المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم

المركز الوطني
لتطوير المناهج
National Center
for Curriculum
Development

الفيزياء 11

الصف الحادي عشر - المسار الأكاديمي

الفصل الدراسي الأول

كتاب الطالب

المركز الوطني
لتطوير المناهج
National Center
for Curriculum
Development

الفيزياء

الصف الحادي عشر - المسار الأكاديمي

الفصل الدراسي الأول

كتاب الطالب

11

فريق التأليف

د. موسى عطا الله الطراونة (رئيسًا)

أ.د. محمود إسماعيل الجاغوب
خلدون سليمان المصاروه
موسى محمود جرادات
يحيى أحمد طواهـا

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

يسرُّ المركز الوطني لتطوير المناهج استقبال آرائكم وملحوظاتكم على هذا الكتاب عن طريق العناوين الآتية:

06-5376262 / 237 06-5376266 P.O.Box: 2088 Amman 11941

@nccdjor feedback@nccd.gov.jo www.nccd.gov.jo

قـرّرت وزارة التربيـة والتعليـم تدريـس هـذا الكتـاب في مـدارس المملكـة الأردنية الهاشـمية جميعهـا، بناءً عـلى قرار المجلـس الأعلى للمركـز الوطنـي لتطويـر المناهج في جلسـته رقـم (2024/4)، تاريـخ 2024/6/6 م، وقرار مجلس التربيـة والتعليم رقـم (2024/66)، تاريـخ 2024/6/26 م، بـدءًا مـن العام الـدراسي 2024 / 2025 م.

© HarperCollins Publishers Limited 2024.
- Prepared Originally in English for the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan
- Translated to Arabic, adapted, customised and published by the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan

ISBN: 978 - 9923 - 41 - 825 - 3

المملكة الأردنية الهاشمية
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(2025/1/482)

بيانات الفهرسة الأولية للكتاب:

عنوان الكتاب	الفيزياء، كتاب الطالب: الصف الحادي عشر،المسار الأكاديمي، الفصل الدراسي الأول
إعداد / هيئة	الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج
بيانات النشر	عمان: المركز الوطني لتطوير المناهج، 2025
رقم التصنيف	373,19
الواصفات	/ الفيزياء/ / أساليب التدريس/ / المناهج/ / التعليم الثانوي/
الطبعـة	الطبعـة الثانية، مزيدة ومنقحة

يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه ولا يعبّر هذا المصنف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية.

المراجعة والتعديل
ميمي محمد التكروري
د. محمد كريم الضمور
موسى محمود جرادات

التحكيم الأكاديمي
د. رامي مصطفى علي

التصميم والإخراج
نايف محمد أمين مراشدة

التحرير اللغوي
د. خليل إبراهيم القعيسي

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, sorted in retrieval system, or transmitted in any form by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise , without the prior written permission of the publisher or a license permitting restricted copying in the United Kingdom issued by the Copyright Licensing Agency Ltd, Barnard's Inn, 86 Fetter Lane, London, EC4A 1EN.
British Library Cataloguing -in- Publication Data
A catalogue record for this publication is available from the Library.

الطبعة الأولى (التجريبية) 1445 هـ / 2024 م

أعيدت طباعته 2025 م

قائمة المحتويات

الموضوع ..... **الصفحة**

المقدّمة 5

الوحدة الأولى: الشغل والطاقة **7**

تجربة استهلاليّة: حساب الشغل 9

الدرس الأول: الشغل والقدرة 10

الدرس الثاني: الطاقة الميكانيكية 24

الدرس الثالث: الشغل وحفظ الطاقة الميكانيكية 36

الإثراء والتوسع: طاقة الرياح 48

الوحدة الثانية: الديناميكا الحرارية **53**

تجربة استهلاليّة: تأثير كتلة الجسم في تغير درجة حرارته 55

الدرس الأول: تبادل الطاقة الحرارية 56

الدرس الثاني: حالات المادة 70

الدرس الثالث: التمدد الحراري 81

الإثراء والتوسع: الثلاجة 92

مسرد المصطلحات 97

جدول الاقترانات المثلّثية 99

قائمة المراجع 100

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدّمة

انطلاقًا من إيمان المملكة الأردنية الهاشمية الراسخ بأهمية تنمية قدرات الإنسان الأردني، وتسليحه بالعلم والمعرفة؛ سعى المركز الوطني لتطوير المناهج، بالتعاون مع وزارة التربية والتعليم، إلى تحديث المناهج الدراسية وتطويرها؛ لتكون معينًا للطلبة على الارتقاء بمستواهم المعرفي، ومجاراة أقرانهم في الدول المتقدمة.

يُعدّ هذا الكتاب واحدًا من سلسلة كتب المباحث العلمية التي تُعنى بتنمية المفاهيم العلمية، ومهارات التفكير وحلّ المشكلات، ودمج المفاهيم الحياتية والمفاهيم العابرة للمواد الدراسية، والإفادة من الخبرات الوطنية في عمليات الإعداد والتأليف وفق أفضل الطرائق المتّبعة عالميًّا؛ لضمان انسجامها مع القيم الوطنية الراسخة، وتلبيتها حاجات أبنائنا الطلبة والمعلّمين والمعلّمات.

وقد روعِيَ في تأليفه تقديم المعلومة العلمية الدقيقة وفق منهجية تقوم على السلاسة في العرض، والوضوح في التعبير، إضافة إلى الربط بين الموضوعات المطروحة في المراحل الدراسية السابقة واللاحقة، واعتماد منهجية التدرّج في عرض موضوعات المادة، واستهلال وحداتها بأسئلة تُظهِر علاقة علم الفيزياء بالظواهر من حولنا؛ ما يُحفّز الطلبة إلى الإفادة ممّا يتعلمونه في غرفة الصف في تفسير مشاهدات يومية وظواهر طبيعية يشاهدونها في التلفاز، أو يسمعون عنها. وقد تضمّنت كل وحدة نشاطًا إثرائيًّا يعتمد منحى STEAM في التعليم الذي يُستعمل لدمج العلوم والتكنولوجيا والهندسة والفن والعلوم الإنسانية والرياضيات في أنشطة الكتاب المتنوّعة، وفي قضايا البحث.

ويتألّف الكتاب من وحدتين دراسيتين، هما: الشغل والطاقة، والديناميكا الحرارية. وقد أُلحق به كتاب للأنشطة والتجارب العملية، يحتوي التجارب والأنشطة جميعها الواردة في كتاب الطالب؛ ليساعده على تنفيذها بسهولة، بإشراف المعلّم/ المعلمة، بما في ذلك رصد القراءات، وتحليلها، ثم مناقشتها، وصولًا إلى استنتاجات مبنية على أسس علمية. ويتضمّن أيضًا أسئلة تفكير؛ بهدف تعزيز فهم الطلبة موضوعات المادة، وتنمية التفكير الناقد لديهم.

ونحن إذ نُقدّم هذه الطبعة من الكتاب، فإنّا نؤمّل أن يُسهم في تحقيق الأهداف والغايات النهائية المنشودة لبناء شخصية المتعلّم، وتنمية اتجاهات حُبّ التعلّم ومهارات التعلّم المستمرّ، إضافة إلى تحسين الكتاب بإضافة الجديد إلى محتواه، وإثراء أنشطته المتنوّعة، والاستئناس بملاحظات المعلّمين والمعلّمات.

والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

الوحدة 1

الشغل والطاقة
Work and Energy

أتأمّل الصورة

الفيزياء والطاقة

تعمل مزرعة الرياح Wind Farm الموضّحة في الصورة، على تحويل الطاقة الحركية للرياح إلى طاقة كهربائيّة باستعمال توربينات بكفاءة عالية. إنّ قدرة أيّ مزرعة رياح تساوي مقدار الطاقة التي تُولّدها في الثانية الواحدة، وتبلغ قدرة أكبر مزارع الرياح gigawatt 20 تقريبًا.

هل توجد شروط معيّنة للمناطق التي تُستعمل فيها مزارع رياح؟ ما قوانين الفيزياء ذات الصلة بهذه التكنولوجيا؟

الفكرة العامّة:

إنّ المعرفة بقوانين الشغل والطاقة عند تنفيذ الإنشاءات واختراع الآلآت، يوفر على الإنسان الجهد والمال والوقت.

الدرس الأول: الشغل والقدرة

الفكرة الرئيسة: الشغل نتاج قوّة تؤثّر في الأجسام، ويختلفُ مفهوم الشغل فيزيائيًّا عن معناه الشائع. ويُستعمل مفهوم القدرة للمقارنة بين الآلات المختلفة في المعدّل الزمني لإنجاز الشغل نفسه.

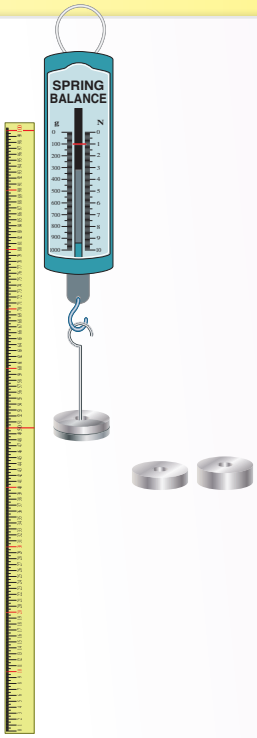
الدرس الثاني: الطاقة الميكانيكية

الفكرة الرئيسة: تصنف أشكال الطاقة جميعها ضمن نوعين رئيسين هما الطاقة الحركية وطاقة الوضع. والطاقة الميكانيكية لجسم تساوي مجموع طاقة الوضع والطاقة الحركية.

الدرس الثالث: الشغل وحفظ الطاقة الميكانيكية

الفكرة الرئيسة: القوى المحافظة تسمح لنا بتخزين الطاقة لإعادة استخدامها وتحويلها إلى شغل مفيد. والقوى غير المحافظة تفسر لنا عدم إمكانية اختراع آلة ذاتية الحركة نتيجة ضياع جزء من الطاقة في أثناء تحولها من شكل إلى آخر.

حساب الشغل



الموادّ والأدوات: ميزان نابضيّ، 3 أثقال مختلفة (100 g, 200 g, 300 g)، مسطرة متريّة، شريط لاصق، حامل أثقال.

إرشادات السلامة: ارتداء المعطف، وتجنّب سقوط الأجسام والأدوات على القدمين.

أصوغ فرضيتي: حول العلاقة بين وزن الجسم والشغل المبذول عليه.

أختبر فرضيتي:

أُنفّذ الخطوات الآتية بالتعاون مع أفراد مجموعتي:

1. **أضبطُ المتغيّرات:** أُحدّد علامتين على المسطرة المتريّة باستعمال الشريط اللاصق، تكون المسافة بينهما (50 cm)، وأُدوّنها في جدول البيانات للمحاولات الثلاث. ثم يُثبّت أحد أفراد مجموعتي المسطرة المتريّة رأسيًّا على سطح الطاولة.
2. **أقيس:** أحمل الميزان النابضيّ رأسيًّا في الهواء موازيًا للمسطرة المترية، وأُعلّق حامل الأثقال في خطّافه، ثم أضع الثقل (100 g) على الحامل؛ بحيث يكون بجانب العلامة السفلية على المسطرة. أُدوّن قراءة الميزان في المكان المخصّص في جدول البيانات للمحاولة (1).
3. **أُلاحظ:** أرفع الثقل رأسيًّا إلى أعلى إزاحة مقدارها (50 cm) بسرعة ثابتة تقريبًا، ويُلاحظ أحد أفراد مجموعتي قراءة الميزان في أثناء ذلك. أُدوّن قراءة الميزان تحت عمود القوّة اللازمة في جدول البيانات للمحاولة (1).
4. أُكرّر الخطوتين (2 – 3) بتعليق الثقلين (200 g) و (300 g) كُلٌّ على حدة في حامل الأثقال، وأُدوّن نتائجي في جدول البيانات.

التحليل والاستنتاج:

1. **أفسر:** لماذا رفعت الثقل بسرعة ثابتة؟
2. **أستخدم الأرقام:** أحسب الشغل المبذول لرفع كلّ ثقل بضرب مقدار القوّة اللازمة لرفعه في مقدار الإزاحة التي تحرّكها، ثمّ أُدوّنه في جدول البيانات.
3. **أستنتج** العلاقة بين وزن الثقل ومقدار الشغل المبذول لرفعه بسرعة ثابتة.
4. **أصدر حكمًا** عمّا إذا كانت النتائج قد توافقت مع فرضيتي أم لا.

الدرس 1

الشغل والقدرة
Work and Power

الفكرة الرئيسة:

الشغل نتاج قوًى تؤثّر في الأجسام، ومفهوم الشغل فيزيائيًّا يختلف عن معناه الشائع. ويُستعمل مفهوم القدرة للمقارنة بين الآلات المختلفة في المعدّل الزمني لإنجاز الشغل نفسه.

نتاجات التعلّم:

- أحسب الشغل الذي تبذله قوة (قوى) ثابتة، والشغل الذي تبذله قوة متغيرة.
- أُفرّق بين مفهومَي الشغل والقدرة.
- أشرحُ أهمّية استعمال مفهوم القدرة في وصف الآلات.
- أحسبُ قدرة آلة مُعبِّرًا عنها بمعادلة.

المفاهيم والمصطلحات:

الشغل	Work
الجول	Joule
القدرة	Power
الواط	Watt
القدرة اللحظية	Instantaneous Power

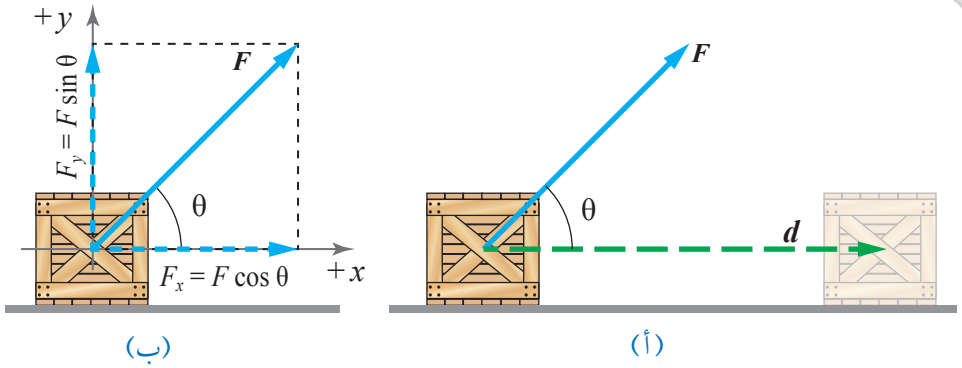
الشغل Work

يرتبط مفهوم الشغل بتأثير قوّة في جسم وتحريكها له، فإذا أثّرت قوّة (F) في جسم وأحدثت له إزاحة اتّجاهها غير متعامد مع اتّجاه القوّة، فإنّ هذه القوّة تكون قد بذلت **شغلًا Work** على الجسم. وقد تعلمت في صفوف سابقة حساب الشغل الذي تبذله قوة ثابتة، عندما يكون اتجاه الإزاحة باتجاه القوة المؤثرة، مثل الحالة المبينة في الشكل (1).

في هذا الدرس سنتعرف كيفية حساب الشغل الكلي الذي تبذله قُوًى ثابتة عدة تؤثر في الجسم، والشغل الذي تبذله قوة متغيرة.

✓ **أتحقّق:** متى يكون شغل القوة صفرًا؟

الشكل (1): يبذل الشخص شغلًا على السيّارة عندما تتحرّك في الاتّجاه نفسه لقوّته المؤثّرة فيها.



الشكل (2): (أ) قوّة ثابتة تصنع زاوية (θ) مع اتّجاه الإزاحة، (ب) تحليل متّجه القوّة المؤثّرة إلى مركّبتَيه.

الشغل الذي تبذله قوّة ثابتة Work Done by a Constant Force

عندما تؤثّر قوّة ثابتة $\boldsymbol{F}$ في جسم وتحرّكه إزاحة $\boldsymbol{d}$ كما هو موضّح في الشكل (2/ أ)، فإنّ شغلها يُساوي ناتج الضرب القياسي لمتّجه القوّة في متّجه الإزاحة كما يأتي:

$$W_F = \boldsymbol{F} \cdot \boldsymbol{d}$$
$$= F\, d \cos\theta$$

هذه هي المعادلة العامّة لحساب الشغل، حيث (θ): الزاوية المحصورة بين اتّجاه القوّة واتّجاه الإزاحة، و($F \cos\theta$): مركّبة متّجه القوّة في اتّجاه الإزاحة التي تحرّكها الجسم تحت تأثير هذه القوّة كما هو موضح في الشكل (2/ ب).

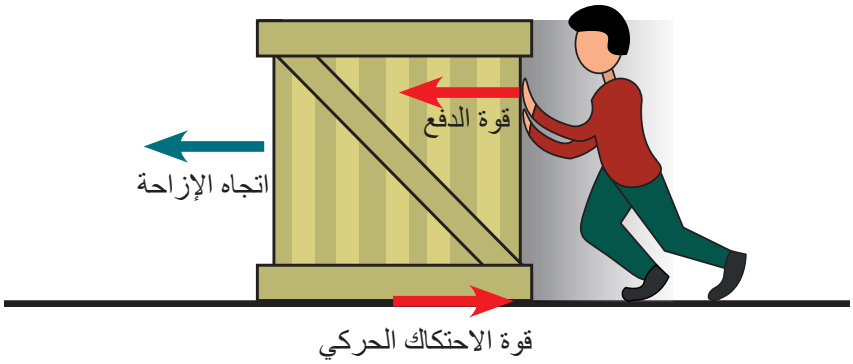
فعند تحليل متّجه القوّة المؤثّرة إلى مركّبتَيه: مركّبة أفقية موازية لاتّجاه الإزاحة ($F_x = F \cos\theta$)، ومركّبة عمودية على اتّجاه الإزاحة ($F_y = F \sin\theta$). فإنّ المركّبة الموازية لاتّجاه الإزاحة هي التي تبذل شغلًا فقط، أما المُركّبة العمودية فلا تبذل شغلًا؛ لعدم وجود إزاحة في اتّجاهها.

ويُقاس الشغل بوحدة **الجول joule (J)** بحسب النظام الدولي للوحدات؛ تكريمًا للعالم (جيمس بريسكوت جول). ويُعرّف الجول بأنّه الشغل الذي تبذله قوّة مقدارها (1 N) عندما تؤثّر في جسم، وتحرّكه إزاحة مقدارها (1 m) في اتّجاهها.

أتحقّق: ما الشغل؟ وما وحدة قياسه بحسب النظام الدولي للوحدات؟

أُصمّم باستعمال برنامج السكراتش (Scratch) عرضًا يوضّح الشغل الذي تبذله قوّة ثابتة، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.

أفكّر: عندما أدفع جدارًا أو أدفع جسمًا ثقيلًا لا أستطيع تحريكه من مكانه؛ فإنّني فيزيائيًّا لا أبذل شغلًا عليه. فلماذا أشعر بالتعب إذًا؟ أُناقش أفراد مجموعتي، وأستعمل مصادر المعرفة الموثوقة والمُتاحة ومنها الإنترنت للتوصّل إلى إجابة عن السؤال.



الشكل (3): تبذل قوة الدفع شغلًا موجبًا، وتبذل قوة الاحتكاك شغلًا سالبًا.

أفكّر: ما التفسير الفيزيائي لكلّ من الشغل الموجب والشغل السالب المبذولَين على جسم؟

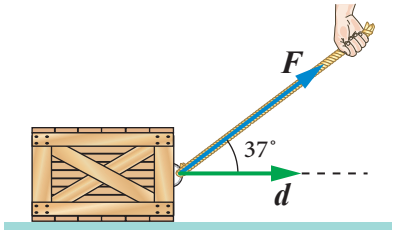
بناء على معادلة حساب الشغل، ألاحظ أن الشغل قد يكون موجبًا أو سالبًا، فمثلًا، عند دفع صندوق على سطح أفقي كما في الشكل (3) فإن القوة المؤثرة تكون باتجاه الإزاحة ($\theta = 0^\circ$)، فتبذل شغلًا موجبًا يُعبَّر عن مقداره بالعلاقة ($W_F = Fd$). في حين يكون اتجاه قوة الاحتكاك الحركي عكس اتجاه الإزاحة ($\theta = 180^\circ$)، فتبذل قوة الاحتكاك شغلًا سالبًا يُعبَّر عنه بالعلاقة ($W_f = -f_k d$).

المثال 1

يسحب محمّد صندوقًا كتلته (20 kg) على سطح أُفقي أملس إزاحة مقدارها (5 m)، بوساطة حبل يميل على الأُفقي بزاوية مقدارها (37°) كما هو موضّح في الشكل (4/ أ). إذا علمتُ أنّ مقدار قوّة الشد في الحبل (140 N)، فأحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . الشغل الذي بذله محمّد على الصندوق.

ب. الشغل الذي بذلته قوّة الجاذبية الأرضيّة على الصندوق.



الشكل (4/ أ): سحب صندوق على سطح أُفقي أملس.

المعطيات:

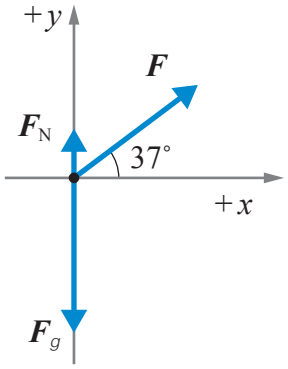
$m = 20\ \text{kg},\ F = 140\ \text{N},\ d = 5\ \text{m},\ \theta = 37^\circ$

المطلوب:

$W_F = ?\ ,\ W_g = ?$

الحلّ:

أرسم مخطط الجسم الحر للصندوق كما يبين الشكل (4/ ب).



الشكل (4/ ب): مخطط الجسم الحر للصندوق.

أ . أستعملُ معادلة الشغل الآتية مع تعويض $\theta = 37^\circ$

$$W_F = Fd \cos\theta$$
$$= 140 \times 5 \times \cos 37^\circ$$
$$= 700 \times 0.8 = 560 \text{ J}$$

ب. ألاحظ أن قوة الجاذبية الأرضية عمودية على اتجاه الحركة ($\theta = 90^\circ$)، فلا تبذل شغلًا على الصندوق.

الشغل الذي تبذله عدّة قوى ثابتة

Work Done by Many Constant Forces

يُحسب شغل قوى عدة ثابتة تؤثر في جسم، بحساب الشغل الذي تبذله كل قوة على انفراد، ثم يُحسب الشغل الكلّي المبذول (W_{Total}) بإيجاد ناتج الجمع الجبري لشغل القوى جميعها.

$$W_{\text{Total}} = W_1 + W_2 + W_3 + \ldots$$
$$= F_1 d_1 \cos\theta_1 + F_2 d_2 \cos\theta_2 + F_3 d_3 \cos\theta_3 + \ldots$$
$$= \sum_{i=1}^{n} F_i d_i \cos\theta_i$$

حيث تُمثّل n عدد القوى المؤثّرة في الجسم.

كما يمكن حساب الشغل الكلّي المبذول بحساب شغل القوّة المحصّلة المؤثّرة في الجسم.

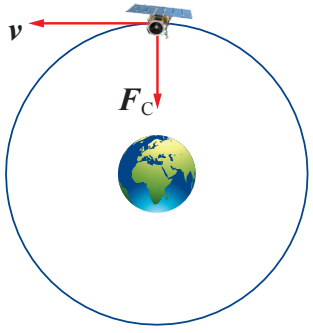
أتحقّق: كيف أحسبُ شغل عدّة قوى ثابتة تؤثّر في جسم؟

الربط بالرياضيات

المماس المرسوم عند أي نقطة على محيط الدائرة، يكون دائما متعامدا مع نصف قطر الدائرة.

الربط بالفضاء

تدور بعض الأقمار الصناعية في مسارات دائرية حول الأرض؛ إذ تتأثّر بقوّة مركزية (قوّة التجاذب الكتلي بينها وبين الأرض) تكون عمودية على اتّجاه إزاحة القمر الصناعيّ عند كلّ موقع في مساره الدائريّ؛ لذا لا تبذل هذه القوّة شغلًا عليه، ويبقى القمر الصناعيّ متحرّكًا بسرعة مماسّية ثابتة مقدارًا ومتغيرة اتجاها. أنظرُ إلى الشكل (5).



الشكل (5): لا تبذل القوّة المركزية (قـوّة الجاذبيـة) شـغلًا على قمر صناعيّ يتحرّك حركة دائرية منتظمة حول الأرض.

المثال 2

يساعد خالد والدته على ترتيب المنزل، وفي أثناء ذلك يرفع صندوقًا عن سطح الأرض رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ثابتة إلى ارتفاع (1.5 m). إذا علمتُ أنّ كتلة الصندوق (5 kg)، وتسارع السقوط الحر ($10\ m/s^2$) تقريبًا، فأحسبُ مقدار الشغل:

أ . الذي يبذله خالد على الصندوق.

ب. الذي تبذله قوّة الجاذبية الأرضيّة على الصندوق.

جـ. الكلّي المبذول على الصندوق.

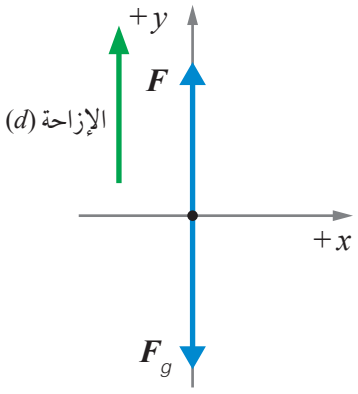
د . الذي تبذله قوّة الجاذبية الأرضيّة على الصندوق، إذا سقط الصندوق من الارتفاع نفسه حتى يصل سطح الأرض.

المعطيات:

$d = 1.5\ m,\ m = 5\ kg,\ g = 10\ m/s^2,\ a = 0$

المطلوب:

$W_F = ?,\ W_g = ?,\ W_{Total} = ?$



الشكل (6): مخطط الجسم الحر.

الحلّ:

أرسمُ مخطّط الجسم الحر للصندوق كما في الشكل (6).

أ . لحساب مقدار الشغل الذي يبذله خالد على الصندوق؛ يلزم معرفة مقدار القوّة التي يؤثّر بها في الصندوق. لأنّ خالدًا يرفع الصندوق بسرعة ثابتة (التسارع صفر)، فتكون القوّة المحصّلة المؤثّرة فيه في الاتّجاه الرأسي تساوي صفرًا.

$$\sum F_y = ma = 0$$

$$F - F_g = 0$$

$$F = F_g = mg = 5 \times 10 = 50\ N$$

أُلاحظ أنّ مقدار القوّة اللازم تأثيرها في الصندوق يساوي مقدار وزنه.

أستعملُ معادلة الشغل الآتية، وأُلاحظ أنّ اتّجاه القوّة المؤثّرة من خالد ($\boldsymbol{F}$) في اتّجاه الإزاحة نفسه $\theta = 0^\circ$.

$$W_F = F\,d\cos\theta$$

$$= 50 \times 1.5 \times \cos 0^\circ$$

$$= 75\ J$$

ب. تؤثّر قوّة الجاذبية الأرضيّة (F_g) بعكس اتّجاه الإزاحة، أي أنّ $\theta = 180^\circ$.

$$W_g = F_g\, d \cos\theta$$
$$= 50 \times 1.5 \times \cos 180^\circ$$
$$= 75 \times -1$$
$$= -75 \text{ J}$$

جـ. الشغل الكلّي المبذول على الصندوق، يساوي مجموع شغل خالد وشغل قوّة الجاذبية الأرضيّة، يساوي أيضًا شغل القوّة المحصّلة المؤثّرة في الصندوق.

$$W_{\text{Total}} = W_F + W_g$$
$$= 75 + (-75) = 0$$

د . في أثناء سقوط الصندوق، تكون القوّة المحصّلة المؤثّرة فيه هي قوّة الجاذبية الأرضيّة باتجاه الأسفل، ويكون اتّجاه الإزاحة إلى أسفل، أي أنّ $\theta = 0^\circ$.

$$W_g = F_g\ d \cos\theta$$
$$= 50 \times 1.5 \times \cos 0^\circ$$
$$= 75 \times 1$$
$$= 75 \text{ J}$$

تمرين

أستخدم الأرقام: يجرّ زورق القطر Tugboat سفينة بحبل يصنع زاوية (25°) أسفل الأُفقي بسرعة ثابتة إزاحة مقدارها (2×10^2 m) بقوّة شدّ مقدارها (2×10^3 N). إذا كان الحبل مهمل الكتلة وغير قابل للاستطالة، فأحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . الشغل الذي يبذله الزورق على السفينة.

ب . الشغل الذي تبذله القوى المُعوِّقة المؤثّرة في السفينة.

الشغل الذي تبذله قوّة متغيّرة Work Done by a Varying Force

عندما تؤثّر قوّة ثابتة في جسم وتحرّكه إزاحة معيّنة في اتّجاهها؛ فإنّ مقدار شغل هذه القوّة يُحسب بضرب مقدار القوّة في مقدار الإزاحة. وعند تمثيل العلاقة بين القوة والإزاحة بيانيًّا، نحصل على رسم بياني كما في الشكل (7).

يتضح من الشكل أن المساحة المحصورة بين منحنى (القوة- الإزاحة) ومحور الإزاحة تساوي مساحة المستطيل (A)، وتساوي ناتج ضرب ضلع المستطيل الرأسي (مقدار القوة) في ضلعه الأفقي (مقدار الإزاحة). أي أن المساحة تساوي عدديًّا شغل القوة خلال هذه الإزاحة. فإذا كانت القوة المؤثرة في الجسم (60 N) والإزاحة التي تحركها الجسم في اتجاه القوة (5 m)، فإن شغل القوّة خلال هذه الإزاحة:

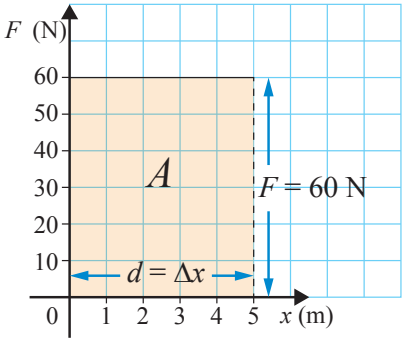
$$W_F = A = Fd = 60 \times 5 = 300 \text{ J}$$

أي أنّ المساحة المحصورة بين منحنى (القوّة – الإزاحة) ومحور الإزاحة، تساوي عدديًّا الشغل الذي تبذله القوّة خلال مدة تأثيرها.

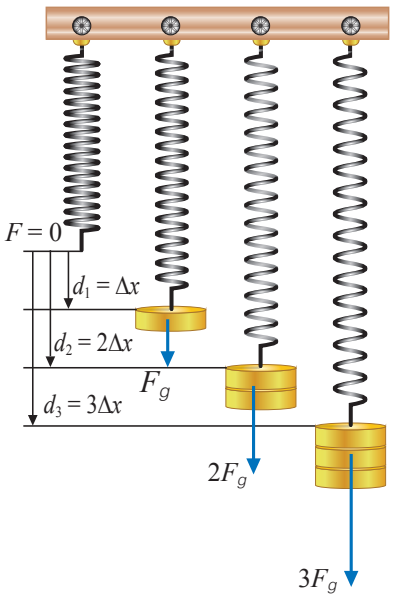
تُستخدم هذه الطريقة البيانية في حساب الشغل عندما تكون القوّة المؤثّرة في جسم متغيّرة في أثناء إزاحته. ويُحسب شغل القوّة المتغيّرة بحساب المساحة المحصورة بين منحنى (القوّة – الإزاحة) ومحور الإزاحة بحسب الشكل الهندسي للمساحة.

ومن أمثلة القوى المتغيّرة: القوّة اللازمة لشد نابض، فعند شد نابض أو ضغطه يتغير مقدار القوة اللازم التأثير بها في النابض بتغير مقدار الاستطالة الحادثة له، ويبين الشكل (8) أن مقدار قوة الشد المؤثرة في نابض يتناسب طرديًّا مع مقدار استطالة النابض.

أُصمّم باستعمال برنامج السكراتش (Scratch) عرضًا يوضح الشغل الذي تبذله قوّة متغيرة، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.



الشكلُ (7): الشغل يساوي عدديًّا المساحة المحصورة بين منحنى (القوّة – الإزاحة) ومحور الإزاحة، وتساوي مساحة المستطيل المظلّل.

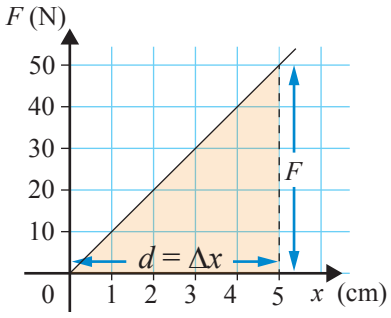


الشكلُ (8): يتناسب مقدار القوّة اللازم تأثيرها في نابض لزيادة استطالته، طرديًّا مع مقدار هذه الاستطالة.

يوضّح الشكل (9) رسمًا بيانيًّا للعلاقة الخطّية بين استطالة النابض والقوّة المؤثّرة فيه. يُحسب شغل القوّة المؤثّرة في النابض بحساب مساحة المثلث المحصور بين منحنى (القوّة – الإزاحة) ومحور الإزاحة:

$$W = \frac{1}{2} F\Delta x$$

حيث: (Δx) الاستطالة الحادثة للنابض.



الشكل (9): القوّة المؤثّرة في نابض، تتغيّر خطيًّا في أثناء استطالة النابض.

أحسبُ شغل القوّة المؤثّرة في النابض عند استطالته إزاحة مقدارها (5 cm).

✓ **أتحقّق:** كيف أحسبُ شغل قوّة متغيّرة من منحنى (القوّة – الإزاحة)؟

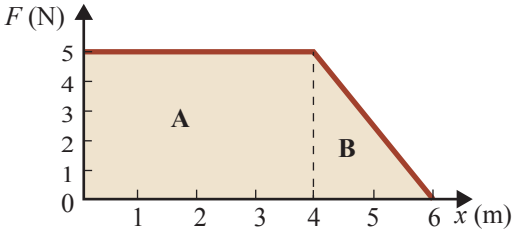
المثال 3

أثّرت قوّة محصّلة متغيّرة في جسم، فحرّكته إزاحة مقدارها (6 m) كما هو موضّح في الشكل (10). أحسُب الشغل الذي بذلته القوّة المحصّلة:

أ . خلال (4 m) الأولى من بداية حركة الجسم.

ب. عند حركة الجسم من الموقع (4 m) إلى الموقع (6 m).

جـ. خلال الإزاحة كاملة (الشغل الكلي).



