشخص؛ وكلاهما يؤدي إلى تقارب في القياسات.
- تتعلق حساسية أداة القياس بتدرجها، وكلما كان تدرج الأداة أصغر كانت حساسيتها أكبر.
- هامش الخطأ يكون دائماً مساوياً لنصف أقل تدرج في الأداة، ويظهر على شكل زيادة أو نقصان.
- دقة الشخص: هي مدى تقارب قيم القياسات بعضها من بعض، وتعتمد على مهارة الشخص الذي يقيس.
- الضبط يعبر عن مدى قرب القيمة التي نحصل عليها بالقياس من القيمة المقبولة المعتمدة من قبل العلماء.
- الخطأ المنتظم: هو خطأ باتجاه واحد؛ فتكون القيمة المقابلة جميعها أكبر من القيمة المقبولة، أو تكون جميعها أصغر من القيمة المقبولة بمقدار ثابت.
- الخطأ العشوائي: هو خطأ يحدث بصورة غير منتظمة، فقد يظهر على شكل زيادة في قراءة ونقصان في أخرى، ولا يكون له مقدار ثابت.
- الخطأ المطلق: هو القيمة المطلقة لفرق بين القيمة المقبولة والقيمة المقابلة.
- الخطأ النسبي المئوي: هو النسبة المئوية للخطأ المطلق إلى القيمة المقبولة.
- هامش الخطأ في الورنية  $0.05 \text{ mm}$  ، وقراءتها تساوي مجموع قراءتي التدرج الثابت والتدرج المتحرك.
- هامش الخطأ في الميكرومتر  $0.005 \text{ mm}$  ، وقراءته تساوي مجموع قراءتي تدرج الساق وتدرج القرص.
- يمكن إيجاد هامش الخطأ في النتائج التجريبية من الحد الأقصى والحد الأدنى لميل منحنى العلاقة.
- افتراضات التبسيط تقوم على إهمال بعض مصادر الخطأ التي لا تؤثر كثيراً في النتيجة النهائية للتجربة.

## تقويم الدرس الثاني



1. اختر الإجابة الصحيحة في كلٍ مما يأتي:

1. يُوضح الشكل المجاور جزءاً من ميكرومتر ويظهر عليه التدرج الثابت والمتحرك، فما القراءة الصحيحة له؟

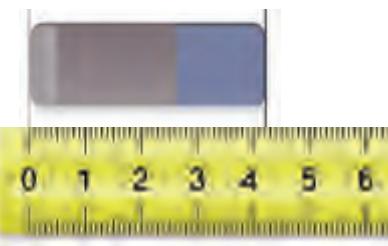


- (23.42 mm) .a
- (42.23 mm) .b
- (23.44 mm) .c
- (44.23 mm) .d

2. استخدم أفراد عائلة ميزانا لقياس كتلهم، فحصل كلٌّ فردٍ منهم على نتيجةٍ تزيد بمقدار 0.3 kg عن كتلته الحقيقية. ما تصنيف هذا الخطأ؟ وما سببه؟

- a. الخطأ عشوائي وسببه اختلاف زاوية النظر.
- b. الخطأ عشوائي وسببه عدم ضبط صفر الميزان.
- c. الخطأ منتظم وسببه تغيير مفاجئ في بيئه التجربة.
- d. الخطأ منتظم وسببه عدم ضبط صفر الميزان.

3. تُستخدم القدمة ذات الورنية لقياس الأبعاد الصغيرة. أي الأرقام الآتية يمثل الحد الأعلى لها مыш الخطأ فيها؟



- (0.1 mm) .a
- (0.005 mm) .b
- (0.01 mm) .c
- (0.05 mm) .d

2. ما قياس طول المحاة في الشكل المجاور؟  
وما مقدار هامش الخطأ في المسطرة؟

3. عدد مصادر الخطأ في القياس، وكيف يمكن التقليل من آثارها؟

4. وضح المقصود بكلٍّ من: حساسية الأداة وضبط الأداة ودقة القياس.

5. قارن بين الأخطاء المنتظمة والأخطاء العشوائية من حيث مصادره المحتملة، وتأثيرها في نتيجة القياس.

## تابع تقويم الدرس الثاني

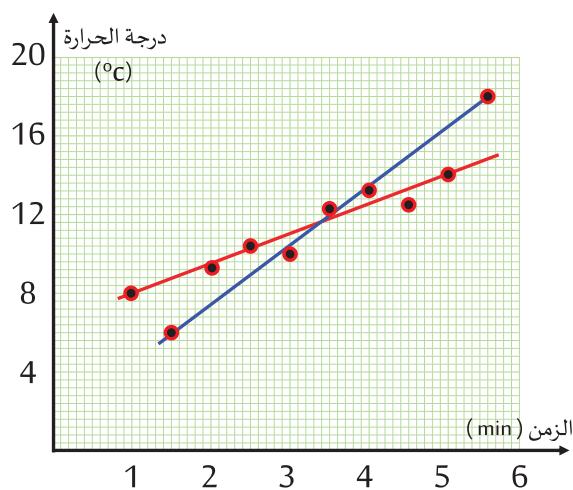
6. وضّح متى يُمكن إهمال بعض مصادر الخطأ المنتظمة والعشوائية. مدعماً إجابتك بمثال لكٍل منها.

7.  قاس طالب تَسَارُع السقوط الحُرِّ ثلاَثَ مراتٍ واستخرج المتوسط الحسابي فكان  $10.4 \text{ m/s}^2$ ، وفي تجربة أخرى قاسه خمس مراتٍ واستخرج المتوسط الحسابي فكان  $9.5 \text{ m/s}^2$ . فإذا علمت أن القيمة المقبولة لتسارع السقوط الحُرِّ التي اتفق عليها العلماء، هي  $9.8 \text{ m/s}^2$ . فاحسب الخطأ النسبي المئوي لقياسات الطالب في كٍل من التجاربتين. ثم بيّن أثر زيادة عدد القياسات في مقدار الخطأ.

8. قاس طالب ارتفاع الطاولة أربع مراتٍ وسجّل قياساته في الجدول التالي. فإذا علمت أن القيمة المقبولة لارتفاع الطاولة هي  $65 \text{ cm}$ . فاحسب المتوسط الحسابي للقياسات، واحسب الخطأ المطلق والخطأ النسبي المئوي لكٍل قياسٍ ومتوسط القياسات، ورتّب النتائج في الجدول الآتي:

رقم المحاولة	القيمة المقابلة	الخطأ المطلق	الخطأ المئوي
1	54 cm		
2	68 cm		
3	70 cm		
4	72 cm		
	.....		المتوسط

9.  يُبيّن الشكل البياني المجاور أقصى ميل وأدنى ميل للعلاقة بين درجة الحرارة والزمن. معتمداً على الشكل. أجب بما يأتي:



a. احسب الميل الأدنى والميل الأقصى.

b. احسب هامش الخطأ.

c. أرسم الخط الذي يُمثل أفضل ميل للعلاقة.

## تقويم الوحدة الأولى



1. اختر الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

أي الكميات الآتية يُسمى كميةً مشتقةً؟

- a. شدة الإضاءة
- b. التيار الكهربائي
- c. الكثافة
- d. درجة الحرارة

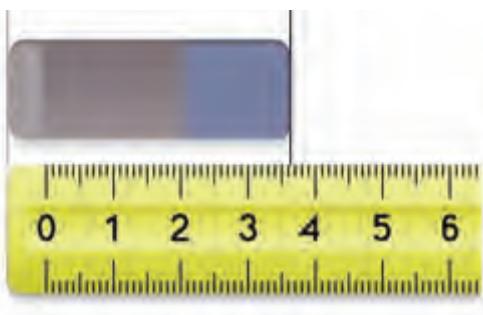
أي القيم الآتية تُساوي  $5 \text{ MW}$ ؟

- $5 \times 10^{-6} \text{ W}$  .a
- $5 \times 10^6 \text{ W}$  .b
- $5 \times 10^{-3} \text{ kW}$  .c
- $5 \times 10^{-15} \text{ W}$  .d

ما وحدة قياس الكتلة حسب النظام الدولي للوحدات؟

- g .a
- kg .b
- Mg .c
- mg .d

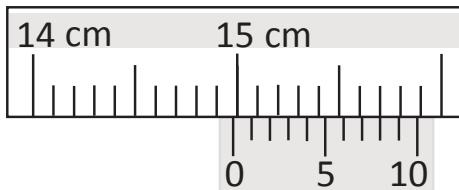
استخدم طالب المسطرة في قياس طول الممحاة كما في الشكل المجاور، ما الخطأ وما مصدره؟



- a. زيادة في القراءة، مصدرها الطالب.
- b. نقص في القراءة، مصدره الطالب.
- c. زيادة في القراءة، مصدرها الأداة.
- d. نقص في القراءة، مصدره الأداة.

## تابع تقويم الوحدة الأولى

5. يُوضّح الشكل المجاور جزءاً من أداة الورنيّة ويَظُهُرُ عليه التدريجاني الثابتُ والمتحرّكُ،  
فما القراءةُ الصحيحةُ له؟



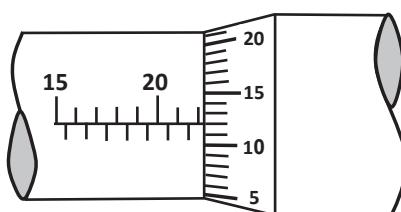
(14.98 mm) .a

(149.9 mm) .b

(14.09 mm) .c

(149.8 mm) .d

6. يُوضّح الشكل المجاور جزءاً من ميكروميتّر ويَظُهُرُ عليه التدريجاني الثابتُ والمتحرّكُ،  
فما القراءةُ الصحيحةُ له؟



(22.12 mm) .a

(12.24 mm) .b

(24.12 mm) .c

(15.22 mm) .d

7. يُستخدُم الميكروميتّر لقياس الأبعاد الصغيرة. فأيُّ الأرقام الآتية يُمثّلُ الحدَّ الأعلى  
لهامش الخطأ فيّه؟

(0.005 cm) .a

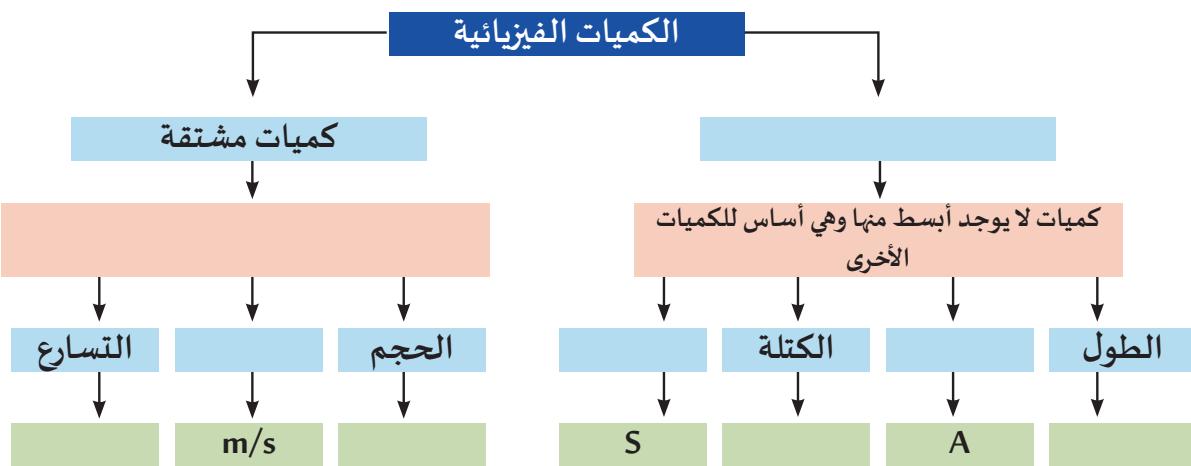
(0.005 mm) .b

(0.05 cm) .c

(0.05 mm) .d

## تابع تقويم الوحدة الأولى

أكمل الخريطة المفاهيمية الآتية:



3. بِمَ يُمْتَازُ النَّظَامُ الدُّولِيُّ لِلْوَحْدَاتِ عَنْ غَيْرِهِ مِنَ الْأَنْظَمَةِ الْأُخْرَى لِلْوَحْدَاتِ؟

4. إِشْتَقَّ وَحْدَةً كُلِّ مَا يَأْتِي:

a. طَاقَةُ الْحَرْكَةِ  $K.E = \frac{1}{2}mv^2$  حيث  $m$ : الكتلة ،  $v$  : السرعة

b. القدرة الكهربائية  $P = IV$  حيث  $I$ : التيار الكهربائي ،  $V = IR$  حيث:  $R$  المقاومة الكهربائية ووحدتها أوم ( $\Omega$ ) في النظام الدولي.

c. ثابت الجاذبية  $G$  في العلاقة  $F = \frac{G m_1 m_2}{d^2}$

حيث  $m$ : الكتلة ،  $d$ : المسافة ،  $F$  : القوة (وتُقاس بوحدة نيوتن  $N$  في النظام الدولي).

5. يتحرك بندول حركةً تَذَبُّذِيَّةً منتظمةً ذهاباً وإياباً؛ حيث قاسَ أَحْمَدُ الزَّمَنَ الْلَّازِمَ لِإِتَامِ 3 ذَبَابَاتٍ فَحَصَلَ عَلَى النَّتْيُوجَةِ 36. وَقَاسَ إِبْرَاهِيمُ الزَّمَنَ الْلَّازِمَ لِإِتَامِ 10 ذَبَابَاتٍ، فَحَصَلَ عَلَى النَّتْيُوجَةِ 112. فَإِذَا كَانَتِ الْقِيمَةُ الْمُقْبُولَةُ لِزَمْنِ الذَّبَابَةِ الْوَاحِدَةِ (الزَّمَنُ الدُّورِيُّ لِلْبَنْدُولِ) تَسَاوِي 11 s. فَأَجْبُ عنَ الْأَسْئَلَةِ الآتِيَّةِ:

a. احْسِبِ الزَّمَنِ الدُّورِيِّ لِلْبَنْدُولِ وَالخَطَأَ الْمُطْلَقَ وَالخَطَأَ الْمِتْوَيِّ، فِي تَجْرِيَةِ أَحْمَدَ.

b. احْسِبِ الزَّمَنِ الدُّورِيِّ لِلْبَنْدُولِ وَالخَطَأَ الْمُطْلَقَ وَالخَطَأَ الْمِتْوَيِّ، فِي تَجْرِيَةِ إِبْرَاهِيمَ.

c. فِي أَيِّ التَّجْرِيَتَيْنِ كَانَتْ دَقَّةُ الْقِيَاسِ أَكْبَرَ؟ وَمَا سَبَبُ ذَلِكَ؟

## تابع تقويم الوحدة الأولى

6. يتضمن الجدول الآتي بعض أدوات القياس، وقراءةً لكلِّ أداة، معتمداً على أصغر تدرج لـكلِّ أداة. أكمل الجدول بتحديد هامش الخطأ وأكبر قيمة وأصغر قيمة محتملة لـكلِّ قياس.

الأداة	القيمة المقاسة	هامش المقاسة	أكبر قيمة	أصغر قيمة
المسطرة	16.4 cm	± 0.05 cm	16.45 cm	16.35 cm
الميكرومتر	22.58 mm	.....	.....	22.575 mm
الساعة	35 s	± 0.5 s	.....	.....
الميزان	13 kg	.....	13.5 kg	.....
الفولتميتر	5.6 V	± 0.05 V	.....	5.55 V

7. وضح تأثير كلِّ من الحالات الآتية في نتيجة القياس.

a. القياس باستخدام شريط مترٍ تمَ فقدانُ قطعةٍ من طرفه طولها 2 cm.

b. طالبٌ يقيس التيار الكهربائي وينظر إلى مؤشر جهاز الأميتر بشكلٍ مائلٍ.

c. بائعٌ يقيس الكتلة بالميزان، ومؤشر الميزان ينطبق على 0.2 kg والميزان فارغٌ.

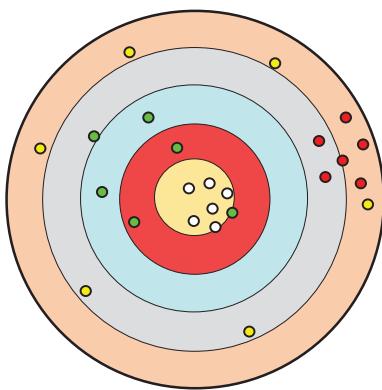
8. مُكعب زجاجي طول ضلعه 2.5 cm، احسب ما يأتي، ثم عِبِر عن النتيجة بالصيغة القياسية علماً بأن كثافة الزجاج :



a. حجم المكعب بوحدة m³

b. كتلة المكعب بوحدة kg؟

9. في مسابقة للرمادية، استخدم أربعة رماداً لواناً مختلفاً من الأسماء (الأبيض والأحمر والأخضر والأصفر)، فأصابوا اللوحة في مواقع مختلفة. بالاطلاع على موقع إصاباتهم. أجب عن الأسئلة الآتية:



a. ما اللون الذي تتصف إصاباته بالدقة والضبط معاً؟

b. ما اللون الذي تتصف إصاباته بالدقة ولا تتصف بالضبط؟

c. ما اللون الذي لا تتصف إصاباته بالدقة ولا بالضبط؟

10. ما أهمية ضبط صفر أداة القياس مثل الميزان وأدوات قياس الطول عند البيع والشراء؟

## تابع تقويم الوحدة الأولى

حول الكميات المبينة في الجدول الآتي إلى الbadiat المقابلة لكل كمية منها:



الوحدة المطلوبة	الوحدة المعطاة	الكمية الفيزيائية
mg	0.0538 kg	الكتلة
m/s	108 km/h	السرعة
MV	$2.6 \times 10^5$ V	فرق الجهد الكهربائي

12. فسر كلاً مما يأتي:

a. لماذا ينتج خطأ منتظم عن تحيز الشخص في القياس إلى طريقة معينة (النظر إلى التدريج بشكل مائل دائمًا) عند أخذ القراءات، بينما ينتج عن عدم تحيزه لنفس الطريقة خطأً عشوائيًّا.

b. يضع تاجر الذهب ميزانًا حساسًا يستخدمه لقياس الكتلة داخل صندوق زجاجي.

13. أعد كتابة الفقرة الآتية، مستخدماً الصيغة القياسية في التعبير عن الأرقام.

«كوكب المريخ رابع الكواكب من حيث البُعد عن الشمس، متوسط بُعده عن الشمس يساوي 228,000,000 km تقريبًا، يبلغ قُطرُ كوكب المريخ 6791 km، وتعادل كتلته 0.000,000,322 من كتلة الشمس».

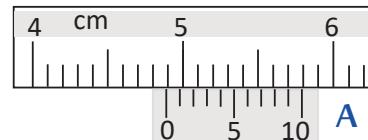
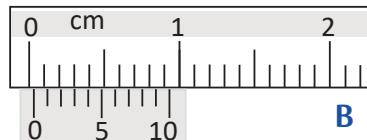
14. استخدم سعيد قدمه ذات الورنية لقياس طول برغي صغير فحصل على القراءة الظاهرة في الشكل (A)، لكنه وجد أن القراءة الصفرية للورنية، كما تظهر في الشكل (B).



a. ما مقدار الخطأ الصناعي في الورنية؟ وهل هو منتظم أم عشوائي؟

b. ما مقدار القيمة المُقاسة لطول البرغي؟

c. احسب الطول الحقيقي للبرغي.





P1003  
P1004

UNIT

2



## الوحدة الثانية

### المتجهات وعلم الحركة

Vectors and Motion

محتويات الوحدة:

1-2 الكميّات المتجهة

Vector Quantities

الدرس الأول:

2-2 الحركة في بُعد واحد  
Motion in One Dimension

الدرس الثاني:

# الكميّاتُ المُتَجَهَّةُ Vector Quantities

## الدَّرْسُ الأوَّلُ 1-2

P1003



### المفرداتُ الرَّئِيسَةُ



- Vector quantities
- Scalar quantities
- Vector analysis
- Resultant vector

- الكميّاتُ المُتَجَهَّةُ
- الكميّاتُ القياسيّةُ
- تحليل المُتَجَهَّةِ
- مُتَجَهَّةُ المُحَصِّلةِ

### التجاربُ والأنشطة

- تصنيف الكميّات الفيزيائية إلى مُتَجَهَّةٍ وقياسيّة.
- محضأة قوتين في مستوى واحد.
- أثر اتجاه القوة في المقدرة على تحريك الأجسام.

### مخرجاتُ التَّعْلِيمِ

يتوقع في نهاية الدرس أن يكون الطالب قادرًا على أن:

يُوضّح الفرق بين الكميّات القياسيّة والمُتَجَهَّة (المُتَجَهَّمات).  
ويحلل المُتَجَهَّمات، ويحسب المُحَصِّلة في مواقف حقيقية.

## نشاط 1-2



## تصنيف الكميات الفيزيائية

<ul style="list-style-type: none"> <li>- يقيس عملياً بعض الكميات الفيزيائية.</li> <li>- يستخرج الكميات الأخرى من الشكل.</li> <li>- يميز الكميات الفيزيائية التي وصفت وصفاً كاملاً عن غيرها.</li> </ul>	الأهداف:
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ميزان حرارة. - ميزان لقياس الكتلة. - مقياس القوة الإلكتروني (أو الميزان الزنبركي) - مسطرة 30 cm - مقياس متري كرة قدم.</li> </ul>	الأدوات:

## الخطوات:

بالتعاون مع أفراد مجموعتك تقدِّم الخطوات الآتية:

1. قِسْ الكميات الفيزيائية في الجدول أدناه وسجِّل النتائج.

2. استخدم المعلومات في الخريطة للإجابة عن السؤالين الثاني والثالث وسجِّل النتيجة في الجدول.

النتيجة	الكمية الفيزيائية	الرقم
	درجة حرارة الغرفة	1
	موقع مدينة الخور عن العاصمة الدوحة	2
	سرعة الرياح على الخريطة.	3
		
	كتلة كرة القدم.	4
	مساحة سطح المكتب.	5
	أقل قوة تلزم لتحريك حقيبة المدرسية على سطح المكتب شمالاً.	6

## التحليل:

1. أيُّ الكميات وصفت وصفاً كاملاً ودقيقاً؟
2. ما المعلومة اللازم إضافتها لبعض الكميات الأخرى لكي يكون وصفها كاملاً ودقيقاً؟ ما المستفاد من إضافة تلك المعلومة؟

## الكميّات القياسيّة والكميّات المُتّجّهة Scalars and Vectors

نَعَاملُ بِشَكْلٍ دَائِمٍ مِنَ الْكَمِيَّاتِ الْفِيزيائِيَّةِ فِي عَالَمِنَا الطَّبِيعِيِّ، وَدَرَسْتَ سَابِقًا أَنَّ الْكَمِيَّاتِ الْفِيزيائِيَّةَ تَنْدِرُجُ تَحْتَ نَوْعَيْنِ رَئِيْسَيْنِ هُمَا: الْكَمِيَّاتُ الْأَسَاسِيَّةُ مِثْلُ: الْكَتْلَةُ، وَالزَّمْنُ وَالطَّولُ، وَالْكَمِيَّاتُ الْمُشَتَّقَةُ مِثْلُ: الْقُوَّةُ، وَالسُّرْعَةُ وَالتَّسَارُعُ. وَتَعَالَمْنَا فِي الْقِيَاسِ مَعَ هَذِينِ النَّوْعَيْنِ بِطَرِيقَةٍ وَاحِدَةٍ، فَكَنَّا نُعَبِّرُ عَنْ أَيِّ مِنْهُمَا بِرَقْمٍ وَوَحْدَةٍ مُنَاسِبَيْنِ، فَنَقُولُ مَثَلًا: كَتْلَةُ الْحَقِيقَةِ 5 kg وَتَسَارُعُ السِّيَارَةِ  $4 \text{ m/s}^2$  وَلَكِنْ هَلْ يَتَطَلَّبُ التَّعْبِيرُ عَنْ كُلَّ الْكَمِيَّاتِ تَحْدِيدَ الاتِّجَاهِ أَيْضًا؟

لَا شَكَّ أَنَّكَ لَاحَظَتَ مِنَ النَّشَاطِ السَّابِقِ (1-2) أَنَّ هُنَاكَ كَمِيَّاتٍ فِيزيائِيَّةٍ يَكْفِي تَحْدِيدُ مِقْدَارِهَا فَقَطَ لِوَصْفِهَا وَصَفَّا كَامِلًا دَقِيقًا، وَهُنَاكَ كَمِيَّاتٍ أُخْرَى يَلْزَمُ تَحْدِيدُ مِقْدَارِهَا وَاتِّجَاهِهَا مَعًا. وَبِشَكْلٍ عَامٍ تُقْسِمُ الْكَمِيَّاتُ الْفِيزيائِيَّةُ إِلَى قَسْمَيْنِ رَئِيْسَيْنِ، هُمَا:

### a- الْكَمِيَّاتُ الْقِيَاسِيَّةُ Scalar quantities

هِيَ الْكَمِيَّاتُ الَّتِي تُحدَدُ بِالْمِقْدَارِ فَقَطَ وَلَا يَنْتَهِي إِلَيْهَا اتِّجَاهٌ. فِي النَّشَاطِ (1-2)، يَكْفِي أَنْ نَقُولَ: إِنَّ درْجَةَ حرارةِ الغرفةِ  $25^\circ\text{C}$ ، وَكَتْلَةَ كَرَةِ الْقَدْمِ 420 g. هَذِهِ الْكَمِيَّاتُ وَكَمِيَّاتٍ أُخْرَى مِثْلُ: الْحَجمُ، وَالزَّمْنُ، وَالطَّاقَةُ وَغَيْرُهَا تُسَمَّى كَمِيَّاتٍ قِيَاسِيَّةً.

### b- الْكَمِيَّاتُ الْمُتَجَّهَةُ Vector quantities

هِيَ الْكَمِيَّاتُ الَّتِي تُحدَدُ بِالْمِقْدَارِ وَالاتِّجَاهِ مَعًا، فَمَثَلًا الرَّجُلُ فِي الشَّكْلِ (1-2) يُؤْثِرُ بِقُوَّةً فِي صَنْدوقٍ خَشْبِيٍّ بِاتِّجَاهِ اليمينِ، وَبِالْتَّالِي نَسْتَطِيعُ وَصْفَ حَرْكَةِ الصَّنْدوقِ أَوْ تَحْدِيدَ اتِّجَاهِ حَرْكَتِهِ النَّاتِجَةِ مِنْ تَأْثِيرِ هَذِهِ الْقُوَّةِ. وَلَاعِبُ كَرَةِ الْقَدْمِ يَرْكُلُ الْكَرَةَ بِقَدْمِهِ لِتَنْطَلِقَ بِسُرْعَةٍ مُعِيَّنةٍ وَاتِّجَاهٍ مُحدَّدٍ كَيْ يُسَجِّلُ هَدْفًا فِي الْمَرْمَى، وَهَذَا بِالنَّسَبَةِ لِلْكَمِيَّاتِ الْمُتَجَّهَةِ الْأُخْرَى مِثْلِ: الإِزَاحَةُ، وَالسُّرْعَةُ الْمُتَجَّهَةُ، وَالتَّسَارُعُ، وَالْقُوَّةُ، وَالْمَجَالُ الْكَهْرَبَائِيُّ وَالْمَجَالُ الْمَغَناطِيسِيُّ وَغَيْرُهَا.



شكل 2-1: رجلٌ يُؤْثِرُ بِقُوَّةً فِي صَنْدوقٍ خَشْبِيٍّ

صَنْفِ الْكُمِيَّاتِ الْفِيَزِيَّائِيَّةِ فِي الْجَدْوِلِ الَّتِي إِلَى مُتَجِهَّةٍ وَقِيَاسِيَّةٍ:

الكميَّةُ الْفِيَزِيَّائِيَّةُ	كميَّةٌ مُتَجِهَّةٌ / كميَّةٌ قِيَاسِيَّةٌ
50 m	
30 m/s، شرقاً	
25 K	
1500 N، شمالاً	

مثال 1

50 m: كميَّةٌ قِيَاسِيَّةٌ، لأنَّها حُدِّدتْ بِمَقْدَارٍ فَقَطْ وَهِي تُمَثِّلُ الْمَسَافَةَ.

30 m/s، شرقاً : كميَّةٌ مُتَجِهَّةٌ، لأنَّها حُدِّدتْ بِمَقْدَارٍ وَاتِّجَاهٍ وَهِي تُمَثِّلُ السُّرْعَةَ الْمُتَجِهَّةَ.

25 K : كميَّةٌ قِيَاسِيَّةٌ، لأنَّها حُدِّدتْ بِمَقْدَارٍ فَقَطْ وَهِي تُمَثِّلُ درجةَ الْحَرَارةِ بِالْكَلْفَنِ.

1500 N، شمالاً : كميَّةٌ مُتَجِهَّةٌ، لأنَّها حُدِّدتْ بِمَقْدَارٍ وَاتِّجَاهٍ وَهِي تُمَثِّلُ الْقُوَّةَ.

الحل

وللتَّميِيزِ بَيْنَ الْكُمِيَّةِ الْقِيَاسِيَّةِ وَالْكُمِيَّةِ الْمُتَجِهَّةِ بِالرَّمْوزِ، هُنَاكَ أَكْثَرُ مِنْ طَرِيقَةٍ، مِنْهَا:

a. وَضْعُ سَهْمٍ فَوْقَ رَمْزِ الْكُمِيَّةِ الْمُتَجِهَّةِ مِثْلَ: ( $\vec{F}$  ،  $\vec{a}$ ) لِتَميِيزِ مُتَجَهِّيِ الْقُوَّةِ وَالْتَّسَارُعِ أَمَّا مَقْدَارُ الْمُتَجِهِ فَنَأْخُذُ القيمةَ الْمُطَلَّقَةَ لِلْمُتَجِهِ مِثْلَ:  $| \vec{a} |$  ،  $| \vec{F} |$ .

b. كِتَابَةُ رَمْزِ الْكُمِيَّةِ الْمُتَجِهَّةِ بِالْخَطِّ الْعَرِيضِ (**Bold**)، مِثْل:  $F$  ،  $a$  لِتَميِيزِ مُتَجَهِّيِ الْقُوَّةِ وَالْتَّسَارُعِ وَكِتَابَتِهَا بِالْخَطِّ الْعَادِي لِلَّدَلَلَةِ عَلَى مَقْدَارِ الْمُتَجِهِ مِثْل:  $F$  ،  $a$  وَسَنَسْتَخدِمُ هَذِهِ الطَّرِيقَةَ فِي كِتَابِنَا هَذَا.

### تَمَثِيلُ الْكُمِيَّةِ الْمُتَجِهَّةِ بِبَيَانِيًّا

التَّمَثِيلُ الْبَيَانِيُّ لِلْكُمِيَّاتِ الْفِيَزِيَّائِيَّةِ الْمُتَجِهَّةِ مُهُمٌ وَسَهْلٌ لِلْغَايَا، وَتَكُونُ أَهْمَيَّتُهُ فِي سُرْعَةِ وَسُهُولَةِ التَّعَامِلِ مَعَ الْكُمِيَّاتِ الْفِيَزِيَّائِيَّةِ الْمُتَجِهَّةِ مِثْلِ: النَّشَرَاتُ الْجَوِيَّةُ وَسُرْعَةُ الرِّيَاحِ وَأَبْرَاجُ الْمَرَاقِبَةِ وَغَيْرُهَا، كَذَلِكَ يُمْكِنُ بِاستِخْدَامِ التَّمَثِيلِ الْبَيَانِيِّ إِيجَادُ مُحَصَّلَةٍ عَدِيَّةٍ مُتَجَهَّاتٍ وَإِجْرَاءُ عَمَليَّاتِ الْطَّرِحِ وَالْجَمِيعِ لِلْمُتَجَهَّاتِ.

ولِتَمَثِيلِ كميَّةٍ متجَهَّةٍ بيانياً، نَخْتَارُ مَقِيَاسَ رَسْمٍ مناسِبٍ لِلْكُمِيَّةِ الْمُتَجِهَّةِ ثُمَّ نَرْسِمُ سَهْمًا، طَوْلُ السَّهْمِ يَدْلِيُ عَلَى مَقْدَارِ الْكُمِيَّةِ الْمُتَجِهَّةِ، وَاتِّجَاهُ السَّهْمِ يُمَثِّلُ اتِّجَاهَ الْكُمِيَّةِ الْمُتَجِهَّةِ.

وَيُمْكِنُ استِخْدَامُ الْمَسْتَوِيِّ الْإِحْدَاثِيِّ ( $xy$ ) لِتَمَثِيلِ مُتَجَهٍ مَا بِبَيَانِيًّا عَلَى النَّحْوِ الْأَتَى:

1. تحديد نقطة إسناد، مثل: النقطة  $(0,0)$  وهي نقطة الأصل بالنسبة للمستوى الإحداثي  $(xy)$ .
2. تحديد طول المتجه (طول السهم) باستخدام مقياس رسم مناسب.
3. تحديد الاتجاه إما جغرافياً باستخدام الجهات الأربع (شمال، جنوب، شرق، غرب)، أو باستخدام محور  $(x)$  الموجب مرجعاً.

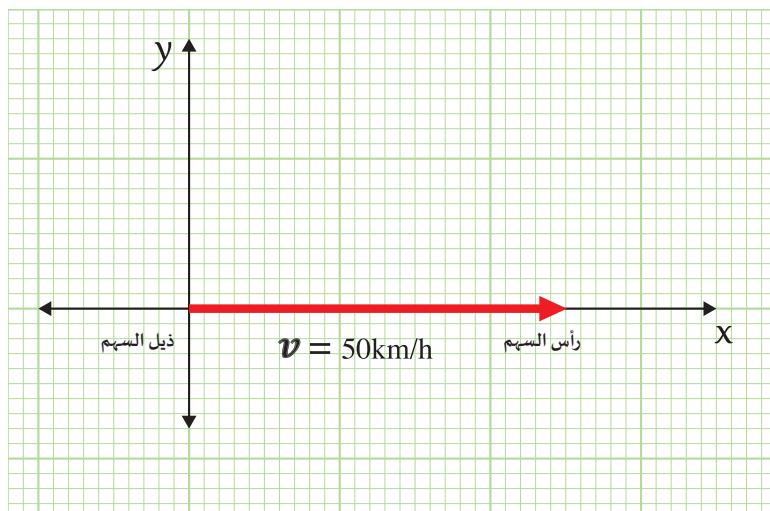
**مثال 2**

مثل بيانياً متجهة السرعة لسيارة تتحرك بسرعة  $50 \text{ km/h}$  باتجاه الشرق؟

نحدد نقطة إسناد مثلاً  $0,0$  ثم نختار مقياس رسم مناسب ولتكن  $1 \text{ cm}:10 \text{ km/h}$  أي أن كل  $1 \text{ cm}$  على الورقة يمثل  $10 \text{ km/h}$  في الواقع، ثم نحسب طول السهم من العلاقة:

$$\frac{1\text{cm}}{10\text{ km/h}} \times 50\text{ km/h} = 5\text{ cm}$$

وبالتالي نرسم سهماً طوله  $5 \text{ cm}$ ، له نقطة بداية (ذيل السهم) عند النقطة  $(0,0)$  ونقطة نهاية (رأس السهم) بحيث يكون اتجاه السهم باتجاه محور  $(x)$  الموجب، كما في الشكل (2-2).

**الحل**

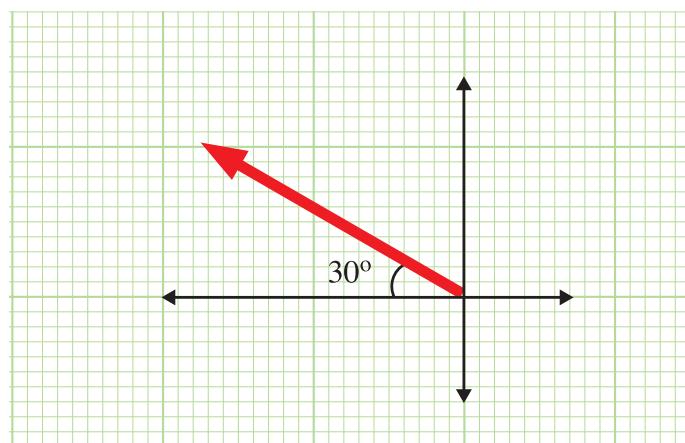
الشكل 2-2 : سهم يمثل متجه السرعة.

**مثال 3**

مثل بيانياً متجهة إزاحة مقداره  $400 \text{ km}$  باتجاه يصنع زاوية  $30^\circ$  شمال الغرب.

**الحل**

- 1- نحدد نقطة الإسناد، مثل  $(0,0)$ .
- 2- نستخدم مقياس رسم مثل  $1 \text{ cm}:100 \text{ km}$  ونرسم سهماً طوله  $4 \text{ cm}$  بالاتجاه المبين في الشكل (3-2).



الشكل 2-3: رسم لمتجه الإزاحة على المستوى xy.

مثل بيانياً ما يأتي:

3. تَسَارُعُ جَسَمٍ مَقْدَارُهُ  $5\text{m/s}^2$  باتجاه الشمال.
4. قَوَّةُ مَقْدَارُهَا  $500\text{N}$  باتجاه الجنوب الشرقي (تصنُّع زاوية  $45^\circ$  شرق الجنوب، أو جنوب الشرق).



## جمع المتجهات Vectors Addition

طالب كتلته  $60\text{ kg}$ ، يحمل حقيبة كتبه وكتلتها  $5\text{ kg}$ ، فيكون حاصل جمع الكتلتين  $65\text{ kg}$ . وكذلك عندما تنخفض درجة حرارة الجو من  $31^\circ\text{C}$  نهاراً إلى  $25^\circ\text{C}$  ليلاً، فإن الفرق في درجات الحرارة يساوي  $6^\circ\text{C}$ . تُعد هاتان الحالتان من الأمثلة على جمع الكميات القياسية التي تحدُّد بالمقدار فقط وليس لها اتجاه، ويُعرف جمعها بأنه جمع جبريٌ شريطة أن تكون من النوع نفسه (لها الوحدات نفسها)، ولكن ماذا عن جمع الكميات المتجهة؟

التعامل مع الكميات الفيزيائية المتجهة يختلف كثيراً عن التعامل مع الكميات القياسية، فإذا حاولنا جمع مقادير الكميات المتجهة دون مراعاة اتجاه تلك الكميات، فسنحصل على نتائج غير صحيحة؛ لأن نجم قوتين مقدار كلٍّ منها  $40\text{ N}$  وبينهما زاوية  $180^\circ$  تؤثران في جسم ما جمعاً جبرياً دون مراعاة الاتجاهات فتكون النتيجة  $(40\text{ N} + 40\text{ N}) = 80\text{ N}$ . بينما حاصل جمعهما جمعاً متجهاً يساوي  $(40\text{ N} - 40\text{ N}) = 0\text{ N}$ . كذلك للاعب كرة القدم إذا أراد تسجيل هدف في المرمى فإنه يركّز على اتجاه سرعة انطلاق الكرة إضافياً إلى مقدارها وإذا أراد إبعاد الكرة عن مرمماً لأقصى مسافة ممكناً فإنه يركّز الكرة باتجاه يصنُّع زاوية  $45^\circ$  مع الأفق. ويُسمى المتجه الذي ينتُج من الجمع الاتجاهي لمتجهين أو أكثر متجه المحصلة resultant vector ويُرمز له بالرمز  $\mathbf{R}$ .

عندما تتحرك سيارة باتجاه محدد (الشمال مثلاً) ولا تغير من هذا الاتجاه مهما تغير مقدار السرعة، فإن حركتها توصف بأنها في بعد واحد، ويمثل هذا الاتجاه بيانيًا على محور (x). لكن عندما تتحرك السيارة باتجاه الشمال ثم تغير اتجاهها نحو الشمال، فإن حركتها توصف بأنها حركة في بعدين، وتمثل هذه الحركة بيانيًا على المستوى (xy).

ستتناول عملية إيجاد مُحصلة عدِّي متجهاتٍ بالطريقتين البيانية والحسابية سواءً في بعدي واحد أم في بعدين شريطةً أن تكون المتجهات من النوع نفسه.

## المتجهات في بعدي واحد: Vectors in one dimension

يمكن إيجاد مُحصلة متجهين مثل A، B في بعدي واحد (متوازيين أو متعاكسين) بيانيًا أو حسابيًا على النحو الآتي:

a. إذا كان للمتجهين الاتجاه نفسه (الزاوية بينهما صفر)، فإن مُحصلتهما:

1- الطريقة البيانية (الرسم) Graphical method: نرسم المتجهة الأولى A ثم نرسم المتجهة الثاني B بحيث يكون ذيل المتجه B عند رأس المتجه A ثم نرسم سهماً من ذيل المتجه الأول A إلى رأس المتجه B ليمثل طوله طول المُحصلة (A+B) واتجاهه هو اتجاه المُحصلة، كما في الشكل(4-2(a)).

2- الطريقة الجبرية (الحسابية) Algebraic method: مُحصلة المتجهين = حاصل جمع مقداري المتجهين  $A+B$  وبالاتجاه نفسه.



الشكل 4-2 : جمع وطرح متجهين A ، B

b. إذا كان المتجهان متعاكسين بالاتجاه (الزاوية بينهما  $180^\circ$ ):  
نستخدم عملية الطرح، ولطرح متجه مثل B من متجه آخر مثل A يتتم عكس المتجه المراد طرحه (B) وكتابته:  $A - B = A + (-B)$

**1- بيانياً:** نرسم المتجه الأول  $A$  ثم نرسم المتجه الثاني  $B$  بحيث يكون ذيل المتجه  $(B)$  عند رأس المتجه  $A$  ثم نرسم سهماً من ذيل المتجه الأول  $A$  إلى رأس المتجه  $(B)$  ليمثل طوله طول المحصلة  $(A+B)$  واتجاهه اتجاه المحصلة، كما في الشكل (b/4-2).

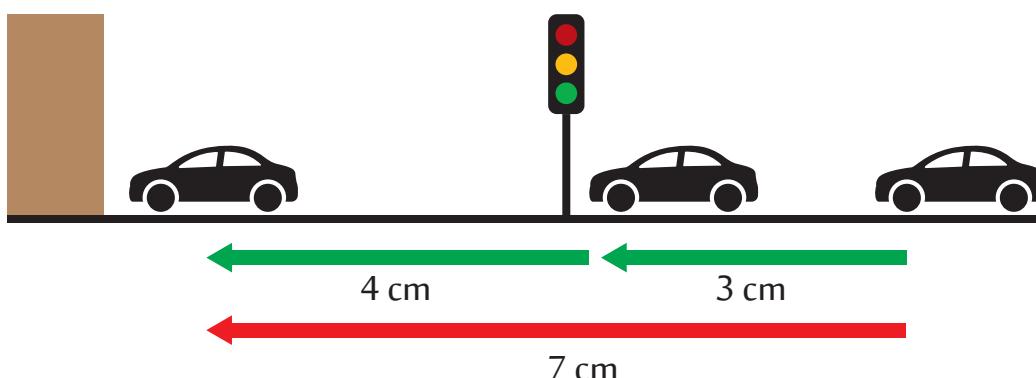
## 2 - جبرياً:

**مُحصلة المتجهين  $R$ :**  $R = A + (-B)$  ويكون اتجاهها باتجاه المتجه الأكبر  $A$ .

\* ملاحظة: ما ينطبق على متجهين ينطبق كذلك على أكثر من متجهين مثل  $A, B, C, D$  في بعدي واحد.

### مثال 4

سيارة أجرة انطلقت من السوق متجهةً غرباً نحو المتحف الوطني في مدينة الدوحة، فقطعـت مسافة 300 m ، وتوقفت عند الإشارة الضوئية ، ثم تابعت سيرها غرباً وقطـعت مسافة 400 m لتصل إلى المتحف. احسب الإزاحة بين المتحف والسوق بيانياً وجبراً.



الشكل 2-5: جمع متجهين بوضع ذيل المتجه الثاني على رأس المتجه الأول

1. نختار مقاييس رسم مناسب مثل  $(1 \text{ cm}:100 \text{ m})$  ونرسم سهماً طوله  $3 \text{ cm}$  يمثل متجه الإزاحة في المرحلة الأولى وسهماً آخر طوله  $4 \text{ cm}$  يمثل متجه الإزاحة في المرحلة الثانية، كما في الشكل (2-5) ثم نضع ذيل المتجه الثاني عند رأس المتجه الأول، فيكون المتجه الذي يبدأ من ذيل المتجه الأول وينتهي عند رأس المتجه الثاني يمثل مجموع المتجهين وطوله  $7 \text{ cm}$  باتجاه الغرب، وبالتالي تكون الإزاحة من السوق إلى المتحف وفق مقاييس الرسم

$$7\text{cm} \times \frac{100 \text{ m}}{1 \text{ cm}} = 700 \text{ m} \quad \text{باتجاه الغرب}$$

$$R = 300 + 400 = 700 \text{ m} \quad \begin{aligned} & \text{2. جبراً: الإزاحة } R \text{ تساوي} \\ & \text{باتجاه الغرب} \end{aligned}$$

### الحل

## مثال 5

تؤثر ثالث قوى في نقطة ما، فإذا كانت القوة الأولى مقدارها  $F_1 = 30 \text{ N}$  باتجاه الشرق والثانية  $F_2 = 20 \text{ N}$  باتجاه الشرق والثالثة  $F_3 = 60 \text{ N}$  باتجاه الغرب.. أوجد مقدار محصلة القوى المؤثرة في تلك النقطة، وحدد اتجاهها جبرياً وبيانياً.

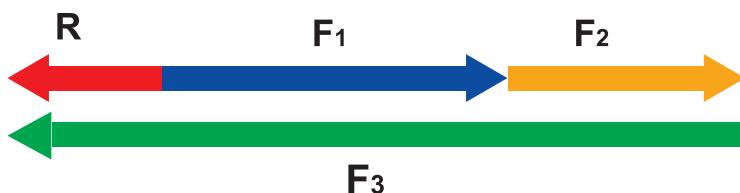
مُحصلة القوى  $R$  جبرياً:

$$R = F_1 + F_2 - F_3 = 30 + 20 - 60$$

$$R = -10 \text{ N} \quad \text{باتجاه الغرب}$$

بيانياً: مقياس الرسم  $(1 \text{ cm} : 10 \text{ N})$

الحل



مقدار المُحصلة  $= 10 \text{ N}$  باتجاه الغرب

## المتجهات في بُعدين Vectors in two dimensions

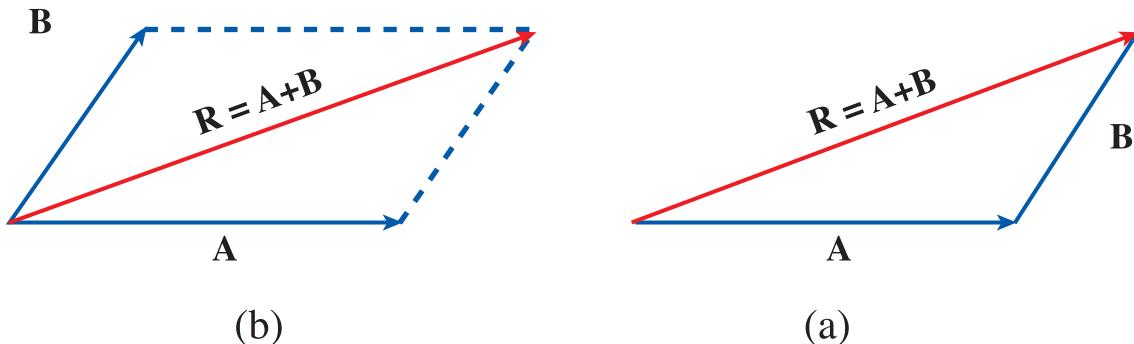
تعلمنا في البند السابق كيفية إيجاد مُحصلة متجهين أو أكثر في بُعد واحد بيانياً وجبرياً، وسنتعرفُ الآن على إيجاد مُحصلة متجهين أو أكثر في بُعدين بالطريقتين البيانية والجبرية.

**الطريقة البيانية لإيجاد مُحصلة متجهين:**

لإيجاد مُحصلة متجهين بيانياً تُوجّد طريقتان هما:

### 1- طريقة الرأس والذيل (المثلث):

نرسم سهماً طوله يمثل طول المتجه الأول وسهماً آخر طوله يمثل طول المتجه الثاني بحيث يقع ذيل السهم الثاني عند رأس السهم الأول، فيكون طول المتجه الذي يبدأ من ذيل المتجه الأول وينتهي عند رأس المتجه الثاني يمثل طول مُحصلة هذين المتجهين واتجاه تلك المُحصلة باتجاه السهم، انظر الشكل (a/2-6). أما مقدار مُحصلة المتجهين الحقيقية فيتم حسابه باستخدام مقياس الرسم الذي تم اختياره في البداية.



**الشكل 2-6:** محصلة متجهين بطريقـة a-المثلث، b: متوازي الأضلاع

## 2 - طريقة مُتوازي الأضلاع:

وذلك بوضع ذيل المتجه الأول مع ذيل المتجه الثاني ثم نكمل رسم متوازي الأضلاع فيكون طول متجه المحصلة هو قطر متوازي الأضلاع الذي يصل عاشر المتجهان الأول والثاني واتجاهه باتجاه السهم من الذيل إلى الرأس. كما هو موضح في الشكل (b/6-2).

وهاتان الطريقتان (المثلث ومتوازي الاضلاع) تُستخدمان لأي مُتجهين بينهما زاويةٌ سواءً أكانت قائمةً أم غير قائمةً.

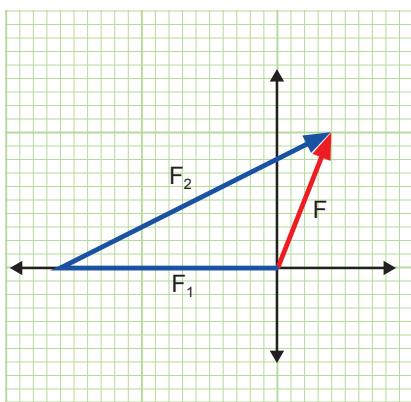
**فوتان تؤثران في جسم، القوة الأولى  $F_1 = 300\text{ N}$  باتجاه الغرب والقوة الثانية  $F_2 = 400\text{ N}$  باتجاه يصنع زاوية  $30^\circ$  شمال الشرق. أوجد مقدار المحصلة وحدد اتجاهها بيانياً باستخدام:**

- طريقة متوازي الأضلاع.

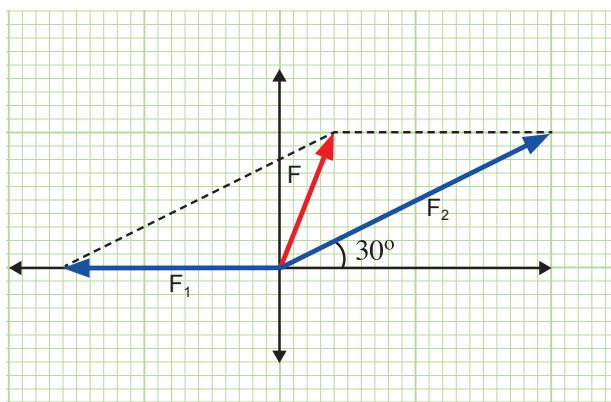
a. نُحدِّدُ نقطةً الإسناد  $(0,0)$  على محوري  $(xy)$  ثم نختار مقياسَ رسمٍ مناسبٍ  $N(1\text{ cm}:100\text{ N})$  ونرسم سهماً طوله  $3\text{ cm}$  يمثلُ متجهَ القوة  $F_1$  باتجاهِ محور  $(x)$  السالبِ وسهماً آخرَ طوله  $4\text{ cm}$  يمثلُ متجهَ القوة  $F_2$  باتجاهِ يميلُ بزاوية  $30^\circ$  عن محور  $(x)$  المُوجِّبِ بحيثٍ يلتقي ذيلاً السهمين عند نقطة الإسناد كما في الشكل (a) ثم نُكملُ متوازيَ الأضلاع فـيكونُ طولُ متجهِ المُحصَّلة  $F$  هو قُطْرٌ متوازيُّ الأضلاعٍ ومقدارُه  $2\text{ cm}$  واتجاهُ المُحصَّلة باتجاهِ السهمِ من الذيل إلى الرأسِ.

مثال 6

الحل



(b)



(a)

الشكل 2-7 مُحصلة قوتين بطريقة a- متوازي الأضلاع b- المثلث

$$F = 2 \text{ cm} \times \frac{100 \text{ N}}{1 \text{ cm}} = 200 \text{ N} \quad : \text{مقدار القوة المُحصلة } F$$

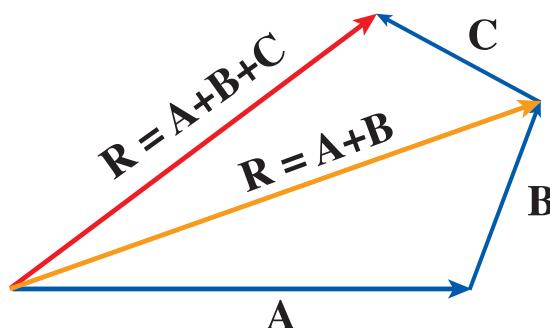
b- نُطِّيقُ الخطوات السابقة باستثناء وضع ذيل المتجه الثاني  $F_2$  عند رأس المتجه  $F_1$  ثم نُكمل المثلث برسم سهم من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الثاني كما في الشكل (b/7-2) فيمثل طول السهم 2 cm مقدار المُحصلة  $F$  ومقداره واتجاه السهم يُمثل اتجاه المُحصلة.

$$F = 2 \text{ cm} \times \frac{100 \text{ N}}{1 \text{ cm}} = 200 \text{ N} \quad : \text{وبالتالي فإن مقدار القوة المُحصلة } F$$

### الطريقة البيانية لإيجاد مُحصلة عِدة مُتجهاتٍ

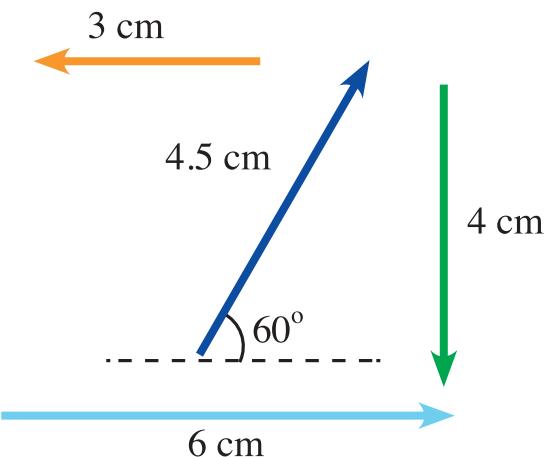
أما بالنسبة لمُحصلة عِدة مُتجهاتٍ (أكثر من مُتجهين) بيانيًا، يُستخدم مُضلع القوى بوضع رأس المتجه الثاني على ذيل المتجه الأول وهكذا، كما في الشكل (8-2) حيث:

$$R = A + B + C \quad \text{لثلاثة مُتجهاتٍ}$$



الشكل 2-8: مُحصلة عِدة مُتجهاتٍ بيانيًا

قطعت سيارة 450 m باتجاه يصنع زاوية  $60^\circ$  شمال الشرق ثم 600 m باتجاه الشرق ثم 400 m باتجاه الجنوب وأخيراً 300 m غرباً، وقد تم تمثيل متجهات الإزاحة تلك بيانياً كما في الشكل (9-2) باستخدام مقياس الرسم (1 cm:100 m). احسب مقدار واتجاه مُحصلة الإزاحة التي قطعتها السيارة بيانياً.



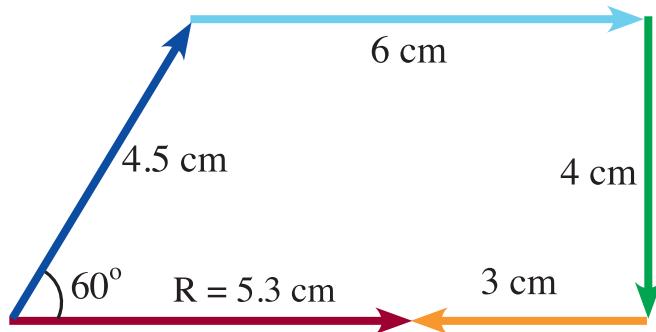
مثال 7

الشكل 9-2: متجهات الإزاحة التي قطعتها السيارة

نبدأ برسم متجه الإزاحة الأول 4.5 cm بعد نقله من مكانه إلى المكان المطلوب مع المحافظة على مقداره واتجاهه، (وهكذا البقية المتجهات)، كما في الشكل (2 - 10) ثم نرسم المتجه الثاني 6 cm بحيث يقع ذيله على رأس المتجه الأول وهكذا حتى آخر متجه 3 cm ، ثم نرسم سهماً من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الأخير حيث يمثل طول هذا السهم مقدار مُحصلة الإزاحة  $R$  ويساوي 5.3 cm تقريباً.

$$\text{مقدار مُحصلة الإزاحة } R = 5.3 \text{ cm} \times \frac{100 \text{ N}}{1 \text{ cm}} = 530 \text{ m : باتجاه الشرق.}$$

الحل



الشكل (10-2) مُحصلة الإزاحة التي قطعتها السيارة

ذهب عبد الرحمن سيراً على الأقدام من منزله متجهاً إلى مركز التسوق، فسار مسافة 120 m غرباً ثم سار مسافة 80 m باتجاه يصنع زاوية  $45^\circ$  شمال الغرب ليصل إلى مركز التسوق. أوجد مقدار الإزاحة التي تحركها عبد الرحمن من منزله إلى المركز واتجاهها بيانياً باستخدام:

- طريق متوازي الأضلاع.
- طريق المثلث.



