



الفيزياء

الصف الحادي عشر - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الأول

11

فريق التأليف

موسى عطا الله الطراونة (رئيساً)

خلدون سليمان المصاروة

أ.د. محمود إسماعيل الجاغوب

يعيى أحمد طواها

موسى محمود جرادات

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

يسُرُّ المركز الوطني لتطوير المناهج استقبال آرائكم وملحوظاتكم على هذا الكتاب عن طريق العنوانين الآتية:



06-5376262 / 237



06-5376266



P.O.Box: 2088 Amman 11941



@nccdjor



feedback@nccd.gov.jo



www.nccd.gov.jo

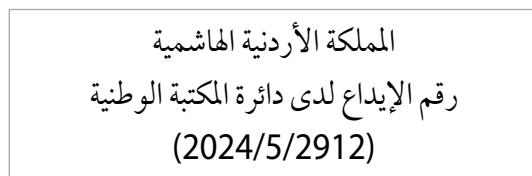
قررت وزارة التربية والتعليم تدريس هذا الكتاب في مدارس المملكة الأردنية الهاشمية جميعها، بناءً على قرار المجلس الأعلى للمركز الوطني لتطوير المناهج في جلسته رقم (4) 2024/6/6، وقرار مجلس التربية والتعليم رقم (66/2024)، تاريخ 26/6/2024 م، بدءاً من العام الدراسي 2024 / 2025 م.

© HarperCollins Publishers Limited 2022.

- 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:



بيانات الفهرسة الأولية للكتاب:

عنوان الكتاب	الفيزياء/ كتاب الطالب: الصف الحادى عشر، الفصل الدراسي الأول
إعداد / هيئة	الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج
بيانات النشر	عمان: المركز الوطني لتطوير المناهج، 2024
رقم التصنيف	373,19
الواصفات	/ الفيزياء/ /أساليب التدريس/ /المناهج/ / التعليم الثانوي/
الطبعة	الطبعة الأولى

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

المراجعة والتعديل

موسى محمود جرادات

ميمي محمد التكروري

د. محمد كريم الضمور

التحكيم الأكاديمي

د. رامي مصطفى علي

التصميم والإخراج

نايف محمد أمين مرادشة

التحرير اللغوي

د. خليل إبراهيم القعسي

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.

قائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع
5	المقدمة
7	الوحدة الأولى: الشغل والطاقة
9	تجربة استهلاكية: حساب الشغل
10	الدرس الأول: الشغل والقدرة
24	الدرس الثاني: الطاقة الميكانيكية
36	الدرس الثالث: الشغل وحفظ الطاقة الميكانيكية
48	الإثراء والتوسيع: طاقة الرياح
53	الوحدة الثانية: الديناميكا الحرارية
55	تجربة استهلاكية: تأثير كتلة الجسم في تغير درجة حرارته
56	الدرس الأول: تبادل الطاقة الحرارية
70	الدرس الثاني: حالات المادة
81	الدرس الثالث: التمدد الحراري
92	الإثراء والتوسيع: الثلاجة
97	مسرد المصطلحات
99	جدول الاقترانات المثلثية
100	قائمة المراجع



المقدمة

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

يُعد هذا الكتاب واحداً من سلسلة كتب الباحث العلمية التي تُعني بتنمية المفاهيم العلمية، ومهارات التفكير وحل المشكلات، ودمج المفاهيم الحياتية والمفاهيم العابرة للمواد الدراسية، والإفادة من الخبرات الوطنية في عمليات الإعداد والتأليف وفق أفضل الطرائق المتّبعة عالمياً؛ لضمان انسجامها مع القيم الوطنية الراسخة، وتلبيتها حاجات أبنائنا الطلبة والمعلّمين والمعلمات.

وقد روّيَ في تأليفه تقديم المعلومة العلمية الدقيقة وفق منهجية تقوم على السلامة في العرض، والوضوح في التعبير، إضافة إلى الربط بين الموضوعات المطروحة في المراحل الدراسية السابقة واللاحقة، واعتماد منهجية التدرج في عرض موضوعات المادة، واستهلال وحداتها بأسئلة تُظهر علاقة علم الفيزياء بالظواهر من حولنا؛ ما يُحفّز الطلبة إلى الإلقاء مما يتعلمونه في غرفة الصف في تفسير مشاهدات يومية وظواهر طبيعية يشاهدونها في التلفاز، أو يسمعون عنها. وقد تضمنَت كل وحدة نشاطاً إثرائياً يعتمد منحى STEAM في التعليم الذي يُستعمل لدمج العلوم والتكنولوجيا والهندسة والفن والعلوم الإنسانية والرياضيات في أنشطة الكتاب المتنوعة، وفي قضايا البحث.

ويتألّف الكتاب من وحدتين دراسيتين، هما: الشغل والطاقة، والديناميكا الحرارية. وقد أُحق به كتاب لأنشطة التجارب العملية، يحتوي التجارب والأنشطة جميعها الواردة في كتاب الطالب؛ ليساعدُه على تنفيذها بسهولة، بإشراف المعلم / المعلمة، بما في ذلك رصد القراءات، وتحليلها، ثم مناقشتها، وصولاً إلى استنتاجات مبنية على أسس علمية سلمية. ويتضمن أيضاً أسئلة تفكير؛ بهدف تعزيز فهم الطلبة موضوعات المادة، وتنمية التفكير الناقد لديه.

ونحن إذ نقدم هذه الطبعة من الكتاب، فإننا نؤمل أن يُسهم في تحقيق الأهداف والغايات النهائية المنشودة لبناء شخصية المتعلم، وتنمية اتجاهات حبّ التعلم ومهارات التعلم المستمر، إضافة إلى تحسين الكتاب بإضافة الجديد إلى محتواه، وإثراء أنشطته المتنوعة، والاستئناس بلاحظات المعلمين والمعلمات.

والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

الوحدة

1

الشغل والطاقة Work and Energy

AWA2EL
LEARN 2 BE



أتأمل الصورة

الفيزياء والطاقة

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

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

الفكرة العامة:

إن المعرفة بقوانين الشغل والطاقة عند تنفيذ الإنشاءات واحتزاع الآلات، يوفر على الإنسان الجهد والمال والوقت.

الدرس الأول: الشغل والقدرة

الفكرة الرئيسية: الشغل نتاج قوة تؤثر في الأجسام، ويختلف مفهوم الشغل فيزيائياً عن معناه الشائع. ويُستعمل مفهوم القدرة للمقارنة بين الآلات المختلفة في المعدل الزمني لإنجاز الشغل نفسه.

الدرس الثاني: الطاقة الميكانيكية

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

الدرس الثالث: الشغل وحفظ الطاقة الميكانيكية

الفكرة الرئيسية: 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.



تجربة استهلاكية

حساب الشغل

المواد والأدوات: ميزان نابضي، 3 أثقال مختلفة (100 g, 200 g, 300 g)، مسطرة مترية، شريط لاصق، حامل أثقال.

إرشادات السلامة: ارتداء المعطف، واستعمال النظارات الواقية للعينين، وتجنب سقوط الأجسام والأدوات على القدمين.