الشكلُ (10): شغل قوّة متغيّرة.

المعطيات: منحنى (القوّة – الإزاحة).

المطلوب: $W_{(0\text{-}4)} = ?\ ,\ W_{(4\text{-}6)} = ?,\ W_{\text{Total}} = ?$.

الحلّ:

أ . الشغل الذي بذلته القوّة المحصّلة خلال (4 m) الأولى من بداية حركة الجسم يساوي المساحة A عدديًّا، ويساوي مساحة مستطيل طول قاعدته (4 m)، وارتفاعه (5 N).

$$W_{(0\text{-}4)} = \text{A} = 4 \times 5 = 20\ \text{J}$$

ب. الشغل بين الموقعين (4 m) و (6 m) يساوي المساحة B عدديًّا، ويساوي مساحة مثلّث طول قاعدته (2 m) وارتفاعه (5 N).

$$W_{(4\text{-}6)} = B$$

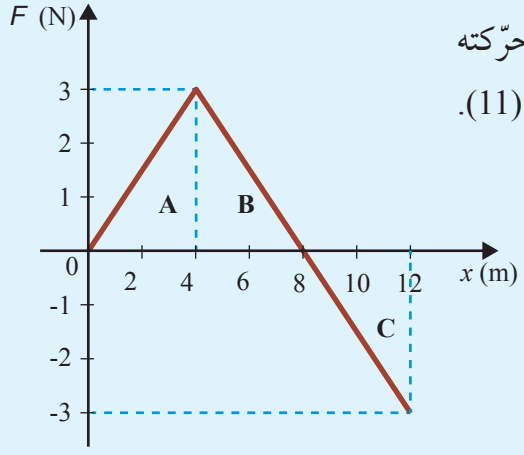
$$W = \frac{1}{2} \times (6 - 4) \times 5 = 5 \text{ J}$$

حـ. الشغل الكلّي الذي بذلته القوّة المحصّلة المتغيّرة على الجسم يساوي عدديًّا مجموع المساحتين A و B .

$$W_{\text{Total}} = W_{(0\text{-}4)} + W_{(4\text{-}6)}$$
$$= A + B$$
$$= 20 + 5$$
$$= 25 \text{ J}$$

تمرين

أستخدم الأرقام: أثّرت قوّة محصّلة متغيّرة في جسم، فحرّكته إزاحة مقدارها (12 m) كما هو موضّح في الشكل (11). أحسبُ الشغل الذي بذلته القوّة المحصّلة:



الشكل (11): منحنى (القوّة – الإزاحة) لقوّة محصلة متغيّرة تؤثّر في جسم.

أ . خلال (4 m) الأولى من بداية حركة الجسم.

ب. خلال (8 m) الأولى من بداية حركة الجسم.

جـ. عند حركة الجسم من الموقع (8 m) إلى الموقع (12 m).

د . خلال الإزاحة كاملةً (الشغل الكلي).

الشكلُ (12): مضخة تستخدم لضخ الماء إلى سطح عمارة.

القدرةُ Power

يُريد صديقي شراء مضخّة ماء مثل المبينة في الشكل (12)؛ لكي يستعملها لضخ الماء إلى سطح عمارة، عثر على مضختين: الأولى يُمكنها رفع (50 kg) ماء إلى ارتفاع رأسي مقداره (7 m) خلال (7.2 s)، والثانية يُمكنها رفع كمّية الماء نفسها للارتفاع نفسه خلال (9 s)، فأيّ المضختين أنصحه بشرائها؟ وما الكمّية الفيزيائية التي يمكن عن طريقها المفاضلة بين هاتين المضخّتين؟

أُلاحظ أنّ الشغل الذي تبذله المضختان في رفع الماء متساوٍ، على الرغم من اختلاف زمن إنجازه؛ لذا سيختار المضخّة الأولى التي تُنجز الشغل نفسه خلال زمن أقل. والكمّية الفيزيائية التي يمكن عن طريقها المفاضلة بين معدل بذل الشغل لآلات أو أجسام مختلفة هي **القدرة Power (*P*)** وتُعرف بأنّها المعدّل الزمني للشغل المبذول، أي أنّها تساوي ناتج قسمة الشغل المبذول (W) على الزمن المستغرق في بذله (Δt). وتُحسب القدرة المتوسطة ($\overline{P}$) وفقًا للمعادلة الآتية:

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

أُلاحظ أنّ وحدة قياس القدرة هي (J/s)، وتُسمّى **واط watt (W)** بحسب النظام الدولي للوحدات، وهو يساوي قدرة آلة أو جهاز يبذل شغلًا مقداره (1 J) خلال مدة زمنية مقدارها (1 s). كما تستخدم وحدة الحصان Horse power (hp) في قياس القدرة، ويساوي (746 W)، وتعرف هذه الوحدة أنها قدرة آلة تنجز شغلًا مقداره (746 J) خلال مدة زمنية مقدارها (1 s).

الربط بالحياة

تستخدم وحدة الحصان في التعبير عن قدرة محركات السيارات. عندما نقارن بين سيارتين الأولى قدرة محركها (280 hp) والثانية قدرة محركها (150 hp). فإن السيارة الأولى يمكنها أن تتسارع بمقدار أكبر من السيارة الثانية، فمثلًا، إذا تحركت السيارتان بالسرعة نفسها، فإن الفرق هو أن السيارة الأولى وصلت إلى هذه السرعة بزمن أقل.

✓ **أتحقّق:** ما المقصود بالقدرة؟ وما وحدة قياسها؟

القدرة اللحظية Instantaneous Power

قد يتحرك الجسم بسرعة متغيرة فيقطع إزاحات غير متساوية في مدد زمنية متساوية، وينتج من ذلك أن تتغير قدرته من لحظة إلى أخرى، تُعرّف **القدرة اللحظيّة** **Instantaneous Power (*P*)** بأنّها القدرة عند لحظة زمنيّة معيّنة، وتساوي ناتج ضرب مقدار سرعة الجسم اللحظيّة (v) في مُركّبة القوّة في اتّجاه السرعة ($F \cos \theta$) عند تلك اللحظة. ويُحسب مقدارُها بالعلاقة الآتية:

$$P = Fv \cos \theta$$

أما القدرة المتوسطة، فتحسب بقسمة الشغل الكلي على زمن إنجازه، وإذا تحرّك جسمٌ بسرعة ثابتة، فإنّ قدرته اللحظيّة تساوي قدرته المتوسّطة.

✓ **أتحقّق:** كيف أحسبُ قدرة محرّك سيّارة تتحرّك بسرعة متّجهة ثابتة؟

أعدّ فيلمًا قصيرًا باستعمال برنامج صانع الأفلام movie maker يوضّح مفهوم القدرة، وأحرص على أن يشتمل الفيلم على مقارنة بين قدرة آلات وأجسام مختلفة، وعلى مفهوم كلّ من: القدرة المتوسطة، والقدرة اللحظية، وعلى صور لأمثلة توضيحية، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.

المثال 4

مضخّة ماء ترفع (50 kg) من الماء رأسيًّا بسرعة ثابتة إلى ارتفاع (7 m) خلال مدة زمنية مقدارها (7.2 s). إذا علمتُ أنّ تسارع السقوط الحر ($10\ m/s^2$) تقريبا، فأحسبُ مقدار:

أ. الشغل الذي تبذله المضخّة في رفع الماء.

ب. القدرة المتوسّطة للمضخة.

المعطيات: $m = 50\ kg,\ \ d = 7\ m,\ \ t = 7.2\ s,\ \ g = 10\ m/s^2$.

المطلوب: $W = ?,\ \ \overline{P} = ?$.

الحلّ:

أ. لحساب شغل المضخّة في رفع الماء بسرعة ثابتة يجب تطبيق القانون الثاني لنيوتن؛ لحساب القوة اللازمة لرفع الماء، حيث القوّة المحصّلة المؤثّرة فيه في الاتّجاه الرأسي تساوي صفرًا.

$$\sum F_y = ma = 0$$

$$F - F_g = 0$$

$$F = F_g$$

$$= mg = 50 \times 10$$

$$= 500\ N$$

وحيث إنّ اتجاه القوة باتجاه الإزاحة نفسه (نحو الأعلى):

$$W = F\,d\cos 0^\circ$$
$$= 500 \times 7 \times 1$$
$$= 3500\ \text{J}$$

ب. القدرة المتوسطة للمضخة:

$$\overline{P} = \frac{W}{\Delta t}$$
$$= \frac{3500}{7.2}$$
$$= 486\ \text{W}$$

تمرين

1. **أستخدمُ الأرقام:** سيّارة كتلتها (1400 kg) تتحرّك بسرعة متّجهة ثابتة مقدارها (25 m/s) على طريق أُفقي، ومجموع قوى الاحتكاك المؤثّرة فيها يساوي (2000 N). أحسبُ مقدار ما يأتي:
   أ . قدرة محرّك السيارة بوحدة الواط (W)، ووحدة الحصان (hp).
   ب. تسارع السيّارة إذا أصبحت القوّة التي يؤثّر بها المحرك في السيارة (2280 N)، ولم يتغيّر مجموع قوى الاحتكاك.
2. **أستخدمُ الأرقام:** رافعة يولّد محرّكها قدرة مقدارها (1200 W) لرفع ثقل كتلته (400 kg) بسرعة ثابتة إلى ارتفاع (90 m) عن سطح الأرض، خلال مدة زمنية مقدارها (5 min)، أنظرُ إلى الشكل (13). إذا علمتُ أنّ تسارع السقوط الحر ($10\ \text{m/s}^2$) تقريبا؛ فأحسبُ مقدار ما يأتي:
   أ . الشغل الذي يبذله محرّك الرافعة في رفع الثقل.
   ب. السرعة التي يتحرّك بها الثقل.
   جـ. الشغل الذي تبذله قوّة الجاذبية الأرضيّة على الثقل في أثناء رفعه.

الشكل (13): رافعة ترفع ثقلًا رأسيًّا إلى أعلى.

الشكل (14): الطريق الملوكي- وادي الموجب.

أُفكّر: إذا كنتُ مسؤول رحلة كشفية، وصادفتُ طريقًا مستقيمًا يصل إلى قمة جبل، فما الطريقة التي أتّبعها وأفراد مجموعتي لصعود الجبل على هذه الطريق، بحيث نؤثّر بمقدار قوّة قليل ونتجنّب تعرّضنا للإجهاد والتعب؟ أُناقش أفراد مجموعتي، وأستعملُ مصادر المعرفة الموثوقة والمُتاحة للتوصّل إلى إجابة عن السؤال.

أبحثُ:

لعلم الفيزياء دور مهمّ في تصميم الطرق، وتحديد المواقع التي تحتاج إلى دعامات أو جدران استنادية (داعمة) أو جسور في أثناء شق الطريق.

أبحثُ في دور مهندسي الطرق في تصميم الطرق الجبلية والطرق التي تمرّ خلال أودية سحيقة. وأُعدّ عرضًا تقديميًّا أعرضه على طلبة الصفّ.

الربط بالهندسة

عند شقّ الطرق خلال الأودية والجبال، يُراعى في تصميمها أن تُشقّ مُتعرِّجة (Zig – Zag) بدلًا من شقّها مستقيمة. ويوضّح الشكل (14) الطريق الملوكي الذي يشقّ وادي الموجب ويصل بين محافظتَي الكرك ومأدبا، أُلاحظ شكل الطريق المتعرّج، ويكون تعرّج الطريق أكبر في جزئه الواقع في محافظة الكرك؛ حيث انحدار الوادي في هذا الجانب أكبر.

إنّ عملية شقّ الطرق مُتعرّجة يجعلها أقل انحدارًا، ما يُقلّل مقدار قوّة محرّك السيّارة اللازمة لصعود الجبل، وبالمقابل تزداد المسافة اللازم قطعها، فلا يتغيّر مقدار الشغل المبذول لصعود الجبل عند الحركة بسرعة ثابتة. أمّا الزمن المستغرق في صعود الجبل باستعمال الطرق المتعرّجة فيزداد، ما يؤدّي إلى صعود المنحدر بقدرة أقل من تلك اللازمة لصعوده في حال الطريق المستقيم.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** ما أهمية استخدام مفهوم القدرة في وصف الآلات؟

2. **أستنتجُ:** رفع ريّان صندوقًا من الطابق الأرضي في مدرسته إلى الطابق الأول بسرعة ثابتة (v)، في حين رفع نصر الصندوق نفسه بين الطابقين بسرعة ثابتة ($2v$). ما العلاقة بين مقدار الشغل الذي بذله كلّ منهما على الصندوق؟ وما العلاقة بين قدرتيهما؟

3. **أستخدمُ الأرقام:** يسحب سائحٌ حقيبة سفره بسرعة ثابتة على أرضية أُفقية في المطار إزاحة مقدارها (200 m). قوّة السحب تساوي (40 N) باتّجاه يصنع زاوية (53°) مع الأُفقي، أحسبُ ما يأتي:

   أ . الشغل الذي يبذله السائح على الحقيبة.

   ب. الشغل الذي تبذله قوّة الاحتكاك الحركي على الحقيبة.

   جـ. قدرة السائح على سحب الحقيبة إذا استغرق (2 min) في قطع هذه الإزاحة.

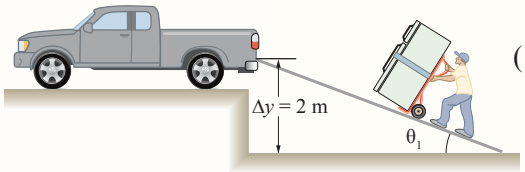
4. **أستخدمُ الأرقام:** يرفع محرّك كهربائيّ مصعدًا كتلته مع حمولته (1800 kg) بسرعة ثابتة مقدارها (1 m/s) من سطح الأرض إلى ارتفاع (80 m). إذا علمتُ أنّ قوّة احتكاك حركي ثابتة مقدارها (3000 N) تؤثّر في المصعد في أثناء رفعه، فأحسب مقدار ما يأتي:

   أ. الشغل الذي يبذله المحرّك على المصعد.

   ب. شغل قوّة الاحتكاك الحركي.

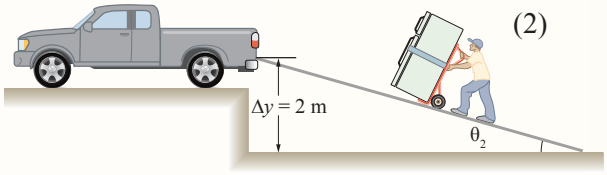
   جـ. القدرة المتوسّطة للمحرّك في أثناء رفعه للمصعد.

5. **التفكير الناقد:** يوضّح الشكلان (1 و 2)، رفع الثلاجة نفسها إلى ارتفاع (2 m) عن سطح الأرض بسرعةٍ ثابتة. باستعمال مستوًى مائل أملس، مُلاحِظًا أنّ ($\theta_1 > \theta_2$):



(1)

أ . **أُقارن** بين مقدارَي الشغل المبذول من الرجل في الشكلين (1 و 2). ماذا أستنتج؟



(2)

ب. **أُقارن** بين مقدارَي قوة الدفع المؤثّرة في الثلاجة في الشكلين (1 و 2). ماذا أستنتج؟

الفكرة الرئيسة:

تصنف أشكال الطاقة جميعها إلى نوعين رئيسين هما الطاقة الحركية وطاقة الوضع. والطاقة الميكانيكية لجسم تساوي مجموع طاقة الوضع والطاقة الحركية.

نتاجات التعلّم:

- أُوضّح مفهوم كلّ من: الطاقة، الطاقة الحركيّة، مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركيّة)، طاقة الوضع.
- أستقصي العلاقة بين الشغل الكلّي المبذول على جسم، والتغيّر في طاقته الحركيّة.
- أطبق بحل مسائل حسابية على طاقتَي الحركة والوضع.
- أوظف معرفتي بالشغل والطاقة والقدرة في تفسير مشاهدات ومواقف حياتية.

المفاهيم والمصطلحات:

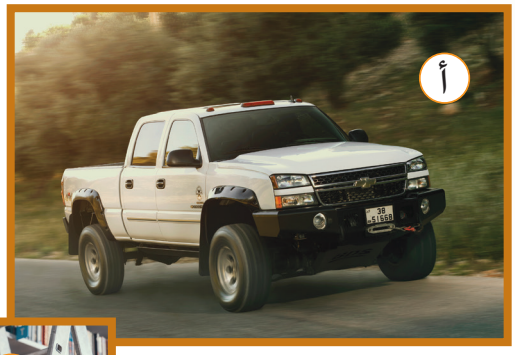
الطاقة	Energy
الطاقة الحركيّة	Kinetic Energy
مبرهنة الشغل – الطاقة الحركيّة	Work – Kinetic Energy Theorem
طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة	Gravitational Potential Energy
طاقة الوضع المرونية	Elastic Potential Energy

الشغل والطاقة Work and Energy

عندما تؤثّر قوّة خارجية في جسم، وتبذل عليه شغلًا، يؤدي الشغل إلى تغيير طاقة الجسم، أنظرُ إلى الشكل (15). وتُعرف **الطاقة Energy** بأنّها مقدرة الجسم على بذل شغل، وهي كمّية قياسية تُقاس بوحدة الجول joule (J) بحسب النظام الدولي للوحدات. فالرياح لها طاقة حركية تُمكّنها من بذل شغل على شفرات المراوح عندما تصطدم بها، كما هو موضّح في صورة بداية الوحدة. وبناءً على ما سبق، يمكن تعريف الشغل بأنّه إحدى طرائق نقل الطاقة بين الأجسام.

للطاقة أشكال متعدّدة تنحصر في نوعين رئيسين، هما: الطاقة الحركيّة، والطاقة الكامنة (طاقة الوضع). ويسمى مجموع الطاقة الحركية لجسم والطاقة الكامنة فيه الطاقة الميكانيكة.

✓ **أتحقّق:** ما النوعان الرئيسان للطاقة؟



الشكل (15): (أ) يبذل محرّك السيّارة شغلًا عليها يُغيّر طاقتها الحركيّة عندما تتسارع على طريق أُفقي. (ب) عندما أرفع الكتاب وأضعه على رفّ الكتب، فإنّني أبذل شغلًا عليه يُغيّر طاقته الكامنة.

الشكل (16): للمطرقة طاقة حركية تُمكّنها من بذل شغل على المسمار ودفعه في اللوح الخشبي.

الطاقة الحركيّة Kinetic Energy

يبين الشكل (16) أن المطرقة يمكنها بذل شغل على المسمار ودفعه في اللوح الخشبي، أي أن الأجسام المتحرّكة قد تُحدث تغييرًا في الأجسام التي تصطدم بها. تُسمّى الطاقة المرتبطة بحركة جسم ما الطاقة الحركيّة **Kinetic Energy** ورمزها (KE)، وتعتمد على كلّ من: كتلة الجسم (m) ومقدار سرعته (v)، ويُعبّر عنها بالعلاقة الآتية:

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

تتناسب الطاقة الحركيّة لجسم طرديًّا مع كلّ من: كتلته ومربّع سرعته، فمثلًا، الطاقة الحركيّة لسيّارة متحرّكة بسرعة مقدارها (v) أقل منها لشاحنة متحرّكة بالسرعة نفسها؛ لأنّ كتلة الشاحنة أكبر. تُسمّى الطاقة الحركيّة هذه طاقة حركية خطّية، إذ إنّها ناتجة من الحركة الخطّية للجسم، أمّا عند حركة الجسم حركة دورانيّة حول محور دوران، فإنّه يمتلك طاقة حركية دورانيّة.

✓ **أتحقّق:** ما الطاقة الحركيّة؟ وعلامَ تعتمد؟

مبرهنة (الشغل ـ الطاقة الحركيّة) Work - Kinetic Energy Theorem

عندما تؤثّر قوّة محصّلة في جسم وتُغيّر مقدار سرعته (تُغيّر طاقته الحركيّة)؛ فإنّها تكون قد بذلت عليه شغلًا. ولاستقصاء العلاقة بين الشغل الكلّي المبذول على جسم والتغيّر في طاقته الحركيّة، أُنفّذ التجربة الآتية:

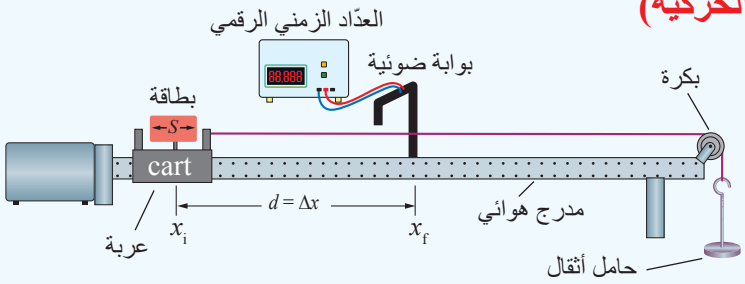
الربط بالحياة

تُصدر مديريّتا الأمن العامّ والدفاع المدني نشرات توعوية وتحذيرات للمواطنين عند تأثّر المملكة بمنخفض جوي، وبخاصّة عندما يكون مصحوبًا برياح سرعتها كبيرة، فالرياح لها طاقة حركية تُمكّنها من بذل شغل على الأجسام التي تصطدم بها. وعندما تكون سرعة الرياح كبيرة، فإنّها قد تُلحق أضرارًا كبيرة، مثل اقتلاع الأشجار والخِيَم والبيوت الزراعية البلاستيكية، كما أنّها تؤثّر سلبًا في الملاحة البحرية والجوية.

التجربة ١

مبرهنة (الشغل ـ الطاقة الحركيّة)

الموادّ والأدوات: مدرج هوائي وملحقاته، مسطرة متريّة، بكرة، خيط، حامل أثقال، 10 أثقال كتلة كلّ منها (10 g)، ميزان.



إرشادات السلامة: ارتداء المعطف واستعمال النظّارات الواقية للعينين، وتجنّب سقوط الأجسام والأدوات على القدمين.

خطوات العمل:

أُنفّذ الخطوات الآتية بالتعاون مع أفراد مجموعتي:

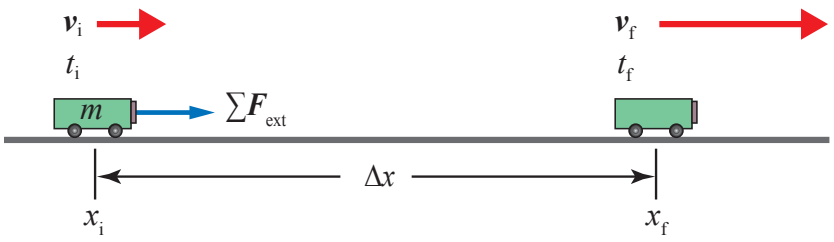
1. أُثبّت المدرج الهوائي أفقيًّا على سطح الطاولة، ثمّ أُثبّت البكرة في نهايته كما في الشكل، ثم أُثبّت المسطرة المترية على سطح الطاولة، بحيث يكون صفرها عند بداية المدرج.
2. **أقيس** طول البطاقة (S) الخاصّة بالعربة، ثم أُثبّتها عليها، ثم أدوّن طولها للمحاولات جميعها في الجدول (1).
3. **أقيس** كتلة العربة المنزلقة (m_{cart}) وأُدوّنها أعلى الجدول، ثمّ أضع العربة عند بداية المدرج عند الموقع ($x_i = 0$ m).
4. **أقيس:** أضع أثقالًا مناسبةً (50 g مثلًا) على حامل الأثقال، ثمّ أقيس كتلة الحامل وأثقاله (m_{hang}) ثمّ أُدوّنها أعلى الجدول.
5. أربط أحد طرفَي الخيط بمقدّمة العربة، ثمّ أربط طرفه الآخر بحامل الأثقال مرورًا بالبكرة، مُراعِيًا وصول العربة إلى نهاية المسار على المدرج قبل ملامسة حامل الأثقال أرضية الغرفة. أُثبّت حاجز الاصطدام في نهاية المسار؛ منعًا لاصطدام العربة بالبكرة.
6. أُثبّت البوّابة الضوئية عند الموقع ($x_f = 40$ cm)، ثم أصلها بالعدّاد الزمني الرقمي، ثم أصله بمصدر الطاقة الكهربائيّة ثمَّ أُشغّله، ثمّ أُدوّن بُعد البوابة الضوئية عن مقدّمة العربة ($d = x_f - x_i$) للمحاولة (1) في الجدول.
7. **أُجرّب:** أُشغّل مضخّة الهواء، ثمّ أُفلت العربة لتتحرّك من السكون، مُلاحِظًا قراءة العداد الزمني الرقمي (Δt) الذي يُمثّل الزمن الذي تستغرقه البطاقة التي على العربة في عبور البوابة الضوئية. أُدوّن هذا الزمن في الجدول للمحاولة (1).
8. أُكرّر الخطوتين (6 - 7) مرّتين مع تغيير موقع البوابة الضوئية في كل مرّة، ثمّ أُدوّن في الجدول القياسات الجديدة لكلّ من : (d)، و (Δt).
9. أُكرّر التجربة مرّة أُخرى بزيادة الأثقال على الحامل.

التحليل والاستنتاج:

1. **أستخدم الأرقام:** أحسب مقدار السرعة النهائيّة للعربة لكلّ محاولة، باستعمال العلاقة: ($v_f = \frac{S}{\Delta t}$)، ثمّ أجد مربّع هذه السرعة، ثمّ أُدوّن الحسابات في الجدول (1).
2. **أستخدم الأرقام:** أحسب مقدار شغل القوّة المحصّلة الخارجية المؤثّرة في العربة لكلّ محاولة باستعمال العلاقة الآتية:

($W_F = (\frac{m_{cart}\, m_{hang}}{m_{hang} + m_{cart}})gd$)، ثمّ أُدوّنه في الجدول (2).

3. **أستخدم الأرقام:** أحسب مقدار التغيّر في الطاقة الحركيّة للعربة لكلّ محاولة باستعمال العلاقة: ($\Delta KE = KE_f - KE_i$)، ثمّ أُدوّنه في الجدول (2).
4. **أُقارن** بين (W_F)، و (ΔKE) لكلّ محاولة. ما العلاقة بينهما؟ هل يوجد أي اختلاف بينهما؟ أُفسّر إجابتي.



الشكل (17): الشغل الكلّي المبذول على العربة والتغير في طاقتها الحركيّة.

أستنتجُ بعد تنفيذ التجربة السابقة أنّ شغل القوّة المحصّلة الخارجية المؤثّرة في العربة، يساوي التغيّر في طاقتها الحركيّة. ولإثبات ذلك رياضيًّا أنظرُ إلى الشكل (17)، الذي يوضّح عربة كتلتها (m) تتحرّك بسرعة متجهة ابتدائية ($\boldsymbol{v}_i$).

أفترض أنّ قوّة محصّلة أفقية خارجية ($\sum \boldsymbol{F}_{ext}$) قد أثّرت في العربة عندما كانت عند الموقع (x_i) فقطعت إزاحة ($d = \Delta x$) تحت تأثير هذه القوّة، وأصبحت سرعتها المتّجهة النهائية ($\boldsymbol{v}_f$) في نهاية الإزاحة عند الموقع (x_f).

استنادًا إلى القانون الثاني لنيوتن، تتحرّك العربة بتسارع (a) في اتّجاه القوّة المحصّلة نفسه، حيث:

$$W_{Tot} = \Sigma F_{ext}.\Delta x = ma\Delta x$$

$$a\Delta x = \frac{W_{Tot}}{m}$$

بتعويض المقدار ($a\Delta x$) في المعادلة الآتية من معادلات الحركة بتسارع ثابت:

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

$$v_f^2 = v_i^2 + 2\left(\frac{W_{Tot}}{m}\right)$$

بضرب طرفَي المعادلة بالمقدار $\left(\frac{m}{2}\right)$، وإعادة ترتيب الحدود نحصل على:

$$W_{Tot} = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$W_{Tot} = KE_f - KE_i$$

أفكّر: تتحرك سيارة بسرعة ابتدائية (v) على طريق أفقي مستقيم، إذا استخدم السائق المكابح، تتوقف السيارة بعد أن تقطع مسافة (d). إذا كانت السرعة الابتدائية للسيارة ($2v$)، وتأثرت السيارة بقوة المكابح نفسها. فما المسافة اللازمة للتوقف بدلالة (d)؟ أوضح إجابتي حسابيًّا.

يُمثّل الطرف الأيسر من المعادلة الشغل الذي بذلته القوّة المحصّلة على العربة، أما الطرف الأيمن منها، فيُمثّل التغيّر في الطاقة الحركيّة للعربة، أي أنّ:

$$W_{\text{Total}} = \Delta KE$$

تُسمّى هذه العلاقة **مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركيّة)** **Work - Kinetic Energy Theorem**، وتنص على أنّ: «الشغل الكلّي المبذول على جسم يساوي التغيّر في طاقته الحركيّة». أستنتجُ من مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركيّة) أنّ مقدار سرعة الجسم يزداد عندما يكون الشغل الكلّي المبذول عليه موجبًا؛ حيث الطاقة الحركيّة النهائيّة أكبر من الطاقة الحركيّة الابتدائيّة. وأنّ مقدار سرعة الجسم يتناقص عندما يكون الشغل الكلّي المبذول عليه سالبًا؛ حيث الطاقة الحركيّة النهائيّة أقل من الطاقة الحركيّة الابتدائيّة.

✓ **أتحقّق:** علامَ تنص مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركيّة)؟ متى يزداد مقدار سرعة جسم؟

أبحثُ:

تُعدّ مسافة الأمان بين السيّارات عنصرًا من أهم عناصر إجراءات السلامة على الطرق؛ إذ يترتّب على المحافظة عليها تجنّب العديد من الحوادث الخطرة والمميتة. أبحثُ عن أسباب وجوب ترك هذه المسافة، والعوامل التي يعتمد عليها مقدار هذه المسافة، وأُعدُّ عرضًا تقديميًّا أعرضه على طلبة الصفّ.

المثال 5

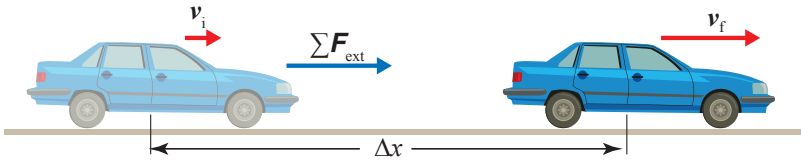
تتحرّك سيّارة كتلتها (8×10^2 kg) نحو الشرق على طريق أُفقي بسرعة مقدارها (15 m/s). ضغط سائقها دوّاسة الوقود لكي يتجاوز سيّارة أخرى، بحيث أصبح مقدار سرعة السيارة (25 m/s) بعد قطعها إزاحة مقدارها (2×10^2 m) من لحظة ضغطه الدوّاسة. أنظرُ إلى الشكل (18)، ثمّ أحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . الطاقة الحركيّة الابتدائيّة للسيّارة.

ب. التغيّر في الطاقة الحركيّة للسيّارة خلال مدة ضغط دوّاسة الوقود.

جـ. الشغل الكلّي المبذول على السيّارة خلال هذه الإزاحة.

د . القوّة المحصّلة الخارجية المؤثّرة في السيّارة.



الشكل (18): قوّة محصّلة خارجية تؤثّر في سيّارة تتحرّك نحو الشرق إزاحة مقدارها (Δx).

المعطيات: $m = 8 \times 10^2$ kg, $v_i = 15$ m/s, $v_f = 25$ m/s, $\Delta x = 2 \times 10^2$ m.

المطلوب: $KE_i = ?$, $\Delta KE = ?$, $W_{\text{Total}} = ?$, $\sum F_{ext} = ?$

الحلّ:

أ . أحسبُ الطاقة الحركيّة الابتدائية للسيّارة كما يأتي:

$$KE_i = \frac{1}{2} mv_i^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 8 \times 10^2 \times (15)^2 = 9 \times 10^4 \text{ J}$$

ب. أحسبُ التغيّر في الطاقة الحركيّة للسيّارة كما يأتي:

$$\Delta KE = KE_f - KE_i = \frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2$$

$$\Delta KE = \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2)$$

$$= \frac{1}{2} \times 8 \times 10^2 \times [(25)^2 - (15)^2]$$

$$= 4 \times 10^2 \times 400 = 1.6 \times 10^5 \text{ J}$$

جـ. إنّ الشغل الكلّي الذي بذلته القوّة المحصّلة الخارجية على السيارة يساوي التغيّر في طاقتها الحركيّة بحسب مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركيّة).

$$W_{Total} = \Delta KE$$

$$= 1.6 \times 10^5 \text{ J}$$

د . أحسب القوة الخارجية من العلاقة الآتية:

$$W_{Total} = \sum F_{ext.} \Delta x \cos 0^o$$

$$1.6 \times 10^5 = \sum F_{ext.} \Delta x$$

$$\Sigma F_{ext} = \frac{W_{Total}}{\Delta x} = \frac{1.6 \times 10^5}{2 \times 10^2} = 8 \times 10^2 \text{ N}$$

تمرين

أستخدمُ الأرقام: سيّارة مخصّصة للسير على الرمال كتلتها (600 kg)، تتحرّك بسرعة مقدارها (28 m/s) في مسار أُفقي، أنظرُ إلى الشكل (19). أثّرت فيها قوّة محصّلة خارجية مدةً زمنية مقدارها (5 s) عملت على تباطئها بمقدار (1.6 m/s^2). أحسبُ مقدار:

أ . التغيّر في الطاقة الحركيّة للسيارة خلال تلك المدة.

ب. شغل القوّة المحصّلة الخارجية المبذول على السيّارة.

الشكل (19): سيّارة مخصّصة للسير على الرمال.

الطاقة الكامنة (طاقة الوضع) Potential Energy

هي طاقةٌ مختزنة في نظام يتكوّن من جسمين أو أكثر، ولها أشكال مختلفة؛ فقد تكون نتيجة موقع جسم بالنسبة إلى سطح الأرض، فتُسمّى طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبيّة الأرضية. أو نتيجة موقع جسم مشحون بالنسبة إلى جسم مشحون آخر وتُسمّى طاقة الوضع الكهربائيّة، وسنلقي الضوء في هذا الدرس على طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبيّة الأرضية، وطاقة الوضع المرونية لنظام يتكون من جسم يتصل بنابض.

أُصمّم باستعمال برنامج السكراتش (Scratch) عرضًا يوضّح طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة، والعوامل التي تعتمد عليها ووحدة قياسها، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.

طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبيّة الأرضيّة

Gravitational Potential Energy

عند رفع جسم إلى الأعلى مثل الجسم المُبيّن في الشكل (20)، فإنّ الأرض والجسم يشكّلان نظامًا يسمّى نظام (الجسم- الأرض). يختزن النظام طاقة وضع تُسمّى **طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبيّة الأرضيّة Gravitational Potential Energy** ورمزها (PE)، وتعرف بأنّها الطاقة المختزنة في نظام (الجسم – الأرض) نتيجة موقع الجسم في مجال الجاذبيّة الأرضيّة، علمًا أنّه عند دراسة نظام مكوّن من جسم والأرض، فإنّنا نُعبّر عن طاقة وضع النظام (الجسم – الأرض) بطاقة وضع الجسم، ويُعبَّر عنها بالعلاقة الآتية:

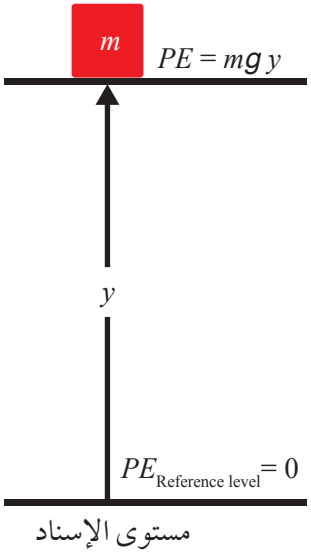
$$PE = mg\,y$$

حيث (m) كتلة الجسم، (g) تسارع السقوط الحرّ، (y) الارتفاع الرأسيّ للجسم عن مستوى الإسناد، وهو مستوًى مرجعيّ اختياريّ تكون طاقة الوضع عنده صفرًا، وعادةً نختار سطح الأرض مستوى إسناد. وبافتراض أنّ تسارع السقوط الحرّ ثابت تقريبًا قرب سطح الأرض، فإنّ طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبيّة الأرضيّة تعتمد على كتلة الجسم، وعلى ارتفاعه الرأسي عن سطح الأرض (علمًا أنّ سطح الأرض هو مستوى الإسناد).

أمّا التغيُّر في طاقة الوضع لجسم ΔPE عند حركته من موقع ابتدائيّ (y_i) إلى موقع نهائيّ (y_f)، فيعتمد على التغيُّر في الارتفاع الرأسيّ للجسم بين هذين الموقعين (Δy)، ويُعبّر عنه بالعلاقة الآتية:

$$\Delta PE = mg\,\Delta y$$

حيث ($\Delta y = y_f - y_i$).



الشكل (20): طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية.

وبالاعتماد على هذه العلاقة، نستنتج أنّه عندما يتحرّك الجسم إلى الأعلى كما في الشكل (21/ أ)، فإنّ $(\Delta y > 0)$؛ لذا فإنّ التغيُّر في طاقة وضعه يكون موجبًا. في حين عندما يتحرّك الجسم إلى الأسفل كما في الشكل (21/ ب)، فإنّ $(\Delta y < 0)$؛ لذا يكون التغيُّر في طاقة وضعه سالبًا، كذلك فإنّ التغيُّر في طاقة الوضع لا يعتمد على شكل المسار الذي يسلكه الجسم، بل يعتمد فقط على التغيُّر في الارتفاع الرأسيّ للجسم .

✓ **أتحقّق:** ما المقصود بطاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة؟ ولماذا يلزم مستوى إسناد لحسابها؟

شغل قوة الجاذبية الأرضية Work Done by The Force of Gravity

تؤثّر قوّة الجاذبيّة الأرضيّة في الأجسام جميعها، ويكون اتّجاهها دائمًا رأسيًّا نحو الأسفل، وعندما يتحرّك جسم إلى الأعلى ويقطع إزاحة رأسية مقدارها (Δy)، فإنّ قوّة الجاذبيّة الأرضيّة (mg) تبذل عليه شغلًا سالبًا؛ لأن اتّجاه القوة بعكس اتّجاه الإزاحة، ويمكن التعبير عن شغل قوّة الجاذبيّة الأرضيّة في هذه الحالة بالعلاقة الآتية:

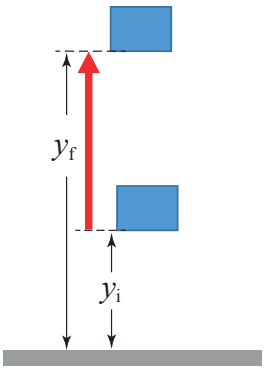
$$W_g = mg\,\Delta y \cos 180^\circ = -\,mg\,\Delta y$$

لأنّ $(\Delta PE = mg\Delta y)$، يمكن التعبير عن العلاقة السابقة بالصيغة الآتية:

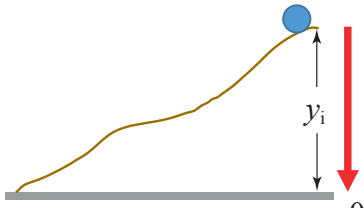
$$W_g = -\,\Delta PE$$

يمكن تعميم هذه النتيجة مهما كان شكل المسار الذي يسلكه الجسم؛ فشغل قوّة الجاذبيّة الأرضيّة (الوزن) يساوي دائمًا سالب التغيُّر في طاقة الوضع، وهذا يعني أنّه عند تحريك جسم بين موقعين في مجال الجاذبية الأرضيّة، فإنّ شغل قوة الجاذبية الأرضيّة يعتمد فقط على التغيُّر في الارتفاع الرأسيّ بين النقطتين.

✓ **أتحقّق:** ما العلاقة بين شغل قوّة الجاذبية الأرضيّة، والتغيّر في طاقة وضع الجسم الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة؟



(أ)



(ب)

الشكل (21):

أ . تزداد طاقة الوضع للجسم عندما يتحرّك إلى الأعلى.

ب. تقلُّ طاقة الوضع للجسم عندما يتحرّك إلى الأسفل.

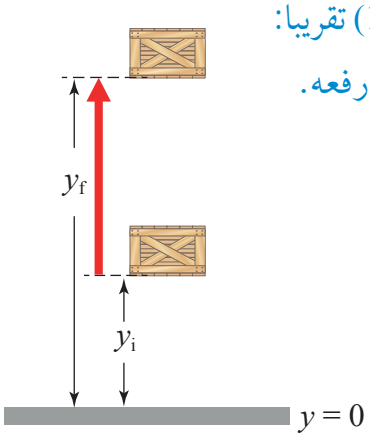
المثال 6

صندوق كتلته (10 kg)، رُفع بحبل رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ثابتة من ارتفاع (7 m) عن سطح الأرض إلى ارتفاع (16 m). أحسب مقدار ما يأتي علمًا أنّ تسارع السقوط الحر ($10\ m/s^2$) تقريبا:

أ . التغيُّر في طاقة وضع الصندوق الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة نتيجة رفعه.

ب. الشغل الذي بذلته قوّة الجاذبيّة الأرضيّة في أثناء رفع الصندوق.

جـ. الشغل الذي بذلته قوّة الشدّ في الحبل (W_T) لرفع الصندوق.



الشكل (22): تحديد مستوى إسناد لحساب طاقة الوضع.

المعطيات: $m = 10\ kg,\ y_i = 7\ m,\ y_f = 16\ m,\ g = 10\ m/s^2$.

المطلوب: $\Delta PE = ?,\quad W_g = ?,\quad W_T = ?$.

الحلّ:

أختار سطح الأرض مستوى إسناد لطاقة الوضع مُلاحِظًا الشكل (22).

أ . أحسبُ التغيُّر في طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبيّة الأرضيّة باستخدام العلاقة الآتية:

$$\Delta PE = mg\Delta y = 10 \times 10 \times (16 - 7) = 10 \times 10 \times 9 = 900\ J$$

ب. أحسبُ الشغل الذي بذلته قوّة الجاذبيّة الأرضيّة بالعلاقة الآتية:

$$W_g = -\Delta PE$$
$$= -900\ J$$

جـ. لحساب الشغل الذي بذلته قوّة الشدّ أستخدم مبرهنة الشغل والطاقة:

$$W_{Total} = \Delta KE$$

ولأنّ الصندوق تحرك بسرعة ثابتة، والشغل الكلي (W_{Total}) يساوي مجموع شغل الوزن (W_g)، وشغل قوّة الشدّ (W_T)؛ أي أنّ:

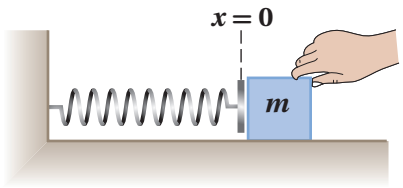
$$W_{Total} = W_g + W_T = 0 \Rightarrow -900 + W_T = 0$$

وعليه، فإنّ

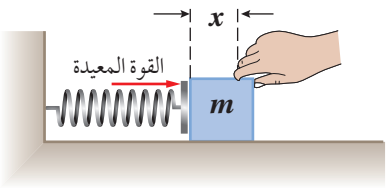
$$W_T = 900\ J$$

تمرين

أستخدمُ الأرقام: سقط أصيص أزهار كتلته (800 g) من السكون من ارتفاع (250 cm) عن سطح الأرض. إذا علمت أن تسارع السقوط الحر ($10\ m/s^2$)، أحسب شغل قوة الجاذبية الأرضية المبذول على الأصيص.



(أ) قبل انضغاط النابض.



(ب) بعد انضغاط النابض.

الشكل (23): نظام (كتلة –نابض).

طاقة الوضع المرونية Elastic Potential Energy

فضلًا عن معرفتنا بالطاقة الكامنة الناتجة من جاذبية الأرض للأجسام، سنستكشف نوعًا آخر من الطاقة الكامنة التي يمتلكها نظام يتكون من كتلة ونابض متصلين معًا كما هو موضح في الشكل (23)، عند ضغط النابض أو شده، تتولد فيه قوة بعكس اتجاه القوة المؤثرة فيه لإرجاعه إلى موضع الاتزان، تسمى القوة المعيدة. ويُعبَّر عن مقدار قوة النابض بالعلاقة الآتية، التي تعرف بقانون هوك:

$$F = -kx$$

حيث (x) مقدار الاستطالة أو الانضغاط في النابض بالنسبة إلى موضع الاتزان، (k) ثابت مرونة النابض، والإشارة السالبة تعني أن اتجاه القوة معاكس لاتجاه الإزاحة، ولأنّ الشغل المبذول على نابض عند شده أو ضغطه (كما توصلنا في الدرس الأول) يُعبَّر عنه بالعلاقة الآتية:

$$W = \frac{1}{2} Fx$$

وبتعويض قوة النابض $(F = kx)$

فإن الشغل المبذول على نابض يمكن حسابه بالعلاقة الآتية:

$$W = \frac{1}{2} Fx = \frac{1}{2} (kx)x = \frac{1}{2} kx^2$$

يخزن هذا الشغل في النابض على هيئة طاقة وضع مرونية، يُعبَّر عنها بالعلاقة الآتية:

$$PE = \frac{1}{2} kx^2$$

نستنتج من العلاقة أن **طاقة الوضع المرونية Elastic Potential Energy** لنظام (كتلة – نابض) هي الطاقة التي تُختزن في النابض نتيجة تغير طوله (انضغاط أو استطالة) بالنسبة إلى موضع الاتزان، فعند الإزاحة $(x = 0)$ تكون طاقة النظام صفرًا، كما أنها تتناسب طرديًّا مع مربع الإزاحة (x^2)، وهي تكون موجبة دائمًا.

أبحثُ

تُصنَع النوابض بأشكال مختلفة، ويحدد ثابت مرونة النابض خصائص النابض، فمثلًا، النابض المستخدم في ميزان قياس الوزن، يختلف في قساوته عن النابض المستخدم في السيارة. أبحث عن العوامل التي يعتمد عليها ثابت المرونة للنابض، والأمور التي تراعى عند صناعة النوابض بأشكالها المختلفة، ثم أعدّ عرضًا تقديميًّا أعرضه على زملائي/ زميلاتي.

المثال 7

نابض ثابت مرونته (80 N/m) موضوع على سطح أفقي، طرفه الأيسر مثبت بالحائط، وضُغِط طرفه الأيمن نحو اليسار (20 cm). ما مقدار الطاقة المرونية المخزونة في النابض؟

المعطيات: $k = 80\ \text{N/m},\ x = 20\ \text{cm}$

المطلوب: $PE = ?$

الحل:

نحوّل وحدة الإزاحة إلى المتر فتصبح ($x = 0.2\ \text{m}$)، ثم نستخدم العلاقة الآتية:

$$PE = \frac{1}{2}\,kx^2$$

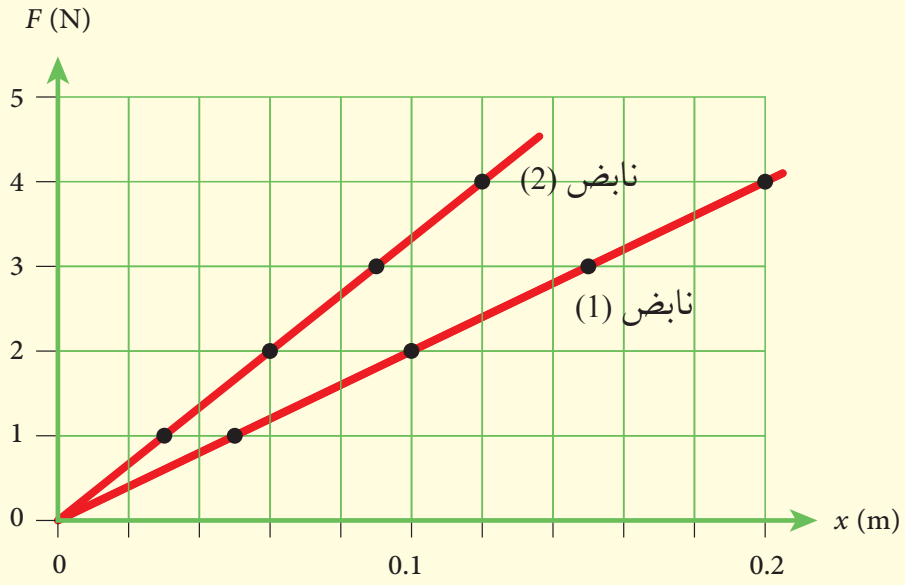
$$PE = \frac{1}{2} \times 80 \times (0.2)^2 = 1.6\ \text{J}$$

أفكّر:

تختلف النوابض في قساوتها وفقًا للغرض الذي تُصمَّم من أجله. يبين الشكل (24) تمثيلًا بيانيًّا لمنحنى (القوة – الاستطالة) لنابضين.

أ . ماذا يمثل ميل الخط المستقيم؟

ب. هل يمكن القول: «المنحنى الأكبر ميلًا يدل على نابض أكثر قساوة»؟ أبرر إجابتي.



الشكل (24): التمثيل البياني لمنحنى (القوة – الاستطالة) لنابضين 1 و 2.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** ما المقصود بالطاقة الميكانيكية؟ وعلامَ تنص مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركية)؟

2. **أصف:** التغير في كل من الطاقة الحركية وطاقة الوضع في الحالات الآتية:

   أ . سقوط ورقة شجر.

   ب. رمي كرة سلة نحو السلة.

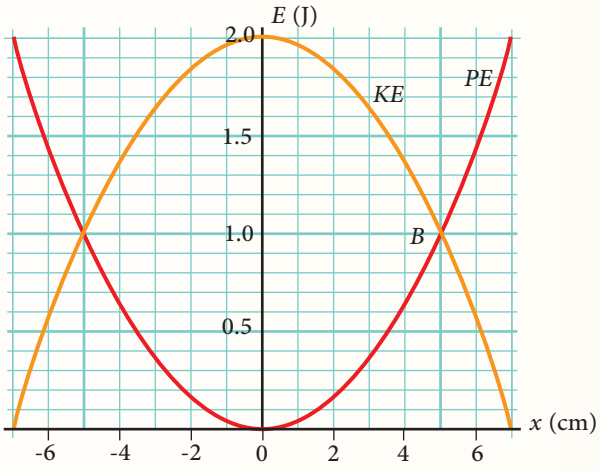
   جـ. انفلات جسم متصل بنابض مضغوط.

   د . انزلاق قرص فلزي على سطح جليدي أفقي أملس.

3. **أتوقّع:** هل تتغيّر سرعة جسم إذا كان الشغل الكلّي المبذول عليه صفرًا؟

4. **أستنتج:** كرتان متماثلتان، قُذفت الأولى بسرعة مقدارها (3 m/s)، وقُذفت الثانية بسرعة مقدارها (9 m/s). أجد نسبة الطاقة الحركية للكرة الثانية إلى الطاقة الحركية للكرة الأولى. ماذا أستنتج من العلاقة بين الطاقة الحركية والسرعة؟

5. **التفكير الناقد:** جسم كتلته (2.0 kg) يتصل بنابض، وموضوع على سطح أفقي أملس. ضُغط النابض بواسطة الجسم إزاحة (x) عن موضع الاتزان، وعند إفلاته تحرك الجسم حول موضع اتزانه يمينًا ويسارًا حركة تذبذبية. الشكل المجاور يبين علاقة كل من طاقة الوضع والطاقة الحركية مع الإزاحة. أجيب عما يأتي، مستعينًا بالمنحنى:



   أ . ما أكبر إزاحة للكتلة عن موضع الاتزان؟

   ب. أحسب ثابت المرونة للنابض.

   جـ. ماذا تمثل نقطة تقاطع المنحنيين (B)؟

   د . ما أكبر سرعة للكتلة؟ وأين يكون موقع الكتلة عندها؟

   هـ. **أقدّم دليلًا** على أن الطاقة الميكانيكة للنظام ثابتة.

الشغل وحفظ الطاقة الميكانيكية
Work and Conservation of Mechanical Energy

الفكرة الرئيسة:

القوى المحافظة تسمح لنا بتخزين الطاقة لإعادة استخدامها عند الحاجة وتحويلها إلى شغل مفيد. والقوى غير المحافظة تفسر لنا عدم إمكانية اختراع آلة ذاتية الحركة نتيجة ضياع جزء من الطاقة في أثناء تحولها من شكل إلى آخر.

نتاجات التعلّم:

- أوضح المقصود بالمفاهيم المتعلقة بحفظ الطاقة الميكانيكية والأنظمة المحافظة.
- أعبر عن مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكية وشغل القوى المحافظة وغير المحافظة بمعادلات رياضية.
- أطبق بحل مسائل على حفظ الطاقة الميكانيكية وشغل القوى المحافظة وغير المحافظة.
- أوظف معرفتي بالقوى المحافظة وغير المحافظة في تفسير مشاهدات ومواقف حياتية.

المفاهيم والمصطلحات:

حفظ الطاقة	Energy Conservation
حفظ الطاقة الميكانيكية	Conservation of Mechanical Energy
قُوًى محافظة	Conservative Forces
قُوًى غير محافظة	Nonconservative Forces

أنواع الطاقة Kinds of Energy

تعرفت في الدرس السابق الطاقة الميكانيكية ونوعيها: الطاقة الحركية وطاقة الوضع، وتعرفت علاقة كل منهما بالشغل المبذول على جسم، وقد درست في صفوف سابقة أشكالًا كثيرة للطاقة، وتحولات الطاقة من شكل إلى آخر.

توجد الطاقة في هذا الكون بأشكال كثيرة، مثل الطاقة: الضوئية، والحرارية، والصوتية، والكيميائية، والكهربائية، والمغناطيسية، والنووية. هذه الأشكال المختلفة للطاقة جميعها، إما طاقة حركية وإما طاقة كامنة (وضع)، على سبيل المثال، الطاقة الصوتية هي طاقة حركية تهتز فيها جسيمات الوسط، ناقلة الصوت على هيئة طاقة حركية لجسيمات الوسط. والطاقة الكهربائية هي طاقة حركية نتيجة انتقال الإلكترونات التي تحمل الشحنات الكهربائية خلال أسلاك التوصيل، والطاقة الكيميائية ما هي إلا طاقة كامنة في الروابط بين ذرات وجزيئات المادة.

جميع أشكال الطاقة قابلة للتحول إلى أشكال أخرى، حيث تستخدم أدوات وطرائق تناسب كل تحول، والشكل (25) يوضح عملية شحن سيارة كهربائية، إذ تتحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية تُخزَّن في البطارية.

الشكل (25): عملية شحن سيارة كهربائية.

حفظ الطاقة Energy Conservation

تتحول الطاقة من شكل إلى آخر داخل الأنظمة المختلفة، وتبقى الطاقة الكلية محفوظة في أثناء ذلك، إذ ينص مبدأ **حفظ الطاقة Energy Conservation** على أن «الطاقة لا تفنى ولا تُخلق من العدم، لكنها تتحول من شكل إلى آخر». عند تحوُّل الطاقة في نظام من شكل إلى آخر، فإنها في الواقع لا تتحول جميعها إلى الشكل المطلوب، إذ تنتج دائمًا من عمليات التحول أشكال غير مفيدة من الطاقة، على سبيل المثال، المحرك الكهربائي يحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية، تكون كفاءته في التحويل بنسبة قد تصل إلى (85 %)، هذا يعني أن (15 %)، من الطاقة الكهربائية قد تحوّل إلى أشكال غير مفيدة من الطاقة، مثل الطاقة الحرارية والطاقة الصوتية، وجميعها انتقلت إلى الوسط الذي يحيط بالمحرك، فالطاقة محفوظة دائمًا، سواء بقيت داخل النظام نفسه، أو انتقل جزء منها إلى الوسط المحيط بالنظام.

القوى المحافظة وغير المحافظة

Conservative and Nonconservative Forces

تختزن الكرة الساكنة الموضوعة على ارتفاع ما فوق سطح الأرض طاقة وضع ناشئة عن الجاذبية الأرضية، وعند سقوط الكرة نحو الأرض تتحول طاقة الوضع إلى طاقة حركية. في مثال آخر مألوف في الحياة اليومية، تمتلك الدراجة الهوائية عند سيرها على طريق أفقية كما في الشكل (26) طاقة حركية، وعند استعمال الفرامل وتوقف الدراجة عن الحركة، تصبح طاقتها الحركية صفرًا، ومقابل ذلك لا تتغير طاقة الوضع لها؛ لأن الطريق أفقية. فما الفرق بين حركتَي الكرة والدراجة؟ الإجابة عن هذا السؤال تكون بدراسة نوعَي القوى المحافظة وغير المحافظة.

✓ **أتحقّق:** أفسر: عندما تتحول طاقة من شكل إلى آخر لا تتحول جميعها إلى طاقة مفيدة.

الربط بالحياة

السيارة الواقفة والوقود المخزون فيها يشكلان نظامًا واحدًا، عند تشغيل المحرك وانطلاق السيارة تبدأ الطاقة بالتحول من كيميائية كامنة في الوقود إلى طاقة حرارية في المحرك، التي بدورها تتحول إلى طاقة ميكانيكية، تحرك السيارة بسرعة ممتلكة طاقة حركية. لإيقاف السيارة أو إبطاء سرعتها تُستخدم الفرامل، التي تؤثر بقوة احتكاك تحوّل الطاقة الحركية للسيارة إلى طاقة حرارية.

الشكل (26): استخدام الفرامل لإيقاف الدراجة على طريق أفقيّة مستقيمة.

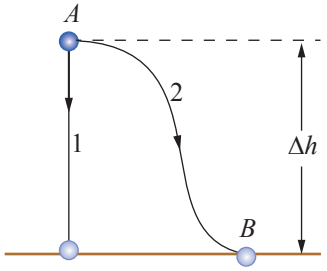
ما إشارة الشغل الكلي المبذول على الدراجة، من لحظة ضغط الفرامل إلى أن تتوقف؟ وما المعنى الفيزيائي للإشارة؟

القوى المحافظة Conservative Forces

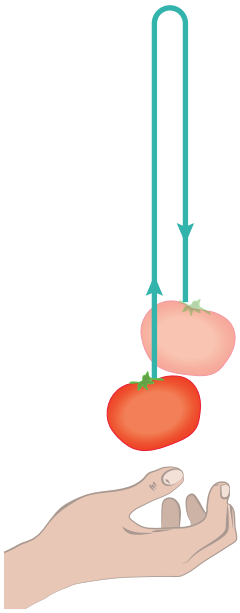
تتحرك الكرة الساقطة نحو الأرض تحت تأثير قوة الجاذبية الأرضية، وعند إهمال مقاومة الهواء، لوحظ أن النقصان في طاقة الوضع للكرة يقابله زيادة مساوية في طاقتها الحركية. ما يعني أن الطاقة الميكانيكية للنظام محفوظة، وعليه، فإنّ قوة الجاذبية الأرضية هي قوة محافظة. ومن الأمثلة الأخرى على القوى المحافظة: القوة الكهربائية، والقوة المغناطيسية، كما أنّ قوة النابض المتصل بكتلة تُعدّ قوة محافظة. للقوى المحافظة جميعها خصيصتان موضحتان في الشكل (27)، هما:

1. شغلها المبذول على جسم لتحريكه بين أي موقعين، لا يعتمد على المسار الذي يسلكه الجسم بين الموقعين.
2. شغلها المبذول على جسم لتحريكه عبر مسار مغلق يساوي صفرًا.

والقوة المحافظة conservative force تبذل شغلًا يكون مساويًا لسالب التغير في طاقة الوضع للنظام.



الشكل (27/أ): تبذل قوة الجاذبية الأرضية الشغل نفسه على الجسم في أثناء حركته عبر المسار (1) أو المسار (2).

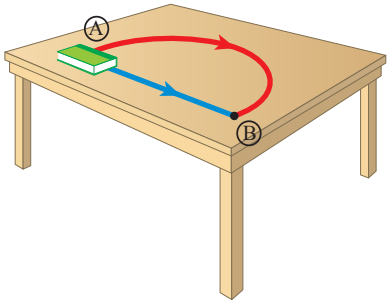


الشكل (27/ب): الشغل الكلي الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية على جسم عبر مسار مغلق يساوي صفرًا.

القوى غير المحافظة Nonconservative Forces

تُعدّ أيّ قوّة لم تُحقّق خصيصتَي القوى المحافظة السابقتين قوّة غير محافظة، إذ يعتمد شغلها الذي تبذله على جسم على المسار الذي يسلكه الجسم، ويوضّح الشكل (28) اعتماد شغل القوّة غير المحافظة على المسار؛ فالشغل الذي تبذله قوّة الاحتكاك الحركي في أثناء حركة الكتاب بين الموقعين (A) و (B) على سطح الطاولة الأفقي الخشن، يكون أكبر عبر المسار المنحني؛ لأنّه أطول من المسار المستقيم.

عندما تؤثر قوى غير محافظة في جسم، فإنها تعمل على تغيير طاقته الميكانيكية، وبالعودة إلى مثال قيادة الدراجة الهوائية على طريق أفقية واستعمال الفرامل، فإن قوة الفرامل هي قوة احتكاك، وخلافًا للقوى المحافظة، فإن شغل قوة الاحتكاك لا يُختزن، فالدراجة توقفت عن الحركة، والطاقة الحركية التي كانت تمتلكها تحولت إلى طاقة غير مفيدة، حيث تحوّل جزء كبير منها إلى طاقة حرارية اكتسبها نظام (الدراجة – سطح الطريق).



الشكل (28): يعتمد شغل القوّة غير المحافظة على المسار.

إذًا، **القوة غير المحافظة** **nonconservative force** تبذل شغلًا يؤدي إلى تغير الطاقة الميكانيكية للنظام. وتعد قوة الاحتكاك الحركي وقوة الشد أمثلة على القوى غير المحافظة.

حفظ الطاقة الميكانيكية Conservation of Mechanical Energy

القوى المحافظة تحافظ على كمية الطاقة الميكانيكية ثابتة للجسم المتحرك تحت تأثيرها فقط، في حين ينتج من تأثير القوى غير المحافظة في الأجسام تغير في الطاقة الميكانيكية لها.

الطاقة الميكانيكية في الأنظمة المحافظة
Mechanical Energy in Conservative Systems

يبين الشكل (29) كرة في أثناء سقوطها نحو الأرض من موقع ابتدائي (y_i) إلى موقع نهائي (y_f).

بإهمال مقاومة الهواء، تكون حركة الكرة تحت تأثير قوة الجاذبية الأرضية فقط. وبتطبيق مبرهنة (الشغل-الطاقة) على الكرة نتوصل إلى أن الشغل الكلي المبذول على الكرة في أثناء سقوطها يُعبَّر عنه بالعلاقة الآتية:

$$W_{\text{Total}} = W_g = \Delta KE$$

وبتعويض شغل قوة الجاذبية ($W_g = -\Delta PE$) نحصل على:

$$\Delta KE = -\Delta PE$$

$$\Delta KE + \Delta PE = 0$$

وبالتعويض عن التغيّر في الطاقة الحركية والتغيّر في طاقة الوضع أتوصّل إلى ما يأتي:

$$(KE_f - KE_i) + (PE_f - PE_i) = 0$$

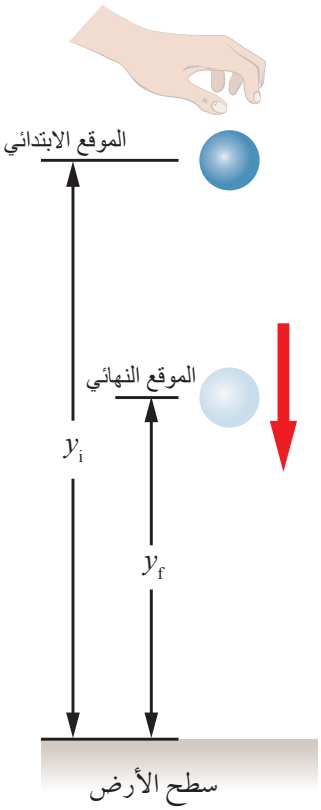
$$KE_i + PE_i = KE_f + PE_f$$

يُعَبَّر عن الطاقة الميكانيكية بالعلاقة : $ME = KE + PE$ لذا فإنّ:

$$ME_i = ME_f$$

ويكون:

$$\Delta ME = 0$$



الشكل (29): إسقاط كرة من الموقع (y_i) بالنسبة إلى سطح الأرض.

ما الطاقة الميكانيكية للكرة عند الموقع (y_f)؟ وما طاقتها الميكانيكية مباشرة قبل ملامستها سطح الأرض؟

تصف العلاقة السابقة **حفظ الطاقة الميكانيكية Conservation of Mechanical Energy** في ظل وجود قُوًى محافظة فقط تبذل شغلًا، إذ تبقى الطاقة الميكانيكية للنظام ثابتة.

✓ **أتحقّق:** ما الفرق بين القوى المحافظة والقوى غير المحافظة؟ ومتى تكون الطاقة الميكانيكية لنظام محفوظة؟

المثال 8

قذف لاعب كرة كتلتها (300 g) رأسيًّا إلى أعلى عن سطح الأرض بسرعة مقدارها (20 m/s)، أنظر إلى الشكل (30). أفترضُ أنّه لا توجد قوى احتكاك، وأفترض أن تسارع السقوط الحر ($10\ m/s^2$)، فأحسبُ مقدار ما يأتي للكرة عند وصولها إلى أقصى ارتفاع:

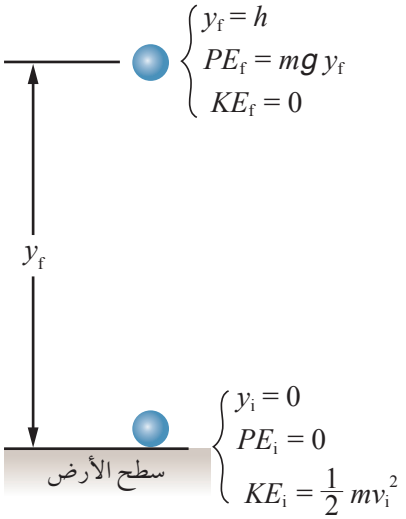
أ . طاقتها الميكانيكية.

ب. التغيّر في طاقة وضعها الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة.

جـ. أقصى ارتفاع تصله عن سطح الأرض.

د . التغيّر في طاقتها الحركية.

هـ. الشغل الذي بذلته قوّة الجاذبية الأرضيّة عليها.



الشكل (30): قذف كرة رأسيًّا إلى أعلى.

المعطيات: $m = 300\ g = 0.3\ kg,\ v_i = 20\ m/s,\ y_i = 0\ m,\ g = 10\ m/s^2$.

المطلوب: $W_g = ?,\ KE = ?,\ h = \Delta y = ?,\ \Delta PE = ?,\ ME_f = ?$.

الحلّ:

أختار سطح الأرض مستوى إسناد لطاقة الوضع. أنظرُ إلى الشكل (30).

أ . الطاقة الميكانيكية محفوظة، لا توجد قُوًى غير محافظة تبذل شغلًا، والطاقة الميكانيكية للكرة لحظة قذفها طاقة حركية فقط، حيث طاقة وضعها صفر؛ لأنّها تقع على مستوى الإسناد لطاقة الوضع.

أمّا طاقتها الميكانيكية عند أقصى ارتفاع (y_f) فهي طاقة وضع فقط، حيث مقدار سرعتها صفر عند هذا الموقع. أستعملُ معادلة حفظ الطاقة الميكانيكية كما يأتي:

$$\begin{aligned} ME_f &= ME_i \\ &= KE_i + PE_i \\ &= \frac{1}{2} mv_i^2 + 0 = \frac{1}{2} \times 0.3 \times (20)^2 \\ &= 60 \text{ J} \end{aligned}$$

ب. طاقتها الميكانيكية عند أقصى ارتفاع هي طاقة وضع فقط:

$$PE_f = 60 \text{ J}$$

والتغيّر في طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة للكرة:

$$\begin{aligned} \Delta PE &= PE_f - PE_i \\ &= 60 - 0 \\ &= 60 \text{ J} \end{aligned}$$

جـ. أحسبُ أقصى ارتفاع تصله الكرة (h) باستعمال التغيّر في طاقة وضعها كما يأتي:

$$\begin{aligned} \Delta PE &= PE_f - PE_i \\ 60 &= mg\Delta y = mg\,(y_f - y_i) \\ 60 &= 0.3 \times 10 \times (y_f - 0) \\ y_f &= 20 \text{ m} = h \end{aligned}$$

د. لا توجد قوّة غير محافظة تبذل شغلًا على الكرة؛ لذا فإنّ التغيّر في طاقتها الحركية يساوي سالب التغيّر في طاقة وضعها الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة:

$$\Delta KE = -\Delta PE = -60 \text{ J}$$

إذ تتناقص طاقتها الحركية في أثناء ارتفاعها.