شحنة كهربائية تؤثر فيها أربع قوى كهربائية، على النحو الآتي: N 1 باتجاه الشمال، N 2 باتجاه يصنع زاوية  $40^\circ$  شمال الغرب، N 3 باتجاه الغرب، N 4 باتجاه يصنع زاوية  $15^\circ$  شرق الجنوب. أوجد مقدار محصلة القوى الكهربائية المؤثرة في الشحنة واتجاهها بيانياً.



## نشاط 2-2



## محصلة قوتين بينهما زاوية في مستوىً واحدٍ

الهدف:

يحسب محصلة قوتين عملياً باستخدام طاولة القوى.

الأدوات:

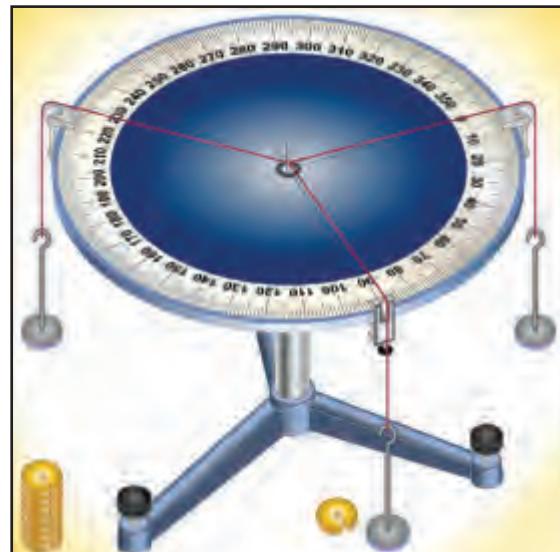
- طاولة القوى - ثلاثة كتيل متساوية مثلا g 200 - منقلة ومسطرة.

الأمن والسلامة:

تَوَخَّى الحذر من سُقوط بعض الأثقال.

الخطوات :

- جهز طاولة القوى بالتعاون مع زملائكم في المجموعة، كما هو موضح في الشكل بحيث تكون في وضع أفقي.
- اضبط خيط إحدى البكرات على التدرج  $0^{\circ}$  (وذلك بتحريك البكرة)، وخيط البكرة الثانية على التدرج  $120^{\circ}$  واترك خيط البكرة الثالثة حراً.
- علق ثلاثة كتيل متساوية في الخيوط الثلاثة g 200 في كل خيط، وحرر خيط البكرة الثالثة حتى ينطبق مركز الحلقة على مركز طاولة القوى، ثم سجل تدرج خيط البكرة الثالثة، وإحسب وزن كل كتلة معلقة من العلاقة ( $F = W = m \cdot g$ ) بوحدة نيوتن N .

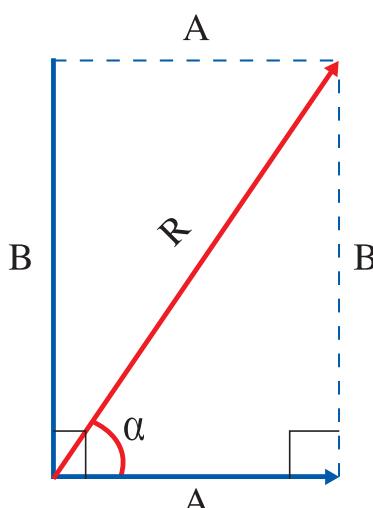


التحليل:

- ما الذي تطلب ضبط مركز الحلقة في مركز الطاولة؟
- أوجد مقدار محصلة القوتين الأولى والثانية واتجاهها بيانياً مستخدماً المنقلة والمسطرة، وقارن النتيجة مع مقدار القوة الثالثة واتجاهها.
- ما محصلة القوى المؤثرة في الحلقة في الحالة التي انطبق فيها مركز الحلقة على مركز الطاولة؟

## الطريقة الجبرية لإيجاد مُحَصَّلة مُتجهين بينهما زاوية

### 1. متجهان بينهما زاوية قائمة ( $90^\circ$ )



تُستخدم نظرية فيثاغورث لإيجاد مقدار مُحَصَّلة مُتجهين  $A, B$  بينهما زاوية قائمة كما في الشكل (11-2) جريراً كما يأتي: «مربع مقدار متجه المُحَصَّلة يُساوي مجموع مربعي مقدارِي المتجهين»

$$R^2 = A^2 + B^2 \Rightarrow R = \sqrt{A^2 + B^2}$$

الشكل 11-2: مُحَصَّلة مُتجهين بينهما زاوية

أما اتجاه المُحَصَّلة فيحدد من حساب الزاوية  $\alpha$  بين متجه المُحَصَّلة  $R$  والمتجه  $A$  باستخدام العلاقة:

$$\tan \alpha = \frac{B}{A} \Rightarrow \alpha = \tan^{-1} \left( \frac{B}{A} \right)$$

### مثال 8

إذا أردت الذهاب إلى المدرسة فانطلقت من منزلك باتجاه الشرق وقطعت مسافة 300 m ثم اتجهت جنوباً وقطعت مسافة 400 m، احسب مقدار اتجاه الإزاحة بين منزلك والمدرسة؟

نستخدم نظرية فيثاغورث لإيجاد مقدار المُحَصَّلة  $R$ :

$$R^2 = A^2 + B^2 = 300^2 + 400^2 = 250000 \Rightarrow R = \sqrt{250000} = 500 \text{ m}$$

$$\text{اتجاه المُحَصَّلة: } \alpha = \tan^{-1} \left( \frac{B}{A} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{-400}{300} \right) = \tan^{-1}(-1.33) \Rightarrow \alpha = 307^\circ$$

الحل

أي أنَّ اتجاه المُحَصَّلة  $R$  يصنع زاوية  $307^\circ$  مع المتجه  $A$  (عكس اتجاه عقارب الساعة).

**سؤال:** قامت فاطمة بحل المثال 8 كالتالي :  $R = 400 + 300 = 700 \text{ m}$

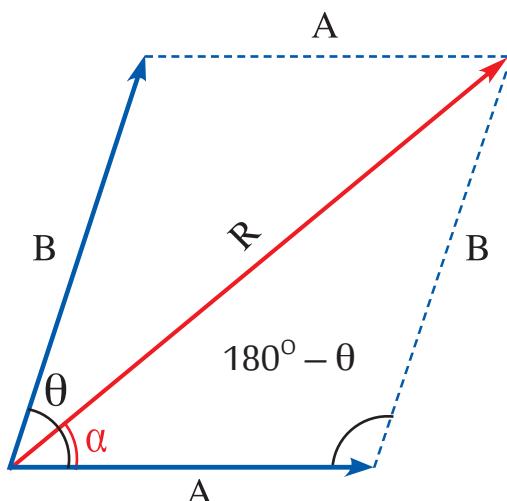
وأتجاه الإزاحة يقع بين المتجهين  $B, A$ . ما مدى صحة الحل ؟ وما دلالة الرقم 700 m ؟

قطعُت سيارة مسافة 8 km باتجاه الجنوب ثم اتجهت نحو الغرب وقطعت مسافة 6 km، أوجد مُحَصَّلة الإزاحة (مقداراً واتجاهها) بالطريقة الجبرية.



2. مُتجهان بينهما زاوية  $\theta$  غير قائمة

لإيجاد مُحصّلة متجهين  $A$ ,  $B$  بينما زاوية  $\theta$  غير قائمة كما في الشكل (12-2) جبرياً، تتبع ما يأتي:



الشكل 12-2: مُحصّلة متجهين بينما زاوية  $\theta$  بطريقة متوازي الأضلاع

نحسب طول الوتر الذي يمثل مقدار المُحصّلة  $R$  باستخدام قانون جيب التمام:

$$R^2 = A^2 + B^2 - 2AB \cos(180^\circ - \theta), \quad \cos(180^\circ - \theta) = -\cos\theta$$

$$R^2 = A^2 + B^2 + 2AB \cos\theta \quad \Rightarrow \quad R = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos\theta}$$

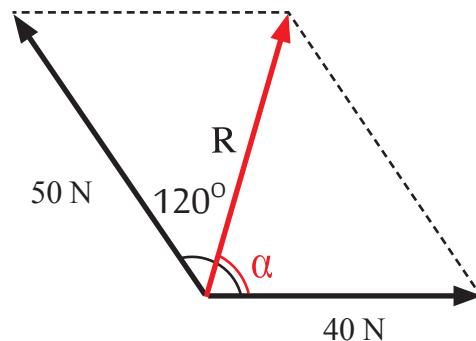
حيث  $\theta$ : الزاوية بين المتجهين  $A$ ,  $B$  بحيث يكون ذيل  $A$  عند ذيل  $B$ .  
نحدد اتجاه المُحصّلة بإيجاد الزاوية  $\alpha$  بين المُحصّلة  $R$  والمتجه  $A$  باستخدام قانون الجيب:

$$\frac{\sin \alpha}{B} = \frac{\sin(180^\circ - \theta)}{R} \quad \Rightarrow \quad \sin \alpha = \frac{B \sin \theta}{R}$$

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{B \sin \theta}{R}\right)$$

- **ملاحظة:** تستخدم هذه الطريقة (قانون الجيب وجيب التمام) لإيجاد مُحصّلة قوتين بينما زاوية مقداراً واتجاهها، مهما كان مقدار الزاوية.

قوتين مقدارا هما  $50\text{ N}$ ،  $40\text{ N}$  بينما زاوية  $120^\circ$  تؤثران في جسم واحد كما في الشكل (13-2).  
أوجد مقدار محصلتهما وحد اتجاهها.



الشكل 13-2: محصلة قوتين بينما زاوية  $120^\circ$

مثال 9

لإيجاد محصلة القوتين، نطبق العلاقة الرياضية :

$$R^2 = A^2 + B^2 + 2AB \cos \theta$$

$$R^2 = 40^2 + 50^2 + 2 \times 40 \times 50 \times \cos 120^\circ = 2100$$

$$(\cos 120^\circ = -\cos 60^\circ = -0.5)$$

$$R^2 = 40^2 + 50^2 - 2 \times 40 \times 50 \times 0.5 = 2100$$

$$R = 45.8\text{ N}$$

ولإيجاد اتجاه المحصلة نستخدم قانون الجيب

الحل

$$\sin \alpha = \frac{B \sin \theta}{R}$$

$$\sin \alpha = \frac{50 \times \sin 120^\circ}{45.8} \quad \dots \quad (\sin 120^\circ = \sin 60^\circ = 0.87)$$

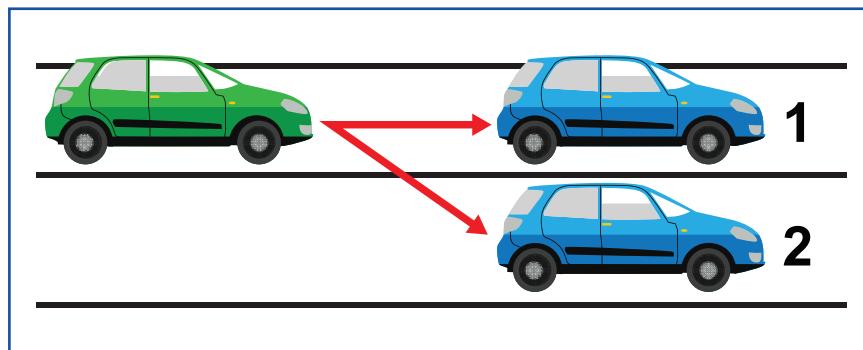
$$= \frac{50 \times 0.87}{45.8} = 0.95 \quad \Rightarrow \alpha = 72^\circ$$

يتحرك منطاد بسرعة  $3\text{ m/s}$  باتجاه الشرق، أثُرَتْ فيه رياح سرعتها  $3\text{ m/s}$  باتجاه يصنع زاوية  $60^\circ$  شمال الشرق. أوجد مقدار واتجاه محصلة سرعة المنطاد بيانياً وجبرياً.

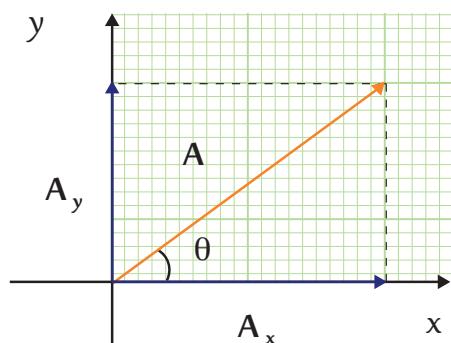


## تحليل المتجه إلى مركبتين

تعطلت السيارة الخضراء في الشكل (14-2) فحاول سائق السيارة الزرقاء مساعدتها فوقف في الموقع 2 على الجانب الأيمن وحاول سحب السيارة ولم يتمكن من سحبها، وعندما قدم أحد الطلبة نصيحةً لسائق السيارة الزرقاء بالوقوف أمام السيارة المتعطلة (في الموقع 1) وسحبها، تم سحب السيارة بسهولة. ما تفسير ذلك؟



الشكل 14-2: محاولة سحب سيارة متعطلة



الشكل 15-2: تحليل المتجه A إلى مركبتين

تعرفنا على طرق إيجاد محصلة متجهين بينهما زاوية قائمةً وتمكننا من إيجاد مقدار واتجاه متجه المحصلة، سنقوم الآن بعملية عكسيةٍ: أي تحليل متجه إلى متجهين متعامدين محصلتهما تساوي المتجه نفسه. في الشكل (15-2) يمكن تحليل المتجه A الذي يقع على النظام الإحداثي في المستوى (xy) إلى متجهين متعامدين، الأول موازي لمحور (x) ويمثله الرمز (A<sub>x</sub>) ويُسمى المركبة الأفقية والآخر موازي لمحور (y) ويمثله الرمز (A<sub>y</sub>) ويُسمى المركبة العمودية، وتُسمى عملية تحليل المتجه إلى مركبتيه الأفقية والعمودية **تحليل المتجه analysis** ، وهذا يعني أنه إذا جمع المتجهان A<sub>x</sub> و A<sub>y</sub> جماعاً متجهًا فإن حاصل جمعهما (محصلتهما) يساوي المتجه الأصلي A.

$$A = A_x + A_y$$

إذا كان المتجه A يصنع زاوية مقدارها θ مع الاتجاه الموجب لمحور x وأسقطنا من رأس المتجه A عمودين على المحورين x و y فإنه يمكن تحديد مركبتي المتجه A وهما المتجهان A<sub>x</sub> و A<sub>y</sub> ومن الشكل (15-2) نجد أن:

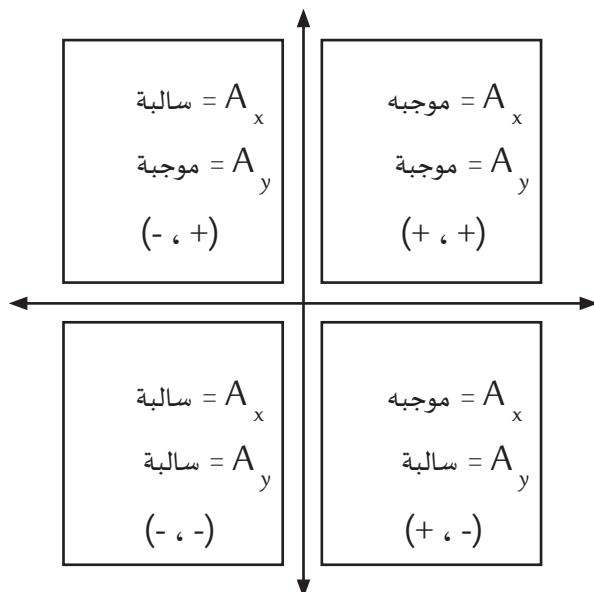
$$\sin \theta = \frac{A_y}{A} \Rightarrow A_y = A \sin \theta$$

$$\cos \theta = \frac{A_x}{A} \Rightarrow A_x = A \cos \theta$$

وبشكل عام فإن أيًا من المركبتين  $A_x$  ،  $A_y$  يمكن أن تكون موجبة أو سالبة (أو صفر) وتشكلان ضلعين من مثلث قائم الزاوية، بينما يُشكل المتجه  $A$  وتر هذا المثلث وبتطبيق نظرية فيثاغورث نجد مقدار المتجه  $A$  :

$$A^2 = A_x^2 + A_y^2 \Rightarrow A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

وقياس الزاوية  $\theta$  يحدد اشارة كل من المركبتين  $A_x$  ،  $A_y$  إن كانت موجبة أو سالبة، فقياس الزاوية  $\theta$  يحدد الربع الذي يقع فيه المتجه  $A$ . والشكل (2-16) يوضح ذلك.



الشكل 2-16 : إشارة المركبات حسب الربع الذي يقع فيه المتجه

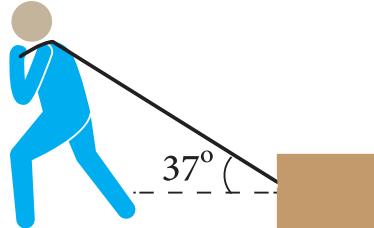
أطلقت قذيفة من مدفع بسرعة ابتدائية  $v = 200 \text{ m/s}$  باتجاه يميل عن محور  $x$  الموجب بزاوية  $\theta = 30^\circ$  نحو الأعلى. أوجد المركبتين الأفقي والعمودية للسرعة.

مثال 10

$v_x = v \cos \theta = 200 \times \cos 30^\circ = 173 \text{ m/s}$ $v_y = v \sin \theta = 200 \times \sin 30^\circ = 100 \text{ m/s}$	المركبة الأفقي للسرعة: المركبة العمودية للسرعة: نلاحظ أن إشارتي المركبتين الأفقي والعمودية موجبتان (محور $x$ الموجب، محور $y$ الموجب) لأن المتجه $v$ يقع في الربع الأول.
--	---

الحل

يسحبُ رجلٌ صندوقاً بقوةٍ مقدارها  $N 120$  كما في الشكل (2/17-a). أوجد المركبتين الأفقيَّة والعموديَّة للقوة.



مثال 11

الشكل 2/17-a: رجلٌ يسحب صندوقاً بقوة  $F$ 

حيث  $\theta = (180^\circ - 37^\circ) = 143^\circ$  ، حيث  $\theta$ : الزاوية بين المتجه  $F$  ومحور  $x$  الموجب

- المركبة الأفقيَّة للقوة:

$$F_x = F \cos \theta = 120 \times \cos 143^\circ = -96 \text{ N}$$

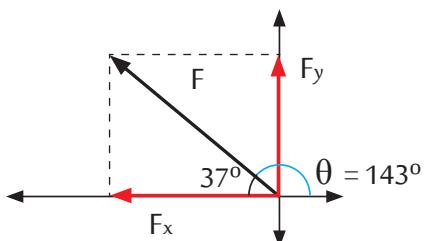
باتجاه محور  $x$  السالب (الغرب)

كما في الشكل (2/17-b).

- المركبة العموديَّة للقوة:

$$F_y = F \sin \theta = 120 \times \sin 143^\circ = 72 \text{ N}$$

باتجاه محور  $y$  الموجب (الأعلى) كما في الشكل.



الشكل 2/17-b: تحليل القوة إلى مركبتين

الحل

ما مقدار الزاوية التي يجب أن تطلق بها قذيفة مدفع بسرعة  $v$  بحيث تكون:

- المركبة العمودية للسرعة تساوي صفرًا.

- المركبة العمودية للسرعة تساوي في المقدار متجة السرعة  $v$ .



### نشاط 3-2

#### أثر اتجاه القوة في المقدمة على تحريك الأجسام

- يستنتج أثر تغيير زاوية القوة المؤثرة في المقدمة على فتح الباب بسهولة.

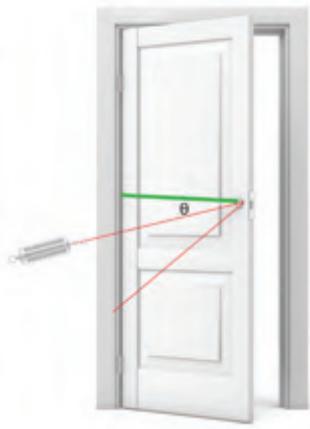
الهدف:

خيط ، مقياس قوة (يفضل الكتروني) ، منقلة كبيرة ، شريط لاصق.

الأدوات:

#### الخطوات :

1. بالتعاون مع زملائك في المجموعة، ثبت الشريط اللاصق على باب المختبر بحيث يكون أفقياً بين مقبض الباب والطرف الآخر للباب (مكان الخط الأخضر) في الشكل.



2. ثبت طرف الخيط بمقبض الباب والطرف الآخر من الخيط بمقاييس القوة.

3. استخدم المنقلة وحرك بمقاييس القوة حتى تصبح الزاوية بين الشريط اللاصق والخيط،  $\theta = 30^\circ$  وقم بفتح الباب وسجل قراءة مقياس القوة عند بدء حركة فتح الباب في الجدول.

4. كرر الخطوة رقم 3 عدة مرات باستخدام الزوايا المبينة في الجدول وسجل مقدار القوة اللازمة لفتح الباب في كل مرة.

5. احسب مركبة القوة الموازية للشريط اللاصق والمركبة العمودية في كل حالة وسجلها في الجدول.

المركبة العمودية للقوة (N)	المركبة الأفقيّة للقوة (N)	مقدار القوة (N)	الزاوية $\theta^\circ$
			$30^\circ$
			$60^\circ$
			$90^\circ$
			$120^\circ$

#### التحليل :

1. ما علاقة الزاوية  $\theta$  مع مقدار القوة اللازمة لفتح الباب؟

2. عند أي زاوية تحتاج إلى أقل قوة لفتح الباب؟

3. ما علاقة الزاوية  $\theta$  مع كل من مركبي القوة المؤثرة في الباب؟

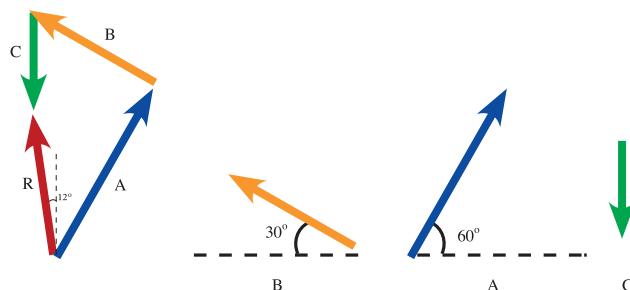
4. ما الاستنتاج العام الذي توصلت إليه من هذا النشاط؟

## مُحَصَّلَةٌ عِدَّةٌ مُتَجَهَاتٍ بِطَرِيقَةِ التَّحلِيلِ:

لإيجاد مقدار واتجاه مُحَصَّلَةٌ عِدَّةٌ مُتَجَهَاتٍ بينها زوايا مُختلفةٌ بِطَرِيقَةٍ حِسابِيَّةٍ، نَسْتَخْدِمُ طَرِيقَةَ تَحلِيلِ كُلِّ مُتَجَهٍ إِلَى مَرْكَبَتِهِ الأَفْقِيَّةِ وَالْعُوْدِيَّةِ ثُمَّ نَحْسُبُ مُحَصَّلَةَ الْمَرْكَبَاتِ الْأَفْقِيَّةِ وَمُحَصَّلَةَ الْمَرْكَبَاتِ الْعُوْدِيَّةِ لِنَحْسُبَ بَعْدَ ذَلِكَ الْمُحَصَّلَةَ الْكُلِّيَّةَ حَسْبَ الْخُطُوطَ الْمُبَيَّنَةِ فِي الْبَنْدِ السَّابِقِ. أَمَّا إِيجاد المُحَصَّلَةِ بِيَانِيَّةً، فَيَكُونُ كَمَّا مَرَّ مَعَكُ سَابِقًا فِي هَذَا الدَّرْسِ بِرَسْمِ الْمُتَجَهَاتِ بِحِيثُ تَتَصَلُّ رَأْسًا بِذِيلٍ كَمَا فِي الشَّكْلِ (18-2) أَدْنَاهُ.

**مَثَال١٢**

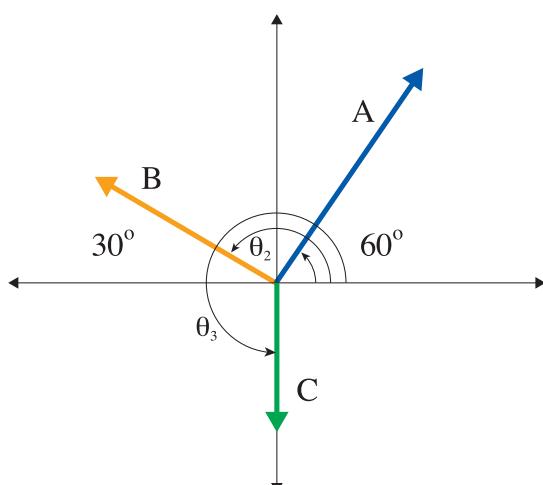
ثَلَاثُ قُوَّاتٍ A ، B ، C قِيمُهَا 4N ، 3N ، 2N عَلَى التَّرتِيبِ، كَمَا فِي الشَّكْلِ (18-2) إِحْسَبْ مَقْدَارَ وَاتِّجَاهَ الْمُحَصَّلَةِ بِيَانِيَّةً وَجَبْرِيًّا.



الشَّكْل 18-2: ثَلَاثُ قُوَّاتٍ A ، B ، C وَمُحَصَّلَتِهِ R بِالْطَّرِيقَةِ الْبَيَانِيَّةِ

- بِيَانِيَّةً: مَقْدَارُ وَاتِّجَاهِ الْمُحَصَّلَةِ R كَمَا هُو مُبَيَّنُ فِي الشَّكْلِ (18-2).  
جَبْرِيًّا: لِإِيجَادِ مَقْدَارِ مُحَصَّلَةِ الْمُتَجَهَاتِ C,B,A ، وَاتِّجَاهِهَا جَبْرِيًّا نَتَبَعُ الْخُطُوطَ الْآتِيَّةَ:  
(a) نَرَسِمُ الْمُتَجَهَاتِ C,B,A عَلَى الْمَسْتَوِي xy كَمَا فِي الشَّكْلِ (19-2) بِحِيثُ يَلْتَقِي ذِيلُ كُلِّ مُتَجَهٍ مِنَ الْمُتَجَهَاتِ الْثَلَاثَةِ عَنْدَ نَقْطَةِ الْأَصْلِ (0,0).

**الحل**



الشَّكْل 19-2: مُحَصَّلَةٌ عِدَّةٌ مُتَجَهَاتٍ بِالتَّحلِيلِ إِلَى الْمَرْكَبَاتِ

(b) نحل كل متجه إلى مركبيه الأفقي على محور  $x$  والعمودية على المحور  $y$  على النحو الآتي:  
تقاس الزاوية  $\theta$  من محور  $x$  الموجب إلى المتجه بعكس اتجاه عقارب الساعة، أي إنّ:

$$\theta_1 = 60^\circ$$

الزاوية بين المتجه  $A$  ومحور  $x$  الموجب

$$\theta_2 = 180^\circ - 30^\circ = 150^\circ$$

والزاوية بين المتجه  $B$  ومحور  $x$  الموجب

$$\theta_3 = 270^\circ$$

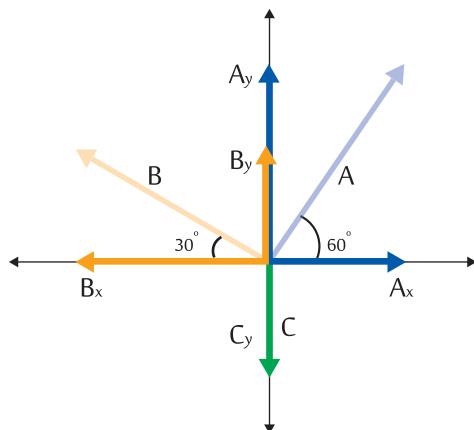
والزاوية بين المتجه  $C$  ومحور  $x$  الموجب

لذا فإن مركبات هذه المتجهات في اتجاه محور  $x$  ، كما في الشكل(20-2) هي:

$$A_x = A \cos \theta_1 = 4 \cos 60^\circ = 2 \text{ N}$$

$$B_x = B \cos \theta_2 = 3 \cos 150^\circ = -2.61 \text{ N}$$

$$C_x = C \cos \theta_3 = 2 \cos 270^\circ = 0 \text{ N}$$



الشكل 20-2 : المركبات الأفقية والعمودية

ومركبات تلك المتجهات في اتجاه محور  $y$  هي:

$$A_y = A \sin \theta_1 = 4 \sin 60^\circ = 3.48 \text{ N}$$

$$B_y = B \sin \theta_2 = 3 \sin 150^\circ = 1.5 \text{ N}$$

$$C_y = C \sin \theta_3 = 2 \sin 270^\circ = -2 \text{ N}$$

c) نجد  $(R_x)$  مُحصلة المركبات على المحور  $(x)$  التي تساوي مجموع المركبات على ذلك المحور:

$$R_x = A_x + B_x + C_x$$

$$R_x = 2 - 2.61 + 0 = -0.61 \text{ N}$$

وبالمثل نجد  $(R_y)$  مُحصلة المركبات على المحور  $(y)$  التي تساوي مجموع المركبات على ذلك المحور:

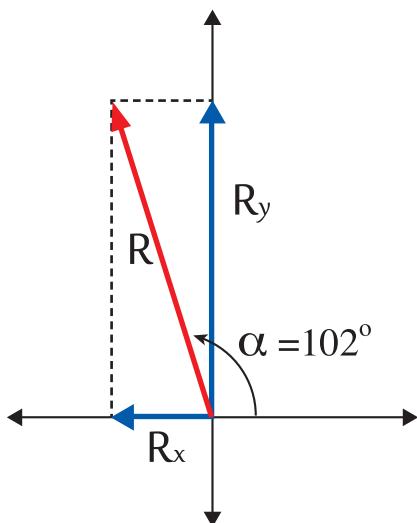
$$R_y = A_y + B_y + C_y$$

$$R_y = 3.48 + 1.5 - 2 = 2.98 \text{ N}$$

d) نحسب مقدار المُحصلة  $R$  من العلاقة

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(0.61)^2 + (2.98)^2} = 3.04 \text{ N}$$

انظر الشكل (21-2).



الشكل 21-2 : مُحصلة المركبتين الأفقي والعمودية

e) لتحديد اتجاه المُحصلة بحساب الزاوية  $\alpha$  بين المُحصلة  $R$  ومحور  $x$  الموجب نستخدم العلاقة :

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{R_y}{R_x}$$

$$= \tan^{-1} \left( \frac{2.98}{-0.61} \right) = 102^\circ$$

**سؤال:** قارن بين نتائج مقدار واتجاه المُحصلة بيانياً وحسابياً في المثال السابق 12.

تحرك سائق من مركز العاصمة الدوحة نحو الغرب وقطع مسافة 10 km ثم اتجاه جنوب الغرب بزاوية  $30^{\circ}$  وقطع مسافة 20 km وأخيراً اتجاه نحو الشمال الشرقي وقطع مسافة 5 km ليصل الموضع الذي يريد. احسب مقدار واتجاه الإزاحة بين مركز العاصمة والموضع الذي وصل إليه السائق.



**الأفكار الرئيسية:**

- **الكميات القياسية:** هي الكميات التي تحدّد بالمقدار فقط وليس لها اتجاه.
- **الكميات المتجهة:** هي الكميات التي تحدّد بالمقدار والاتجاه معًا.
- **متجه المحصلة:** هو المتجه الذي ينبع من الجمع الاتجاهي لمتجهين أو أكثر معًا.
- **تُستخدم الطريقة البيانية أو الحسابية (الجبرية)** لإيجاد مُحصلة متجهين أو أكثر.
- لإيجاد مُحصلة متجهين في بعدين بالطريقة البيانية نستخدم طريقة المثلث أو متوازي الأضلاع.
- لإيجاد مُحصلة أكثر من متجهين في بعدين بالطريقة البيانية نستخدم مضلع القوى.
- **تحليل المتجه:** عملية استبدال المتجه بمتجهين يطلق عليهما المركبتين الأفقية والعمودية.
- **تُستخدم طريقة تحليل المتجهات** لإيجاد مُحصلة متجهين أو أكثر جبرياً.

## تقويم الدرس الأول



1. اختر الإجابة الصحيحة في كلٍ مما يأتي:

1. أيُّ الكميات الآتية كميةٌ متجهة؟

- a. الشغل.
- b. الكتلة.
- c. الحجم.
- d. التسارع.

2. رَكَّل لاعبٌ كرةً باتجاه يصنع زاوية  $60^\circ$  فوق محور الموجِ بسرعة  $40\text{m/s}$ . ما مقدار المركبة

الأفقية لسرعة الكرة بوحدة  $\text{m/s}$ ؟

- $40 \cos 30^\circ$  .a
- $40 \sin 60^\circ$  .b
- $40 \cos 60^\circ$  .c
- $40 \tan 60^\circ$  .d

3. متجهان  $A$ ،  $B$  حاصل جمعها  $A+B=0$ . ما العلاقة بين المتجهين من حيث المقدار والاتجاه؟



a. متساويان في المقدار، متعاكسان في الاتجاه.

b. متساويان في المقدار ، وبالاتجاه نفسه.

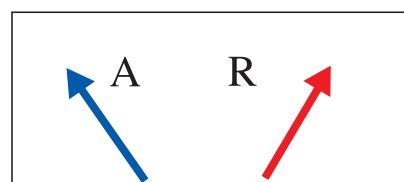
c. مختلفان في المقدار، متعاكسان في الاتجاه.

d. مختلفان في المقدار ، وبالاتجاه نفسه.

4. أيُّ متجهات الإزاحة الآتية يمثل المتجه  $B$  ، بحيث إذا جمع المتجه  $B$  مع المتجه  $A$  ينتُج



المتجه  $R$  كما في الشكل.



## تابع تقويم الدرس الأول

هل يمكن لثلاث قوى متساوية ومتوازية في المقدار أن تكون مُحصلتها تساوي صفر؟ وضح ذلك.

.2

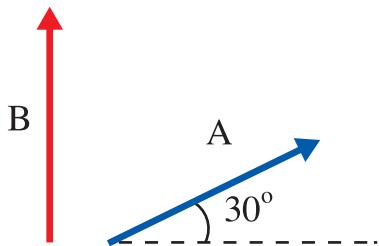


قوتان متعامدتان مقدار مُحصلتهما  $N 50$  تؤثران في جسم ما ، فإذا كان مقدار القوة الأولى  $N 30$

.3



احسب:



متجها إزاحة  $A$  مقدار كلٍّ منها  $20\text{m}$  ، واتجاههما كما في الشكل .

.4

أوجد  $A-B$  بيانياً.

متجها سرعة، مقدار المتجه الأول  $12 \text{ m/s}$  ومقدار المتجه الثاني  $9 \text{ m/s}$  ومقدار مُحصلتهما  $3\text{m/s}$  أوجد مقدار الزاوية بين المتجهين؟

.5

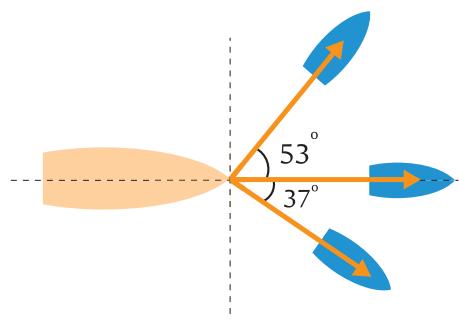


تحرك سيارة بسرعة  $v$  ، فإذا كانت مركبة السرعة باتجاه الشرق  $8 \text{ m/s}$  ومركبة السرعة باتجاه الشمال  $6 \text{ m/s}$  أوجد مقدار متجهة السرعة  $v$  وحدد اتجاهه.

.6



ثلاثة قوارب تحاول سحب سفينة متعلقة في البحر كما في الشكل ، فإذا كانت قوة الشد لكل قارب  $5000 \text{ N}$  . احسب:



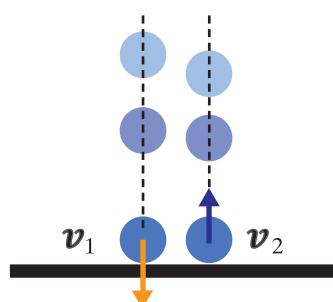
a- مُحصلة كلٍّ من المركبات الأفقية والمركبات العمودية لقوى الشد.

b- مقدار مُحصلة قوى الشد.

c- اتجاه حركة السفينة.

سقطت كرة رأسياً لأسفل فاصطدمت بسطح الأرض بسرعة مقدارها  $8 \text{ m/s}$  كما في الشكل، ثم ارتدت لأعلى بسرعة  $6 \text{ m/s}$ . احسب التغير في سرعة الكرة  $\Delta v$

.8



# الحركة في بُعدٍ واحدٍ

## Motion in one Dimension

## الدَّرْسُ الثَّانِي

### 2-2

P1004



### المفرداتُ الرَّئِيسَةُ



Distance	المسافة
Position	الموقع
Displacement	الإزاحة
Speed	السرعةُ القياسيةُ
Velocity	السرعةُ المتجهةُ
Average velocity	السرعةُ المتجهةُ المتوسطةُ
Instantaneous velocity	السرعةُ المتجهةُ اللحظيةُ
Acceleration	التسارُع
Free fall	السقوط الحر

### التجاربُ والأنشطة

- 4- قياسُ المسافةِ والزمنِ وحسابُ السرعةِ المتوسطةِ.
- 5- استخدامُ المضماري الهوائي في وصفِ الحركةِ
- 6- قياسُ تسارُعِ السُّقوطِ الحرُّ عملياً.

### مُخَرَّجَاتُ التَّعْلُمِ

يُتوقعُ في نهايةِ الدرس أن يكونُ الطالبُ قادرًا على أن:

- يَصِفُ المَصْوَدَ بِالمفاهيمِ: المسافةُ، الإزاحةُ، السرعةُ، السرعةُ المتجهةُ، والتسارُعُ.
- يُمثِّلُ كُلَّا من: الإزاحةُ، السرعةُ، والسرعةُ المتجهةُ بيانيًّا. ويفسرُ الرسمَ البيانيَّةَ التي تمثلُ هذه المفاهيم، بما في ذلك إيجادِ الإزاحةِ كمساحةٍ تحت منحنى (السرعة - الزمن).
- يَشْتَقُ رياضيًّا وبيانيًّا مُعادلاتِ الحركةِ المنتظمة بتسارُعٍ ثابتٍ على خطٍ مستقيم. استنادًا إلى تعريفاتِ السرعةِ المتجهةِ والتسارُعِ.

## نشاط 4-2



### قياس المسافة والزمن وحساب السرعة المتوسطة

<p>يَقِيسُ الزَّمْنَ وَالمسافَةَ وَيَحْسِبُ السَّرْعَةَ.</p> <p>شَرِيطٌ مِتْرِيٌّ بِوَحدَةِ cm ، سَاعَةٌ إِيقَافٍ، سِيَارَةٌ لَعْبَةٌ تَعْمَلُ بِالْبَطَارِيَّةِ، شَرِيطٌ لَا صُقُّ.</p>	<p><b>الهدف:</b></p> <p><b>الأدوات:</b></p>
--	---

#### الخطوات :

يُوزَعُ الْطَّلَبَةُ ضِمْنَ مَجْمُوعَاتٍ، وَتُوزَعُ الْمَهَامُ عَلَى أَعْصَاءِ كُلِّ مَجْمُوعَةٍ.

1. حَدِّذْ خَطًّي بِدَائِيَةِ السَّبَاقِ وَنِهايَتِهِ، وَالْمَسَافَةَ بَيْنَهُما 500 cm ، ثُمَّ ضَعْ شَرِيطًا لَا صُقُّا عَلَى الْأَرْضِ عِنْدَ كُلِّ خَطٍّ.
2. قِسِّ الْمَسَافَةَ بَيْنَ خَطَّيِ الْبَدَائِيَّةِ وَالنِّهايَةِ وَسَجِّلْهَا فِي الْجَدُولِ .
3. ضَعِّ السِّيَارَةَ قَبْلَ خَطِّ الْبَدَائِيَّةِ بِمَسَافَةِ 30 cm ، ثُمَّ شَغِّلْهَا وَدَعْهَا تَنْطَلُقُ.
4. عَنْدَ وُصُولِ السِّيَارَةِ خَطَّ الْبَدَائِيَّةِ يُشْغِلُ أَحَدُ أَفْرَادِ المَجْمُوعَةِ سَاعَةً إِيقَافٍ، وَعَنْدَ وُصُولِهَا خَطَّ النِّهايَةِ يُوقَفُ السَّاعَةُ. وَتُسَجِّلُ النَّتْيَاجُ فِي الْجَدُولِ.
5. كَرِّرُ الْخُطُوتَيْنِ (4,3) مَرْتَيْنِ إِضافِيَّتَيْنِ وَسَجِّلُ التَّنْيَاجَ فِي الْجَدُولِ.
6. اسْتَخْرِجِ الْمَتْوَسِطَ الحَسَابِيَّ لِلقراءَاتِ الْثَلَاثِ لِلزَّمْنِ وَسَجِّلْهُ فِي الْجَدُولِ.
7. إِحْسِبِ السَّرْعَةَ بِقَسْمَةِ الْمَسَافَةِ عَلَى الزَّمْنِ، وَسَجِّلْهَا فِي الْجَدُولِ.

المحاولة	الزَّمْنُ (s)	متوسطُ الزَّمْنِ	المسافَةُ (cm)	السرعَةُ (cm/s)
الأولى				
الثانية				
الثالثة				

#### التحليل :

1. ما أهميَّةِ قِيَاسِ الزَّمْنِ ثَلَاثَ مَرَاتٍ، وَاسْتَخْرَاجِ الْمَتْوَسِطِ الحَسَابِيِّ؟
2. إِحْسِبِ هَامشَ الْخَطْلِ فِي كُلِّ مِنَ الْمَسَافَةِ وَالزَّمْنِ.
3. قارِنْ سَرْعَةِ السِّيَارَةِ لِمَجْمُوعَتِكَ مَعَ نَتْيَاجِ الْمَجْمُوعَاتِ الْأُخْرَى، وَبَيْنَ سَبَبِ اخْتِلَافِ النَّتْيَاجِ.

## وصف الحركة Motion

تعلمت في صفوف سابقة أن للحركة أنواعاً مختلفة مثل الحركة الانتقالية والدورانية والاهتزازية؛ إذ تصنف الحركة حسب شكل المسار الذي يتحرك عليه الجسم. وأبسط أنواع الحركة عندما تكون في خط مستقيم، فتسمى حركة في بعدين واحد. وسوف تقتصر الدراسة في هذا الدرس على الحركة في بعدين واحد. يستخدم عدد من المفاهيم لوصف حركة الأجسام مثل المسافة والإزاحة التي تعطي فكرة عن موقع الجسم وזמן الحركة، والسرعة والتسارع التي تعطي فكرة عن حركة الجسم والتغير في موقعه. وعندما نستخدم المفاهيم السابقة لوصف حركة الجسم، فإننا نحدد موقعه والتغير فيه عند كل لحظة زمنية.

## الموقع والزمن Position and Time

كل جسم يشغل موقعاً محدداً، فالجسم الساكن يبقى في موقعه والجسم المتحرك يغير من موقعه مع مرور الزمن؛ فهو في لحظة زمنية معينة يوجد في موقع ابتدائي، ثم ينتقل منه إلى موقع آخر لاحظ الشكل (22-2) الذي يبين مواقع مختلفة في مدينة الدوحة، والمسار المبين باللون الأزرق، الذي يمثل حركة سيارة من الموقع الابتدائي ( $p_i$ ) إلى الموقع النهائي ( $p_f$ ) عبر طريق متعرج طوله الكلي 3760 m، تم قطعه خلال زمن مقداره 5.200 لكن بالرجوع إلى نظام تحديد الموقع (GPS) وجد أن المسافة التي تفصل بين المواقعين ( $p_i, p_f$ ) الموضحة على الخارطة بالخط الأحمر المتقطع تساوي 1400 m.



الشكل 22-2 المسافة والإزاحة

يعرف الموقع position بأنه كمية متجهة تصف مكان وجود الجسم وتحدد بمقدار واتجاه نسبة إلى نقطة إسناط معينة. وعندما يتحرك الجسم بين موقعين فإنه يقطع مسافة، وتعرف المسافة distance بأنها طول المسار الفعلي الذي يسلكه الجسم المتحرك بين موقعين، وهي كمية قياسية غير متجهة، توصف بذكر مقدارها فقط، ولا يحدد لها اتجاه. وتوصف حركة الجسم باستخدام مفهوم الإزاحة displacement، وهي الفرق بين متجهي موقعين الجسم الابتدائي وال النهائي، ولا تعتمد الإزاحة على طول المسار الذي يسلكه الجسم أو شكل هذا

المسار. فالإزاحة كمية متوجة تساوي ناتج طرح متجه الموضع الابتدائي من متجه الموضع النهائي، وتتساوي أقصراً مسافة بين الموقعين.

يُمثل الخط الأحمر في الشكل (22) الإزاحة التي حدثت للسيارة؛ بسبب التغير في موقعها، ومقدارها يُساوي 1400 m باتجاه الشرق. مع أن المسافة التي قطعتها السيارة تساوي 3760 m وتقاس الإزاحة دائمًا بالنسبة إلى نقطة الإسناد المرجعية، التي يُسند إليها متجه الموضع، وقد تكون نقطة الإسناد هي الموضع الابتدائي للحركة نفسه، وهنا تحسب الإزاحة كما يأتي:

$$\Delta d = d_f - d_i = 1400 \text{ m} \quad (\text{شرق})$$

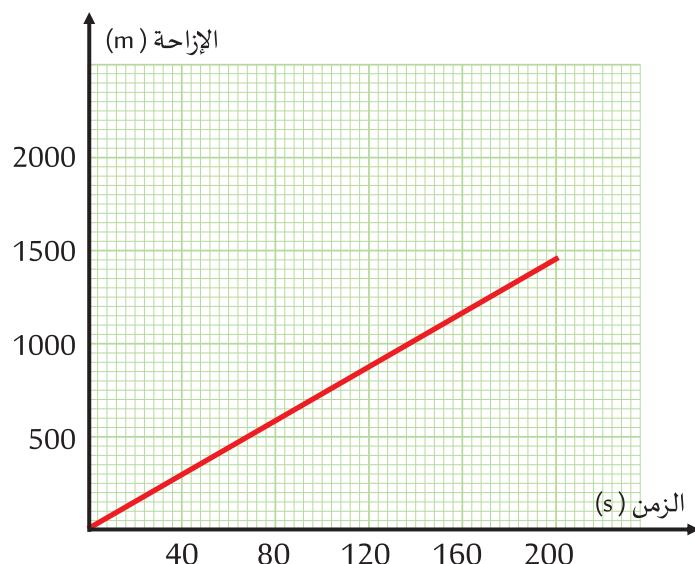
حيث ( $\Delta d$ ) تمثل متجه الإزاحة، ( $d_i$ ) تمثل متجه الموضع الابتدائي، ( $d_f$ ) تمثل متجه الموضع النهائي.



صُفْ كيف يمكنك أن تجعل كرة تتحرك حركةً منتظمةً في بُعدٍ واحدٍ، أو حركةً في بُعدين.

## مُنحني (الإزاحة - الزمن) Displacement - Time Graph

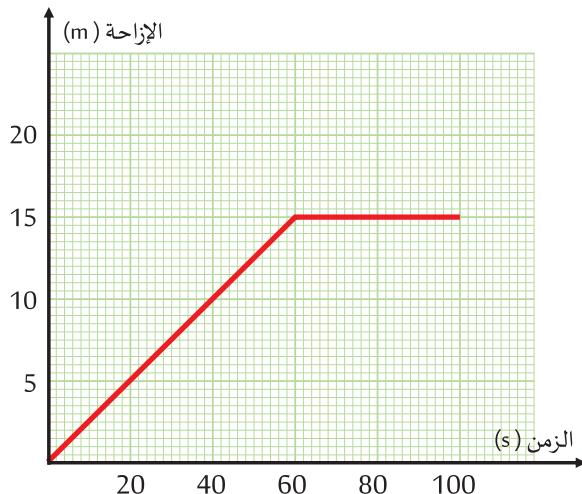
لاحظنا أن معرفة المسافة التي يقطعها الجسم المتحرك لا تفي في تحديد موقع الجسم. لذلك نلجأ لتمثيل العلاقة بين الإزاحة والزمن بيانياً، كما في الشكل (23)، فهي تزودنا بفكرة عن زمن الحركة وموقع الجسم وإزاحته عند أية لحظة زمنيةٍ من بداية الحركة إلى نهايتها؛ حيث يكون تحديداً كل من الموضع والإزاحة بالنسبة إلى نقطة الإسناد (نقطة الأصل).



الشكل 23-2: العلاقة البيانية (الإزاحة - الزمن).

يُوضح الشكل البياني (24) العلاقة البيانية بين الإزاحة والزمن لطفل يقود دراجته في خط مستقيم. مُعتمدًا على الشكل أجب عما يأتي:

1. حَدِّدْ مَوْقِعَ الطَّفْلِ بِالنَّسْبَةِ إِلَى الْمَوْقِعِ الابْتَدَائِيِّ عِنْدَ الزَّمْنِ 60 s.
2. عِنْدَ أَيِّ زَمْنٍ كَانَ الطَّفْلُ يَبْعُدُ عَنِ الْمَوْقِعِ الابْتَدَائِيِّ مَسَافَةً 10 m ؟
3. مَا الْإِزَاحَةُ الَّتِي قَطَعَهَا الطَّفْلُ بَيْنَ الْحَلْظَتَيْنِ الزَّمْنِيْتَيْنِ 20 s، 80 s ؟



الشكل 24-2 : العلاقة البيانية (الإزاحة - الزمن) لحركة الدراجة.

1. مِنَ الرَّسَمِ الْبَيَانِيِّ نُلَاحِظُ أَنَّ الزَّمْنَ 60 s يُقَابِلُ الْمَوْقِعَ 15 m، أَيْ إِنْ بَعْدَ الطَّفْلِ عَنِ الْمَوْقِعِ الابْتَدَائِيِّ بَعْدَ 60 s مِنَ الْحَرْكَةِ كَانَ 15 m.
2. مِنَ الرَّسَمِ الْبَيَانِيِّ نَجُدُ أَنَّ الْمَوْقِعَ 10 m يُقَابِلُ الزَّمْنَ 40 s.
3. عِنْدَ الْحَلْظَةِ الزَّمْنِيَّةِ 20 s كَانَ الْمَوْقِعُ الابْتَدَائِيِّ 5 m، وَعِنْدَ الْحَلْظَةِ الزَّمْنِيَّةِ 80 s كَانَ الْمَوْقِعُ النَّهَائِيُّ 15 m، وَالْإِزَاحَةُ تُسَاوِي التَّغْيِيرَ فِي الْمَوْقِعِ :

$$\Delta d = d_f - d_i = 15 - 5 = 10 \text{ m}$$

مثال 1

الحل

## السرعةُ القياسيةُ والسرعةُ المتجهةُ Speed and Velocity

نَسْتَخْدِمُ كثِيرًا فِي حَيَاةِنَا الْيَوْمِيَّةِ مَفْهُومَ السُّرْعَةِ، فَنَصْفُ حَرْكَةَ الأَجْسَامِ بِأَنَّهَا سَرِيعَةٌ أَوْ بَطِينَةٌ، وَنُعَبِّرُ عَنِ السُّرْعَةِ فِي بَعْضِ الْأَحْيَانِ عَلَى أَنَّهَا كَمِيَّةٌ قِيَاسِيَّةٌ، كَأَنْ نَقُولُ: سُرْعَتُهُ فِي الْكِتَابَةِ أَوِ الْعَدِّ، أَوْ سُرْعَةُ الْإِنْجَازِ، وَفِي أَحْيَانَ أُخْرَى نُعَبِّرُ عَنِ السُّرْعَةِ عَلَى أَنَّهَا كَمِيَّةٌ مُتَجَهَّةٌ، فَنَقُولُ: سُرْعَةُ الْرِّيَاحِ 30 km/h شَرِقًا، وَتَحْرُكُ الطَّائِرَةُ بِسُرْعَةِ 200 m/s شَمَالًا؛ لَذَلِكَ لَا بُدَّ لَنَا مِنَ التَّمَيِيزِ بَيْنَ التَّعْبِيرَيْنِ بَعْضِيْمَا عَنْ بَعْضِيْمِ.

**السرعة القياسية Speed** هي المسافة التي يقطعها الجسم في وحدة الزمن، وتُساوي ناتج قسمة المسافة الكلية المقطوعة على الفترة الزمنية التي حدثت خلالها الحركة، ويرمز لها بالرمز (٧). وتحسب السرعة القياسية للجسم المتحرك باستخدام العلاقة الرياضية الآتية:

$$\text{السرعة القياسية} = \frac{\text{المسافة المقطوعة}}{\text{الفترة الزمنية}}$$

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

وحيث إن المسافة تُقاس وفق النظام الدولي بوحدة (m)، والزمن بوحدة (s)، فإن السرعة القياسية تُقاس بوحدة (m/s). والسرعة القياسية التي تُحسب باستخدام هذه العلاقة تكون سرعةً قياسيةً متوسطةً، لأنها لا تتعلق بلحظة زمنية محددة. average speed

**السرعة المتجهة Velocity** هي مُعدل تَغِير الإزاحة بالنسبة إلى الزمن. وتُساوي ناتج قسمة مُتجه الإزاحة (التَّغِير في الموضع) على الزمن الكلي للحركة، وحيث إن الإزاحة كمية متجهة، والزمن كمية قياسية، فإن ناتج قسمة مُتجه الإزاحة على كمية قياسية (الزمن) يُساوي كمية متجهة؛ لذلك نُعِرُّ عن السرعة المتجهة باستخدام المقدار والاتجاه معاً، ويرمز لها بالرمز (٧) وتحسبُها من العلاقة الرياضية الآتية:

$$\text{السرعة المتجهة} = \frac{\text{مُتجه التَّغِير في الموضع}}{\text{الفترة الزمنية}}$$

$$v = \frac{\Delta d}{t} = \frac{d_f - d_i}{t}$$

ووحدة قياس السرعة المتجهة في النظام الدولي للوحدات هي (m/s). والسرعة المتجهة التي تُحسب باستخدام هذه العلاقة تكون سرعةً متجهةً متوسطةً average velocity؛ لأنها لا تتعلق بلحظة زمنية محددة. بل نحصل منها على السرعة المتجهة المتوسطة خلال الزمن الكلي للحركة، سواءً كانت السرعة ثابتةً أو مُتغيرةً. بالرجوع إلى حركة السيارة بين المواقعين ( $P_f, P_i$ ) في مدينة الدوحة؛ حيث كانت المسافة الكلية التي قطعتها السيارة 3760 m، والإزاحة الناتجة 1400 m شرقاً، وكان زمن الحركة 200 s. فإنه يمكن حساب كلٍ من السرعة القياسية المتوسطة، والسرعة المتجهة المتوسطة لهذه السيارة.

أولاً: السرعة القياسية المتوسطة

$$v = \frac{d}{t} = \frac{3760}{200} = 18.8 \text{ m/s}$$

ثانياً: السرعة المتجهة المتوسطة

$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{1400}{200} = 7 \text{ m/s}$$

## السرعة المتجهة من منحني الإزاحة - الزمن

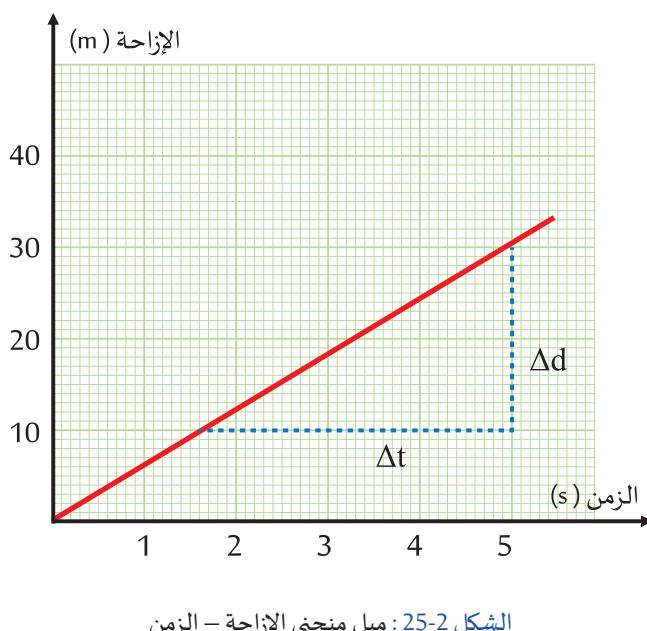
تصف العلاقة البيانية بين الإزاحة والزمن التغير في موقع الجسم بالنسبة للزمن، كما في الشكل (25-2). كما إنه من تحليل الرسم البياني لهذه العلاقة يمكن التعرف إلى سرعة الجسم.