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

أختبر فرضيتي:

أنفذ الخطوات الآتية بالتعاون مع أفراد مجموعتي:

1 أضبط المتغيرات: أحدد علامتين على المسطرة المترية باستعمال الشريط اللاصق، تكون المسافة بينهما (50 cm)، وأدونها في جدول البيانات للمحاولات الثلاث. ثم يثبت أحد أفراد مجموعتي المسطرة المترية رأسياً على سطح الطاولة.

2 أقيس: أحمل الميزان النابضي رأسياً في الهواء موازياً للمسطرة المترية، وأعلق حامل الأثقال في خطافه، ثم أضع الثقل (100 g) على الحامل؛ بحيث يكون بجانب العلامة السفلية على المسطرة. أدون قراءة الميزان في المكان المخصص في جدول البيانات للمحاولة (1).

3لاحظ: أرفع الثقل رأسياً إلى أعلى إزاحة مقدارها (50 cm) بسرعة ثابتة تقربياً، ويلاحظ أحد أفراد مجموعتي قراءة الميزان في أثناء ذلك. أدون قراءة الميزان تحت عمود القوة اللازمة في جدول البيانات للمحاولة (1).

4 أكرر الخطوتين (2 - 3) بتعليق الثقلين (200 g) و (300 g) كل على حدة في حامل الأثقال، وأدون نتائجي في جدول البيانات.

التحليل والاستنتاج:

1. **أفسر:** لماذا رفعت الثقل بسرعة ثابتة؟

2. **أحسب** الشغل المبذول لرفع كل ثقل بضرب مقدار القوة اللازمة لرفعه في مقدار الإزاحة التي تحركها، ثم أدونه في جدول البيانات.

3. **أستنتج** العلاقة بين وزن الثقل ومقدار الشغل المبذول لرفعه بسرعة ثابتة.

4. **أصدر حكماً** عما إذا كانت النتائج قد توافقت مع فرضيتي أم لا.

الشغل والقدرة

Work and Power

1

الدرس

الفكرة الرئيسية:

الشغل Work

يرتبط مفهوم الشغل بتأثير قوّة في جسم وتحريكها له، فإذا أثّرت قوّة (F) في جسم وأحدثت له إزاحة اتجاهها غير متواز مع اتجاه القوّة، فإنّ هذه القوّة تكون قد بذلت شغلاً Work على الجسم. وقد تعلمت في صفوف سابقة حساب الشغل الذي تبذل قوّة ثابتة، عندما يكون اتجاه الإزاحة باتجاه القوّة المؤثرة، مثل الحالة المبينة في الشكل (1).

في هذا الدرس سنتعرف كيفية حساب الشغل الكلي الذي تبذل قوّي ثابتة عدة تؤثر في الجسم، والشغل الذي تبذل قوّة متغيرة.

أتحقق: متى يكون شغل القوّة صفرًا؟ ✓

الشكل (1): يبذل الشخص شغلاً على السيارة عندما تحرّك في الاتجاه نفسه لقوّة المؤثرة فيها.

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

نتاجات التعلم:

- أحسب الشغل الذي تبذل قوّة ثابتة، والشغل الذي تبذل قوّة متغيرة.
- أفرق بين مفهومي الشغل والقدرة.
- أشرح أهميّة استعمال مفهوم القدرة في وصف الآلات.
- أحسب قدرة آلية مُعبّراً عنها بمعادلة.
- أطّبّق بحل مسائل على الشغل والقدرة.

المفاهيم والمصطلحات:

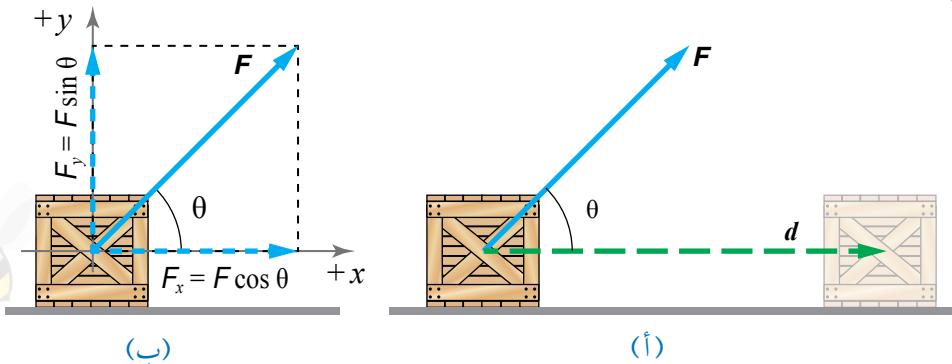
Work	الشغل
Joule	الجول
Power	القدرة
Watt	الواط

القوّة (F)

الإزاحة (d)



الشكل (2): (أ) قوّة ثابتة تصنّع زاوية (θ) مع اتجاه الإزاحة، (ب) تحليل متّجه القوّة المؤثّرة إلى مركّبيه.



الشغُل الذي تبذله قوّة ثابتة Work Done by a Constant Force

عندما تؤثّر قوّة ثابتة F في جسم وتحرّكه إزاحة d كما هو موضّع في الشكل (2/أ)، فإنّ شغلها يُساوي ناتج الضرب القياسي لمتجه القوّة في متّجه الإزاحة كما يأتي:

$$W_F = \mathbf{F} \cdot \mathbf{d}$$

$$= F d \cos \theta$$

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

ف عند تحليل متّجه القوّة المؤثّرة إلى مركّبيه: مركّبة أفقية موازية لاتّجاه الإزاحة ($F_x = F \cos \theta$)، ومرکّبة عمودية على اتجاه الإزاحة ($F_y = F \sin \theta$). فإنّ المركّبة الموازية لاتّجاه الإزاحة هي التي تبذل شغلاً فقط، أما المركّبة العمودية، فلا تبذل شغلاً؛ لعدم وجود إزاحة في اتجاهها.

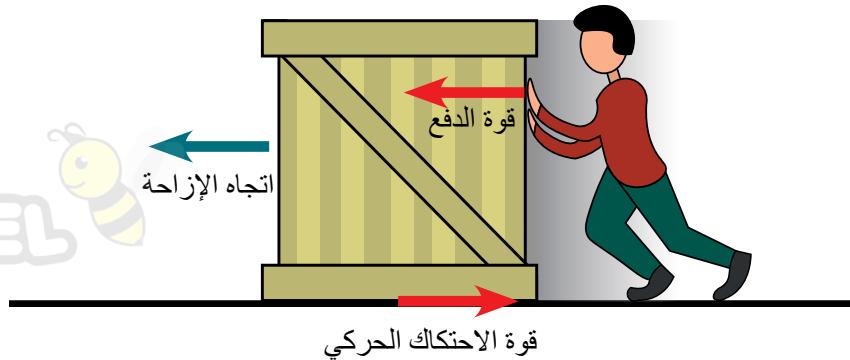
ويُقاس الشغُل بوحدة الجول (J) joule بحسب النظام الدولي للوحدات؛ تكريماً للعالم (جيتس بريسكوت جول). ويُعرّف الجول بأنه الشغُل الذي تبذله قوّة مقدارها (1 N) عندما تؤثّر في جسم، وتحرّكه إزاحة مقدارها (1 m) في اتجاهها.