هـ. الشغل الذي تبذله قوّة الجاذبية الأرضيّة على الكرة في أثناء ارتفاعها إلى أعلى، يساوي سالب التغيّر في طاقة وضعها الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة، ويساوي التغيّر في طاقتها الحركية:

$$\begin{aligned} W_g &= \Delta KE = -\Delta PE \\ &= -60 \text{ J} \end{aligned}$$

تمرين

أستخدمُ الأرقام: في المثال السابق، إذا قُذِفت الكرة نفسها بسرعة (15 m/s) رأسيًّا إلى أعلى عن سطح الأرض فأحسب:

أ . طاقة الوضع التي اكتسبتها الكرة عند وصولها إلى أقصى ارتفاع عن سطح الأرض.

ب. سرعة الكرة لحظة عودتها إلى المستوى نفسه الذي قُذِفت منه.

أبحثُ:

تعتمد مصادر الطاقة المتجدّدة التي يُمكن استخدامها في دولة ما، على جغرافية هذه الدولة ومناخها، فما يناسب دولة معينة قد لا يناسب أخرى.

أبحثُ عن دور علم الفيزياء في تحديد مصدر الطاقة المتجدّد الأنسب لاستخدامه في منطقتي، ثم أُعدُّ عرضًا تقديميًّا، ثمّ أعرضه على طلبة الصفّ.

الربط بالحياة

يُستفاد من تحوّل طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة إلى طاقة حركية في توليد الطاقة الكهربائيّة؛ لذا أنشأت بعض الدول سدودًا في مجاري أنهارها الكبيرة، أنظرُ إلى الشكل (31). يحجز السد ماء النهر خلفه، ما يؤدّي إلى زيادة ارتفاع مستوى سطح الماء المحجوز خلفه (أي زيادة طاقة وضعه الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة). ومن ثَمَّ، يجري التحكّم في معدّل تدفّق الماء المحجوز خلف السد عن طريق ممرّات خاصّة، بحيث يدير الماء المتدفّق مراوح خاصّة (توربينات) متّصلة بمولّدات كهربائيّة، ما يؤدّي إلى الحصول على الطاقة الكهربائيّة، التي تُسمّى الطاقة الكهرومائية Hydroelectric Power.

الشكل (31): يختزن الماء المحجوز خلف سد طاقة وضع تتحوّل إلى طاقة حركية، تُدير توربينات متّصلة بمولّدات كهربائيّة مولّدة طاقة كهربائيّة.

الطاقة الميكانيكية في الأنظمة غير المحافظة
Mechanical Energy in Nonconservative Systems

لتحريك كتاب على سطح أُفقي خشن، يجب التأثير فيه بقوّة باستمرار؛ للمحافظة على حركته؛ إذ تحوّل قوّة الاحتكاك الحركي بين سطح الكتاب وسطح الطاولة جزءًا كبيرًا من الطاقة الحركية للكتاب إلى طاقة داخلية على هيئة طاقة حرارية ترفع درجة حرارة السطحين المتلامسين؛ لذا يجب بذل شغل على الكتاب؛ تعويضًا للطاقة الميكانيكية المتحولة إلى طاقة داخلية بسبب قوّة الاحتكاك.

عند تأثير قوّة غير محافظة في جسم وبذلها شغلًا عليه، فإنّ طاقته الميكانيكية تصبح غير محفوظة، ويُعبَّر عن شغل القوى غير المحافظة بالعلاقة الآتية:

$$W_{nc} = \Delta ME$$

حيث (W_{nc}) الشغل التي تبذله القوى غير المحافظة الذي يساوي التغير في الطاقة الميكانيكية للجسم.

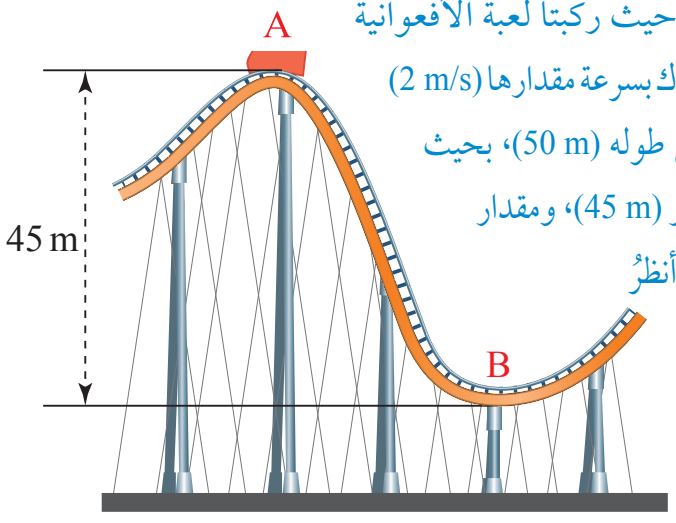
أُفكّر: إذا بذلت قوة شغلًا موجبًا على جسم ولم تتغيّر طاقته الحركية، وكذلك لم تتغيّر طاقة وضعه، فما الذي أستنتجه عن النظام الموجود فيه الجسم؟ وماذا يحدث للشغل الذي بذلته القوة؟

✓ **أتحقّق:** للمحافظة على حركة جسم على مسار خشن، يجب التأثير فيه بقوّة باستمرار. لماذا؟

المثال 9

ذهبت حلا وصديقتها سُرى إلى مدينة الألعاب، حيث ركبتا لعبة الأُفعوانية (Roller - coaster). وعندما كانت عربة الأُفعوانية تتحرّك بسرعة مقدارها (2 m/s) عند الموقع (A)، هبطت فجأة عبر مسار منحدر خشن طوله (50 m)، بحيث كان التغيّر في الارتفاع الرأسي عبر هذا المسار المنحدر (45 m)، ومقدار سرعة العربة (24 m/s) عند نهاية المسار (الموقع B)، أنظرُ إلى الشكل (32). إذا علمتُ أنّ كتلة عربة الأُفعوانية مع ركّابها (3×10^2 kg)، واعتبار أن تسارع السقوط الحر ($10\ m/s^2$)، فأحسبُ مقدار ما يأتي عند حركة عربة الأُفعوانية من الموقع (A) إلى (B):

أ. التغيّر في طاقة وضعها الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة.



الشكلُ (32): حركة عربة الأُفعوانية عبر مسار منحدر خشن.

ب. التغيّر في طاقتها الحركية.

جـ. التغيّر في طاقتها الميكانيكية.

د . الشغل الذي بذلته قوّة الاحتكاك الحركي على العربة في أثناء حركتها على هذا المسار.

هـ. قوّة الاحتكاك الحركي المؤثّرة في العربة في أثناء حركتها على هذا المسار.

المعطيات: $v_i = 2\ \text{m/s},\ d = 50\ \text{m},\ \Delta y = 45\ \text{m},\ v_f = 24\ \text{m/s},\ m = 3 \times 10^2\ \text{kg},\ g = 10\ \text{m/s}^2$.

المطلوب: $\Delta PE = ?,\ \Delta KE = ?,\ \Delta ME = ?,\ W_f = ?,\ f_k = ?$.

الحلّ:

أختار أدنى مستوًى لحركة الأُفعوانية –وهو الموقع (B)– مستوى إسناد لطاقة الوضع.

تـؤثّر في الأُفعوانيـة قـوّة غير محافظة (قـوّة الاحتكاك الحركـي)؛ لذا الطاقـة الميكانيكية غيـر محفوظة.

أ . أحسبُ التغيّر في طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة لعربة الأُفعوانية، مُفترِضًا أنّ موقعها عند (A) الموقع الابتدائي(y_i)، وموقعها عند (B) الموقع النهائي (y_f) كما يأتي:

$$\Delta PE = PE_f - PE_i$$

$$= mg\,(y_f - y_i) = 3 \times 10^2 \times 10 \times (0 - 45)$$

$$= -1.35 \times 10^5\ \text{J}$$

تُشير الإشارة السالبة إلى حدوث نقصان في طاقة الوضع.

ب. أحسبُ التغيّر في الطاقة الحركية لعربة الأُفعوانية كما يأتي:

$$\Delta KE = KE_f - KE_i$$

$$= \frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2 = \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2)$$

$$= \frac{1}{2} \times 3 \times 10^2 \times [(24)^2 - (2)^2]$$

$$= 8.58 \times 10^4\ \text{J}$$

التغيّر في الطاقة الحركية موجب، إذ تزداد الطاقة الحركية للعربة في أثناء هبوطها إلى أسفل المنحدر.

جـ. أحسبُ التغيّر في الطاقة الميكانيكية كما يأتي:

$$\Delta ME = \Delta KE + \Delta PE$$

$$= 8.58 \times 10^4 + (-1.35 \times 10^5)$$

$$= -4.92 \times 10^4\ \text{J}$$

أُلاحظ أنّ الطاقة الميكانيكية غير محفوظة؛ لوجود قوّة الاحتكاك.

د. أستعملُ العلاقة الآتية لحساب شغل قوّة الاحتكاك الحركي وهي قوّة غير محافظة:

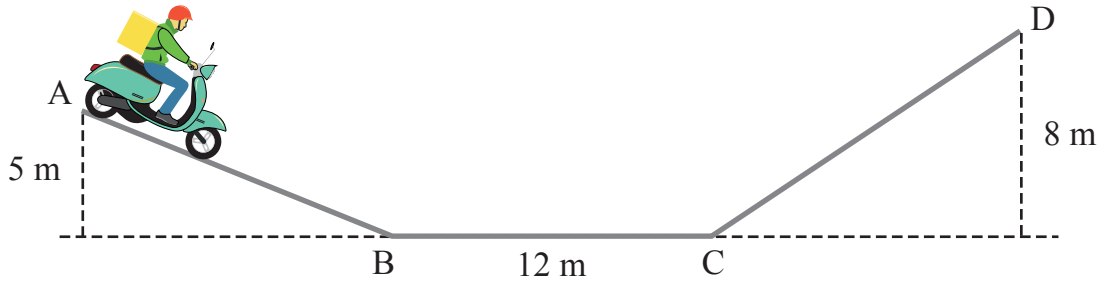
$$W_f = \Delta ME$$
$$= -4.92 \times 10^4 \text{ J}$$

هـ. أحسبُ مقدار قوّة الاحتكاك الحركي كما يأتي:

$$W_f = \Delta ME = -f_k\, d$$
$$-4.92 \times 10^4 = -f_k \times 50$$
$$f_k = 9.84 \times 10^2 \text{ N}$$

المثال 10

يقود موزع بضاعة دراجته الكهربائية على ممر يبين الشكل (33) جزءا منه، كتلته مع الدراجة (120 kg)، يمر بالنقطة (A) بسرعة (5 m/s)، ويواصل حركته دون تشغيل المحرك حتى يصل النقطة (B)، ثم يشغل المحرك بقوة (200 N) بين النقطتين (B, C) فقط. بإهمال قوى الاحتكاك، علمًا أن ($g = 10$ m/s^2). أحسب سرعة الدراجة عند مرورها بالنقطة (D).



الشكل (33): حركة دراجة كهربائية على ممر متغير الارتفاع.

المعطيات: $m = 120$ kg, $v_A = 5$ m/s, $F = 200$ N, $h_A = 5$m, $h_D = 8$ m, BC = 12 m

المطلوب: $v_D = ?$

الحلّ:

تشغيل المحرك لمسافة محددة، عمل على تغيير مقدار الطاقة الميكانيكية للنظام، بإضافة شغل موجب إليها؛ لذا فإن:

$$W_{nc} = \Delta ME$$

$$W_{motor} = ME_D - ME_A \rightarrow ME_D = ME_A + W_{motor}$$

$$\frac{1}{2}mv_D^2 + mgh_D = \frac{1}{2}mv_A^2 + mgh_A + Fd\cos\theta$$

$$\frac{1}{2} \times 120 \times v_D^2 + 120 \times 10 \times 8 = \frac{1}{2} \times 120 \times 25 + 120 \times 10 \times 5 + 200 \times 12$$

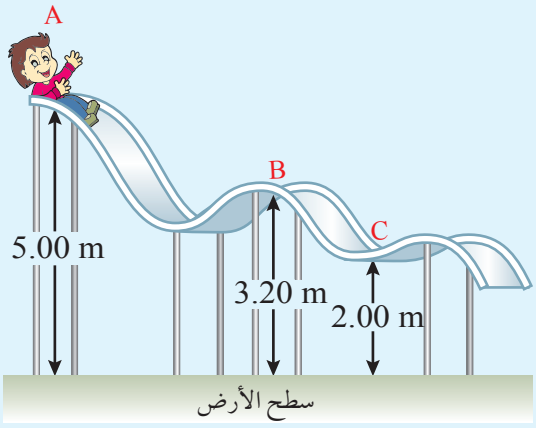
$$60 \times v_D^2 + 9600 = 1500 + 6000 + 2400$$

$$v_D^2 = 5 \quad \rightarrow \quad v_D = 2.24 \text{ m/s}$$

تمرين

1. **أتوقع:** في المثال (10)، هل سيتمكن الموزع من الوصول إلى النقطة (D)، في حال اعتماده على القوة المحافظة للجاذبية الأرضية فقط، وعدم تشغيله المحرك الكهربائي للدراجة؟ أفسر إجابتي.

2. **أستخدمُ الأرقام:** ينزلق طفل بدءًا من السكون من الموقع (A) عن قمّة منحدر أملس كما هو موضّح في الشكل (34). إذا علمتُ أنّ كتلة الطفل (25 kg)، وتسارع السقوط الحر ($10\ m/s^2$)، فأحسب مقدار ما يأتي:



الشكل (34): طفل ينزلق على منحدر أملس.

أ . سرعة الطفل عند الموقع (B).

ب. الطاقة الحركية للطفل عند الموقع (C).

جـ. شغل قـوّة الجاذبية الأرضيّـة المبذول على الطفل في أثناء انزلاقه من الموقـع (A) إلى الموقع (C).

مراجعة الدرس

* أينما يلزم يكون تسارع السقوط الحر ($g = 10\ m/s^2$)، ما لم يُذكر غير ذلك.

1. **الفكرة الرئيسة:** ما المقصود بكل من القوة المحافظة والقوة غير الحافظة؟ وبِمَ تمتاز إحداهما عن الأخرى؟

2. **أستنتج:** في أيّ الحالات الآتية يبقى مقدار الطاقة الميكانيكية ثابتًا؟ وفي أي منها يتغير؟

   أ . حركة كتلة متصلة بنابض أفقيًّا على سطح أملس.

   ب. استخدام الفرامل في إيقاف الدراجة الهوائية المتحركة.

   جـ. حركة الهبوط بالمظلة بعد فتح المظلة.

3. **أقارن:** متى يتساوى النقصان في الطاقة الحركية لجسم مع الزيادة في طاقة وضعه؟ ومتى لا يتساوى التغيران؟

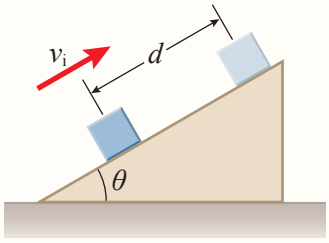
4. **أستخدمُ الأرقام:** سقطت كرة كتلتها (0.2 kg) من السكون من ارتفاع (6 m) عن سطح الأرض، وعلى ارتفاع (1 m) عن سطح الأرض دخلت حوضًا مملوءًا بالماء، فوصلت إلى سطح الأرض بسرعة نهائية مقدارها (5 m/s). أحسب كلًّا من:

   أ . الطاقة الحركية للكرة عند سطح الماء.

   ب. الطاقة الميكانيكية للكرة المتحولة إلى طاقة داخلية خلال حركتها في الماء.

   جـ. القوة المعيقة لحركة الكرة خلال حركتها بالماء.

5. **أستخدمُ الأرقام:** صندوق كتلته (5 kg) يتحرك على مستوى مائل نحو أعلاه بسرعة ابتدائية (8 m/s). توقف الصندوق عن الحركة بعد أن قطع مسافة ($d = 3\ m$) على طول المستوى المائل، الذي يميل عن الأفق بزاوية (30°). أحسب كلًّا من:

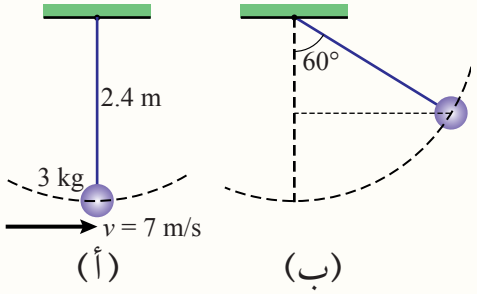


   أ . التغير في الطاقة الحركية للصندوق.

   ب. التغير في طاقة الوضع لنظام (الأرض – الصندوق).

   جـ. قوة الاحتكاك المؤثرة في الصندوق (بافتراض أنها ثابتة).

6. **التفكير الناقد:** ربط نبيل كرة بحبل، ثم ثبت طرفه الآخر في سقف الغرفة، ودفع الكرة بقوة نحو اليمين فانطلقت بسرعة ابتدائية أفقية كما في الشكل (أ).
أحسبُ مقدار سرعة الكرة عندما تصبح الزاوية بين الحبل والخط العمودي على الأفق (60°) كما في الشكل (ب)، مُستعينًا بالبيانات المثبتة في الشكل.



طاقة الرياح Wind Power

في سياق التوجيهات الملكية السامية للحكومات المتعاقبة بتبنّي مشاريع الطاقة البديلة، لتخفيف حجم الفاتورة النفطية، بُنِيت مشاريع عدّة لتوليد الطاقة الكهربائيّة. وتوضّح صورة بداية الوحدة إحدى مزارع الرياح في الأردن لتوليد الطاقة الكهربائيّة.

تولّد توربينات (مراوح) الرياح طاقة كهربائيّة عن طريق تحويل الطاقة الحركية للرياح إلى طاقة كهربائيّة باستعمال مولّدات كهربائيّة، فمثلًا، مزرعة رياح الطفيلة تولّد طاقة كهربائيّة بمعدل (117 MW) تقريبًا. كيف أحسبُ الطاقة التي تولّدها توربينات الرياح؟

إذا كان طول إحدى شفرات التوربين (l)، فإنّها تمسح عند دورانها دائرة نصف قطرها (l)، ومساحتها ($A = \pi l^2$)، وعندما تهبّ الرياح عموديًّا على شفرات التوربين، يكون حجم الهواء المار عبر المستوى الذي تُشكّله هذه الشفرات مساويًا لحجم أسطوانة، مساحة مقطعها العرضي يساوي مساحة المنطقة التي تمسحها الشفرات ($A = \pi l^2$). وبافتراض سرعة الرياح (v) تساوي طول أسطوانة الهواء في الثانية الواحدة؛ إذ المسافة التي تتحرّك فيها جزيئات الهواء في الثانية الواحدة تساوي سرعة الرياح (m/s)؛ فإنّ حجم الهواء (V) الذي يمرّ عبر المستوى الذي تُشكّله شفرات التوربين في الثانية الواحدة يساوي ($V = Av$). يُحسَب مقدار الطاقة الحركية للرياح التي تمرّ عبر هذا التوربين كل ثانية كما يأتي:

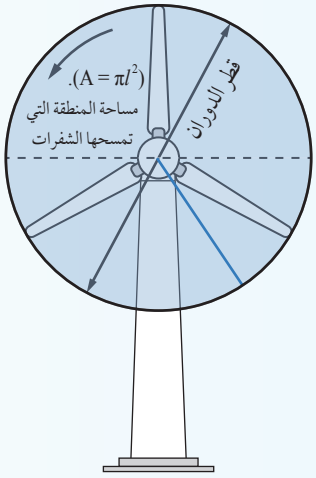
$$KE = \frac{1}{2} mv^2$$

$$= \frac{1}{2} (\rho V)v^2 = \frac{1}{2} \rho (Av)v^2 = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

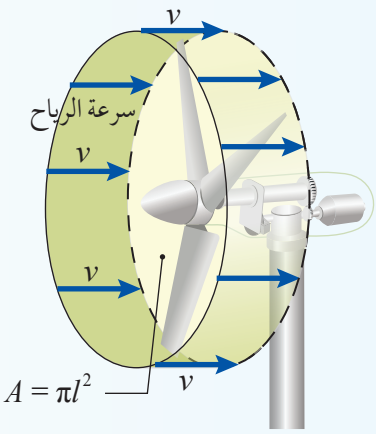
حيث ρ كثافة الهواء. ولا تُحوّل كامل الطاقة الحركية للرياح إلى طاقة كهربائيّة؛ إذ يُفقَد جزء من طاقتها الحركية على هيئة حرارة وصوت وشغل للتغلّب على قوى الاحتكاك في التوربين، وغيرها، ويُعبَّر عن مقدار الطاقة الناتجة من التوربين نسبة إلى الطاقة الداخلة إليه بمصطلح الكفاءة، وتتراوح كفاءة هذه التوربينات في تحويل الطاقة بين 40% و 50% تقريبًا.

أبحث أبحثُ بالاستعانة بمصادر المعرفة المناسبة، عن مزرعة رياح في منطقتي أو المناطق المجاورة، ثمّ أُعدّ وأفراد مجموعتي تقريرًا مدعّمًا بالصور عن مزاياها وسلبياتها إن وجِدت، وطول شفرات توربيناتها، ثمّ أحسبُ مقدار الطاقة الحركية للرياح التي تمر عبر أحد توربيناتها كلّ ثانية، والطاقة الكهربائيّة الناتجة في الثانية الواحدة، باستعمال كثافة الهواء عند مستوى سطح البحر ($\rho = 1.2\ kg/m^3$)، وسرعة الرياح (20 m/s)، وافتراض كفاءة التوربين (50%). وأبحثُ عن مصادر الطاقة المتجدّدة التي يُمكن استخدامها في منطقتي.

مزرعة رياح



تمسح شفرة المروحة عند دورانها دائرة نصف قطرها (l)، ومساحتها ($A = \pi l^2$).



حجم الهواء المار عبر المستوى الذي تُشكّله شفرات التوربين يساوي حجم أسطوانة مساحة مقطعها العرضي (A)، وطولها في الثانية الواحدة يساوي سرعة الرياح (v).

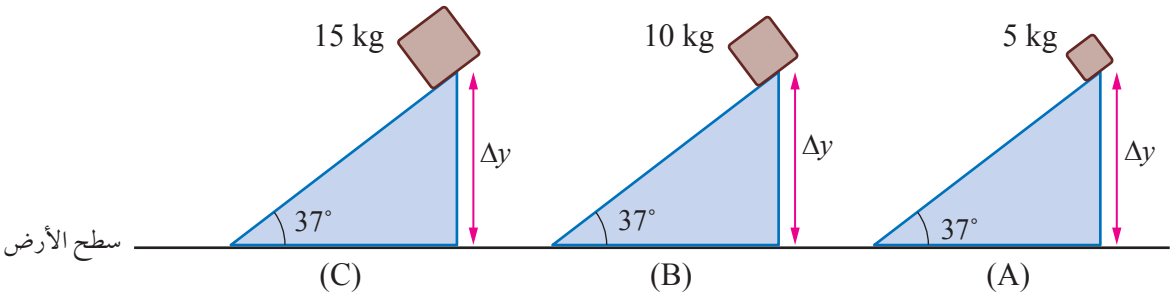
* أينما يلزم يكون تسارع السقوط الحر ($g = 10\ m/s^2$)، ما لم يُذكر غير ذلك.

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكلّ ممّا يأتي:

1. يعرف الشغل الذي تبذله قوّة مقدارها (1 N) عندما تؤثّر في جسم وتُحرّكه إزاحة مقدارها (1 m) في اتّجاهها:

أ . النيوتن (N). ب . الجول (J). جـ . الواط (W). د . الحصان (hp).

* توضّح الأشكال الثلاثة الآتية، انزلاق 3 صناديق مختلفة الكتل من السكون، من الارتفاع نفسه على مستويات مائلة ملساء لها الميل نفسه. أستعينُ بهذه الأشكال للإجابة عن الأسئلة (2 – 5):



2. الصندوق الذي له أكبر طاقة وضع ناشئة عن الجاذبية، هو:

أ . A. ب. B. جـ . C. د . الصناديق متساوية في طاقة الوضع.

3. الترتيب الصحيح للطاقة الحركية للصناديق الثلاثة لحظة وصولها إلى سطح الأرض، هو:

أ. $KE_A > KE_B > KE_C$ ب . $KE_C > KE_B > KE_A$

جـ . $KE_B > KE_A > KE_C$ د . $KE_A = KE_B = KE_C$.

4. الصندوق الذي له أكبر سرعة لحظة وصوله إلى سطح الأرض، هو:

أ . A. ب. B. جـ. C. د. سرعاتها جميعها متساوية.

5. الصندوق الذي يصل إلى سطح الأرض أولًا، هو:

أ . A. ب. B. جـ. C. د . تصل جميعها في اللحظة نفسها.

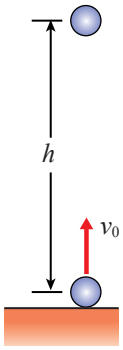
6. تكون الطاقة الميكانيكية لجسم يسقط سقوطًا حرًّا عند إهمال مقاومة الهواء:

أ . متزايدة. ب. متناقصة. جـ. ثابتة. د. صفرًا.

7. إذا كان شغل قوّة مؤثّرة في جسم بين موقعين يعتمد على موقعه النهائي وموقعه الابتدائي، ولا يعتمد على المسار الفعلي للحركة، فإنّ هذه القوّة توصف بأنّها قوّة:

أ . احتكاك. ب. محافظة. جـ. غير محافظة. د. شدّ.

8. قُذِفت كرة من سطح الأرض رأسيًّا إلى الأعلى بسرعة ابتدائية (v_0) كما يبين الشكل المجاور، فوصلت إلى أقصى ارتفاع (h). عند أي ارتفاع عن سطح الأرض تكون سرعة الكرة نصف سرعتها الابتدائية؟



أ . $\frac{1}{8}h$ ب. $\frac{1}{4}h$

جـ. $\frac{1}{2}h$ د. $\frac{3}{4}h$

9. يركض محمد بسرعة مقدارها (3 m/s). إذا ضاعف مقدار سرعته مرّتين، فإنّ طاقته الحركية:

أ . تتضاعف مرّتين. ب . تتضاعف 4 مرّات.

جـ . تقلّ بمقدار النصف. د . تقلّ بمقدار الربع.

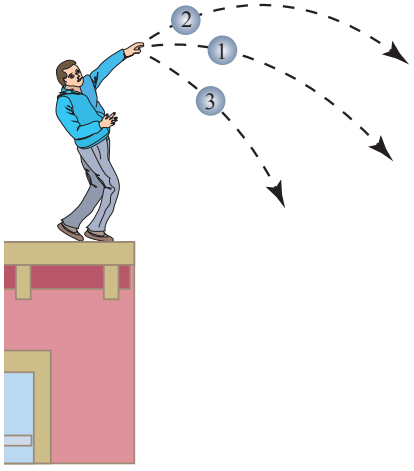
10. إذا كان الشغل الكلّي المبذول على جسم يساوي صفرًا، فهذا يعني أنّ الجسم:

أ . ساكن أو متحرّك بسرعة ثابتة. ب . ساكن أو متحرّك بتسارع ثابت.

جـ. ساكن أو يتحرّك إلى أسفل بتسارع. د . ساكن أو يتحرّك إلى أعلى بتسارع.

2. **أستنتجُ:** هل يُمكن لطاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية أن تكون سالبة. أوضح إجابتي.

3. **التفكير الناقد:** يرمي خالد 3 كرات متماثلة من أعلى بناية. إذا رمى الكرات الثلاث بمقدار السرعة الابتدائية نفسه، باتجاهات مختلفة فاتبعت المسارات الموضّحة في الشكل المجاور. أرتّب الكرات الثلاث بحسب مقادير سرعاتها لحظة وصولها إلى سطح الأرض بإهمال مقاومة الهواء. أُبرر إجابتي.



4. **التفكير الناقد:** تحتوي بعض أقلام الحبر نابضًا داخلها، وعند ضغط زرّ نهاية القلم يخرج رأس الكتابة. إذا أمسكت بقلم كتلته (m) في وضع عمودي ورأسه نحو الأعلى، ثمّ ضغطته على الطاولة، لينضغط الزر، ثم حررت القلم فجأة، سيقفز القلم للأعلى. أجيب عما يأتي:

أ. ما السبب الذي جعل القلم يقفز للأعلى؟

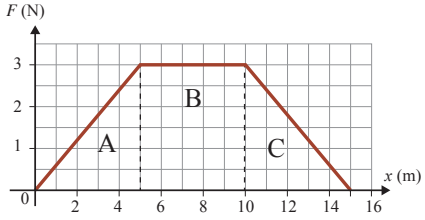
ب أكتب علاقة رياضية لحساب أقصى ارتفاع يصل إليه القلم بدلالة ثابت النابض (k) والتغير في طوله (x).

5. **أستخدمُ البيانات:** أثّرت قوّة محصّلة متغيّرة في جسم كتلته (10 kg)، فحرّكته من السكون إزاحة أفقية مقدارها (15 m) كما هو موضّح في الشكل المجاور. أحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . الشغل الذي بذلته القوّة المحصّلة خلال (5 m) الأولى من بداية حركة الجسم.

ب . سرعة الجسم في نهاية الإزاحة (10 m).

جـ . الشغل الذي بذلته القوّة المحصّلة خلال الإزاحة كاملة (الشغل الكلّي).



منحنى (القوّة - الإزاحة) لقوّة محصلة متغيّرة تؤثّر في جسم.

6. **أستخدمُ الأرقام:** سيّارة كتلتها (8×10^2 kg) تصعد تلة بسرعة ثابتة مقدارها (25 m/s)، وتؤثّر فيها قوى احتكاك مقدارها (5×10^2 N). إذا كانت زاوية ميل التلة عن الأُفقي (15°)؛ فأحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . القوّة التي يؤثّر بها محرّك السيارة.

ب . قدرة المحرّك اللازمة لكي تصعد السيارة التلة بهذه السرعة.

7. **أستخدمُ الأرقام:** يُريد عبد الرحمن رفع صندوق كتلته (100 kg) إلى ارتفاع (1 m) عن سطح الأرض، فاستخدم مستوًى مائلًا طوله (2 m)، ودفع الصندوق إلى أعلى المستوى المائل بقوّة موازية للمستوى بسرعة ثابتة. إذا كان مقدار قوّة الاحتكاك الحركي المؤثّرة في الصندوق (100 N)، فأحسبُ مقدار الشغل الذي:

أ . بذلته قوّة الاحتكاك على الصندوق.

ب . بذله عبد الرحمن على الصندوق.

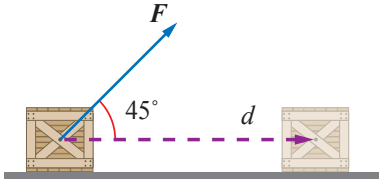
جـ . بذلته قوّة الجاذبية الأرضيّة على الصندوق.

8. **أستخدمُ الأرقام:** تسحب ناديا صندوقًا كتلته (50 kg) على سطح أفقي خشن بحبل يميل عن الأفقي بزاوية (45°) إزاحة مقدارها (15 m) كما هو موضّح في الشكل المجاور. إذا علمتُ أنّ مقدار قوّة الشدّ في الحبل (200 N)، واكتسب الصندوق تسارعًا مقداره (0.3 m/s^2)، فأحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . الشغل الذي بذلته ناديا على الصندوق.

ب . التغيّر في الطاقة الحركية للصندوق.

جـ . الشغل الذي بذلته قوّة الاحتكاك الحركي على الصندوق.



سحب صندوق على سطح أُفقي خشن.

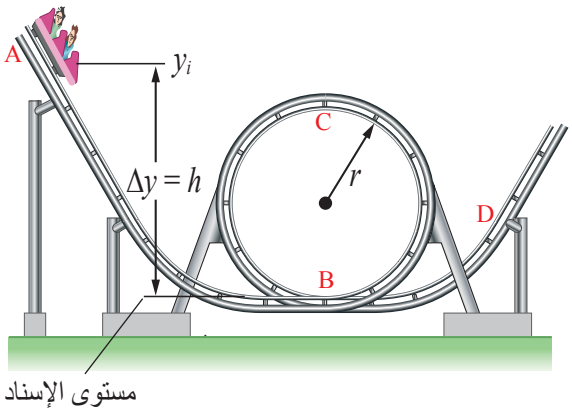
9. **أستنتجُ:** مصعد كتلته مع حمولته (2×10^3 kg)، يُرفع بمحرّك من سطح الأرض إلى ارتفاع (60 m) عن سطحها بسرعة ثابتة مقدارها (1 m/s). وتؤثّر فيه في أثناء حركته إلى أعلى قوّة احتكاك حركي ثابتة مقدارها (2×10^3 N)، أحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . قدرة المحرك.

ب . شغل قوّة الاحتكاك الحركي.

جـ . التغيّر في الطاقة الميكانيكية للمصعد.

10. **أستخدمُ الأرقام:** يوضّح الشكل المجاور أُفعوانية كتلة عربتها (2×10^2 kg) تتحرّك من السكون من تل ارتفاعه (60 m) (الموقع A) إلى أسفل التلّ على مسار مهمل الاحتكاك، وتمرّ في أثناء ذلك بمسار دائري رأسي عند الموقع (B) على شكل حلقة نصف قطرها (20 m) وتُكمل مسارها مارّة بالموقع (D). أستعينُ بالشكل المجاور على حساب مقدار ما يأتي:



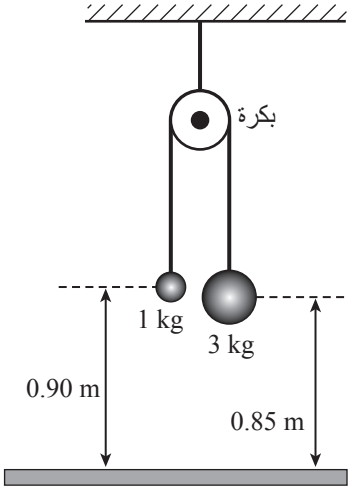
أ . سرعة عربة الأُفعوانية عند الموقع (B).

ب . سرعة عربة الأُفعوانية عند الموقع (C).

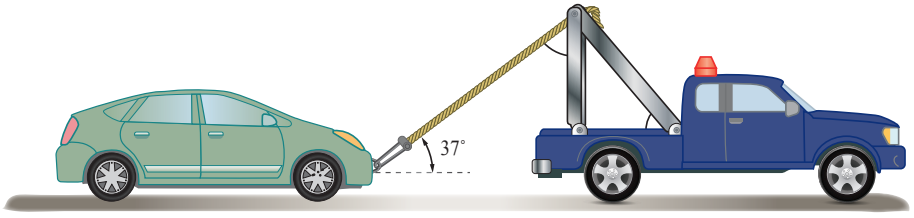
جـ . الشغل الكلّي المبذول على العربة في أثناء حركتها من الموقع (B) إلى الموقع (C).