لقد سبق لنا تعريف السرعة المتجهة المتوسطة بأنها معدل تغير الإزاحة بالنسبة إلى الزمن، وإيجادها من العلاقة الرياضية الآتية:

$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d_2 - d_1}{\Delta t}$$

لكن، بالرجوع إلى مفهوم الميل في الرياضيات، وهو:

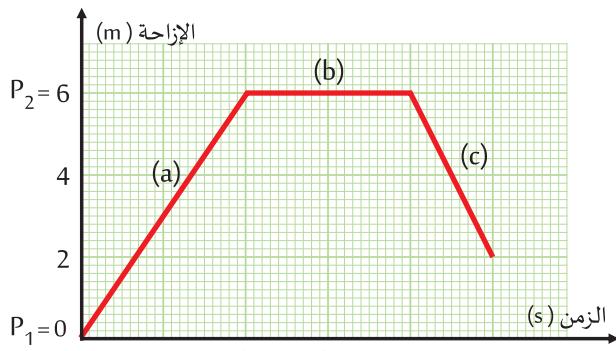
$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1}$$



الشكل 25-2: ميل منحني الإزاحة - الزمن

نستنتج من ذلك أن السرعة المتجهة المتوسطة تساوي ميل منحني العلاقة بين الإزاحة والزمن.

يتحركُ جسمٌ ضمنَ ثلَاث مراحلٍ زمنيةٍ مُختلفةٍ (a, b, c)، فَيَتَغَيِّرُ مَوْقِعُهُ وفقَ المُنْحَنَى المُبَيَّنِ في الشكل (26-2). احسبِ السرعةَ المُتجَهَةَ المُتوسِّطةَ لِلْجَسَمِ خَلَالَ كُلِّ مرحلةٍ زَمْنِيَّةٍ.



الشكل 26-2 : تحليل الرسوم البيانية

## مثال 2

1. تَمَتدُّ المَرْحَلَةُ الزَّمْنِيَّةُ الْأُولَى لِلْحَرْكَةِ (a) مِن لَحْظَةِ الْبَدَائِيَّةِ ( $P_1 = 0$  s) إِلَى اللَّحْظَةِ ( $t_1 = 2$  s)، وَفِيهَا انتَقَلَ الْجَسَمُ بَيْنَ الْمَوْقِعَيْنِ ( $P_1$  ،  $P_2$ ). وَالسُّرْعَةُ المُتَجَهَّةُ المُتوسِّطةُ خَلَالَ هَذِهِ الْمَرْحَلَةِ تُسَاوِي مَيْلَ الْمُنْحَنَى

$$\text{الميل} = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1} = \frac{6 - 0}{2 - 0} = 3 \text{ m/s}$$

وَالخَطُّ الْمُسْتَقِيمُ خَلَالَ هَذِهِ الْمَرْحَلَةِ يَعْنِي أَنَّ السُّرْعَةَ المُتَجَهَّةَ ثَابِتَةُ الْمِقْدَارِ، أَمَّا الْمَيْلُ الْمُوجَبُ فَيَعْنِي أَنَّ السُّرْعَةَ مُوجَبَةً؛ أَيْ إِنَّ الْإِزَاحَةَ فِي حَالَةِ تَزايدٍ وَالْجَسَمُ يَتَعَدُّ عَنِ الْمَوْقِعِ الْابْتَدَائِيِّ ( $P_1$ ).

2. تَمَتدُّ المَرْحَلَةُ الزَّمْنِيَّةُ الثَّانِيَّةُ (b) مِن لَحْظَةِ ( $t_2 = 2$  s) إِلَى اللَّحْظَةِ ( $t_3 = 4$  s). وَالسُّرْعَةُ المُتَجَهَّةُ المُتوسِّطةُ خَلَالَهَا تُسَاوِي مَيْلَ الْمُنْحَنَى:

$$\text{الميل} = \frac{d_3 - d_2}{t_3 - t_2} = \frac{6 - 6}{4 - 2} = 0 \text{ m/s}$$

الحل

نُلَاحِظُ أَنَّ الْمَيْلَ في هَذِهِ الْمَرْحَلَةِ يُساوِي صَفَرًا؛ أَيْ إِنَّ السُّرْعَةَ المُتَجَهَّةَ تُسَاوِي صَفَرًا؛ وَذَلِكَ بِسَبِّبِ عَدَمِ تَغَيِّيرِ الْإِزَاحَةِ؛ فَالْجَسَمُ بَقِيَ فِي مَوْقِعٍ وَاحِدٍ هُوَ ( $P_2$ ) تَمَتدُّ المَرْحَلَةُ الزَّمْنِيَّةُ الثَّالِثَةُ (c) مِن لَحْظَةِ ( $t_3 = 4$  s) إِلَى اللَّحْظَةِ ( $t_4 = 5$  s). وَالسُّرْعَةُ المُتَجَهَّةُ المُتوسِّطةُ خَلَالَهَا تُسَاوِي مَيْلَ الْمُنْحَنَى:

$$\text{الميل} = \frac{d_4 - d_3}{t_4 - t_3} = \frac{2 - 6}{5 - 4} = -4 \text{ m/s}$$

وَالخَطُّ الْمُسْتَقِيمُ يَعْنِي أَنَّ السُّرْعَةَ ثَابِتَةُ الْمِقْدَارِ، أَمَّا الْمَيْلُ السَّالِبُ فَيَعْنِي أَنَّ السُّرْعَةَ المُتَجَهَّةَ المُتوسِّطةُ فِي هَذِهِ الْمَرْحَلَةِ سَالِبَةً؛ وَذَلِكَ بِسَبِّبِ تَناقصِ الْإِزَاحَةِ وَاقْتِرَابِ الْجَسَمِ مِنِ الْمَوْقِعِ الْابْتَدَائِيِّ ( $P_1$ ).

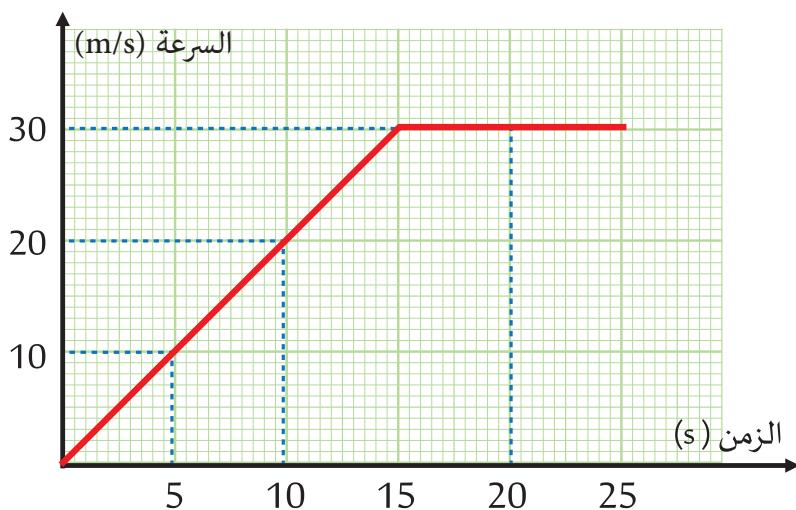
3. ما الذي يعنيه الميل الموجب والميل السالب لمنحنى (الإزاحة - الزمن) بالنسبة للإزاحة  
الجسم وسرعته؟

4. معمداً على الشكل (26-2)، أوجد مقدار كلٍ من الإزاحة والسرعة عند اللحظة الزمنية  
 $(t = 1 \text{ s})$



### منحنى (السرعة المتجهة - الزمن) Velocity – Time Graph

نزويناً منحنى العلاقة بين السرعة المتجهة والزمن بمعلومات عن حركة الجسم ومقدار سرعته واتجاهها عند أية لحظة زمنية، وكذلك يمكننا من معرفة الإزاحة التي تحدث للجسم. لاحظ الشكل البياني (27-2)، الذي يمثل العلاقة بين السرعة المتجهة والزمن لجسم متحرك.



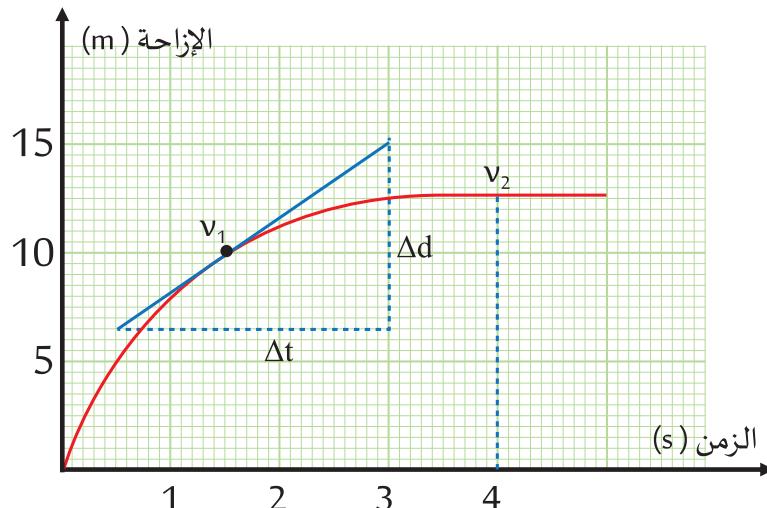
الشكل 27-2: منحنى (السرعة - الزمن)

يظهر من الشكل أن مقدار السرعة في حالة تزايد ابتداءً من السكون عند اللحظة ( $t_1 = 0 \text{ s}$ ) وحتى وصل إلى سرعة  $30 \text{ m/s}$  عند اللحظة ( $t_2 = 15 \text{ s}$ )، ثم بعد ذلك تحرك بسرعة ثابتة مقدارها  $30 \text{ m/s}$  حتى اللحظة ( $t_3 = 25 \text{ s}$ ). عندما يكون الجسم متحركاً بسرعة متغيرة، ونرغب في إيجاد السرعة عند أية لحظة زمنية مثل: ( $t = 10 \text{ s}$ ), ( $t = 5 \text{ s}$ ), ( $t = 20 \text{ s}$ ), ( $t = 25 \text{ s}$ ). فإننا نبحث عن شكل آخر من أشكال السرعة، هو السرعة اللحظية. إذ تسمى السرعة عند لحظة زمنية محددة بالسرعة المتجهة اللحظية **instantaneous velocity**، وهي معدل تغير الإزاحة بالنسبة للزمن، عندما تكون الفترة الزمنية صغيرة جداً. ويمكن معرفتها عن طريق إيجاد ميل المماس لمنحنى (الإزاحة - الزمن) عند هذه اللحظة الزمنية. وقد تكون السرعة اللحظية متغيرة، كما في المرحلة الأولى من الحركة، أما في المرحلة الثانية من الحركة فإن السرعة اللحظية لها قيمة متساوية عند اللحظات الزمنية جميعها، وهذه القيمة تساوي السرعة المتوسطة.

مُعتمدًا على الشكل (28-2)، الذي يُبيّن مُنحني (الإزاحة - الزمن) لجسم مُتحركٍ. أُوجد كُلًا من:

1. السُّرعة اللحظيَّة ( $v_1$ )، عند ( $t = 1.5 \text{ s}$ ).

2. السُّرعة اللحظيَّة ( $v_2$ )، عند ( $t = 4.0 \text{ s}$ ).



الشكل 28-2: السُّرعة اللحظيَّة وميل المماس.

مثال 3

1. السُّرعة اللحظيَّة ( $v_1$ ) تُساوي ميل المماس عند هذه النقطة.

$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{15 - 6.5}{3 - 0.5} = \frac{8.5}{2.5} = 3.4 \text{ m/s}$$

الحل

2. السُّرعة اللحظيَّة ( $v_2$ ) تُساوي ميل المماس عند هذه النقطة، وحيث إن الميل يساوي صفرًا، فإن:

$$v_2 = 0 \text{ m/s}$$

أُوجد السُّرعة اللحظيَّة للجسم عند اللحظة الزمنية ( $t = 2.3 \text{ s}$ ).



### المَساحَة تحت مُنحني السُّرعة المُتحْجِّبة - الزمن Area Under Velocity – Time Graph

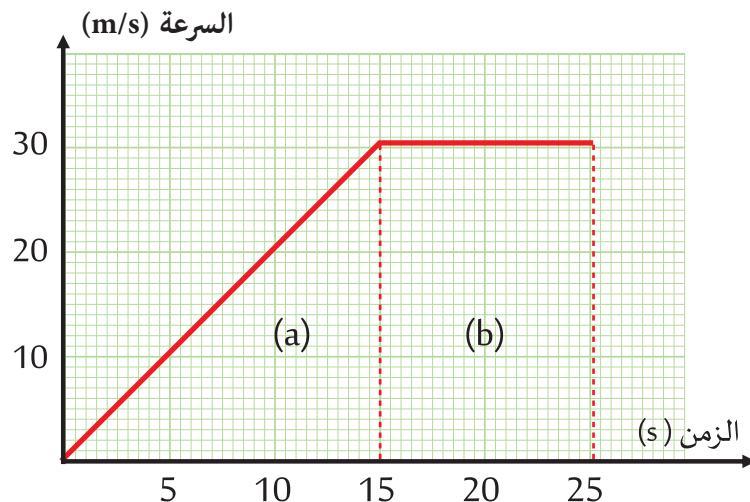
إن المساحة تحت المنحنى تدلُّنا على كميةٍ فизيائيةٍ أخرى تُساعدُ في وصف حركة الأجسام. لاحظ المساحتين تحت المنحنى في الشكل (29-2): إحداهما على شكل مثلث (a)، والأخرى على شكل مستطيل (b). وكلُّ شكلٍ منها قاعدته تُساوي فترةً زمنيةً، وارتفاعه يُساوي السُّرعة، وبالتالي فإن المساحة تنتُج عن حاصل ضربِ الزمان في السُّرعة.

$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t} \longrightarrow \Delta d = v \Delta t$$

يكون ناتج عملية الضرب هو الإزاحة، أي إن المساحة المحصورة تحت منحني السرعة المتجهة - الزمن تساوي الإزاحة التي حدثت للجسم. ومن الشكل نجد أن:

الإزاحة الكلية للجسم = مساحة المثلث + مساحة المستطيل، أي إن:

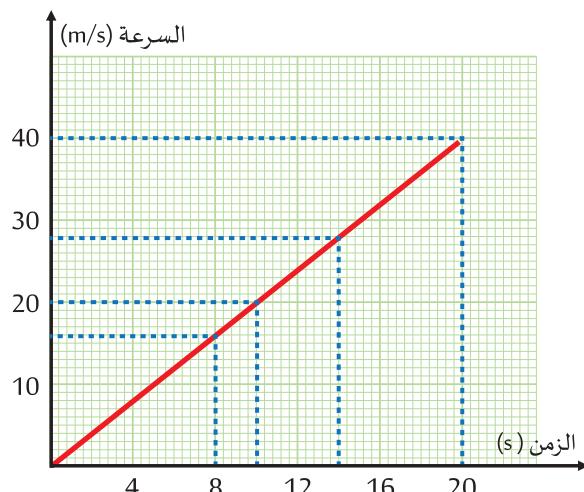
$$\Delta d = \left( \frac{1}{2} \times 15 \times 30 \right) + (10 \times 30) = 225 + 300 = 525 \text{ m}$$



الشكل 29-2: المساحة تحت المنحني

يُوضّح الشكل (29-30) منحني (السرعة المتجهة - الزمن) لطائرة صغيرة تتحرك على المدرج قبيل الإقلاع. مُعتمدًا على الشكل أجب بما يأتي:

1. ما مقدار سرعة الطائرة المتجهة اللحظية عند كلٍ من اللحظتين: 8 s ، 14 s ؟
2. ما مقدار الفترة الزمنية اللازمة لكي تتغيّر سرعة الطائرة من 20 m/s إلى 40 m/s ؟
3. ما مقدار الإزاحة التي قطعتها الطائرة خلال الزمن الكلي للحركة ؟



الشكل 29-30: منحني (السرعة المتجهة - الزمن)

مثال 4

1. مِنَ المُنْحَنِيِّ: السرعة عند  $s = 8$  تساوي  $16 \text{ m/s}$ ، والسرعة عند  $s = 14$  تساوي  $28 \text{ m/s}$ .
2. مِنَ المُنْحَنِيِّ تَغْيِيرٌ سرعة الطائرة من  $20 \text{ m/s}$  إلى  $40 \text{ m/s}$  خلال مدة زمانية تساوي:

$$\Delta t = 20 - 10 = 10 \text{ s}$$

3. الإزاحة التي قطعتها الطائرة خلال زمن  $20 \text{ s}$  تساوي المساحة تحت المُنْحَنِيِّ، وهي مثلث:

$$\Delta d = \frac{1}{2} \times 20 \times 40 = 400 \text{ m}$$

الحل

في المثال السابق، ما مقدار الإزاحة التي قطعتها الطائرة في الفترة الزمنية بين اللحظتين ( $t = 14 \text{ s}$ ) و ( $t = 20 \text{ s}$ )



## التَّسَارُعُ Acceleration

لاحظت فيما سبق أن السرعة المتجهة للجسم تنتج عن الإزاحة أو التَّغْيُير في الموقع، وقد تكون السرعة ثابتة في المقدار والاتجاه، وعندما يكون مُنْحَنِي العلاقة (السرعة - الزمن) على شكل خط مستقيم موازٍ للمحور الأفقي ( $x$ ). أما عندما تكون السرعة مُتغيِّرة بانتظام، فإن هذا المُنْحَنِي يكون خطًا مستقيماً ويميل بزاوية عن محور ( $x$ ). فما هي الكمية الفيزيائية التي تنتج عن التَّغْيُير في السرعة؟ من المفاهيم الأخرى التي تساعد في وصف حركة الأجسام مفهوم التَّسَارُعِ acceleration وهو مُعَدَّل تَغْيِير السرعة المتجهة بالنسبة للزمن. والتَّسَارُعِ كمية متجهة يتم تحديدها بالمقدار والاتجاه معاً، ويمثله الرمز ( $a$ ). عندما يبدأ جسم حركته بالسرعة الابتدائية ( $v_i$ ) ثم تَغْيِير سرعته إلى السرعة النهائية ( $v_f$ )، خلال فترة زمنية ( $\Delta t$ ، فإن تَسَارُعَ الجسم يعطى بالعلاقة الرياضية الآتية:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{\Delta t}$$

عندما تَغْيِير سرعة الجسم بشكل منتظم بالنسبة للزمن؛ فتردادُ أو تَقلُّ بمقادير متساوية، فإن الحركة تُوصف بأنها حركة منتظمة، وفي هذه الحالة يكون تَسَارُعَ الجسم ثابتاً. تُشتق وحدة التَّسَارُعِ في النظام الدولي للوحدات من قِسْمَةٍ وِحدَةِ السرعة على وِحدَةِ الزَّمْنِ، فنَحْصُلُ على الوِحدَةِ المُسْتَقْدِمةِ ( $\text{m/s}^2$ ).

## مثال 5

انطلقَ أَحْمَدُ بِدِرَاجَتِهِ الْهَوَائِيَّةِ مِنَ السَّكُونِ، وَبَعْدَ أَرْبَعِ ثَوَانٍ أَصْبَحَتْ سُرْعَةُ الدِّرَاجَةِ تُسَاوِي  $6 \text{ m/s}$ . احْسِبْ تَسَارُعَ الدِّرَاجَةِ خَلَالَ هَذِهِ الْفَتْرَةِ.

الزَّمْنُ الْابْدَائِيُّ: ( $t_i = 0\text{s}$ )

الزَّمْنُ النَّهَائِيُّ: ( $t_f = 4\text{s}$ )

السُّرْعَةُ الْابْدَائِيَّةُ: ( $v_i = 0\text{m/s}$ )

السُّرْعَةُ النَّهَائِيَّةُ: ( $v_f = 6\text{m/s}$ )

الحل

التَّسَارُعُ = ?

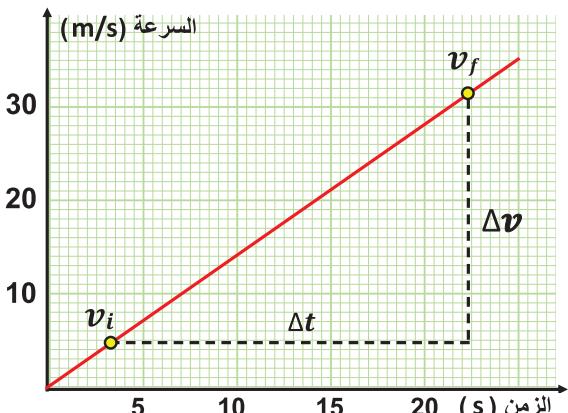
$$a = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} = \frac{6 - 0}{4 - 0} = 1.5 \text{ m/s}^2$$

رُصِدَتْ حَرْكَةُ جَسَمٍ فِي خَطٍّ مُسْتَقِيمٍ عَنْدَ الْلَّحْظَةِ ( $t = 3\text{s}$ ) فَكَانَتْ سُرْعَتُهُ ( $v_i = 22\text{m/s}$ ), ثُمَّ رُصِدَتْ عَنْدَ الْلَّحْظَةِ ( $t = 5\text{s}$ ) فَكَانَتْ سُرْعَتُهُ ( $v_f = 16\text{m/s}$ ). مَثَلٌ بِالرَّسِّمِ مُنْحَنِيَّ (السُّرْعَةُ - الزَّمْنُ) لِحَرْكَةِ الجَسَمِ، ثُمَّ احْسِبْ تَسَارُعَهِ خَلَالَ تَلْكَ الْفَتْرَةِ.



## التَّسَارُعُ مِنْ مُنْحَنِيَّ السُّرْعَةِ الْمُتَجَهِّةِ - الزَّمْنِ

بالرجوع إلى مُنْحَنِيَّ (السُّرْعَةِ الْمُتَجَهِّةِ - الزَّمْنِ)، فإنه يُمْكِنُ التَّعَرُّفُ إِلَى تَسَارُعِ الْجَسَمِ مِنْ تَحْلِيلِ الرَّسِّمِ الْبَيَانِيِّ. لاحظِ الشَّكْلَ (31-2) الَّذِي يُوضِّحُ التَّغَيِّيرَ فِي سُرْعَةِ الْجَسَمِ فِي أَثْنَاءِ حَرْكَتِهِ. مِنْ تَعْرِيفِ التَّسَارُعِ خَلَالَ هَذِهِ الْمَرْحَلَةِ، نَجُدُ أَنَّ:

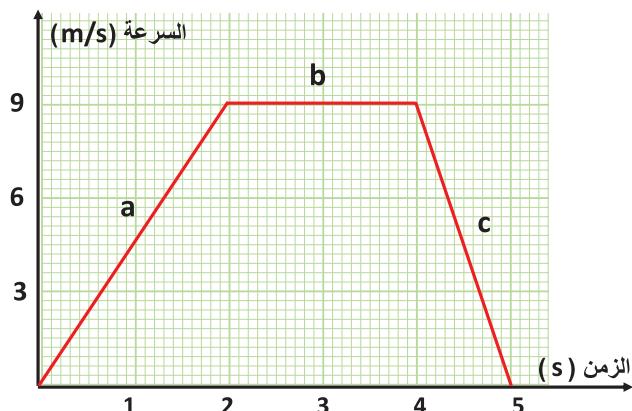


الشكل 31-2: التسارع يساوي الميل.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

بالرجوع إلى مفهومِ الْمَيْلِ فِي الْرِّياضِيَّاتِ، نَجُدُ أَنَّ التَّسَارُعَ يُسَاوِي الْمَيْلَ. لاحظُ أَنَّ الْمَيْلَ يَكُونُ مُوجِبًا عِنْدَمَا تَزَادُ السُّرْعَةُ؛ مَا يَعْنِي أَنَّ التَّسَارُعَ مُوجِبٌ.

مُعتمدًا على العلاقة البيانية في الشكل (32-2)، احسب تَسَارُعَ الجَسَمِ في المراحل الزمنية (a)، (b)، (c) من الحركة



الشكل 2-32 : تحليل الرسوم البيانية.

مثال 6

1. التَّسَارُعُ خَلَالِ المَرْحَلَةِ (a) يُسَاوِي مَيْلَ الْمُنْحَنِيِّ:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{9-0}{2-0} = 4.5 \text{ m/s}^2$$

2. التَّسَارُعُ خَلَالِ المَرْحَلَةِ (b) يُسَاوِي مَيْلَ الْمُنْحَنِيِّ.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{9-9}{4-2} = 0 \text{ m/s}^2$$

3. التَّسَارُعُ خَلَالِ المَرْحَلَةِ (c) يُسَاوِي مَيْلَ الْمُنْحَنِيِّ:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0-9}{5-4} = -9 \text{ m/s}^2$$

الحل

نستنتج من منحنى السرعة - الزمن في المثال (6) أنه عندما يكون مَيْلُ الْمُنْحَنِيِّ مُوجَبًا، فإنَّ الجَسَمَ يَتَحَرَّ بِسُرْعَةٍ مَتَزايدَةٍ، وَتَكُونُ سُرْعَتُهُ النَّهَايِيَّةُ أَكْبَرَ مِنْ سُرْعَتِهِ الابْدَائِيَّةِ، وَعِنْدَمَا يَكُونُ مَيْلُ الْمُنْحَنِيِّ سَالِبًا، فإنَّ الجَسَمَ يَتَحَرَّ بِسُرْعَةٍ مَتَنَاقِصَةٍ؛ وَتَكُونُ سُرْعَتُهُ النَّهَايِيَّةُ أَقْلَى مِنْ سُرْعَتِهِ الابْدَائِيَّةِ. أما مَيْلُ الْمُنْحَنِيِّ الْصَّفَرِ فَيُشَيرُ إِلَى أَنَّ السُّرْعَةَ ثَابِتَةً.

• ما المقصود بكلّ من المفاهيم الآتية: الحركة المنتظمة، السرعة المتجهة اللحظية، التَّسَارُعُ؟

• وَضِّحْ كَيْفَ يُحْسَبُ كُلُّ مِنْ: السرعة والتَّسَارُع والإِزَاحَةِ مِنْ مُنْحَنِي (السرعة المتجهة -

الزمن)؟



اخبر نفسك



## نشاط 2-3

## قياس المسافة والزمن وحساب السرعة المتوسطة

قياس سرعة جسم متحرك باستخدام المضمار الهوائي وحساب تسارعه.

الهدف:

المضمار الهوائي وملحقاته، كتلة (50 g)

الأدوات:

تَوَحِّي الحذر من سقوط الأجسام والأثقال.

الأمن والسلامة:

## الخطوات:



يُوزَعُ الطلبة ضمن مجموعات، وتُوزَعُ المَهَامُ على أعضاء كل مجموعة.

1. جهز المضمار الهوائي بصورة صحيحة بمساعدة المعلم ومحضر المختبر.

2. ثبَّتْ بكرةً مفردةً في طرف المضمار، وضع العربة على الطرف الآخر للمضمار، واربطها بخيط ومرزه فوق البكرة واربط بطرفه الآخر ثقلاً كتلة صغيرة 50 g.

3. ضع البوابتين الضوئيتين على المضمار لقياس الزمن، البوابة الأولى بالقرب من موقع البداية والبوابة الثانية على بعد 20 cm من الأولى.

4. شغل مضخة الهواء واترك العربة تتحرك من بداية المضمار تحت تأثير الكتلة المعلقة. وسجل كلاً من قراءتي الزمن:  $t_2, t_1$  وطول البطاقة المثبتة فوق العربة في الجدول.

5. قس الفترة الزمنية  $\Delta t$  بين مرور العربة خلال البوابتين باستخدام ساعة الإيقاف، وسجلها في الجدول.

كرر الخطوات 5,4,3 أربع مرات أخرى، مع تحريك البوابة الثانية بمقدار 20 cm كل مرة، وسجل النتائج.

6. قس طول بطاقة العربة (l) ثم احسب السرعة الإبتدائية والسرعة النهائية للعربة بقسمة طول بطاقة العربة على الفترة الزمنية.

7. مثِّل العلاقة بين الزمن والسرعة بيانياً، ثم استخرج الميل.

$$t_1 = \dots \text{ (s)} \quad v_1 = \dots \text{ (m/s)} \quad l = \dots \text{ (m)}$$

					المسافة بين البوابتين
					الزمن بين البوابتين $\Delta t$
					قراءة البوابة الثانية $t_2$
					السرعة النهائية ( $v_2$ )

## التحليل:

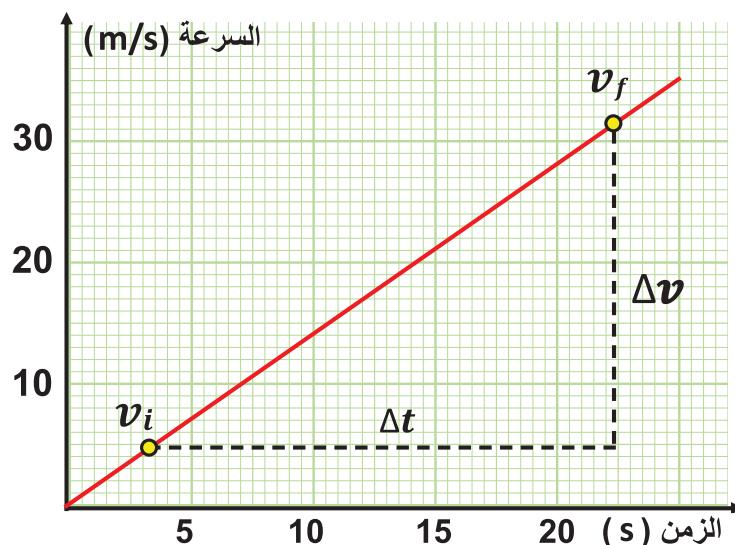
1. استخرج مقدار تسارع العربة من ميل المنحنى، ثم قارن نتيجتك مع نتيجة المجموعات الأخرى.

2. ماذا تتوقع أن يحدث لتسارع العربة عندما تغير الكتلة المعلقة في الخيط؟

## مُعادلاتُ الحركةِ المُنظمةٍ في خطٍ مستقيمِ Equations of Motion

تَعْرَفَتْ إِلَى وَصْفِ الحركةِ باسْتِخْدَامِ مفاهِيمِ الإِزَاحَةِ وَالسُّرْعَةِ وَالتَّسَارِعِ، وَتَعْلَمَتْ كَيْفَ تُمَثِّلُ الْعَلَاقَاتُ بَيْنَ هَذِهِ الْمُتَغَيِّرَاتِ بِيَانِيًّا، مُثَلُّ مُنْحَنَّى (الإِزَاحَةٌ - الزَّمْن)، أَوْ مُنْحَنَّى (السُّرْعَةٌ - الزَّمْن). حِيثُ يَصْبُحُ وَصْفُ الحركةِ أَكْثَرَ سَهْلَةً عَنْ طَرِيقِ تَحْلِيلِ هَذِهِ الرَّسُومِ الْبَيَانِيَّةِ.

وَلَزِيدٌ مِنْ التَّوْضِيحِ تُسْتَخْدَمُ ثَلَاثُ مُعَادِلَاتٍ رِياضِيَّةٍ تُسَاعِدُ فِي وَصْفِ حَرْكَةِ الْأَجْسَامِ الْمُنْظَمَةِ في خطٍ مستقيمٍ، وَيُشَرَّطُ لِاستِخْدَامِ هَذِهِ الْمُعَادِلَاتِ أَنْ تَكُونَ الْحَرْكَةُ في خطٍ مستقيمٍ، وَالتَّسَارِعُ ثَابِتًا؛ مَا يَعْنِي أَنَّ السُّرْعَةَ تَتَغَيَّرُ بِشَكْلٍ مُنْتَظِمٍ.



الشكل 2-33: الْمَسَارُ يُسَاوِي الْمَيْل.

### المُعادلةُ الأولى

يُوضِّحُ الشَّكْلُ (2-33) مَيْلُ مُنْحَنَّى (السُّرْعَةٌ - الزَّمْن) وَالَّذِي يُمَثِّلُ التَّسَارِعَ الثَّابِتَ ( $a$ )، الَّذِي يَرْتَبِطُ مَعَ السُّرْعَةِ الْابْدَائِيَّةِ ( $v_i$ ) وَالسُّرْعَةِ النَّهَائِيَّةِ ( $v_f$ ) بِالْعَلَاقَةِ الْآتِيَّةِ:

$$a = \frac{v_f - v_i}{\Delta t}$$

حيث ( $\Delta t$ ) الفَتْرَةُ الزَّمْنِيَّةُ الَّتِي حَدَثَ خَلَالَهَا التَّغَيِّيرُ فِي السُّرْعَةِ. وَيُمْكِنُ كِتَابَةُ الْعَلَاقَةِ عَلَى الصُّورَةِ الْآتِيَّةِ:

$$v_f - v_i = a \Delta t$$

$$v_f = v_i + a \Delta t \quad \dots \quad (1)$$

## مثال 7

تحرك سيارة في خط مستقيم بتسارٍ ثابتٍ مقداره  $1.4 \text{ m/s}^2$ ، فإذا كانت سرعتها الابتدائية  $3 \text{ m/s}$ . أوجد سرعتها المائية بعد فترة زمنية مقدارها  $6 \text{ s}$ .

الكميات المعروفة في السؤال، هي:  $(\Delta t = 6 \text{ s})$ ,  $(a = 1.4 \text{ m/s}^2)$ ,  $(v_i = 3 \text{ m/s})$ ,  $(v_f = ?)$

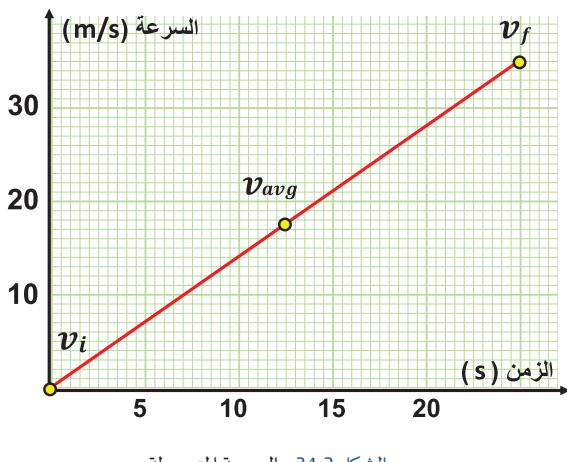
$$v_f = v_i + a \Delta t$$

$$v_f = 3 + (1.4 \times 6) = 3 + 8.4 = 11.4 \text{ m/s}$$

الحل

## المعادلة الثانية

يوضح الشكل (34-2) السرعة المتوسطة ( $v_{avg}$ ) في حالة التسارع الثابت، والتي تساوي المتوسط الحسابي للسرعتين الابتدائية ( $v_i$ ) والنهائية ( $v_f$ ), كما يأتي:



الشكل 34-2: السرعة المتوسطة.

$$v_{avg} = \frac{(v_i + v_f)}{2}$$

لكن، من تعريف السرعة المتوسطة ( $v_{avg}$ ), وعلاقتها بالإزاحة والزمن، والتي تُعطى بالعلاقة الآتية:

$$v_{avg} = \frac{\Delta d}{\Delta t}$$

نحصل على العلاقة:

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{(v_i + v_f)}{2}$$

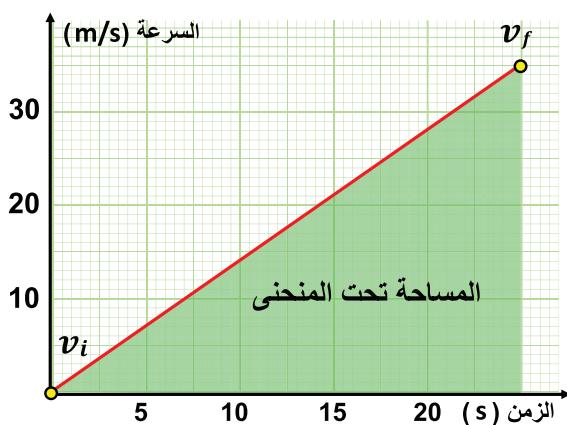
$$\Delta d = \frac{(v_i + v_f)}{2} \Delta t$$

لاحظ الشكل (35-2) الذي يُبيّن أن الإزاحة ( $\Delta d$ ) تساوي المساحة تحت المنحنى.

وبتعويض قيمة ( $v_f$ ) من المعادلة الأولى للحركة، نحصل على:

$$\Delta d = \frac{(v_i + v_i + a \Delta t)}{2} \Delta t$$

$$\Delta d = v_i \Delta t + \frac{1}{2} a \Delta t^2 \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$



الشكل 35-2: الإزاحة.

## مثال 8

تحرك عربة على مِضمارٍ هوائيٍ بتسارع ثابتٍ  $3.6 \text{ m/s}^2$ ، فإذا كانت سرعتها الابتدائية  $5 \text{ m/s}$ . أوجد الإزاحة التي تقطعها خلال فترة زمنية مقدارها  $2 \text{ s}$ .

الكميات المعلومة في السؤال، هي: ( $\Delta t = 2 \text{ s}$ ) ، ( $v_i = 5 \text{ m/s}$ ) ، ( $a = 3.6 \text{ m/s}$ )  
الكمية المجهولة: ( $\Delta d = ?$ )

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

$$\Delta d = (5 \times 2) + \frac{1}{2} (3.6 \times 2 \times 2) = 10 + 7.2 = 17.2 \text{ m}$$

الحل

## المعادلة الثالثة

من السرعة المتوسطة ( $v_{\text{avg}}$ ), نحصل على العلاقة:

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{(v_i + v_f)}{2} \quad \Rightarrow \quad \Delta t = \frac{2 \Delta d}{(v_i + v_f)}$$

بتعويض قيمة ( $\Delta t$ ) في المعادلة الأولى للحركة، نحصل على:

$$v_f = v_i + a \Delta t$$

$$v_f - v_i = \frac{2a \Delta d}{(v_i + v_f)}$$

$$(v_f - v_i)(v_i + v_f) = 2a \Delta d$$

$$v_f^2 - v_i^2 = 2a \Delta d$$

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a \Delta d \quad \dots \quad (3)$$

## مثال 9

قُذفت كرة بسرعة ابتدائية مقدارها  $9 \text{ m/s}$ ، وبعد قطعها إزاحةً في خط مستقيم مقدارها  $13\text{m}$  أصبحت سرعتها  $4 \text{ m/s}$ ، بسبب الاحتكاك. أوجد التسارع الذي اكتسبته الكرة.

الكميات المعلومة في السؤال، هي: ( $\Delta d = 13\text{m}$ )، ( $v_f = 4 \text{ m/s}$ )، ( $v_i = 9 \text{ m/s}$ )  
الكمية المجهولة: ( $a = ?$ )

$$v_f^2 = v_i^2 + 2 a \Delta d$$

$$(4)^2 = (9)^2 + 2 a (13)$$

$$16 = 81 + 26 a$$

$$a = \frac{16 - 81}{26} = -2.5 \text{ m/s}^2$$

الحل

ما الذي تعنيه الإشارة السالبة لتسارع الكرة؟

عند استخدام المعادلات السابقة في حل مسائل الحركة لإيجاد الكميات المجهولة. فإننا من أجل تسهيل تطبيقها سوف نفترض ما يأتي:

- الزمن الابتدائي للحركة يساوي صفرًا ( $t_1 = 0$ )، أي إن الفترة الزمنية التي حدثت خلالها الحركة تساوي الزمن النهائي ( $t_2 = \Delta t$ ).
- الموقع الابتدائي للحركة هو نقطة الإسناد ويساوي صفرًا ( $d_1 = 0$ )، والمقدار ( $\Delta d$ ) هو الإزاحة ويساوي الموقع النهائي.
- السرعة الابتدائية ( $v$ ) تساوي مقدارًا ثابتاً، وقد تساوي الصفر عندما يبدأ الجسم حركته من السكون.

والجدول (2) يوضح الكميات المتغيرة التي تتضمنها كل معادلة من معادلات الحركة.

المتغيرات المستبعدة	المتغيرات المُتضمنة	المعادلة	
$\Delta d$	$a$ .... $v_f$ .... $\Delta t$	$v_f = v_i + a \Delta t$	1
$v_f$	$a$ .... $\Delta d$ .... $\Delta t$	$\Delta d = v_i \Delta t + \frac{1}{2} a \Delta t^2$	2
$\Delta t$	$a$ .... $v_f$ .... $\Delta d$	$v_f^2 = v_i^2 + 2 a \Delta d$	3

الجدول 2: معادلات الحركة المنتظمة.

## مثال 10

انطلق جسمٌ من السكون بتسارع  $1.2 \text{ m/s}^2$ ، احسب كلاً مما يأتي:

1. سرعة الجسم النهائية بعد مرور 10 s من بدء الحركة.

2. الإزاحة التي يقطعها الجسم بعد مرور 4 s من بدء الحركة.

1. القيم المعلومة في السؤال، هي: ( $\Delta t = 10 \text{ s}$ )، ( $a = 1.2 \text{ m/s}^2$ )، ( $v_i = 0 \text{ m/s}$ )، القيمة المجهولة: ( $v_f = ?$ )

بناءً على المتغيرات المعطاة والمجهولة في السؤال، والمتغيرات المضمنة في المعادلات، نختار المعادلة المناسبة للحل.

$$v_f = v_i + a \Delta t$$

$$v_f = 0 + (1.2 \times 10) = 12 \text{ m/s}$$

## الحل

2. القيم المعلومة في السؤال، هي: ( $\Delta t = 4 \text{ s}$ )، ( $a = 1.2 \text{ m/s}^2$ )، ( $v_i = 0 \text{ m/s}$ )، القيمة المجهولة: ( $\Delta d = ?$ )

بناءً على المتغيرات المعطاة والمجهولة في السؤال، والمتغيرات المضمنة في المعادلات، نختار المعادلة المناسبة للحل.

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

$$\Delta d = (0 \times 4) + \left(\frac{1}{2} \times 1.2 \times 16\right) = 9.6 \text{ m}$$

يتحرك جسمٌ في خط مستقيم بتسارع ثابت  $1.5 \text{ m/s}^2$ . إذا علمت أن سرعته عند لحظة ما كانت تساوي  $3 \text{ m/s}$ . احسب السرعة النهائية للجسم بعد مرور فترة زمنية مقدارها 8 s.



## مثال 11

صَمَمَ مَجْمُوعَةً مِنَ الطَّلَابِ نَمُوذْجًا لسيارَةٍ كَهْرِبَائِيَّةٍ، وَفِي تَجْرِيَةٍ اخْتَبَرَ النَّمُوذْجَ، وَضَعُوا مُسْتَشْعِرِينَ لِقِيَاسِ السُّرْعَةِ تَفَصِّلُهُمَا مَسَافَةً  $25\text{ m}$ ، فَإِذَا كَانَتْ قِرَاءَةُ الْمُسْتَشْعِرِ الْأَوَّلِ  $3\text{ m/s}$ ، وَالثَّانِي  $7\text{ m/s}$ . احْسُبْ كُلَّاً مِنْ:

1. التَّسَارِعُ الَّذِي تَحْرُكَ بِهِ نَمُوذْجُ السِّيَارَةِ.
2. الْفَتْرَةُ الزَّمِنِيَّةُ الْمُسْتَغْرِقَةُ لِمَرْورِ نَمُوذْجِ السِّيَارَةِ بَيْنَ الْمُسْتَشْعِرِينَ.

1. الْكَمِيَّاتُ الْمَعْلُومَةُ فِي السُّؤَالِ، هِيَ: ( $\Delta d = 25\text{ m}$ )، ( $v_f = 7\text{ m/s}$ )، ( $v_i = 3\text{ m/s}$ ) . الْكَمِيَّةُ الْمَجْهُولَةُ: ( $a = ?$ )

بَنَاءً عَلَى الْمُتَغِيَّرَاتِ الْمُعْطَى وَالْمَجْهُولَةِ فِي السُّؤَالِ، نَخْتَارُ الْمُعَادَلَةَ الْمُنَاسِبَةَ لِلحلِّ.

$$v_f^2 = v_i^2 + 2 a \Delta d$$

$$49 = 9 + (2 \times a \times 25)$$

$$a = \frac{49 - 9}{50} = 0.8\text{ m/s}^2$$

2. الْكَمِيَّاتُ الْمَعْلُومَةُ فِي السُّؤَالِ، هِيَ: ( $a = 0.8\text{ m/s}^2$ )، ( $\Delta d = 25\text{ m}$ )، ( $v_f = 7\text{ m/s}$ )، ( $v_i = 3\text{ m/s}$ )

الحل

الْكَمِيَّةُ الْمَجْهُولَةُ: ( $\Delta t = ?$ )

بَنَاءً عَلَى الْمُتَغِيَّرَاتِ الْمُعْطَى وَالْمَجْهُولَةِ فِي السُّؤَالِ، نَخْتَارُ الْمُعَادَلَةَ الْمُنَاسِبَةَ لِلحلِّ.

$$v_f = v_i + a \Delta t$$

$$7 = 3 + (0.8 \times \Delta t)$$

$$\Delta t = \frac{7-3}{0.8} = 5\text{ s}$$

**سؤال:** استخدم المعادلة الثالثة من معادلات الحركة لحل الفرع الثاني من المثال (11)، وقارن النتيجة التي تحصل عليها مع الحل السابق.

تَحْرُكُ سِيَارَةٌ بِسُرْعَةٍ ثَابِتَةٍ مِقْدَارُهَا  $4\text{ m/s}$ ، اكتسبَتْ تَسَارِعًا مِقْدَارُهُ  $0.6\text{ m/s}^2$  بِنَفْسِ اِتْجَاهِ السُّرْعَةِ فَأَصْبَحَتْ سُرْعَهُ  $8\text{ m/s}$ . احْسُبْ الْفَتْرَةَ الزَّمِنِيَّةَ الَّتِي تَسَارَعَتْ خَلَالَهَا السِّيَارَةُ.





الشكل 36-2 : مثال 12 - حافلة.

تحرك حافلة بسرعة ثابتة مقدارها  $+18 \text{ m/s}$  باتجاه الشرق، كما في الشكل (36-2) إذا اكتسبت تسارعاً مقداره  $0.6 \text{ m/s}^2$  لمدة  $20 \text{ s}$ . فما مقدار سرعتها النهائية؟ وما اتجاهها؟

مثال 12

الكميات المعلومة في السؤال، هي:

$$(\Delta t = 20 \text{ s}), (a = -0.6 \text{ m/s}^2), (v_i = +18 \text{ m/s})$$

الكمية المجهولة: ( $v_f = ?$ )

بناءً على المتغيرات المعطاة والمجهولة في السؤال، نختار المعادلة المناسبة للحل.

$$v_f = v_i + a \Delta t$$

$$v_f = 18 + (-0.6 \times 20) = 18 - 12 = 6 \text{ m/s}$$

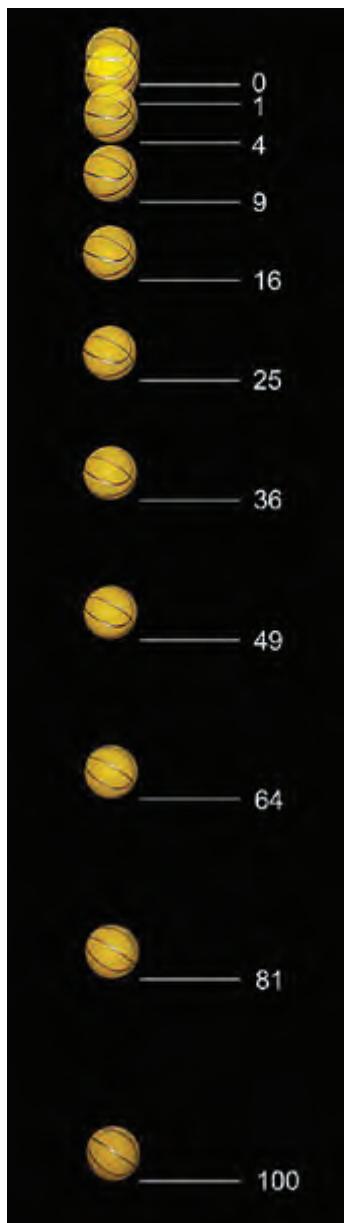
الحل

لاحظ أن اتجاه السرعة النهائية للحافلة يكون نحو الشرق أي إنه بنفس اتجاه السرعة الابتدائية، لكن اتجاه التسارع يكون نحو الغرب لأن إشارته سالبة، وهذا يعني أن الحافلة تحركت بتباطؤ.

## حركة السقوط الحرّ Free Fall Motion

تتأثر الأجسام جميعها بقوة جذب الأرض، وينتُج عن هذا التأثير ما يُعرف بالسقوط الحر free fall وهو حركة الأجسام تحت تأثير الجاذبية الأرضية فقط؛ وذلك بإهمال أي قوة أخرى مثل مقاومة الهواء. وتُعد حركة السقوط الحر من أشكال الحركة في بُعد واحد، وتكون هذه الحركة بتسارع ثابت يُسمى تسارع السقوط الحر free fall acceleration ، وذلك عندما يكون الجسم حرّاً ولا تؤثر فيه أي قوة أخرى.

إنَّ ما نلاحظُه في الحياة اليومية من حركة الأجسام عند سقوطها يختلف قليلاً عن حركة السقوط الحر، فنلاحظ أنَّ الأجسام الخفيفة أو التي تكون مساحة سطحها كبيرة تستغرق وقتاً أكبرَ عند سقوطها، بينما نجد أنَّ الأجسام الانسيابية والثقيلة وتلك التي تكون مساحة سطحها قليلة تصل إلى سطح الأرض بسرعة أكبر. وسبب ذلك هو مقاومة الهواء لحركة الأجسام. لكن، في حال إهمال مقاومة الهواء، فإنَّ الأجسام جميعها سوف تتحرك بتسارع واحدٍ، هو تسارع السقوط الحرّ، وتصل إلى الأرض معًا إذا أُسقطت من نفس الارتفاع في الوقت نفسه.



الشكل (37-2): السقوط الحر.

وسواءً كانت الأجسام تبدأ سقوطها من السكون، أو تُقذفُ رأسياً نحو الأسفل، أو نحو الأعلى، فإن حركتها جمِيعاً تُسمى سقوطاً حرّاً عند إهمال مقاومة الهواء لحركتها.

حركة السقوط الحر لل أجسام هي حركة مُنظمَةٌ يكونُ فيها التسارُ ثابتاً وتكونُ هذه الحركة في بُعدٍ واحدٍ، أي أن الجسم يتحرك في خطٍ مستقيم، لذا فإنه يمكن استخدام مُعادلات الحركة السابقة في وصف حركة السقوط الحر. ويُستخدم لمُثيل تسارع السقوط الحر الرمز ( $g$ )، والقيمة المُقبولة لتسارع السقوط الحر في وحدات النظام الدولي للقياس هي  $9.8 \text{ m/s}^2$  وهي القيمة التي توصل إلى العلماء، ويكون اتجاهه نحو الأسفل دائمًا؛ وهذا يعني أن الجسم الذي يسقط من السكون تُصبح سرعته بعد مرور ثانية واحدة  $9.8 \text{ m/s}$  وبعد ثانية تُصبح  $19.6 \text{ m/s}$  وبعد ثلث ثوانٍ تُصبح  $29.4 \text{ m/s}$  نحو الأسفل، وهكذا. لاحظ الشكل (37-2) الذي تَظهُرُ فيه مجموعة صور متتالية لكرة في حالة سقوط حر؛ حيث تكون الفترات الزمنية التي تفصل كل صورة عن الأخرى متساوية، إلا أن المسافات التي تقطعها الكرة لا تكون متساوية بسبب التسارع. وسوف نستخدم الإشارة السالبة للتعبير عن تسارع السقوط الحر في معادلات الحركة؛ لأننا سوف نختار الاتجاه نحو الأعلى أن يكون موجباً وفق نظام الإحداثيات ( $x, y$ )، بينما يكون الاتجاه نحو الأسفل سالباً. وسوف نطبق نظام الإشارات هذا على جميع الكميات المتجهة الأخرى في المعادلات؛ إذ إننا سنستخدم الإشارة السالبة للسرعة والإزاحة عندما يكون اتجاه أيٍ منها إلى الأسفل، والإشارة الموجبة عندما يكون اتجاه أيٍ منها إلى الأعلى.

لذلك سوف نكتب معادلات الحركة عند استخدامها في وصف حركة السقوط الحر على الصورة الآتية:

$$v_f = v_i - g \Delta t$$

$$\Delta d = v_i \Delta t - \frac{1}{2} g \Delta t^2$$

$$v_f^2 = v_i^2 - 2 g \Delta d$$

يمكن التوصل إلى القيمة المُقبولة لتسارع السقوط الحر، أو قيمة قريبة منها بإجراء النشاط التالي، الذي يتضمن إسقاط جسم من ارتفاع معلوم، ثم قياس الفترة الزمنية التي تلزم الجسم حتى ينتقل من موقع السقوط إلى الموقع النهائي للحركة، وبتطبيق معادلات الحركة يتم حساب التسارع. إلا إن مثل هذه التجارب لا تخلو من مصادر الخطأ، مع أن استخدام الأجهزة الحديثة مثل قارئ البيانات الرقمي يقلل منها.

## نشاط 6-2



## قياس تسارع السقوط الحرّ عملياً

قياس تسارع السقوط الحرّ عملياً	الهدف:
كرة مطاطية صغيرة ، بوابة ضوئية وعداد زماني ، شريط قياس متر.	الأدوات:
تَوَحِّي الحذر من سقوط الأجسام والأثقال.	الأمن والسلامة:

الخطوات: (عمل جماعي) :

- جَهَّزْ مكاناً مناسباً لِإسقاط الكرة وَضَعْ علامةً على ارتفاع 2 m وَثَبَّتَ البوابة الضوئية الأولى عند العلامة لِقياس زَمِن البداية ( $t_1$ ) بِحيث تكون القراءة متساوية للصفر أو قريبة جداً منه.
- ثَبَّتَ البوابة الثانية تحت البوابة الأولى على بُعد ( $\Delta d = 0.3 \text{ m}$ ) منها، كما في الجدول.
- أَسْقَطَ الكرة من العلامة بِحيث تمر أمام البوابتين فتكون قراءة البوابة الأولى ( $t_1 = 0$ ) ، وَسِجَّلَ قراءة البوابة الثانية ( $t$ ) في الجدول .
- كَرِّرَ الخطوتين (3,2) وفي كِلِّ مَرَّةٍ غَيْرِ موقع البوابة الثانية بمقدار 0.3 m لِلأسفل، وَسِجَّلَ قراءتها في الجدول.
- أَكْمَلَ الجدول بحساب الكميتيين ( $2\Delta d$ ), ( $t^2$ ) ومَثِيل العلاقة بينهما بيانياً، على أن تكون ( $t^2$ ) على محور ( $x$ ), وتكون ( $2\Delta d$ ) على محور ( $y$ ).
- استخرج مَيْلَ المُنْحَنَى الذي يُمثِّلُ مقدار تسارع السقوط الحرّ.

$2\Delta d \text{ (m)}$	$t^2 \text{ (s)}^2$	$t \text{ (s)}$	$t_1 \text{ (s)}$	$\Delta d \text{ (m)}$	المحاولة
			0	0.3	1
			0	0.6	2
			0	0.9	3
			0	1.2	4
			0	1.5	5
$g = \dots\dots\dots \text{ m/s}^2$ مَيْلَ المُنْحَنَى = القيمة المُقايسة لتسارع السقوط الحرّ :					
$g = 9.8 \text{ m/s}^2$ القيمة المقبولة لتسارع السقوط الحرّ :					

التحليل:

- ما مدى اقتراب القيمة المُقايسة لتسارع السقوط الحرّ من القيمة المقبولة؟ وما أسباب الاختلاف بين القيمتين؟
- قارن نتائج مجموعتك مع نتائج المجموعات الأخرى.
- ما أهمية أن تكون قراءة البوابة الأولى متساوية للصفر في كل المحاولات؟

لاحظتَ عند إجراء النشاطِ السابق اختلافَ ميل العلاقة لِمَدِنَةِ القييم عن القيمةِ المقبولةِ لِتسارعِ السقوطِ الحرِّ التي اتفقَ عليها العلماءُ؛ ويعودُ السببُ في هذا الإختلاف لِأخطاءِ القياسِ التي قد يكونُ مَصْدِرُها أدواتُ التجربةِ أو الطالبِ الذي نَفَّذَ خطواتِ التجربةِ.