أُصْمِم باستعمال
برنامِج السكراتش (Scratch)
عرضاً يوضّح الشغُل الذي
تبذله قوّة ثابتة، ثم أشارَكَه
زملائي / زميلاتي في الصف.

أُفْخِر: عندما أدفع جداراً أو أدفع جسماً ثقيلاً لا أستطيع تحريكه من مكانه؛ فإني فيزيائياً لا أبذل شغلاً عليه. فلماذا أشعر بالتعب إذاً؟ أناشِن أفراد مجموعتي، وأستعمل مصادر المعرفة الموثوقة والمُتاحة ومنها الإنترنُت للتوصّل إلى إجابة عن السؤال.

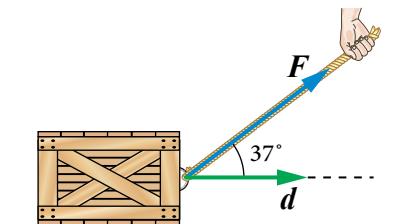
أتحقّق: ما الشغُل؟ وما وحدة قياسه بحسب النظام الدولي للوحدات؟



الشكل (3): تبذل قوة الدفع شغلاً موجياً، وتبذل قوة الاحتكاك شغلاً سالباً.

بناء على معادلة حساب الشغل، لاحظ أن الشغل قد يكون موجياً أو سالباً، فمثلاً، عند دفع صندوق على سطح أفقي كما في الشكل (3) فإن القوة المؤثرة تكون باتجاه الإزاحة ($\theta = 0^\circ$)، فتبذل شغلاً موجياً يعبر عن مقداره بالعلاقة ($W_F = Fd$). في حين يكون اتجاه قوة الاحتكاك الحركي عكس اتجاه الإزاحة ($\theta = 180^\circ$)، فتبذل قوة الاحتكاك شغلاً سالباً يعبر عنه بالعلاقة ($W_f = -fd$).

أفكار: ما التفسير الفيزيائي لكُل من الشغل الموجب والشغل السالب المبذولين على جسم؟

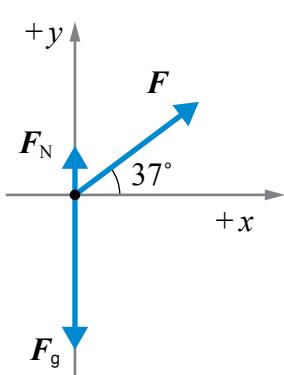


الشكل (4/أ): سحب صندوق على سطح أفقي أملس.

يسحب محمد صندوقاً كتلته (20 kg) على سطح أفقي أملس إزاحة مقدارها (5 m)، بواسطة جبل يميل على الأفقي بزاوية مقدارها (37°) كما هو موضح في الشكل (4/أ). إذا علمت أن مقدار قوة الشد في

الجبل (N 140)، فاحسب مقدار ما يأتي:
أ. الشغل الذي بذله محمد على الصندوق.

ب. الشغل الذي بذلتة قوة الجاذبية الأرضية على الصندوق.



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

$$W_F = ?, W_g = ?$$

المطلوب:

الحل:

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

الشكل (4/ب): مخطط الجسم الحر للصندوق.

أ . أستعمل معاًلة الشغل الآتية مع تعويض $\theta = 37^\circ$

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

ب . الاحظ أن قوة الجاذبية الأرضية عمودية على اتجاه الحركة ($\theta = 90^\circ$), فلا تبذل شغلاً على الصندوق.

الشغل الذي تبذله عدة قوى ثابتة

Work Done by Many Constant Forces

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

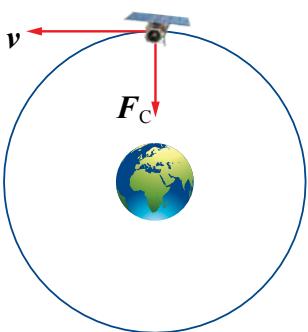
$$\begin{aligned} W_{\text{Total}} &= W_1 + W_2 + W_3 + \dots \\ &= F_1 d_1 \cos \theta_1 + F_2 d_2 \cos \theta_2 + F_3 d_3 \cos \theta_3 + \dots \\ &= \sum_{i=1}^n F_i d_i \cos \theta_i \end{aligned}$$

حيث تمثل n عدد القوى المؤثرة في الجسم.

كما يمكن حساب الشغل الكلّي المبذول بحساب شغل القوى المحصلة المؤثرة في الجسم.

تحقق: كيف أحسب شغل عدّة قوى ثابتة تؤثّر في جسم؟ ✓

الربط بالفضاء



الشكل (5): لا تبذل القوة المركزية (قوة الجاذبية) شغلاً على قمر صناعي يتحرك حركة دائرية متقطمة حول الأرض.

تدور بعض الأقمار الصناعية في مسارات دائيرية حول الأرض؛ إذ تتأثّر بقوّة مركزية (قوّة التجاذب الكتلي بينها وبين الأرض) تكون عمودية على اتجاه إزاحة القمر الصناعي عند كلّ موقع في مساره الدائريّ؛ لذا لا تبذل هذه القوة شغلاً عليه، ويبقى القمر الصناعي متتحرّكاً بسرعة مماسية ثابتة مقداراً. انظر إلى الشكل (5).

يساعد خالد والدته على ترتيب المنزل، وفي أثناء ذلك يرفع صندوقاً عن سطح الأرض رأسياً إلى أعلى بسرعة ثابتة إلى ارتفاع (1.5 m). إذا علمت أن كتلة الصندوق (5 kg)، وتسارع السقوط الحر (10 m/s^2)

تقريباً، فأحسب مقدار الشغل:

أ. الذي يبذله خالد على الصندوق.

ب. الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية على الصندوق.

ج. الكلي المبذول على الصندوق.

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

المعطيات:

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

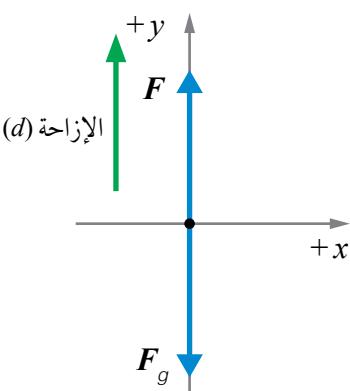
المطلوب:

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

الحلّ:

أرسم مخطط الجسم الحر للصندوق كما في الشكل (6).

أ . لحساب مقدار الشغل الذي يبذله خالد على الصندوق؛ يلزم معرفة مقدار القوة التي يؤثّر بها في الصندوق؛ لأنّ خالداً يرفع الصندوق بسرعة ثابتة (تسارع صفر)، فتكون القوة المحصلة المؤثرة فيه في الاتّجاه الرأسي تساوي صفرًا.



الشكل (6): مخطط الجسم الحر.

$$\sum F_y = ma = 0$$

$$F - F_g = 0$$

$$F = F_g = mg = 5 \times 10 = 50 \text{ N}$$

الاحظ أنّ مقدار القوة اللازم تأثيرها في الصندوق يساوي مقدار وزنه.

أستعمل معادلة الشغل الآتية، وألاحظ أنّ اتجاه القوة المؤثرة من خالد (F) في اتجاه الإزاحة نفسه $\theta = 0^\circ$.