د . الطاقة الميكانيكية لعربة الأُفعوانية عند الموقع (D).

11. **التفكير الناقد:** نظام يتكون من كتلتين معلقتين بخيط يلتف حول بكرة، بدأ النظام حركته من السكون عندما كانت الكتلة الصغيرة ملامسة لسطح الأرض، وفي اللحظة التي يبينها الشكل المجاور، كانت سرعة الكتلة الكبيرة (3 m/s). هل النظام محافظ؟ أبرر إجابتي حسابيًّا.



12. **أستخدمُ الأرقام:** تسحب رافعة سيّارة من السكون على طريق أُفقي بقوّة شدّ مقدارها (2×10^3 N) بحبل يميل عن الأفقي بزاوية (37°) إزاحة مقدارها (5×10^2 m)، أنظرُ إلى الشكل أدناه. إذا علمتُ أنّ مقدار قوّة الاحتكاك الحركي المؤثّرة في السيارة (6×10^2 N)، والحبل مهمل الكتلة وغير قابل للاستطالة، أجيب عما يأتي:



رافعة تسحب سيارة على طريق أُفقي خشن.

أ . أحسب التغير في الطاقة الميكانيكية للسيارة.

ب. **أطرح سؤالًا** تكون إجابته: "لا؛ لأن السيارة لم تتحرك بسرعة ثابتة".

الوحدة 2

الديناميكا الحرارية

Thermodynamics

أتأمّل الصورة

الحرارة ودرجة الحرارة والطاقة

يظهر الماء في الصورة في حالاته الفيزيائية الثلاث: الصلبة على هيئة ثلج، والسائلة في مياه البحيرة، والغازية على هيئة بخار الماء. فعندما تكتسب المادّة طاقة أو تفقدها تتغيّر طاقتها الداخلية ما قد يغير درجة حرارتها أو حالتها الفيزيائية كما يظهر في هذه الصورة. ما المقصود بالطاقة الداخلية؟

الفكرة العامّة:

لعمليات تبادل الطاقة بين الأجسام تأثير كبير في كلّ ما يجري حولنا، وفي عمل كثير من الأجهزة التي نستخدمها في حياتنا اليومية.

الدرس الأول: تبادل الطاقة الحرارية

الفكرة الرئيسة: تنتقل الطاقة الحرارية بين الأجسام عند اتصالها حراريًّا نتيجة اختلاف درجات حرارتها، ويكون انتقالها على هيئة حرارة. وتعد درجة الحرارة والطاقة الداخلية للنظام الحراري مفهومين أساسيين في دراسة الديناميكا الحرارية، ولكل منها معنًى مختلف. ولفهمهما أهمية كبيرة عند تنفيذنا الأنشطة اليومية.

الدرس الثاني: حالات المادة

الفكرة الرئيسة: تتغير الحالة الفيزيائية للمادة عند اكتسابها أوفقدها مقدارًا محددًا من الطاقة، ويتضمن التغير في حالة المادة تغيرًا في الطاقة الكامنة للمادة دون حدوث تغير في درجة حرارتها.

الدرس الثالث: التمدّد الحراري

الفكرة الرئيسة: يؤدي التمدد (أو التقلص) الحراري إلى تغيّر في أبعاد المادة. وللتمدد تطبيقات كثيرة، وقد يؤدي إهماله إلى حدوث أضرار كبيرة.

تجربة استهلالية

تأثير كتلة الجسم في تغيّر درجة حرارته

الموادّ والأدوات: كوبان بلاستيكيان مع غطاء، برادة حديد (200 g)، مقياسا درجة حرارة، ميزان إلكتروني، شريط لاصق، مياه ساخنة (200 mL)، مخبار زجاجي، مناشف ورقية.

إرشادات السلامة: تجنّب سكب الماء على أرضية المختبر، وتجنّب الانزلاق نتيجة انسكاب الماء عليها.

أصوغ فرضيتي: حول العلاقة بين كمية الماء الساخن والتغير في درجة حرارة المخلوط الحراري.

أختبر فرضيتي:

أُنفّذ الخطوات الآتية بالتعاون مع أفراد مجموعتي:

1. أضع أحد الكوبين داخل الآخر، وأُثبّتهما معًا بالشريط اللاصق، ثم أثقب غطاء الكوب من منتصفه بالمثقب، على أنْ يدخل مقياس درجة الحرارة عبره.
2. **أقيس:** أضع (200 g) من برادة الحديد في الكوب الداخلي وأُغلقه بغطائه بإحكام، ثم أُدخل مقياس درجة الحرارة عبر ثقب الغطاء حتّى يلامس مستودعه برادة الحديد، وأثبته بالشريط اللاصق، ثمّ أقيس درجة حرارة برادة الحديد وأُدوّنها.
3. **أقيس:** أسكبُ (100 mL) من الماء الساخن في المخبار، ثمّ أقيس درجة حرارته وأُدوّنها.
4. **أُلاحظ:** أُزيل غطاء الكوب ومقياس درجة الحرارة المثبّتين معًا، ثمّ أسكبُ بحذر الماء الساخن في الكوب، ثمّ أغلقه بغطائه بسرعة. أُلاحظ ما يحدث لقراءة مقياس درجة الحرارة، وعندما تثبت قراءته أُدوّنها.
5. **أضبط المتغيرات:** أُكرّر الخطوات (4–2) بزيادة كمّية الماء الساخن، مع تثبيت كمية برادة الحديد ودرجة حرارتها الابتدائية. وأُدوّن النتائج في جدول بيانات.

التحليل والاستنتاج:

1. **أُفسّر:** لماذا استخدمت كوبين بلاستيكيين ولم أستخدم كوبًا واحدًا؟ أُفسّر إجابتي.
2. **أُفسّر:** ما الذي تُمثّله قراءة مقياس درجة الحرارة في الخطوة 4؟
3. **أُقارن** بين درجتَي حرارة الماء الساخن وبرادة الحديد قبل خلطهما معًا وبعده. وأفسر أي اختلافات.
4. **أستنتجُ** تأثير زيادة كمية الماء الساخن في تغيّر درجة حرارة المخلوط.
5. **أصدر حكمًا** عمّا إذا كانت النتائج قد توافقت مع فرضيتي أم لا.
6. **أتوقّع** كيف تؤثّر مضاعفة كتلة برادة الحديد المستخدمة في درجة حرارة المخلوط النهائية. أُبرّر توقّعي.

الفكرة الرئيسة:

تنتقل الطاقة الحرارية بين الأجسام عند اتصالها حراريًّا نتيجة اختلاف درجات حرارتها، وتعد درجة الحرارة والطاقة الداخلية لأي نظام حراري مفهومين أساسيين في دراسة الديناميكا الحرارية، ولكل منها معنًى مختلف. ولفهمهما أهمية كبيرة عند تنفيذنا الأنشطة اليومية.

نتاجات التعلّم:

- أُفرّق بين المفاهيم الآتية: الحرارة، ودرجة الحرارة، والطاقة الحرارية، والطاقة الداخلية.
- أُعرّف المفاهيم الآتية: السَّعَة الحرارية النوعية، والاتزان الحراري.
- أصف تأثير انتقال الطاقة من الجسم وإليه في تغيّر درجة حرارته.
- أُطبّق بحل مسائل على كمية الحرارة المفقودة والمكتسبة، وإيجاد السَّعَة الحرارية النوعية لمادة.

المفاهيم والمصطلحات:

الطاقة الحرارية	Thermal Energy
الحرارة	Heat
اتّزان حراري	Thermal Equilibrium
السَّعَة الحرارية النوعية	Specific Heat Capacity
الطاقة الداخلية	Internal Energy
درجة الحرارة	Temperature

مفاهيم في الديناميكا الحرارية

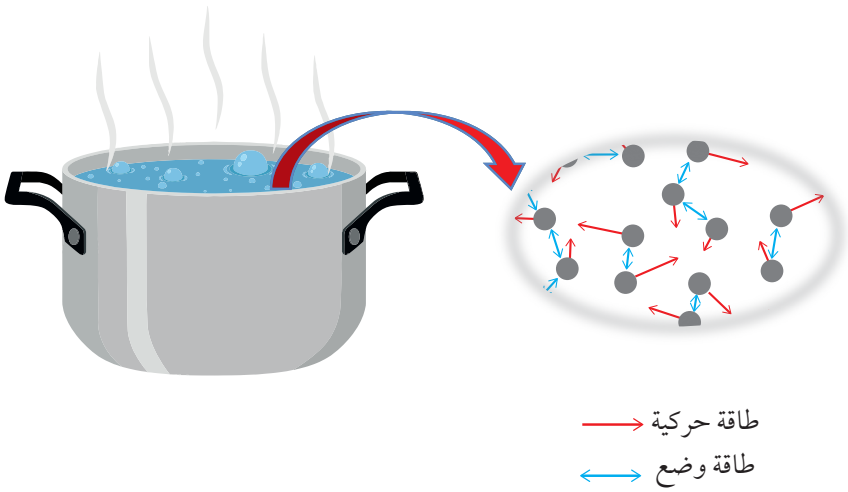
Concepts in Thermodynamics

تطور فهم الناس للحرارة مع الزمن، كان يُعتقد قديمًا أن الحرارة تشبه المائع في انسيابها داخل الأجسام والمواد. لكن الأمر اختلف تمامًا مع تطور فهم الفيزيائيين للحرارة، فوضعوا مفاهيم أساسية لا بد من فهمها، لنتمكن من وصف الظواهر الحرارية وتفسيرها، ومنها: درجة الحرارة، والطاقة الداخلية، والحرارة.

درجة الحرارة Temperature

تعجز الحواس عن تحديد التفاوت في سخونة الأجسام وبرودتها بدقة، ويقتصر استخدامها على الوصف النوعي؛ فنصف الطقس في أثناء تساقط المطر بالبرودة، ونصف الماء الذي يغلي بأنه ساخن. ألاحظ الشكل (1). لكن الوصف النوعي لا يُظهِر نتائج دقيقة؛ لذا فقد سعى العلماء إلى الانتقال من الوصف النوعي إلى الوصف الكمي لدرجة الحرارة، فجاء اختراع المقياس الزئبقي لقياس درجة الحرارة، التي

الشكل (1): نشعر بالبرودة في أثناء تساقط المطر فنصف الطقس بأنه بارد. ونلاحظ البخار المنبعث من كوب من الشاي أو القهوة فنصفها بالسخونة.



الشكل (2):
تمتلك جزيئات الماء طاقة حركية نتيجة حركتها العشوائية، وتوجد أيضًا طاقة كامنة بين جزيئات الماء، وطاقة كامنة بين الذرّات داخل الجزيئات.

ترتبط بسخونة الجسم وبرودته، ولضبط مقياس الحرارة ومعايرته، وضع العلماء معيارين، هما: درجة انصهار الجليد، ودرجة غليان الماء.

طوّر العلماء تدريجات مختلفة لقياس درجة الحرارة، من أشهرها: تدريج سلسيوس Celsius scale، وتدريج فهرنهايت Fahrenheit scale، وتدريج كلفن (المطلق) Kelvin scale. وقد درستُ ذلك بالتفصيل في صفوف سابقة.

للتوصل إلى تعريف أكثر دقة لدرجة الحرارة، سندرس ما يحدث لجُسيمات المادة على المستوى المجهري عندما تكسب طاقة أو تفقدها؛ إذ تمتلك هذه الجُسيمات طاقة حركية، وطاقة كامنة ناتجة من القوى المتبادلة بينها. أنظرُ إلى الشكل (2). فعندما يكسب جسم طاقة يزداد مقدار السرعة العشوائية لجسيماته، (الاهتزازية، الانتقالية، الدورانية)، أي تزداد طاقاتها الحركية، فترتفع درجة حرارة الجسم. إذًا، لا بدّ من وجود علاقة بين درجة حرارة الجسم والطاقة الحركية لجُسيماته؛ لذا تُعرّف **درجة الحرارة Temperature** بأنّها مقياس لمتوسّط الطاقة الحركية للجُسيمات المكوّنة لجسم ما.

أما **الطاقة الحرارية Thermal Energy** فتساوي مجموع الطاقة الحركية لجسيمات الجسم جميعها.

أُفكّر: عندما أقف حافي القدمين في الغرفة، واضعًا إحدى قدمَي على سجادة، والأُخرى على أرضية الغرفة، أحسّ بأنّ أرضية الغرفة أكثر برودة من السجادة على الرغم من أنّ لهما درجة الحرارة نفسها؟ أُناقش أفراد مجموعتي، وأستخدمُ مصادر المعرفة المُتاحة للتوصّل إلى إجابة عن السؤال.

أتحقّق: ما الفرق بين درجة الحرارة والطاقة الحرارية؟

(ب) (أ)

الشكل (3): الطاقة الحرارية للشاي في الشكل (أ) أكبر منها للشاي في الشكل (ب)، على الرغم من تساوي درجتَي حرارة الشاي في الكأسين.

يوضّح الشكل (3) كأسَي شاي متماثلتين لهما درجة الحرارة نفسها؛ لذا يكون متوسّط الطاقة الحركية للجُسيمات الموجودة في الكأسين متساويًا. ونظرًا إلى أنّ كتلة الشاي (ومن ثمّ عدد جُسيماته) في الكأس المُبيَّنة في الشكل (3/ أ) أكبر منها في الكأس المُبيَّنة في الشكل (3/ ب)؛ فإنّ الطاقة الحرارية للشاي في الشكل (3/ أ) هي الأكبر، على الرغم من أنّ لهما درجة الحرارة نفسها.

الطاقة الداخلية Internal Energy

تمتلك جُسيمات المادة طاقة حركية وطاقة كامنة. يسمى مجموع الطاقتين الحركية والكامنة لجسيمات المادة **الطاقة الداخلية Internal Energy**، أي أن الطاقة الداخلية للنظام ترتبط بمكوناته المجهرية (الذرات والجزيئات)، ورمزها U، وتقاس بوحدة الجول (J) بحسب النظام الدولي للوحدات.

تزداد الطاقة الداخلية للنظام بزيادة الطاقة الحركية لجسيماته، أي بزيادة الطاقة الحرارية له، أو بزيادة الطاقة الكامنة على هيئة روابط بين هذه الجسيمات، أو بزيادة الاثنتين معًا، فالمادة الساخنة تمتلك طاقة داخلية أكثر مما تمتلك وهي باردة، بسبب احتوائها طاقة حرارية أكثر. وتجدر الإشارة إلى أن الطاقة الداخلية للمواد الصلبة والسائلة تعتمد على كل من: درجة الحرارة، وكمية المادة، وتركيبها الكيميائي، أما في الغازات، فإن الطاقة الداخلية تعتمد على ضغط الغاز إضافة الى العوامل السابقة.

الرّبطُ بالكيمياءِ

يصف نموذج الحركة الجزيئية المواد الصلبة والسائلة والغازية، ويتكون من الفرضيات الآتية:

- تتكون المادة من جسيمات (جزيئات وذرات).
- المسافة الفاصلة بين جسيمات المادة صغيرة جدًّا في المواد الصلبة، ومتوسطة في السوائل، وكبيرة جدًّا في الغازات.
- تتحرك جسيمات المادة عشوائيًّا في الغازات، وانتقاليًّا في السوائل، واهتزازيًّا في المادة الصلبة.
- توجد بين جسيمات المادة قوًى تعمل على ترابطها، تكون كبيرة في المادة الصلبة، ومتوسطة في السائلة، وصغيرة جدًّا في الغازية.

✓ **أتحقّق:** ما المقصود بالطاقة الداخلية لنظام؟

الحرارة Heat

عندما يكون جسمان في حالة اتّصال حراري تنتقل الطاقة من الجسم الأعلى درجة حرارة إلى الجسم الأدنى درجة حرارة، وتُسمّى الطاقة المنتقلة **الحرارة Heat** ورمزها Q.

الحرارة هي انتقال الطاقة بين الأجسام أو الأنظمة، فالجسم الذي يفقد كمية من الحرارة تقل طاقته الداخلية، والجسم الذي يكتسب كمية من الحرارة، تزداد طاقته الداخلية. ويمكن زيادة الطاقة الداخلية لجسم ببذل شغل عليه، كما يحدث عند تحول الطاقة الحركية إلى طاقة حرارية بسبب الشغل الذي تبذله قوى الاحتكاك.

✓ **أتحقّق:** ما الطرائق المستخدمة في زيادة الطاقة الداخلية لنظامٍ؟

استخدم العلماء وحدات قياس مختلفة لقياس الحرارة، ومن أشهرها: السُّعْر calorie وهو كمّية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة (1 g) من الماء بمقدار (1°C)، وتستخدم هذه الوحدة عادة للدلالة على مقدار ما يحويه الغذاء من طاقة. أما وحدة قياس الحرارة بحسب النظام الدولي للوحدات، فهي الجول (J) joule، وهي نفسها وحدة قياس أشكال الطاقة الأُخرى. والعلاقة الرياضية التي تربط السُّعْر بالجول هي: $1\ cal = 4.184\ J$

السَّعَة الحرارية النوعية Specific Heat Capacity

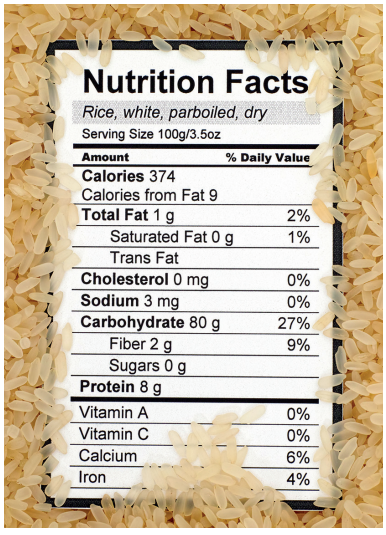
تختلف الكتل المتساوية المصنوعة من موادّ مختلفة في مقدار تغيّر درجة حرارتها، عند اكتسابها أو فقدها كمّية الطاقة نفسها، فبعضها ترتفع درجة حرارته بمقدار أقلّ من غيره على الرغم من تزويدها بكمّيات متساوية من الطاقة، يمكن تفسير ذلك بتنفيذ التجربة الآتية:

أبحثُ

تختلف السُّعْرات الحرارية التي أحصل عليها من الغذاء بحسب المادّة الغذائية التي أتناولها. أبحثُ عن كمّية السعرات الحرارية التي يُزوّدني بها (1 g) من المواد الغذائية التي أتناولها عادة. وأُعدّ عرضًا تقديميًّا، ثمّ أعرضه على طلبة الصفّ.

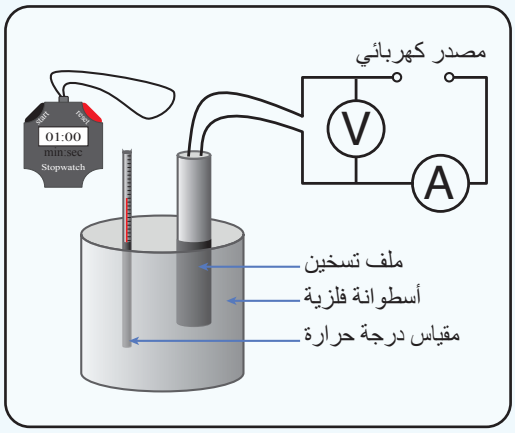
الربط بالصحة

البطاقة الغذائية: ملصق خارجي لعبوات المنتجات الغذائية يتضمن اسم المنتج وجدول معلومات مهمة مثل: الحصة اليومية وما تحتويه من سعرات حرارية. وتمكن هذه البطاقة المستهلك من فهم المحتوى الغذائي للمنتج ومقارنته بغيره.



التجربة 1

قياس السَّعَة الحرارية النوعية لمادة



المواد والأدوات: مصدر كهربائي مناسب (12 V)، ثلاث أسطوانات من فلزات مختلفة (ألمنيوم، رصاص، نحاس) مثل المبينة في الشكل المجاور، مقياس درجة حرارة، ساعة توقيت، ميزان رقمي، أسلاك توصيل، فولتميتر، أميتر، ملف تسخين.

ارشادات السلامة: ارتداء المعطف، لبس النظارات الواقية، توخّي الحذر عند رصد قراءة المقياس، تجنّب نزع مقياس الحرارة وملف التسخين من داخل الفلز وهما ساخنان.

خطوات العمل:

أنفذ الخطوات الآتية بالتعاون مع أفراد مجموعتي:

1. **أقيس** كتل الأسطوانات الثلاث ودرجات حرارتها الابتدائية، ثم أدونها.
2. أصل ملف التسخين بالمصدر الكهربائي والأميتر والفولتميتر، كما هو موضح بالشكل.
3. **أجرب:** أضع ملف التسخين ومقياس درجة الحرارة في الثقبين المخصصين لهما في أسطوانة الرصاص، ثم أشغل المصدر الكهربائي متزامنًا مع تشغيل ساعة التوقيت، ثم أدون قراءة كل من الأميتر والفولتميتر.
4. أفصل التيار الكهربائي عند ارتفاع درجة الحرارة بمقدار (10°C) متزامنًا مع إيقاف ساعة التوقيت، ثم أُدون قراءة مقياس درجة الحرارة.
5. **أضبط المتغيرات:** أكرر الخطوتين (3، 4) باستخدام الرصاص، ثم النحاس، مُراعِيًا إيقاف تشغيل المصدر عند ارتفاع درجة الحرارة بمقدار (10°C).

التحليل والإستنتاج:

1. **أستنتج:** ما العلاقة بين كمية الطاقة الحرارية Q وزمن تشغيل ملف التسخين؟
2. **أستخدم الأرقام:** أحسب مقدار الطاقة الحرارية المنقولة إلى الفلز بحسب العلاقة الآتية:

$$Q = IVt$$

3. **أستخدم الأرقام:** أحسب السَّعَة الحرارية النوعية لكل مادة باستخدام العلاقة الآتية:

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{Q}{m(T_f - T_i)}$$

4. **أُفسر:** ما سبب الاختلاف في قيم السَّعَة الحرارية النوعية لكل من الرصاص والألمنيوم والنحاس؟

أستنتجُ بعد تنفيذ التجربة السابقة أنّ نوع مادّة الجسم يؤثّر في مقدار التغيّر في درجة حرارته عند تسخينه أو تبريده؛ إذ توجد خصيصة للمادّة تعتمد على طبيعتها، وتختلف من مادّة إلى أُخرى نتيجة اختلاف كيفية حركة ذرّاتها وجزيئاتها على المستوى المجهري، واختلاف عدد ذرّاتها أو جزيئاتها في وحدة الكتل، إضافة إلى اختلافها في مقدرتها على توصيل الطاقة بحسب تراصّ الذرّات وترابطها، وتُسمّى هذه الخصيصة **السَّعَة الحرارية النوعية** **Specific heat capacity (*c*)** وتُعرّف بأنّها كمّية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة (1 kg) من المادّة بمقدار (1 K)، وتُقاس بوحدة (J/kg.K) بحسب النظام الدولي للوحدات. وهي تعتمد على نوع مادّة الجسم فقط؛ فهي تختلف من مادّة إلى أُخرى، ولا تعتمد على كتلة الجسم أو حجمه.

بالإضافة إلى تأثير نوع مادّة الجسم (السَّعَة الحرارية النوعية) في مقدار التغيّر في درجة حرارته، فإنّ لكلّ من كتلته وكمّية الطاقة التي يُزوّد بها تأثير أيضًا في مقدار هذا التغيّر. وبربط هذه المتغيرات معًا يمكن تعريف السَّعَة الحرارية النوعية رياضيًّا على النحو الآتي:

إذا زوّد جسم كتلته (m) بطاقة مقدارها (Q)، وتغيّرت درجة حرارته بمقدار (ΔT)، فإنّه يمكن التعبير عن السَّعَة الحرارية النوعية لمادّة الجسم رياضيًّا بالعلاقة الآتية:

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

يمكن استخدام هذه العلاقة في حساب كمّية الطاقة التي يكتسبها جسم أو يفقدها عند تغيّر درجة حرارته – التي تساوي التغيّر في طاقته الحرارية (ΔE)– على النحو الآتي:

$$Q = mc\,\Delta T = mc\,(T_f - T_i)$$

أُلاحظ أنّه إذا اكتسب الجسم طاقة، فإنّ كلًّا من (Q) و (ΔT) تكونان موجبتين. أمّا إذا فقد الجسم طاقة، فإنّ كلًّا من (Q) و (ΔT) تكونان سالبتين. ويمكن حساب التغيّر في درجة الحرارة بوحدة سلسيوس أو كلفن؛ إذ إنّ الفرق بين تدريجين متتاليين في مقياس سلسيوس يساوي عدديًّا الفرق بين تدريجين متتاليين في مقياس كلفن، ويوضّح الجدول (1) السَّعَة الحرارية النوعية لبعض المواد الشائعة.

أبحثُ

تحتوي الكائنات الحية نِسَبًا مختلفة من الماء في أجسامها؛ فنسبة الماء في جسم الإنسان مرتفعة تصل إلى (70%) تقريبًا من كتلة جسمه. أبحثُ في دور وجود الماء في جسم الإنسان وغيره من الكائنات الحية، وأهمّيته في المحافظة على ثبات درجات حرارة أجسامها طوال اليوم تقريبًا، وأُعدّ عرضًا تقديميًّا، ثمّ أعرضه على طلبة الصفّ.

الجدول (1): السَّعَة الحرارية النوعية لبعض الموادّ الشائعة عند درجة حرارة (25°C) وضغط جوي معياري.

المادّة	السَّعَة الحرارية النوعية c(J/kg.K)
الألمنيوم	900
النحاس	387
الذهب	129
الحديد	448
الرصاص	128
الفضة	234
الرمل	840
الجليد (-5°C)	2090
الماء (15°C)	4186
بخار الماء (100°C)	2010

أُفكّر: ذهب كريم إلى خليج العقبة في فصل الصيف، وفي الظهيرة وجد أن درجة حرارة الرمال أعلى بكثير من درجة ماء البحر. أفسر هذا الاختلاف في درجة الحرارة، مستعينًا بالجدول (1).

✓ **أتحقّق:** ما السَّعَة الحرارية النوعية؟ ما العوامل التي تعتمد عليها كمّية الطاقة المكتسبة أو المفقودة؟

الربط بالحياة

يُعدّ الماء سائلًا مثاليًّا للتبريد؛ بسبب سَعته الحرارية النوعية الكبيرة جدًّا، فهو يسخن ببطء ويبرد ببطء، وهذا يُمكّنه من اختزان الطاقة والحفاظ عليها مددًا زمنية طويلة بالمقارنة مع غيره من السوائل؛ لذا يُستخدم الماء في أنظمة التبريد في المحرّكات؛ إذ يمكن لكمّية قليلة من الماء أن تكتسب كمّية كبيرة من الطاقة من أجزاء المحرّك مقابل ارتفاع قليل في درجة حرارتها، ثم يُتخلَّص من هذه الطاقة إلى الهواء الجوي عن طريق المشعّات (الراديتر Radiators)، أنظرُ إلى الشكل (4). ويجب تفقد الماء في المشعات دوريا؛ للتأكد من كمية الماء فيه، والحذر من فتح غطاء المشع عندما تكون درجة حرارة المحرك مرتفعة.

الشكل (4): يُستخدم الراديتر في أنظمة التبريد؛ للتخلّص من الطاقة الناتجة في أجزاء المحرّك.

المثال 1

وضعت هناء قطعة رصاص كتلتها (250 g) ودرجة حرارتها (20°C)، على مصدر حراري زوّدها بكمّية طاقة مقدارها (2.4 kJ). إذا علمتُ أنّ السَّعَة الحرارية النوعية للرصاص (c_{Pb} = 128 J/kg.K) تقريبًا، فأحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . التغيّر في الطاقة الحرارية لقطعة الرصاص (ΔE_{Pb}).

ب. درجة حرارة قطعة الرصاص النهائية.

المعطيات: $m = 250\ \text{g} = 0.250\ \text{kg}$, $T_i = 20^\circ\text{C}$, $Q = 2.4 \times 1\ 0^3\ \text{J}$, $c_{Pb} = 128\ \text{J/kg.K}$

المطلوب: $\Delta E_{Pb} = ?$, $T_f = ?$

الحلّ:

أ . مقدار التغيّر في الطاقة الحرارية لقطعة الرصاص يساوي كمّية الطاقة التي اكتسبتها؛ إذ لا يوجد تغيّر في الحالة الفيزيائية للرصاص.

$$\Delta E_{Pb} = Q = 2.4 \times 10^3\ \text{J}$$

ب. أستخدمُ العلاقة الآتية لحساب درجة حرارة قطعة الرصاص النهائية:

$$Q = mc\,\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{Q}{mc} = \frac{2.4 \times 10^3}{0.250 \times 128} = 75^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = T_f - T_i$$

$$T_f = \Delta T + T_i = 75 + 20 = 95^\circ\text{C}$$

المثال 2

سخّان كهربائي قدرته (1.5 kW)، يحتوي (20 kg) ماءً درجة حرارته (15°C)، يُراد تسخينه إلى درجة حرارة (65°C). بافتراض تحوّل الطاقة الكهربائية كاملة إلى طاقة حرارية اكتسبها الماء، والسَّعَة الحرارية النوعية للماء (c_w = 4200 J/kg.K) تقريبًا، أحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . كمّية الطاقة التي اكتسبها الماء.

ب. الزمن الذي يستغرقه السخّان في تسخين الماء.

المعطيات: $P = 1.5 \times 10^3\ \text{W}$, $m = 20\ \text{kg}$, $T_i = 15^\circ\text{C}$, $T_f = 65^\circ\text{C}$, $c_w = 4200\ \text{J/kg.K}$.

المطلوب: $Q = ?\ ,\ \Delta t = ?$

الحلّ:

أ . تحوّل مقاومة السخّان الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية يكتسبها الماء، وترفع درجة حرارته.

$$Q = mc\,\Delta T$$

$$= 20 \times 4.2 \times 10^3 \times (65 - 15)$$

$$= 4.2 \times 10^6\ \text{J}$$

ب. العلاقة التي تربط القدرة بالشغل والزمن، هي:

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

الطاقة الكهربائية التي يستهلكها السخّان، تُساوي كمية الطاقة التي يكتسبها الماء.

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

$$\Delta t = \frac{Q}{P} = \frac{4.2 \times 10^6}{1.5 \times 10^3}$$

$$= 2.8 \times 10^3\ \text{s} = 46.67\ \text{min}$$

تمرين

1 . **أستخدم الأرقام:** قطعة ألمنيوم كتلتها (15 g) ودرجة حرارتها (450 K). وُضِعت داخل إناء يحتوي ماءً فانخفضت درجة حرارتها إلى (280 K). أحسبُ كمّية الطاقة التي فقدتها قطعة الألمنيوم.

2 . **التفكير الناقد:** يُبيّن الشكل (5) أحد أنواع الألعاب النارية البرّاقة الصغيرة التي تُحمل باليد وتُسمّى الماسة (Sparkler)، وتتميّز بأنّها تشتعل ببطء ، مُولِّدةً شررًا ولهبًا. وتكون درجة حرارة الجزء المشتعل منها (2000°C) تقريبًا، ويؤدّي لمسه باليد إلى الإصابة بحروق خطيرة. أوضّح لماذا لا يُسبّب سقوط شرارة منبعثة من الماسة المحترقة على الجلد إصابات خطيرة له؟

الشكل (5): الشرر المتطاير من أحد أنواع الألعاب النارية (Sparklers).

الاتزان الحراري Thermal Equilibrium

عند اتصال الأجسام المختلفة في درجات حرارتها معًا، فإنها تسعى تلقائيًّا إلى تحقيق الإتزان الحراري بينها، بصرف النظر عن شكلها أو نوعها أو كتلتها. يبدأ نقل الطاقة الحرارية من الجسم الأعلى درجة حرارة (الساخن) إلى الجسم الأدنى درجة حرارة (البارد) في هذه العملية.

تُفسَّر عملية انتقال الطاقة هذه على المستوى المجهري، بأن الجسيمات المتحركة داخل الجسم الساخن التي تمتلك طاقة حركية كبيرة نسبيًّا تتصادم مع جسيمات الجسم البارد التي تمتلك طاقة حركية أقل، حيث تزداد طاقتها الحركية نتيجة هذه التصادمات، ما يعني انتقال جزء من الطاقة الحرارية من الجسم الساخن إلى الجسم البارد.

يستمر انتقال الطاقة الحرارية حتى تتساوى درجتا الحرارة في الجسمين، وعندها يتساوى معدلا انتقال الطاقة بين الجسمين فيصبح الجسمان في حالة **اتزان حراري Thermal equilibrium** ويكون صافي الطاقة المنتقلة بين الجسمين صفرًا.

$$\sum Q = 0$$

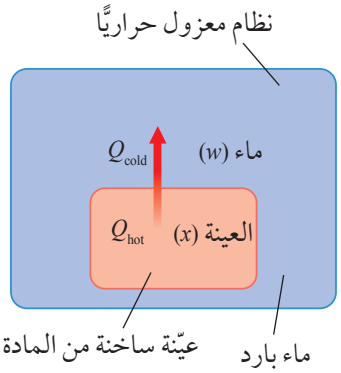
يوضّح الشكل (6) نظامًا يتكوّن من عيّنة (x) مرتفعة درجة الحرارة (T_x) من مادّة مجهولة السَّعَة الحرارية النوعية (c_x) موضوعة في ماء بارد؛ إذ تنتقل الطاقة تلقائيًّا داخل النظام من الجزء الأعلى درجة حرارة إلى الجزء الأدنى درجة حرارة، حتّى يُصبحا في حالة اتّزان حراري، وتكون لهما درجة الحرارة النهائية (T_f) نفسها.

إذا كان النظام مغلقًا ومعزولًا حراريًّا، بحيث لا تدخل طاقة أو مادّة إلى النظام ولا تغادره، يبقى المجموع الكلّي للطاقة في النظام ثابتًا. وبافتراض أنّ النظام مكوّن من العيّنة (x) والماء فتكون الطاقة الكلية للنظام ثابتة، أي أنّ:

$$E_x + E_w = constant$$

أتحقّق: متى يصل جسمان إلى حالة اتزان حراري؟

أُصمّم باستخدام برنامج السكراتش (Scratch) عرضًا يوضّح طريقة انتقال الطاقة بين جسمين مختلفين في درجتَي حرارتيهما، حتّى يصلا إلى حالة الاتّزان الحراري.



الشكل (6): في تجربة قياس السَّعَة الحرارية النوعية، توضع عيّنة ساخنة من مادّة مجهولة السَّعَة الحرارية النوعية في ماء بارد، في وعاء يعزل النظام عن المحيط الخارجي.