## مثال 13

قُذِفتْ كُرْبةٌ نحوَ الأعلى بِسُرْعَةٍ ابْتِدَائِيَّةٍ  $s = 14.7 \text{ m/s}$  كما في الشكل (38-2)، فوصلتْ أقصى ارتفاعٍ لها ثم عادتْ إلى الأرضِ. إذا علمتَ أنَّ تَسَارُعَ السُّقُوطِ الحرِّ هو  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$  إحسب كلاً من:

1. زَمِنِ صُعودِ الكرةِ إلى أقصى ارتفاعٍ.
2. أقصى ارتفاعٍ وصلتْ إليه الكرةُ.

1. الْكَمِيَّاتُ الْمَعْلُومَةُ، هِيَ:  $(v_f = 0 \text{ m/s})$ ،  $(v_i = +14.7 \text{ m/s})$ ،  $(g = -9.8 \text{ m/s}^2)$ .  
الْكَمِيَّةُ الْمَجْهُولَةُ، هِيَ:  $(\Delta t = ?)$



الشكل 38-2 : مثال (13)

$$\begin{aligned} v_f &= v_i + g \Delta t \\ 0 &= 14.7 - (9.8 \times \Delta t) \\ \Delta t &= \frac{14.7}{9.8} = 1.5 \text{ s} \end{aligned}$$

الحل

2. الْكَمِيَّاتُ الْمَعْلُومَةُ، هِيَ:  $(\Delta t = 1.5 \text{ s})$ ،  $(g = -9.8 \text{ m/s}^2)$ ،  $(v_f = 0 \text{ m/s})$ ،  $(v_i = +14.7 \text{ m/s})$ .

الْكَمِيَّةُ الْمَجْهُولَةُ، هِيَ:  $(\Delta d = ?)$

$$\begin{aligned} v_f^2 &= v_i^2 - 2 g \Delta d \\ 0^2 &= 14.7^2 - 2 \times (9.8) \Delta d \\ 0 &= 216.1 - 19.6 \Delta d \end{aligned}$$

$$\Delta d = \frac{216.1}{19.6} = 11 \text{ m}$$

لَاحْظُ أَنَّ الإِزَاحَةَ مُوجَبَةٌ، أَيْ إِنَّهَا نَحْوَ الْأَعْلَى.

## مثال 14

أُسقِطَت كرّةٌ من السكون، كما في الشكل (2-39)، فوصلت الأرضَ بعد  $1.2 \text{ s}$ . احسب سرعةَ الكرةِ النهائيةِ قبل ملامستها سطح الأرضِ مباشرةً؛ إذا علمت أن تسارعَ السقوطِ الحرّ، هو  $9.8 \text{ m/s}^2$ .

الكمياتُ المَعْلُومَةُ، هي: ( $t = 1.2 \text{ s}$ )، ( $g = -9.8 \text{ m/s}^2$ )، ( $v_i = 0 \text{ m/s}$ )

الكميَّةُ المَجْهُولَةُ، هي: ( $v_f = ?$ )

$$v_i = 0 \text{ m/s}$$

$$v_f = v_i + g \Delta t$$

$$v_f = 0 - (9.8 \times 1.2) = -11.76 \text{ m/s}$$



الحل

الإشارةُ السالبةُ لسرعَةِ النهايةِ تَعْنِي أن اتجاهَها نحو الأسفل.



الشكل 2-39 : مثال (14)

أُسقِطَ جسمٌ من طائرةٍ هليكوبتر من حالةِ السكونِ، فوصلَ الأرضَ بعد  $3.17 \text{ s}$  من إسقاطِه. بإهمال مقاومةِ الهواءِ احسب كلاً من:

1. ارتفاعَ الطائرةِ لحظةً إسقاطِ الجسمِ.
2. سرعةَ الجسمِ لحظةً وصولِه سطحَ الأرضِ.



اخبر نفسك

## مراجعة الدرس الثاني

### الأفكار الرئيسية:

- الحركة في بعدين واحد هي حركة الجسم في خط مستقيم بسرعة ثابتة أو متغيرة.
- الموقع هو كمية متجهة يحد كل من مقدارها واتجاهها بالنسبة إلى نقطة إسناد محددة.
- المسافة هي طول المسار الفعلي الذي يسلكه الجسم المتحرك بين موقعين، وهي كمية قياسية.
- الإزاحة هي الفرق بين متجهي موقع الجسم الابتدائي والنهائي، ولا تعتمد الإزاحة على طول المسار الذي يسلكه الجسم أو شكل هذا المسار؛ فهي تساوي أقصى مسافة بين الموقعين.
- السرعة القياسية هي المسافة التي يقطعها الجسم في وحدة الزمن، وتتساوى ناتج قسمة المسافة الكلية المقطوعة على الفترة الزمنية التي حدثت خلالها الحركة.
- السرعة المتجهة هي معدل تغير الإزاحة بالنسبة للزمن، وتتساوى ناتج قسمة الإزاحة على الزمن.
- السرعة اللحظية هي معدل تغير الإزاحة بالنسبة للزمن. عندما تكون الفترة الزمنية صغيرة.
- الإزاحة تساوي المساحة المحصورة تحت منحني (السرعة المتجهة - الزمن).
- التسارع هو معدل تغير السرعة المتجهة بالنسبة للزمن. وهو كمية فيزيائية متجهة.
- تستخدم معادلات الحركة في وصف الحركة المنتظمة في خط مستقيم وبتسارع ثابت.
- الحركة المنتظمة هي الحركة بتتسارع ثابت، أي إن السرعة تتغير بشكل منتظم.
- السقوط الحر هو حركة الأجسام تحت تأثير الجاذبية الأرضية فقط؛ وذلك بإهمال مقاومة الهواء.
- تتسارع السقوط الحر هو تتسارع الأجسام التي تسقط سقطا حررا في مجال الجاذبية الأرضية.
- أهمية منحني الإزاحة - الزمن، إيجاد الإزاحة عند آية لحظة، وحساب السرعة المتجهة من ميل المنحني.
- أهمية منحني السرعة المتجهة - الزمن، إيجاد السرعة المتجهة عند آية لحظة، وحساب التسارع من ميل المنحني، وحساب الإزاحة من المساحة تحت المنحني.

## تقدير الدرس الثاني



1. اختر الإجابة الصحيحة لكلٍ مما يأتي:

1. ما المقصود بطول المسار الحقيقي الذي يتحرك عليه جسمٌ من موقع البداية حتى النهاية؟

- a. المسافة.
- b. الإزاحة.
- c. السرعة القياسية.
- d. السرعة المتجهة.

2. أيٌّ من الكميات الفيزيائية الآتية تحدُّ موقع الجسم بالنسبة لنقطة الإسناد؟

- a. التسارع.
- b. السرعة.
- c. المسافة.
- d. الإزاحة.

3. ما مقدار تسارع كرةٍ عند رميها إلى الأعلى، مع إهمال مقاومة الهواء لحركتها؟

- a. (صفر).
- b.  $(1 \text{ m/s}^2)$ .
- c.  $(6.2 \text{ m/s}^2)$ .
- d.  $(9.8 \text{ m/s}^2)$ .

4. ماذا نقصد بالحركة المنتظمة في بُعد واحد؟

- a. الحركة بسرعة ثابتة في خطٍ منحنٍ.
- b. الحركة بتَسَارِع ثابتٍ في خطٍ مستقيم.
- c. الحركة بسرعة متغيرة في خط منحنٍ.
- d. الحركة بتَسَارِع متغير في خط مستقيم.

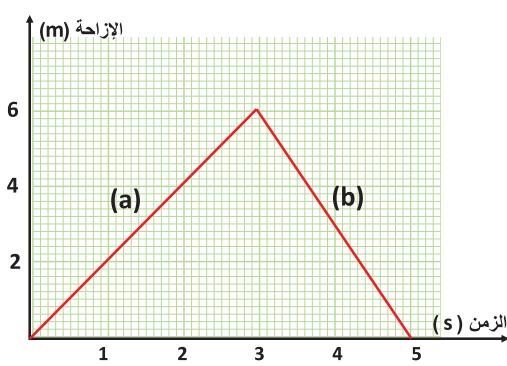
5. ماذا يمثل ميل المماس لمنحنى السرعة - الزمن؟

- a. التسارع.
- b. السرعة.
- c. المسافة.
- d. الإزاحة.

6. مُعتمداً على منحنى الإزاحة - الزمن في الشكل المجاور، ما مقدار السرعة المتجهة المتوسطة في المرحلة (a) من الحركة؟

- (6 m/s) .a
- (5 m/s) .b
- (3 m/s) .c
- (2 m/s) .d

2. عَرِفْ كُلَّاً مما يأتي: المسافة، الإزاحة، السرعة القياسية، السرعة المتجهة، السرعة المتجهة اللحظية.

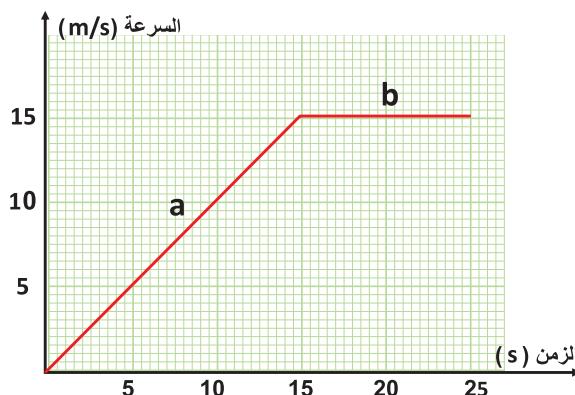


## تابع تقويم الدرس الثاني

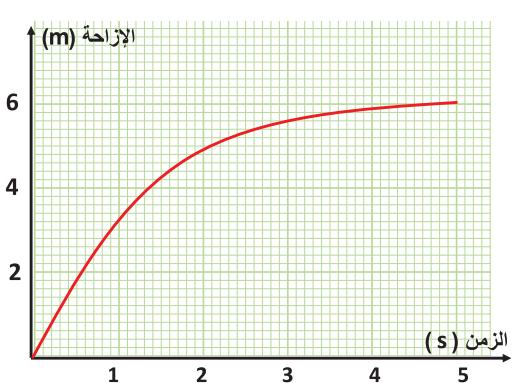
3. وَضِّحْ مَا تُوصِّفُ حركة الجسم بأنها حركة سقوط حري؟ وكم يكون مقدار تسارعه في هذه الحالة؟
4. تحرّك جسم على محيط دائرة نصف قطرها  $14\text{ m}$  احسب كلاً من المسافة التي يقطعها، والإزاحة التي تحدث له في الحالتين الآتتين: a) إذا دار نصف دورة. b) إذا دار دورة كاملة.
5. رُصِدَتْ حركة عربة ميكانيكية في خط مستقيم داخل المختبر، ثم سُجِّلتْ نتائج قياس كلٍ من الإزاحة والزمن في الجدول الآتي:

الزمن (s)	الإزاحة (m)
1.0	0.8
0.8	0.6
0.6	0.4
0.4	0.2
0.2	
	2.5
	2.0
	1.5
	1.0
	0.5

- أرسم العلاقة البيانية بين الزمن والإزاحة، ثم جد مقدار السرعة المتجهة المتوسطة خلال هذه الحركة.
6. يسحب صبيًّا صندوقاً على سطح الأرض باتجاه ثابت، فإذا بدأ الحركة من السكون، وأصبحت سرعة الصندوق  $1.4\text{ m/s}$  بعد مرور  $(4\text{ s})$  من بداية الحركة. احسب التسارع الذي اكتسبه الصندوق.



7. في الرسم المجاور، منحني (السرعة - الزمن) لسيارة تتحرّك في خط مستقيم. معتمدًا على الرسم أجب بما يأتي:
- a. جد سرعة السيارة عند اللحظتين:  $(t=20\text{ s}), (t=10\text{ s})$ .
- b. جد تسارع السيارة خلال المرحلة الزمنية الأولى (a)
8. يتحرك قطار بسرعة  $36\text{ m/s}$ ، ثم استخدم الكوابح مدة زمانية مقدارها  $12\text{ s}$  حتى أصبحت سرعته  $6\text{ m/s}$ . احسب التسارع الذي اكتسبه القطار خلال هذه المدة الزمنية.
9. رُصِدَتْ حركة دراجة عند اللحظة الزمنية  $(t=24\text{ s})$ ، وكانت سرعتها  $5\text{ m/s}$ ، ثم رُصِدَتْ مرة أخرى عند اللحظة الزمنية  $(t=32\text{ s})$ ، وكانت سرعتها  $17\text{ m/s}$ . احسب الإزاحة التي حدثت للدراجة خلال تلك المدة الزمنية.



10. معتمدًا على منحني الإزاحة - الزمن المجاور، أوجد:
- a. السرعة المتجهة المتوسطة خلال الفترة الزمنية  $(\Delta t = 5\text{ s})$ .
- b. السرعة المتجهة اللحظية عند اللحظة  $(t = 2\text{ s})$ .
11. قُذفت كرة من سطح الأرض نحو الأعلى، فوصلت أقصى ارتفاع لها  $6.4\text{ m}$ . إذا علمت أن تسارع السقوط الحر يُساوي  $9.8\text{ m/s}^2$ . احسب السرعة الابتدائية التي قُذفت بها الكرة.

## تقويم الوحدة الثانية



1. اختر الإجابة الصحيحة في كلٍ مما يأتي:

1. أيُّ الكميات الفيزيائية الآتية كميةٌ قياسيةٌ؟

- a. الإزاحة.
- b. القوة.
- c. التسارع.
- d. الطاقة.

2. ركل لاعب كرة القدم بزاوية  $50^{\circ}$  فوق محور (x) السالب بسرعة  $20 \text{ m/s}$ . ما مقدار المركبة الأفقية لسرعة الكرة بوحدة (m/s)؟

- $20 \sin 130^{\circ}$  .a
- $20 \cos 130^{\circ}$  .b
- $20 \sin 50^{\circ}$  .c
- $20 \cos 50^{\circ}$  .d

3. في أيِّ من الحالات الآتية تتساوى إزاحة الجسم مع المسافة التي يقطعها؟

- a. جسمٌ تحرَّك على مُحيط دائرة بمقدار نصف دورة.
- b. جسمٌ تحرَّك على مُحيط دائرة بمقدار دورة كاملة.
- c. جسمٌ تحرَّك في خطٍ مستقيم إلى الشرق مسافة (2d) ثم إلى الغرب مسافة (d).
- d. جسمٌ تحرَّك في خطٍ مستقيم إلى الشرق مسافة (d).

4. إذا شكّلت أربعة متجهات متساوية في المقدار مقدار كلٍ منها A شكلاً رباعيًا مغلقًا، عند جمعها بيانياً. ما مقدار مُحصلة تلك المتجهات؟

- $4A$  .a
- $2A$  .b
- $A$  .c
- $0$  .d

5. قوتان متعامدان محصلتهما  $N 10$  ومقدار القوة الأولى  $N 6$  ، ما مقدار القوة الثانية؟

- $16 \text{ N}$  .a
- $4 \text{ N}$  .b
- $8 \text{ N}$  .c
- $2 \text{ N}$  .d

## تابع تقويم الوحدة الثانية

6. قارب سرعته  $15 \text{ m/s}$  باتجاه الشرق في المياه الساكنة، ما مقدار واتجاه محصلة سرعة القارب إذا تحرك في عكس اتجاه مجرى نهر سرعة مياهه  $10 \text{ m/s}$  باتجاه الغرب.

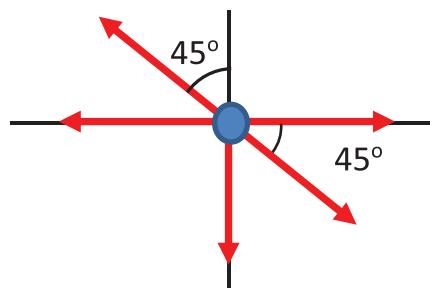
.a.  $25 \text{ m/s}$  باتجاه الغرب.

.b.  $25 \text{ m/s}$  باتجاه الشرق.

.c.  $5 \text{ m/s}$  باتجاه الغرب.

.d.  $5 \text{ m/s}$  باتجاه الشرق.

7. تُؤثر في جسم خمس قوى متساوية في المقدار وفي اتجاهات مختلفة كما في الشكل، في أي اتجاه يتحرك الجسم؟



a. الشرق.

b. الجنوب.

c. الغرب،

d. الجنوب الشرقي.

8. كيف توصف سرعة سيارة عندما تقطع إزاحات متساوية في فترات زمنية متساوية؟

a. سرعة متزايدة.

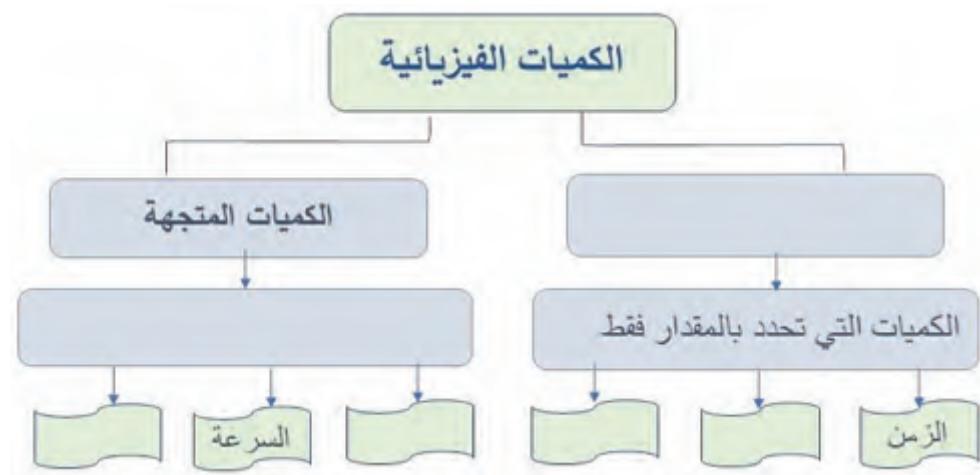
b. سرعة متناقصة.

c. سرعة ثابتة.

d. سرعة متغيرة.

2. أكمل الخريطة المفاهيمية الآتية:

A  
B

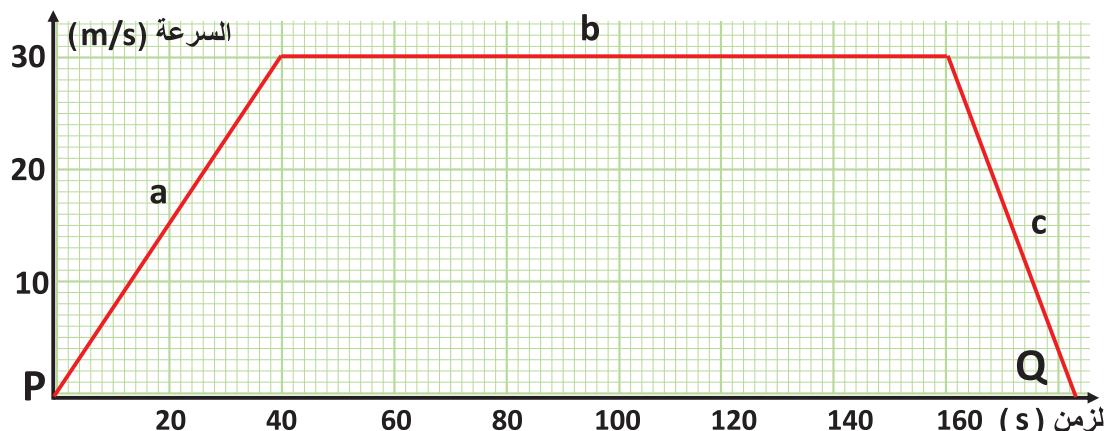


## تابع تقويم الوحدة الثانية

3. وَضْعُ كِيفٍ تُؤثِّرُ مُقاومَةُ الهواءِ فِي تَسَارُعِ الْجَسَمِ الْمُتَحْرِكِ رَأْسِيًّا فِي مَجَالِ الْجَاذِبَيَّةِ الْأَرْضِيَّةِ، فِي الْحَالَتَيْنِ الْآتِيَتَيْنِ: عَنْدَ قَذْفِهِ نَحْوَ الْأَعْلَى، عَنْدَ سُقُوطِهِ نَحْوَ الْأَسْفَلِ مِنَ السُّكُونِ.

4. مَثَلٌ بِيَانِيًّا مُتَجَاهَةُ التَّسَارُعِ  $a$  لِسَيَارَةٍ تَحْرُكُ بِتَسَارُعٍ ثَابِتٍ مُقَدَّارُهُ  $30 \text{ m/s}^2$  باتِّجَاهٍ يَصْنَعُ زَوْيَّةً  $75^\circ$  شَمَالَ الْغَربِ.

5. انْطَلَقَ قَطَارٌ مِنْ حَالَةِ السُّكُونِ مِنَ الْمَحَطةِ (P)، وَوَاصَّلَ حَرْكَتَهُ حَتَّى تَوَقَّفَ فِي الْمَحَطةِ (Q). مُعْتمِدًا عَلَى الشَّكْلِ الْمُجَاوِرِ الَّذِي يُوضِّحُ مُنْحَنَّى (السُّرْعَةُ - الزَّمْنُ) لِحَرْكَةِ القَطَارِ.. احْسِبْ كَلَّا مِنْ:



a. تَسَارُعُ القَطَارِ فِي الْمَرْحَلَةِ الْزَّمْنِيَّةِ (a).

b. تَسَارُعُ القَطَارِ فِي الْمَرْحَلَةِ الْزَّمْنِيَّةِ (c).

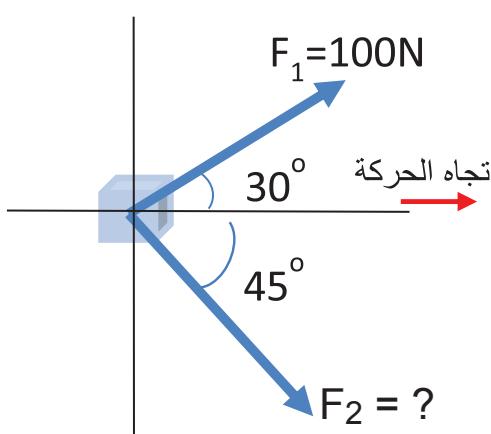
c. الإِزَاحَةُ الْكُلِّيَّةُ الَّتِي قَطَعَهَا القَطَارُ.

d. الزَّمْنُ الَّذِي تَحْرُكَ فِيهِ القَطَارُ بِسُرْعَةٍ ثَابِتَةٍ.

6. أَنَّرَتْ قُوَّاتٍ  $F_1$  ،  $F_2$  فِي جَسَمٍ حُرِّ الْحَرْكَةِ كَمَا فِي الشَّكْلِ الْمُجَاوِرِ؛ فَتَحْرُكَ الْجَسَمُ باتِّجَاهِ مَحَورِ (x) الْمُوْجِبِ. أَوْجِدْ:

a. مُقَدَّارَ الْقُوَّةِ  $F_2$

b. مُقَدَّارَ مُحَصَّلَةِ الْقَوَافِلِ.

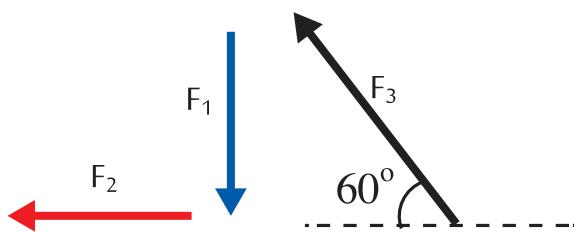


## تابع تقويم الوحدة الثانية

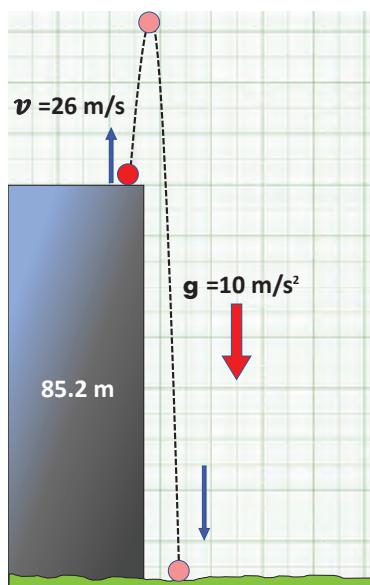
7. أكمل بيانات الجدول الآتي المتعلقة بتحليل المتجهات:

المركبة العمودية	المركبة الأفقية	اتجاه المتجه (الزاوية $\theta$ بين المتجه ومحور $x$ الموجب)	مقدار المتجه
		$0^\circ$	50 N
-8 m/s			8 m/s
	-50 m	$240^\circ$	
7 m/s <sup>2</sup>	7 m/s <sup>2</sup>		

8. أوجد مقدار واتجاه محصلة القوى الممثلة في الشكل بيانياً.



9. تنطلق طائرة ركاب على المدرج من السكون، فترتفع عن الأرض بعد مرور زمن مقداره 35 s؛ حيث تصبح سرعتها عند إقلاعها 252 km/s. أجب بما يأتي:



a. ما مقدار التسارع الذي تكتسبه الطائرة على أرض المدرج؟

b. ما مقدار أقل مسافة من المدرج تحتاجها الطائرة للإقلاع؟

10. قُذفت كرة من سطح بناية، كما في الشكل إلى الأعلى بسرعة 26 m/s إذا علمت أن ارتفاع البناء عن سطح الأرض يساوي 85.2 m، وبافتراض أنَّ تسارع السقوط الحر هو  $10 \text{ m/s}^2$ . فما مقدار الزمن الكلي اللازم لتحليق الكرة من لحظة قذفها للأعلى حتى تصل إلى سطح الأرض؟

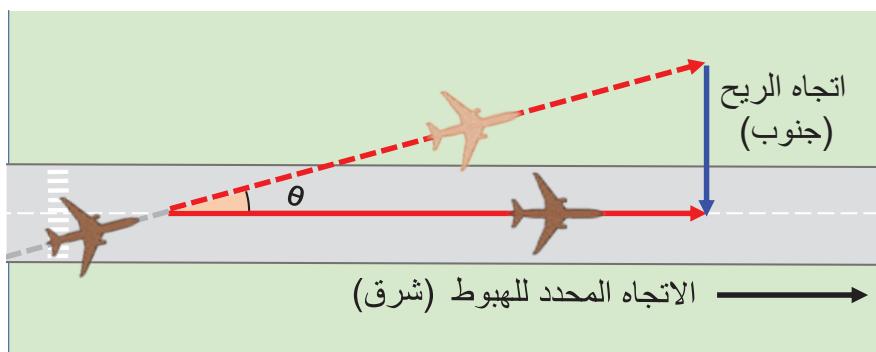
## تابع تقويم الوحدة الثانية

11. قُوتانِ مقدارُ كُلِّ مِنْهَا  $F$ ، ومقدارُ مُحصَّلٍ هما يُساوي  $F$ . أجبُ عما يأتي:

a. إحسب مقدار الزاوية بين القوتين.

b. حدد اتجاه المُحصَّلة.

12. طائرةٌ تُوشكُ على الهبوط على مدرج باتجاهِ الشرق، كما في الشكل. لكنْ تُؤثِّرُ في الطائرة رياحٌ باتجاهِ الجنوب سُرعتُها  $74 \text{ km/h}$ ; لذلك طلبَ برج المطارِ من قائِد الطائرة الانحرافَ نحو اليسارِ بزاوية  $\theta$ ، لضمانِ هبوطِ الطائرة على المدرجِ بالاتجاهِ الصحيحِ بسرعةِ  $258 \text{ km/h}$ ، تحت تأثيرِ الرياحِ. ما مقدارُ الزاوية  $\theta$  التي تنحرفُ بها الطائرةُ شمالَ الشرق؟



13. أجريت تجربتان مُتماثلتان لقياسِ تسارعِ السقوطِ الحرِّ على سطحيِ الأرضِ والقمرِ، ثم أجريت عن بُعدِ تجربةٌ مُماثلةٌ على سطحِ كوكبِ المريخِ، وسُجلت النتائجُ في الجدولِ التالي، مُعتمداً على بياناتِ الجدولِ، وبإهمالِ مقاومةِ الهواءِ للأرضِ والمريخِ. إحسبِ تسارعِ السقوطِ الحرِّ على الأجرامِ السماويةِ الثلاثةِ.

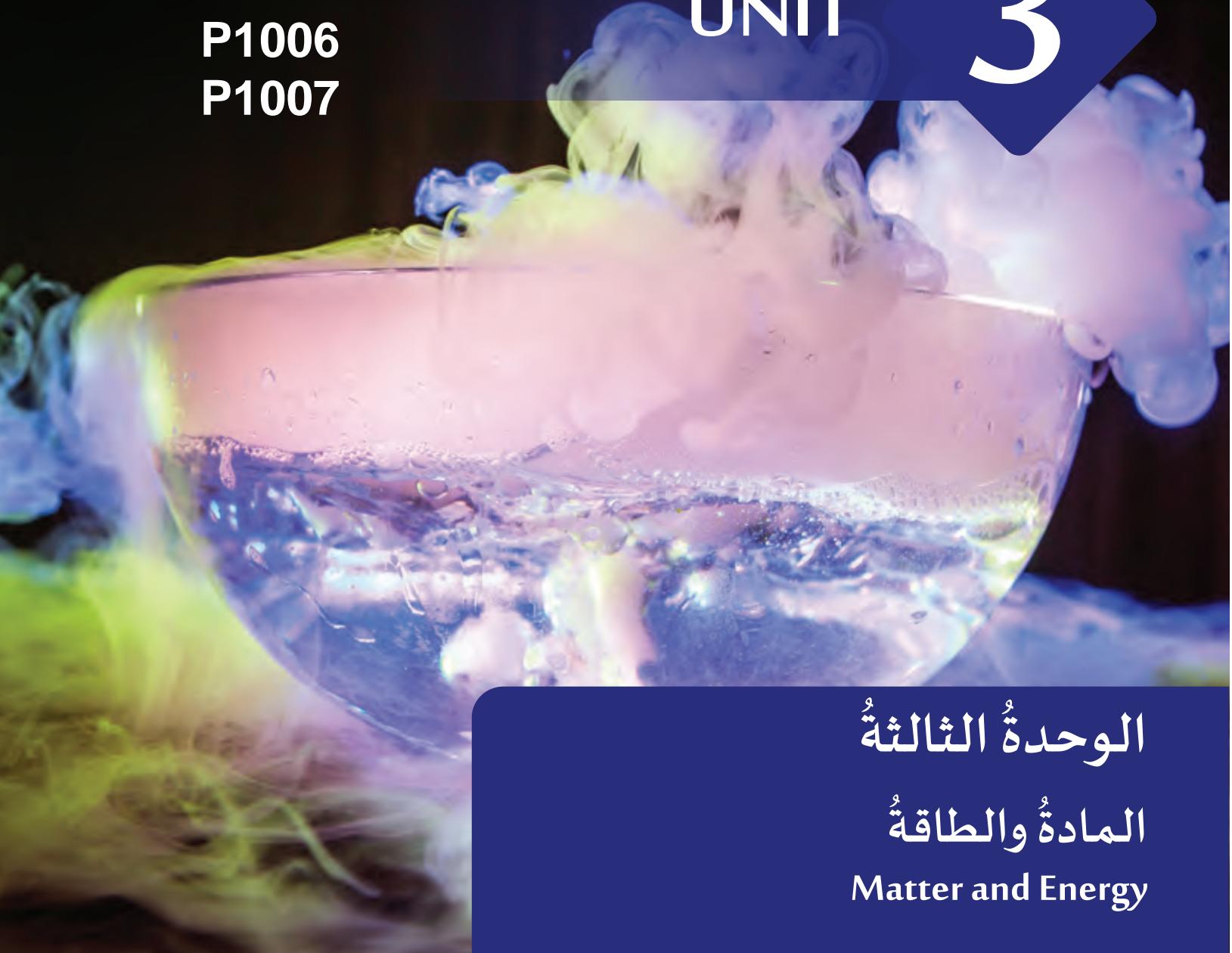
الجسم السماوي	السرعة الإبتدائية (m/s)	الارتفاع (m)	مربع زمن السقوط ( $s^2$ )
كوكبُ الأرضِ	0	5.88	1.2
كوكبُ المريخِ	0	5.88	3.16
القمرُ	0	5.88	7.22



P1005  
P1006  
P1007

UNIT

3



## الوحدةُ الثالثةُ

## المادةُ والطاقةُ

Matter and Energy

محتويات الوحدة:

الدرس الأول:

1-3 طبيعةُ المادةِ ونمودجُ الحركةِ الجزيئيةِ

Nature of Matter and Kinetic Particle Model

الدرس الثاني:

2-3 الطاقةُ الحراريةُ ودرجةُ الحرارة

Thermal Energy and Temperature

الدرس الثالثُ:

3-3 الحرارةُ النوعيةُ والحرارةُ الكامنةُ

Specific Heat and Latent Heat

# طبيعة المادة ونموذج الحركة الجزيئية

## Nature of Matter and Kinetic Particle Model

P1005



تشكل الملاحة البحرية أحد أهم مجالات النقل في العالم، فلا تكاد تخلو البحار والمحيطات من السفن. وقد تتعرض بعض هذه السفن إلى أخطار مختلفة، فمن الحوادث التي تعرضت لها سفن كثيرة، اصطدامها بالجبل الجليدي التي تنتشر في المياه الباردة القريبة من قطب الأرض؛ إذ يرى قبطان السفينة الكتلة الجليدية تطفو فوق الماء، وقد تبدو صغيرة الحجم، لكن الجزء المغمور منها يكون أكبر مما يبدو بكثير؛ مما يشكّل خطورة كبيرة على السفن.

لماذا يطفو الجليد على سطح الماء بينما تغوص المواد الصلبة في مصبهما؟

### المفردات الرئيسية

Kinetic particle model	نموذج الحركة الجزيئية
States of Matter	حالات المادة
Solid state	الحالة الصلبة
Liquid state	الحالة السائلة
Gaseous state	الحالة الغازية
Pressure	الضغط
Freezing	التجمد
Melting	الانصهار
Boiling	الغليان
Evaporation	التبخر
Condensation	التكاثف
Crystallization	التبلور
Brownian Motion	الحركة البراونية
Thermal expansion	التمدد الحراري
Anomalous expansion of water	التمدد الشاذ للماء
Sublimation	التسامي
Deposition	الترسيب

### التَّجَارِبُ وَالْأَنْشِطَةُ

- 1-3 الاستدلال على حركة جزيئات الماء باستخدام الصبغة.
- 2-3 مشاهدة مقاطع فيديو توضح عملية التسامي.
- 3-3 التمدد الشاذ للماء والجبال الجليدية.
- 4-3 مشاهدة الحركة البراونية وعمل نموذج لها.

### مُخْرَجَاتُ التَّعْلِمِ

- يُتوقع في نهاية الدرس أن يكون الطالب قادرًا على أن:
  - يصف نموذج الحركة الجزيئية للمواد الصلبة والسائلة والغازية، ويربط الفرق في تركيبها وكثافتها بتباعد الجزيئات فيها وترتيبها وحركتها.
  - يوضح المقصود بكلٍّ من ضغط الماء والتجمد والانصهار والغليان والتبخر والتبلور والحركة البراونية باستخدام نموذج الحركة الجزيئية.
  - يوضح ظاهرة التمدد الحراري للمواد الصلبة والسائلة باستخدام نموذج الحركة الجزيئية، ويذكر بعض التطبيقات، مثل الفجوات بين قطبيان سكة الحديد.
  - يوضح كيف يؤدي التمدد الشاذ للماء إلى تشكيل الجليد على سطح الماء وليس في القاع، ويتعارف أهمية ذلك لبقاء الكائنات الحية المائية.

**نشاط 1-3****الاستدلال على حركة جزيئات الماء باستخدام الصبغة****الأهداف:**

استقصاء حركة جزيئات المادة وطاقتها الحركية والتصادمات فيما بينها.

**الأدوات:**

- كأسان زجاجيتان، (كمية من الماء الساخن وأخرى من الماء البارد).
- مقياس حرارة (ثيرموميتر).
- صبغة طعام.
- قطارة بلاستيكية.

**الأمن والسلامة:****الخطوات:**

**يُوزع الطلبة ضمن مجموعات، وتُوزع المهام على أعضاء كل مجموعة.**

1. ضع الكأسين متجاورتين على الطاولة، ثم املأ إحداهما بالماء البارد والأخرى بالماء الساخن (من  $50^{\circ}\text{C}$  إلى  $60^{\circ}\text{C}$ ).

2. خذ قليلاً من صبغة الطعام وضعي ثلاثة قطرات منها في الماء البارد. ثم راقب انتشار اللون في الماء.

3. خذ قليلاً من صبغة الطعام وضعي ثلاثة قطرات منها في الماء الساخن. ثم راقب انتشار اللون في الماء.

4. قارن بين طريقة انتشار الصبغة في كلٍ من الماء البارد والماء الساخن.

صفة الماء	وصف انتشار اللون	التفسير
بارد		
ساخن		

**التحليل:**

1. هل كان انتشار الصبغة في الماء متماثلاً في الكأسين؟ بين الاختلاف إن وجد.

2. قارن ما شاهدته في التجربة بعملية إذابة السكر في الماء البارد والماء الساخن.

3. قارن نتائج مجموعتك مع نتائج المجموعات الأخرى.

**نشاط اختياري:**

يمكن إجراء نشاط لدراسة أثر درجة حرارة الماء على سرعة انتشار الصبغة الملونة فيه عن طريق استخدام عدد من الكؤوس المختلفة في درجات حرارتها.

## حالات المادة States of Matter

تُوجَدُ المادة في الطبيعة في حالاتٍ ثلاثةٍ: الصلبةُ والسائلةُ والغازيةُ، وقد درستَ في صفوفِ سابقةٍ صفاتِ المادة في كلِّ حالةٍ منها، ودرستَ أنَّ المادةَ تَتَحَوَّلُ من حالةٍ إلى أخرى عند اكتسابِها أو فقدِها للطاقةِ الحراريةِ. ويُمْكِنُ التَّميِيزُ بين هذه الحالاتِ عن طريقِ الخصائصِ الآتيةِ:

**الحالةُ الصلبةُ:** الحالةُ التي يكونُ فيها حجمُ المادةِ وشكلُها ثابتينٍ وتكونُ المادةُ أكثرَ تماسُكًا وأكبرَ كثافةً منها في الحالاتِ الأخرى، والمادةُ الصلبةُ لا تقبلُ الإنضغاطِ.

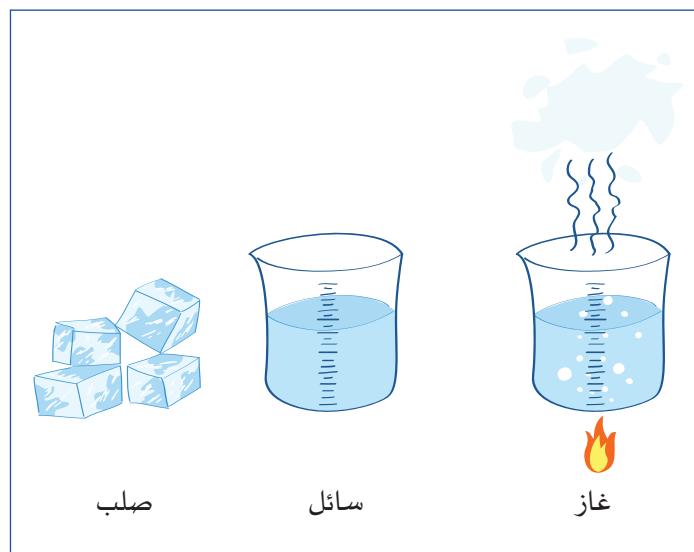
**الحالةُ السائلةُ:** الحالةُ التي يكونُ فيها حجمُ المادةِ ثابتاً وشكلُها غيرُ ثابتٍ، لأنَّها تكونُ قليلةَ التَّماسُكِ، والسائلُ يُغَيِّرُ شكلَه بحسبِ شكلِ الإناءِ الذي يُوضَعُ فيه، وكثافةُ المادةِ في الحالةِ السائلةِ تكونُ أقلَّ منها في الحالةِ الصلبةِ. كما تختلفُ السوائلُ عن بعضِها في لزوجتها؛ فنجدُ أنَّ جريانِ السائلِ وحركةَ الأجسامِ داخلَه يعتمدان على لزوجتهِ.

**الحالةُ الغازيةُ:** الحالةُ التي يكونُ فيها حجمُ المادةِ وشكلُها غيرُ ثابتينٍ، فالغازُ يأخذُ حجمَ الإناءِ الذي يُوضَعُ فيه ويأخذُ شكلَه، وتكونُ كثافةُ المادةِ في الحالةِ الغازيةِ أقلَّ من كثافةِ المادةِ في الحالتينِ السائلةِ والصلبةِ، وللغاز قدرةٌ كبيرةٌ على الانتشارِ. وعند احتواءِ الغازِ داخلَ إناءٍ فإنه يُؤثِّرُ في جدرانِ الإناءِ بضغطٍ.

وكلُّ مادةٍ تُوجَدُ في الطبيعةِ في إحدى الحالاتِ الثلاثِ، وقد تُوجَدُ المادةُ الواحدةُ في أكثرِ من حالةٍ، ومثالُ ذلك الماءُ الذي يُوجَدُ على شكلِ جليدٍ صلبٍ، وماءٍ سائلٍ وبخارٍ ماءٍ. لاحظِ الشكلَ (3-1). فالماءُ هو المادَّةُ الوحيدةُ الذي نُشاهدهُ في حياتنا اليوميةِ في حالاتهِ الثلاثِ.

لاحظتَ في النشاطِ السابقِ الاختلافَ بين عمليةِ انتشارِ الصبغةِ في الماءِ الدافئِ عنها في الماءِ الباردِ، وتوجد ملاحظاتٌ أخرى كثيرةٌ تتعلَّقُ بحالاتِ المادةِ وتحوُّلاتها من حالةٍ إلى أخرى، لم يتمكِنَ العلماءُ سابقًا من تفسيرِها

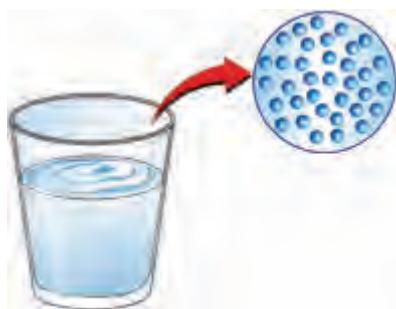
وذلكَ لعدمِ معرفتهمِ بمكوِّناتِ المادةِ وكيفيةِ سُلوكِها في ذلكِ الحينِ. وفي سنةِ 1857 تَمَكَّنَ عالمُ الفيزياءِ الألمانيُّ رادولفُ كلوزياس Rudolf Clausius من وضعِ نموذجٍ افتراضيٍّ يصفُ تركيبَ المادةِ وسلوكَها، مُعتمداً على ملاحظاتهِ التجريبيةِ. وقد عُرِفَ هذا النموذجُ باسمِ نموذجِ الحركةِ الجُزيئيةِ.



الشكل 3-1: يوجدُ الماءُ في الطبيعةِ في حالاتٍ ثلاثةٍ: صلبةُ وسائلةُ وغازيةُ.

## نَمْوَذْجُ الْحَرْكَةِ الْجُزِيَّيَّةِ Kinetic Particle Model

بُنيت افتراضات العالم رادولف كلوسياس في ذلك الوقت على صفات الدقائق المادية الصغيرة التي تتكون منها المادة، ولم يكن وقتها قد عُرف الجُزِيَّة أو الذرة، لكن بعد تقدُّم المعرفة العلمية، أصبحت هذه الدقائق تُوصَفُ بأنها جُزِيَّاتٌ أو ذراتٌ أو أيوناتٌ تتكونُ منها المادة. وأصبحت هذه الفرضيات تُعرَفُ باسم نموذج الحركة الجزيئية للمادة، وهو يتكون من الفرضيات الرئيسية الآتية:



الشكل 3-2: المادة تتكون من دقائق.

- تتكون المادة الواحدة من دقائق (جزيئات أو ذرات)، تفصل بينها مسافاتٌ محددة. لاحظ الشكل (3-2).
- المسافات التي تفصل بين دقائق المادة تعتمد على حالة المادة، فهي مُتقاربة في المواد الصلبة، ويزداد متوسط هذه المسافات عندما تتحول إلى الحالة السائلة، ثم الغازية.
- دقائق المادة الواحدة مُتماثلة، وتختلف كُتل هذه الدقائق من مادة لأخرى، لاحظ الشكل (3-3).
- دقائق المادة في حالة حركة مستمرة، وعشوائية مستقلة عن بعضها، فكل واحدة منها تتحرك بشكل لا تأثر فيه بحركة الدقائق الأخرى.
- تمتلك دقائق المادة طاقةً حركيةً يعتمد مقدارها على درجة حرارة المادة، ويحدد هذا المقدار الحالة التي تكون عليها المادة (سائلة، أو صلبة، أو غازية).
- تؤثر بين دقائق المادة قوى ترابط يتغير مقدارها بتغيير الطاقة الحركية لها، فكلما زادت الطاقة الحركية للدقائق ضعفت قوى الترابط بينها.



الشكل 3-3: تختلف دقائق المادة في ترتيبها وحركتها والمسافات بينها باختلاف حالة المادة.

لقد ساعدَ نموذجُ الحركةِ الجزيئيةِ على فهمِ الكثيرِ من الملاحظاتِ والظواهرِ المتعلقةِ بتركيبِ المادةِ وحالاتها؛ إذ أمكنَ تفسيرُ أيِّ من حالاتِ المادةِ أو التحولُ من حالةٍ إلى أخرى عن طريقِ وصفِ ما يحدثُ لدقائقِ المادةِ، فكلُّ ما يحدثُ من تغيراتٍ على هذهِ الدقائقِ وترتيبِها وقوىِ الترابطِ بينها ومسافاتِ التي تفصلُها وطاقتها الحركيةِ يُؤدي إلى تغيراتٍ في صفاتِ المادةِ الظاهرةِ.

وَضَعْ كيفَ تَتَغَيَّرُ الطاقةُ الحركيةُ لجزيئاتِ المادةِ وَقُوى التَّرَابُطِ بَيْنَهَا، بِتَغَيُّرِ درجةِ حرارتها.



اخبر نفسك

## حالاتُ المادَّةِ ونمودجُ الحركةِ الجُزئيَّةِ

### States of Matter and Kinetic Particle Model

#### الحالةُ الصُّلبةُ Solid State



الشكل 4-3: دقائق المادة الصلبة.

1. في الموادِ الصلبةِ تُحافظُ دقائقُ المادةِ على أماكنِها وتكونُ حركُها على شكلِ اهتزازٍ موضعيٍّ، مما يُعطي المادةِ الصلبةَ حجمًا وشكلاً ثابتينِ، كما في الشكلِ (4-3).

2. تكونُ قُوى التَّرَابُطِ بين دقائقِ المادةِ الصلبةِ قويةً وتفوقُ قُوى التَّرَابُطِ في الموادِ السائلةِ والغازاتِ؛ مما يُعطي المادةِ الصلبةَ تماسگًا قويًا.

3. تكونُ دقائقُ المادةِ الصلبةِ مُتقاربةً ومسافاتُ بَيْنَهَا صغيرَةٌ؛ مما يعطي المادةِ الصلبةَ كثافةً كبيرةً و يجعلُها غيرَ قابلةٍ للانضغاطِ.

#### الحالةُ السائلةُ Liquid State



الشكل 5-3: دقائق المادة السائلة.

1. تكونُ حركَةُ دقائقِ السائلِ اهتزازيةً، ويمكِّنُها تغييرُ أماكنِها داخلِ السائلِ (تحركُ حركةً انتقاليةً محدودةً)؛ مما يجعلُ السائلَ يُغَيِّرُ شكلَه حسبِ شكلِ الإناءِ، كما في الشكلِ (5-3).

2. قُوى التَّرَابُطِ بين دقائقِ المادةِ السائلةِ أقلُّ منها في المادةِ الصلبةِ؛ مما يجعلُ السائلَ أقلَّ تماسگًا، كما أنَّ اختلافَ هذهِ القوى من سائلٍ إلى آخرَ، يُنتجُ عنه اختلافٌ في لزوجَةِ السوائلِ.

3. تَقارُبُ دقائقِ السائلِ وَتَمَاسُكُهَا يكونُ أقلَّ مقارنةً معَ الصَّلبِ مما يجعلُ السائلَ أقلَّ كثافةً وغيرَ قابلٍ للانضغاطِ.

## الحالة الغازية Gaseous State



الشكل 3-3: دقائق المادة الغازية.

1. دقائق المادة في الحالة الغازية متباعدةٌ والمسافاتُ بينها كبيرةٌ؛ مما يعطي الغاز حجمًا كبيرًا وكثافةً قليلةً.

2. الحركة الانتشارية ل دقائق الغاز إضافةً إلى حركتها الاهتزازية تجعل حجم الغاز وشكله غير ثابتين؛ فهو يأخذ حجم الإناء الذي يحتويه ويأخذ شكله، كما في الشكل (6-3).

3. قوى التَّرَابِطِ بين دقائق الغاز ضعيفةٌ جدًا؛ لذلك فإنها تنتشرُ مبتعدةً عن بعضها، وتُصبح المسافاتُ بينها كبيرةً؛ مما يجعل الغاز قابلاً للانضغاط.

يمكن تلخيص صفاتِ دقائق المادة حسبَ الحالة التي تُوجَدُ بها في الجدول (1-3) الآتي:

الحالة	التركيب	المسافاتُ بين الدقائق	حركة الدقائق
الصلبة	شكل ثابتٌ وحجم ثابتٌ	صغرٌ جداً	اهتزازية
السائلة	شكلٌ متغيرٌ وحجمٌ ثابتٌ	صغرٌ	اهتزازية وانتقالية
الغازية	شكلٌ متغيرٌ وحجمٌ متغيرٌ	كبيرةٌ جداً	انتشارية وسريعة

جدول 3-1: حالات المادة الثلاث وصفاتِ دقائق المادة في كل حالة.

إثراء:

## الحالة الرابعة للمادة (البلازمـا Plasma)

تُوجَدُ المادَّةُ في الطبيعةِ في حالاتٍ ثلاثٍ: الصلبةُ والسائلةُ والغازيةُ، وَتُسْتَخَدَّمُ الكثيَّرُ من المادَّةِ في حالاتِها المختلفةِ، لكنَّ تُوجَدُ حالةً رابعةً للمادَّةِ تُسَمَّى البلازمـا، تَتَحَوَّلُ المادَّةُ إلى بلازما عندَ تسخينها وهي في الحالةِ الغازية؛ حتى تَتَفَكَّكَ جُزيئاتُ المادَّةِ إلى ذراتٍ، ثمَّ تَتَأَيَّنُ هذه الذراتُ فتقْفَدُ إلكتروناتها وتُصْبِحُ أيوناتٍ مُوجَبَةً، وفي هذه المرحلة تختلفُ خصائصُ المادَّةِ عنها في الحالاتِ الثلاثِ المألوفةِ. تُوجَدُ المادَّةُ في حالاتها الرابعةِ في الشمسِ وفي النجومِ، وتشكُّلُ نسبَةً كبيرةً من مادَّةِ الكَوْنِ.

وتُوجَدُ البلازمـا على الأرضِ في ظروفٍ مُعينةٍ داخل بعضِ الأجهزةِ مثل تلفازِ البلازمـا وأنابيبِ التَّفريغِ الكهربائيِّ، وتَتَصَصُّفُ البلازمـا بأَهْمَّ فائقةِ التَّوصيلِ للكهرباءِ وتتأثَّرُ بِالمجالاتِ المغناطيسيةِ.



تنتقلُ المادَّةُ بالتسخين من الحالةِ الصلبةِ إلى السائلةِ ثمَّ الغازيةِ ثمَّ البلازمـا.

## ضَغْطُ المَاءِعُ وَنَمَوْذِجُ الْحَرْكَةِ الْجُزِيَّيَّةِ

### Gas Pressure and Kinetic Particle Model

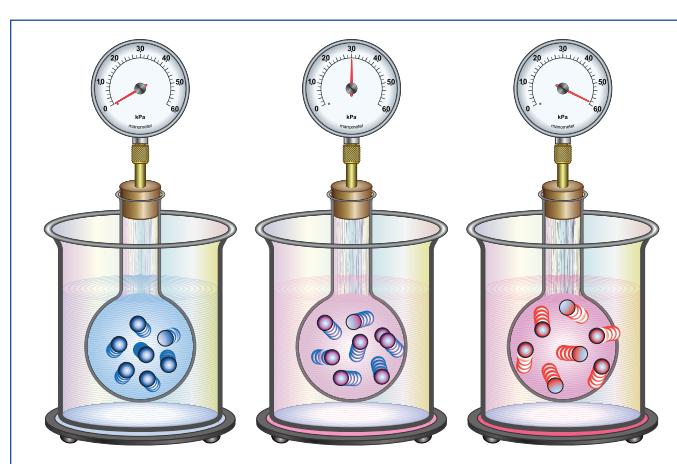
عندما يكون الغاز محصوراً داخل إناء مغلقٍ فإنه يتكون له ضغطٌ يؤثرُ في جدران الإناء، ويعتمدُ هذا الضغطُ على كمية الغاز داخل الإناء. فما يحدثُ عند نفخ البالون، هو إدخال المزيج من الهواء إليه، فينتج عنه زيادةُ الضغطِ داخله. لاحظ الشكل (7-3/a) الذي يبيّن إناءً مغلقاً يختلفُ الضغطُ بداخله باختلاف عدد جزيئاتِ الغازِ فيه. وبشكلٍ عامٍ فإنه عندما يكون حجم الإناء ثابتاً فإن الضغطَ داخله يزدادُ بزيادةِ كميةِ الغازِ داخله (زيادة كثافة الغاز). إنَّ مقدارَ الضغطِ في أسطوانة مملوءةٍ بغازِ الأكسجين، كالتى في الشكل (7-3/b)، تحدِّدُ كميةُ الأكسجين في الأسطوانة.



الشكل 7-3/a: يزدادُ الضغطُ بزيادةِ كميةِ الغازِ.

عندما تكون كميةُ الغازِ المحصورَةُ داخل الإناء ثابتةً، ولها ضغطٌ ثابتُ، فإنه يمكنُ زيادةُ ضغطِ الغازِ بتتسخينه ورفع درجةِ حرارته. أي أنَّ ضغطَ الغازِ المحصور يزدادُ بارتفاعِ درجةِ الحرارة. كيف يمكنُ تفسيرُ هذه العلاقةِ بين ضغطِ الغازِ المحصور ودرجةِ حرارته؟

يمكن الإجابةُ عن السؤال اعتماداً على نموذجِ الحركةِ الجزيئيةِ، فعندُ وجودِ كميةٍ من الغازِ في إناءٍ مغلقٍ فإن حركةَ جزيئاتِ الغازِ العشوائيةِ المستمرةِ داخل الإناء تجعلُها تتصادمَ مع بعضها ومع جدرانِ الإناء، فينتجُ عن ذلك أنَّ يؤثرُ الغازُ بضغطٍ في جدرانِ الإناء. ويتناسبُ مقدارُ الضغطِ الناتجِ عن هذه التصادماتِ طردياً مع كلِّ من عددِ التصادماتِ بين الجزيئاتِ، والقوةِ الناتجةِ عن كلِّ تصادمٍ. لاحظ الشكل (8-3) الذي يبيّنُ كيف تؤثرُ زيادةُ درجةِ الحرارةِ في ضغطِ الغازِ عندما تكون كميته ثابتةً وممحصورةً داخل دورقٍ.



الشكل 8-3: ضغطُ الغازِ ودرجةِ حرارته.

فَسَرْ لِمَاذَا تَكُونُ الْغَازَاتُ قَابِلَةً لِلنَّضْغَاطِ، بَيْنَمَا الْمَوَادُ الصَّلْبَةُ وَالسَّائِلَةُ غَيْرَ قَابِلَةٍ لِلنَّضْغَاطِ.