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

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

$$= 75 \text{ J}$$

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

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



ج. الشغل الكلّي المبذول على الصندوق، يساوي مجموع شغل خالد وشغل قوّة الجاذبية الأرضية، يساوي أيضًا شغل القوّة المحصلة المؤثّرة في الصندوق.

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

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

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

.....

لذلك

أستعمل الأرقام: يجرّ قارب سفينة بحبل يصنع زاوية (25°) أسفل الأفق بسرعة ثابتة إزاحة مقدارها $(2 \times 10^2 \text{ m})$ بقوّة شدّ مقدارها $(2 \times 10^3 \text{ N})$. إذا كان الحبل مهملاً الكتلة وغير قابل للاستطاله، فأحسب مقدار ما يأتي:



أ . الشغل الذي يبذله القارب على السفينة.

ب . الشغل الذي تبذله القوى المُعوّقة المؤثّرة في السفينة.

الشغل الذي تبذله قوّة متغيّرة Work Done by a Varying Force

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

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

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

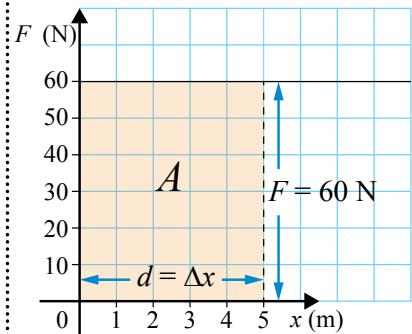
أي أن المساحة الممحضورة بين منحنى (القوّة - الإزاحة) ومحور الإزاحة، تساوي عدديًّا الشغل الذي تبذله القوّة خلال مدة تأثيرها.

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

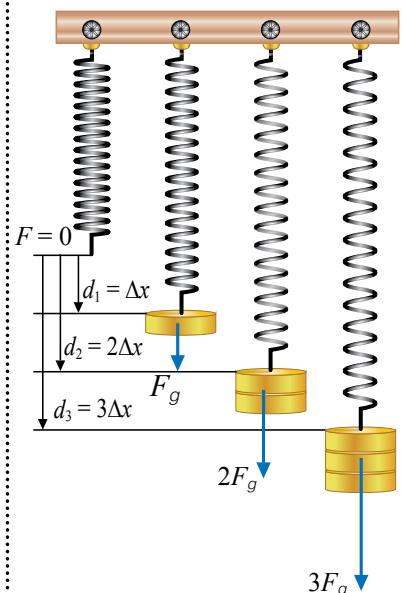
ومن أمثلة القوى المتغيّرة: القوّة اللازمة لشد نابض، فعند شد نابض أو ضغطه يتغيّر مقدار القوّة اللازم التأثير بها في النابض بتغيير مقدار الاستطالة الحادثة له، ويبين الشكل (8) أن مقدار قوة الشد المؤثرة في نابض يتتناسب طرديًّا مع مقدار استطالة النابض.



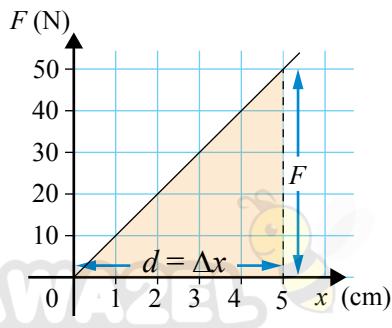
أُصمت باستعمال برنامج السكراتش (Scratch) عرضًا يوضح الشغل الذي تبذله قوّة متغيّرة، ثم أشاركه زميلي / زميلاتي في الصف.



الشكل (7): الشغل يساوي عدديًّا المساحة الممحضورة بين منحنى (القوّة - الإزاحة) ومحور الإزاحة، وتتساوی مساحة المستطيل المظلل.



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



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

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

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

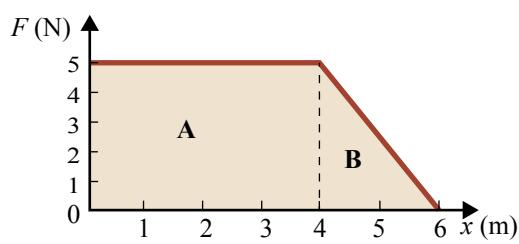
$$W = \frac{1}{2} F \Delta x$$

حيث: (Δx) الاستطالة الحادثة للنابض.

أتحقق: كيف أحسب 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). أحسب الشغل الذي بذلته القوّة المحصّلة:



الشكل (10): شغل قوّة متغيّرة.

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

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

ج. خلال الإزاحة كاملة (الشغل الكلي).

المعطيات: منحنى (القوّة - الإزاحة).

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

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).

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

ب. الشغل بين المواقعين (4 m) و (6 m) يساوي المساحة B عددياً، ويساوي مساحة مثلث قاعدته (2 m) وارتفاعه (5 N).

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

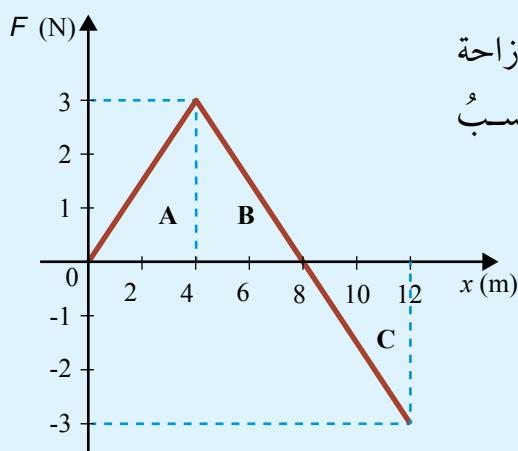
$$W = \frac{1}{2} \times (6 - 4) \times 5 = 5 \text{ J}$$



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

ح. الشغل الكلي الذي بذلته القوة المحصلة المتغيرة على الجسم يساوي عددياً مجموع المساحتين A و B.

تمرين



أستنتج: أثرت قوة محصلة متغيرة في جسم، فحرّكته إزاحة مقدارها (12 m) كما هو موضح في الشكل (11). أحسب الشغل الذي بذلته القوة المحصلة:

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

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

الشكل (11): منحنى (القوة - الإزاحة) لقوة

محصلة متغيرة تؤثّر في جسم.

ج. عند حركة الجسم من الموضع (8 m) إلى الموضع (12 m).

د . خلال الإزاحة كاملةً (الشغل الكلي).

الشكل (12): استعمال مضخة
ماء لضخ الماء إلى سطح عمارة.



القدرة Power

الربط بالحياة

تستخدم وحدة الحصان في التعبير عن قدرة محركات السيارات. عندما نقارن بين سيارتين الأولى قدرة محركها (120 hp) والثانية قدرة محركها (70 hp). فإن السيارة الأولى يمكنها أن تتسارع بمقدار أكبر من السيارة الثانية، فمثلاً، إذا تحركت السيارات بسرعة نفسها، فإن الفرق هو أن السيارة الأولى وصلت إلى هذه السرعة بزمن أقل.