ونظرًا إلى أنّ النظام مغلق ومعزول حراريًّا؛ فإنّ التغيّر الكلّي في طاقة النظام يجب أن يساوي صفرًا، أي أنّ:

$$\Delta E_x + \Delta E_w = 0$$

$$\Delta E_x = -\Delta E_w$$

أُلاحظ أنّ التغيّر في الطاقة الحرارية لأحد جزأَي النظام موجب، فترتفع درجة حرارته، في حين يكون التغيّر في الطاقة الحرارية لجزء النظام الآخر سالبًا، فتنخفض درجة حرارته. ونظرًا إلى أنّ النظام مغلق ومعزول ولا يُبذَل شغل عليه، فإنّ التغيّر في الطاقة الحرارية لجزأَي النظام ناتج من انتقال الطاقة بينهما، ومقداره يساوي كمية الطاقة المنتقلة (Q)؛ لذا يمكن التعبير عن تغيّر الطاقة الحرارية لكلّ من جزأَي النظام بالعلاقة الآتية:

$$\Delta E = Q = mc\,\Delta T$$

ونظرًا إلى أنّ كمّية الطاقة التي تفقدها العينة الساخنة (Q_{hot}) تساوي كمّية الطاقة التي يكتسبها الماء البارد (Q_{cold})، وباستخدام مبدأ حفظ الطاقة، يمكن التعبير رياضيًّا عمّا سبق على النحو الآتي:

$$Q_x + Q_w = 0$$

ويحدث الإتزان الحراري لأي عدد من الأجسام في حالة اتصال حراري في نظام مغلق ومعزول.

✓ **أتحقّق:** ما المقصود بالنظام الحراري المغلق والمعزول؟

الربط بالتكنولوجيا

المسعّر الحراري Calorimeter

إناء معزول حراريًّا يتكون من طبقتين بينهما مادة عازلة للحرارة. توضع داخله المواد المختلفة فيحدث بينها تبادل الطاقة الحرارية، ويستخدم في قياس السَّعَة الحرارة النوعية لمادة معينة.

المثال 3

مسعّر حراري يحتوي ماءً كتلته (0.4 kg) ودرجة حرارته (20°C)، وُضِعت فيه كرة فلزّية كتلتها (0.05 kg) ودرجة حرارتها (200°C). إذا كانت درجة الحرارة النهائية للنظام عند الاتّزان الحراري (22.4°C)، والنظام مغلق ومعزول وبإهمال الطاقة التي تكتسبها مادة المسعّر، فأحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . التغيّر في الطاقة الحرارية للماء.

ب. السَّعَة الحرارية النوعية لمادّة الكرة الفلزّية.

المعطيات:

$m_w = 0.4\ \text{kg}$, $T_{i,w} = 20^\circ\text{C}$, $m_b = 0.05\ \text{kg}$, $T_{i,b} = 200^\circ\text{C}$, $T_f = 22.4^\circ\text{C}$, $c_w = 4200\ \text{J/kg.K}$.

المطلوب:

$\Delta E_w = ?$, $c_b = ?$

الحلّ:

أ. تفقد الكرة الفلزّية الساخنة كمّية من الطاقة يكتسبها الماء البارد، حتّى يصلا إلى حالة الاتّزان الحراري. أحسبُ التغيّر في طاقته الحرارية على النحو الآتي:

$$\Delta E_w = Q_w = (mc\,\Delta T)_w$$
$$= (0.4 \times 4200 \times (22.4 - 20))_w$$
$$= 4.03 \times 10^3\ \text{J}$$

التغير في الطاقة الحرارية للماء موجب، أي أنّه اكتسب طاقة.

ب. أستخدم معادلة انتقال الطاقة الآتية:

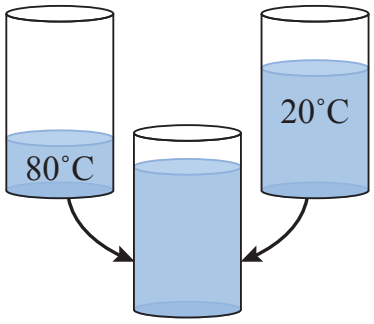
$$Q_w + Q_b = 0$$
$$Q_w = -Q_b$$
$$m_w c_w\,\Delta T_w = -m_b c_b\,\Delta T_b$$

وبالحلّ بالنسبة إلى (c_b):

$$c_b = -\frac{m_w c_w\,(T_f - T_{i,w})}{m_b\,(T_f - T_{i,b})}$$
$$c_b = -\frac{4.03 \times 10^3}{0.05 \times (22.4 - 200)}$$
$$c_b = 454\ \text{J/kg.K}$$

المثال 4

خلطت تمارا ماءً كتلته (1.2 kg) ودرجة حرارته (20°C) مع ماء كتلته (0.4 kg) ودرجة حرارته (80°C). كما في الشكل (5). أحسب درجة حرارة الماء النهائية.



الشكل (5): خلط الماء الساخن مع الماء البارد.

المعطيات:

$m_{cold} = 1.2\ kg\ ,\ m_{hot} = 0.4\ kg\ ,\ T_{cold} = 20°C\ ,\ T_{hot} = 80°C$

المطلوب:

$T_f = ?$

الحل:

كمية الحرارة التي يفقدها الماء الساخن تساوي كمية الحرارة التي يكسبها الماء البارد:

$$Q_{hot} = -Q_{cold}$$

$$m_{hot}(T_f - T_{hot}) = -m_{cold}(T_f - T_{cold})$$

بالتعويض وحل المعادلة، أحسب درجة الحرارة النهائية للمخلوط (T_f):

$$0.4(T_f - 80) = -1.2(T_f - 20)$$

$$1.6T_f = 56 \rightarrow T_f = 35°C$$

تذكر

أستخدم الأرقام: وضع ياسين قالبًا فلزّيًّا كتلته (0.14 kg) ودرجة حرارته (160°C)، في مسعّر حراري يحتوي ماءً كتلته (0.15 kg) ودرجة حرارته (10°C)، فكانت درجة الحرارة النهائية للنظام عند الاتّزان الحراري (24°C). إذا علمتُ أنّ النظام مغلق ومعزول وبإهمال الطاقة التي تكتسبها مادّة المسعّر، فأحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . التغيّر في الطاقة الحرارية للقالب الفلزّي.

ب. السَّعَة الحرارية النوعية لمادّة القالب.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** ما المقصود بدرجة الحرارة؟ ما الفرق بينها وبين الطاقة الحرارية؟

2. **أُصدرُ حُكمًا:** في أثناء دراسة فاتن هذا الدرس، قالتْ: «إنّ الأجسام الأعلى درجة حرارة تمتلك طاقة حرارية أكبر من الأجسام الأقلّ درجة حرارة». أُناقش زملائي/ زميلاتي في صحّة قولها.

3. **أتوقع:** أرادت إسراء تصميم مدفأة كهربائية يعتمد مبدأ عملها على التسخين الكهربائي لصفيحة فلزّية توجد داخلها، وعند وصول درجة حرارة الصفيحة إلى قيمة معيّنة ينفصل التيّار الكهربائي آليًّا عن المدفأة، ثم يعود التيار عند انخفاض درجة حرارة الصفيحة. أُناقش زملائي/ زميلاتي في مزايا استخدام مادّة فلزية ذات سَعة حرارية نوعية كبيرة في هذا التصميم للمدفأة وعيوبها.

4. **أفسر:** استُخدمت كمية الطاقة الحرارية نفسها لتسخين (1g) من مادتين (A) و (B) فارتفعت درجة حرارة المادة (A) بمقدار 3 °C. والمادة (B) بمقدار 4 °C. أي المادتين لها سَعة حرارية نوعية أكبر؟ أفسر إجابتي.

5. **أستخدمُ الأرقام:** مصدر حراري يعمل بالوقود. إذا كانت كمّية الوقود المتوافرة فيه تولّد طاقة مقدارها (1.25 MJ) عند حرقها، فأحسبُ كتلة الماء التي يُمكن تسخينها من درجة حرارة (8°C) إلى درجة حرارة (100°C) بافتراض اكتساب الماء الطاقة المتولّدة كلها، والسَّعَة الحرارية النوعية للماء ($c_w = 4200$ J/kg.K) تقريبًا.

6. **التفكير الناقد:** لدى علياء أربع قطع متساوية في الكتلة: اثنتان من الحديد واثنتان من الألمنيوم، درجة حرارتها (20 °C)، ولديها أربع كميات متساوية في الكتلة: اثنتان من الماء، واثنتان من الإيثانول، درجة حرارتها (80 °C)، وُضِعت قطعة حديد في الماء والثانية في الإيثانول، ووُضِعت قطعة ألمنيوم في الماء والثانية في الإيثانول. إذا علمت أن السَّعَة الحرارية النوعية للإيثانول (2.4×10^3 J/kg·K) ومُعتمِدًا على الجدول (1). أي القطع الأربع ترتفع درجة حرارتها ارتفاعًا أكبر؟ أفسر إجابتي

الفكرة الرئيسة:

تتغير الحالة الفيزيائية للمادة عند اكتسابها أوفقدها مقدارًا محددًا من الطاقة، ويتضمن التغير في حالة المادة تغيرا في الطاقة الكامنة للمادة، دون حدوث تغير في درجة حرارتها.

نتاجات التعلّم:

- أوضح مفاهيم الحرارة النوعية الكامنة للانصهار، والحرارة النوعية الكامنة للتصعيد.
- أحسب كمّية الطاقة المكتسبة أو المفقودة عند تغير الحالة الفيزيائية للمادة من حالة إلى أخرى.
- أحلل رسمًا بيانيًّا للتغيرات في درجة حرارة الجسم بتغير كمية الطاقة المكتسبة أو المفقودة.

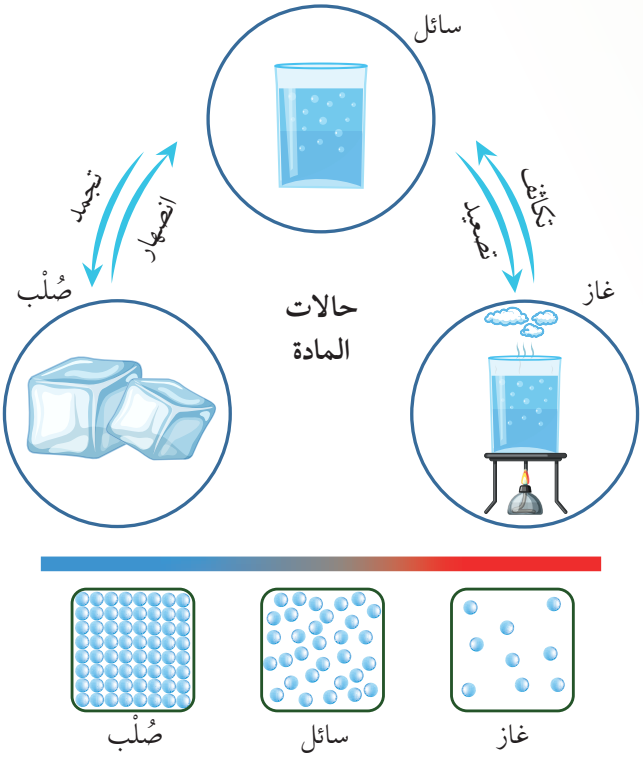
المفاهيم والمصطلحات:

تغير الحالة الفيزيائية	Phase Change
درجة الانصهار	Melting Point
درجة الغليان	Boiling Point
الحرارة النوعية الكامنة للانصهار	Specific Latent Heat of Fusion
الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد	Specific Latent Heat of Vaporization

تغير الحالة الفيزيائية Phase Change

يحدث غالبًا تغيّر في درجة حرارة المادّة عند حدوث تبادل في الطاقة بينها وبين محيطها الخارجي، فمثلًا، ترتفع درجة حرارة الماء عند تسخينه، بسبب انتقال طاقة حرارية إليه من مصدر التسخين. ولكن، توجد حالات لا يؤدّي فيها نقل الطاقة إلى تغيّر في درجة الحرارة. ويحدث هذا عندما تتغيّر الحالة الفيزيائية للمادة، وهو ما يعرف باسم **تغير الحالة Phase Change** والحالات الفيزيائية الثلاث المعروفة للمادة هي: السائلة، والصُّلبة، والغازية. كما توجد حالة رابعة تسمى البلازما، عند درجات الحرارة العالية جدًّا. وستقتصر دراستنا على الحالات الثلاث.

يبين الشكل (7) تغيرين شائعين في الحالة الفيزيائية للمادّة، هما: التغيّر بين الحالتين الصلبة والسائلة (الانصهار، أو التجمّد)، والتغيّر بين الحالتين السائلة والغازية (التصعيد، أو التكاثف). تتضمّن هذه التغيّرات تغيّرًا في الطاقة الكامنة (الوضع) للمادّة، من دون تغيّر في درجة حرارتها.



الشكل (7): التغيّرات في الحالة الفيزيائية للمادّة وتوضيح ما يُرافق تغيّر الحالة الفيزيائية من تغير على وضع جُسيمات المادّة.

التغيّر بين الحالتين: الصُّلْبة والسائلة
Change of Phase Between Solid and Liquid

عند تزويد مادّة صُلْبة بالطاقة، ترتفع درجة حرارتها حتّى تصل إلى درجة حرارة محدّدة تثبت عندها، على الرغم من استمرار تزويدها بالطاقة، حيث تبدأ المادة الصُّلْبة في التغيّر وتتحوّل إلى الحالة السائلة عند درجة الحرارة نفسها. تُسمّى درجة الحرارة التي تتغيّر عندها الحالة الفيزيائية للمادّة من الحالة الصُّلْبة إلى الحالة السائلة **درجة الانصهار Melting point**، وثبات درجة الانصهار يُعدّ خصيصة فيزيائية للمادّة النقية، ويتغير مقدارها من مادّة إلى أُخرى بحسب قوى الترابط بين جُسيمات المادّة، وهي نفسها درجة التجمّد Freezing point التي تتغيّر عندها الحالة الفيزيائية للمادّة من السائلة إلى الصلبة.

الحرارة النوعية الكامنة للانصهار Specific Latent Heat of Fusion

تستخدم الطاقة التي تزود بها المادة في أثناء انصهارها في تكسير الروابط بين جسيمات المادة في الحالة الصلبة، فتتحرك الجسيمات مبتعدة عن بعضها، وتزداد طاقة الوضع (الكامنة) لهذه الجسيمات التي تغيرت حالتها إلى الحالة السائلة، مع بقاء متوسط طاقتها الحركية ثابتًا؛ لذا لا ترتفع درجة حرارة المادة .

تُعرّف **الحرارة النوعية الكامنة للانصهار Specific latent heat of fusion** بأنّها كمّية الطاقة اللازمة لتحويل (1 kg) من المادّة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة من دون تغيير درجة حرارتها، رمزها (L_f) ووحدة قياسها (J/kg) بحسب النظام الدولي للوحدات، وهي خصيصة للمادّة النقية لا تعتمد على كتلتها، فمثلًا، الحرارة النوعية الكامنة لانصهار الجليد تساوي (3.34×10^5 J/kg)، وهذا يعني أنّه يلزم طاقة مقدارها (3.34×10^5 J) لتحويل (1 kg) من الجليد عند درجة الانصهار (0°C) من الحالة الصُّلْبة إلى الحالة السائلة عند درجة الحرارة نفسها.

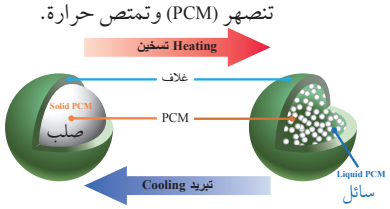
وتحسب كمية الطاقة (Q_{fusion}) اللازمة لصهر كتلة (m) من مادّة صُلْبة نقيّة عند درجة انصهارها بالعلاقة الآتية:

$$Q_{fusion} = mL_f .$$

الربط بالتكنولوجيا

المادة متغيرة الحالة Phase change material واختصارها (PCM) هي مادة تمتص وتطلق كميات كبيرة من الطاقة في أثناء تحولها من الحالة الصُّلْبة إلى السائلة أو العكس، عند درجة حرارة ثابتة. حيث تُعدّ مخزنًا للطاقة الحرارية، تكون على شكل كبسولات صغيرة ذات غلاف بلاستيكي، داخلها مادة (PCM) ومن الأمثلة عليها شمع البرافين. تلقى هذه المواد اهتمامًا لدى العلماء؛ بغية تطوير خصائصها واستخدامها في تطبيقات تكنولوجية مختلفة، مثل استخدامها في المباني بديلًا عن مواد العزل الحراري التقليدية.

تنصهر (PCM) وتمتص حرارة.



تتجمد (PCM) وتطلق حرارة.

أُفكّر: عند درجة تجمّد الماء أو درجة انصهاره، يوجد الماء في حالتيه الصُّلْبة والسائلة معًا. إذا أضفتُ (20 g) من الجليد عند درجة حرارة (0°C) إلى كأس عصير، فسيكون له تأثير تبريد في العصير أكبر من إضافة (20 g) من الماء السائل عند (0°C) إليه. لماذا؟ أُناقش أفراد مجموعتي، وأستخدمُ مصادر المعرفة المُتاحة للتوصّل إلى إجابة عن السؤال.

ويمكن استخدام العلاقة نفسها في حساب كمية الطاقة الناتجة عند تحول المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الصُّلْبة، مع مراعاة إضافة إشارة سالبة للمعادلة ، لتدل الإشارة السالبة للطاقة على أنها طاقة ناتجة.

✓ **أتحقّق:** ماذا يعني «الحرارة النوعية الكامنة لانصهار الذهب $(6.44 \times 10^4\ \text{J/kg})$»؟

المثال 5

كتلة من الجليد عند درجة (0°C)، يلزم طاقة مقدارها $(4.6\ \text{kJ})$ لصهرها عند درجة الحرارة نفسها. فما كتلة الجليد المنصهر، علمًا أنّ الحرارة النوعية الكامنة لانصهار الجليد $(3.34 \times 10^5\ \text{J/kg})$ ؟

المعطيات:

$$T = 0^\circ,\ Q_{\text{fusion}} = 4.6\ \text{kJ} = 4.6 \times 10^3\ \text{J},\ L_f = 3.34 \times 10^5\ \text{J/kg}$$

المطلوب:

$$m = ?$$

الحل:

تحسب الكتلة من العلاقة:

$$Q_{\text{fusion}} = m\, L_f$$

حيث:

$$m = \frac{Q_{\text{fusion}}}{L_f} = \frac{4.6 \times 10^3}{3.34 \times 10^5} = 1.37 \times 10^{-2}\ \text{kg} \approx 13.7\ \text{g}$$

أبحثُ

عندما يكون هواء الغرفة جافًّا وأفتح مجمّد الثلّاجة، أُلاحظ أحيانًا تصاعد البخار منه؛ إذ تتغيّر حالة الجليد فيها من الصُّلْبة إلى الغازية دون المرور بالحالة السائلة. أبحثُ عن هذه الظاهرة واسمها والتفسير الفيزيائي لها، ثمّ أُعدّ عرضًا تقديميًّا أعرضه على زملائي/ زميلاتي في الصفّ.

التغيّر بين الحالتين: السائلة والغازية

Change of State Between Liquid and Gas

باستمرار تسخين مادّة سائلة ترتفع درجة حرارتها حتى تثبت عند درجة حرارة محدّدة، تبدأ عندئذٍ حالتها الفيزيائية بالتغيّر من السائلة إلى الغازية عند درجة الحرارة نفسها، على الرغم من استمرار تزويدها بالطاقة. تُسمّى درجة الحرارة التي تتغيّر عندها الحالة الفيزيائية للمادّة من السائلة إلى الغازية **درجة الغليان Boiling point**، وثبات درجة الغليان يُعدّ خصيصة فيزيائية للمادّة النقيّة، ويتغير مقدارها من مادّة إلى أُخرى بحسب قوى الترابط بين جُسيماتها. أمّا التكاثف Condensation فهو تغيّر الحالة الفيزيائية للمادّة من الغازية إلى السائلة.

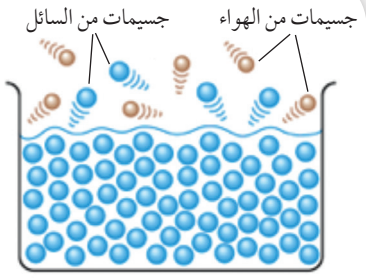
الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد Specific Latent Heat of Vaporization

في أثناء تغيّر الحالة الفيزيائية للمادّة عند درجة الغليان، تُستخدم الطاقة التي تُزوّد للسائل في كسر قوى الترابط بين جُسيماته، ما يؤدّي إلى زيادة المسافة الفاصلة بينها؛ لذا يزيد التسخين الطاقة الكامنة للجُسيمات، مع بقاء متوسط طاقتها الحركية ثابتًا. وتُستخدم هذه الطاقة أيضًا في بذل شغل ضد القوة الناتجة من ضغط الغلاف الجوي على سطح السائل، بحيث تمكّن الجسيمات من مغادرة سطح السائل، أنظرُ إلى الشكل (8).

تُسمّى كمّية الطاقة اللازمة لتحويل (1 kg) من المادّة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية دون تغيير درجة حرارتها **الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد Specific latent heat of vaporization** ورمزها (L_v) ووحدة قياسها (J/kg) بحسب النظام الدولي للوحدات، وهي خصيصة للمادّة النقية لا تعتمد على كتلتها، فمثلًا، الحرارة النوعية الكامنة لتصعيد الماء تُساوي (2.26×10^6 J/kg)، وهذا يعني أنّه يلزم طاقة مقدارها (2.26×10^6 J) لتحويل (1 kg) من الماء عند درجة الغليان (100°C) من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية (بخار الماء) عند درجة الحرارة نفسها.

الربط بالصحة

التعرق هو آلية يستخدمها الجسم لتبريد نفسه، فعند ارتفاع درجة حرارة الجسم بسبب ارتفاع درجة حرارة الطقس أو ممارسة الرياضة، يحتاج الجسم إلى البرودة والعودة إلى درجة الحرارة الطبيعية؛ فيفرز العرق، ويؤدي تبخر العرق إلى الشعور بالبرودة؛ لأن الحرارة اللازمة لتبخر العرق تُسحَب من الجسم، ويعتمد معدل التبخر على الرطوبة النسبية للهواء الملامس للجلد، إذا كانت الرطوبة عالية يكون الهواء مشبعًا بالبخار، فيكون معدل تبخر العرق أبطأ، مايؤدي إلى الشعور بالتعرق اللزج الذي نشعر به عند ارتفاع درجة الحرارة والرطوبة.



الشكل (8): يلزم طاقة إضافية لبذل شغل ضدّ قوّة الضغط الجوّي لتوفير حيّز لجُسيمات السائل المتبخّرة.

الجدول 2: درجتا الانصهار والغليان والحرارة النوعية الكامنة للانصهار والحرارة النوعية الكامنة للتصعيد لبعض المواد الشائعة.

المادّة	درجة الانصهار (°C)	الحرارة النوعية الكامنة للانصهار (J/kg)	درجة الغليان (°C)	الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد (J/kg)
الأُكسجين	-218.79	1.38×10^4	-182.97	2.13×10^5
الماء	0.00	3.33×10^5	100.00	2.26×10^6
الرصاص	327.3	2.45×10^4	1750	8.70×10^5
الألمنيوم	660	3.97×10^5	2450	1.14×10^7
الفضة	960.80	8.82×10^4	2193	2.33×10^6
الذهب	1063.00	6.44×10^4	2660	1.58×10^6
النحاس	1083	1.34×10^5	1187	5.06×10^6

وتُحسَب كمية الطاقة ($Q_{\text{vaporization}}$) اللازمة لتبخير (تصعيد) كتلة (m) من مادّة سائلة نقيّة عند درجة غليانها بالعلاقة الآتية:

$$Q_{\text{vaporization}} = mL_v$$

ويراعى إضافة إشارة سالبة للمعادلة عند استخدامها في حساب الطاقة الناتجة عند تكاثف الغاز وتحوله إلى سائل عند درجة الحرارة نفسها.

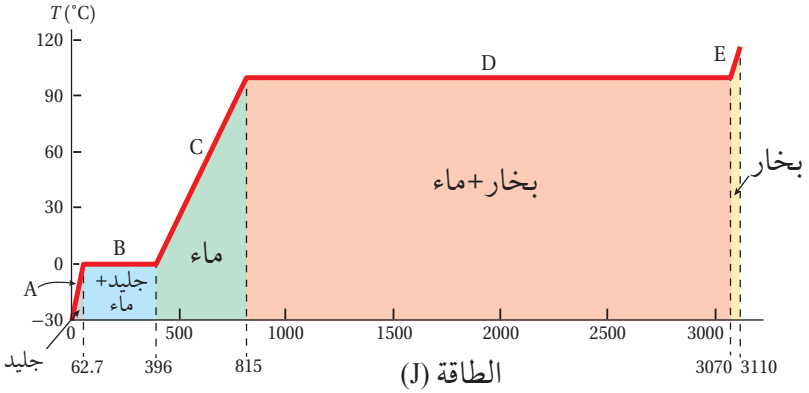
يُبيّن الجدول (2) درجتَي الانصهار والغليان، وبعض قِيَم الحرارة النوعية الكامنة للانصهار، والحرارة النوعية الكامنة للتصعيد لبعض المواد النقيّة الشائعة.

أُفكّر: لماذا تكون درجة حرارة الجو في أثناء تساقط الثلج أدفأ نسبيًّا من درجة الحرارة في أثناء انصهاره؟

أتحقّق: ماذا يعني أنّ «الحرارة النوعية الكامنة لتصعيد الرصاص تساوي 8.70×10^5 J/kg»؟

منحنى تغيرات الحالة الفيزيائية Phase Changes Graph

يوضح الشكل (9) تمثيلًا بيانيًّا للتغير في درجة حرارة مكعب من الجليد بتغير كمية الطاقة المكتسبة، وذلك في أثناء تحوله من الحالة



الشكل (9): تمثيل بياني للتغير في درجة حرارة مكعب من الجليد، عند إكتسابه طاقة، و تحوله من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية.

الصُّلْبة إلى الحالة الغازية. الشكل المرسوم يوضح الطاقة اللازمة لتحوُّل مكعب من الجليد كتلته (1.00 g) ودرجة حرارته (-30.0°C) إلى بخار درجة حرارته (120.0°C). يمكن تقسيم المنحنى خمس مراحل كما هو مثبت على الشكل.

المرحلة (A): تتغير درجة حرارة الجليد من (-30.0°C) إلى (0.0°C). ولأنّ السَّعَة الحرارية النوعية للجليد (2090 J/kg.K)، يمكن حساب الطاقة المكتسبة بالعلاقة الآتية:

$$Q = m_i c_i \Delta T = 1.00 \times 10^{-3} \times 2090 \times 30.0 = 62.7 \text{ J}$$

المرحلة (B): عند وصول درجة حرارة الجليد إلى (0.0°C)، فإن خليط (الماء- الجليد) يثبت عند هذه الدرجة، على الرغم من استمرار تزويد العينة بالطاقة، إلى أن تنصهر العينة كاملة وتتحول إلى ماء. وتُحسَب الطاقة اللازمة لانصهار العينة بالعلاقة الآتية:

$$Q_{\text{fusion}} = m_i L_f = 1.00 \times 10^{-3} \times 3.33 \times 10^{5} = 333 \text{ J}$$

نلاحظ أننا على محور الطاقة انتقلنا إلى التدريج (396 J).

حيث (62.7 + 333 = 396 J)

المرحلة (C): بين درجتَي الحرارة (0.0°C) و (100.0°C) تستخدم الطاقة التي يزود بها الماء في رفع درجة حرارة الماء. وتُحسَب بالعلاقة الآتية:

$$Q = m_w c_w \Delta T = 1.00 \times 10^{-3} \times 4.19 \times 10^{3} \times 100.0 = 419 \text{ J}$$

المرحلة (D): عند درجة الحرارة (100.0°C) يحدث تغير آخر للحالة الفيزيائية للمادة، عندما يتحول الماء إلى بخار عند درجة الحرارة نفسها. وبطريقة مشابهة لما حدث في المرحلة (B) يمكن حساب الطاقة اللازمة لتصعيد العينة باستخدام العلاقة الآتية:

$$Q_{\text{vaporization}} = m_w L_v = 1.00 \times 10^{-3} \times 2.26 \times 10^{6} = 2.26 \times 10^{3} \text{ J}$$

المرحلة (E): في هذه المرحلة، تستخدم الطاقة في رفع درجة حرارة البخار من (100.0°C) إلى (120.0°C)، وتُحسَب بالعلاقة الآتية:

$$Q = m_s c_s \Delta T = 1.00 \times 10^{-3} \times 2.01 \times 10^{3} \times 20.0 = 40.2 \text{ J}$$

أُفكّر: في الشكل (9) نلاحظ أن كمية الطاقة اللازمة في المرحلة (D) لتبخر المادة أكبر من كمية الطاقة اللازمة في المرحلة (B) لصهر المادة. فما تفسير ذلك؟

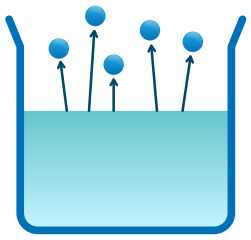
أُصمّم باستخدام برنامج السكراتش (Scratch) عرضًا يوضّح كيفية تغيّر حالة المادّة عند تزويدها بالطاقة مستعينًا بالشكل (9).

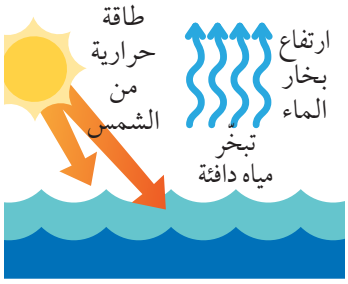
التبخّر والغليان Evaporation and Boiling

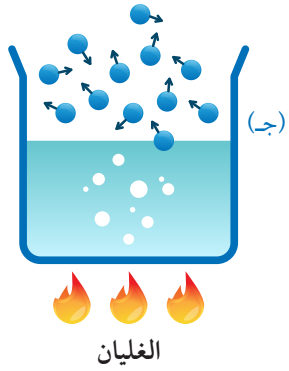
يخلط البعض بين مفهومَي التبخّر والغليان، ويوجد فرق بينهما على الرغم من أنّهما يُمثّلان تغيّر حالة المادّة من السائلة إلى الغازية، ولكنّ التبخّر Evaporation يحدث عند درجات الحرارة جميعها، وهي عملية بطيئة تحدث للجزيئات الموجودة على سطح السائل كونها أقلّ ارتباطًا ببقية جزيئات السائل مقارنة بارتباط الجزيئات داخل السائل، أنظرُ إلى الشكل (10/ أ).

فمثلًا، تُسخّن أشعّـة الشمس الماء على السطـح، ويكون لبعض الجزيئات الموجودة على سطح الماء طاقة حركية أكبر من غيرها، وإذا كانت هذه الطاقة كافية لكسر قوى الترابط بين جزيئاته فإنّها ستتبخّر وتغـادر سطح الماء، على الرغم من أنّ درجـة حرارتـه أقلّ من درجـة الغليان، أنظرُ إلى الشكل (10/ ب).

أمّا الغليان Boiling فهو عملية تبخّر سريعة تحدث عندما يساوي ضغط البخار الضغط الجوي، وهي تحدث عند درجـة حـرارة محدّدة هي درجة الغليان؛ إذ تمتلك جزيئات السائل طاقة كافية لمغادرة السائل بكمّيات كبيرة بما فيها الجزيئات داخله، فيكون التبخّر من أجزاء السائل جميعها، وتظهر الفقاقيع تحت سطحه؛ إذ ترفع الطاقة المُضافة الطاقة الكامنة من دون تغيير درجة الحرارة في أثناء الغليان، فتتكسّر الروابط بينها، ما يُمكّنها من الحركة بحرّية أكبر، ومن ثَمَّ، تتحوّل إلى الحالة الغازية، وتخرج من السائل على هيئة فقاقيع. أنظرُ إلى الشكل (10/ جـ).







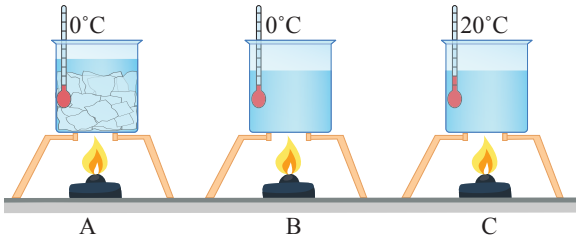
الشكل(10):
(أ) تبخّر الجزيئات التي على سطح السائل.
(ب) تبخّر جزيئات الماء على السطح بفعل التسخين الحراري من الشمس.
(جـ) تبخّر الجزيئات من أجزاء السائل جميعها عند غليانه.

أتحقّق: أُقارن بيـن التبخّر والغليان.

أبحثُ

يعتمد معدل التبخر على عوامل عدة، منها درجة الحرارة، ومساحة السطح المعرض للتبخر، أبحث عن العوامل التي يعتمد عليها معدل التبخر، ثم أعدّ عرضًا تقديميًّا يحتوي صورًا أوضح عبْرها أثر كل عامل، ثم أعرض ما توصلت إليه على زملائي/ زميلاتي.

المثال 6



الشكل (11): مراحل انصهار مكعبات جليد.

يوضّح الشكل (11) انصهار مكعّبات جليد كتلتها (2 kg) بدرجة حرارة (0°C) إلى ماء سائل بدرجة حرارة (0°C) وتوضّحها المرحلة: (A) إلى (B)، ثم رفع درجة حرارة الماء السائل من (0°C) إلى ماء سائل بدرجة حرارة (20°C) وتوضّحها المرحلة: (B) إلى (C). إذا علمتُ أنّ السَّعَة الحرارية النوعية للماء (4200 J/kg.K)، والحرارة النوعية الكامنة لانصهار الجليد (3.33×10^5 J/kg)، أحسب كمية:

أ . الطاقة اللازمة لصهر الجليد في المرحلة A إلى B.

ب. الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء في المرحلة B إلى C.

جـ. الطاقة الكلية اللازمة لرفع درجة حرارة الجليد من (0°C) إلى ماء بدرجة حرارة (20°C).