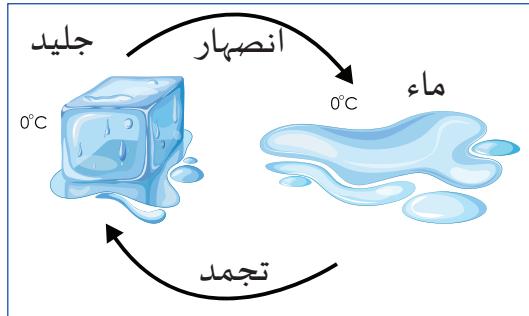
## تَحُوُّلَاتُ الْمَادِهِ وَنَمَوْذِجُ الْحَرْكَهِ الْجُزَيْئِيهِ

### Matter Changes and Kinetic Particle Model

نَسْتَخْدِمُ فِي حَيَاةِنَا الْيَوْمَيَهِ الْمَادَهِ فِي حَالَاتِهَا التَّلَاثِ، فَالْمَقَاعِدُ وَالْجُدْرَانُ وَغَيْرُهَا أَجْسَامٌ صَلَبَهُ، وَالْمَاءُ وَالْحَلِيبُ نَشَرُّهُمَا فِي الْحَالَهِ السَّائِلَهِ، فِي حِينَ نَنْفَسُ الهَوَاءَ فِي الْحَالَهِ الغَازِيهِ. لَكِنَّ كَثِيرًا مِنْ هَذِهِ الْمَادَهِ وَغَيْرَهَا قَدْ نَجَدُهَا بِأَكْثَرِ مِنْ حَالَهِ، كَالْمَاءِ مِثَالًا لِذِي نَرَاهُ يَوْمَيًا فِي الْحَالَاتِ التَّلَاثِ، وَبِشَكْلٍ عَامٍ إِنَّ الْمَادَهَ تَتَحَوَّلُ مِنْ حَالَهِ إِلَى أُخْرَى، وَيَتَمُّ ذَلِكُ عَنْ طَرِيقِ تَسْخِينِهَا أَوْ تَبَرِيدِهَا.

#### Melting (الانصهار)

تَتَحَوَّلُ الْمَادَهُ بَيْنَ الْحَالَتَيِنِ الصلَبَهُ وَالسَّائِلَهُ بِالتَّسْخِينِ أَوِ التَّبَرِيدِ، فَالْمَادَهُ الصلَبَهُ فِي الطَّبِيعَهِ يُمُكِّنُ أَنْ تَتَغَيَّرَ حَالَهُ وَذَلِكُ عَنْ طَرِيقِ الانصهار **melting** وَهِيَ عَمَليَهُ تَحُوُّلِ الْمَادَهِ مِنِ الْحَالَهِ الصلَبَهِ إِلَى السَّائِلَهِ بِتَسْخِينِهَا. فَعِنْدَ تَسْخِينِ الْجَلِيدِ وَهُوَ صَلَبٌ يَنْصَهُرُ وَيَتَحَوَّلُ إِلَى مَاءٍ فِي الْحَالَهِ السَّائِلَهِ.



الشكل 9-3: عملية انصهار الجليد وتجمده الماء.

وَالْمَادَهُ جَمِيعُهَا تَنْصَهُرُ مِثَالَ الْجَلِيدِ، لَكِنْ تَخْتَلِفُ كُلُّ مَادَهٍ عَنْ غَيْرِهَا فِي درَجَهِ انصهارِهَا. وَيُوضَعُ الشَّكْلُ (9-3) عمليَهُ الانصهار والَّتَّجَمُدِ عَنْ طَرِيقِ اكتسابِ المَادَهِ لِلطاقةِ الحراريَهِ أوْ فَقِدَهَا لَهَا. كَيْفَ نُفَسِّرُ انصهارَ الْمَادَهِ الصلَبَهِ حَسَبَ نَمَوْذِجِ الْحَرْكَهِ الْجُزَيْئِيهِ؟ تَتَكَوَّنُ الْمَادَهُ الصلَبَهُ مِنْ دَقَائِقٍ مُتَقَارِبَهُ وَمُرْتَبَهُ بِاِنتِظَامٍ

وَعِنْدَ تَزوِيدِهَا بِالْحَرَارَهِ فَإِنْ طَاقَهَا الْحَركَهُ تَزَادُ، فَتَقْلُ قُوَّهُ التَّرَابِطِ بَيْنَهَا وَتَبَيَّنُ عَنْ بَعْضِهَا قَلِيلًا، وَيَنْتَجُ عَنْ ذَلِكَ زِيَادَهُ حَجْمِ الْمَادَهِ وَانصهارِهَا؛ أَيْ أَنَّهَا تَتَحَوَّلُ إِلَى الْحَالَهِ السَّائِلَهِ؛ وَبِذَلِكَ فَإِنَّهُ يَجُبُ تَزوِيدُ الْمَادَهِ الصلَبَهِ بِكميَهِ مِنِ الطَّاقَهِ الحراريَهِ تَكْفِي لِرَفِعِ درَجَهِ حرَارَتِهَا إِلَى مَقْدَارٍ مُعِينٍ تَبَدَّأُ عَنْدَهُ الْمَادَهُ بِالْانصهارِ، وَيُسَمَّى هَذَا الْمَقْدَارُ درَجَهُ انصهارِ الْمَادَهِ؛ وَكُلُّ مَادَهٍ لَهَا درَجَهُ انصهارٍ خاصَّهَا.

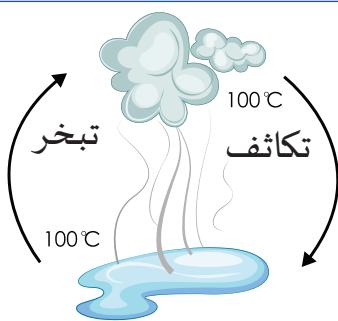
#### Freezing (التَّجَمُودُ)

تُغَيِّرُ الْمَادَهُ السَّائِلَهُ حَالَتَهَا فِي الطَّبِيعَهِ عَنْ طَرِيقِ التَّجَمُودِ، وَالَّتَّجَمُودُ **Freezing** هوَ عَمَليَهُ تَحُوُّلِ الْمَادَهِ مِنِ الْحَالَهِ السَّائِلَهِ إِلَى الْحَالَهِ الصلَبَهِ بِتَبَرِيدِهَا. فَعِنْدَ تَبَرِيدِ المَاءِ يَتَجَمَّدُ وَيَعُودُ مَرَهُ أُخْرَى إِلَى الْحَالَهِ الصلَبَهِ. وَالْمَادَهُ جَمِيعُهَا تَتَجَمَّدُ مِثَالَ المَاءِ، لَكِنْ تَخْتَلِفُ الْمَادَهُ فِي درَجَهِ تَجَمُودِهَا. وَيَتَطَلَّبُ تَجَمِيدُ الْمَادَهِ السَّائِلَهِ تَبَرِيدَهَا حَتَّى تَنْخَفَضَ درَجَهُ حرَارَتِهَا إِلَى درَجَهِ التَّجَمُودِ فَمَا دُونَهُ، وَتَكُونُ درَجَهُ التَّجَمُودِ مُسَاوِيَهُ لِدرَجَهِ انصهارِ الْمَادَهِ. كَمَا يُوضَعُ ذَلِكُ الشَّكْلُ (9-3) السَّابِقُ.

كَيْفَ نُفَسِّرُ تَجَمُودَ الْمَادَهِ السَّائِلَهِ حَسَبَ نَمَوْذِجِ الْحَرْكَهِ الْجُزَيْئِيهِ؟ تَتَكَوَّنُ الْمَادَهُ السَّائِلَهُ مِنْ دَقَائِقٍ قَابِلَهُ لِلْجَرِيَانِ وَتَمْتَلِكُ الْكَثِيرَ مِنِ الطَّاقَهِ الحراريَهِ، وَعِنْدَ تَبَرِيدِهَا وَفَقِدَهَا لِلْحَرَارَهِ تَقْلُ الطَّاقَهُ الحراريَهُ لِدَقَائِقِهَا وَتَزَادُ قُوَّهُ تَرَابِطِهَا فَتَقْرَبُ مِنْ بَعْضِهَا وَيَقْلُ حَجْمُ الْمَادَهِ حَتَّى تَتَجَمَّدَ وَتُصْبِحُ مَادَهُ صَلَبَهُ.



ما التَّغْيِيرُاتُ الَّتِي تَحْدُثُ لِلْجَزِئَاتِ فِي الْمَادِهِ الصلبةِ عَنْدَ تَسْخِينِهَا وَتَحْوِيلِهَا إِلَى الْحَالَهِ السَّائِلَهِ.



الشكل 10-3: تَبَخُّرُ الماءِ وَتَكَاثُفُهُ.

تَحْوِلُ الْمَادِهِ السَّائِلَهُ عَنْ طَرِيقِ الْغَلِيَانِ أَوِ التَّبَخُّرِ إِلَى الْحَالَهِ الْغَازِيهِ، وَالْغَلِيَانُ Boiling هوَ عَملِيهُ تَحْوِلُ الْمَادِهِ السَّائِلَهُ إِلَى غَازٍ عَنْ طَرِيقِ تَسْخِينِهَا إِلَى درَجَهٍ مُحَدَّدهٍ تُسَمَّى درَجَهُ الغَلِيَانِ. أَمَّا التَّبَخُّرُ Evaporation فهوَ عَملِيهُ تَحْوِلُ الْمَادِهِ السَّائِلَهُ إِلَى غَازٍ وَلَا يَحْتَاجُ التَّبَخُّرُ وَصُولَ السَّائِلِ إِلَى درَجَهُ الغَلِيَانِ، فَهُوَ يَحْدُثُ عَنْدَ آيَهٍ درَجَهٍ حَرَارَهِ يُوضَعُ الشَّكْلُ (10-3) عَملِيَّتِي التَّبَخُّرِ وَالتَّكَاثُفِ عَنْ طَرِيقِ اِكتِسَابِ الطَّاقَهِ الْحَرَارِيهِ أَوْ فَقِدَهَا.

### كيف نُفسِّرُ غَلِيَانَ الْمَادِهِ السَّائِلَهِ حَسَبَ نَمُوذِجِ الْحَركَهِ الْجَزِئِيهِ؟

تَتَكَوَّنُ الْمَادِهِ السَّائِلَهُ مِنْ دَقَائِقِ مُتَقارِبَهِ وَتَمَتَّلُ القَلِيلُ مِنِ الطَّاقَهِ الْحَرَارِيهِ، وَعِنْدَ تَزوِيدِهَا بِالْحَرَارَهِ إِنَّ طَاقَهَا الْحَرَارِيهِ تَزَادُ، فَتَقِلُّ قُوَّهُ التَّرَابُطِ بَيْنَهَا فَتَتَبَاعِدُ عَنْ بَعْضِهَا بِشَكَلٍ كَبِيرٍ. وَيَنْتَجُ عَنْ ذَلِكَ أَنْ تَفْلِيَ الدَّقَائِقِ مِنْ جَمِيعِ أَنْحَاءِ السَّائِلِ وَتُشَكِّلُ فُقَاعَاتٍ مِنَ الغَازِ تُغَادِرُ السَّائِلَ وَتَنَتَّشُ.

كيف نُفسِّرُ تَبَخُّرَ الْمَادِهِ السَّائِلَهِ حَسَبَ نَمُوذِجِ الْحَركَهِ الْجَزِئِيهِ؟ يَخْتَلِفُ التَّبَخُّرُ عَنِ الْغَلِيَانِ بِأَنَّهُ لَا يَحْتَاجُ لِتَسْخِينِ الْمَادِهِ إِلَى درَجَهُ الغَلِيَانِ، فَهُوَ يَحْدُثُ عَنْدَ آيَهٍ درَجَهٍ حَرَارَهِ، وَيَحْدُثُ عَنْدَ سَطْحِ السَّائِلِ فَقَطْ؛ وَذَلِكَ عِنْدَمَا تُغَادِرُ بَعْضُ الدَّقَائِقِ الَّتِي تَمَتَّلُ أَكْبَرَ مِقدَارٍ مِنِ الطَّاقَهِ الْحَرَارِيهِ سَطْحَ السَّائِلِ.

يُبَيَّنُ الجَدُولُ (2-3) درَجَاتِ الانصِهَارِ وَالْغَلِيَانِ لِبعضِ الْمَوَادِ الَّتِي تَفَاوَتُ مِنْ درَجَاتِ مِرْتَفَعَهُ جَدًا إِلَى درَجَاتِ مُنْخَضَهِ جَدًا دونَ الصَّفَرِ.

المادة	درجة الانصهار (°C)	درجة الغليان (°C)
الحديد	1538	2861
الألومنيوم	660	2519
الرصاص	327	1749
البلاستيك الصلب	240	300
الشمع	50	400
الماء	0	100
الكحول	-108	78
النيتروجين	-210	-196
الأكسجين	-219	-183

جدول 2-3: درَجَاتِ الانصِهَارِ وَدَرَجَاتِ الغَلِيَانِ لِبعضِ الْمَوَادِ الشَّائِعَهِ.

## التَّكَاثُفُ Condensation

تَتَغَيِّرُ حَالَةُ الْمَادِيَ الغَازِيَّةُ إِلَى سَائِلَةٍ عَنْ طَرِيقِ التَّكَاثُفِ condensation وهو عمليَّةٌ تَحُولُّ الْمَادِيَّةِ مِنَ الْحَالَةِ الغَازِيَّةِ إِلَى الْحَالَةِ السَّائِلَةِ بِتَبَرِيدِهَا. فَعِنْدِ تَبَرِيدِ بَخَارِ الْمَاءِ يَعُودُ مَرَّةً أُخْرَى إِلَى الْحَالَةِ السَّائِلَةِ. وَالْمَوَادُ الغَازِيَّةُ جَمِيعُهَا تَكَاثُفُ، وَتَخْتَلِفُ كُلُّ مَادَّةٍ عَنْ غَيْرِهَا فِي درَجَةِ تَكَاثُفِهَا. وَلِتَكَثِيفِ الْمَادِيَّةِ الغَازِيَّةِ يَتَمُّ تَبَرِيدُهَا إِلَى مَا دُونَ درَجَةِ الْغَلِيَانِ، الَّتِي تُسَاوِي درَجَةَ التَّكَاثُفِ نَفْسَهَا. كَمَا يُوضَّحُ ذَلِكَ الشَّكْلُ (10-3) السَّابِقُ.

كَيْفَ نُفِسِّرُ تَكَاثُفَ الْغَازِ حَسَبَ نَظَرِيَّةِ الْحَرْكَةِ الجَزِئِيَّةِ؟ تَمَتَّلِكُ دَقَائِقُ الْغَازِ الْكَثِيرِ مِنَ الطَّاقَةِ الْحَرْكَيَّةِ؛ لِذَلِكَ تَكُونُ سُعَةُ اهْتِزَازِهَا كَبِيرَةً وَالْمَسَافَاتُ بَيْنَهَا مُتَبَاعِدَةً، وَعِنْدِ تَبَرِيدِ الْغَازِ فَإِنَّهُ يَفْقَدُ طَاقَةً حَرَارِيَّةً فَتَقُلُّ الطَّاقَةُ الْحَرْكَيَّةُ لِدَقَائِقِهِ وَتَزَادُ قُوَّةُ التَّرَابُطِ فِيمَا بَيْنَهَا، فَتَقْرَبُ مِنْ بَعْضِهَا وَيَقْلُ حَجْمُ الْغَازِ حَتَّى يَتَكَاثُفَ وَيُصْبِحَ مَادَّةً سَائِلَةً.

## الْتَّبْلُورُ Crystallization



الشكل 3-11: عملية التبلور.

تَتَكَوَّنُ بَعْضُ الْمَحَالِيلِ مِنْ مَادَّةٍ صَلَبَّةٍ مُذَابَةٍ فِي مَادَّةٍ سَائِلَةٍ، وَلِفَصْلِ الْمَادِيَّتَيْنِ عَنْ بَعْضِهِمَا تُوجَدُ طُرُقٌ مُخْتَلِفَةٌ، مِنْ بَيْنِهَا التَّبْلُورُ crystallization، وَهِيَ عَمَلِيَّةٌ تَجْمَعُ دَقَائِقَ الْمَادِيَّةِ الصَّلَبَّةِ دَاخِلَ الْمَحَلَولِ وَتُقَارِبُهَا مِنْ بَعْضِهَا حَتَّى تُشَكِّلَ جَسْمًا صَلَبًا يُسَمَّى بِالْبَلْوَرَةِ، لاحظِ الشَّكْلَ (11-3).

وَتَنَمُّ الْبَلْوَرَةُ باسْتِمرَارٍ تَجْمَعُ دَقَائِقَ الْمَادِيَّةِ الصَّلَبَّةِ وَتَمَاسُكُهَا فِي زِدَادُ حُجْمُهَا، وَلِلْبَلْوُرَاتِ أَشْكَالٌ هَنْدِسِيَّةٌ مُخْتَلِفَةٌ تَعْتمَدُ عَلَى قُوَّةِ التَّرَابُطِ بَيْنِ الدَّقَائِقِ وَالْمَسَافَاتِ فِيمَا بَيْنَهَا. وَيَعْتَمِدُ حَجْمُ الْبَلْوَرَةِ وَسُرْعَةُ تَكُونُهَا عَلَى مَقْدَارِ درَجَةِ حَرَارَةِ الْوَسْطِ الْمُحِيطِ.

## كَيْفَ نُفِسِّرُ حدُوثَ التَّبْلُورِ حَسَبَ نَمَوْذِجِ الْحَرْكَةِ الجَزِئِيَّةِ؟

تَمَتَّلِكُ دَقَائِقُ الْمَادِيَّةِ الصَّلَبَّةِ الذَّائِبَةِ فِي الْمَحَلَولِ طَاقَةً حَرَكَيَّةً، وَتَتَحرَّكُ دَاخِلَهُ بِشَكْلٍ مُسْتَمِّرٍ، وَعِنْدِ خَفْضِ درَجَةِ حَرَارَةِ الْمَحَلَولِ تَقْلُّ الطَّاقَةُ الْحَرَكَيَّةُ لِلْدَّقَائِقِ فَتَتَقَارِبُ مِنْ بَعْضِهَا؛ وَنَتْيَاجٌ لِذَلِكَ تَزَادُ قُوَّةِ التَّرَابُطِ بَيْنَهَا فَتَتَمَاسِكُ وَتَتَجَمَّعُ مَعًا لِتُشَكِّلَ الْبَلْوَرَةَ.

فَسِرْ كِيفِيَّةُ حدُوثِ كُلِّ مِنْ عَمَلِيَّةِ تَبْلُورِ الْمَوَادِ الصَّلَبَّةِ المُذَابَةِ فِي الْمَاءِ، وَعَمَلِيَّةِ تَكَاثُفِ الْمَادِيَّةِ الغَازِيَّةِ وَتَحُولُّهَا إِلَى سَائِلٍ.



# التسامي Sublimation

تَحَوّلُ المَوَادِ بِالْتَسْخِينِ مِنْ صَلْبَةٍ إِلَى سَائِلَةٍ ثُمَّ غَازِيَةٍ، وَيَحْدُثُ العَكْسُ عِنْدَ تَبَرِيدِهَا، لَكِنَّ بَعْضَ الْمَوَادِ تَتَجَاوزُ الْحَالَةَ السَّائِلَةَ وَتَنْتَقُلُ مِباشِرَةً مِنْ صَلْبَةٍ إِلَى غَازِيَةٍ، وَتُسَمَّى هَذِهِ الْعَمَلِيَّةُ التَّسَامِيُّ **sublimation** وَهِيَ تَحَوّلُ الْمَادِ مِنْ الْحَالَةِ الْصَّلْبَةِ إِلَى الْحَالَةِ الْغَازِيَةِ دُونَ الْمَرْوُرِ بِالْحَالَةِ السَّائِلَةِ، وَتُسَمَّى درَجَةُ الْحَرَارَةِ الَّتِي يَحْدُثُ عَنْهَا هَذَا التَّحَوُّلُ بِدَرَجَةِ التَّسَامِيِّ. وَيُعَدُّ الْجَلِيدُ الْجَافُ (ثَانِي أَكْسِيدِ الْكَرْبُونِ فِي الْحَالَةِ الْصَّلْبَةِ) مَثَلًا جَيْدًا عَلَى هَذِهِ الْمَوَادِ، وَكَذَلِكَ مَادَتَا الْيُودِ وَالنَّفَاثَالِينِ. وَيَحْدُثُ التَّسَامِيُّ حَسَبَ نَمُوذِجِ الْحَرْكَةِ الْجَزِئِيَّةِ بِأَنَّ الرَّوَابِطَ بَيْنَ دَقَائِقِ بَعْضِ الْمَوَادِ مِثَلِ الْيُودِ تَضُعُفُ بِشَكْلٍ كَبِيرٍ عِنْدَ اِكتِسَابِهَا لِلْحَرَارَةِ، بِحِيثُ لَا يُمْكِنُهَا الإِبْقاءُ عَلَى درَجَةِ مِنَ التَّقَارُبِ تَجْعَلُهَا مَادَةً سَائِلَةً، فَتَتَحَوَّلُ الْمَادِ مِباشِرَةً إِلَى الْحَالَةِ الْغَازِيَةِ. وَعِنْدَ تَبَرِيدِ أَبْخَرِ الْيُودِ وَالنَّفَاثَالِينِ وَغَيْرِهِمَا مِنْ هَذِهِ الْمَوَادِ فَإِنَّهَا تَتَحَوَّلُ مِباشِرَةً إِلَى الْحَالَةِ الْصَّلْبَةِ عَنْ طَرِيقِ التَّرْسِيبِ.

نشاط 2-3

## مشاهدہ مَقاطع فِيديو تُوضّح عملیة التسامي

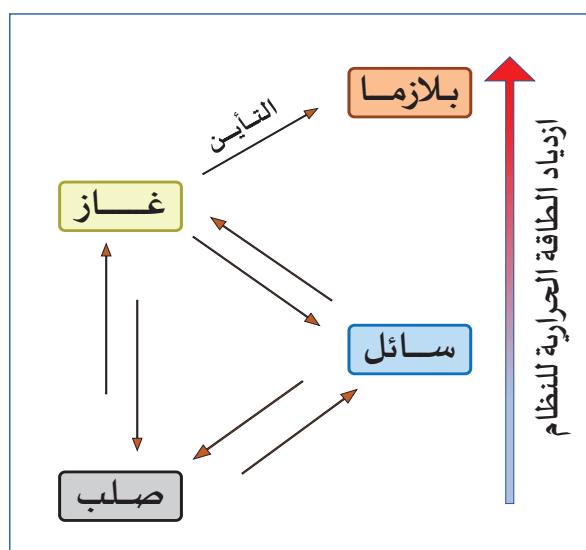
## الأهداف:

## الخطوات:

١. يُجَهِّزُ مَكَانٌ مناسِبٌ مُزوَّدٌ بجهاز عرضِ بياناتٍ وجهاز حاسوبٍ لعرضِ مقاطعِ فيديو ورسومٍ متحركةٍ تُوضِّحُ عملية التسامي.

التحليل

1. ما الاختلافُ بين عملية التّسامي وكلٍ من الانصهار والتّبخرِ.
  2. عند تبريد البخار الناتج عن عملية التّسامي، ماذا تتوقّعُ أنْ يحدثَ له؟



1. أكمل المخطط المفاهيمي في الشكل  
بكتابية عمليات تحول المادة.
  2. ابحث في المصادر المتوفرة لديك  
بمساعدة معلمك عن ظاهرة تسامي  
الجليد (الماء في الحالة الصلبة) إلى  
الحالة الغازية (بخار ماء).



## Brownian Motion: الحركة البراونية

نشاط 3-3



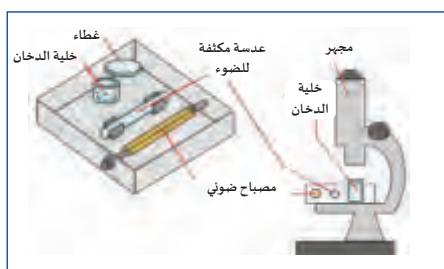
### مشاهدَةُ الحركةِ البراونيةِ وعملُ نموذجٍ لها

الأهداف:

الأدوات:

الأمن والسلامة:

الخطوات:



يُوزعُ الطلبةُ ضمنَ مجموعاتٍ، وتُوزَّعُ المَهَامُ على أعضاءِ كلِّ مجموعةٍ.

**الجزءُ الأول: خليةُ الدخانِ**

- أشعِلْ عودًا خشبيًّا صغيرًا (من أعواد الشواء) ثم أطفئْهُ وضَعْ طرفَهُ داخلَ خليةِ الدخانِ حتى تمتلئُ بالدخانِ، ثم أبعَدْهُ وضَعْ الغطاءَ الشَّفَافَ فوقَهَا.

2. أشعِلْ مصباحَ الخليةِ باستخدَامِ مصدرِ الطاقةِ المناسبِ، وانظُرْ من العدَسَةِ العينيَّةِ للمجهرِ، وتأكَّدْ من وُصولِ الضوءِ إلى الدخانِ.

3. اضْبِطِ المجهرَ حتَّى تَحصُلَ على صورةٍ واضحةٍ لدقائقِ الدخانِ ومكِبرةٍ حوالي 100 مرَّةً.

4. راقِبْ حركةَ الدقائقِ، ثم رَكِّزْ نظرَكَ على دقةٍ واحدةٍ وتَتَبعْ حركتها.

**الجزءُ الثاني: نموذجُ الحركةِ البراونيةِ**

1. ضَعْ مُكِبِّرَ الصوتِ على الطاولةِ؛ بِحيثٍ يَكُونُ الغشاءُ المُهَنَّزُ نحوَ الأعلى، وَصِلْ طرفِيهِ معَ مُولِّدِ الذبذباتِ.

2. ثبِّت الإطارَ الشَّفَافَ فوقَ مُكِبِّرِ الصوتِ بِحيثٍ يَرْتَكِّرُ على الحافةِ المعدنيَّةِ ولا يُلامسُ الغشاءَ المُهَنَّزَ.

3. ضَعْ عدَدًا من كُراتِ تنسِ الطاولةِ، بِحيثٍ تَتَوزَّعُ فوقَ غشاءِ مُكِبِّرِ الصوتِ.

4. صِلْ مُولِّدَ الذبذباتِ بالكهرباءِ واصبِطْهُ على تَرَدِّيدٍ مُنْخَضٍ ثم شُغِّلهُ، وزِدْ الترددَ والشدةَ حتَّى يبدأ غشاءُ مُكِبِّرِ الصوتِ بالاهتزازِ، وراقبِ الكراتِ.

5. ضَعْ كُرةَ الفلينِ المُلوَّنةَ فوقَ كُراتِ التنسِ، ثم راقِبْ حركتها.

**التَّحليل:**

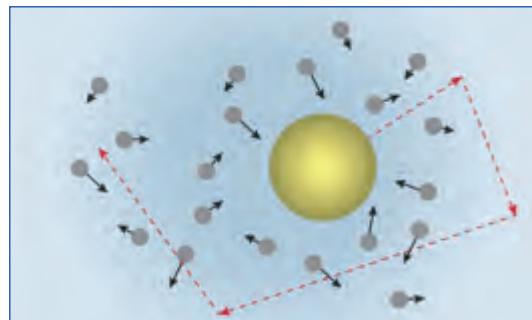
1. في الجزءِ الأول: صِفْ ما رأيَتهُ من خلالِ المجهرِ، مُوضِحًا طريقةَ حركةِ دقائقِ الدخانِ.

2. ما سببُ حركةِ دقائقِ الدخانِ؟ ولماذا لا يُمْكِنُ رؤيَةُ مُسِّبِ الحركةِ.

3. في الجزءِ الثاني: ما الذي تُمثِّلُهُ كُراتُ التنسِ وكُرةُ الفلينِ؟

لاحظت في النشاط السابق حركة دقائق الدخان من خلال المجهر، وتوصلت إلى سبب حركتها وهو تصادم جزيئات الهواء معها، ومثلت ذلك بحركة كرات تنس الطاولة التي تمثل جزيئات الهواء، وكيف أدى تصادمها معًا، إلى حركة الكرة البلاستيكية الكبيرة التي تشبه دقائق الدخان. تلاحظ في حياتنا اليومية الحركة العشوائية لدقائق الغبار داخل الغرفة عندما تسقط عليها أشعة الشمس، إن دقائق الغبار ترى بالعين المجردة وهي تتحرك باستمرار بشكل عشوائي في جميع الاتجاهات، وقد أطلق على هذه الحركة اسم الحركة البراونية نسبة إلى عالم الأحياء روبرت براون Robert Brown الذي لاحظ مثل هذه الحركة عند دراسته لحبوب اللقاح وهي تتحرك بشكل مستمر على سطح الماء، واعتقد أن هذه الحركة تحدث لأن حبوب اللقاح خلايا حية. وتعرف الحركة البراونية بأنها الحركة العشوائية لدقائق المواد السائلة والغازية.

### كيف نفسّر حدوث الحركة البراونية؟



الشكل 3-12: الحركة البراونية لدقائق الدخان.

تمتلك جزيئات المادة وذراتها طاقةً حركيةً فهي تتحرك بجميع الاتجاهات؛ ونتيجةً لذلك تتصادم أعداد كبيرةً من هذه الجزيئات بشكل متواصل مع دقائق السائل الأخرى أو محلول أو دقائق الغبار أو الدخان، وتجعلها تتحرك في الاتجاهات جميعها، لاحظ الشكل (3-12)، الذي يوضح إحدى دقائق الدخان التي لاحظتها في النشاط ومسار حركتها نتيجة تصادم جزيئات الهواء معها بشكل مستمر.

ونحن نرى دقائق الغبار بأعيننا وهي تتحرك، في حين لا يمكننا رؤية الجزيئات التي تسبب تلك الحركة؛ وهذا يفسّر حركة حبوب اللقاح فوق سطح الماء أنه ناتج عن تصادمات جزيئات الماء مع حبوب اللقاح، لأن جزيئات الماء والسوائل الأخرى والغازات جميعها تمتلك طاقةً حركيةً. وتكون في حالة حركة مستمرة.



روبرت براون:

عالم نباتٍ أسكتلندي ولد سنة 1773 م. أجرى دراساتٍ على أنواع كثيرةٍ من النباتٍ في إنجلترا وأستراليا، وتوصلَ إلى أهمية حبوب اللقاح في تكاثر النبات.

اكتشفَ نواةً الخلية واكتشفَ أكثرَ من 2000 نوعٍ جديدٍ من النباتات.

وَضَّحَ المقصود بالحركة البراونية، وفيَّ سبب حدوثها بالنسبة لدقائق الدخان والغبار.



أختبر نفسك

## التَّمَدُّدُ الْحَرَارِيُّ Thermal Expansion

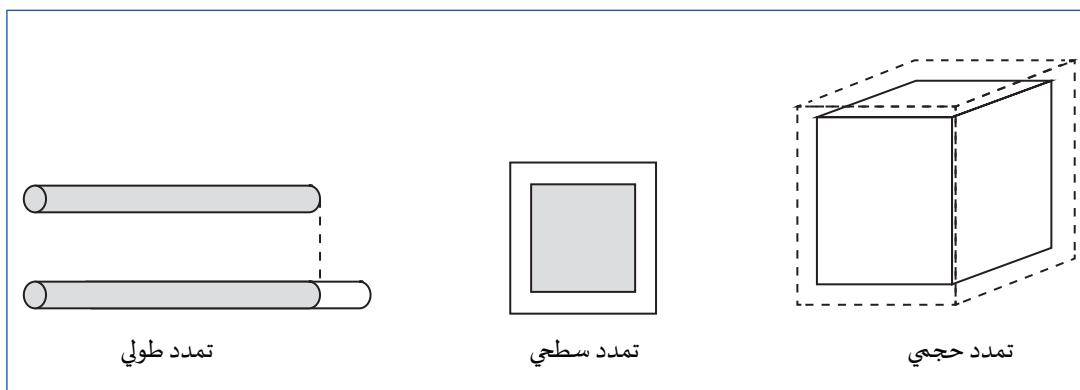
تعزفنا إلى تأثير الحرارة في حالات المادة وتحولاتها، وكيف يفسر نموذج الحركة الجزيئية هذه التحولات، فهل تؤثر الحرارة في خصائص أخرى للمادة؟

### التَّمَدُّدُ الْحَرَارِيُّ لِلْمَوَادِ الصَّلَبَةِ Thermal Expansion of Solids

إن التَّغْيِيرَ في درجة حرارة المادة يؤدي إلى تَغْيِيرَاتٍ في خصائص فِيزيائيةٍ أخرى، من أبرزها تَغْيِيرُ أبعادِ المادة، فتزادُ أبعادُ الجسم عند تسخينه ويتمدد، وتُوجَدُ ثلَاثَةُ أشْكَالٍ للتَّمَدُّدِ الْحَرَارِيِّ لِلْمَوَادِ الصَّلَبَةِ، هي:

- **التَّمَدُّدُ الطَّولِيُّ**: وهو زيادة طول الجسم الصلب الناتجة عن تسخينه. فمثلاً عند تعریض سلكٍ فلزیٍ لمصدرٍ حراريٍ فإن طوله يزداد بارتفاع درجة حرارته ويختلف مقدار هذه الزيادة باختلاف كلٍ من الطول الأصلي للسلك ونوع مادته والفرق في درجات الحرارة.
- **التَّمَدُّدُ السَّطْحِيُّ**: وهو زيادة مساحة سطح الجسم الصلب الناتجة عن تسخينه، مثل زيادة مساحة مستطيلٍ من الألومنيوم الناتجة عن زيادة كلٍ من الطول والعرض عند تسخينه.

**التَّمَدُّدُ الْحَجْمِيُّ**: وهو زيادة حجم الجسم الصلب الناتجة عن تسخينه، فعند تسخين كرةٍ من الفولاذ إلى درجة حرارة مرتفعة فإن حجمها يزداد بمقدارٍ يتناسب مع الزيادة في درجة الحرارة. لاحظ الشكل (13-3) الذي يُبيِّنُ الأشكال الثلاثة لـ التَّمَدُّدِ الْحَرَارِيِّ لِلْمَوَادِ الصَّلَبَةِ. وبالمثل فإن أبعاد الجسم تقلُّ عند انخفاض درجة حرارته في أنواع التَّمَدُّدِ الثلاثة، ويُقال بهذه الحالة إن الجسم يتقلَّصُ بانخفاض درجة حرارته.



الشكل 13-3: أشكال التَّمَدُّدِ الْحَرَارِيِّ: الطَّولِيُّ وَالسَّطْحِيُّ وَالْحَجْمِيُّ.

1. ماذا يقصد بالتمدد الحراري للمواد الصلبة؟ وكيف يتأثر بتغيير درجة الحرارة؟
2. ما الذي يحدث لفتحة دائيرية موجودة في سطح مستطيل من النحاس عندما يتم تسخينه؟



## التمدد الحراري للمواد السائلة Thermal Expansion of Liquids

تحفظُ السوائل عادةً في أوانٍ خاصّة، وللسوائل حجمٌ يشغلُ الحيزَ داخلَ الإناءِ الذي يوضعُ فيه، وعند تسخينِ السائل ترتفعُ درجةُ حرارته ويَنْتَجُ عن ذلك زيادةً في حجمه، أي أنَ السوائلَ تتمددُ تمدداً حجئياً. ويعتمدُ مقدارُ التمددِ في حجمِ السائلِ على نوعِ السائلِ وحجمِه الأصليِ والتغييرِ في درجةِ حرارته.

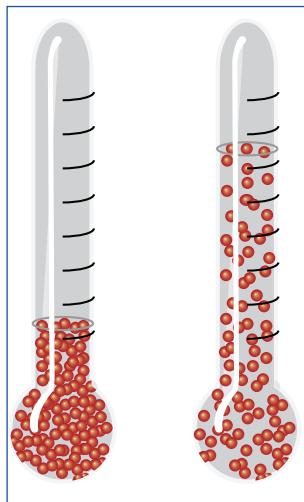
## التمدد الحراري ونموذج الحركة الجزيئية: Thermal Expansion and Kinetic Particle Model

يُفسّر نموذجُ الحركةِ الجزيئيةِ كيف يَحدُثُ التمددُ الحراريُّ للموادِ؛ إذ إنَ رفعُ درجةِ حرارةِ المادةِ يُؤدي إلى زيادةِ الطاقةِ الحركيةِ التي تَهَبُّ بها دقائقُها (جزيئاتها أو ذراتها)، التي تؤدي إلى زيادةِ سعةِ اهتزازِها؛ أي أنَ المسافاتِ البينيةَ تُصبحُ أكبرَ عندِ التسخينِ، وهذا يعني زيادةً في طولِ الجسمِ أو مساحةً سطحِه أو حجمه عندِ تسخينِه، وهو ما يُعرفُ بالتمددِ الحراريِّ، وبالمثلِ، عند انخفاضِ درجةِ حرارةِ المادةِ تقلُّ الطاقةُ الحركيةُ لدقائقِها فتقلُّ سعةُ اهتزازِها وتتقربُ من بعضِها، فتتقلّصُ المادةُ ويقلُّ طولُها أو مساحتُها أو حجمُها. ويعتمدُ مقدارُ التَّغَيِّيرِ في سعةِ اهتزازِ دقائقِ المادةِ أو المسافاتِ البينيةِ على أمرينِ، هما:

درجةُ الحرارةِ: فكلما كانت الزيادةُ في درجةِ الحرارةِ أكبرَ زادَتْ سعةُ الاهتزازِ وزادَتْ المسافاتُ البينيةِ.  
قوى التَّرَابِطِ بينِ دقائقِ المادةِ: التي تختلفُ من مادةٍ إلى أخرى؛ فسعةُ الاهتزازِ تزدادُ بشكلٍ أكبرٍ عندما تكونُ قوى التَّرَابِطِ بينِ دقائقِ المادةِ ضعيفةً، كما هو الحالُ في السوائلِ؛ لذلك يكونُ التمددُ فيها أكبرُ من تمددِ الموادِ الصلبةِ. أما الغازاتُ فتكونُ قوى التَّرَابِطِ بينِ دقائقِها ضعيفةً جدًا؛ لذلك تتمددُ الغازاتُ بشكلٍ كبيرٍ عندِ تسخينِها.

## تطبيقاتُ التمددِ الحراري Thermal Expansion Applications

من التطبيقاتِ العمليةِ لظاهرةِ التمددِ الحراريِّ للموادِ، ما يأتي:



**مقياسُ الحرارةِ:** عندما يُوضَعُ مستودعُ مقياسِ الحرارةِ ملمساً لجسمٍ ساخِنٍ، يسخُّنُ الزئبقُ أو الكحولُ داخلَه ويَتمددُ، فيزيدُ طولُ عمودِ الزئبقِ أو الكحولِ داخلَ الأنبوُبِ ويسيرُ إلى درجةِ حرارةِ ذلكِ الجسمِ. انظرِ الشكلَ (14-3).

**حشواتُ الأسنانِ:** يُعاني كثيرونَ من تَسُوسِ الأسنانِ وتَآكلِها وحدوثِ تجويفٍ في السنِ نتيجةً ذلكِ، ويقومُ طبيبُ الأسنانِ بوضعِ حشوةً من موادٍ مختلفةٍ لمعالجهِ السنِ، ويراعيَ أن تَتَكَوَّنَ الحشوةُ من مادةٍ مشابهةٍ لعظامِ السنِ من حيثُ مقدارِ تمددها؛ حتى لا تَتمددَ بمقدارٍ مختلفٍ عن السنِ وتُسَبِّبَ إتلافَه.

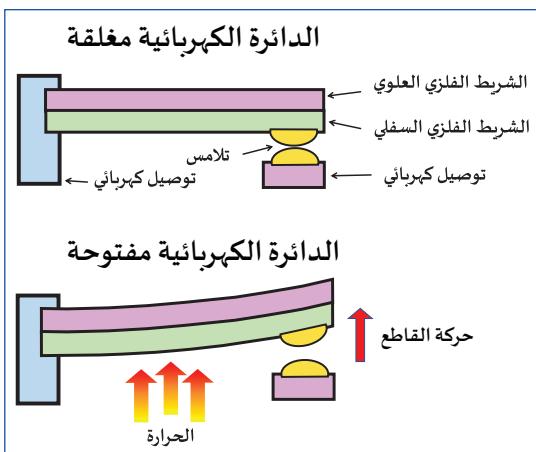
الشكل 14-3: تمددُ الكحولِ في مقياسِ الحرارة.



الشكل 3-15: فوائل التمدد في الجسور الخرسانية.



الشكل 3-16: فوائل التمدد في قضبان سكة الحديد.



الشكل 3-17: طريقة عمل الشريط ثنائي الفلز.

**المباني والجسور:** بعض التطبيقات الحياتية للتمدد الحراري للمواد تنتج عنها آثار ضارة؛ لذلك لا بد من مراعاة تلك الآثار عند إنشاء الطرق والجسور والمباني المختلفة؛ إذ يصمم المهندسون المبني التي تحتوي على وصلات فولاذية بطريقة تضمن وجود فراغات تفصل بين هذه الوصلات أو الكتل الخرسانية الكبيرة حتى تتيح لها التمدد والتقلص بسهولة دون أن يلحق ذلك أضراراً بالبناء. يُبيّن الشكل (15-3) الوصلة الفولاذية التي تحتوي على مسافة فارغة تتيح للكتل الخرسانية الضخمة في الجسر بأن تمدد وتتقلص دون أن يتحطم الجسر.

**سكة الحديد:** كما توجد الفراغات أيضاً بين قضبان سكة الحديد، بحيث لا تتحني تلك القضبان عند تمددها في أيام الصيف، لاحظ الشكل (3-16) الذي يبيّن واحدة من هذه الفراغات الفاصلة.

**الشريط ثنائي الفلز (Thermostat):** من التطبيقات التكنولوجية لتمدد المواد الصلبة، وهو شريط مزدوج يتكون من طبقتين متلاصقتين كل منهما من فلز مختلف، ويوضح الشكل (17-3) تركيب هذه الأداة وكيفية عملها؛ فعند ارتفاع درجة الحرارة يتمدد الشريط المزدوج وينحنى بسبب تمدد أحد الفلزين بمقدار أكبر من الآخر، فلا يحدث تلامس مما يعمل على فتح الدائرة الكهربائية، وعند انخفاض درجة الحرارة يتقلص، فيعود مستقيماً وتغلق الدائرة الكهربائية.

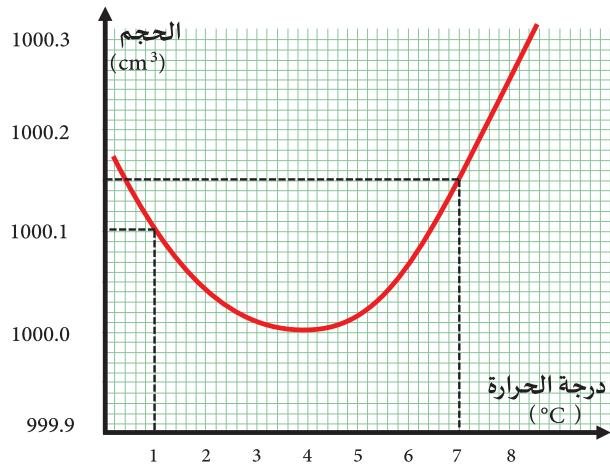
يُستخدم الشريط الثنائي الفلز للتحكم في بعض الأجهزة الكهربائية التي تعمل عند اختلاف درجة الحرارة، مثل تشغيل أجهزة التكييف والثلاجات.

ما الضرر الذي يمكن أن يحدث للمباني والجسور وسكة الحديد بفعل ظاهرة التمدد؟ وكيف يتغلب المهندسون على هذه المشكلة؟



## التمدد الشاذ للماء Anomalous Expansion of Water

بشكل عام، يزداد حجم المادة عند تسخينها، ويقل عن درجة حرارة  $0^{\circ}\text{C}$  إلى درجة  $4^{\circ}\text{C}$  يقل حجمه، وهذا مخالف لما يحدث للمواد الأخرى. أما عند تسخين الماء إلى درجة حرارة تزيد عن  $4^{\circ}\text{C}$  فإن حجمه يزداد مثل باقي المواد الأخرى. وهذا السلوك غير العادي للماء بين الدرجتين ( $0^{\circ}\text{C}$  و  $4^{\circ}\text{C}$ ) يسمى التمدد الشاذ للماء. ولتوسيع التغيير في حجم الماء فإنه يمكن تمثيل العلاقة بين حجم كمية من الماء كتلتها  $1\text{ kg}$  ودرجة الحرارة تمثيلاً بيانيًا. والشكل (3-18) يوضح منحى هذه العلاقة.



الشكل 3-18: منحى العلاقة بين حجم الماء ودرجة حرارته.

معتمداً على المنحى السابق الذي يمثل العلاقة بين الحجم ودرجة الحرارة لكمية من الماء كتلتها  $1\text{ kg}$ ، احسب كلاً من:

مثال 1

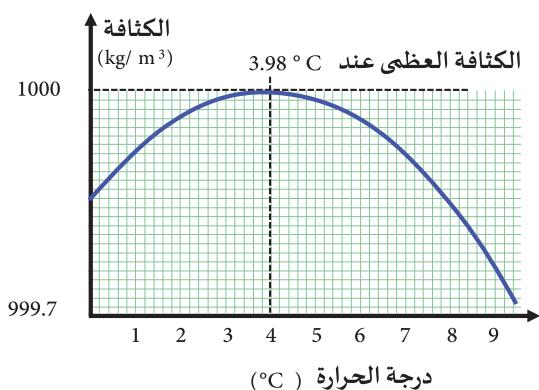
- a. حجم عينة الماء عند الدرجة  $1^{\circ}\text{C}$  وعند الدرجة  $7^{\circ}\text{C}$ .
- b. درجة الحرارة التي يكون عندها الحجم أقل ما يمكن.
- c. كثافة الماء عند الدرجة  $1^{\circ}\text{C}$ .

a. من الشكل نجد أن حجم عينة الماء عند الدرجة  $1^{\circ}\text{C}$  يساوي  $1000.1\text{ cm}^3$  وعند الدرجة  $7^{\circ}\text{C}$  يساوي  $1000.15\text{ cm}^3$ .

- b. من الشكل يكون حجم عينة الماء أقل ما يمكن عند الدرجة  $4^{\circ}\text{C}$ .
- c. الكثافة عند هذه الدرجة تساوي ناتج قسمة الكتلة على الحجم:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1\text{ kg}}{1000.1\text{ cm}^3} = \frac{1000\text{ g}}{1000.1\text{ cm}^3} = 0.9999\text{ g/cm}^3$$

الحل



الشكل 19-3: منحنى العلاقة بين كثافة الماء ودرجة حرارته.

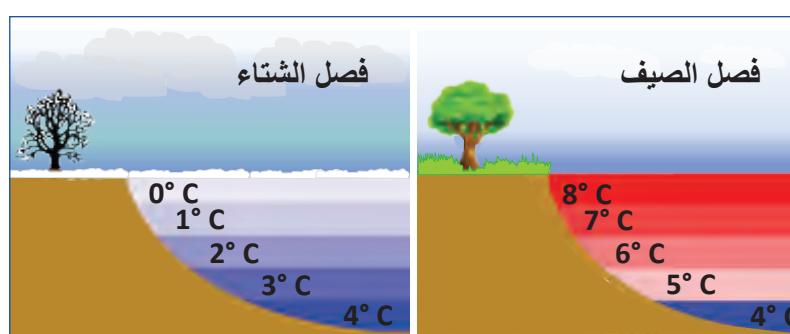
سبق أن تعلمتَ أنَّ كثافةَ الماءِ تتناسبُ تناصباً عكسيًّا مع حجمها، مع ثبات الكتلة وحيثُ إنَّ كتلةَ الماءِ لا تتغيَّرُ عند تسخينه أو تبريدِه، فإنَّ كثافةَ الماءِ تزدادُ عند تسخينه من درجةٍ  $0^{\circ}\text{C}$  إلى درجةٍ  $4^{\circ}\text{C}$ ، ثمَّ تقلُّ عند استمرارِ التسخين؛ نتيجةً لَتَغْيِيرِ حجمه؛ وبذلك يكونُ للماءِ أقلُّ حجمٍ مُمكِّنٍ وأكْبَرُ كثافةً عند الدرجة  $4^{\circ}\text{C}$ .

ولتوسيعِ التَّغْيِيرِ في كثافةِ الماءِ فإنهُ يُمكِّن تمثيلُ العلاقةِ بين كثافةِ كميةٍ من الماءِ ودرجةِ حرارةِ الماءِ تمثيلاً بيانيًّا. يوضِّحُ الشكلُ (19-3) مُنحَنَّى العلاقةِ بين الكثافةِ ودرجةِ الحرارةِ.

### تطبيقاتُ التَّمَدُّدِ الشاذِ للماءِ:

أولاًً: تَجَمُّدُ البحيراتِ: تُساعدُ ظاهرةُ التَّمَدُّدِ الشاذِ للماءِ في المحافظةِ على بقاءِ الكائناتِ المائيةِ الحيةِ في المناطقِ الباردةِ عندما تنخفضُ درجةُ حرارةِ الجوِ دون درجةٍ  $0^{\circ}\text{C}$ ، وهذه من نعم الله العظيمةِ على هذهِ الكائناتِ. فكيف يَحدُثُ ذلك؟

تعيشُ بعضُ الكائناتِ المائيةِ في المياهِ العذبةِ كالبحيراتِ والبركِ، وعندما تكونُ درجةُ حرارةِ الجوِ حولَ البركةِ حوالي  $4^{\circ}\text{C}$ ، فإنَّ الماءَ في أعلى البركةِ ستُرتفعُ درجةُ حرارته إلى الدرجةِ نفسهاِ ويُصبحُ لهُ أكبَرُ كثافةً؛ لذلك فإنَّه سوف يَغوصُ إلى القاعِ. ومع انخفاضِ درجةِ حرارةِ الجوِ إلى  $3^{\circ}\text{C}$ ، فإنَّ ماءَ السطحِ ستُكونُ لهُ نفسُ الدرجةِ، ويَغوصُ لأسفلٍ لكنَّه يَبقِي فوقَ طبقةِ الماءِ التي درجةُ حرارتها  $4^{\circ}\text{C}$ . وهكذا، إلى أنْ تنخفضَ درجةُ حرارةِ الجوِ وسطِ الماءِ إلى  $0^{\circ}\text{C}$ ، فتُكونُ كثافةُ هذهِ الطبقةِ هي الأقلَّ، وسوف تبقى طافيةً على سطحِ البركةِ، كما في الشكل (20-3). ويُصبحُ سطحُ البركةِ جليدًا، والجليدُ عازلٌ للحرارةِ، فلا يَسمُحُ لماءَ البركةِ أنْ يَفقدَ حرارته؛ وبهذا تُحافظُ الكائناتُ الحيةُ المائيةُ على بقائها تحتَ الجليدِ في درجاتِ الحرارةِ المنخفضةِ جدًا.



الشكل 20-3: درجة حرارة الماء داخل البركة في فصلِ الصيف والشتاء.

ثانيًا: تجميد الماء في الثلاجة: تَعَلَّقُ بعض الأمور اليومية بظاهرة التَّمْدُد الشَّاذ للماء، ويجب الاهتمام بها لتلافي الأضرار التي تَنْتَجُ عن ذلك، فعند ملء عبوات الماء والعصير يُترَك فراغ داخل العبوة يكفي لاستيعاب زيادة حجم الماء عند وضع العبوة في الثلاجة؛ إذ لو كانت العبوة مملوئةً بشكلٍ تام ثم تمدد الماء عند التَّبَرِيد لأحدث قوة كبيرة على جدار العبوة تؤدي لانفجارها. يُوضَّح الشكل (21-3) عبوة ماء زجاجية تحطمت وهي مملوئة تماماً بالماء عند تجمده.



الشكل 21-3: القوة الناتجة عن تجمد الماء.

ثالثاً: الجبال الجليدية: تَنَشَّرُ الجبال الجليدية في أطراف المحيطات القريبة من قطب الأرض، وهي تتكون من مياه عذبة مصدرها الأنهر والأنهيار الجليدية في المنطقتين القطبيتين، ثم تطفو في المياه المالحة. وتتراوح ارتفاعاتها فوق الماء من بضعة أمتار إلى مئات الأمتار، علماً أنَّ الجزء الأكبر من الجبل الجليدي يكون مغموراً تحت سطح الماء، كما يُبيَّنُ الشكل (22-3) والسبب في ذلك أنَّ كثافة الجليد أقل من كثافة الماء السائل بسبب التَّمْدُد الشَّاذ للماء عند تجمده، وتبلغ نسبة الجزء المغمور من الجبل الجليدي 90% من حجمه الكلي، أي أنَّ 10% من حجمه فقط يكون ظاهراً فوق الماء. وهذا ما يجعل الجبال الجليدية تُشكِّل خطراً في ممرات السفن. كما حدث مع سفينة التايتانيك سنة 1912 عندما واجهت جبلاً جليدياً ضخماً في مكان غير متوقَّع في طريقها. وما زال خطراً الجبال الجليدية في بعض المرات البحرية قائماً بالرغم من التَّطْوُر الكبير لأدوات الملاحة.



الشكل 22-3: الجبل الجليدي

## نشاط 4-3



## التمدد الشاذ للماء والجبال الجليدية

الأهداف:

يُثبتُ عملياً ظاهرة سُذوذ الماء، بقياسِ كثافةِ الجليد.

الأدوات:

حوضٌ بلاستيكٌ أو زجاجيٌّ شَفَافٌ، ماءٌ، قطعٌ جليديٌّ، ملحٌ الطعام، صبغةٌ طعامٌ زرقاء، مسطرةٌ، ميزانٌ رقميٌّ لقياسِ الكتلة.

ملاحظةٌ إرشاديةٌ للمعلم: أضفْ بضع قطاراتٍ من صبغةِ الطعامِ الزرقاءِ إلى الماء، ثم ضعهُ في عبواتٍ بلاستيكيةٍ بعدِ مجموعاتِ الطلبة، على أن لا يقلَّ قطرُ العبوةِ عن 8 cm، ولا يزيدُ ارتفاعُ الماءِ فيها عن 5 cm، وقمْ بتنفيذِ هذا قبلَ إجراء النشاطِ بيومٍ.

الأمنُ والسلامةُ:

تعامل مع الزجاجيات بحذرٍ، ولا تستخدم الماء في النشاطِ للشربِ.

## الخطواتُ:

يوزعُ الطلبةُ ضمنَ مجموعاتٍ، وتوزعُ المهامُ على أعضاءِ كلِّ مجموعةٍ.

1. ضعْ كميةً من الماءِ في الحوضِ الشَّفَافِ بعمقٍ لا يقلُّ عن 15 cm، وأضفْ إليها كميةً مناسبةً من الملحِ بمعدلِ 30 g ملحٌ لكلِ لترٍ ماءٍ.

2. قسْ ارتفاعَ قطعةِ الجليدِ (h)، وقطرَها (r)، وسجلْهُما في الجدولِ.

3. احسبْ حجمَ قطعةِ الجليدِ باستخدامِ العلاقةِ ( $V = h \pi r^2$ )، وسجلْهُ في الجدولِ.

4. ضعْ قطعةَ الجليدِ في الحوضِ واتركُها حتى تستقرَّ، ثم استخدمِ المسطرةَ في قياسِ ارتفاعِ الجزءِ الظاهرِ منها فوقِ الماءِ ( $h_1$ ) والجزءِ المغمورِ ( $h_2$ )، وسجلْهُما في الجدولِ.

5. احسبْ حجمَ كلِّ من الجزءِ الظاهرِ ( $V_1$ ) والجزءِ المغمورِ ( $V_2$ ) من قطعةِ الجليدِ وسجلْهُما في الجدولِ.

6. إذا علمتَ أن متوسطَ كثافةِ الماءِ المالحِ ( $\rho_w = 1.03 \text{ g/cm}^3$ ) احسبْ كثافةَ الجليدِ ( $\rho_{ice}$ ) باستخدامِ العلاقةِ

الرياضية:

$$(V_2 \rho_w = V \rho_{ice})$$

الحجم (V cm <sup>3</sup> )	الارتفاع (h cm)	القطر (r cm)	
V = ..... cm <sup>3</sup>	h = ..... cm	r = ..... cm	أسطوانةُ الجليدِ
V <sub>1</sub> = ..... cm <sup>3</sup>	h <sub>1</sub> = ..... cm	r = ..... cm	الجزءُ الظاهرُ
V <sub>2</sub> = ..... cm <sup>3</sup>	h <sub>2</sub> = ..... cm	r = ..... cm	الجزءُ المغمورُ

## التحليل:

1. اعرضْ على زملائكِ الطريقةَ التي توصلَتَ خاللها إلى إيجادِ حجمِ قطعةِ الجليدِ وحجمِ الجزءِ المغمورِ منها وحجمِ الجزءِ الظاهرِ.

2. اعرضْ على زملائكِ طريقةَ حسابِ كثافةِ الجليدِ بمعرفةِ كثافةِ الماءِ المالحِ.

3. فسرْ طفوَ الجليدِ على سطحِ الماءِ معتمدًا على ظاهرةِ التمددِ الشاذِ للماءِ.

4. هل ستختلفُ نتائجُ التجربةِ عندِ ملءِ الحوضِ بالماءِ العذبِ؟ فسرْ إجابتكَ.