أتحقق: ما المقصود بالقدرة؟
وما وحدة قياسها؟

يريد صديقي شراء مضخة ماء؛ لكي يستعملها لضخ الماء إلى سطح عمارة، أنظر إلى الشكل (12). عثر على مضختين: الأولى يمكنها رفع (50 kg) ماء إلى ارتفاع رأسى مقداره (7 m) خلال (7.2 s)، والثانية يمكنها رفع كمية الماء نفسها لارتفاع نفسه خلال (9 s)، فأي المضختين أنصحه بشرائها؟ وما الكمية الفизيائية التي يمكن عن طريقها المفاضلة بين هاتين المضختين؟
الآن لاحظ أنّ الشغل الذي تبذله المضختان في رفع الماء متساوٍ، على الرغم من اختلاف زمن إنجازه؛ لذا سيختار المضخة الأولى التي تنجز الشغل نفسه خلال زمن أقل. والكمية الفизيائية التي يمكن عن طريقها المفاضلة بين معدل بذل الشغل لآلات أو أجسام مختلفة هي **القدرة (P)** وتُعرف بأنّها المعدل الزمني للشغل المبذول، أي أنها تساوي ناتج قسمة الشغل المبذول (W) على الزمن المستغرق في بذله (Δt). وتحسب القدرة المتوسطة (\bar{P}) وفقاً للمعادلة الآتية:

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

الآن لاحظ أنّ وحدة قياس القدرة هي (J/s)، وتُسمى **واط (W)** بحسب النظام الدولي للوحدات، وهو يساوي قدرة آلة أو جهاز يبذل شغلاً مقداره (J) خلال مدة زمنية مقدارها (s). كما تستخدم وحدة حصان (hp) في قياس القدرة، ويساوي (746 W)، وتعرف هذه الوحدة أنها قدرة آلة تنجز شغلاً مقداره (746 J) خلال مدة زمنية مقدارها (1 s).

القدرة اللحظية Instantaneous Power

قد يتحرك الجسم بسرعة متغيرة فيقطع إزاحات غير متساوية في مدد زمنية متساوية، ويترتب من ذلك أن تغير قدرته من لحظة إلى أخرى، تُعرف القدرة اللحظية **(P)** بأنها القدرة عند لحظة زمنية معينة، وتساوي ناتج ضرب مقدار سرعة الجسم اللحظية (v) في مركبة القوة في اتجاه السرعة نفسه $(F \cos \theta)$ عند تلك اللحظة. ويُحسب مقدارها بالعلاقة الآتية:

$$P = Fv \cos \theta$$

أما القدرة المتوسطة، فتحسب بقسمة الشغل الكلي على زمن إنجازه، وإذا تحرك جسم بسرعة ثابتة، فإن قدرته اللحظية تساوي قدرته المتوسطة.



أعد فيلمًا قصيراً باستخدام برنامج صانع الأفلام movie maker يوضح 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 زميلي/ زميلتي في الصف.

أتحقق: كيف أحسب قدرة محرك سيارة تحرّك بسرعة متّجهة ثابتة؟ ✓

المثال 4

مضخة ماء ترفع (50 kg) من الماء رأسياً بسرعة ثابتة إلى ارتفاع (7 m) خلال مدة زمنية مقدارها (7.2 s) . إذا علمت أن تسارع السقوط الحر (10 m/s^2) ، فأحسب مقدار:

- الشغل الذي تبذله المضخة في رفع الماء.
- القدرة المتوسطة للمضخة.

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

المطلوب: $W = ?$, $\bar{P} = ?$

الحل:

أ. لحساب شغل المضخة في رفع الماء بسرعة ثابتة يجب تطبيق القانون الثاني لنيوتون؛ لحساب القوة اللازمة لرفع الماء، حيث القوة المحصلة المؤثرة فيه في الاتجاه الرأسى تساوى صفرًا.

$$\sum F_y = ma = 0$$

$$F - F_g = 0$$

$$F = F_g$$

$$= mg = 50 \times 10$$

$$= 500 \text{ N}$$

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

$$\begin{aligned}W &= F d \cos 0^\circ \\&= 500 \times 7 \times 1 \\&= 3500 \text{ J}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{P} &= \frac{W}{\Delta t} \\&= \frac{3500}{7.2} \\&= 486 \text{ W}\end{aligned}$$

ب. القدرة المتوسطة للمضخة:

لذلك

1. **استخدم الأرقام:** سيارة كتلتها (1400 kg) تحرّك بسرعة متّجهة ثابتة مقدارها (25 m/s) على طريق أفقى، ومجموع قوى الاحتكاك المؤثرة فيها يساوى (2000 N). أحسب مقدار ما يأتي:
أ. قدرة محرك السيارة بوحدة الواط (W)، ووحدة الحصان (hp).

ب. تسارع السيارة إذا أصبحت القوة التي يؤثّر بها المحرك في السيارة (2280 N)، ولم يتغيّر مجموع قوى الاحتكاك.

2. **استخدم الأرقام:** رافعة يولّد محركها قدرة مقدارها (1200 W) لرفع ثقل كتلته (400 kg) بسرعة ثابتة إلى ارتفاع (90 m) عن سطح الأرض، خلال مدة زمنية مقدارها (5 min)، أنظر إلى الشكل (13). إذا علمت أنّ تسارع السقوط الحر (10 m/s^2)؛ فأحسب مقدار ما يأتي:

أ. الشغل الذي يبذله محرك الرافعة في رفع الثقل.

ب. السرعة التي يتحرّك بها الثقل.

ج. الشغل الذي تبذله قوّة الجاذبية الأرضيّة على الثقل في أثناء رفعه.

الشكل (13): رافعة ترفع ثقلاً رأسياً إلى أعلى.





الشكل (14): الطريق الملوكى - وادى الموجب.

الربط بالهندسة

عند شقّ الطرق خلال الأودية والجبال، يُراعى في تصميمها أن تُشقّ مُتعرّجة (Zig-Zag) بدلاً من شقّها مستقيمة. ويوضح الشكل (14) الطريق الملوكى الذي يشقّ وادى الموجب ويصل بين محافظتي الكرك ومأدبا، ألاحظ شكل الطريق المُتعرّج، ويكون تعرّج الطريق أكبر في جزئه الواقع في محافظة الكرك؛ حيث انحدار الوادي في هذا الجانب أكبر.

إنّ عملية شقّ الطريق مُتعرّجة يجعلها أقل انحداراً، ما يُقلّل مقدار قوّة محرك السيارة الالازمة لصعود الجبل، وبال مقابل تزداد المسافة اللازم قطعها، فلا يتغيّر مقدار الشغل المبذول لصعود الجبل عند الحركة بسرعة ثابتة. أمّا الزمن المستغرق في صعود الجبل باستعمال الطرق المُتعرّجة فيزداد، ما يؤدّي إلى صعود المنحدر بقدرة أقل من تلك اللازمة لصعوده في حال الطريق المستقيم.

أفـْكـِر: إذا كنتُ مسؤولاً عن رحلة كشفية، وصادفتُ طريقاً مستقيماً يصل إلى قمة جبل، فما الطريق التي أتبعها وأفراد مجموعي لصعود الجبل على هذه الطريق، بحيث نؤثّر بمقدار قوّة قليل ونتجنبّ تعريضنا للإجهاد والتعب؟ أناقش أفراد مجموعي، وأستعمل مصادر المعرفة الموثوقة والمتأتية للتوصّل إلى إجابة عن السؤال.