المعطيات: $m = 2\ \text{kg}\ ,\ T_{\text{i,ice}} = 0^\circ\text{C}\ ,\ T_{\text{f,liquid}} = 20^\circ\text{C}\ ,\ c_{\text{w}} = 4200\ \text{J/kg.K}\ ,\ L_{\text{f}} = 3.33 \times 10^5\ \text{J/kg}.$

المطلوب: $Q_{\text{fusion}} = ?\ ,\ Q_{\text{w}} = ?\ ,\ Q_{\text{total}} = ?$

الحلّ:

أ. أحسبُ كمّية الطاقة اللازمة لصهر الجليد على النحو الآتي:

$$Q_{\text{fusion}} = mL_{\text{f}} = 2 \times 3.33 \times 10^5$$
$$= 6.66 \times 10^5\ \text{J}$$

ب. أحسبُ كمّية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء في المرحلة B إلى C على النحو الآتي:

$$Q_{\text{w}} = m_{\text{w}} c_{\text{w}}\ \Delta T_{\text{w}}$$
$$= 2 \times 4200 \times (20 - 0)$$
$$= 1.68 \times 10^5\ \text{J}$$

جـ. أحسبُ كمّية الطاقة الكلية اللازمة لرفع درجة حرارة الجليد من (0°C) إلى ماء بدرجة حرارة (20°C) على النحو الآتي:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{fusion}} + Q_{\text{w}}$$
$$= 6.66 \times 10^5 + 1.68 \times 10^5$$
$$= 8.34 \times 10^5\ \text{J}$$

المثال 7

كمّية من بخار الماء كتلتها (5 kg) ودرجة حرارتها (130°C)، يُراد تبريدها وتحويلها إلى سائل بدرجة حرارة (50°C). إذا علمتُ أنّ السَّعَة الحرارية النوعية للبخار (2010 J/kg.K)، والسَّعَة الحرارية النوعية للماء (4200 J/kg.K)، والحرارة النوعية الكامنة لتصعيد الماء (2.26×10^6 J/kg)، أحسبُ ما يأتي:

أ. كمّية الطاقة المنطلقة (Q_1) عند تبريد بخار الماء من (130°C) إلى ماء بدرجة حرارة (100°C).

ب. كمّية الطاقة المنطلقة (Q_2) عند تبريد الماء من (100°C) إلى ماء بدرجة حرارة (50°C).

ج. كمّية الطاقة الكلّية المنطلقة عند تبريد بخار الماء من (130°C) إلى ماء بدرجة حرارة (50°C).

المعطيات:

$m = 5$ kg, $T_{i,vapor} = 130°C$, $T_{f,liquid} = 50°C$, $c_{vapor} = 2010$ J/kg.K , $c_w = 4200$ J/kg.K , $L_v = 2.26 \times 10^6$ J/kg.

المطلوب: $Q_1 = ?$, $Q_2 = ?$, $Q_{total} = ?$

الحلّ:

أ . يوجد تغيّر في الحالة في أثناء التبريد، فأحسبُ كمّية الطاقة المنطلقة على مرحلتين: الأولى عند تبريد البخار من (130°C) إلى بخار بدرجة حرارة (100°C)، والثانية عند تغيّر الحالة عند تكاثف البخار وتحوّله إلى ماء سائل عند درجة الغليان نفسها، وهي (100°C).

$$Q_1 = Q_{cooling} + Q_{condensation}$$

لتبريد بخار الماء إلى درجة حرارة (100°C) أستخدمُ العلاقة الآتية:

$$Q_{cooling} = mc_{vapor} \Delta T_{vapor}$$
$$= 5 \times 2010 \times (100 - 130)$$
$$= -3.015 \times 10^5 \text{ J}$$

ثمّ أحسبُ كمّية الطاقة المنطلقة عند تكاثف بخار الماء، مع وضع إشارة سالبة أمام كمّية الطاقة؛ لأنّها طاقة منطلقة، علمًا أنّ كمّية الطاقة المنطلقة تساوي كمّية الطاقة المكتسبة في أثناء تغيّر الحالة؛ أي ستنطلق كمّية طاقة مساوية لكمّية الطاقة التي نفدت في التصعيد.

$$Q_{condensation} = -mL_v$$
$$= -5 \times 2.26 \times 10^6$$
$$= -1.13 \times 10^7 \text{ J}$$

فتكون كمّية الطاقة المنطلقة:

$$Q_1 = Q_{\text{cooling}} + Q_{\text{condensation}}$$
$$= -3.015 \times 10^5 + (-1.13 \times 10^7)$$
$$= -1.16015 \times 10^7 \text{ J}$$

ب. لا يوجد تغيّر في الحالة عند تبريد الماء من (100°C) إلى ماء بدرجة حرارة (50°C)؛ لذا أحسبُ (Q_2) على النحو الآتي:

$$Q_2 = m_w c_w \Delta T_w$$
$$= 5 \times 4200 \times (50 - 100)$$
$$= -1.05 \times 10^6 \text{ J}$$

جـ. كمّية الطاقة الكلّية المنطلقة (Q_{total}) عند تبريد بخار الماء من (130°C) إلى ماء بدرجة حرارة (50°C) تُساوي ناتج الجمع الجبري للكمّيتين (Q_1) و (Q_2)، وأحسبُها على النحو الآتي:

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2$$
$$= -1.16015 \times 10^7 + (-1.05 \times 10^6)$$
$$= -1.26515 \times 10^7 \text{ J}$$

تمرين

أستخدمُ الأرقام: في محطة لتوليد الطاقة الكهربائية باستخدام البخار، يُسخّن الماء من (10°C) باستخدام مِرْجل (بويلر) لتحويله إلى بخار ماء بدرجة حرارة (100°C) بمعدل (350 kg/s). إذا علمتُ أنّ السَّعَة الحرارية النوعية للبخار (2010 J/kg.K) والسَّعَة الحرارية النوعية للماء (4200 J/kg.K)، والحرارة النوعية الكامنة لتصعيد الماء (2.26×10^6 J/kg)، فأحسبُ مقدار ما يأتي:

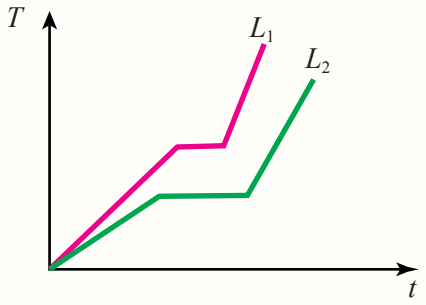
أ. كمّية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء من (10°C) وتحويله إلى بخار ماء بدرجة حرارة (100°C).

ب. قدرة المِرْجل (البويلر) بافتراض أنّ كفاءته 100%.

مراجعة الدرس

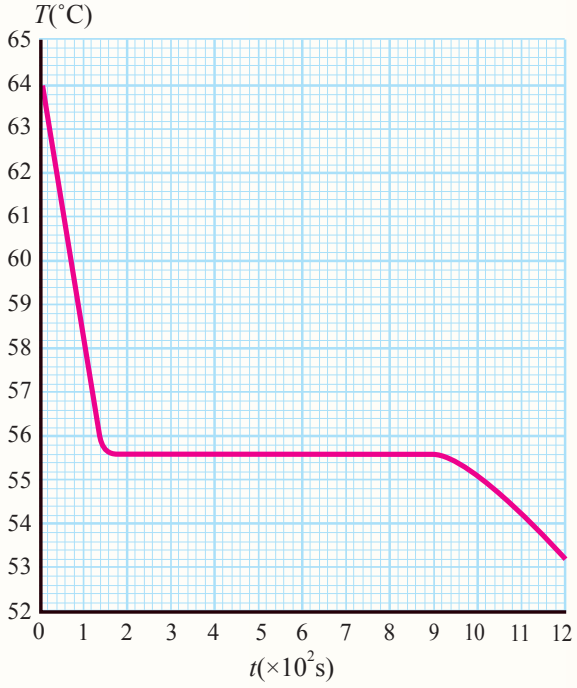
1. **الفكرة الرئيسة:** ماذا يحدث لكمية الطاقة التي تزود بها المادة في أثناء انصهارها وفي أثناء غليانها؟

2. **أقارن:** سائلان L_1 و L_2 متساويان في الكتلة، سُخِّنا باستخدام المصدر نفسه، وبالظروف نفسها. المنحنيان المرسومان في الشكل المجاور يوضحان العلاقة بين درجة الحرارة والزمن للسائلين. أقارن: درجة الغليان، والحرارة النوعية الكامنة للتصعيد لكلا السائلين، مُوضِّحًا إجابتي.



3. **أستخدمُ الأرقام:** خلال ساعة من أدائه التمارين الرياضية، يفقد فادي (0.5 kg) من العرق. بافتراض أنّ كلّ هذا العرق يتبخّر، أحسبُ الطاقة الحرارية المفقودة بسبب التعرّق. أفترضُ أنّ الحرارة النوعية الكامنة لتبخير الماء عند درجة حرارة الجلد (2.4×10^6 J/kg).

4. صممت مجموعة من الطالبات تجربة لاستقصاء تحوُّل عينة من stearic acid (مادة شمعية) كتلتها (0.40 kg)من الحالة السائلة إلى الحالة الصُّلْبة. رُصِد التغير في درجة حرارة العينة مدةً من الزمن، ومثلت التغيرات في درجة الحرارة كما هو موضح في الرسم البياني. أجيب عما يأتي مستعينًا بالشكل:



أ. **أتوقع:** ما مقدار التغير في درجة حرارة العينة خلال المدة من (0 - 160s)؟

ب. **أستنتج:** ما الزمن اللازم لتحوُّل العينة من الحالة السائلة إلى الحالة الصُّلْبة؟

جـ. **أستخدم الأرقام:** أحسب مقدار الطاقة المنطلقة إلى الوسط المحيط، والناتجة من تحوُّل العينة من الحالة السائلة إلى الحالة الصُّلْبة. إذا علمت أن الحرارة النوعية الكامنة لانصهار هذه المادة (1.99×10^5 J/kg).

د. **أفسر:** لماذا عادت درجة حرارة العينة إلى الانخفاض بعد مرور (900 s)؟

الدرس 3

التمدّد الحراري
Thermal Expansion

الفكرة الرئيسة:

يؤدي التمدد (أو التقلص) الحراري إلى تغيّر في أبعاد المادة. وللتمدد تطبيقات كثيرة، وقد يؤدي إهماله إلى حدوث أضرار كبيرة.

نتاجات التعلّم:

- أُعرّف معامل التمدّد الحراري الطولي، وأُعبّر عنه بمعادلة رياضية.
- أتوصّل إلى العوامل التي تُغيّر من مقدار الزيادة في طول ساق فلزّية عند تسخينها.
- أُصمّم ثيرموستات يتحكّم في درجة حرارة سخّان كهربائي.
- أشرحُ شذوذ الماء ودوره في بقاء الكائنات البحرية على قيد الحياة تحت الجليد في البحيرات المتجمّدة.

المفاهيم والمصطلحات:

معامل التمدّد الطولي

Coefficient of Linear Expansion

شذوذ الماء

Anomalous Behavior of Water

التمدّد الحراري للموادّ الصُّلْبة والسائلة والغازية
Thermal Expansion of Solids, Liquids and Gases

درستُ أنّه عندما يحدث تبادل حراري بين جسم ومحيطه الخارجي، فإنّ حالته الفيزيائية قد تتغيّر، وإذا لم تتغيّر حالته الفيزيائية، فإنّ تبادل الطاقة هذا يؤدّي إلى تغيّر درجة حرارة الجسم، ما يؤدّي إلى تمدّده (أو تقلّصه) طوليًّا أو سطحيًّا أو حجميًّا، إذ تزداد أبعاد أغلب المواد بارتفاع درجة حرارتها، وتتقلّص أبعادها بانخفاض درجة حرارتها، وللتمدد الحراري فوائد وتطبيقات كثيرة في حياتنا، أنظرُ إلى الشكل (12/ أ). وقد يؤدّي إهمال تمدّد الأجسام إلى حدوث أضرار كبيرة، أنظرُ إلى الشكل (12/ ب).

الشكل (12):

أ. يعتمد مبدأ عمل مقياس درجة الحرارة على تمدّد السائل المستخدم فيه وتقلّصه بتغيّر درجة الحرارة.

ب. أدّت درجات الحرارة المرتفعة إلى تقوّس مسارات سكة الحديد نتيجة تمدّدها.

تفسير التمدّد الحراري للمواد
Explaining Thermal Expansion of Materials

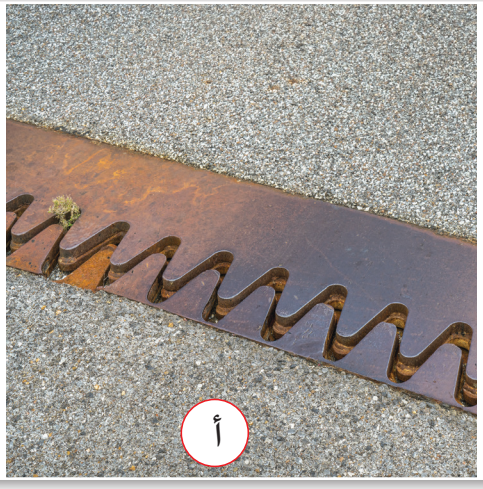
وفقًا لنموذج الحركة الجزيئية – الذي درستُه سابقًا – تتحرّك جُسيمات الموادّ الصُّلْبة والسائلة حركة اهتزازية مستمرّة، إضافة إلى وجود حركة انتقالية لجُسيمات السوائل، وعند ارتفاع درجة حرارة هذه الموادّ يزداد مقدار سرعة جُسيماتها، فيتباعد بعضها عن بعض قليلًا وتتمدّد، ويكون التمدّد الحراري للمواد السائلة أكبر منه للموادّ الصُّلْبة، أمّا الغازات التي تكون أصلًا المسافات بين جُسيماتها كبيرة، فيكون تمدّدها هو الأكبر.

✓ **أتحقّق:** لماذا تتمدّد الموادّ عند ارتفاع درجة حرارتها؟

التمدّد الحراري الطولي Thermal Linear Expansion

لظاهرة التمدّد الحراري دور مهمّ في العديد من التطبيقات الهندسية؛ إذ يحرص المهندسون على ترك فراغات أو وضع فاصل تمدّد حراري في المباني والطرق الخرسانية ومسارات السكك الحديدية والجسور وغير ذلك؛ للسماح لها بالتمدّد والتقلّص بحرّية عند تغيّر درجة الحرارة، من دون أن يؤدّي ذلك إلى تلفها أو انهيارها، أنظرُ إلى الشكل (13). تُسمّى الزيادة في طول سلك فلزّي رفيع عند رفع درجة حرارته التمدّد الطولي Thermal linear expansion. وتُظهر التجارب أنّ التغيّر في طول ساق أو سلك فلزّي رفيع (Δl) يتناسب طرديًّا مع التغيّر في درجة حرارته (ΔT)؛ فكلّما كان الارتفاع في درجة حرارته أكبر، زاد مقدار

أُعدّ فيلمًا قصيرًا باستخدام صانع الأفلام (Movie maker) يعرض تأثيرات عدم مراعاة التمدّد الحراري، في المباني والطرق الخرسانية ومسارات السكك الحديدية والجسور وغيرها.



الشكل (13):
أ . يسمح فاصل التمدّد (الفراغ أو المادّة اللدّنة) في الجسر لمادّة الجسر وسطح الطريق، بالتمدّد في الأيام شديدة الحرارة، والتقلّص في الأيام شديدة البرودة بحرّية من دون تقوّس الجسر أو انهياره أو تشقّقه.
ب. يُملأ فاصل التمدّد الرأسي بين قطع الطوب في البناء بمادّة لدّنة (مرنة) تسمح للطوب بالتمدّد والتقلّص بتغيّر درجة حرارته.

التغيّر في طوله. ويتناسب أيضًا التمدّد الطولي للساق أو السلك الرفيع طرديًّا مع طوله؛ فتمدّد ساق فلزّية من الحديد طولها (4 m) يساوي أربعة أضعاف مقدار تمدّد ساق مماثلة طولها (1 m) عند رفع درجة حرارتيهما بالمقدار نفسه. فإذا افترضنا أن لدينا سلكًا طوله (l_i) عند درجة حرارة (T_i)، وأصبح طوله (l_f) عند درجة حرارة (T_f)؛ فإننا نستخدمُ المعادلة الآتية في حساب الزيادة في طول السلك عند تمدّده أو النقصان في طوله عند تقلّصه:

$$\Delta l = \alpha l_i \ \Delta T$$

حيث ($\Delta l = l_f - l_i$)، و ($\Delta T = T_f - T_i$)، أمّا ألفا (α) فتمثّل **معامل التمدّد الطولي** **Coefficient of linear expansion** لمادّة السلك، وهو يختلف من مادّة إلى أُخرى، ووحدة قياسه ($^{\circ}C^{-1}$) أو (K^{-1}). ويُعرف بأنّه يساوي مقدار الزيادة في طول (1 m) من المادّة عند رفع درجة حرارتها بمقدار ($1^{\circ}C$). يوضّح الجدول (3) معاملات التمدّد الطولي لموادّ مختلفة عند درجة حرارة الغرفة. أُلاحظ من الجدول أنّ مقدار معامل التمدّد الطولي للفلزات يكون أكبر من مقداره للموادّ الأُخرى.

أتحقّق: ما العوامل التي يعتمد عليها التمدّد الطولي للموادّ الصلبة؟

أُفكّر: أطرح سؤالا تكون إجابته: بسبب اختلاف معاملات تمدد زجاج البايركس عن الزجاج العادي (مستعينًا بالجدول (3)).

الجدول 3: معامل التمدّد الطولي لموادّ مختلفة عند درجة حرارة الغرفة ($20^{\circ}C$).

المادّة	معامل التمدّد الطولي α ($^{\circ}C^{-1}$)
الألمنيوم	24×10^{-6}
النحاس	17×10^{-6}
الخرسانة	12×10^{-6}
الفولاذ / الحديد	11×10^{-6}
الزجاج العادي	9×10^{-6}
زجاج البايركس	3.2×10^{-6}

المثال 8

يبلغ طول أحد قضبان سكّة حديد (30 m) عند درجة حرارة (0°C). إذا علمتُ أنّ القضيب مصنوع من الفولاذ Steel، وبالاستعانة بالبيانات الواردة في الجدول (3)، فأحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . طول القضيب الفولاذي عندما تصبح درجة حرارته (50°C).

ب. النقصان في طول القضيب الفولاذي عندما تصبح درجة حرارته (-50°C).

المعطيات: $l_i = 30\ \text{m}\ ,\ T_i = 0^\circ\text{C}\ ,\ T_{f1} = 50^\circ\text{C}\ ,\ T_{f2} = -\ 50\ ^\circ\text{C}\ ,\ \alpha_{steel} = 11 \times 10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1}$

المطلوب: $l_f = ?\ ,\ \Delta l = ?$

الحلّ:

أ. أستخدمُ المعادلة الآتية في حساب التغيّر في طول قضيب الفولاذ.

$$\Delta l = \alpha l_i \Delta T$$

$$= 11 \times 10^{-6} \times 30 \times (50 - 0)$$

$$= 1.65 \times 10^{-2}\ \text{m} = 1.65\ \text{cm}$$

نظرًا إلى صغر معامل التمدّد الحراري يكون مقدار التمدّد صغيرًا.

أجد الطول النهائي لقضيب الفولاذ على النحو الآتي:

$$\Delta l = l_f - l_i$$

$$l_f = \Delta l + l_i = 1.65 \times 10^{-2} + 30$$

$$= 30.0165\ \text{m}$$

ب. أستخدمُ المعادلة السابقة نفسها في إيجاد مقدار التمدّد أو مقدار التقلّص. ولمّا كانت الزيادة في طول قضيب الفولاذ (1.65×10^{-2} m) عند رفع درجة حرارته بمقدار (50°C)، فإنّ مقدار تقلّصه عند انخفاض درجة حرارته بمقدار (50°C) سيكون (1.65×10^{-2} m).

تمرين

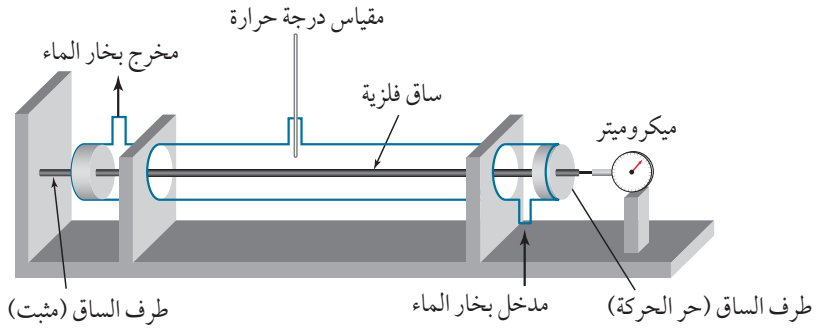
أستخدمُ الأرقام: مسطرة طولها (30 cm) مصنوعة من الفولاذ، تكون أكثر دقّة عند استخدامها عند درجة حرارة (20°C). بالاستعانة بالبيانات الواردة في الجدول (3)، أحسبُ مقدار طول المسطرة عند استخدامها عند درجة حرارة (35°C).

المثال 9

استخدمت مجموعة من الطالبات جهاز قياس معامل التمدد الطولي المبين في الشكل (14/ أ) لقياس معامل التمدد الطولي لساق فلزية. باستخدام الميكروميتر، قاست الطالبات الزيادة في طول الساق عند رفع درجة حرارتها، والجدول المجاور يوضح البيانات التي حصلن عليها.

درجة الحرارة الابتدائية $T_i = 20^\circ C$ الطول الابتدائي $l_i = 700\ mm$

$T_f(^\circ C)$	$\Delta l(mm)$
25	0.005
30	0.03
40	0.15
50	0.28
60	0.395
70	0.51
80	0.645



الشكل (14/أ): قياس معامل التمدد الطولي.

أ . أمثل النتائج المعطاة في الجدول بيانيًّا.

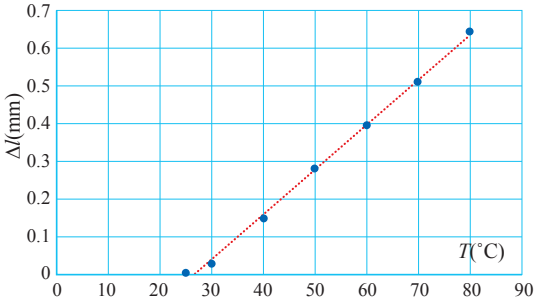
ب. أحسب معامل التمدد الطولي للساق، وأحدد نوع مادة الساق، مستعينًا بالجدول (3).

المعطيات: مخطط التجربة، بيانات التجربة.

المطلوب: تمثيل بياني للبيانات ؟ = α معرفة نوع المادة.

الحلّ:

أ. أستخدم برمجية (Excel)، مع مراعاة تمثيل المتغير المستقل (T) على محور (x) والمتغير التابع (Δl) على محور (y). كما في الشكل (14/ ب).



الشكل (14/ب): التمثيل البياني لبيانات التجربة.

ب. مستعينا ببرمجية Excel أحسب ميل الخط المستقيم:

$$slope = \frac{\Delta l}{\Delta T} \approx 0.0118\ mm/^\circ C$$

ثم أحسب معامل التمدد الطولي للساق:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{\Delta T\, l_i} = \frac{slope}{l_i} = \frac{0.0118}{700} = 17 \times 10^{-6}\ ^\circ C^{-1}$$

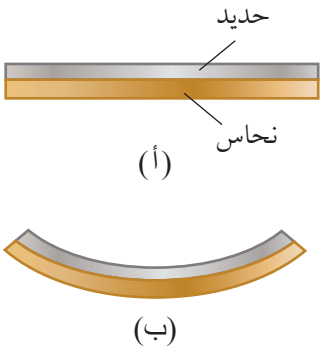
بالرجوع إلى الجدول (3)، ومقارنة معامل التمدد للساق بمعاملات التمدد للفلزات أستنتج أن الساق مصنوعة من النحاس.

أفكّر: في أيّ اتّجاه ينحني الشريط الثنائي الفلزّ عند تبريده؟ أوضح إجابتي بالرسم.

تطبيقات على التمدّد الطولي Applications of Linear Expansion

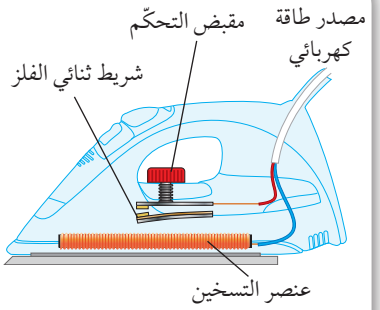
يختلف معامل التمدد الطولي من مادة إلى أخرى، ولهذا الاختلاف في معاملات التمدّد مزايا وعيوب، فمثلًا، يراعي المهندسون ذلك عند تصميمهم الجسور والمباني والسكك الحديدية وغيرها، فمثلًا، في الأسمنت المسلح تُستخدم قضبان من الحديد مع الخرسانة (الأسمنت والحصى وغيرهما) من أجل تقويتها؛ لأن لهما معامل التمدّد نفسه، وإلّا تصدّع البناء عند تعرّضه باستمرار لارتفاع درجة حرارته وانخفاضها بتغيّر درجة حرارة الجو.

من التطبيقات المهمّة للاختلاف في معاملات التمدد صناعة الشريط الثنائي الفلزّ Bimetalic strip. يتكوّن الشريط ثنائي الفلزّ من شريطين فلزّيين مختلفين مثبّتين معًا، ولهما الطول نفسه، ويكونان عادة من الحديد والنحاس، أنظرُ إلى الشكل (15/ أ). وعند تسخين الشريط يتمدّد النحاس بمقدار أكبر من تمدّد الحديد بسبب الاختلاف في معامل التمدّد الحراري الطولي للفلزّين، أنظرُ الجدول (3)، ونظرًا إلى أنّ الشريطين مثبّتان معًا، فإنّ الشريط ثنائي الفلزّ ينحني نحو الحديد، بحيث يكون النحاس على السطح الخارجي للشريط، أنظرُ إلى الشكل (15/ ب).



الشكل (15):
أ. شريط ثنائي الفلز من الحديد والنحاس بدرجة حرارة الغرفة.
ب. ينحني الشريط نحو الحديد عند تسخينه.

يستخدم الشريط ثنائي الفلز في منظم الحرارة Thermostat. ويوضّح الشكل (16) منظّم حرارة في دارة مكواة كهربائية. فعندما تصل درجة حرارة عنصر التسخين إلى درجة الحرارة المطلوبة، ينحني الشريط بعيدًا عن نقطة التوصيل الكهربائي، فتفصل الدارة الكهربائية في المكواة، ولا يمر فيها تيار كهربائي، وعندما يبرد الشريط، فإنّه يعود إلى وضعه الابتدائي (مستقيمًا)، فيلامس نقطة التوصيل الكهربائي ويُغلق الدارة الكهربائية، وتعمل المكواة مرّة أُخرى، وإذا دُوّر مقبض التحكّم بحيث ينزل إلى أسفل قليلًا، فيجب أن ينحني الشريط الثنائي الفلزّ بمقدار أكبر لفتح الدارة الكهربائية، وهذا يتطلّب ارتفاع درجة حرارة الشريط بمقدار أكبر.



الشكل (16): يُستخدم الشريط ثنائي الفلزّ في منظّم الحرارة في المكواة الكهربائية.

التمدّد الحراري السطحي Thermal Surface Expansion

عند رفع درجة حرارة صفيحة رقيقة من مادّة صلبة فإنّها تتمدّد، إذ يتغيّر مقدار كلّ من طولها وعرضها فتزداد مساحتها. وإذا احتوت الصفيحة تجويفًا يزداد نصف قطره (نتيجة تمدّد مادّة الصفيحة المحيطة به) كما لو كان ممتلئًا بمادّة الصفيحة نفسها. أنظرُ إلى الشكل (17/ أ)، الذي يُبيّن تمدّد قرص فلزّي وازدياد نصف قطره عند رفع درجة حرارته بمقدار (ΔT)، في حين يُبيّن الشكل (17/ ب) ازدياد نصف قطر التجويف بالمقدار نفسه، كما لو كان ممتلئًا بمادّة القرص نفسها عند رفع درجة حرارته بالمقدار (ΔT) نفسه.

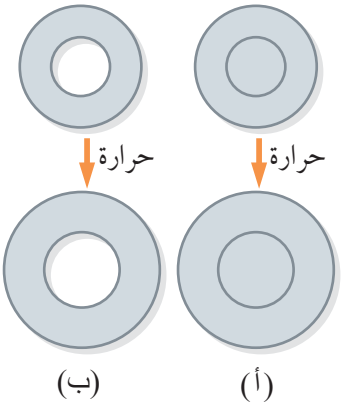
أتحقّق: ما الذي يحدث لأبعاد صفيحة فلزّيّة رقيقة عند رفع درجة حرارتها؟

التمدّد الحراري الحجمي Thermal Volume Expansion

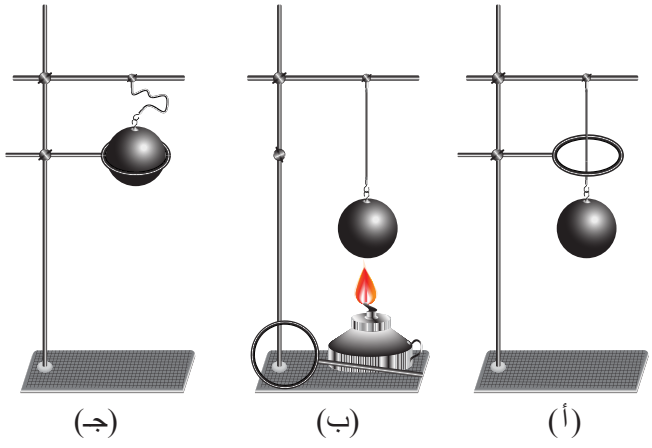
تتمدّد الموادّ الصلبة حجميًّا عند رفع درجة حرارتها، إذ يزداد كلّ من طولها وعرضها وارتفاعها فيزداد حجمها. وإذا احتوى الجسم الصُّلْب فجوات، فإنّها تتمدّد بالكيفية نفسها كما لو كانت ممتلئة بمادّة الجسم الصُّلْب نفسها. ويوضّح الشكل (18) تجربة الحلقة والكرة؛ فعند درجة حرارة الغرفة أستطيع إدخال الكرة الفلزّية من الحلقة الفلزّية بسهولة. أمّا عند تسخين الكرة، فإنّه يصعب إدخالها من الحلقة؛ فقد ازداد نصف قطر الكرة ومن ثَمَّ، ازداد حجمها، وأصبح نصف قطرها أكبر من نصف قطر الحلقة.

أبحثُ

يُستخدم الشريط الثنائي الفلزّ في مُنظِّمات الحرارة في السخانات الكهربائية، وفي الثلاجات، وغيرها من الدارات الكهربائية. أبحثُ عن مبدأ عمل منظّم الحرارة ودور الشريط ثنائي الفلز فيها، وأُعدّ عرضًا تقديميًّا، ثمّ أعرضه على زملائي/ زميلاتي في الصفّ.



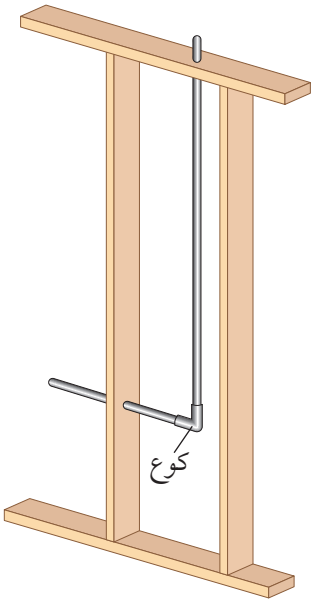
الشكل (17):
أ. يزداد نصف قطر القرص الفلزّي عند رفع درجة حرارته.
ب. يزداد نصف قطر التجويف عند رفع درجة حرارته.



الشكل (18):
أ. عند درجة حرارة الغرفة تدخل الكرة بسهولة من الحلقة الفلزية.
ب. عند تسخين الكرة الفلزية يزداد نصف قطرها فيزداد حجمها.
جـ. يصبح قطر الكرة أكبر من قطر الحلقة فلا تدخل منها.

المثال 10

يبين الشكل (19/ أ) مقطعًا من أنبوب نحاس على شكل حرف (L) داخل جدار منزل. الأنبوب الأفقي طوله (28.0 cm) والرأسي طوله (134 cm)، ويربط بينها «كوع». أحسب الإزاحة الحادثة للكوع عند ارتفاع درجة حرارة الماء داخله من (18.0°C) إلى (46°C).



الشكل (19/ أ):
تمدد الأنابيب.

المعطيات:

$l_1 = 28.0\ \text{cm},\ l_2 = 134\ \text{cm},\ T_i = 18.0^\circ\text{C},\ T_f = 46^\circ\text{C},\ \alpha = 17 \times 10^{-6}(^\circ\text{C})^{-1}$

المطلوب:

$d = ?,\ \theta = ?$

الحلّ:

عند ارتفاع درجة الحرارة، يتمدد الأنبوب الأفقي بمقدار (Δx) والأنبوب الرأسي بمقدار (Δy)، يمكن حسابهما وفقًا للعلاقة الآتية:

$$\Delta l = \alpha l_i \Delta T$$

$$\Delta x = 17 \times 10^{-6} \times 28 \times (46 - 18) = 1.33 \times 10^{-2}\ \text{cm}$$

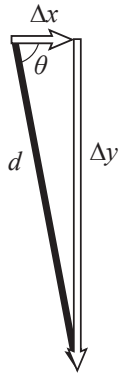
$$\Delta y = 17 \times 10^{-6} \times 134 \times (46 - 18) = 6.38 \times 10^{-2}\ \text{cm}$$

ثم تحسب الإزاحة من العلاقة الآتية:

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \sqrt{(1.33)^2 + (6.28)^2} \times 10^{-2} = 0.64\ \text{mm}$$

ويكون اتجاه الإزاحة أسفل محور (x) ،كما يبين الشكل (19/ ب) بزاوية (θ) مقدارها:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{6.28}{1.33}\right) = 78.04^\circ$$



الشكل (19/ ب): اتجاه الإزاحة.