# مراجعة الدرس الأول

## الأفكار الرئيسية:

- تُوجَدُ المادة في الطبيعة في حالاتٍ ثلاثٍ؛ صلبةٌ وسائلةٌ وغازيةٌ، وتختلفُ صفاتُ المادة من حالةٍ إلى أخرى.
- نَمُوذجُ الحركةِ الجُزئيةِ يصفُ المادةَ بأنها تتكونُ من دقائقٍ (جزيئاتٍ أو ذراتٍ)، تفصلُ بينها مسافاتٌ مُحدّدةٌ. وتحتلُّ طاقةً حركيّةً وهي في حركةٍ مستمرةٍ وتتصادمُ مع بعضها.
- مقدارُ الطاقةِ الحركيةِ التي تمتلكُها دقاقيقُ المادة يعتمدُ على درجةٍ حرارتها، ويُحدّدُ الحالةُ التي تكونُ عليها المادةُ (سائلةٌ، أو صلبةٌ، أو غازيةٌ).
- المسافاتُ التي تفصلُ بين دقائقُ المادة تَعْتمدُ على حالةِ المادةِ، فالدقائقُ مُتقاربةٌ في الموادِ الصلبةِ، ويَزدادُ متوسطُ هذه المسافاتِ عندما تَتَحُولُ إلى الحالةِ السائلةِ، ثم الغازيةِ.
- تَضُعُفُ قُوى التَّرَابِطِ بين دقائقُ المادةِ كلما ارتفعتْ درجةُ حرارتها وزادَتِ الطاقةُ الحركيّةُ لدقائقها.
- الانصهارُ عمليةٌ تَحُولُ المادةَ من الحالةِ الصلبةِ إلى السائلةِ بتسخينها إلى درجةِ الانصهارِ.
- التَّجمُدُ عمليةٌ تَحُولُ المادةَ من الحالةِ السائلةِ إلى الحالةِ الصلبةِ بتبريدِها إلى درجةِ الانصهارِ.
- الغليانُ عمليةٌ تَحُولُ المادةَ السائلةَ إلى غازٍ عن طريقِ تسخينها إلى درجةِ الغليانِ.
- التَّبَخُرُ عمليةٌ تَحُولُ المادةَ السائلةَ إلى غازٍ وهو يَحدُثُ عند أيةٍ درجةٍ حرارةٍ دون درجةِ الغليانِ.
- التَّكَاثُفُ عمليةٌ تَحُولُ المادةَ من الحالةِ الغازيةِ إلى الحالةِ السائلةِ بتبريدِها إلى درجةِ الغليانِ.
- التَّبَلُورُ عمليةٌ تَجْمِعُ جزيئاتِ المادةِ الصلبةِ داخلَ محلولٍ وتقاربهَا من بعضِها حتى تُشكّلَ جسمًا صلبيًّا.
- التَّسَاميُّ عمليةٌ تَحُولُ المادةَ الصلبةَ عند تسخينها إلى غازٍ مباشرةً بسببِ طبيعةِ الروابطِ فيها.
- عند تَحُولِ المادةِ من صلبٍ إلى سائلٍ، تَزدادُ الطاقةُ الحركيّةُ لدقائقها وتَتَبَاعَدُ وتَقْلُلُ قُوى التَّرَابِطِ بينها.
- عند تَحُولِ المادةِ من سائلٍ إلى غازٍ، تَزدادُ الطاقةُ الحركيّةُ لدقائقها وتَتَبَاعَدُ بشكلٍ كبيرٍ وتَضُعُفُ قُوى التَّرَابِطِ بينها لتصبحَ شَبَهَ معدومةً.
- الحركةُ البراونيةُ حركةٌ عشوائيةٌ لدقائقِ الموادِ السائلةِ والغازيةِ في جميعِ الاتجاهاتِ.
- التَّمَدُّدُ الطوليُّ هو زيادةُ طولِ الجسمِ الصلبِ الناتجةُ عن تسخينه.
- التَّمَدُّدُ السطحيُّ هو زيادةُ مساحةً سطحِ الجسمِ الصلبِ الناتجةُ عن تسخينه.
- التَّمَدُّدُ الحجميُّ هو زيادةُ حجمِ الجسمِ الصلبِ الناتجةُ عن تسخينه.
- تمددُ السوائل هو زيادةُ حجمِ المادةِ السائلةِ عند تسخينها.
- التَّمَدُّدُ الشاذُ للماءِ هو نقصانُ حجمِ الماءِ عند تسخينه من درجةٍ  $0^{\circ}\text{C}$  إلى درجةٍ  $4^{\circ}\text{C}$ .

## تقويم الدرس الأول



1. اختر الإجابة الصحيحة في كلٍ مما يأتي:

أيٌّ من العبارات الآتية تصفُ الحالة الصلبة للمادة؟

a. دقائقها متباعدةٌ وتمتلكُ الكثير من الطاقة الحركية.

b. دقائقها متقاربةٌ وترتبطُ معًا بقوى ترابط كبيرةٌ.

c. عندما توضع في إناء فإنهما تتسلقُ بشكله.

d. عندما تتعرضُ للضغطِ تقاربُ دقائقها من بعضٍ.

ما العملية التي تفقدُ فيها دقائق (جزيئات أو ذرات) المادة الكثير من طاقتها الحركية وتقتربُ من بعضها

وتصبح متراسمةً بشكٍ مُنتظمٍ؟

a. التكاثفُ.

b. التجمُدُ.

c. الغليانُ.

d. الانصهارُ.

ما الذي يحدثُ لدقائق المادة عند تسخينها؟

a. تزدادُ سعةُ اهتزازها وتقلُ طاقتها الحركية.

b. تقلُ سعةُ اهتزازها وتقتربُ من بعضها.

c. تقلُ سعةُ اهتزازها وتقلُ قوى الترابط بينها.

d. تزدادُ سعةُ اهتزازها وتزدادُ طاقتها الحركية.

ما الفرقُ بين عمليتي الغليان والتَّبَخْرِ؟

a. يحدثُ الغليانُ عند درجة حرارة محددةٍ، ويحدثُ التَّبَخْرُ عند أيٍ درجة حرارة.

b. يحدثُ التَّبَخْرُ عند درجة حرارة محددةٍ، ويحدثُ الغليانُ عند أيٍ درجة حرارة.

c. الغليانُ يعني تحول السائل إلى غازٍ والتَّبَخْرُ يعني تحول الغاز إلى سائلٍ.

d. لا يحدثُ التَّبَخْرُ إلا عند درجة حرارة أعلى من درجة الغليان.

كيف يختلفُ تمددُ الماء عن المواد الأخرى؟

a. يزدادُ حجمهُ وتزدادُ كثافتهُ عند تسخينه من  $0^{\circ}\text{C}$  إلى  $4^{\circ}\text{C}$ .

b. يزدادُ حجمهُ وتقلُ كثافتهُ عند تسخينه من  $4^{\circ}\text{C}$  إلى  $0^{\circ}\text{C}$ .

c. يقلُ حجمهُ وتزدادُ كثافتهُ عند تسخينه من  $0^{\circ}\text{C}$  إلى  $4^{\circ}\text{C}$ .

d. يقلُ حجمهُ وتقلُ كثافتهُ عند تسخينه من  $0^{\circ}\text{C}$  إلى  $4^{\circ}\text{C}$ .

## تابع تقويم الدرس الأول

2. وَضَّحِّ المقصود بـنموذج الحركة الجزيئية واذكر فرضياته.

3. قارن بين الحالات الثلاث للمادة مُعتمدًا على نموذج الحركة الجزيئية، بإكمال الجدول الآتي:

نوع حركة الدقائق	المسافات بين الدقائق	تركيب المادة	الحالة
اهتزازية	.....	شكل ثابت وحجم ثابت	الصلبة
.....	صغيرة	.....	السائلة
.....	.....	.....	الغازية



4. قاسَ أَحْمَدُ ضَغْطَ الهَوَاءِ فِي إطاراتِ سِيَارَتِهِ فِي الصَّبَاحِ الْبَاكِرِ حِيثُ كَانَتْ دَرْجَةُ حَرَارَةِ الْجَوَّ  $18^{\circ}\text{C}$  فَوْجَدَهُ مُنَاسِبًا، وَبَعْدَ قَطْعِهِ مَسَافَةً كَبِيرَةً، قَاسَ الضَّغْطَ وَقَتَ الظَّهَرِ حِيثُ دَرْجَةُ حَرَارَةِ الْجَوَّ  $43^{\circ}\text{C}$  وَجَدَهُ قَدْ ازْدَادَ بِشَكْلٍ كَبِيرٍ. بَيْنَ سَبَبِ زِيادةِ الضَّغْطِ فِي الإطاراتِ، ثُمَّ فَسَرَ ذَلِكَ مُعْتمِدًا عَلَى نموذجِ الحركةِ الجزيئية.

5. قارن بين عملية الانصهار والتَّسامي، وبين سبب حدوث كلِّ مِنْهُما حسب نموذجِ الحركةِ الجزيئية.

6. وَضَّحِّ أهمية كلِّ من الإجراءات الآتية، مُبيِّنًا المَخاطرَ الَّتِي تَحَدُّثُ فِي حالِ إهمالِها:

a. تَرُكُ فراغاتٍ بين قُضبانِ سَكَةِ الْحَدِيدِ.

b. تَرُكِيبُ الأَسْلَاكِ النَّاقِلةِ لِلْكَهْرِيَاءِ فِي فَصِيلِ الصِّيفِ بِحِيثُ تَكُونُ غَيْرُ مَشَدُودَةِ.

c. تَرُكُ فراغٍ مناسِبٍ فِي عَبَوَاتِ المَاءِ وَالْعَصِيرِ الَّتِي يُمْكِنُ تَبَرِيدُهَا أَوْ تَجمِيدُهَا.

7. لاحظِ الشكل المجاور، الذي يُبيِّنُ كميَّةً من المادَّةِ انتقلَتْ مِنَ الْوَضْعِ (a) إِلَى الْوَضْعِ (b)، ثُمَّ أَجِبْ عن

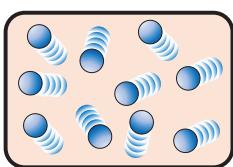
الأسئلة الآتية:

a. قارن بين درجة حرارة المادة في الوضعين.

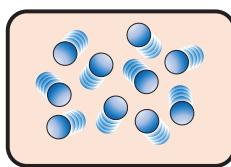
b. بَيْنَ مَا حَدَثَ لِلمسافةِ بَيْنَ الدَّقَائِقِ وَاتساعِ اهتزازِها؟

c. بَيْنَ مَا حَدَثَ لِلطاقةِ الحركيةِ لِلدَّقَائِقِ وَقُوَّةِ التَّرَابِطِ بَيْنَهَا؟

d. كيف تحولت المادة من الوضع (a) إلى الوضع (b)؟ فسر إجابتك.



الوضع (b)



الوضع (a)

## تابع تقويم الدرس الأول

8. عندما نظر العالم روبرت براون من خلال المجهر إلى حبوب اللقاح الطافية على سطح الماء، لاحظ أنها في حالة حركة عشوائية مستمرة. واعتقد أن سبب حركتها أنها كانت خلايا حية. لكن علماء آخرين فسروا سبب هذه الحركة بشكل صحيح. موضعين الخطأ الذي وقع فيه العالم براون.

a. ماذا سُمِّيت هذه الحركة العشوائية لحبوب اللقاح والدقات الصغيرة الأخرى المشاهدة لها؟

b. كيف فَسَرَ العلماء سبب هذه الحركة؟ ولماذا لا يمكن رؤية الأشياء المسَبِّبة للحركة؟

c. أذكر مثلاً آخر على دقائق صغيرة أخرى تتحرك بهذه الطريقة.

9. عند تركيب حشوات الأسنان يُراعي أن تكون مصنوعةً من مادةٍ تُشبه عظام الأسنان في مقدار تمددِها عند تناول الأطعمة والمشروبات الساخنة. بين ما يحدث للسن وللحشوة في كل من الحالتين الآتيتين:

a. إذا تمددت الحشوة بمقدار أكبر من تمدد عظام السن.

b. إذا تمددت الحشوة بمقدار أقل من تمدد عظام السن.

10. من الأمور المهمة بالنسبة لسلامة البناء تصنيع مادة خرسانية تمددُها يُماثل تمدد الحديد. ما الذي تتوقع أن يحدث للبناء إن كان تمددُ مادة الخرسانة مختلف عن تمدد الحديد؟

# الطاقةُ الحراريَّةُ ودرجةُ الحرارةُ

## Thermal Energy and Temperature

### الدَّرْسُ الثَّانِي

P1006



تُعدُّ الحرارةُ عاملًا رئيسيًّا من أجل استمرارِ الحياةِ على سطحِ الأرضِ وهي أحد الأشكالِ الأساسيةِ للطاقةِ، وقد تطورت معرفةُ الإنسانِ بالحرارةِ مع الزَّمنِ حتى أصبحتُ في عصْرِنا الحاليِّ علمًا قائمًا بذاته، يُؤثِّرُ في جوانبِ الحياةِ المختلفةِ، فالحرارةُ تَلْعَبُ دورًا مهمًا ورئيسيًّا في حياتنا وفي التَّطويراتِ التَّكنولوجيةِ والصناعيَّةِ وفي الطبيعَةِ كذلك مثلَ حدوثِ الرياحِ والأمطارِ وتغييرِ الفصولِ. وسنتناولُ في هذا الدرسِ كلاً من درجةِ الحرارةِ، والحرارةِ، والطاقةِ الحراريَّةِ، وظاهرةِ الاتزانِ الحراريِّ إضافةً إلى مقاييسِ درجةِ الحرارةِ وأنظمتها والتحويلاتِ بين تلك الأنظمةِ.

#### المفرداتُ الرَّئيسيَّةُ

Heat	الحرارةُ
Temperature	درجةُ الحرارةِ
Thermal energy	الطاقةُ الحراريَّةُ
Thermal equilibrium	الاتزانُ الحراريُّ
Absolute zero	الصفر المطلق
Thermocouple	المزدوجُ الحراريُّ

#### التَّجَارِبُ وَالْأَنْشِطَةُ

5-3 التَّمييزُ بين درجةِ الحرارةِ والطاقةِ الحراريَّةِ.

6-3 استقصاءُ درجةِ الصفرِ المطلقِ للهواءِ عمليًّا.

#### مُخْرَجَاتُ التَّعْلِيمِ

يتوقعُ في نهايةِ الدرسِ أنْ يكونَ الطالبُ قادرًا على أنْ:

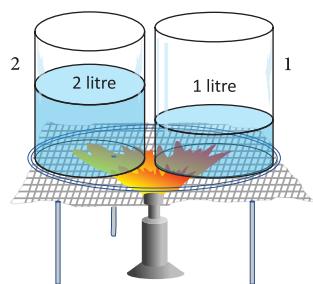
- يتذكرُ أنَّ درجةَ حرارةَ المادةِ هي مقياسٌ لمتوسطِ الطاقةِ الحركيةِ لجزيئاتها بسبِبِ حركتها العشوائيةِ.
- يوضحَ ممَّا يتراكبُ مقياسُ درجةِ الحرارةِ (ميزانِ الحرارةِ).
- وكيفُ يمكنُ التحويلُ بينَ مقاييسِ درجاتِ الحرارةِ المختلفةِ.
- يصفَ الطاقةَ الحراريَّةَ المُخزَّنةَ في جسمٍ على أنها طاقةُ الجزيئاتِ الكليَّةِ بسبِبِ حركتها العشوائيةِ.

**نشاط 5-3****التمييز بين درجة الحرارة والطاقة الحرارية**

<b>الأهداف:</b> يُميّز بين درجة الحرارة والطاقة الحرارية.	
<b>الأدوات:</b> دورقان زجاجيان سعة كلٍّ منها 500 ml، لهبٌ بنسن، مقياسٌ حرارةٌ عدد 2، ماءٌ، مخبرٌ مُدرجٌ.	
<b>الأمن والسلامة:</b> الحذر عند التعامل مع لهبٌ بنسن والماء الساخن.	

**الخطوات:**

1. بالتعاون مع أفراد مجموعتك نَفِذ الخطوات الآتية:



2. ضَعْ في الدورق الأول 300 ml ماءً وفي الدورق الثاني 100 ml من الماء نفسه مستخدماً المِخبرَ المُدرجَ.
3. قِسْ درجة حرارة الماء في كُلِّ من الدورقين باستخدام مقياسِي الحرارة التي يجب أن تكون متساويةً، وسَجِّل القراءاتِ في الجدولِ.
4. سخّن الدورقين على اللهِبِ نفسه، كما في الشكِل لفترة زمِنِيةٍ حوالي 5 min ثم أطفئِ اللهِبَ، وقِسْ درجة حرارة الماء في الدورقين وسَجِّل القراءاتِ في الجدولِ.

رقم الدورق	كمية الماء	درجة حرارة الماء قبل التسخين (متساوية في الدورقين)	درجة حرارة الماء بعد التسخين	درجة حرارة الماء بعد التسخين
الأول				
الثاني				

**التحليل:**

1. ما العلاقةُ بين كمية الماء في كُلِّ من الدورقين ودرجة الحرارة النهائية بعد التسخين؟
2. هل كانت الطاقةُ الحراريةُ التي تم تزويدُ الدورقين بها متساويةً أم مختلفةً؟ وهل درجة حرارة الماء في الدورقين بعد التسخين متساويةً؟ ماذا تُستنتجُ؟
3. كيف يُمكِّنُ رفع درجة حرارة الماء في الدورق الثاني لتصل إلى درجة الحرارة نفسها في الدورق الأول؟

## الحرارةُ والطاقةُ الحراريةُ Heat and Thermal Energy

إذا ذكرتَ يديكَ ببعضِهما سُتلاحظُ أنَّ حرارَتهما ارتفعتْ؛ حيثُ تَحولَتِ الطاقةُ الحركيةُ إلى حرارة، وبما أنَّ الطاقةَ لا تُفنى ولا تُستحدثُ فيَمُكننا تفسيرُ ما حدثَ على أساسٍ واحدٍ وهو أنَّ الحرارةَ شكلٌ من أشكال الطاقةِ، وقد أثبتَ العالمُ جيمس جول James Joule في منتصفِ القرنِ التاسعِ عشرَ عامَ 1843 أنَّ الحرارةَ طاقةً. ولكنْ ما الفرقُ بينَ الحرارةَ والطاقةَ الحراريَّةِ؟

بِحسبِ نموذجِ الحركةِ الجزيئيةِ، فإنَّ جزيئاتِ المادَّةِ أو ذراتِها تكونُ في حالةِ حركةٍ عشوائيةٍ مستمرةٍ وهذا يعني أنَّ جزيئاتِ المادَّةِ تمتلكُ طاقةً حركيةً، ويُطلقُ على مجموعِ الطاقةِ الحركيةِ الكليةِ التي تمتلكُها جميعُ جزيئاتِ المادَّةِ معاً نتائجَ حركةِها المستمرةِ بالطاقةِ الحراريَّةِ Thermal Energy. وتُقاسُ الطاقةُ الحراريَّةُ بِوحدةِ الجُولِ (J) وفقَ النَّظامِ الدوليِّ للوحداتِ، وهناكَ وحداتٌ أخرىُ استخدِمتُ قبلَ الجُولِ وما زالتُ تُستخدمُ حتى الآنَ، وهي مُبيَّنةُ في الجدولِ (3-3).

العلاقة بين الوحدات	الوحدة	المجال/النظام
$1\text{cal}=4.19\text{ J}$	سُعرٌ حراريٌّ calorie(cal)	المجال العلمي
$1\text{BTE}=253\text{ J}$	British Thermal Energy (BTE)	النظامُ البريطاني
$1\text{Cal}=1000\text{ cal}$	Calorie (Cal)	المجال الصحيُّ وال الغذائيُّ

جدول 3-3: وحداتٌ مُستخدمةٌ في قياسِ الطاقةِ الحراريَّةِ

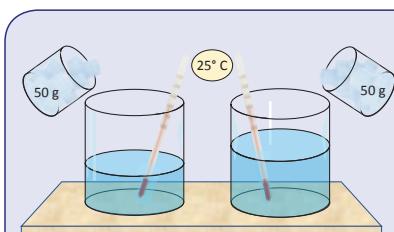


الشكل 3-3: احتراق الورقة يُنتج طاقة.

يُعدُّ الجُولُ من الناحيةِ العمليَّةِ وحدَةً صغيرَةً جداً لقياسِ الطاقةِ، فالطاقةُ الناتجةُ عن حرقِ ورقَةٍ كما في الشكلِ (3-3)، تُساوي J 8000 تقريباً.

وبحسبِ نموذجِ الحركةِ الجزيئيةِ، فإنه كلما كان عددُ جزيئاتِ المادَّةِ أكثرَ (الكتلةُ أكبرُ)، تكونُ الطاقةُ الحراريَّةُ المخزَّنةُ في المادَّةِ أكبرَ، وكلما ارتفعتْ درجةُ حرارةِ المادَّةِ زادتْ سرعةُ حركةِ جزيئاتها وزادتْ طاقتها الحركيةُ وهذا يعني زيادةً طاقتها الحراريَّةِ.

نَستنتجُ مما سبقَ أنَّ الطاقةَ الحراريَّةَ المخزَّنةَ في جسمٍ تعتمدُ على كتلةِ الجسمِ (عددِ جزيئاتِ المادَّةِ) وعلى درجةِ حرارةِ الجسمِ (متوسطُ الطاقةِ الحركيةِ للجزيئاتِ).



في أيِّ الوعاءينِ في الشكلِ (24-3) ينصلِّحُ الثلجُ بشكلٍ أسرعَ في الماءِ؟ ولماذا؟



الشكل 3-24: سرعة انصهار الثلج في الوعاءينِ.

جيمس بريسكوت جول عالم فيزيائي إنجليزي (1818-1891) تستند شهرته إلى أبحاثه في مجال الحرارة إضافةً إلى الكهرباء، وله دراساتٌ وابحاثٌ وتجاربٌ عديدةٌ في مجالِ الشغلِ والطاقةِ الحراريَّةِ وسميت وحدةُ قياسِ الطاقةِ والشغلِ (جول) باسمِه تكريماً له.



إذا أردت أن تشرب فنجانًا ساخنًا من الشاي وأمسكت بالفنجر بيديك كما في الشكل (3-25) فإنك تشعر بالحرارة في يدك، إن درجة حرارة فنجان الشاي المرتفعة تعني امتلاك الفنجان طاقة حرارية كبيرة، وبما أن درجة حرارة الفنجان عالية ودرجة حرارة يدك معتدلة فإن جزءاً من الطاقة الحرارية انتقلت على شكل حرارة من الفنجان إلى يدك بينما تشعر بالبرودة عند امساك كأس باردة بسبب انتقال الحرارة من يدك إلى الكأس؛ لذا تعرف الحرارة heat بأنها الطاقة الحرارية التي تنتقل بين مادتين عند تلامسهما معًا، نتيجة لاختلاف درجتي حرارة المادتين؛ حيث تنتقل الحرارة من المادة ذات درجة الحرارة الأعلى إلى المادة ذات درجة الحرارة الأدنى، أي أن الطاقة الحرارية تنتقل بين المواد على شكل حرارة؛ لذا تعرف درجة الحرارة بأنها خاصية تحدّد اتجاه انتقال الحرارة بين جسمين عند تلامسهما.

الشكل 3-25: انتقال الحرارة من الفنجان إلى اليد.

درجات الحرارة هي أحد الكميات الفيزيائية الأساسية التي درسها في النظام الدولي للوحدات، فهي مقاييس لحالة الجسم من حيث السخونة والبرودة. نلاحظ في الشكل (3-26) أن الماء البارد ذو درجة الحرارة المنخفضة تكون حركة جزيئاته بطيئة؛ وبالتالي فهي تمتلك مقداراً قليلاً من الطاقة الحركية، ولكن عند تسخين الماء ترتفع درجة حرارة الماء فتزداد سرعة حركة جزيئاته وبالتالي تزداد الطاقة الحركية لتلك الجزيئات؛ لذا يمكن تعريف درجة الحرارة Temperature بأنها مقاييس لمتوسط الطاقة الحركية لجزيئات المادة أو ذراتها، وهي لا تعتمد على عدد جزيئات المادة، وتختلف تماماً عن الطاقة الحرارية التي تمثل المجموع الكلي للطاقة الحركية لجميع جزيئات المادة، كما سبق تعريفها.

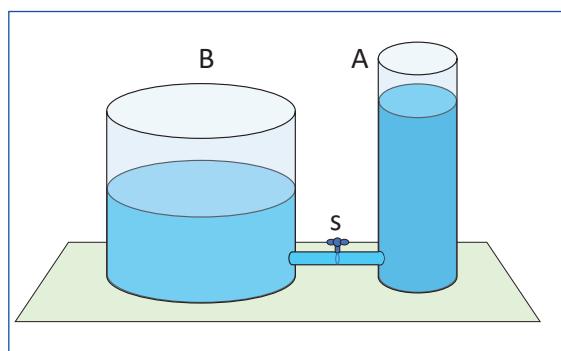
## درجة الحرارة Temperature

درجة الحرارة إحدى الكميات الفيزيائية الأساسية التي درسها في النظام الدولي للوحدات، فهي مقاييس لحالة الجسم من حيث السخونة والبرودة. نلاحظ في الشكل (3-26) أن الماء البارد ذو درجة الحرارة المنخفضة تكون حركة جزيئاته بطيئة؛ وبالتالي فهي تمتلك مقداراً قليلاً من الطاقة الحركية، ولكن عند تسخين الماء ترتفع درجة حرارة الماء فتزداد سرعة حركة جزيئاته وبالتالي تزداد الطاقة الحركية لتلك الجزيئات؛ لذا يمكن تعريف درجة الحرارة Temperature بأنها مقاييس لمتوسط الطاقة الحركية لجزيئات المادة أو ذراتها، وهي لا تعتمد على عدد جزيئات المادة، وتختلف تماماً عن الطاقة الحرارية التي تمثل المجموع الكلي للطاقة الحركية لجميع جزيئات المادة، كما سبق تعريفها.



الشكل 3-26: حركة جزيئات الماء البارد والماء الساخن.

ويمكن تشبّه الفرق بين درجة الحرارة والطاقة الحرارية للجسم بالفرق بين مستوى الماء في الإناء وكميته؛ حيث إن ارتفاع مستوى الماء يُشبه درجة الحرارة، وكمية الماء تُشبه الطاقة الحرارية. يُبيّن الشكل (3-27) إثنين فيما كميتان مختلفان من الماء، وارتفاع مستوى الماء مختلف في كلِّ إناء. عند فتح الصنبور (s) ينتقل الماء من الإناء A ذي الارتفاع الأعلى إلى الإناء B ذي الارتفاع الأدنى حتى يتتساوى مستوى الماء في الإناءين، عندئذٍ لا تتساوى كمية الماء في الإناءين وتتصبّح كمية الماء في B أكبر من كمية الماء في A.



الشكل 3-27: انتقال الماء من المستوى المرتفع إلى المستوى المنخفض.

وكذلك الحال بالنسبة للطاقة الحرارية عند تلامس جسمين مختلفين في درجة الحرارة، فإنّها تنتقل من الجسم ذي درجة الحرارة الأعلى إلى الجسم ذي درجة الحرارة الأدنى حتى تتساوى درجتا حرارة الجسمين، وعندئذٍ قد لا تتساوى الطاقة الحرارية في كلِّ من الجسمين كما هو الحال في كمية الماء.

وتُجدر الإشارة هنا إلى أن الطاقة الحرارية التي يفقدُها الجسم الساخن تُساوي الطاقة الحرارية التي يكتسبُها الجسم البارد؛ بحيث يكون مجموع الطاقة الكلية في النظام ثابتاً، قبل الانتقال وبعده، عندما لا يحدث ضياع في الطاقة، ويتفق هذا مع مبدأ حفظ الطاقة، وعندما يُوصف النظام المكوّن من الجسمين المتلامسين بأنه نظام حراري مغلق.



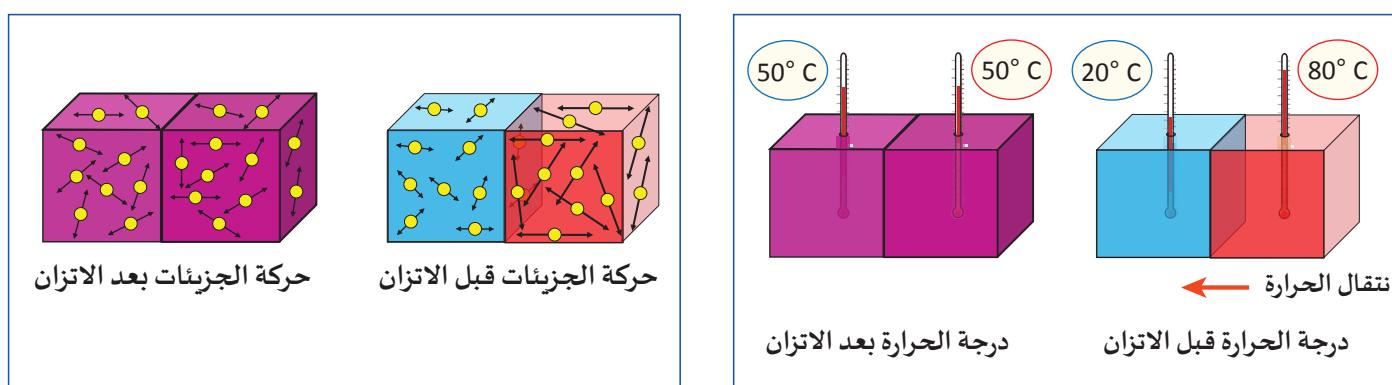
1. فَسِّر اختلاف درجتي حرارة الماء في دورقين يحتويان كميتين مختلفتين من الماء، كما في النشاط (3-5)، رغم تزويدهما بكميتين متساويتين من الطاقة الحرارية.
2. إذا كان لديك دورقان يحتويان كميتين مختلفتين من الماء ولهمما درجة الحرارة نفسها، أي منها يمتلك طاقة حرارية أكبر؟

## الاتزان الحراري Thermal Equilibrium

عند إضافة كمية من الحليب البارد إلى كوب من القهوة الساخن، أو عند تبريد علبة عصير دافئة بوضعها في ماء مثلاج أو عند وضع قطعة حديد ساخنة جداً في كمية من الماء البارد، فإن الطاقة الحرارية تنتقل من القهوة الساخنة إلى الحليب البارد ومن علبة العصير إلى الماء المثلج ومن قطعة الحديد الساخنة إلى الماء البارد على شكل حرارة. ولكن إلى متى يستمر انتقال تلك الطاقة؟

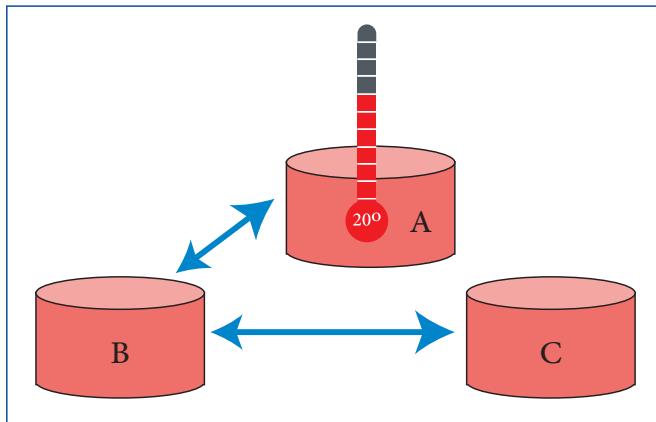
في الشكل (a/28-3) مكعبان متساويان في الحجم من مادتين من النوع نفسه أحدهما درجة حرارته  $80^{\circ}\text{C}$  والآخر  $20^{\circ}\text{C}$  عند ملامستهما معًا، تنتقل الطاقة الحرارية من المكعب ذي درجة الحرارة الأعلى إلى المكعب ذي درجة الحرارة الأدنى. ويستمر انتقال الطاقة الحرارية حتى تتساوى درجة حرارة الجسمين؛ حيث يحدث في هذه الحالة اتزان حراري وتُصبح درجة حرارة الجسمين بعد الإتزان أكبر من  $20^{\circ}\text{C}$  وأقل من  $80^{\circ}\text{C}$ ، أي ما بين قيمتي درجتي حرارة الجسمين قبل الإتزان، حسب نوع وكتلة المادة التي يتكون منها الجسمان المتلامسان، والشكل (b/28-3) يُبيّن حركة جزيئات المادتين قبل الاتزان وبعدده.

يمكن تعريف الاتزان الحراري Thermal Equilibrium بأنه الحالة التي يصل إليها جسمان مختلفان في درجتي حرارةهما بعد تلامسهما معًا وحدوث انتقال في الطاقة الحرارية بينهما من الجسم الأعلى درجة حرارة إلى الجسم الأدنى درجة حرارة؛ حتى يتساوا في درجة الحرارة. وكلما كان الفرق في درجتي حرارة الجسمين أكبر كان مقدار الحرارة التي تنتقل بينهما في وحدة الزمن أكبر، بغض النظر عن العوامل الأخرى. وعند حدوث الاتزان الحراري تكون الطاقة الحرارية المفقودة تساوي الطاقة الحرارية المكتسبة (عندما يكون النظام معزولاً).



شكل: a: تغيير درجة الحرارة المادة قبل وبعد الاتزان الحراري، b: تغيير سرعة حركة جزيئات المادة قبل وبعد الاتزان الحراري.

ثلاثة أجسام A، B، C موضحة كما في الشكل (30-3). إذا كان الجسم A في حالة اتزان حراري مع الجسم B، وكان الجسم B في حالة اتزان حراري مع الجسم C. فما درجة حرارة الجسم C؟



الشكل 30-3: الاتزان الحراري بين عدة أجسام.

مثال 2

بما أنَّ الجسم A في حالة اتزان حراري مع الجسم B، فإنَّهما متساويان في درجة الحرارة أي أنَّ درجة حرارة الجسم B تساوي  $20^{\circ}\text{C}$ ، وبما أنَّ الجسم B في حالة اتزان حراري مع الجسم C فإنَّ درجة حرارة الجسم C تساوي  $20^{\circ}\text{C}$ .

الحلُّ



1. في المثال السابق هل تتوقع أن يكون الجسم C في حالة اتزان حراري مع الجسم A؟
2. ما الذي يحدث لكلٍ من الطاقة الحرارية ودرجة الحرارة ومتوسط سرعة حركة الجزيئات في علبة عصير درجة حرارتها  $5^{\circ}\text{C}$  عند وضعها في غرفة درجة حرارة الهواء فيها  $25^{\circ}\text{C}$ ؟

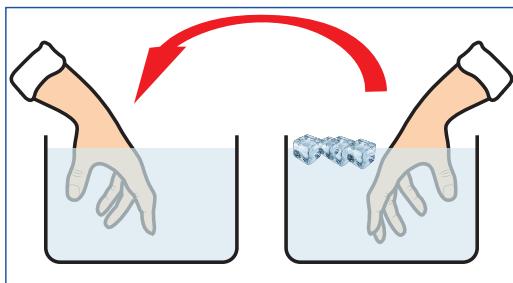


## مقياس درجة الحرارة Temperature Scale

نستخدم حاسة اللمس لدينا في حالاتِ ومواقف يومية كثيرة للتمييز بين الأجسام الساخنة والباردة، فمثلاً نضع اليد على جبين الطفل المريض لمعرفة درجة حرارة جسمه. لكن هل حاسة اللمس باليد تُعد مقياساً دقيقاً لدرجة حرارة الطفل؟ ما رأيك في طريقي قياس درجة الحرارة في الشكل (30-3).

الشكل 30-3: قياس درجة حرارة المريض.

إذا وضعت يدك اليميني في كأسٍ فيها ماءٌ باردٌ ويدك اليسرى في كأسٍ آخرٍ فيها ماءٌ دافئٌ كما في الشكل (31-3)، فإنك تُحسُّ ببرودة الماء بيده اليميني ودفعها بيده اليسرى.

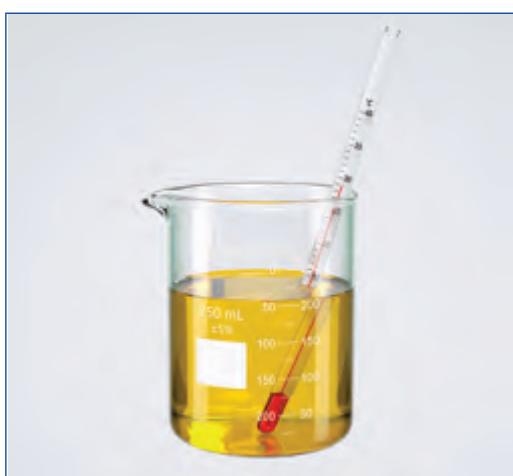


**الشكل 31-3:** أثر حالة اليد على قياس الحرارة.  
فإذا أخرجت يدك اليميني ووضعتها مباشرةً في الماء الدافئ مع يدك اليسرى فكيف تشعر؟ لا شك أنك ستشعر بيده اليميني أن الماء ساخن، بينما لا تزال يدك اليميني تَحْسُّ دافئاً؛ رغم أن درجة حرارة الماء نفسها في الكأس. هذا أحد الأدلة على عدم دقة حاسة اللمس باليد في تحديد درجة حرارة الأجسام؛ لذا كان لا بد من استخدام مقاييس حرارة أكثر دقة وثبات في قياس درجات الحرارة. وبشكل عام يعتمد مبدأ عمل معظم أجهزة قياس درجات الحرارة على خاصية فيزيائية للمادة المستخدمة في مقاييس الحرارة، تتغير بتغيير درجة حرارة تلك المادة.

يُعرف مقياس درجة الحرارة **Thermometer Scale** بأنه جهاز يستخدم لقياس درجة الحرارة ويعتمد عمله على خاصية فيزيائية تتغير بشكل واضح ومحدد ومنتظم بتغيير درجة الحرارة. كالتَّمُدد الحراري أو التَّغِير في المقاومة الكهربائية أو الجهد الكهربائي، ويُدرج مقياس الحرارة بناءً على هذا التَّغِير المنتظم.

يُعد مقياس الحرارة الزئبقي من أشهر أجهزة قياس الحرارة وأقدمها، وقد اخترعه العالم فهرنهايت Gabriel Fahrenheit؛ حيث اعتمد في تصميمه على خاصية التَّمُدد الحجمي لسائل الزئبق، وقد تم تطوير مقياس الحرارة الزئبقي على يد العالم رومر Romer ولا يزال هذا المقياس مستخدماً حتى وقتنا الحاضر.

عند استخدام مقياس الحرارة لقياس درجة حرارة مادة معينة، نضع طرف المقياس داخل المادة كما في الشكل (32-3) وننتظر حتى يصل المقياس إلى حالة اتزان حراري مع المادة، وعندها يمكننا قراءة درجة الحرارة بدقة؛ حيث يحدث اتزان حراري بين المادة والميزان؛ نتيجة انتقال الطاقة الحرارية بينهما من الأعلى إلى الأدنى في درجة الحرارة.



تتنوع أجهزة قياس درجة الحرارة في أشكالها وتركيبها وطريقة عملها ومدى درجات الحرارة التي تقيسها، وتختلف في وحدات درجة الحرارة وذلك حسب متطلباتنا وحاجاتنا، ومن أبرز أجهزة قياس درجات الحرارة المعروفة:

**الشكل 32-3:** قياس درجة الحرارة.

## 1. مقياس الحرارة السائل Liquid Thermometer

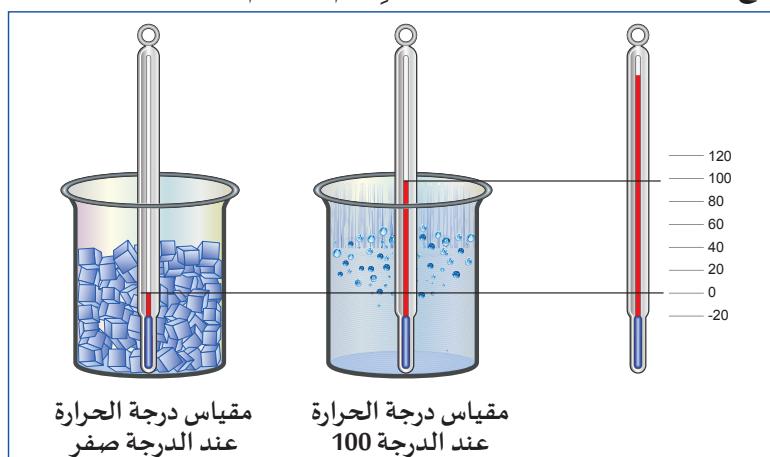
مقياس الحرارة السائل يُعد من أكثر الأنواع شيوعاً خاصةً في الاستخدامات المنزلية والطبية، ويترَكَبُ من ساقٍ زجاجيٍّ شفافٍ بداخلها تجويفٌ رفيعٌ مغلقٌ طرفيَن، كما في الشكل (33-3)، يُشكِّلُ مجرى السائل، وينتهي أحدُ طرفيه بمستودعٍ صغيرٍ مملوءٍ بسائلٍ مناسبٍ مثل الزئبقي، ويرسمُ على الساقِ الزجاجيِّ التَّدْرِيجُ المناسبُ حَسَبَ اسْتِخْدَامِه.



الشكل 33-3: تركيب مقياس درجة الحرارة الزئبقي.

يعتمد مبدأ عمل مقياس الحرارة السائل على التَّغْيُيرِ المتنظم لحجمِ السائل مع تَغْيُيرِ درجةِ الحرارة، فعندما ترتفع درجةُ حرارةِ السائل بداخلِ مستودعِ المقياسِ يتَمَددُ السائلُ فيزيادةً حجمه، وبما أنَّ السائلَ محصورٌ في مجرىٍ ضيقٍ ذي مقطعٍ عرضيٍ ثابتٍ، فإنَّ تَمَددَ السائلِ يؤدي إلى تَغْيُيرِ ارتفاعِه في المجرى؛ بحيثُ يتناسبُ التَّغْيُيرُ في كُلِّ من حجمِ السائلِ وارتفاعِه في الأنوبِ مع ارتفاعِ درجةِ الحرارة، وتكونُ العلاقةُ بين درجةِ الحرارة وارتفاعِ عمودِ السائلِ علاقةً خطيةً ضمنَ مجالاتٍ معينةٍ من درجةِ الحرارة التي يستخدمُ عنها المقياس؛ هذه العلاقةُ الخطيةُ تجعلُ معايرةً مقياسِ درجةِ الحرارة وتَدْرِيجَهُ مُهمَّةً سهلَةً نسبياً.

يعايرُ مقياسُ درجةِ الحرارة نسبةً إلى درجةِ حرارة محددةٍ ومُعروفة، وقد تم اعتماد درجةِ تَجْمُدِ الماءِ النقيِّ ودرجةُ غليانِه عند الضغطِ الجويِّ 1 atm؛ حيثُ يُوضعُ مقياسُ درجةِ الحرارة في مزيجٍ من الماءِ والجليدِ لفترةٍ حتى يستقرَّ ارتفاعُ السائلِ في المقياسِ. وتُوضَعُ علامَةُ 0° C، انظرِ الشكل (34-3). ثم يُوضعُ المقياسُ في ماءٍ يغلي لفترةٍ حتى يستقرَّ ارتفاعُ السائلِ في المقياسِ، وتُوضَعُ علامَةُ 100° C على المقياسِ ثم تُقسمُ المسافةُ بين هاتين



الشكل 34-3: معايرة مقياسِ درجةِ الحرارة السائل.

العلامتين إلى 100 مسافةً متساويةً كلُّ مسافةً تمثلُ درجةً سلسليوسً واحدًةً.

يتَمُّ اختيارُ السائلِ في المقياسِ بحيثُ يَتَغَيَّرُ حجمه بسرعةٍ عند أيِّ تَغْيُيرٍ طفيفٍ في درجةِ الحرارة، أيَّ أنَّ حجمُ السائلِ يتَمَددُ أو يتَقلَّصُ عند أيِّ ارتفاعٍ أو انخفاضٍ في درجةِ الحرارة مهما كان صغيراً. وأفضلُ سائلٍ من حيثُ دقةِ المقياسِ وسرعةِ استجابته للتَّغييرِ في درجةِ الحرارة، هو

الزئبقي ولكن بسبب خطورته كونه سائلاً ساماً، يستعارض عنه بسائلٍ كحولي ملون. وتوجد أشكال عدّة لمقاييس الحرارة السائل نذكر منها:

**المقياس الزئبقي:** مدى درجات الحرارة التي يمكن قياسها بواسطته كبير؛ حيث إن درجة تجمد الزئبقي (C-39°) ودرجة غليانه (357° C) وهذه ميزة من ميزات الزئبقي إضافة إلى ميزات أخرى.

**المقياس الكحولي:** مدى درجات الحرارة التي يمكن قياسها أقل من الزئبقي؛ حيث إن درجة تجمد الكحول (C-115°) ودرجة غليانه (79° C) والجدول (4-3) يبيّن خصائص كل من مقاييس الحرارة الزئبقي والكحولي.

مقاييس الحرارة الكحولي	مقاييس الحرارة الزئبقي
عديم اللون؛ لذا يُصبغ باللون الأحمر أو الأزرق.	فضي اللون يمكن رؤيته.
يستغرق وقتاً أطول للاستجابة للتغيير درجات الحرارة.	يستجيب بسرعة كبيرة للتغيير درجات الحرارة.
مدى درجات الحرارة التي يمكن قياسها قليل.	مدى درجات الحرارة التي يمكن قياسها كبير.
درجة غليانه منخفضة 79° C	درجة غليانه عالية 357° C
درجة تجمده منخفضة -115° C	درجة تجمده عالية -39° C
يلتصق بالزجاج ولكن بدرجة قليلة جدًا.	لا يلتصق بالزجاج.
السائل آمن.	السائل خطير (سام).
تكلفته منخفضة.	تكلفته عالية.

جدول 4-3: مقارنة بين خصائص مقاييس الحرارة الزئبقي والكحولي.

وحيث إن درجة حرارة جسم الإنسان تقع ضمن مدى القياس لكل من المقاييس؛ فإنه يمكن استخدام أيٍ منها لقياس درجة حرارة جسم الإنسان؛ حيث يُدرج مقياس الحرارة الطبي من C 35° إلى C 42° وتكون دقتُه بمقدار C 0.1°.

## 2. مقياس الحرارة الكهربائي Electrical Thermometer

يعتمد مبدأ عمله على خاصية فيزيائية أخرى لقياس درجة الحرارة، هي التغير المنتظم في المقاومة الكهربائية أو فرق الجهد الكهربائي بتغيير درجة الحرارة، ويستخدم هذا النوع لقياس درجات الحرارة العالية جداً إضافةً إلى الدرجات المنخفضة جداً، وهناك نوعان منه هما:



الشكل 35-3: المزدوج الحراري.

a. **المزدوج الحراري Thermocouple** مبدأ عمله يعتمد على التغير المنتظم في فرق الجهد الكهربائي بتغيير درجة الحرارة، ويستخدم في الصناعات والمخبرات ولقياس درجات الحرارة العالية التي تصل أحياناً إلى  $2800^{\circ}\text{C}$ . وهو سهل الاستخدام وتكلفته قليلة وصلب يصعب كسره، ولكن حساسيته منخفضة. انظر الشكل (35-3).

b. **مقياس المقاومة الكهربائية Electrical Resistance Thermometer** ومبدأ عمله يعتمد على التغير المنتظم في مقدار المقاومة الكهربائية لسلك معدني - يكون عادة من البلاatin - بتغيير درجة الحرارة، وهو عالي الدقة ويستخدم لضبط جميع أنواع المقياس الأخرى. ويتراوح مدى درجات الحرارة التي يقيسها بين الدرجتين  $250^{\circ}\text{C}$  و  $960^{\circ}\text{C}$  ، لكن تكلفته عالية نسبياً ويحتاج إلى بطارية لتشغيله.

## 3. مقياس الحرارة الرقمي Digital Thermometer

المقياس الرقمي حالياً هو الأكثر انتشاراً خاصةً في الاستخدامات المنزلية والطبية كونه أكثر أمناً وأسهل استخداماً؛ حيث تظهر درجة الحرارة على شكل أرقام. وتعمل هذه المقياس على مبادئ متعددة منها تغيير خاصية المقاومة الكهربائية، الجهد الكهربائي، والأشعة المنبعثة من الأجسام. انظر الشكل (36-3).



الشكل 36-3: أشكال مختلفة من المقياسات الرقمية.



#### 4. مقياس الحرارة الإشعاعي Radiation Thermometer

يُعمل على مبدأ كشف الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من الجسم المراد قياس درجة حرارته بواسطة كاشف الأشعة، كما في الشكل (37-3) حيث تتناسب طاقة تلك الأشعة مع درجة حرارة المصدر، ويتميز بأنه يُستخدم عن بعد دون الحاجة إلى التلامس مع الجسم المراد قياس درجة حرارته، ويتراوح مدى درجات الحرارة التي يقيسها من الدرجة  $^{\circ}\text{C}$  30- إلى الدرجة  $^{\circ}\text{C}$  650. ويُستخدم هذا النوع لقياس درجة حرارة جسم الإنسان بتوجيهه داخل الأذن أو على الجبين.



الشكل 37-3: مقياس الحرارة الإشعاعي.

#### 5. مقياس البلورات السائلة Liquid Crystal Thermometer

تُستخدم فيه مجموعة مختلفة من البلورات السائلة مرتبةً بالتدريج لكل درجة حرارة، ويُعمل المقياس على مبدأ تغيير إصابة البلورات بتغير درجة الحرارة، وهو سهل وتكلفته قليلة ولكن إصابة البلورات خافتة، ويُوجد منها على شكل شريط يُستخدم لقياس حرارة الجسم. كما في الشكل (38-3).



الشكل 38-3: مقياس الحرارة/البلورات السائلة.

## أنظمة قياس درجات الحرارة Temperature Measuring Systems

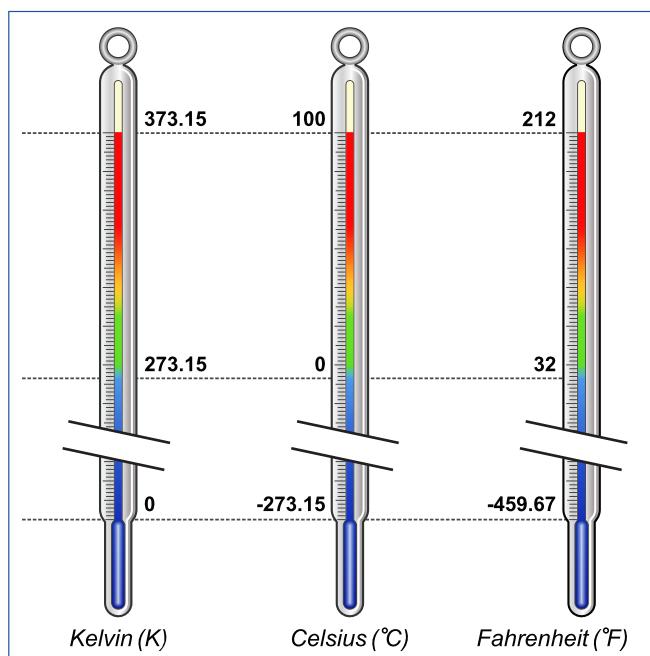
في الوقت الحاضر، ينتشر استخدام ثلاثة أنظمة لقياس درجات الحرارة، هي سلسليوس وفهرنهايت وكلفن. في حين أنه توجد أنظمة أخرى تستخدم للتعبير عن درجة الحرارة، منها رومر، رانكلن، نيوتون. وفي النظام الدولي للوحدات SI تستخدم «الكلفن» وحدة دولية لقياس درجة الحرارة، إلا أنه قد شاع استخدام نظام سلسليوس (المئوي) في قياس درجة الحرارة لسهولته وبساطته. وفيما يأتي توضيح للمقاييس الثلاثة لدرجات الحرارة المستخدمة في الوقت الحالي:

### 1. نظام فهرنهايت $(^{\circ}\text{F})$

صمم العالم الفيزيائي الألماني جابريل فهرنهايت Daniel Gabriel Fahrenheit عام 1724، وهو أول نظام لقياس درجات الحرارة، ويُرمز لهذا النظام بالرمز  $^{\circ}\text{F}$ ؛ حيث درجة تجمد الماء تحت الضغط الجوي  $(1 \text{ atm})$   $32^{\circ}\text{F}$  ودرجة غليان الماء  $212^{\circ}\text{F}$ ، وقسمت المسافة بينهما إلى 180 تدريجاً متساوياً كل تدرج يعادل درجة فهرنهايت واحدة. انظر الشكل (39-3).

### 2. نظام سلسليوس $(^{\circ}\text{C})$

صمم هذا النظام العالم السويدي أندرس سلسليوس Anders Celsius عام 1747، ويُرمز لهذا النظام بالرمز  $^{\circ}\text{C}$ ، ويعتمد في معايرة تدريجه على درجتي تجمد المياه وغليانه؛ حيث يصل الماء إلى التجمد تحت الضغط الجوي  $(1 \text{ atm})$  عند درجة حرارة صفر، ويصل إلى الغليان عند درجة حرارة 100، وقسمت المسافة بينهما إلى 100 تدرج متساوٍ كل تدرج يعادل درجة سلسليوس واحدة، ويُستخدم في معظم دول العالم ما عدا الولايات المتحدة الأمريكية التي تطبق نظام الفهرنهايت. انظر الشكل (39-3).



الشكل 39-3: أنظمة تدرج مقياس الحرارة الثلاث الفهرنهايت والسلسليوس والكلفن.

**إثاء:**

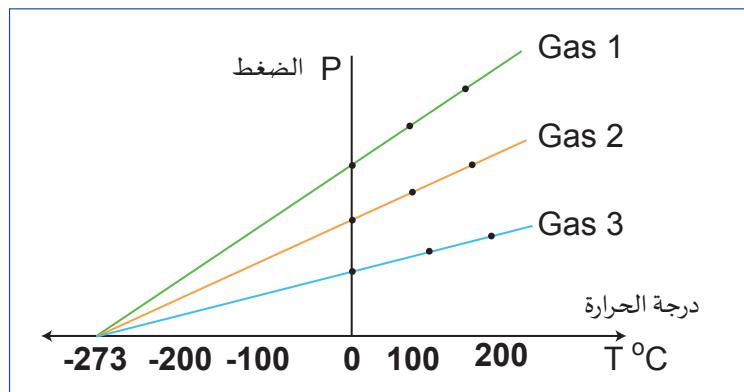
يعتقد العلماء أن درجة الصفر المطلق تُوجَدُ في أطراف الكون البعيدة جداً عن مصادر الطاقة، إلا أنه تم التوصل عملياً في المختبر إلى درجة حرارة قريبة من الصفر المطلق، عندما أمكن تبريد غاز الهيليوم إلى الدرجة  $272.2^{\circ}\text{C}$  التي تُعادل تقريباً  $0.95\text{ K}$  وتمثل درجة انصهار الهيليوم عند ضغط عالي جداً. وأقل درجة حرارة تم الوصول إليها لغاية الآن هي:  $10^{-10}\text{ K}$  تحت ظروف خاصة جداً.

**3. نظام كلفن (K)**

صمم هذا النظام العالم الفيزيائي والمهندس البريطاني اللورد كلفن Lord Kelvin عام 1852 ويرمز لهذا النظام بالرمز  $\text{K}$ ، ومقاييس الكلفن هو مقاييس لدرجة الحرارة المطلقة بحيث تكون درجة الحرارة بوحدة الكلفن موجبة دائماً، وتبدأ من  $0\text{ K}$  (الصفر المطلق)، وتكون درجة انصهار الثلج على هذا المقياس  $\text{K} = 273.15$  ودرجة غليان الماء  $\text{K} = 373.15$  ويفصل بين هاتين القيمتين مائة درجة متساوية، والكلفن هو وحدة قياس درجة الحرارة في النظام الدولي للوحدات، ونادراً ما يستخدم هذا النظام في الحياة اليومية؛ إذ أنه يستخدم في القياسات والأبحاث العلمية.

اعتمد نظاماً الفهرنهايت والسلسيوس في تدريجهما على درجتي تجمد الماء وغليانه، وهاتان الدرجتان تتغيران بتغيير الضغط الجوي؛ لذا قام العالم كلفن بتحديد تدريج مطلق لدرجة الحرارة يعتمد على طبيعة المادة؛ حيث أجرى دراسة للعلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة لأكثر من غاز، وتوصل نظرياً إلى أنه عند درجة حرارة  $(\text{C} = 273.15^{\circ})$  يصل ضغط الغاز إلى الصفر، انظر الشكل (3).