ابحـثـُ

علم الفيزياء دور مهمّ في تصميم الطرق، وتحديد الواقع التي تحتاج إلى دعامات أو جدران استنادية (داعمة) أو جسور في أثناء شقّ الطريق.
ابحث في دور مهندسي الطرق في تصميم الطرق الجبلية والطرق التي تمرّ خلال أودية سحيقة. وأعدّ عرضاً تقديميّاً أعرضه على طلبة الصفّ.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسية:** ما المقصود بالشغل؟ وما العوامل التي يعتمد عليها؟ وما المقصود بالقدرة؟ وما وحدة قياسها بحسب النظام الدولي للوحدات؟

2. **أستنتاج:** رفع ريان صندوقاً من الطابق الأرضي في مدرسته إلى الطابق الأول بسرعة ثابتة (٧)، في حين رفع نصر الصندوق نفسه بين الطابقين بسرعة ثابتة (٢٧). ما العلاقة بين مقدار الشغل الذي بذله كلّ منهما على الصندوق؟ وما العلاقة بين قدرتيهما؟

3. **استخدم الأرقام:** يسحب سائح حقيقة سفره بسرعة ثابتة على أرضية أفقية في المطار إزاحة مقدارها (200 m). قوة السحب تساوي (40 N) باتجاه يصنع زاوية (53°) على الأفقي، أحسب ما يأتي:

أ. الشغل الذي يبذله السائح على الحقيقة.

ب. الشغل الذي تبذله قوة احتكاك الحركي على الحقيقة.

ج. قدرة السائح على سحب الحقيقة إذا استغرق (2 min) في قطع هذه الإزاحة.

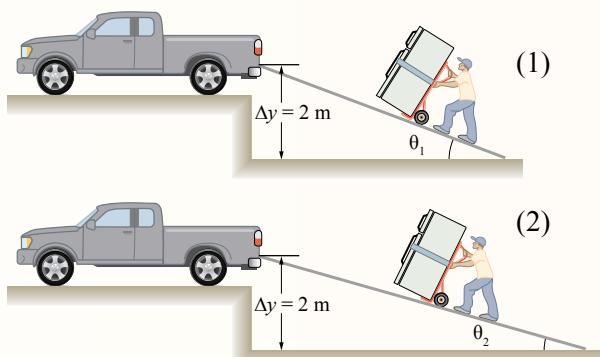
4. **استخدم الأرقام:** يرفع محرك كهربائي مصعداً كتلته مع حمولته (1800 kg) بسرعة ثابتة مقدارها (1 m/s) من سطح الأرض إلى ارتفاع (80 m). إذا علمت أنّ قوة احتكاك حركي ثابتة مقدارها (3000 N) تؤثّر في المصعد في أثناء رفعه، فأحسب مقدار ما يأتي:

أ. الشغل الذي يبذله المحرك على المصعد.

ب. شغل قوة احتكاك الحركي.

ج. القدرة المتوسطة للمحرك في أثناء رفعه للمصعد.

5. **التفكير الناقد:** يوضح الشكلان (1 و 2)، رفع الثلاجة نفسها إلى ارتفاع (2 m) عن سطح الأرض بسرعة ثابتة.



باستعمال مستوى مائل أملس، ملاحظاً أنّ ($\theta_2 > \theta_1$):

أ. أقارن بين مقدارى الشغل المبذول من الرجل

في الشكلين (1 و 2). ماذا أستنتاج؟

ب. أقارن بين مقدارى قوة الدفع المؤثرة في الثلاجة في الشكلين (1 و 2). ماذا أستنتاج؟

الشغل والطاقة Work and Energy

عندما تؤثر قوّة خارجية في جسم، وتبذل عليه شغلاً، يؤدي الشغل إلى تغيير طاقة الجسم، أنظر إلى الشكل (15). وُتعرّف الطاقة **Energy** بأنّها مقدرة الجسم على بذل شغل، وهي كمّية قياسية تُقاس بوحدة الجول (J) joule بحسب النظام الدولي للوحدات. فالرياح لها طاقة حرّكة 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 الأشياء.

للطاقة أشكال متعدّدة تنحصر في نوعين رئيسيين، هما: الطاقة الحرّكية، والطاقة الكامنة (طاقة الوضع). ويسمى مجموع الطاقة الحرّكية لجسم والطاقة الكامنة فيه الطاقة الميكانيكية.

أتحقق: ما النوعان الرئيسيان للطاقة؟ ✓



الفكرة الرئيسية: تصنّف أشكال الطاقة جميعها إلى نوعين رئيسيين هما الطاقة الحرّكية وطاقة الوضع. والطاقة الميكانيكية لجسم تساوي مجموع طاقة الوضع والطاقة الحرّكية.

نتائج التعلم:

- أوضح مفهوم كلّ من: الطاقة، الطاقة الحرّكية، مبرهنة (الشغل - الطاقة الحرّكية)، طاقة الوضع.
- استقصي العلاقة بين الشغل الكلّي المبذول على جسم، والتغيير في طاقته الحرّكية.
- أطبق بحل مسائل حسابية على طاقتَي الحرّكة والوضع.
- أوظف معرفتي بالشغل والطاقة والقدرة في تفسير مشاهدات وموافق حياتية.

المفاهيم والمصطلحات:

طاقة Energy

طاقة الحرّكية Kinetic Energy

مبرهنة الشغل - الطاقة الحرّكية

Work – Kinetic Energy Theorem

طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية

Gravitational Potential Energy

طاقة الوضع المرونية

Elastic Potential Energy

طاقة الميكانيكية Mechanical Energy



الشكل (15): (أ) يبذل محرك السيارة شغلاً عليها يُغيّر طاقتَها الحرّكية عندما تتسارع على طريق أفقِي. (ب) عندما أرفع الكتاب وأضعه على رف الكتب، فإنّي أبذل شغلاً عليه يُغيّر طاقتَها الكامنة.

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



الربط بالحياة

تصدر مديرية الأمن العام والدفاع المدني نشرات توعوية تحذيرات للمواطنين عند تأثير المملكة بمنخفض جوي، وبخاصة عندما يكون مصحوباً برياح سرعتها كبيرة، فالرياح لها طاقة حركية تُمكّنها من بذل شغل على الأجسام التي تصطدم بها. وعندما تكون سرعة الرياح كبيرة، فإنها قد تلحق أضراراً كبيرة، مثل اقتلاع الأشجار والخيام والبيوت الزراعية البلاستيكية، كما أنها تؤثّر سلباً في الملاحة البحرية والجوية.