التمدّد الحراري للسوائل Thermal Expansion of Liquids

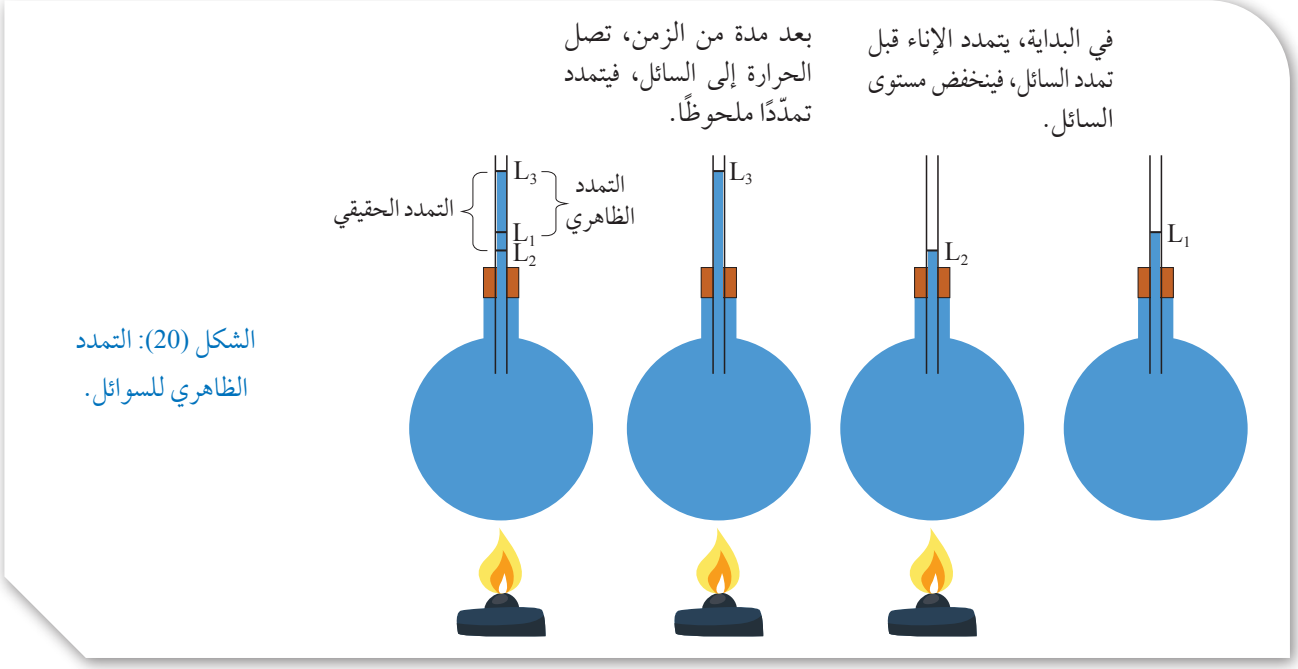
السوائل ليس لها شكل محدد، فالسائل يأخذ شكل الإناء الذي يحتويه، بذلك فإنه يمكننا تحديد كمية السائل عن طريق حجمه، ومن ثَمَّ، فإن تمدد السوائل يكون تمدّدًا حجميًّا. والسوائل تتمدد بنسبة أكبر بكثير من تمدد المواد الصلبة، للارتفاع نفسه في درجات الحرارة؛ نظرًا إلى اختلاف طبيعة قوى الترابط بين الجسيمات، فحرية حركة جسيمات السائل أكبر منها في جسيمات المادة الصلبة.

عند تسخين سائل في دورق كما في الشكل (20)، تنتقل الحرارة عبر الإناء إلى السائل، ما يعني أن الإناء يتمدد أولًا، فينخفض مستوى السائل في الأنبوب قليلًا، وعندما تصل الحرارة إلى السائل ويسخن، يتمدد تمدّدًا ملحوظًا ويتجاوز مستواه الأصلي، ويصعب مراقبة هذه التغيرات اللحظية لتمدد السائل، لكن يمكننا فقط ملاحظة المستويين الابتدائي والنهائي للسائل. ويُعرف هذا التمدد الملحوظ بالتمدد الظاهري للسائل.

أتحقّق: لماذا تتمدد السوائل بنسبة أكبر بكثير من تمدد المواد الصُّلْبة، للارتفاع نفسه في درجات الحرارة؟

الربط بالحياة

يمكن أن يؤدي الاختلاف في التمدد الحراري للمواد إلى ظواهر مثيرة للاهتمام؛ فقد نشاهد تدفق الوقود (البنزين) من خزان وقود السيارة بعد تعبئتها بقليل في يوم حار؛ بسبب الاختلاف في تمدد كل من خزان الوقود الفلزي والوقود. فالوقود يتمدد تمدّدًا أكبر بكثير من الخزان، وعليه، قد يتدفق الوقود من الخزان إلى الخارج، وقد يسبب الاختلاف في التمدد مشكلة في قراءة عداد الوقود في السيارة، فإذا كان السائق معتادًا على قطع مسافة معينة بعد أن تضيء الإشارة التحذيرية بنفاد الوقود في فصل الشتاء، فإنه لن يتمكن من قطع هذه المسافة صيفًا، وسبب ذلك أن تمدد الوقود في الصيف يزيد حجم الوقود في الخزان مع أن الكمية أقل مما هي عليه في الشتاء، لذلك لن تكفي هذه الكمية لقطع المسافة نفسها كما في الشتاء.



الشكل (20): التمدد الظاهري للسوائل.

شذوذ الماء Anomalous Behavior of Water

عند تسخين أغلب السوائل يزداد حجمها وتقلّ كثافتها، حيث ($\rho = \frac{m}{V}$)، وعند تبريدها يقلّ حجمها فتزداد كثافتها. ويشذّ عن هذا السلوك الماء بين درجتَي الحرارة (0°C) و (4°C).

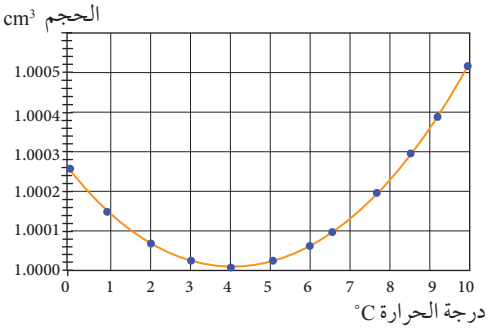
عند تبريد الماء إلى (4°C) فإنّه يتقلص، مشابهًا بذلك في سلوكه بقيّة السوائل، ولكن في أثناء تبريده من 4°C إلى 0°C فإنّه يتمدّد، مخالفًا بهذا السلوك سلوك بقية السوائل التي يقلّ حجمها باستمرار تبريدها حتّى تجمّدها، إذ يكون أقل حجم لكمّية من الماء (أكبر كثافة) عند (4°C). أنظرُ إلى الشكل (21). ويُطلق على سلوك الماء هذا بين درجتَي حرارة (4°C) و (0°C) **شذوذ الماء Anomalous behavior of water.**

يُفسّر شذوذ الماء سبب بقاء الأسماك وأشكال الحياة البحرية الأُخرى على قيد الحياة، في البحار والمحيطات والبحيرات في فصل الشتاء، إذ يبرد الماء الموجود في الجزء العلوي منها أوّلًا، فيقل حجمه وتزداد كثافته ويغوص إلى قاعها؛ لأنّه أكبر كثافة حاملًا معه الأكسجين اللازم لتنفّس الكائنات البحرية، ثم يرتفع الماء الأكثر دفئًا والأقلّ كثافة إلى السطح (حاملًا معه ثاني أكسيد الكربون)، فتنخفض درجة حرارته نتيجة ملامسته الهواء البارد، ثمّ يغوص إلى أسفل، وهكذا دواليك. وإذا انخفضت درجة حرارة الماء على السطح إلى ما دون (4°C)، فإنّها تصبح أقلّ كثافة وتبقى في الأعلى، وتُشكّل في النهاية طبقة من الجليد عند درجة حرارة (0°C) وتتجمّد مياه بحيرة مثلًا بدايةً من السطح، مع بقاء الماء تحت الطبقة الجليدية سائلًا، ما يسمح للكائنات البحرية في البقاء على قيد الحياة، وتكون درجات حرارة طبقات الماء في بحيرة كما في الشكل (22).

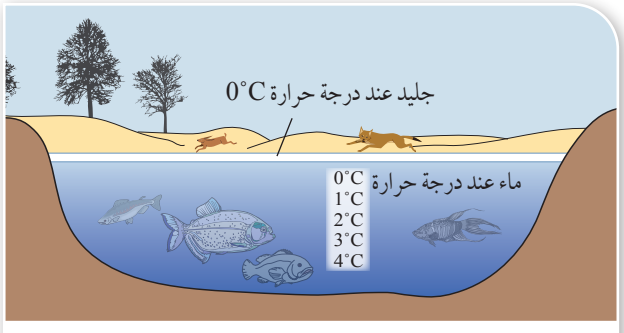
الربط بالحياة

عندما يتجمّد الماء عند درجة حرارة (0°C) يحدث تمدّد في حجمه، ويصبح حجم كلّ ($100\ cm^3$) من الماء مساويًا ($109\ cm^3$) من الجليد. وهذا يُفسّر سبب انفجار أنابيب المياه المكشوفة في الطقس شديد البرودة، ويفسّر أيضًا حقيقة أنّ كثافة الجليد أقلّ من كثافة الماء البارد؛ لذا فهو يطفو على سطح الماء.

أتحقّق: ما سبب بقاء الأسماك وأشكال الحياة البحرية المختلفة على قيد الحياة في البحيرات المتجمّدة؟



الشكل (21): يكون أقل حجم لكمية من الماء عند(4°C).



الشكل (22): نتيجة شذوذ الماء؛ يتجمّد ماء البحيرة من أعلى إلى أسفل.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** لماذا تتمدّد الموادّ الصلبة عند تسخينها؟ ما المقصود بمعامل التمدد الطولي؟

2. **أُفسّر** سبب تقوّس الشريط ثنائي الفلزّ عند تسخينه.

3. **أضبط المتغيرات:** أراد صقر دراسة التمدّد الطولي لفلزّين مختلفين، فأحضر سلكين رفيعين (A) و(B) من الفلزّين، لهما الطول نفسه ودرجة الحرارة الابتدائية نفسها، ثم سخّنهما بحيث ارتفعت درجتا حرارتيهما بالمقدار نفسه. لاحظ صقر أنّ مقدار الزيادة في طول السلك (B) أكبر منها للسلك (A). أجيب عمّا يأتي:

   أ. لماذا ضبطنا التغيّر في درجة الحرارة للفلزّين؟

   ب. يتناسب مقدار التمدّد الطولي لجسم طرديًّا مع طوله. هل يُمكن لصقر أن يستنتج ذلك من تجربته هذه؟ أفسر إجابتي.

   جـ. **أصدر حكما** على صحة استنتاج صقر أنّ: "معامل التمدّد الطولي لمادّة السلك (B) أكبر منه لمادّة السلك (A)".

4. **التفكير الناقد:** يُبيّن الشكل المجاور إناءً زجاجيًّا مغلقًا بغطاء فلزّي. حاولت هدى فتح الغطاء الفلزّي لكنّها وجدت صعوبة في ذلك. بناءً على ما تعلّمْتُه في هذا الدرس أقترح طريقة على هدى تمكّنها من فتح الغطاء الفلزّي بسهولة. أُفسّر إجابتي.

5. **أُصدرُ حُكمًا:** في أثناء دراستي وزميلتي باسمة هذا الدرس، قالت: "يجب أن يكون معامل تمدّد مادّة حشو الأسنان أكبر من معامل تمدّد مينا الأسنان؛ لكي تثبت الحشوة في السن ولا تسقط". أُناقش زملائي/ زميلاتي في صحّة قول باسمة.

الثلّاجات Refrigerators

كيف تُبرّد الثلاجة الطعام؟ لماذا يكون الجزء الخلفي من الثلاجة ساخنًا؟

يعتمد مبدأ عمل الثلّاجة على بذل شغل لنقل كمّية من الطاقة من داخل الثلّاجة إلى خارجها .

تتكوّن عملية التبريد من أربع مراحل:

المرحلة الأولى: تكون درجة حرارة سائل التبريد أقل من درجة حرارة الهواء داخل الثلاجة، فيكتسب السائل طاقة من داخل الثلاجة، وترتفع درجة حرارته، وتستمر هذه العملية إلى أن يتحول سائل التبريد إلى الحالة الغازية.

المرحلة الثانية: يدخل الغاز إلى المحرك الضاغط الذي يعمل على زيادة ضغط الغاز ونقصان حجمه دون حدوث تبادل حراري.

المرحلة الثالثة: ينتقل الغاز ذو الضغط المرتفع عبر الأنابيب (الجزء الخارجي من الثلاجة) فيحدث تبادل حراري بين الغاز وهواء الغرفة، فيفقد الغاز طاقة حرارية إلى الوسط المحيط، فيبرد ويتكاثف ويتحول إلى الحالة السائلة.

المرحلة الرابعة: يمر السائل عبر صمام تمدد يعمل على تبريد السائل، فتقل طاقته الداخلية بحيث تصبح مماثلة لطاقته عند بدء العملية، وتتكرر دورة التبريد.

أبحث أبحثُ عن مبدأ عمل مكيّف هواء، مستعينًا بمصادر المعرفة المناسبة، ثمّ أُعدّ وأفراد مجموعتي تقريرًا مدعَّمًا بالصور يوضّح ذلك، ثمّ أُقارنه بمبدأ عمل الثلّاجة.

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكلّ جملة ممّا يأتي:

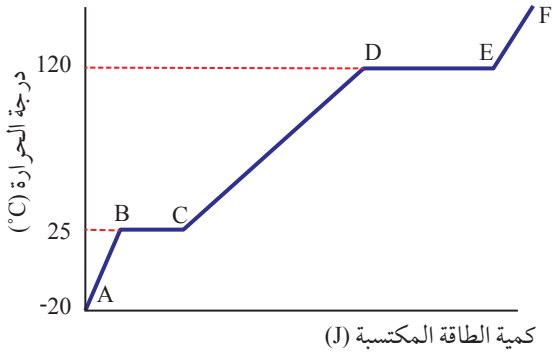
1. وحدة قياس الحرارة بحسب النظام الدولي للوحدات، هي:

أ . السُّعْر. ب. الكلفن. جـ. السلسيوس. د. الجول.

2. ما السَّعَة الحرارية النوعية بوحدة (J/kg.K) لفلزّ كتلته (620 g) إذا لزم (15000 J) لرفع درجة حرارته من (20°C) إلى (85°C)؟

أ. 3.72 ب. 231 جـ. 15000 د. 372

* يوضّح الشكل أدناه منحنى (درجة الحرارة – الطاقة المكتسبة) لكتلة محدّدة من مادّة ما في أثناء تزويدها بالطاقة. أستعين بهذا الشكل على الإجابة عن الأسئلة (6 – 3):



3. أيّ أجزاء المنحنى البياني يُشير إلى زيادة في متوسّط الطاقة الحركية لجُسيمات المادّة؟

أ . AB، CD، EF. ب. AB، BC، CD.

جـ. BC، DE. د . AB، BC.

4. أيّ أجزاء المنحنى البياني يُشير إلى زيادة فقط، في مقدار الطاقة الكامنة لجُسيمات المادّة؟

أ . AB، CD، EF. ب. AB، BC، CD.

جـ. BC، DE. د . AB، CD.

5. ماذا تُسمّى كمّية الطاقة المكتسبة اللازمة للانتقال من النقطة (B) إلى النقطة (C)؟

أ. السَّعَة الحرارية النوعية. ب. الحرارة النوعية الكامنة للانصهار.

جـ. الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد. د. متوسّط الطاقة الحركية لجُسيمات المادّة.

6. ما مقدار درجة غليان المادّة؟

أ. -20°C ب. 25°C جـ. 120°C د. 0°C

7. ما الذي يحدث لطاقة جُسيمات مادّة في أثناء تغيّر حالتها الفيزيائية من السائلة إلى الغازية؟

أ . تزداد طاقتها الحركية فقط.

ب. تزداد طاقتها الكامنة فقط.

جـ. تزداد طاقتها الحركية وطاقتها الكامنة.

د . لا تتغيّر طاقتها الحركية ولا الكامنة.

8. جسمان: A وB، حدث اتّصال حراري بينهما ولم تتغيّر درجتا حرارتيهما. أستنتجُ أنّ الجسمين:

أ . مختلفان في الكتلة.

ب. لهما السَّعَة الحرارية النوعية نفسها.

جـ. لهما الكتلة نفسها.

د . متّزنان حراريًّا.

9. عندما يتجمد الماء فإن:

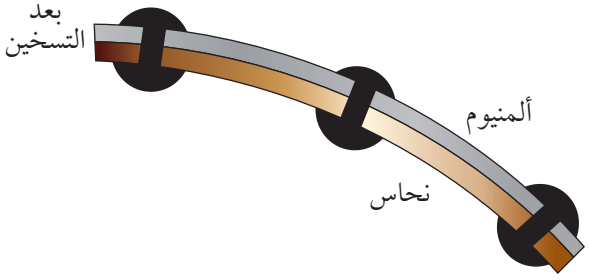
أ . الكثافة تقل، والكتلة تزداد.

ب. الكثافة تقل، والكتلة تقل .

جـ. الكثافة تقل، والكتلة تبقى ثابتة.

د. الكثافة تزداد ، والكتلة تزداد.

10. يوضّح الشكل أدناه شريطًا ثنائي الفلزّ بعد تسخينه إلى درجة حرارة أكبر من درجة حرارة الغرفة. عند تبريد الشريط إلى ما دون درجة حرارة الغرفة بكثير فإنّه:



أ . يصبح مستقيمًا.

ب. يزداد انثناؤه نحو النحاس.

جـ. ينثني نحو الألمنيوم.

د . لا يتغيّر انثناؤه إذ يبقى ثابتًا.

2. **أُفسّر** ما يأتي:

أ . الحرق الناتج من تعرّض شخص لكتلة معيّنة من بخار ماء بدرجة حرارة (100°C)، أشدّ من الحرق الناتج من تعرّضه لكتلة مساوية من الماء بدرجة حرارة (100°C).

ب. الكأس الزجاجية السميكة أكثر عرضة للكسر من الكأس الزجاجية غير السميكة، عند سكب شاي ساخن فيها.

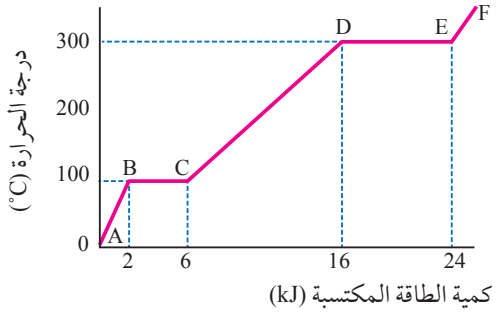
3. **أستنتج:** هل الموادّ التي ترتفع درجة حرارتها بسرعة وتبرد بسرعة، لها سَعة حرارية نوعية كبيرة أم صغيرة؟ أوضح إجابتي.

4. **أستخدمُ الأرقام:** كرة ألمنيوم كتلتها (0.05 kg)، وُضِعت في مسعّر حراري يحتوي ماءً كتلته (0.15 kg) ودرجة حرارته (20°C)، فكانت درجة الحرارة النهائية للنظام عند الاتّزان الحراري (24°C). إذا علمتُ أنّ النظام مغلق ومعزول، وبإهمال الطاقة التي تكتسبها مادّة المسعّر، فأحسبُ مقدار ما يأتي:

أ. التغيّر في الطاقة الحرارية للماء.

ب. درجة حرارة كرة الألمنيوم الابتدائية.

5. **أستخدم البيانات:** سُخّنت عيّنة من مادّة ما كتلتها (10 g)، فتغيّرت درجة حرارتها على نحو ما هو موضّح في الشكل. أُجيب عمّا يأتي:



أ . ما درجة انصهار هذه المادّة؟

ب. ما الحالة الفيزيائية للمادّة بين النقطتين (B) و(C)؟

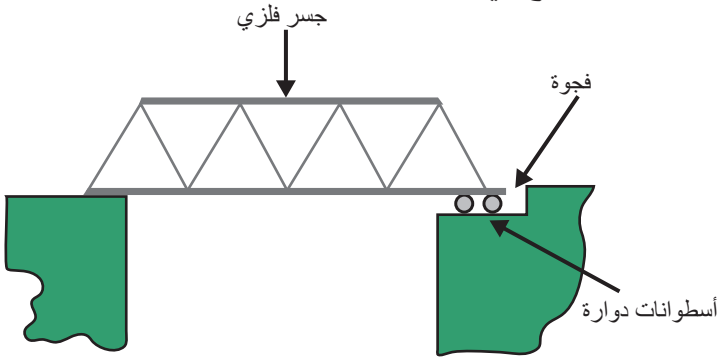
جـ. أحسبُ الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد لهذه المادّة.

د . **أطرح سؤالًا** تكون إجابته: "لأن كمية الحرارة التي تنتقل إلى المادة تستخدم في تفكيك الروابط بين جزيئاتها ولا تكسب هذه الجزيئات طاقة حركية".

6. **التفكير الناقد:** تقول هناء إنّه يمكنها تبريد المطبخ في يوم حارّ عن طريق فتح باب الثلّاجة فيه. أُناقش زميلي/ زميلتي في صحّة قولها.

7. **أستخدمُ الأرقام:** يُستخدم سلك نحاس طوله (2 m) في مدفأة كهربائية. بالاستعانة بالبيانات الواردة في الجدول (3)، أحسبُ مقدار طول السلك عندما ترتفع درجة حرارته بمقدار (100°C).

8. **التفكير الناقد:** يبين الشكل جسر من الفولاذ فوق نهر. أحد طرفي الجسر يرتكز على أسطوانات دوارة مع ترك فجوة "فراغ" كما هو موضح في الشكل.

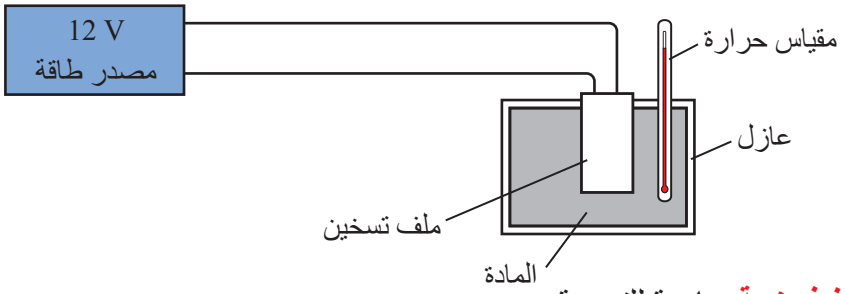


أ . ما الهدف من جعل أحد طرفي الجسر يرتكز على الأسطوانات الدوارة؟

ب. هل تكون الفجوة أكبر في الصيف أم في الشتاء؟ أفسر إجابتي.

جـ. **أتوقع:** ماذا سيحدث لو بُنِي الجسر ولم يُترك الفراغ (الفجوة)؟

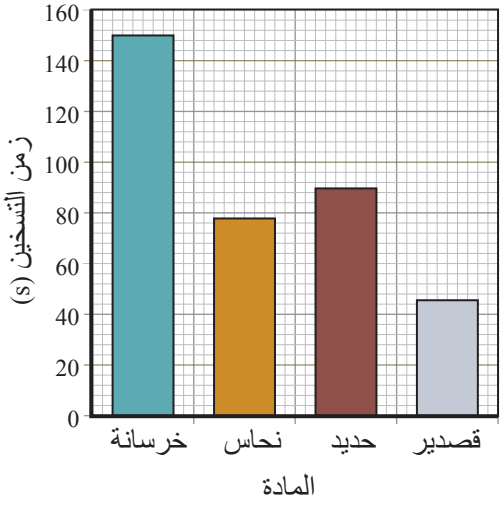
9. **أستنتج:** يبين الشكل المجاور مخططًا لتجربة أجرتها مجموعة من الطلبة لمقارنة كمية الطاقة اللازمة لتسخين أربع قطع من مواد مختلفة. استخدم الطلبة كتلًا متساوية، لها درجة الحرارة الابتدائية نفسها، ثم قاسوا الزمن اللازم لترتفع درجة حرارة كل قطعة بمقدار (5°C).



أ . **أصوغ فرضية** مناسبة للتجربة.

ب . **أضبط المتغيرات:** أحدد المتغير المستقل، والمتغير التابع، ومتغيرين ضبطهما الطلبة في التجربة.

جـ. الشكل المجاور يبين التمثيل البياني لنتائج التجربة. لماذا اختار الطلبة تمثيل النتائج بهذه الطريقة، وليس على شكل منحنًى؟



د . ما المادة التي زُودت بأكبر كمية من الطاقة؟ أذكر سببًا يدعم صحة إجابتي.

هـ. إذا كانت كتلة قطعة الحديد (2 kg). أحسب كمية الطاقة المنقولة من ملف التسخين إلى القطعة لرفع درجة حرارتها بمقدار (5°C). (مستعينًا بالجدول1 في الكتاب)

10. **أصمم استقصاءً:** قرأ أحمد المعلومة الآتية على أحد مواقع الإنترنت الموثوقة "في المدن التي يكثر فيها تساقط الثلوج، ترشّ المؤسسات الحكومية ملحًا فوق الطرق قبل تساقط الثلج وفي أثناء تساقطه". فطرح أحمد السؤال الآتي:

ما فائدة رش الملح على الطرق الجليدية؟ ثم قرر أن يتبع الطريقة العلمية للإجابة عن سؤاله.

أصوغ فرضية عن "أثر أضافة الملح إلى درجة تجمد الماء"، ثم أنفّذ تجربة مناسبة لاختبار الفرضية، لمساعدة أحمد على الإجابة عن سؤاله.

مسرد المصطلحات

- **اتزان حراري Thermal Equilibrium:** الحالة التي يتساوى عندها معدلا انتقال الطاقة بين جسمين؛ إذ يصبح لهما درجة الحرارة نفسها، ويكون صافي الطاقة المنتقلة بين الجسمين صفرًا.
- **تغير الحالة الفيزيائية Phase Change :** تحول الماة من حالة فيزيائية إلى أخرى، مثل الانصهار أو التجمد، مع عدم تغير في درجة حرارة المادة في أثناء ذلك، على الرغم من تزويدها بالطاقة.
- **جول joule:** الشغل الذي تبذله قوة مقدارها (1 N) عندما تؤثر في جسم فتحركه إزاحة مقدارها (1 m) في اتجاهها.
- **حرارة Heat:** طاقة تنتقل من الجسم الأعلى درجة حرارة إلى الجسم الأدنى درجة حرارة، عندما يكونان في حالة اتصال حراري.
- **حرارة نوعية كامنة للانصهار Specific Latent Heat of Fusion:** كمية الطاقة اللازمة لتحويل (1 kg) من المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة من دون تغير درجة حرارتها.
- **حرارة نوعية كامنة للتصعيد Specific Latent Heat of Vaporization:** كمية الطاقة اللازمة لتحويل (1 kg) من المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية من دون تغير درجة حرارتها.
- **حفظ الطاقة الميكانيكية Conservation of Mechanical Energy:** تبقى الطاقة الميكانيكية لنظام (أو جسم في نظام) ثابتة في ظل وجود قوى محافظة فقط تبذل شغلًا.
- **درجة الانصهار Melting Point:** درجة الحرارة التي تتغير عندها الحالة الفيزيائية للمادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة، وهي خاصية فيزيائية للمادة النقية.
- **درجة الغليان Boiling Point:** درجة الحرارة التي تتغير عندها الحالة الفيزيائية للمادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية، وهي خصيصة فيزيائية للمادة النقية.
- **سَعَة حرارية نوعية Specific Heat Capacity:** كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة (1 kg) من المادة بمقدار (1 °C).
- **شذوذ الماء Anomalous Behavior of Water:** سلوك الماء بين درجتي حرارة (4 °C) و (0 °C) يخالف المواد الأخرى؛ فهو يتمدد عند تبريده من (4 °C) إلى (0 °C)، في حين أنّ بقية السوائل يقل حجمها. ويكون حجم كمية من الماء عند درجة (4 °C) أقل ما يمكن.

- **شغل Work:** كمية قياسية تساوي ناتج الضرب القياسي لمتجهي القوة والإزاحة، وهو إحدى طرائق نقل الطاقة بين الأجسام.
- **طاقة Energy:** كمية قياسية، وهي مقدرة الجسم على بذل شغل، تقاس بوحدة جول.
- **طاقة حرارية Thermal Energy:** مجموع الطاقة الحركية لجسيمات الجسم جميعها.
- **طاقة داخلية Internal Energy:** مجموع الطاقة الحركية والطاقة الكامنة لجسيمات النظام جميعها.
- **طاقة حركية Kinetic Energy:** طاقة مرتبطة بحركة الجسم، تتناسب طرديًّا مع كل من كتلته ومربع سرعته.
- **طاقة ميكانيكية Mechanical Energy**: مجموع طاقة حركة الجسم وطاقة وضعه عند موقع معين.
- **طاقة وضع مرونية Elastic Potential Energy:** طاقة كامنة تختزن في جسم مرن (مثل نابض) نتيجة تغير في شكله أو طوله.
- **طاقة وضع ناشئة عن الجاذبية الأرضية Gravitational Potential Energy:** الطاقة المختزنة في نظام (جسم – الأرض) نتيجة موقع الجسم في مجال الجاذبية الأرضية.
- **قدرة Power :** ناتج قسمة الشغل الكلي المبذول على الزمن المستغرق في بذله.
- **قدرة لحظية Instantaneous Power:** القدرة عند لحظة معينة وتساوي حاصل ضرب مقدار السرعة اللحظية في مركبة القوة (في اتجاه السرعة).
- **قوة محافظة Conservative Force :** قوة شغلها يساوي سالب التغير في طاقة الوضع للنظام.
- **قوة غير محافظة Nonconservative Force:** قوة تبذل شغلا يؤدي إلى تغير في الطاقة الميكانيكية للنظام.
- **مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركية) Work-Kinetic Energy Theorem:** تنص على أن الشغل المبذول على جسم يساوي التغير في طاقته الحركية.
- **معامل التمدد الطولي Coefficient of Linear Expansion:** مقدار الزيادة في طول (1 m) من المادة عند رفع درجة حرارتها بمقدار (1 °C).
- **واط watt:** قدرة آلة تبذل شغلًا مقداره (1 J) خلال زمن (1 s).

جدولُ الاقتراناتِ المثلثيةِ

الزاوية	sinθ	cosθ	tanθ
صفر	0.0000	1.000	0.000
1	0.018	1.000	0.018
2	0.035	0.999	0.035
3	0.052	0.999	0.052
4	0.070	0.998	0.070
5	0.087	0.996	0.088
6	0.105	0.995	0.105
7	0.122	0.993	0.123
8	0.139	0.990	0.141
9	0.156	0.989	0.158
10	0.174	0.985	0.176
11	0.191	0.982	0.194
12	0.208	0.978	0.213
13	0.225	0.974	0.231
14	0.242	0.970	0.249
15	0.259	0.966	0.268
16	0.276	0.961	0.287
17	0.292	0.956	0.306
18	0.309	0.951	0.325
19	0.326	0.946	0.344
20	0.342	0.940	0.364
21	0.358	0.934	0.384
22	0.375	0.927	0.404
23	0.391	0.921	0.425
24	0.407	0.914	0.445
25	0.423	0.906	0.466
26	0.438	0.899	0.488
27	0.454	0.891	0.510
28	0.470	0.883	0.531
29	0.485	0.875	0.554
30	0.500	0.866	0.577
31	0.515	0.857	0.604
32	0.530	0.848	0.625
33	0.545	0.839	0.650
34	0.559	0.829	0.675
35	0.574	0.819	0.700
36	0.588	0.809	0.727
37	0.602	0.799	0.754
38	0.616	0.788	0.781
39	0.629	0.777	0.810
40	0.643	0.766	0.839
41	0.656	0.755	0.869
42	0.669	0.734	0.900
43	0.682	0.731	0.932
44	0.695	0.719	0.966
45	0.707	0.707	1.000

الزاوية	sinθ	cosθ	tanθ
46	0.719	0.695	1.036
47	0.731	0.682	1.072
48	0.743	0.669	1.110
49	0.756	0.656	1.150
50	0.766	0.643	1.192
51	0.777	0.629	1.235
52	0.788	0.616	1.280
53	0.799	0.602	1.327
54	0.809	0.588	1.376
55	0.819	0.574	1.428
56	0.829	0.559	1.483
57	0.839	0.545	1.540
58	0.848	0.530	1.600
59	0.857	0.515	1.664
60	0.866	0.500	1.732
61	0.875	0.485	1.804
62	0.883	0.470	1.880
63	0.891	0.454	1.963
64	0.899	0.438	2.050
65	0.906	0.423	2.145
66	0.914	0.407	2.246
67	0.921	0.391	2.356
68	0.927	0.375	2.475
69	0.935	0.384	2.605
70	0.940	0.342	2.748
71	0.946	0.326	2.904
72	0.951	0.309	3.078
73	0.956	0.292	3.271
74	0.961	0.276	3.487
75	0.966	0.259	3.732
76	0.970	0.242	4.011
77	0.974	0.225	4.331
78	0.978	0.208	4.705
79	0.982	0.191	5.145
80	0.985	0.174	5.671
81	0.988	0.156	6.314
82	0.990	0.139	7.115
83	0.993	0.122	8.144
84	0.995	0.105	9.514
85	0.996	0.087	11.43
86	0.998	0.070	14.30
87	0.998	0.052	19.08
88	0.999	0.035	28.64
89	1.000	0.018	57.29
90	1.000	0.000	∞

قائمةُ المراجعِ

1. Avijit Lahiri, **Basic Physics: Principles and Concepts,,** Avijit Lahiri, 2018
2. David Halliday, Robert Resnick , Jearl Walker, **Fundamentals of Physics**, Wiley; 11 edition 2018.
3. Douglas C. Giancoli, Physics: **Principles with Applications**, Addison Wesley, 6th edition, 2009.
4. Gurinder Chadha, **A Level Physics a for OCR**, A Level Physics a for OCR, 2015.
5. Hugh D. Young , Roger A. Freedman, **University Physics with Modern Physics**, Pearson; 14 edition (February 24, 2015)
6. Paul A. Tipler, Gene Mosca, **Physics for Scientists and Engineers**, W. H. Freeman; 6th edition, 2007.
7. Paul G. Hewitt, **Conceptual Physics**, Pearson; 14th edition, 2015.
8. R. Shankar, **Fundamentals of Physics I: Mechanics, Relativity, and Thermodynamics**, Yale University Press; Expanded Edition, 2019.
9. Raymond A. Serway , John W. Jewett, **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics**, Cengage Learning; 9th edition, 2013.
10. Raymond A. Serway, Chris Vuille, **College Physics**, Cengage Learning; 11 edition, 2017.
11. Roger Muncaster, **A Level Physics**, Oxford University Press; 4th edition, 2014.
12. Steve Adams, **Advanced Physics**, Oxford University Press, USA; 2nd. Edition, 2013.
13. Tom Duncan, **Advanced Physics**, Hodder Murray; 5th edition, 2000.

Collins