وتم اعتبار درجة الحرارة هذه درجة الصفر المطلق وتم معايرة باقي التدرجات الأخرى بالنسبة للصفر المطلق. لذا يُعرف الصفر المطلق ( $0\text{ K}$ ) في تدريج كلفن: بأنه درجة الحرارة التي يصل إليها ضغط الغاز المحصور إلى الصفر، وتعادل  $(\text{C} = 273.15^{\circ})$  وهي أدنى درجة حرارة يمكن أن تصل إليها المادة نظرياً؛ حيث تُصبح عندها الطاقة الحركية لجزيئات المادة عند أقل قيمة لها. ولا يمكن الوصول إلى هذه الدرجة بصورة



الشكل 40-3: تحديد درجة الصفر المطلق.

ما الذي تتوقع حدوثه لكلٍ من سرعة دقائق الغاز والمسافات فيما بينها إذا أمكن خفض درجة حرارتها إلى الصفر المطلق.



اختبر نفسك

## نشاط 6-3



## استقصاء درجة الصفر المطلق عملياً

يحدد درجة الصفر المطلق عملياً من خلال العلاقة بين حجم الهواء ودرجة حرارته بثبات ضغطه.

**الأهداف:**

أنبوب شعري مغلق من طرف واحد، حمض الكربونيك المركب أو الزئبق، مسطرة مدرجة، مقياس حرارة، كأس زجاجية، ماء، ثلج، مصدر حراري.

**الأدوات:**

الحذر في التعامل مع حمض الكربونيك أو الزئبق.

**الأمن والسلامة:**

## الخطوات:

يقوم محضر المختبر بإدخال قطرة من حمض الكربونيك أو الزئبق في الأنابيب الشعري بحيث يحجز كمية من الهواء داخله؛ وذلك بتسخين الأنابيب ثم غمر طرفه المفتوح في حمض الكربونيك (أو الزئبق) ومن ثم تبريده.

وبالتعاون مع أفراد مجموعتك نفذ الخطوات الآتية:

1. ثبت الأنابيب الذي تم تجهيزه على المسطرة المدرجة، كما هو موضح في الشكل، ثم أغمره في الماء.

2. ضع قطعاً من الثلج في الماء لتبريده، ولاحظ حركة القطرة، وعندما تثبت القطرة قسّ طول عمود الهواء الذي يعبر عن الحجم، ثم قسّ درجة الحرارة وسجلها في الجدول.

3. سخن الماء ببطء، وقسّ طول عمود الهواء عند درجات حرارة مختلفة. وسجل القراءات في الجدول.

درجة الحرارة (°C)	طول عمود الهواء (cm)

4. مثل العلاقة بين الحجم ودرجة الحرارة بيانياً باستخدام برمجية Excel بوضع درجة الحرارة على محور  $x$  والحجم على محور  $y$ .

5. أكمل رسم امتداد منحنى العلاقة حتى يتقطع مع محور  $x$  السالب (درجة الحرارة) وحدّد نقطة تقاطع المنحنى مع هذا المحور.

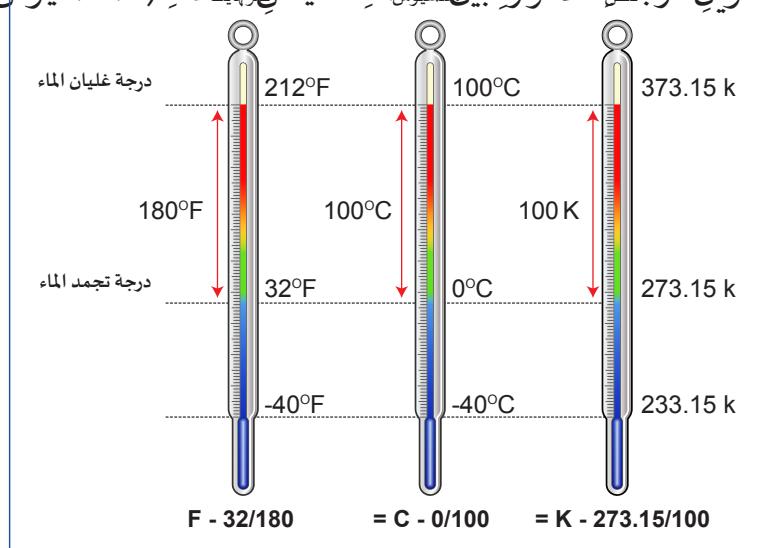
**التحليل:**

1. ما نوع العلاقة بين حجم الهواء ودرجة حرارته؟
2. ما مقدار درجة الحرارة عند نقطة تقاطع المنحنى مع محور  $x$  السالب؟ ماذا تمثل هذه النقطة؟
3. هل تعتقد أن القيمة التي تمثلها نقطة تقاطع المنحنى مع محور  $x$  تنطبق على جميع الغازات؟

عملية.

## تحويل درجات الحرارة Temperature Conversion

عند مقارنة التدرجات في أنظمة قياس درجات الحرارة الثلاثة، كما في الشكل (41-3)، فإنه يمكن التوصل للعلاقة الرياضية الآتية لتحويل درجات الحرارة بين أنظمة القياس الثلاثة (السلسيوس، الفهرنهايت، الكلفن):



الشكل 41-3: تدريج أنظمة قياس درجة الحرارة؛ فهرنهايت، سلسيوس، كلفن.

$$\frac{K - 273.15}{100} = \frac{^{\circ}C}{100} = \frac{(^{\circ}F - 32)}{180}$$

من هذه العلاقة الرياضية العامة، يمكن استtraction علاقاتٍ فرعيةٍ بين كلّ نظامي قياسٍ، كما هو مُبيَّنُ في الجدول (3-5)؛ وذلك لتسهيل إجراء التحويلات من نظام قياسٍ إلى آخر.

العلاقة المستخدمة	التحويل بين نظامي القياس
$K = ^{\circ}C + 273.15$	$^{\circ}C \leftrightarrow K$ سلسيوس
$\frac{^{\circ}C}{100} = \frac{(^{\circ}F - 32)}{180}$	$^{\circ}F \leftrightarrow ^{\circ}C$ فهرنهايت

جدول 3-5: العلاقات الخاصة بتحويل درجات الحرارة بين أنظمة القياس الثلاثة.

<p><b>مثال 2</b></p> <p>متوسط درجة الحرارة على سطح كوكب المريخ (<math>{}^{\circ}\text{C}</math>) ، كم تساوي هذه الدرجة حسب نظام كلفن؟</p>	<p>للتحويل من سلسيلوس إلى كلفن نستخدم العلاقة في الجدول:</p> $\text{K} = {}^{\circ}\text{C} + 273.15$ $\text{K} = -55 + 273.15 = 218.15 \text{ K}$	<p><b>الحل</b></p>
<p><b>مثال 3</b></p> <p>احسب درجات الحرارة وفق نظام سلسيلوس التي تكافئ درجات الحرارة الآتية:</p> $100 \text{ K} , 250 \text{ K} , (-176 {}^{\circ}\text{F}) , 50 {}^{\circ}\text{F}.$	<p>نستخدم العلاقات في الجدول السابق على النحو الآتي:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <math>\frac{{}^{\circ}\text{C}}{100} = \frac({}^{\circ}\text{F} - 32)}{180}</math></li> <li>2) <math>\frac{{}^{\circ}\text{C}}{100} = \frac{50 - 32}{180} \Rightarrow {}^{\circ}\text{C} = \frac{(18 \times 100)}{180} = 10 {}^{\circ}\text{C}</math></li> <li>3) <math>\frac{{}^{\circ}\text{C}}{100} = \frac({}^{\circ}\text{F} - 32)}{180} \Rightarrow {}^{\circ}\text{C} = \frac{(-176 - 32) \times 100}{180} = -115.6 {}^{\circ}\text{C}</math></li> <li>4) <math>{}^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15 = 250 - 273.15 = -23.15 {}^{\circ}\text{C}</math></li> </ol>	<p><b>الحل</b></p>
<p><b>مثال 4</b></p> <p>درجة حرارة الجو في يوم بارد جدًا تساوي (<math>10 {}^{\circ}\text{C}</math>) ما درجة الحرارة المكافئة لها حسب نظام فهرنهايت؟</p>	<p>من سلسيلوس إلى فهرنهايت:</p> $\frac{{}^{\circ}\text{C}}{100} = \frac({}^{\circ}\text{F} - 32)}{180}$ $\frac{-10}{100} = \frac({}^{\circ}\text{F} - 32)}{180} \Rightarrow$ ${}^{\circ}\text{F} - 32 = \frac{(180 \times -10)}{100} \Rightarrow {}^{\circ}\text{F} = -18 + 32 = 14 {}^{\circ}\text{F}$	<p><b>الحل</b></p>

## مثال 5

قاس طالب درجة حرارة زميله فكانت  $104^{\circ}\text{F}$  ، كم تكفي هذه الدرجة في نظام كلفن؟

نحوٌ من نظام فهرنهايت إلى سلسيلوس، ثم من سلسيلوس إلى نظام كلفن:

$$\frac{{}^{\circ}\text{C}}{100} = \frac{{}^{\circ}\text{F} - 32}{180}$$

$$\frac{{}^{\circ}\text{C}}{100} = \frac{(104 - 32)}{180}$$

$${}^{\circ}\text{C} = \frac{100(104 - 32)}{180} = 40\text{ }{}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{K} = {}^{\circ}\text{C} + 273.15$$

$$\text{K} = 40 + 273.15 = 313.15\text{ K}$$

الحلُّ

هل درجة حرارة زميله طبيعية؟



1. درجة غليان الهيدروجين السائل ( ${}^{\circ}\text{C} - 252.9$ ) ما مقدار هذه الدرجة في كلٍ من نظام فهرنهايت ونظام كلفن؟

2. من الأنظمة المستخدمة لقياس درجة الحرارة نظامي كلفن وسلسيلوس، اكتب تماهًيا واحداً واختلافاً واحداً بين النظمين.

## مراجعةُ الدرسِ الثّانِي

### الأفكار الرئيسية:

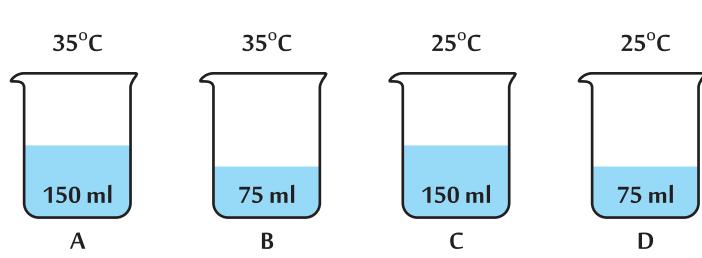
- الطاقةُ الحراريةُ هي مجموعُ الطاقةِ الحركيةِ الكليةِ التي تمتلكُها جميعُ جزيئاتِ/ذراتِ المادةِ معاً.
- الحرارةُ هي الطاقةُ الحراريةُ التي تنتقلُ بين مادتينِ متصلتينِ معًا نتيجةً لاختلافِ درجتي حرارةِ المادتينِ المتصلتينِ معًا.
- درجةُ الحرارةِ هي مقياسٌ لمتوسطِ الطاقةِ الحركيةِ لذراتِ أو جزيئاتِ المادةِ، وهي لا تعتمدُ على عددِ جزيئاتِ/ذراتِ المادةِ.
- عند تسخينِ المادةِ تزدادُ سرعةُ جزيئاتها / ذراتها فيزدادُ متوسطُ الطاقةِ الحركيةِ لها؛ وبالتالي يزدادُ مجموعُ الطاقةِ الحركيةِ الكليةِ التي تمتلكُها جميعُ جزيئاتِ/ذراتِ المادةِ.
- الاتزانُ الحراريُ هو الحالَةُ التي تتساوى فيها درجتا الحرارةِ لجسمينِ أو مادتينِ أو نظامينِ مختلفينِ في درجاتِ الحرارةِ عندما يتصلانِ معًا؛ وذلك نتيجةً لانتقالِ الحرارةِ من الجسمِ ذي درجةِ الحرارةِ الأعلى إلى الجسمِ ذي درجةِ الحرارةِ الأدنى.
- فرقُ درجاتِ الحرارةِ بين جسمينِ مُتلامسينِ يشكّلُ العاملَ الأساسَ في انتقالِ الحرارةِ بين الجسمينِ.
- مقياسُ درجةِ الحرارةِ جهازٌ يستخدمُ لقياسِ درجةِ الحرارةِ ومبدأُ عملِه يعتمدُ على خاصيةِ فيزيائيةِ للمادةِ المستخدمةِ في المقياسِ تتغيّرُ بشكلٍ واضحٍ ومحدّدٍ ومنتظمٍ بِتغّيرِ درجةِ الحرارةِ، كالتمددِ الحراريِ أو التّغيّرِ في المقاومةِ الكهربائيةِ.
- مبدأُ مقياسِ الحرارةِ السائلِ يعتمدُ على التّغيّرِ المنتظمِ في حجمِ السائلِ بِتغّيرِ درجةِ الحرارةِ.
- مبدأُ عملِ مقياسِ الحرارةِ الكهربائيِ يعتمدُ على التّغيّرِ المنتظمِ في فرقِ الجهدِ الكهربائيِ أو المقاومةِ الكهربائيةِ بِتغّيرِ درجةِ الحرارةِ.
- مبدأُ عملِ مقياسِ الحرارةِ الاشعاعيِ يعتمدُ على كشفِ الأشعةِ تحتِ الحمراءِ المنبعثةِ من الجسمِ المرادِ قياسُ درجةِ حرارتهِ.
- الصفرُ المطلقُ K: هي درجةُ حرارةِ الغازِ المحصورِ الذي يصلُ عندها ضغطُه نظريًا إلى الصفرِ، وتُعادل ( $C^{273.15}$ ) وهي أدنى درجةِ حرارةٍ يمكنُ أن تصلَ إليها المادةُ نظرياً.
- أنظمةُ قياسِ درجاتِ الحرارةِ متعددةُ أشهرُها الفهرنهايتُ والسلسيوسُ والكلفن؛ حيثُ يمكنُ تحويلُ درجاتِ الحرارةِ من نظامٍ لآخرَ.

## تقدير الدرس الثاني



1. اختر رقم الإجابة الصحيحة في الأسئلة الآتية:

أربعة أنواع تحتوي كميات مختلفة من الماء كما في الشكل، بالاعتماد على المعلومات في الشكل أجب عن السؤالين الأول والثاني:



1. أي الأوعية يمتلك طاقة حرارية أكبر؟

- A .a
- B .b
- C .c
- D .d

2. أي من الأوعية الآتية تنتقل بينهما الحرارة وفي أي اتجاه إذا ما تلمسا؟

- a. من A إلى B
- b. من B إلى A
- c. من C إلى A
- d. من C إلى B

3. ما هي درجة غليان الماء حسب مقياس كلفن؟

- a. 212 K
- b. 273.15 K
- c. 100 K
- d. 373.15 K

4. أي درجات الحرارة الآتية تمثل أقل درجة حرارة؟

- a. 0 k
- b. 0 °C
- c. 0 °F
- d. جميعها متساوية

5. ما العامل الذي يعتمد عليه حدوث اتزان حراري بين جسمين عند تلامسهما معًا؟

- a. الطاقة الحرارية لكل من الجسمين.
- b. درجة حرارة كل من الجسمين.
- c. نوع مادة الجسمين.
- d. كتلة كل من الجسمين.

## تابع تقويم الدرس الثاني

2. ما الخطأ في هذه العبارة «إذا أعطيت جسمين، فإن الجسم الذي درجة حرارته أعلى يمتلك طاقة حرارية أكبر»؟
3. طفل درجة حرارته على مقياس كلفن K 312 أوجد درجة حرارته حسب كل من نظامي سلسليوس وفهرنهايت؟ هل درجة حرارة الطفل طبيعية؟ علماً بأن درجة حرارة الإنسان السليم ما بين  $(36.5^{\circ}\text{C} - 37.5^{\circ}\text{C})$ .
4. علّل كلاً من العبارات الآتية:
- حجم مقياس الحرارة (حجم السائل داخل مقياس الحرارة) يجب أن يكون أصغر من حجم المادة المراد قياس درجتها حرارتها؟
  - عدم استخدام الماء الملون بدلاً من الزئبق في مقياس الحرارة السائل كونه عديم التكلفة ويتمدد بالحرارة.
5. أوجد درجة الحرارة التي تتساوى عندها القراءة في نظام سلسليوس معها في نظام فهرنهايت.
6. اكتب اسم مقياس الحرارة الذي يعتمد مبدأ عمله على كل من الخصائص الفيزيائية الآتية:
- تغيير حجم السائل بـتغيير درجة الحرارة.
  - تغيير مقاومة الكهربائية بـتغيير درجة الحرارة.
  - تغيير فرق الجهد الكهربائي بـتغيير درجة الحرارة.
  - تغيير لون البلورات السائلة بـتغيير درجة الحرارة.
7. قارن بين مقياس الحرارة الزئبقي والكحولي حسب الجدول الآتي:

التكلفة	مدى درجات الحرارة التي يقيسها	درجة غليانه	درجة تجمده	الدقة	الخاصية المقياس
					الزئبقي
					الكحولي

## تابع تقويم الدرس الثاني

8. كمياتٍ من الكحول مختلفتان في الحجم ولكن الطاقة الحرارية في كلِّ منها متساويةٌ، فهل تكونُ درجة حرارتها متساويةً؟ وَضَعْ ذلك؟ 
9. حول درجات الحرارة الآتية إلى أنظمة قياس الحرارة المطلوبة:  
a.  $100\text{ K}$  إلى فهرنهايت.  
b.  $-50^{\circ}\text{F}$  إلى سلسليوس.  
c.  $30^{\circ}\text{C}$  إلى كلفن.
10. يستخدم الأكسجين السائل في الصواريخ وتبلغ درجة غليانه ( $183^{\circ}\text{C}$ )، كم تبلغ درجة غليانه على مقاييس كلفن وفهرنهايت؟
11. استشارك أحد الأشخاص لشراء مقاييس حرارة للاستخدام المنزلي من أجل قياس درجة حرارة أطفاله، اختر أسماء ثلاثة مقاييس تُنصح بها مرتبةً حسب الأفضلية مُبيّناً سبب الاختيار؟ 

# الحرارة النوعية والحرارة الكامنة

## Specific Heat and Latent Heat

### الدَّرْسُ الثَّالِثُ 3-3

P1007



تُستخدمُ موادٌ مختلفةٌ لمكافحةِ الحرائقِ، تعتمدُ على نوعِ الحريقِ؛ كأن يكونُ ناتجاً عن موادٍ بتروليةٍ، أو بلاستيكيةٍ، أو عن تماسٍ كهربائيٍّ، وقد يكونُ الحريقُ ناتجاً عن اشتعالِ الأخشابِ والموادِ الطبيعيةِ، كما يحدثُ في حرائقِ المزروعاتِ والحقولِ والغاباتِ، وفي مثلِ هذا النوعِ من الحرائقِ يكونُ الماءُ هو أفضلَ مادةٍ يمكنُ استخدامُها لإطفاءِ الحرائقِ.

ما ميزاتُ استخدامِ الماءِ لإطفاءِ الحرائقِ في الغاباتِ والحقولِ؟

#### المفرداتُ الرئيسيَّةُ

Specific heat capacity	السعَةُ الحراريَّةُ النوعيَّةُ
Specific latent heat	الحرارةُ الكامنةُ النوعيَّةُ
Conservation of energy	حِفْظُ الطَّاقيَّةِ
Latent heat of fusion	الحرارةُ الكامنةُ للانصهارِ
Latent heat of evaporation	الحرارةُ الكامنةُ للتَّبَخِيرِ
Phase change	تَغْيِيرُ الْحَالَةِ

#### التَّجَارِبُ وَالآدِسْطَهَ

7-3 مُقارنةُ التَّغْيِيرِ في درجةِ حرارةِ مادتينِ مختلفتينِ عند تسخينِهما.

8-3 استقصاءُ السعَةُ الحراريَّةُ النوعيَّةُ لِمادتينِ مختلفتينِ.

9-3 استقصاءُ الحرارةُ النوعيَّةُ الكامنةُ لِتبخيرِ الماءِ.

#### مُخْرَجَاتُ التَّعْلُمِ

يُتوَقَّعُ في نهايةِ الدَّرْسِ أنْ يكونَ الطَّالِبُ قادرًا على أنْ: • يُعرِّفَ المفاهيمُ الخاصةَ بالسعَةِ الحراريَّةِ النوعيَّةِ والحرارةِ الكامنةِ النوعيَّةِ ويُوضِّحُها مُعتمِدًا على نموذجِ الحركةِ الجزيئيَّةِ.

• يستقصي السعَةُ الحراريَّةُ النوعيَّةُ لِمادَّةٍ معينةٍ باستخدامِ الأدواتِ المناسبَةِ، والمعادلة:  $Q = mc\Delta T$  ، ويُوظِّفُها في حلِّ المسائلِ الحسابيَّةِ.

• يستقصي الحرارةُ النوعيَّةُ الكامنةُ لِمادَّةٍ معينةٍ باستخدامِ الأدواتِ المناسبَةِ، والمعادلة:  $Q = mL$  ، ويُوظِّفُها في حلِّ المسائلِ الحسابيَّةِ.

• يَصَفُّ أهميَّةَ القيمةِ الكبيرةِ للحرارةِ الكامنةِ النوعيَّةِ والسعَةِ الحراريَّةِ النوعيَّةِ للماءِ، من حيثُ تنظيمُ درجةِ الحرارةِ في الجسمِ وصناعةِ البتروكيماوياتِ، وتأثيرُ المحيطاتِ في المناخِ.

## نشاط 7-3

**مقارنة التَّغْيِيرِ في درجة حرارة مادتين مختلفتين عند تسخينهما.**

الاهداف:	يستقصي أثر نوع المادة في التَّغْيِيرِ في درجة حرارتها، عند تثبيت كتلة المادة وكمية الحرارة.
الأدوات:	كأسان زجاجيتان سعة ml 500، ساعة إيقاف، ميزان لقياس الكتلة، مقاييس حرارة، سخان كهربائي ذو صفيحة ساخنة، ماء، زيت نباتي، قفازات حرارية.
الأمن والسلامة:	احذر لمس الصفيحة الساخنة، واستعمل القفازات الحرارية لحمل أيٍ من الكأسين، ولا تُسخن إلى درجة الغليان.

**الخطوات:**

يُوزَعُ الطلبة ضمن مجموعات، وتُوزَعُ المَهَامُ على أعضاء كل مجموعة.

1. ضَعْ في الكأس الأولى كميةً من الماء كتلتها g 250، وفي الكأس الثانية كتلةً متساويةً من الزيت النباتي.

2. تأكَّد من وَضْع السخان الكهربائي في حالة عدم تشغيله، ثم ضَعْ الكأسين على لوح التسخين.

3. ضَعْ مقاييس حرارة في كلِّ كأسٍ وسجِّلْ قراءةَ كُلِّ منها في الجدول مقابل الزمن ( $t = 0\text{ s}$ ).

4. شَغَّلِ السخان الكهربائي على درجة حرارة منخفضة، ثم يقوم أحد أعضاء المجموعة بتشغيل ساعة الإيقاف وتنبيه زملائه لأخذ قراءتي درجة الحرارة كُلَّ نصف دقيقة (30 s). وتسجيلها في الجدول.

5. بعد مرور زمن min 4 فصل السخان عن المصدر (قبل أن يصل الماء أو الزيت إلى حالة الغليان).

6. استخدم القفازات لرفع كأسِي الماء والزيت عن السخان بحذر، بعد فصل السخان مباشرةً.

الزمن (s)	درجة حرارة الماء (°C)	درجة حرارة الزيت (°C)
240 s		
210 s		
180 s		
150 s		
120 s		
90 s		
60 s		
30 s		
0 s		

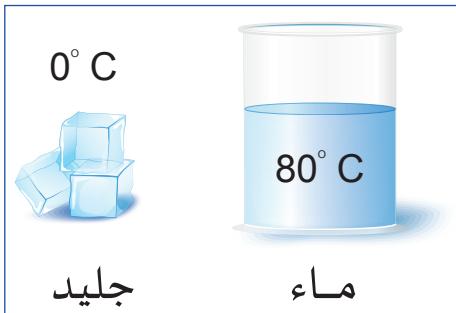
**التحليل:**

1. مَثِيلْ قِيمَ الزَّمِنِ ودرجات الحرارة بيانياً برسم منحنين للماء والزيت على التَّدْرِيج نفسه، مستخدِماً لوناً مختلفاً لكُلِّ منحنى.

2. قارن بين المنحنين، هل تتساوى درجة حرارة الزيت والماء عند اللحظة الزمنية نفسها؟ ماذا تُستنتج؟

3. بما أنَّ كتلة الزيت تساوي كتلة الماء، وكمية الحرارة التي اكتسبها كُلُّ منها متساوية، فـسَرْ سبب اختلاف درجة الحرارة في الزيت عنها في الماء.

## انتقال الحرارة Heat Transfer



الشكل 3-42: انتقال الحرارة.

تعلمتَ في الدرس السابق أنَّ الطاقةُ الحراريةُ تَنْتَقِلُ بَيْنَ الْأَجْسَامِ وَالْأَنْظَمَةِ عَلَى شَكْلٍ حَرَارَةٍ، وَأَنَّ ذَلِكَ يَحْدُثُ نَتْيَاجَةً اختلافَ درجةِ الحرارة لِلْجَسَمَيْنِ. كَانَ نَصْعُبُ مُكَعِّبًا مِنَ الْجَلِيدِ فِي كَاسِ مَاءٍ سَاخِنٍ، كَمَا فِي الشَّكْلِ (42-3)، فَإِنَّهُ يَحْدُثُ انتقالًا لِلحرارةِ مِنَ الْمَاءِ إِلَى الْجَلِيدِ فَيَسْخُنُ وَيَنْصَهِرُ. وَهَذَا مَا يَحْدُثُ بَيْنَ الْأَجْسَامِ بِشَكْلٍ عَامٍ حَتَّى تَصُلَّ الْأَجْسَامُ إِلَى حَالَةِ الْإِتَّرَازِ الْحَرَارِيِّ فِيمَا بَيْنَهَا.

يَحْدُثُ مُثُلُّ هَذَا التَّبَادُلِ الْحَرَارِيِّ بَيْنِ جَمِيعِ الْأَجْسَامِ، وَيَسْتَمِرُ تَبَادُلُ الْحَرَارَةِ بَيْنَ كُلِّ جَسَمَيْنِ أَوْ نَظَامَيْنِ حَتَّى تَسَاوِي دَرْجَتَا حَرَارَتِهِمَا، لَكِنَّ هَذَا التَّبَادُلُ يَحْتَاجُ إِلَى فَتَرَاتٍ زَمْنِيَّةٍ تَخْتَلِفُ مِنْ نَظَامٍ إِلَى آخَرَ.

تَنْدَفُعُ الصَّخْوَرُ الْمُنْصَهِرُ مِنْ بَاطِنِ الْأَرْضِ خَلَالَ الْفُوهَاتِ الْبَرَكَانِيَّةِ، فَتُلَامِسُ الْغَلَافِ الْجَوَيِّ وَهِيَ سَاخِنَةٌ جَدًّا، ثُمَّ يَحْدُثُ انتقالًا لِلحرارةِ بَيْنَ هَذِهِ الصَّخْوَرِ وَالْغَلَافِ الْجَوَيِّ حَتَّى تَنْخَضُ درجَةُ حَرَارَتِهَا وَيَحْدُثُ إِتَّرَازٌ حَرَارِيٌّ بَيْنَ هَذِهِ الصَّخْوَرِ وَالْغَلَافِ الْجَوَيِّ، فَيُصْبِحُ لَهُما درجَةُ حَرَارَةٍ وَاحِدَةٍ.

لَمَّا يَخْتَلِفُ الزَّمْنُ الْلَّازِمُ لِحَدُوثِ إِتَّرَازِ الْحَرَارِيِّ بَيْنِ الْمَادَةِ الْبَرَكَانِيَّةِ وَالْغَلَافِ الْجَوَيِّ، عَنِ الزَّمْنِ الْلَّازِمِ لِحَدُوثِ إِتَّرَازِ الْحَرَارِيِّ بَيْنِ مُكَعِّبِ الْجَلِيدِ وَكَاسِ الْمَاءِ؟ مَا هِيَ الْعَوَامِلُ الْمُؤثِّرةُ فِي مَقْدَارِ الْفَتَرَةِ الزَّمْنِيَّةِ؟ لِلإِجَابَةِ عَنْ هَذِينِ السُّؤَالَيْنِ لَا بُدَّ مِنْ مَعْرِفَةِ مَقْدَارِ الطَّاقَةِ الْحَرَارِيَّةِ الَّتِي يَمْتَلِكُهَا الْجَسْمُ، وَالْعَوَامِلِ الَّتِي تَعْتمِدُ عَلَيْهَا.

ما الذي يُحدِّدُ اتجاهَ انتقالِ الحرارةِ بَيْنَ جَسَمَيْنِ مُخْتَلِفَيْنِ فِي درجَتِيِّ حَرَارَتِهِمَا عَنْدَمَا يَتَلَامِسَانِ؟



## الطاقةُ الحراريَّةُ Thermal Energy

لَاحَظَتَ أَنَّ تَزْوِيدَ الْأَجْسَامِ بِالطاقةِ الْحَرَارِيَّةِ يَؤْدِي إِلَى ارْتِفَاعٍ فِي درجَةِ حَرَارَتِهَا، إِلَّا أَنَّ ذَلِكَ لَا يَحْدُثُ بِصُورَةٍ دَائِمَةٍ، فَعِنْدَ وَضِعِينَاءٍ مَمْلُوءِينَ بِالْمَاءِ فَوْقَ مَصْدِرٍ حَرَارِيٍّ، تَبَدُّلُ درجَةِ حَرَارَةِ الْمَاءِ بِالْارْتِفَاعِ حَتَّى تَصُلَّ 100°C ثُمَّ تَتَوَقَّفُ عَنِ الْارْتِفَاعِ، وَتَبْقَى ثَابِتَةً مَهْمَا اسْتَمْرَتْ عَمَلِيَّةُ التَّسْخِينِ؛ إِذْ أَنَّ الْمَاءَ يَبْدُأُ بِتَغَيِّيرِ حَالَتِهِ مِنَ السَّائِلَةِ إِلَى الغَازِيَّةِ. أَيْ أَنَّ تَزْوِيدَ الْأَجْسَامِ بِالْحَرَارَةِ يَنْتَجُ عَنِهِ إِحْدَى حَالَتِيْنِ، هَمَا:

a. ارْتِفَاعُ درجَةِ حَرَارَةِ الْجَسْمِ بِسَبِيلِ زِيَادَةِ الطَّاقَةِ الْحَرَكِيَّةِ لِجَزِيَّاتِهِ.

b. تَحَوُّلُ الْجَسْمِ مِنْ حَالَةٍ إِلَى أُخْرَى بِسَبِيلِ تَغَيِّيرِ قُوَّةِ التَّرَابِطِ بَيْنِ جَزِيَّاتِهِ؛ كَأَنَّ يَتَحَوَّلُ مِنَ الْحَالَةِ السَّائِلَةِ، أَوْ مِنَ الْحَالَةِ السَّائِلَةِ إِلَى الْحَالَةِ الغَازِيَّةِ.

وَبِالْمِثْلِ إِنْ فَقَدَ الْجَسْمُ لِلْحَرَارَةِ يَؤْدِي إِلَى نَقْصَانِ طَاقَتِهِ الْحَرَارِيَّةِ وَانْخِفَاضِ درجَةِ حَرَارَتِهِ، أَوْ تَحَوُّلِهِ مِنَ الْحَالَةِ الغَازِيَّةِ إِلَى الْحَالَةِ السَّائِلَةِ، أَوْ مِنَ الْحَالَةِ السَّائِلَةِ إِلَى الْحَالَةِ الصَّلِبَةِ.

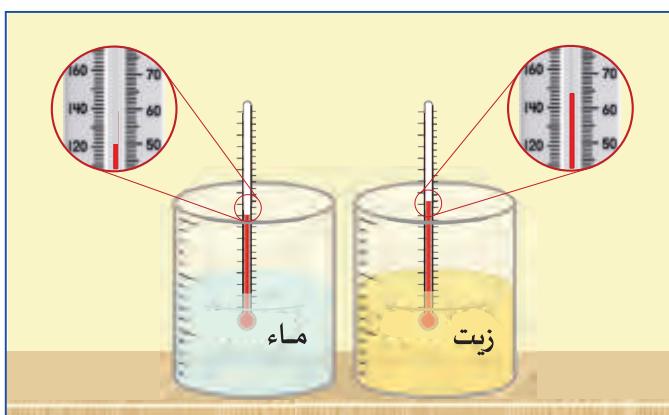
## السِّعَةُ الْحَارِرِيَّةُ النَّوْعِيَّةُ Specific Heat Capacity

تَعْلَقُ دراسةُ مفهوم السِّعَةِ الْحَارِرِيَّةِ النَّوْعِيَّةِ specific heat capacity للمادةِ بالتغيُّرِ في درجةِ حرارتها عند تسخينها أو تبريدِها (دون التَّعْرُضِ لعملياتِ تحولِ المادةِ من حالةٍ إلى أخرى)، وما يحدُثُ عند تسخينِ المادةِ أو تبریدِها، هو أنَّ المادةَ تكتسبُ كميةً من الحرارةِ فتزدادُ طاقتها الحراريَّةُ، أو تفقدُ كميةً من الحرارةِ فتقلُّ طاقتها الحراريَّةُ، وينتجُ عن ذلك تغيُّرٌ في درجةِ حرارةِ المادةِ دون أن تتحولَ من حالةٍ إلى أخرى. وتُعرَفُ السِّعَةُ الْحَارِرِيَّةُ النَّوْعِيَّةُ بأنَّها: كميةُ الحرارةِ اللازمِ تزويدُها لوحدةِ الكتلِ من المادةِ لرفعِ درجةِ حرارتها درجةً سيليسيوسً واحدًا. وهذه الكميةُ من الحرارةِ صفةٌ فيزيائيةٌ خاصَّةٌ ومميزةٌ للمادةِ، فهي تعتمدُ على نوعِ المادَّةِ فقط؛ لذلك وصفتْ بأنَّها نوعيَّةٌ. فكلُّ مادَّةٍ لها صفاتٌ نوعيَّةٌ خاصَّةٌ، تميِّزُها عن غيرِها من الموادِ، وتُساعدُ في التَّعرُّفِ عليها، مثل: الكثافةُ ودرجةُ الانصهارِ ودرجةُ الغليانِ والسعَةُ الْحَارِرِيَّةُ النَّوْعِيَّةُ.

إذا أردنا تسخينَ جسمٍ ماديٍّ من درجةِ حرارةِ الغرفةِ إلى درجةٍ أعلىٍ منها، فإنه يلزمُ تزويدُ هذا الجسمِ بكميةٍ من الحرارةِ  $Q$ ، وهذه الكميةُ يعتمدُ مقدارُها على ثلاثةٍ عواملٍ، هي: كتلةُ الجسمِ  $m$  التي تؤثُرُ طرديًا في كميةِ الحرارةِ، فكلما زادت كتلةُ الجسمِ يحتاجُ لكميَّةً أكبرَ من الحرارةِ لتسخينِه، والعاملُ الثاني هو الفرقُ في درجتي حرارةِ الجسمِ  $\Delta T$  الذي يؤثُرُ طرديًا في كميةِ الحرارةِ، فكلما كان الفرقُ في درجتي حرارةِ الجسمِ الابتدائيةِ والنهايةِ أكبرَ احتاجَ الجسمُ إلى كميَّةً أكبرَ من الحرارةِ لتسخينِه. والعاملُ الثالثُ هو نوعُ مادَّةِ الجسمِ التي تمثلُها السِّعَةُ الْحَارِرِيَّةُ النَّوْعِيَّةُ للمادَّةِ، ورموزُها ، التي باختلافِها تختلفُ كميَّةُ الحرارةِ المكتسبةُ أو المفقودةُ من الجسمِ.

ترتبطُ هذه العواملُ الثلاثةُ مع كميَّةِ الحرارةِ التي يكتسبُها الجسمُ أو يفقدهُها بعلاقةٍ طرديةٍ من خلالِ المعادلةِ الرياضيَّةِ الآتيةِ:

$$Q = m c \Delta T$$



الشكل 43-3: اختلاف درجة الحرارة المائية للزيت والماء.

لاحظنا عند إجراء النشاطِ السابقِ أننا استخدمنا كتلتينِ متساويتينِ من الماءِ والزيتِ النباتيِّ، وبدأنا النشاطَ من درجةِ حرارةٍ واحدةٍ للمادتينِ، وهي درجةُ حرارةِ الغرفةِ، لكنَّ عندَ تزويدِهما بالكميَّةِ نفسِها من الحرارةِ نتجَ عن ذلك درجةُ حرارةٍ مائيةٍ للزيتِ تختلفُ عنها للماءِ، لاحظِ الشكل (43-3) فالعاملُ الذي أدى إلى هذا الاختلافِ هو الاختلافُ في السِّعَةُ الْحَارِرِيَّةُ النَّوْعِيَّةُ للزيتِ عن الماءِ.

تُوجَد كمِيَّةٌ فِيزيائِيَّةٌ أُخْرَى تُرْتَبِطُ بِالسُّعَةِ الْحَرَارِيَّةِ النَّوْعِيَّةِ لِلْمَادِيَّةِ، هِي السُّعَةُ الْحَرَارِيَّةُ لِلْأَجْسَامِ، وَهِيَ كَمِيَّةُ الْحَرَارَةِ الْلَّازِمَةِ لِرَفْعِ دَرْجَةِ حَرَارَةِ الْجَسَمِ كَامِلًا درجة سلسيلوس واحدة ويرمز لها بالرمز  $C$  تُرْتَبِطُ السُّعَةُ الْحَرَارِيَّةُ لِلْجَسَمِ مَعَ السُّعَةِ الْحَرَارِيَّةِ النَّوْعِيَّةِ لِمَادِيَّةِ هَذَا الْجَسَمِ بِالعَلَاقَةِ الْآتِيَّةِ:

$$\text{السُّعَةُ الْحَرَارِيَّةُ لِلْجَسَم} = \text{السُّعَةُ الْحَرَارِيَّةُ النَّوْعِيَّةُ لِمَادِيَّةِ الْجَسَم} \times \text{كَتْلَةُ الْجَسَم}.$$

$$C = m c$$

$$Q = m c \Delta T = C \Delta T$$

1. إذا علمتَ أَنَّ الْكَتْلَةَ تُقَاسُ بِوَحْدَةِ kg، وَكَمِيَّةُ الْحَرَارَةِ بِوَحْدَةِ J، وَدَرْجَةُ الْحَرَارَةِ بِوَحْدَةِ °C . فَمَا هِيَ الْوَحْدَةُ الْمُسْتَخَدَمَةُ لِلْقِيَاسِ كُلِّ مِن السُّعَةِ الْحَرَارِيَّةِ النَّوْعِيَّةِ لِلْمَادِيَّةِ؟ وَالسُّعَةِ الْحَرَارِيَّةِ لِلْجَسَمِ؟
2. مَا الْفَرْقُ بَيْنَ السُّعَةِ الْحَرَارِيَّةِ النَّوْعِيَّةِ لِلْمَادِيَّةِ وَالسُّعَةِ الْحَرَارِيَّةِ لِلْجَسَمِ؟



لاستقصاء مقدار السعة الحرارية النوعية لبعض المواد، ومقارنتها معًا نَفْذِ النشاط الاستقصائي الآتي:

### نشاط 8-3



#### استقصاء السعة الحرارية النوعية لمادتين مختلفتين

**الأهداف:**

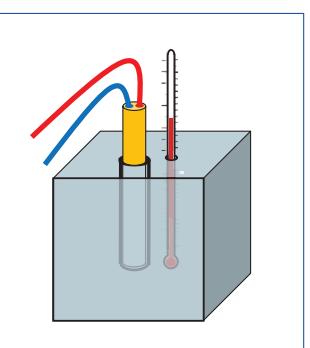
يُحدّد السعة الحرارية النوعية لمكعبين فلزيين مختلفين.

**الأدوات:**

مكعبان فلزيان (نحاس، ألومنيوم)، مصدر طاقة منخفض الجهد، سخان كهربائي قدرته (p)، ساعة إيقاف، ميزان لقياس الكتلة، صوف حراري للعزل، مقياس حرارة.

**الأمن والسلامة:**

لا تُشغِّل السخان وهو خارج المكعب، ولا تلمسه قبل أن يبرد.



#### الخطوات:

يوزع الطلبة ضمن مجموعات، وتوزع المهام على أعضاء كل مجموعة.

1. سجل كلاً من كتلة المكعب الأول  $m$  وقدرة السخان الكهربائي  $p$  في الجدول.

2. اضبط مصدر الطاقة في حالة عدم تشغيل، ثم ضع السخان الكهربائي في الثقب الموجود في مركز الوجه العلوي للمكعب. وقياس الحرارة في الثقب المجاور وضع في الفتحة حول المقياس عدة قطرات من الزيت.

3. غلّف المكعب جيداً بالمادة العازلة من جميع الجهات. ثم سجل قراءة مقياس الحرارة  $T_1$  في الجدول.

4. صل السخان الكهربائي مع مصدر الطاقة، وشغله لمدة 8 min، مستخدماً ساعة الإيقاف.

5. بعد مرور زمن 8 min افصل الطاقة عن السخان، وسجل الزمن  $t$  بعد تحويله إلى وحدة (s).

6. راقب مقياس الحرارة ستجد أن درجة الحرارة تستمر بالارتفاع، سجل أكبر قراءة تحصل عليها  $T_2$  في الجدول.

7. احسب كمية الحرارة المُولَدة  $Q$  التي تساوي الطاقة الكهربائية المستهلكة ( $Q = E = Pt$ ).

8. من العلاقة ( $Q = mc\Delta T$ ) احسب السعة الحرارية النوعية ( $c$ ) لمادة المكعب وسجلها في الجدول.

9. كرر خطوات التجربة جميعها مستخدماً المكعب الفلزي الثاني.

$c = Q/m \cdot \Delta T$ (J/kg °C)	$\Delta T = T_2 - T_1$ (°C)	$T_2$ (°C)	$T_1$ (°C)	$E = Pt$ (J)	$t$ (s)	$P$ (W)	$m$ (kg)	المكعب
								1
								2

#### التحليل:

- قارن القيم التي حصلت عليها للسعة الحرارية النوعية لكل مادة مع القيم التي يزودك بها معلمك.
- ابحث عن مصادر الخطأ المحتملة في التجربة. وبين كيف يمكن التقليل منها.

تَوصَّلَنَا في النشاطِ السابقِ إلى تحديدِ السعةِ الحراريةِ النوعيةِ لمادتينِ بطريقةٍ عمليةٍ، وأنَّ السعةَ الحراريةَ النوعيةَ تختلفُ من مادةٍ إلى أخرى. وبصورةٍ عامَّةٍ فإنَّ السعةَ الحراريةَ النوعيةَ للمادةِ تُساوي مقدارًا ثابتاً له علاقَةٌ بِنوعِ المادَّةِ فقطَ، ولا يعتمدُ على الكتلةِ أو على اختلافِ درجاتِ الحرارةِ، أو كميةِ الحرارةِ المكتسبةِ. ويُمْكِنُ تفسيرُ اختلافِ السعةِ الحراريةِ النوعيةِ من مادَّةٍ لأخرى بسبِبِ اختلافِ قُوى التَّرابطِ بين جزيئاتِ المادَّةِ، وطبيعةِ اهتزازِ هذه الجزيئاتِ. والجدولُ (6-3) يُبيِّنُ قِيمَ السعةِ الحراريةِ النوعيةِ لبعضِ الموادِ.

المادة	السعةُ الحراريةُ النوعيةُ (J/kg °C)
الذهبُ	128
النحاسُ	385
الحديدُ	450
الطوبُ	840
الألومنيومُ	900
زيتُ دوارِ الشمسِ	2250
الجليدُ	2090
بخارُ الماءِ	2010
الماءُ	4180

جدول 6-3: قيم السعة الحرارية النوعية لبعض المواد.

### مثال 1

احسبْ كميةَ الحرارةِ اللازمَةِ لتسخينِ قطعةٍ من الألومنيومِ كتلُها 0.4 kg، من درجةِ حرارة 20° C إلى 80° C.

الكميات المعلومة:

$$c = 900 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}, \text{ من الجدول (6-3)} \quad T_2 = 80^{\circ}\text{C}, \quad T_1 = 20^{\circ}\text{C} \quad m = 0.4 \text{ kg}$$

المطلوبُ: Q = ?

الحلُّ

$$Q = m c \Delta T = 0.4 \times 900 \times (80 - 20)$$

$$Q = 360 \times 60 = 21600 \text{ J}$$

## مثال 2

 $T_2 = 240^\circ C$ إحسب كمية الحرارة اللازمة لتسخين إناء من النحاس كتلته 1.2 kg، من درجة حرارة  $30^\circ C$  إلى

الكميات المعلومة:

$$m = 1.2 \text{ kg} , T_1 = 30^\circ C , T_2 = 240^\circ C$$

من الجدول (6-3) نجد أنّ  $c = 385 \text{ J/kg}^\circ C$ المطلوب:  $Q = ?$ 

$$Q = m c \Delta T = 1.2 \times 385 \times (240 - 30)$$

$$Q = 462 \times 210 = 97020 \text{ J}$$

الحلُّ

## مثال 3

أجريت تجربة لاستقصاء السعة الحرارية النوعية لمادة صلبة مجهولة، فأخذت منها عينة كتلتها 0.3 kg، ثم تم تسخينها باستخدام سخان كهربائي قدرتة 50 W لمدة دقيقتين. فارتفعت درجة حرارتها خلال هذه المدة من  $15^\circ C$  إلى  $175^\circ C$ ، بالرجوع إلى الجدول (6-3)، حدد هذه المادة.

الكميات المعلومة:

$$t = 2 \text{ min} , P = 50 \text{ W} , T_2 = 175^\circ C , T_1 = 15^\circ C , m = 0.3 \text{ kg}$$

المطلوب:  $c = ?$ 

$$E = P t = 50 \times 2 \times 60 = 6000 \text{ J}$$

$$Q = E = 6000 \text{ J}$$

$$c = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)} = \frac{6000}{0.3 \times (175 - 15)} = 125 \text{ J/kg}^\circ C$$

الحلُّ

وبالرجوع إلى الجدول (6-3) نستنتج أنَّ المادة هي الذهب.

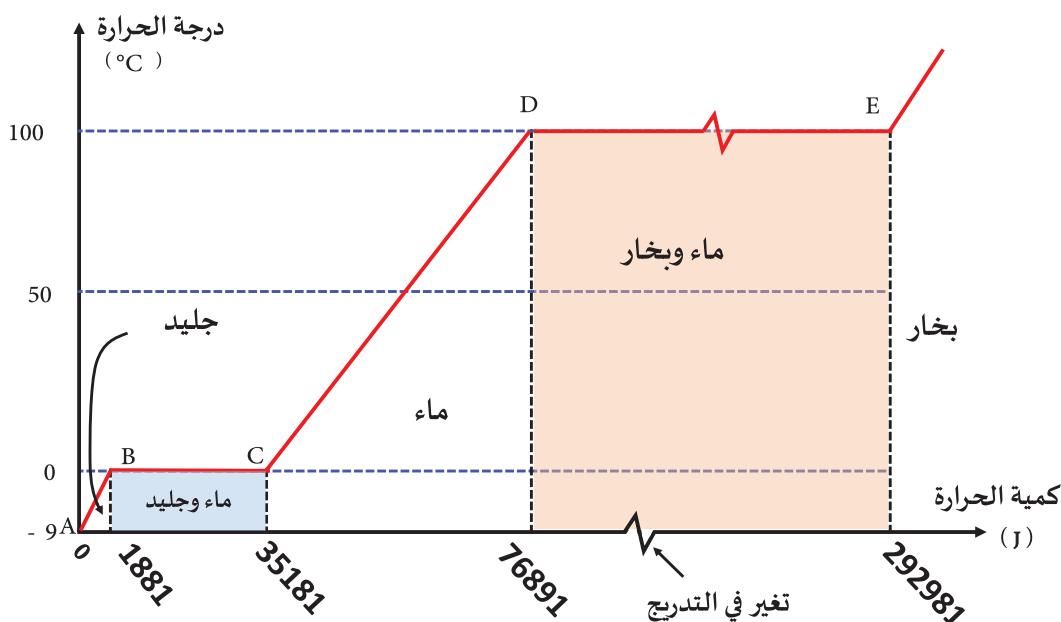
## الحرارة الكامنة النوعية Specific Latent Heat

تعلّمت في دراستك للسعة الحرارية النوعية أنَّ زيادة الطاقة الحرارية التي يختزنها الجسم تؤدي إلى زيادة متوسط الطاقة الحركية لدقائق مادته؛ وبالتالي ارتفاع درجة حرارته، وأُستخدمت العلاقة:

$Q = cm\Delta T$  في حساب مقدار التَّغْيِير في درجة حرارة الجسم بمعرفة كمية الحرارة التي يتم تزويدُه بها. لكن هناك أوضاعاً لا يحدث فيها ذلك؛ حيث تبقى درجة حرارة المادة ثابتة؛ رغم الاستمرار في تزويد المادة بالطاقة الحرارية؛ ما يعني أنَّ الطاقة الحرارية لم تُستهلك في زيادة متوسط الطاقة الحركية لجزيئات المادة. كما هو الحال عند غليان الماء؛ إذ يستمرُّ الماء بالغليان والتَّحول إلى بخارٍ مع استمرار التسخين، بينما تبقى درجة حرارته ثابتةً عند  $100^{\circ}\text{C}$ . فَأين أُستهلكت هذه الطاقة الحرارية؟

كيف تتَّغيَّر درجة المادة أثناء تسخينها؟

لدراسة العلاقة بين كمية الحرارة ودرجة الحرارة، نضع كمية من الجليد كتلتها  $0.1 \text{ kg}$  ودرجة حرارتها  $(-9^{\circ}\text{C})$  في كأسٍ ونسخِّنها فوق مصدر حرارة، ونقوم بتسجيل قراءاتٍ كلٍّ من درجة الحرارة، وكمية الحرارة المكتسبة، وتمثيلها بيانيًا، كما في الشكل (44-3):



الشكل 44-3: العلاقة البيانية بين درجة الحرارة وكمية الحرارة المكتسبة.

وعند تحليل الرسم البياني، نلاحظ أنَّ عملية التسخين تتكونُ من عدة مراحل، ويختلفُ شكلُ المنحنى خلال كلٍّ مرحلةٍ، كما يأتي:

1. المُرحلة من A إلى B: مع استمرار عملية التسخين تزداد كمية الحرارة التي يكتسبها الجليد، وتزداد درجة حرارة الجليد، فترتفع من (9°C) عند النقطة A إلى 0°C عند النقطة B؛ حيث يبدأ الجليد بالانصهار عند هذه النقطة، ونلاحظ أن مُنحني العلاقة بين الطاقة الحرارية المكتسبة ودرجة الحرارة خلال هذه المُرحلة هو خط مستقيم له ميل ناتج عن التَّغَيِّر في درجة الحرارة. ومن الشكل نجد أن كمية الحرارة التي اكتسبها الجليد خلال هذه المُرحلة تساوي:

$$Q = 1881 - 0 = 1881 \text{ J} = 1.881 \times 10^3 \text{ J}$$

وحيث إن السعة الحرارية النوعية للجليد (c = 2090 J/kg°C)، فإنه يمكن إيجاد كمية الحرارة المكتسبة باستخدام العلاقة:

$$Q = m c \Delta T = 0.1 \times 2090 \times (0 - (-9)) = 1881 \text{ J} = 1.881 \times 10^3 \text{ J}$$

نلاحظ أن النتيجة تتفق مع القيمة المستخرجة من الرسم البياني.

2. المُرحلة من B إلى C: تستمرة كمية الحرارة المكتسبة بالتزاييد، لكن درجة الحرارة تبقى ثابتةً عند 0°C وهنا يبدأ الجليد بالانصهار والتَّحول إلى ماء، فيظهر في الكأس خليط من الماء والجليد ويبقى عند درجة الحرارة نفسها 0°C حتى تنصهر كمية الجليد كاملاً وتتحول إلى ماء، وتمثل هذه المُرحلة تَغَيِّر حالة المادة من الصلبة إلى السائلة. ونلاحظ من الشكل أن كمية الحرارة المكتسبة خلال هذه المُرحلة تساوي:

$$Q = 35181 - 1881 = 33300 = 3.33 \times 10^4 \text{ J}$$

وحيث إن الفرق في درجتي الحرارة يساوي صفرًا، فإنه لا يمكن التَّوصل إلى النتيجة نفسها باستخدام العلاقة ( $Q = m c \Delta T$ ).

3. المُرحلة من C إلى D: باستمرار عملية التسخين تعاود درجة حرارة الماء ارتفاعها مرة أخرى من درجة الانصهار 0°C عند النقطة C إلى درجة الغليان 100°C عند النقطة D، ونلاحظ أن مُنحني العلاقة بين الطاقة الحرارية المكتسبة ودرجة الحرارة هو خط مستقيم له ميل ناتج عن التَّغَيِّر في درجة الحرارة، ومن الشكل نجد أن كمية الحرارة المكتسبة خلال هذه المُرحلة تساوي:

$$Q = 76981 - 35181 = 41800 = 4.18 \times 10^4 \text{ J}$$

وكذلك يمكن إيجاد كمية الحرارة المكتسبة باستخدام العلاقة:

$$Q = m c \Delta T = 0.1 \times 4180 \times (100 - 0)$$

$$= 41800 = 4.18 \times 10^4 \text{ J}$$

نلاحظ أن النتيجة تتفق مع القيمة المستخرجة من الرسم البياني.

4. المُرحلة من D إلى E: باستمرار عملية التسخين، تَتَوَقَّفُ الزيادة في درجة الحرارة وتَثْبُت عند درجة  $100^{\circ}\text{C}$ ؛ حيث يبدأ الماء بالتحول إلى بخار ويتوارد في الكأس خليط الماء والبخار وتَثْبُت درجة الحرارة عند  $100^{\circ}\text{C}$  حتى تَتَحَوَّل كمية الماء كاملاً إلى بخار، وتمثِّل هذه المُرحلة تَغَيُّر حالة المادة من الحالة السائلة إلى الحالَة الغازية. ومن الشكل يمكن إيجاد كمية الحرارة المكتسبة خلال هذه المُرحلة:

$$Q = 292981 - 76981 = 226000 = 2.26 \times 10^5 \text{ J}$$

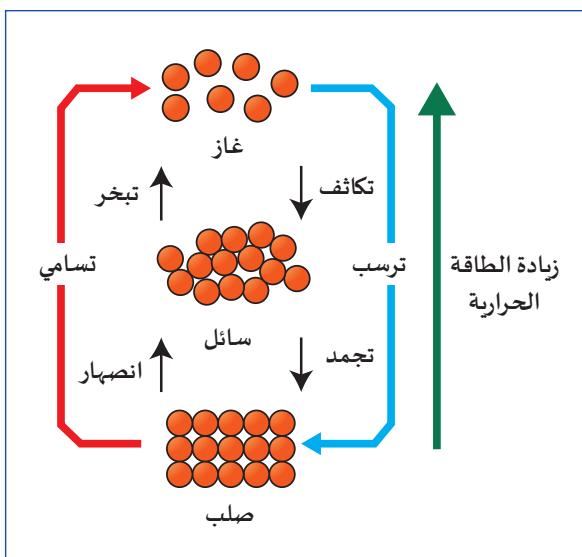
وحيث إن الفرق في درجتي الحرارة يساوي صفرًا، فإنه لا يمكن التوصُّل إلى النتيجة نفسها باستخدام العلاقة

$$(Q = m c \Delta T)$$

المُرحلة الأخيرة بعد النقطة E تزداد فيها درجة حرارة بخار الماء فوق  $100^{\circ}\text{C}$ ، وقد تصل إلى  $400^{\circ}\text{C}$ ، مع استمرار التسخين وازدياد الحرارة التي يكتسبها البخار. وإذا قمنا بعملية عكسيَّة تتضمن تبريد البخار بدلاً من تسخينه، فإن البخار يفقد حرارةً وهو في الحالَة الغازية وتُنخفض درجة حرارته حتى تصل إلى  $100^{\circ}\text{C}$  وعندما تثبت درجة الحرارة ويبدأ البخار بتغيير حالته من الغازية إلى السائلة؛ أي إنه يتكتافُ. وباستمرار تبريد الماء فقدانه للحرارة فإن درجة حرارته تنخفض من  $100^{\circ}\text{C}$  إلى  $0^{\circ}\text{C}$  ثم يبدأ بالتحول إلى الحالَة الصلبة؛ أي إن الماء يتجمَّد ويعود جليداً مرة أخرى.