الطاقة الحركية Kinetic Energy

يُبيّن الشكل (16) أن المطرقة يمكنها بذل شغل على المسamar ودفعه في اللوح الخشبي، أي أن الأجسام المتحركة قد تحدث تغييراً في الأجسام التي تصطدم بها. تُسمى الطاقة المرتبطة بحركة جسم ما **الطاقة الحركية Kinetic Energy** ورمزها (KE) ، وتعتمد على كل من: كتلة الجسم (m) ومقدار سرعته (v)، ويعبر عنها بالعلاقة الآتية:

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

تناسب الطاقة الحركية لجسم طردياً مع كلّ من: كتلته ومريع سرعته، فمثلاً، الطاقة الحركية لسيارة متحركة بسرعة مقدارها (v) أقل منها لشاحنة متحركة بالسرعة نفسها؛ لأنّ كتلة الشاحنة أكبر. تُسمى الطاقة الحركية هذه طاقة حركية خطية، إذ إنّها ناتجة من الحركة الخطية للجسم، أمّا عند حركة الجسم حرفة دورانية حول محور دوران، فإنّه يمتلك طاقة حركية دورانية.

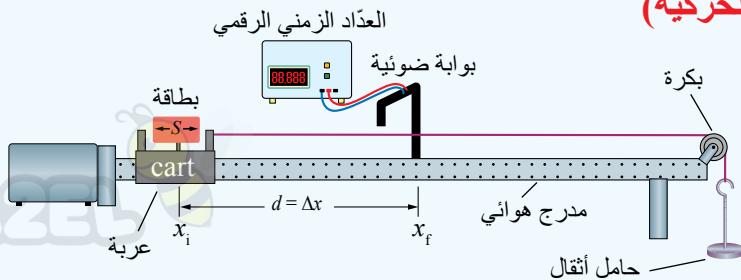
أتحقق: ما الطاقة الحركية؟ وعلامَ تعتمد؟

مبرهنة (الشغل - الطاقة الحركية) Work - Kinetic Energy Theorem

عندما تؤثّر قوّة محصلة في جسم وتغيّر مقدار سرعته (تغيّر طاقته الحركية)؛ فإنّها تكون قد بذلت عليه شغلاً. واستقصاء العلاقة بين الشغل الكلي المبذول على جسم والتغيّر في طاقته الحركية، أُنفّذ التجربة الآتية:

التجربة ١

مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركية)



المواد والأدوات: مدرج هوائي وملحقاته، مسطرة متيرية، بكرة، خيط، حامل انتقال، 10 أقفال كتلة كل منها (10 g)، ميزان.

إرشادات السلامة: ارتداء المعطف واستعمال النظارات الواقية للعينين، وتجنب سقوط الأجسام والأدوات على القدمين.

خطوات العمل:

أُنذّر الخطوات الآتية بالتعاون مع أفراد مجموعتي:

- أثبت المدرج هوائي أفقياً على سطح الطاولة، ثم أثبتت البكرة في نهايته كما في الشكل، ثم أثبتت المسطرة المتيرية على سطح الطاولة، بحيث يكون صفرها عند بداية المدرج.

7. **أجب:** أشغّل مضخة الهواء، ثم أفلت العربة لتنتحرّك من السكون، ملاحظاً قراءة العداد الزمني الرقمي (Δt) الذي يمثّل الزمن الذي تستغرقه البطاقة التي على العربة في عبور البوابة الضوئية. أدونّ هذا الزمن في الجدول للمحاولة (1).

8. أكرّر الخطوتين (6 - 7) مرّتين مع تغيير موقع البوابة الضوئية في كل مرّة، ثم أدونّ في الجدول القياسات الجديدة لكلّ من : (d), و (Δt).

9. أكرّر التجربة مرّة أخرى بزيادة الانتقال على الحامل.

التحليل والاستنتاج:

1. **أحسب** مقدار السرعة النهائية للعربة لكلّ محاولة، باستعمال العلاقة: $v_f = \frac{S}{\Delta t}$ ، ثم أجد مربع هذه السرعة، ثم أدونّ الحسابات في الجدول (1).

2. **أحسب** مقدار شغل القوة المحصلة الخارجية المؤثرة في العربة لكلّ محاولة باستعمال العلاقة الآتية:

$$W_F = \left(\frac{m_{\text{cart}} m_{\text{hang}}}{m_{\text{hang}} + m_{\text{cart}}} \right) gd$$

3. **أحسب** مقدار التغيير في الطاقة الحركية للعربة لكلّ محاولة باستعمال العلاقة: $\Delta KE = KE_f - KE_i$ ، ثم أدونّه في الجدول (2).

4. **أقارن** بين (W_F), و (ΔKE) لكلّ محاولة. ما العلاقة بينهما؟ هل يوجد أي اختلاف بينهما؟ أفسّر إجابتي.

2. **أقيس** طول البطاقة (S) الخاصة بالعربة، ثم أثبتتها عليها، ثم أدونّ طولها للمحاولات جميعها في الجدول (1).

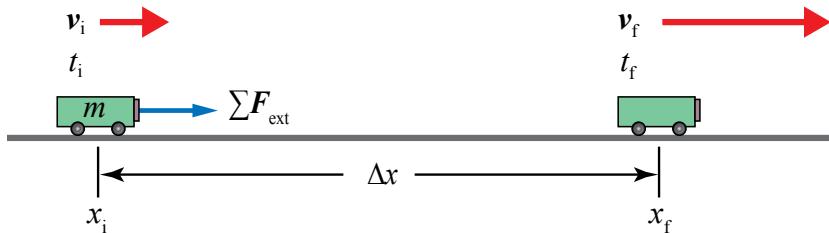
3. **أقيس** كتلة العربة المنزلقة (m_{cart}) وأدّونها أعلى الجدول، ثم أضع العربة عند بداية المدرج عند الموقع ($x_i = 0 \text{ m}$).

4. **أقيس**: أضع أقفالاً مناسبة (g 50 مثلاً) على حامل الانتقال، ثم أقيس كتلة الحامل وأنقله (m_{hang}) ثم أدونّها أعلى الجدول.

5. أربط أحد طرفي الخيط بمقدمة العربة، ثم أربط طرفه الآخر بحامل الانتقال مروراً بالبكرة، مُراعياً وصول العربة إلى نهاية المسار على المدرج قبل ملامسة حامل الانتقال أرضية الغرفة. أثبتت حاجز الاصطدام في نهاية المسار؛ منعاً لاصطدام العربة بالبكرة.

6. أثبتت البوابة الضوئية عند الموقع ($x_f = 40 \text{ cm}$), ثم أصلّها بالعداد الزمني الرقمي، ثم أصلّه بمصدر الطاقة الكهربائية ثم أشغله، ثم أدونّ بعد البوابة الضوئية عن مقدمة العربة ($x_i - x_f = d$) للمحاولة (1) في الجدول.

الشكل (17): الشغل الكلي المبذول على العربة والتغير في طاقتها الحركية.



أستنتجُ بعد تنفيذ التجربة السابقة أنّ شغل القوّة المحصلة الخارجية المؤثّرة في العربة، يساوي التغيّر في طاقتها الحركيّة. ولإثبات ذلك رياضيًّا انظر إلى الشكل (17)، الذي يوضح عربة كتلتها (m) تتحرّك بسرعة متوجّهة ابتدائيّة (v_i).

أُفْخِرُ: تحرّك سيارة بسرعة ابتدائيّة (v_i) على طريق أفقى مستقيم، إذا استخدم السائق المكابح، توقف السيارة بعد أن تقطع مسافة (d). إذا كانت السرعة الابتدائيّة للسيارة (v_i)، وتأثرت السيارة بقوّة المكابح نفسها. فما المسافة اللازمّة للتوقف بدلاله (d)؟ أوضح إجابتي حسابيًّا.