نستنتج مما سبق أنه عندما تنصهر المادة، أو تجمد، وعندما تغلي أو تتكاثف فإن الطاقة التي تكتسبها أو تفقدُها أثناء تلك العمليات تُسمى في تغيير حالة المادة، دون أن يكون لها تأثيرٌ في تغيير درجة حرارتها؛ وهذا ما يُعرف بـ**تَغَيُّرُ الحالَة phase change** وهو تحول المادة من حالَة إلى أخرى مع ثبات درجة حرارتها. كما حدث في المُرحلتين الثانية والرابعة؛ حيث تغيرت حالة المادة من الحالَة الصلبة إلى السائلة ومن الحالَة السائلة إلى الحالَة الغازية.

إن تَغَيُّر حالة المادة ينتُج من تَغَيُّر طاقة الوضع بين جزيئاتها أو ذراتها. فعندما تكتسب المادة طاقةً أو تفقدُها أثناء تَغَيُّر حالتها، فإن جزيئات المادة يعاد ترتيبها بما يتفق مع التَّغيير في طاقة وضعها، أي إن الطاقة الحرارية المكتسبة أو المفقودة تُغيِّر من طاقة الوضع لجزيئات المادة، ويحدث إعادة ترتيب لجزيئات دون حدوث تَغَيُّر في متوسط طاقتها الحركية. فعند زيادة طاقة الوضع لجزيئات تضعف الروابط فيما بينها فتبتعد عن بعضها وتَتَحَوَّل المادة من صلب إلى سائل، وقد تُغادر الجزيئات المادة، كما يحدث عند التَّحول من سائل إلى غاز. وعند نقص طاقة الوضع تزداد قوَّة الروابط بين الجزيئات فتقتربُ من بعضها، كما في حالَة التَّحول من غاز إلى سائل، أو من سائل إلى صلب.



الشكل 3-45: جزيئات الماء عند تغير حالة.

إن ما حدث للجليد عند انصهاره وتحوله إلى ماء مع ثبات درجة حرارته عند  $0^{\circ}\text{C}$  ، يُعد مثالاً على ذلك؛ إذ إن الطاقة الحرارية التي اكتسبها الجليد في المرحلة الثانية (B-C) أختزنت في جزيئات الماء على شكل زيادة في طاقة الوضع؛ مما أدى إلى إضعاف الروابط بين الجزيئات؛ وبالتالي تقليل قوى التجاذب فيما بينها فتباعدت قليلاً عن بعضها وأصبحت تتحرك في حدود الحيز الذي يشغلها الماء الناتج عن الانصهار. انظر الشكل (3-45). ويحدث عكس ذلك في حالة التجمد.

وكذلك الحال فإن غليان الماء وتحوله إلى بخار مع ثبات درجة الحرارة عند  $100^{\circ}\text{C}$ ، يعني أنَّ الطاقة الحرارية التي اكتسبها الماء أثناء ذلك تحولت إلى زيادة في طاقة الوضع لجزيئاته؛ مما أدى إلى إضعاف الروابط بينها بشكلٍ كبيرٍ جدًا؛ وبالتالي تقليل قوى التجاذب فيما بينها لتبتعد كثيرةً عن بعضها وتُغادر سطح الماء نهائياً مُتحولةً إلى بخار. ويحدث عكس ذلك في حالة التكاثف من بخار إلى ماء سائل.

ما حدث للماء من تحولات الطاقة الحرارية خلال مراحل تسخين الجليد وانصهاره ثم ارتفاع درجة حرارته حتى وصل إلى حالة الغليان وتحول الكمية كاملةً إلى بخار، يمكن تلخيصه في الجدول (7-3) الآتي:

التأثير الناتج	تحول الطاقة الحرارية	الحرارة المكتسبة (J)	المرحلة
ارتفاع درجة حرارة الجليد.	زيادة الطاقة الحركية لجزيئات.	$1.881 \times 10^3$	من A إلى B
تحول الجليد إلى ماء.	زيادة طاقة الوضع لجزيئات.	$3.33 \times 10^4$	من B إلى C
ارتفاع درجة حرارة الماء.	زيادة الطاقة الحركية لجزيئات.	$4.18 \times 10^4$	من C إلى D
تحول الماء إلى بخار.	زيادة طاقة الوضع لجزيئات.	$2.26 \times 10^5$	من D إلى E

جدول 7-3: تحولات الطاقة عند تسخين الجليد وصهره.

وبشكل عام يختلف مقدار الطاقة الحرارية التي تكتسبها المادة أو تفقدُها لـ **تَغْيِير حالتها** باختلاف نوع المادة وكتلتها، وتُعرَّف **الحرارة الكامنة النوعية** **Specific Latent Heat** بأنها مقدار الطاقة الحرارية التي تكتسبها أو تفقدُها كتلة من المادة مقدارها  $1\text{ kg}$  أثناء تَغْيِير حالتها، مع ثبات درجة حرارتها. ويُرمز لها بالرمز  $L$ ، وتُعد من الخصائص المميزة للمادة. وحسب التعريف، فإن كمية الحرارة  $Q$  التي تكتسبها مادة كتلتها  $m$  أو تفقدُها ترتبط مع الحرارة الكامنة النوعية للمادة  $L$  بالعلاقة الرياضية الآتية:

$$L = \frac{Q}{m} \Rightarrow Q = m L$$

حيث  $L$  : الحرارة الكامنة النوعية ووحدتها حسب النظام الدولي للوحدات  $\text{J/kg}$

$Q$  : كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة ووحدتها  $\text{J}$

$m$  : كتلة المادة ووحدتها  $\text{kg}$

وحيث إن كمية الحرارة هي كمية فизيائية قياسية لا اتجاه لها، فإن التَّغْيِير فيها يكون موجبا ( $+Q$ ) في حالة زيادة الطاقة الحرارية للمادة، أي عند اكتساب المادة للحرارة، كما هو الحال عند التَّحُول من الحالة الصلبة إلى السائلة. ويكون التَّغْيِير في كمية الحرارة سالبا ( $-Q$ ) في حالة نقص الطاقة الحرارية للمادة، أي عند فقد المادة للحرارة، كما هو الحال عند التَّحُول من الحالة الغازية إلى السائلة.



فَسَرْ عَدْم ارتفاع درجة حرارة الجليد أثناء عملية الانصهار مع العلم أن التسخين مستمر.

#### مثال 4

إحسب الحرارة الكامنة النوعية لمادة كتلتها  $400\text{ g}$  إذا فقدت كمية من الحرارة مقدارها  $11\text{ kJ}$  أثناء تحولها من حالة إلى أخرى مع ثبات درجة حرارتها؟

المعطيات:

$$m = 400\text{ g} = 0.4\text{ kg}, \quad Q = 11\text{ kJ} = 11 \times 10^3\text{ J}$$

$$Q = m L$$

$$L = \frac{Q}{m} = \frac{11 \times 10^3}{0.4} = 2.75 \times 10^4\text{ J/kg}$$

الحل

## الحرارة الكامنة للانصهار ( $L_f$ )

لكل مادة حرارة نوعية كامنة لانصهارها من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة، وحرارة نوعية كامنة لتبيخيرها من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية، وتُعرف الحرارة الكامنة للانصهار  $L_f$  بأنها كمية الحرارة اللازمة لتحويل 1 من المادة في الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة عند ثبات درجة الحرارة. حيث:

$$Q = m L_f$$

ومن معرفة كمية الحرارة المكتسبة أثناء انصهار الجليد  $Q$  من المرحلة (C-B) في الشكل (44-3) ومعرفة كتلة الجليد  $m = 0.1 \text{ kg}$  ، فإنه يمكن حساب الحرارة الكامنة لانصهار الجليد  $L_f$  كما يأتي:

$$Q = 35181 - 1881 = 33300 = 3.33 \times 10^4 \text{ J}$$

$$Q = L_f m \Rightarrow L_f = \frac{Q}{m} = \frac{3.33 \times 10^4}{0.1} = 3.33 \times 10^6 \text{ J/kg}$$

## الحرارة الكامنة للتبيخير ( $L_v$ )

تُعرف الحرارة الكامنة للتبيخير ( $L_v$ ) بأنها كمية الحرارة اللازمة لتحويل 1 من المادة في الحالة السائلة إلى الحالة الغازية عند ثبات درجة الحرارة؛ حيث ( $Q = L_v m$ ). ومن معرفة كمية الحرارة المكتسبة أثناء تبخير الماء  $Q$  من المرحلة (E-D) في الشكل (44-3)، ومعرفة كتلة الماء  $m = 0.1 \text{ kg}$  ، فإنه يمكن حساب الحرارة الكامنة للتبيخير الماء  $L_v$  كما يأتي:

$$Q = 292981 - 76981 = 226000 = 2.26 \times 10^5 \text{ J}$$

$$Q = L_v m \Rightarrow L_v = \frac{Q}{m} = \frac{2.26 \times 10^5 \text{ J}}{0.1 \text{ kg}} = 2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$$

يُبيّن الجدول (8-3) قيم كل من الحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتبيخير لعدد من المواد.

الحرارة الكامنة للتبيخير ( $L_v$ ) (J/kg)	الحرارة الكامنة للانصهار ( $L_f$ ) (J/kg)	المادة
$5.07 \times 10^6$	$2.05 \times 10^5$	النحاس
$2.72 \times 10^5$	$1.15 \times 10^4$	الرئيق
$1.64 \times 10^6$	$6.30 \times 10^4$	الذهب
$6.29 \times 10^6$	$2.66 \times 10^5$	الحديد
$8.64 \times 10^5$	$2.04 \times 10^4$	الرصاص
$2.26 \times 10^6$ (للماء)	$3.33 \times 10^5$ (للجليد)	الماء/ الجليد

جدول 8-3: قيم الحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتبيخير لعدد من المواد.

## نشاط 8-3



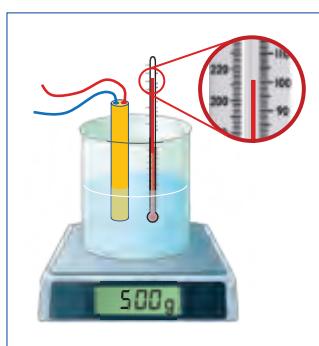
## استقصاء الحرارة الكامنة النوعية لتبخير الماء

الأهداف:

الأدوات:

الأمن والسلامة:

## الخطوات:



- يُحدِّدُ الحرارة الكامنة النوعية لتبخير الماء عملياً.
- مصدر طاقة منخفض الجهد، سخان كهربائي معلوم القدرة ( $P$ )، ساعة إيقاف، ميزان إلكتروني أو ثلاثي الأذرع لقياس الكتلة، كأس زجاجية، عازل حراري، مقياس حرارة.
- عامل بحذر مع السخان الكهربائي ولا تُشغِّله وهو خارج الماء، ولا تلمسهُ قبل أن يبرد، كذلك كُن حذراً من الماء الساخن واستخدم القفازات الحرارية لحمل الأجسام الساخنة.
- يوزع الطلبة ضمن مجموعات، وتوزع المهام على أعضاء كل مجموعة.
  - يسْقِسْ كتلة الكأس الزجاجية فارغة  $m$  ثم ضَعْ كمية الماء فيها وقِسْنْ كتلة الكأس والماء  $m_1$ ، ثم احسب كتلة الماء  $(m_1 - m)$  وسَجِّلْها في الجدول.
  - أغمِرْ السخان الكهربائي بشكِّلٍ كاملٍ في الماء دون أن يلامس الكأس ثم صِلْه بمصدر الطاقة دون تشغيله.
  - ضَعْ مقياس الحرارة في الماء دون أن يلامس الكأس. وضع العازل حول الكأس.
  - شَغِّلْ مصدر الطاقة لمدة كافيةٍ وعند لحظة بدء الماء بالغليان شَغِّلْ ساعة التوقيت، وانتظر حتى يتَبَخَّرَ ما يقارب 15% من الماء ثم أطفئ السخان وأوقف الساعة وسَجِّلْ زَمْنَ التسخين ( $t$ ) في الجدول.
  - يسْقِسْ كتلة الماء المتبقى بعد التسخين  $m_2$  وتساوي  $(m_1 - m)$  وسَجِّلْها في الجدول.
  - إحسب كمية الحرارة المكتسبة التي تساوي الطاقة الكهربائية المستهلكة في السخان:  $(Q = E = P \cdot t)$ .
  - إحسب كتلة الماء المتحول إلى بخار  $(m = m_1 - m_2)$  وسَجِّلْها في الجدول.
  - إحسب الحرارة الكامنة النوعية لتبخير من العلاقة:  $L_v = \frac{Q}{m}$  وسَجِّلْها في الجدول.

الحرارة الكامنة لتبخير $L_v = Q/m$ (J/kg)	كتلة البخار $m = m_1 - m_2$ (kg)	كتلة الماء المتبقى $m_2$ (kg)	كمية الحرارة $Q = E = P \cdot t$ (J)	الزمن $t$ (s)	قدرة السخان $P$ (W)	كتلة الماء $m_1$ (kg)

## التحليل:

- قارن النتيجة التي حصلت عليها عملياً مع القيمة الموجودة في الجدول (8-3).
- ما الهدف من وضع العازل حول الكأس الزجاجية.
- ما مصادر الخطأ المحتملة في هذا النشاط. وكيف تقلل منها؟
- صمم نشاطاً مماثلاً لقياس الحرارة الكامنة النوعية للأنصهار، ثم نقش مجموعتك بذلك بإشراف المعلم.

يُمثّلُ الشكلُ (46-3) العلاقةَ بين كميةِ الحرارةِ التي تكتسها مادةً ودرجةُ حرارتها، فإذا كانت كتلةُ المادة 15 g وبالاعتمادِ على البياناتِ في الرسم البيانيِّ في الشكلِ. أوجدُ ما يأتي:

a. الحرارةُ الكامنةُ النوعيةُ للانصهارِ.

b. الحرارةُ الكامنةُ النوعيةُ للتبخيرِ.

c. السُّعةُ الحراريةُ النوعيةُ للمادةِ في  
الحالةِ الصلبةِ.

d. السُّعةُ الحراريةُ النوعيةُ للمادةِ في  
الحالةِ السائلةِ.

e. السُّعةُ الحراريةُ النوعيةُ لبخارِ المادةِ.

**مثال 5**

الشكل 46-3: العلاقة بين درجة الحرارة وكمية الحرارة.

$$m = 15 \text{ g} = 15 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

a. الحرارةُ الكامنةُ النوعيةُ للانصهارِ

الطاقةُ الحراريةُ Q من الرسمِ :

$$Q = m L_f$$

$$7.1 \times 10^3 = 15 \times 10^{-3} L_f \Rightarrow L_f = 4.73 \times 10^5 \text{ J/kg}$$

b. الحرارةُ الكامنةُ النوعيةُ للتبخيرِ

الطاقةُ الحراريةُ Q من الرسمِ :

$$Q = 795 - 15.8 = 779.2 \text{ kJ} = 7.792 \times 10^5 \text{ J}$$

$$Q = m L_v$$

$$7.792 \times 10^5 = 15 \times 10^{-3} L_v \Rightarrow L_v = 5.19 \times 10^7 \text{ J/kg}$$

c. السُّعةُ الحراريةُ النوعيةُ للمادةِ الصلبةِ

**الحلُّ**

$$Q = m c_s \Delta T , \quad \Delta T = 100 - 0 = 100 \text{ K} , \quad Q = 1.27 - 0.0 = 1.27 \text{ kJ} = 1.27 \times 10^3 \text{ J}$$

$$1.27 \times 10^3 = 15 \times 10^{-3} \times c_s \times 100 \Rightarrow c_s = 847 \text{ J/(kg.K)}$$

d. السُّعةُ الحراريةُ النوعيةُ للمادةِ السائلةِ

$$Q = m c_l \Delta T , \quad \Delta T = 300 - 100 = 200 \text{ K} , \quad Q = 15.8 - 8.37 = 7.43 \text{ kJ} = 7.43 \times 10^3 \text{ J}$$

$$7.43 \times 10^3 = 15 \times 10^{-3} \times c_l \times 200 \Rightarrow c_l = 2477 \text{ J/(kg.k)}$$

e. السُّعةُ الحراريةُ النوعيةُ لبخارِ المادةِ

$$Q = m c_g \Delta T , \quad \Delta T = 400 - 300 = 100 \text{ K} , \quad Q = 796 - 795 = 1 \text{ kJ} = 1 \times 10^3 \text{ J}$$

$$1 \times 10^3 = 15 \times 10^{-3} \times c_g \times 100 \Rightarrow c_g = 667 \text{ J/(kg.K)}$$

## مثال 6

إحسب الطاقة الحرارية اللازمة لصهر كمية من الجليد كتلتها 0.65 kg . علماً بأن الحرارة الكامنة النوعية لانصهار الجليد  $3.33 \times 10^5 \text{ J/kg}$

الكميات المعلومة:

$$m = 0.65 \text{ kg} , L_f = 3.33 \times 10^5 \text{ J/kg}$$

$$Q = m L_f$$

$$= 0.65 \times 3.33 \times 10^5 = 2.165 \times 10^5 \text{ J}$$

الحلُّ

## مثال 7

إحسب الطاقة الحرارية اللازمة لتحويل (0.5) kg من الماء في درجة  $30^\circ\text{C}$  إلى بخار ماء عند الدرجة  $100^\circ\text{C}$ . علماً بأن الحرارة الكامنة النوعية لتبخير الماء  $2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$  والسعنة الحرارية النوعية للماء  $c = 4180 \text{ J/kg}$

الكميات المعلومة:

$$m = 0.5 \text{ kg} , L_v = 2.26 \times 10^6 \text{ J/kg} , c = 4180 \text{ J/kg}$$

كمية الحرارة اللازمة لتسخين الماء من  $30^\circ\text{C}$  إلى  $100^\circ\text{C}$

$$Q_1 = m c \Delta T$$

$$= 0.5 \times 4180 \times (100 - 30) = 1.463 \times 10^5 \text{ J}$$

الحلُّ

كمية الحرارة اللازمة لتحويل الماء من سائل إلى بخار عند درجة  $100^\circ\text{C}$

$$Q_2 = m L_v$$

$$= 0.5 \times 2.26 \times 10^6 = 1.13 \times 10^6 \text{ J}$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$= 1.463 \times 10^6 + 1.13 \times 10^6 = 2.593 \times 10^6 \text{ J}$$



- مادة كتلتها 200 g فقدت كمية من الحرارة مقدارها  $7.94 \times 10^4 \text{ J}$  في 7.94 ثانية تحولها من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة، ثبات درجة حرارتها. إحسب الحرارة الكامنة النوعية للانصهار.



- فسر ما يلي: عدم احتراق كأس من الورق مملوءة بالماء عند وضعها فوق اللهب حتى بعد بدء غليان الماء كما في الشكل.

## السِّعةُ الْحَرَارِيَّةُ النَّوْعِيَّةُ الْعَالِيَّةُ لِلْمَاءِ

لاحظت أنَّ للماء سعةً حراريةً نوعيةً كبيرةً جدًا بالمقارنة مع المواد الأخرى، وللماء أيضًا حرارةً كامنةً نوعيةً كبيرةً مقارنةً مع الماء الأخرى. إنَّ لهذه الخصائصِ للماء أهميةً كبيرةً جعلتهُ أفضلَ المواد المستخدمة في التبريد أو المحافظة على درجات حرارةٍ ثابتةٍ في الأنظمة الحرارية، ومن الأمثلة على ذلك:

### المحافظة على ثبات درجة حرارة جسم الإنسان والحيوانات:

يساعدُ الماء جسم الإنسان وأجسام الحيوانات على ثبات درجة حرارته، بعدة طرق:

1. تحتوي أجسام الكائنات الحية على الماء بنسبة كبيرة؛ إذ تصل نسبة الماء في جسم الإنسان إلى 70%，

**إثراء:**  
كيف يحافظ الجسم على درجة حرارة ثابتة تقريبًا؟

يحافظ الجسم على توازنه في إنتاج الطاقة الحرارية وفقدانها؛ إذ إنه يحرر الطاقة الكيميائية المخزنة في الغذاء عن طريق التنفس الهوائي ويُولّد الحرارة، وعندما يشعر الإنسان بالبرد تنقبض عضلاته لتوليد المزيد من الحرارة، وتضيق الأوعية الدموية تحت الجلد للتقليل من فقدانها. وعند ارتفاع درجة حرارة الجسم يبدأ بإفراز العرق، وتتسع الأوعية الدموية تحت الجلد. التي يستهلكها الماء الموجود في العرق للت BX.

وتعمل كمية الماء الكبيرة في الجسم على زيادة مخزون الجسم من الطاقة الحرارية، بسبب السِّعةُ الْحَرَارِيَّةُ النَّوْعِيَّةُ الكَبِيرَةُ لِلْمَاءِ. فيساعدُ هذا المخزون جسم الإنسان على مقاومة تغيرات درجة حرارة الجو، ومحافظة الجسم على درجة حرارة ثابتة تقريبًا في المناخات الباردة والحرارة.

2. تساعدُ الحرارة النوعية الكامنة للماء الجسم على تبريد نفسه في حالة التعرق، لأنَّ العرق عند تبخره يمتلك طاقةً حراريةً كبيرةً من الجسم بسبب ارتفاع الحرارة الكامنة النوعية للماء.

3. يتكونُ الدمُ بنسبة كبيرة (تزيد عن 90%) من الماء الذي يمتلك سعةً حراريةً نوعيةً كبيرةً، تزيدُ من كفاءة الدم في نقل الحرارة بين أعضاء الجسم المختلفة.



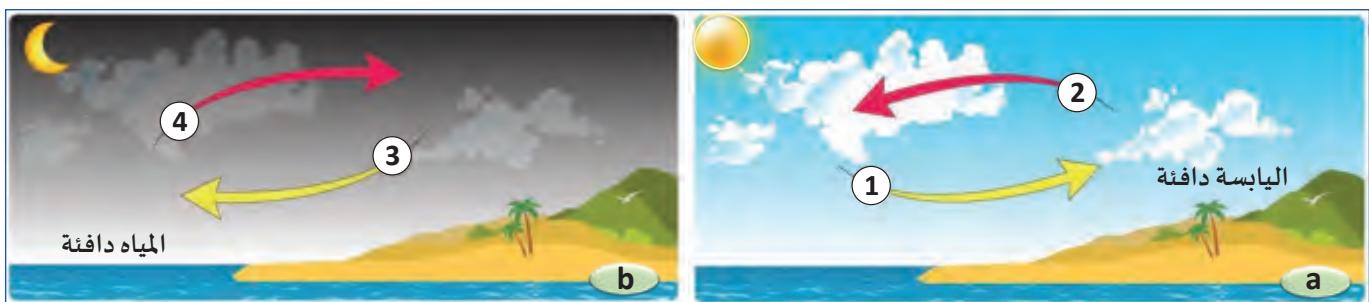
لماذا تُعدُّ النسبةُ الكبيرةُ لوجود الماء في جسم الإنسان هامة في مقاومة التغيرات في درجة حرارة الوسط المحيط؟



## المحافظة على استقرار المناخ

يساعد الماء على استقرار المناخ من خلال تعادل درجات الحرارة في الغلاف الجوي والحفاظ على استقرارها في المحيطات؛ مما يجعلها تلائم الكائنات الحية التي تعيش فيها. وتظهر أهمية القيمة الكبيرة لكلٍ من السعة الحرارية النوعية للماء وحرارته الكامنة النوعية في الأمور الآتية:

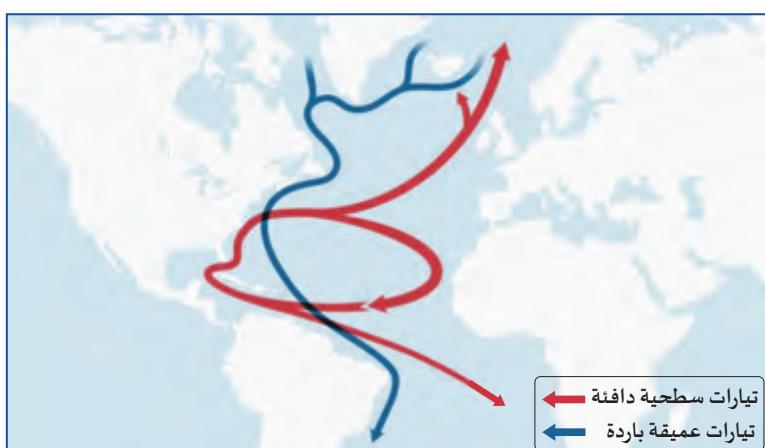
1. تُوجَدُ في المناطق القطبية كميات هائلةً من الجليد وتنفصل عنها الجبال الجليدية باستمرار، لكنها لا تصهر بسهولة لأنها تحتاج لكميات كبيرة من الحرارة؛ إذ لو انصهرت لارتفاع منسوب البحر ولحقت أضراراً بكثيرٍ من المدن الساحلية وأراضي زراعية واسعة، وتضررت أنظمة بيئية كثيرة.
2. يسخن ماء البحر ببطء بينما تسخن اليابسة بسرعة؛ بسبب تفاوت السعة الحرارية النوعية للماء والرمل، فتحدث حركة للرياح الباردة (1)، كما في الشكل (a/47-3)، التي تهب من فوق البحر إلى اليابسة نهاراً فتلطف الجو، وتعود دافئة في الطبقات العلوية (2)، ويحدثعكس في الليل، كما في الشكل (b/47-3)؛ حيث تبرد اليابسة بسرعة، فتندفع رياح باردة نحو البحر (3)، وتعود دافئة نحو اليابسة (4). وتُعرف هذه الظاهرة بنسيم البر والبحر.



الشكل 47-3: (a) نسيم البحر في النهار، (b) نسيم البر في الليل.

3. ترتفع درجة حرارة البحر والمحيطات ببطء، وتختزن الكثير من الطاقة الحرارية في الصيف، وعندما يحل فصل الشتاء يبرد الغلاف الجوي بشكل كبير، فتنقل إليه الحرارة من مياه المحيطات؛ وهي بذلك تساعد على تقليل برودة الهواء. فتكون المدن الساحلية دائماً معتدلةً الحرارة.

4. تتعرّض مياه المحيطات في المناطق الاستوائية إلى أشعة الشمس فتسخن وتحفظ بكميات كبيرة من الحرارة، بينما تبقى المياه باردة في المناطق القطبية، فت تكون تيارات بحرية تعمل على توزيع الحرارة على مناطق واسعة من الكره الأرضية. كما يُبيّن الشكل (48-3).



الشكل 48-3: التيارات البحرية الدافئة والتيارات البحرية الباردة.

### تطبيقاتٌ تكنولوجيةٌ للحرارة الكامنة:

1. تُستخدم الحرارة الكامنة في المادة عند تجمدها في التدفئة؛ إذ تُباع عبوات بلاستيكية في الأسواق في البلاد الباردة تحتوي بداخلها مادةً شمعيةً أو بعض المواد الأخرى؛ بحيث يَتَم تزويد العبوة بكميات كبيرة من الحرارة؛ فتنصهر المادة وتحتفظ بكمية الحرارة على شكل حرارة كامنة لانصهار. وعند الاستخدام توضع ملامسةً للجسم المراد تدفئته، فتبعد مكوناتها بالتجفيف وتطلق منها الحرارة الكامنة إلى الجسم الملمس لها، لتتحول إلى مادة صلبة، ولهذه العبوات أشكالٌ مختلفةٌ كما تبدو في الشكل (49-3).



الشكل 49-3: عبوة تستخدم للتدافئة في البلدان الباردة.

2. يستخدم الماء في إطفاء الكثير من أنواع الحرائق، كما في الحقول والغابات حيث أنه يعزل الأكسجين عن المادة المشتعلة، ويختص الكثير من الطاقة الحرارية بسبب سعته الحرارية النوعية الكبيرة، فيعمل على تبريد المواد المشتعلة.

## مراجعةُ الدرسِ الثالث

### الأفكار الرئيسية:

- عندما يتلامس جسمان مختلفان في درجتي حرارتهما؛ فإن الحرارة تنتقل من الجسم الأعلى درجة حرارة إلى الجسم الأدنى درجة حرارة.
- مبدأ حفظ الطاقة: الطاقة لا تُفنى ولا تُستحدث ولكنها تتتحول من شكل إلى آخر.
- الطاقة الحرارية التي يكتسبها جسمٌ تتناسب طردياً مع كلٍ من كتلته والسعّة الحرارية النوعية لمادته والفرق في درجتي حرارته الابتدائية والنهاية.
- انتقال الطاقة الحرارية إلى الجسم قد يرفع درجة حرارته، أو يُحوله من حالة إلى أخرى.
- السعّة الحرارية النوعية هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة  $1\text{ kg}$  من المادة بمقدار درجة سلسيلوس واحدة.
- السعّة الحرارية النوعية للمادة والحرارة الكامنة النوعية، صفتان فيزيائيتان تميزا المادة عن الماء الأخرى؛ إذ إن لكل مادة سعة حرارية نوعية وحرارة كامنة نوعية خاصة بها.
- تحتَّلُ السعّة الحرارية النوعية من مادةٍ لأخرى بسبب اختلاف قوى التَّرَابِط بين جزيئات المادة؛ مما ينتج عنه اختلاف في كمية الحرارة اللازمة لزيادة الطاقة الحركية لهذه الجزيئات.
- الحرارة الكامنة النوعية هي كمية الحرارة اللازمة لتغيير حالة  $1\text{ kg}$  من المادة دون تغيير درجة حرارتها.
- الحرارة الكامنة النوعية للانصهار  $Q_f$  هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل  $1\text{ kg}$  من المادة في الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة عند ثبات درجة الحرارة.
- الحرارة الكامنة النوعية للتَّبَخِير  $Q_v$  هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل  $1\text{ kg}$  من المادة في الحالة السائلة إلى الحالة الغازية عند ثبات درجة الحرارة.
- تَغَيِّرُ الحالَة هو تَغَيِّرُ المادَة من حالَة إلى أخْرى عند درجَة حرارَة ثابتَة.
- اكتساب الحرارة أو فقدانها أثناء تَغَيِّر حالَة المادَة لا يُغَيِّر درجَة حرارَة المادَة، لكنَّه يُغَيِّر من طاقَة الوضِيع بين جزيئات المادَة.

## تَقْوِيمُ الدَّرْسِ الثَّالِث



1. اخْتُرِ الإِجَابَةَ الصَّحِيحةَ فِي كُلِّ مَا يَأْتِي:

1. عَنْدَ وَضْعٍ قَطْعَةٍ سَاخِنَةٍ مِّنَ الْحَدِيدِ فِي إِناءٍ مَاءٍ بَارِدٍ، مَا الَّذِي يَحْدُثُ؟

a. تَزْدَادُ الطَّاقَةُ الْحَارِيَّةُ لِقَطْعَةِ الْحَدِيدِ.

b. تَنْتَقُلُ الْحَرَارَةُ مِنَ الْحَدِيدِ إِلَى الْمَاءِ.

c. تَنْتَقُلُ الْبَرُودَةُ مِنَ الْمَاءِ إِلَى الْحَدِيدِ.

d. تَقِلُّ الطَّاقَةُ الْحَارِيَّةُ لِلْمَاءِ.

2. أَيُّ الْعَبَاراتِ الْأَتِيَّةُ تَتَفَقَّدُ مَعَ مَبْدَأِ حِفْظِ الطَّاقَةِ؟

a. الطَّاقَةُ الْحَارِيَّةُ لَا تَنْتَقُلُ مِنْ جَسَمٍ إِلَى آخَرَ.

b. الطَّاقَةُ الْحَارِيَّةُ لَا تَتَحَوَّلُ إِلَى أَشْكَالٍ أُخْرَى مِنَ الطَّاقَةِ.

c. لَا يُمْكِنُ تَخْرِينُ الطَّاقَةِ الْحَارِيَّةِ فِي الْأَجْسَامِ.

d. الطَّاقَةُ لَا تُفْنِي وَلَا تُسْتَحِدُ.

3. مَا الْعَوَامِلُ الَّتِي تَعْتمَدُ عَلَيْهَا الْحَرَارَةُ الْكَامِنَةُ النَّوْعِيَّةُ لِلتَّبَخِيرِ؟

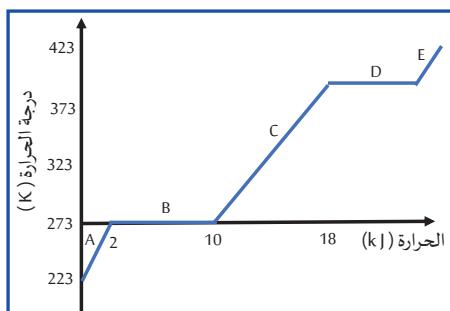
a. كَتْلَةُ الْمَادِيَّةِ فَقَط.

b. نَوْعُ الْمَادِيَّةِ فَقَط.

c. كَتْلَةُ الْمَادِيَّةِ وَنَوْعُهَا فَقَط.

d. كَتْلَةُ الْمَادِيَّةِ وَنَوْعُهَا وَفَرْقُ درَجَاتِ الْحَرَارَةِ.

4. أَيُّ الْمَراحلِ فِي الرَّسِّمِ الْبَيَانِيِّ الْمُجَاوِرِ يَحْدُثُ فِيهَا تَغْيِيرٌ لِحَالَةِ الْمَادِيَّةِ؟



B , A . a

C , A . b

D , B . c

D , C . d

2. قَطْعَةٌ مِّنَ الطَّوبِ كَتْلَتُهَا  $3.5 \text{ kg}$  وَدَرْجَةُ حَرَارَتِهَا  $20^\circ\text{C}$  سُخِنَتْ بِتَزْوِيدِهَا بِكمِيَّةٍ مِّنَ الْحَرَارَةِ مُقَدَّرُهَا  $73500 \text{ J}$ ، إِذَا عَلِمْتَ أَنَّ السُّعَةَ الْحَارِيَّةَ النَّوْعِيَّةَ لِلْطَّوبِ  $840 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ . فَمَا مُقَدَّارُ دَرْجَةِ الْحَرَارَةِ النَّهَائِيَّةِ الَّتِي وَصَلَتْ إِلَيْهَا.

3. كَمِيَّاتٌ مُتَسَاوِيَّاتٌ مِّنَ الْمَاءِ وَزَيَّتْ دَوَارِ الشَّمْسِ، كَتْلَةُ كُلِّ مِنْهَا  $0.1 \text{ kg}$ ، مَوْضِعُهَا فِي غُرْفَةٍ دَرْجَةُ حَرَارَتِهَا  $25^\circ\text{C}$ ، تَمَّ تَزْوِيدُ كُلِّ مِنْهَا بِكمِيَّةٍ مِّنَ الْحَرَارَةِ مُقَدَّرُهَا  $5852 \text{ J}$ ، احْسِبْ مُقَدَّارَ دَرْجَةِ الْحَرَارَةِ النَّهَائِيَّةِ لِكُلِّ مِنْهَا.

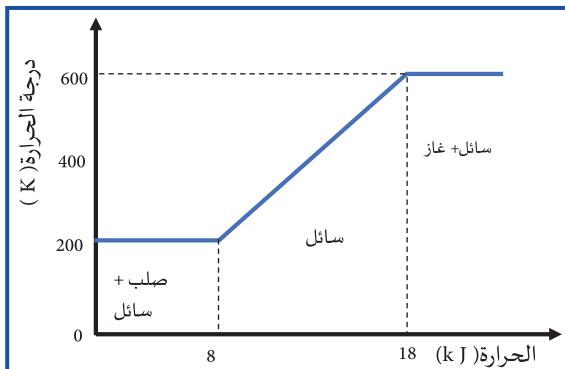
## تابع تقويم الدرس الثالث

4. قطعة من الحديد كتلتها  $0.32 \text{ kg}$  ودرجة حرارتها  $600^\circ\text{C}$ ، وضعت في إناء مملوء بالماء. فإذا علمت أن الماء تغيرت درجة حرارته من  $20^\circ\text{C}$  إلى  $80^\circ\text{C}$  عند الاتزان، فما كتلة الماء المستخدم للتبريد؟
5. معتمداً على الجدول الآتي، أجب عن الأسئلة التي تليه.

السعة الحرارية النوعية $(\text{J}/\text{kg}^\circ\text{C})$	الكتلة	المادة
128	0.5 kg	Gold
385	0.5 kg	Copper
450	0.5 kg	Iron

- a. أي المواد الثلاث تحتاج كمية أكبر من الحرارة لرفع درجة حرارتها بمقدار  $5^\circ\text{C}$ ؟
- b. عند تسخين المواد الثلاث إلى درجة  $100^\circ\text{C}$ ، ثم تركها في جو الغرفة، أيها تبرد أولاً؟
- c. عند تزوييد المواد الثلاث بكميات متساوية من الحرارة، أي مادة يكون لدقائقها طاقة حركية أكبر؟
6. احسب الطاقة الحرارية اللازمة لتحويل قطعة من الذهب كتلتها  $5 \text{ g}$  من الحالة الصلبة عند الدرجة  $22^\circ\text{C}$  إلى الحالة السائلة عند الدرجة  $1062^\circ\text{C}$  (درجة الانصهار) علماً بأن الحرارة الكامنة النوعية لانصهار الذهب  $6.3 \times 10^4 \text{ J/kg}$

7. اعتماداً على الرسم البياني المجاور الذي يوضح العلاقة بين درجة الحرارة وكمية الحرارة المكتسبة لمادة كتلتها  $50 \text{ g}$ ، أوجد:



- a. الحرارة الكامنة النوعية لانصهار.  
b. السعة الحرارية النوعية للمادة السائلة.

8. أيهما أكبر، الحرارة الكامنة النوعية للتبيخ أم الحرارة الكامنة النوعية لانصهار؟ ووضح ذلك.
9. علّن ما يأتي:
- a. الحرارة الكامنة النوعية صفة مميزة للمادة.  
b. ثبات درجة حرارة الماء أثناء غليانه.
10. ماذا نعني بقولنا «الحرارة الكامنة النوعية لانصهار الجليد»  $3.3 \times 10^{-5} \text{ J/kg}$ .

## تقويم الوحدة الثالثة



1. اختر الإجابة الصحيحة في كلٍ مما يأتي:

أي العبارات الآتية صحيحةً فيما يتعلق بتزويد الأجسام بالطاقة الحرارية؟

- a. تَقِلُّ كمِيَّةُ الْحَرَارَةِ الْلَّازِمَةِ لِتَسْخِينِ الْجَسَمِ بِزِيادَةِ الْفَرْقِ بَيْنَ درجَتِهِ حرارةً الابتدائية والنهائية.
- b. تَقِلُّ كمِيَّةُ الْحَرَارَةِ الْلَّازِمَةِ لِتَسْخِينِ الْجَسَمِ بِزِيادَةِ السُّعَدَةِ الْحَرَارِيَّةِ النَّوْعِيَّةِ لِمَادِتِهِ.
- c. تَزَدَادُ السُّعَدَةِ الْحَرَارِيَّةِ النَّوْعِيَّةِ لِمَادِتِهِ الْجَسَمِ بِزِيادَةِ كَتْلَتِهِ.
- d. تَزَدَادُ السُّعَدَةِ الْحَرَارِيَّةِ لِلْجَسَمِ بِزِيادَةِ السُّعَدَةِ الْحَرَارِيَّةِ النَّوْعِيَّةِ لِمَادِتِهِ.

عند وضع كميتين من الزيت والماء متساويتين في الكتلة ودرجة الحرارة فوق مصدرٍ حارٍ واحدٍ للمرة  
الزمنية نفسها، ماذا يحدث لها؟

- a. تَرتفُعُ درجةُ حرارةِ الزيتِ بمقدارٍ أَكْبَرَ مِنْ درجةِ حرارةِ الماءِ.
- b. تَرتفُعُ درجةُ حرارةِ الزيتِ بمقدارٍ أَقْلَى مِنْ درجةِ حرارةِ الماءِ.
- c. تَرتفُعُ درجةُ حرارةِ الزيتِ والماءِ بِنَفْسِ المقدارِ.
- d. تَرتفُعُ درجةُ حرارةِ الزيتِ ، بينما تبقى درجةُ حرارةِ الماءِ ثابتةً.

دورقان متماثلان، يحتوي الأول لترًا واحدًا من الماء والثاني لترٍ اثنين من الماء، وُضِعا فوق مصدرٍ  
حرارةً كما في الشكل، فتغيّرت درجة الحرارة في الدورق الأول بمقدار  $10^{\circ}\text{C}$  فما مقدار التَّغَيِّرُ في درجة

حرارة الثاني؟



- a.  $20^{\circ}\text{C}$
- b.  $10^{\circ}\text{C}$
- c.  $5^{\circ}\text{C}$
- d.  $0^{\circ}\text{C}$

4. ما مقياسُ درجة الحرارة الذي يتميّز بإمكانية استخدامه دون الحاجة إلى اتصاله مع الجسم المراد  
قياسُ درجة حرارته؟

- a. مقياسُ البليوراتِ السائلةِ.
- b. مقياسُ الحرارةِ الإشعاعيِّ.
- c. المزدوجُ الحراريُّ.
- d. مقياسُ المقاومةِ الكهربائيِّ.

## تابع تقويم الوحدة الثالثة

ما هي درجة تجمد الماء حسب مقياس فهرنهايت؟ 5.

a.  $0^{\circ}\text{F}$

b.  $273.15^{\circ}\text{F}$

c.  $212^{\circ}\text{F}$

d.  $32^{\circ}\text{F}$

أيٌّ مما يأتي تُوصِّفُ بأنها خاصية تُحدِّدُ انتقال اتجاه الحرارة من جسم إلى آخر؟

a. الطاقة الحرارية.

b. الاتزان الحراري.

c. السعة الحرارية.

d. درجة الحرارة.

تنخفض درجة حرارة الجو أحياناً في الأيام الباردة إلى  $10^{\circ}\text{C}$ ، كم تُكافئ هذه الدرجة على مقياس كلفن؟

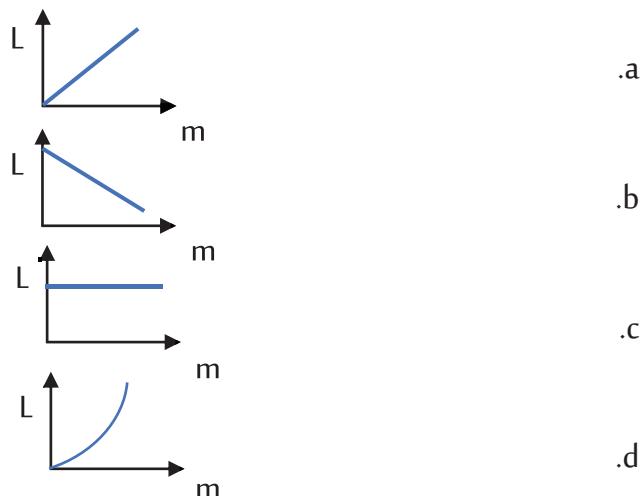
a.  $263.15\text{ K}$

b.  $273.15\text{ K}$

c.  $283.15\text{ K}$

d.  $373.15\text{ K}$

أيٌّ الرسومات البيانية الآتية تمثل علاقَةَ تَغْيِيرِ الحرارة الكامنة النوعية ( $L$ ) مع تغيير كتلة المادة ( $m$ )؟



## تابع تقويم الوحدة الثالثة

9. عندما يبدأ النفتاليين بالانصهار، ماذا يحدث لقراءة مقياس الحرارة الموضوع فيه أثناء الاستمرار في تسخين النفتاليين؟

a. تستمرة في الارتفاع.

b. تنخفض فجأةً.

c. تتوقف حتى انتهاء عملية الانصهار ثم ترتفع.

d. تتوقف حتى انتهاء عملية الانصهار ثم تنخفض.

10. أيٌ من العبارات الآتية تتافق مع فرضيات نموذج الحركة الجزيئية؟

a. تتكون الغازات من فراغ لا يوجد فيه دقائق.

b. تتكون المادة السائلة من دقائق منتشرة ومتباعدة.

c. تتكون المادة الصلبة من دقائق ثابتة ومتراسصة.

d. تتكون المادة الصلبة من دقائق تهتز بشكل مستمر.

11. أشار نموذج الحركة الجزيئية إلى أن المادة تتكون من دقائق، ما دقائق المادة في مكعب الجليد؟

a. جزيئات الماء.

b. بلورات الثلج.

c. قطرات الماء.

d. ذرات الهيدروجين.

12. ماذا تُسمى عملية تحول المادة من الحالة السائلة إلى الغازية التي تحدث عند سطح السائل فقط بسبب امتلاك بعض الجزيئات لقدر كبير من الطاقة الحركية؟

a. التجمد.

b. التكاثف.

c. التبخر.

d. الغليان.

13. ما الوحدة التي تُقاس بها الحرارة الكامنة النوعية؟

J / W .a

J / kg .b

J / kg.K .c

J / K .d

## تابع تقويم الوحدة الثالثة

2. فَسْرُ كَلَّا مِنَ الْخَصَائِصِ الْأَتِيَّةِ لِحَالَاتِ الْمَادِيَّةِ الْمُخْتَلِفَةِ:

a. مَكْعُبُ الْجَلِيدِ غَيْرُ قَابِلٍ لِلِانْصِفَاطِ.

b. عِنْدَ سَكْبِ الشَّايِ مِنَ الْإِبْرِيقِ فِي كَاسٍ إِنَّ الشَّايَ يَأْخُذُ شَكْلَ الْكَاسِ.

c. يُمْكِنُ وَضْعُ كَمِيَّةٍ كَبِيرَةٍ مِنَ الْأَكْسِجِينِ دَاخِلَّ أَسْطَوَانَةٍ صَغِيرَةِ الْحَجْمِ.

3. عِنْدِ إِشْعَالِ كَمِيَّةٍ مِنَ الْبَخُورِ وَوَضْعُهَا فِي غُرْفَةٍ دَافِئَةٍ (لَا يُوجَدُ فِيهَا تِيَارَاتٌ هَوَائِيَّةٌ)، يَنْتَشِرُ الدُّخَانُ بِطَرِيقَةٍ

تَخْلُفُ عَنْ طَرِيقَةِ انتشارِهِ فِي غُرْفَةٍ بَارِدَةٍ.

a. أَيُّ الشَّكَلَيْنِ (a)، (b) يُوضِّحُ انتشارَ الدُّخَانِ فِي الغُرْفَةِ الدَّافِئَةِ؟

b. فَسْرُ سَبَبَ اختِلَافِ طَرِيقَةِ انتشارِ الدُّخَانِ فِي كُلِّ مِنَ الْغُرَفَتَيْنِ.



(b)



(a)

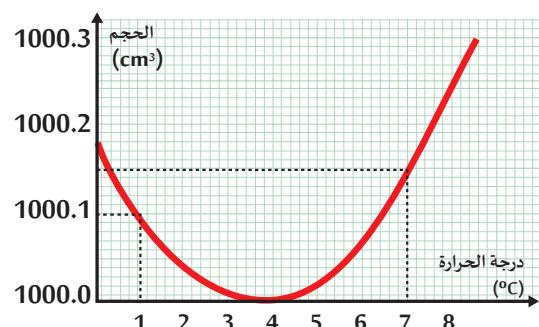
4. تَتَكَوَّنُ الْجَبَالُ الْجَلِيدِيَّةُ فِي مَنْطَقَيِ الْقَطْبَيْنِ الشَّمَالِيِّ وَالْجَنُوبِيِّ، ثُمَّ تَنْفَصُلُ عَنْهَا أَجْزَاءٌ مُخْتَلِفَةٌ وَتَتَحْرُكُ بِفَعْلِ التِّيَارَاتِ الْبَحْرِيَّةِ، فَتَشَكُّلُ خَطِيرًا عَلَى الْمَلاحةِ الْبَحْرِيَّةِ. مَا نَسْبَةُ الْجَزءِ الْمَغْمُورِ مِنَ الْجَبَالِ الْجَلِيدِيِّ تَحْتَ مَاءِ الْبَحْرِ؟ وَمَا الظَّاهِرَةُ الْعَلْمِيَّةُ الَّتِي تَجْعَلُ الْجَلِيدَ يَطُوفُ عَلَى الْمَاءِ؟

5. صِفْ تَرْكِيبَ الشَّرِيطِ ثَنَائِيِّ الْفِلِزِ، مُوضِّحًا اسْتِخْدَامَهُ وَطَرِيقَةَ عَمْلِهِ. ثُمَّ فَسْرُ سَبَبَ انْحِنَائِهِ بِالاعْتِمَادِ عَلَى نَمْوَذِجِ الْحَرْكَةِ الْجِزِيَّيَّةِ لِلْمَادِيَّةِ.



6. طَلَبَ مِنْكَ أَحَدُ أَفْرَادِ العَائِلَةِ الْمَسَاعِدَةَ فِي فَتْحِ إِنَاءٍ زَجاجِيٍّ لِهِ غَطَاءً مَعْدُنيًّا مَغْلُقًّا بِإِحْكَامٍ، كَمَا فِي الشَّكَلِ الْمُجاوِرِ. وَضِّحْ مَا الَّذِي تَعْمَلُهُ لِفَتْحِ الإِنَاءِ مُعْتمِدًا عَلَى مَعْلُومَاتِكِ فِي مَوْضِعِ التَّمَدُّدِ الْحَرَارِيِّ لِلْأَجْسَامِ الصلِبةِ.

7. كَمِيَّةٌ مِنَ الْمَاءِ كَتْلَهَا 1kg وَدَرْجَةُ حَرَارَتِهَا 0°C، تَمَّ تَسْخِيْنُهَا وَتَسْجِيلُ التَّغَيُّرِ فِي حَجْمِهَا وَدَرْجَةِ حَرَارَتِهَا، ثُمَّ مُثِلِّتُ الْعَلَاقَةُ بَيْنَهُما فِي الرَّسَمِ الْبَيَانِيِّ الْمُجاوِرِ. مُعْتمِدًا عَلَى الرَّسَمِ أَجْبُ عَمَّا يَأْتِي:



a. حَدَّدْ دَرَجَاتِ الْحَرَارَةِ الَّتِي يَتَشَابَهُ فِيهَا تَمَدُّدُ الْمَاءِ مَعَ الْمَوَادِ الْأُخْرَى وَالْدَرَجَاتِ الَّتِي يَكُونُ فِيهَا تَمَدُّدُ شَازِدًا؟

b. عِنْدَ أَيِّ دَرْجَةِ حَرَارَةٍ يَتَسَاوِي حَجْمُ الْمَاءِ مَعَ حَجْمِهِ عِنْدَ الْدَرْجَةِ 1°C

## تابع تقويم الوحدة الثالثة

8. أذكر ثلاثة نقاط يجب مراعاتها عند تصميم مقياس الحرارة السائل؟

9. تم تسخين كمية من الزيت من درجة حرارة  $50^{\circ}\text{F}$  إلى  $320^{\circ}\text{F}$ ، ما مقدار التغير في درجة الحرارة حسب كل من نظامي كلفن وسلسيوس؟

10. علّل كلاً من العبارات الآتية:

a. عملية معايرة مقياس الحرارة الزئبقي أو الكحولي سهلة نسبياً.

b. لا يصلح مقياس الحرارة الكحولي لقياس درجة غليان الماء.

c. عند استخدام مقياس الحرارة السائل ننتظر فترة قليلة من الزمن قبلأخذ القراءة.

11. هل يؤثر تمدد مادة الساق الزجاجية في مقياس الحرارة السائل في دقة قراءة المقياس؟ وضح ذلك.

12. هل يمكن أن تكون الطاقة الحرارية لكمية من الماء الساخن متساوية للطاقة الحرارية لكمية من الماء البارد؟ ووضح ذلك.

13. قيُسْت درجة حرارة شخصٍ، فُوجِدَت  $102^{\circ}\text{F}$ . إذا علمت أن درجة حرارة الإنسان السليم تقع بين  $36.5^{\circ}\text{C}$  و  $37.5^{\circ}\text{C}$ ) هل درجة حرارة الشخص طبيعية أم لا؟

14. ما هو مقياس الحرارة الأنسب لقياس كلٍ مما يأتي:

a. درجة حرارة شخصٍ مريضٍ.

b. درجة تجمد الأكسجين ( $-218^{\circ}\text{C}$ ).

c. درجة حرارة قطعة معدنية في آلة حرارية درجة حرارتها  $300^{\circ}\text{C}$ .

d. درجة غليان الألومنيوم  $2470^{\circ}\text{C}$ .

15. أوجِدْ درجة الحرارة التي تكون عندها قراءة مقياس الحرارة الفهرنهايت مثل قراءة مقياس الحرارة السليسوس.

16. كمية من زيت دوار الشمس كتلتها  $3\text{ kg}$  ودرجة حرارتها  $30^{\circ}\text{C}$  يلزم تسخينها إلى درجة حرارة  $80^{\circ}\text{C}$  احسب كمية الحرارة اللازمة لذلك.

17. لديك كميتان متساويان من الماء والرمل كتلة كلٍ منها  $200\text{ kg}$  ودرجة حرارتها  $25^{\circ}\text{C}$ ، ما درجة الحرارة التي تصل إليها كلٌ مادة إذا انتقلت إليها من الشمس طاقة حرارية مقدارها  $2.4 \times 10^6\text{ J}$ ؟

18. جسم كتلته  $0.4\text{ kg}$  ودرجة حرارته  $12^{\circ}\text{C}$  اكتسب كمية من الحرارة مقدارها  $1560\text{ J}$  فارتفعت درجة حرارته إلى  $42^{\circ}\text{C}$  احسب السعة الحرارية النوعية لمادة الجسم.

## تابع تقويم الوحدة الثالثة

19. حول درجات الحرارة الآتية إلى أنظمة قياس الحرارة المطلوبة:

- a. درجة غليان الماء على قمة افريست  $70^{\circ}\text{C}$  إلى فهرنهايت.
- b. متوسط درجة الحرارة على سطح القمر  $98^{\circ}\text{C}$  إلى كلفن.

20. ناقشْ مدى صحة هذه العبارة "الحرارة هي مقياس للطاقة الحرارية".

21. فسّر اختلاف السعة الحرارية النوعية من مادة لأخرى، مُعتمداً على فرضيات نموذج الحركة الجزيئية.

22. أكمل الجدول الآتي بكتابِ التَّغْيُيراتِ التي تطرأ على المادة.

تباعد/قارب الجزيئات	طاقة الوضع بين الجزيئات	متوسط طاقة حركة الجزيئات	درجة الحرارة	تَغْيِير حالة المادة
				من سائل إلى غازٍ
				من سائل إلى صلبٍ

23. تُغطِّي المياه ثلاثة أرباع سطح الكره الأرضية، وتبليغ مساحة المحيط الهادئ لوحده  $165000000 \text{ km}^2$ ، وهي

تعادل ثلث مساحة الكره الأرضية تقريباً. (افترض أن كثافة ماء البحر هي  $1000 \text{ kg/m}^3$  تقريباً).

إحسب كمية الحرارة التي تكتسبها كمية المياه الموجودة في المتر العلوي من المحيط الهادئ، لكي ترتفع درجة حرارتها بمقدار  $1^{\circ}\text{C}$ .

24. عَيْنَةٌ من الإيثانول كتلتها  $g\ 20$  فقدت طاقةً حراريةً مقدارها  $\text{kJ}\ 17.56$  أثناء تحولها من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة عند درجة الحرارة نفسها، إحسب الحرارة الكامنة النوعية لانصهار الإيثانول؟

25. عَلَى ما يأتى:

a. عندما ترتفع درجة حرارة جسم الإنسان يبدأ بالتلعرق.

b. تهُبُّ رياح باردةً من فوق مياه البحر نهاراً على الأماكن الساحلية المجاورة.

c. تخزنُ مياه البحر والمحيطات كمياتٌ كبيرةً من الطاقة الحرارية.

26. احسب كمية الحرارة التي تفقدتها كمية من الزئبق كتلتها  $g\ 20$  عند تحولها من سائل درجة حرارته  $25^{\circ}\text{C}$  إلى صلب درجة حرارته  $(-39^{\circ}\text{C})$  علمًا أن:

a. درجة تجمد الزئبق  $(-39^{\circ}\text{C})$

b. السعة الحرارية النوعية للزئبق  $140 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$

c. الحرارة الكامنة النوعية لانصهار الزئبق  $1.15 \times 10^4 \text{ J/kg}$

## المراجع References

1. Serway, R & Faughn, J. (2017). Physics. Orlando, United States: Houghton Nifflin Harcourt.
2. Serway, R & Jewett, J. (2013). Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics. Boston, United States: Cengage Learning.
3. Johnson, K & Hewett, S & Holt, S & Miller, J. (2015). Advanced Physics for You. London, UK: Nelson Thornes
4. Borgford, C & Champagne, A & Cuevas, M & Dumas, L & Lamp, W & Vonderbrink, S. (2013). Physical Science. New York, United States: Houghton Nifflin Harcourt.
5. Crundell, M & Goodwin, G & Mee, C. (2014). Physics. London, UK: Hodder Education.