أفترض أنّ قوّة محصلة أفقية خارجية ($\sum F_{ext}$) قد أثّرت في العربة عندما كانت عند الموقّع (x_i) فقطعت إزاحة ($d = \Delta x$) تحت تأثير هذه القوّة، وأصبحت سرعتها المتوجّهة النهائى (v_f) في نهاية الإزاحة عند الموقّع (x_f).

استنادًا إلى القانون الثاني لنيوتون، تحرّك العربة بتسارع (a) في اتجاه القوّة المحصلة نفسه، حيث:

$$W_{Tot} = \sum F_{ext} \cdot \Delta x = ma \Delta x$$

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

بتغيير 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 طرفي المعادلة بالمقدار ($\frac{m}{2}$)، وإعادة ترتيب الحدود نحصل على:

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

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

أبحث:



تُعدّ مسافة الأمان بين السيارات عنصراً من أهم عناصر إجراءات السلامة على الطرق؛ إذ يتربّب على المحافظة عليها تجنب العديد من الحوادث الخطيرة والمميتة. أبحث عن أسباب وجوب ترك هذه المسافة، والعوامل التي يعتمد عليها مقدار هذه المسافة، وأعد عرضاً تقديمياً أعرضه على طلبة الصف.



يُمثل الطرف الأيسر من المعادلة الشغل الذي بذلته القوة المحصلة على العربة، أما الطرف الأيمن منها، فيُمثل التغيير في الطاقة الحركية للعربة، أي أنّ:

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

تُسمّى هذه العلاقة **مبرهنة (الشغل - الطاقة الحركية)**

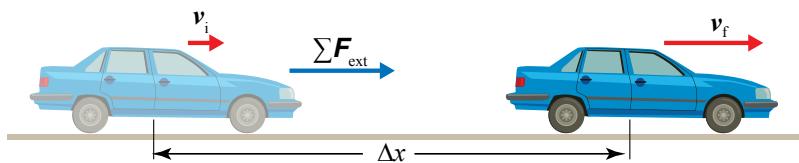
Work - Kinetic Energy Theorem

الكلّي المبذول على جسم يساوي التغيير في طاقته الحركية. أستنتجُ من مبرهنة (الشغل - الطاقة الحركية) أنّ مقدار سرعة الجسم يزداد عندما يكون الشغل الكلّي المبذول عليه موجباً؛ حيث الطاقة الحركية النهائية أكبر من الطاقة الحركية الابتدائية. وأنّ مقدار سرعة الجسم يتناقص عندما يكون الشغل الكلّي المبذول عليه سالباً؛ حيث الطاقة الحركية النهائية أقل من الطاقة الحركية الابتدائية.

أتحقق: علامَ تنص مبرهنة (الشغل - الطاقة الحركية)؟ متى يزداد مقدار سرعة جسم؟

المثال 5

تحرّك سيارة كتلتها $(8 \times 10^2 \text{ kg})$ نحو الشرق على طريق أفقى بسرعة مقدارها (15 m/s) . ضغط سائقها دوّاسة الوقود لكي يتجاوز سيارة أخرى، بحيث أصبح مقدار سرعة السيارة (25 m/s) بعد قطعها إزاحة مقدارها $(2 \times 10^2 \text{ m})$ من لحظة ضغطه الدوّاسة. أنظر إلى الشكل (18)، ثمّ أحسب مقدار ما يأتي:



الشكل (18): قرة محصلة خارجية تؤثّر في سيارة تتحرّك نحو الشرق إزاحة مقدارها (Δx).

- أ. الطاقة الحركية الابتدائية للسيارة.
- ب. التغيير في الطاقة الحركية للسيارة خلال مدة ضغط دوّاسة الوقود.
- ج. الشغل الكلّي المبذول على السيارة خلال هذه الإزاحة.
- د. القوة المحصلة الخارجية المؤثّرة في السيارة.

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

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

الحل:

أ . أحسب الطاقة الحركية الابتدائية للسيارة كما يأتي:

$$\begin{aligned} KE_i &= \frac{1}{2} mv_i^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 8 \times 10^2 \times (15)^2 = 9 \times 10^4 \text{ J} \end{aligned}$$



ب . أحسب التغيير في الطاقة الحركية للسيارة كما يأتي:

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

$$\begin{aligned} \Delta KE &= \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2) \\ &= \frac{1}{2} \times 8 \times 10^2 \times [(25)^2 - (15)^2] \\ &= 4 \times 10^2 \times 400 = 1.6 \times 10^5 \text{ J} \end{aligned}$$

ج. إن الشغل الكلّي الذي بذلته القوّة المحصلّة الخارجيّة على السيارة يساوي التغيير في طاقتها الحركيّة بحسب مبرهنة (الشغل - الطاقة الحركيّة).

$$\begin{aligned} W_{\text{Total}} &= \Delta KE \\ &= 1.6 \times 10^5 \text{ J} \end{aligned}$$

د . أحسب القوّة الخارجيّة من العلاقة الآتية:

$$W_{\text{Total}} = \sum F_{\text{ext.}} \Delta x$$

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

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

لديك

استخدم المتغيرات: سيارة مخصصة للسير على الرمال كتلتها (600 kg)، تتحرّك بسرعة مقدارها (28 m/s) في مسار أفقي، أنظر إلى الشكل (19). أثّرت فيها قوّة محصلّة خارجيّة مدةً زمنيّة مقدارها (5 s) عملت على تباطئها بمقدار (1.6 m/s^2). أحسب مقدار:

ب . التغيير في الطاقة الحركيّة للسيارة خلال تلك المدة.

ج. شغل القوّة المحصلّة الخارجيّة المبذول على السيارة.



الشكل (19): سيارة مخصصة للسير على الرمال.

الطاقة الكامنة (طاقة الوضع) Potential Energy

هي طاقة مخزنة في نظام يتكون من جسمين أو أكثر، ولها أشكال مختلفة؛ فقد تكون نتيجة موقع جسم بالنسبة إلى سطح الأرض، فتُسمى طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية. أو نتيجة موقع جسم مشحون بالنسبة إلى جسم مشحون آخر وتُسمى طاقة الوضع الكهربائية، وسنلقي الضوء في هذا الدرس على طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية، وطاقة الوضع المرونية لنظام يتكون من جسم يتصل بناقض.



أصمم باستعمال

برنامـج السـكراتـش (Scratch) عـرضاً يوضـح طـاقـة الـوضـع النـاشـئـة عنـ الجـاذـبـيـة الأـرـضـيـة، والـعـوـاـمـل التـي تـعـتمـدـ عـلـيـهـا وـوـحـدـةـ قـيـاسـهـا، ثـمـ أـشـارـكـهـ زـمـلـائـيـ زـمـلـائـيـ فـيـ الصـفـ.

طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية

Gravitational Potential Energy

عند رفع جسم إلى الأعلى مثل الجسم المُبيّن في الشكل (20)، فإن الأرض والجسم يشكلان نظاماً يسمى نظام (الجسم - الأرض). يخزن النظام طاقة وضع تُسمى **طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية** **Gravitational Potential Energy** ورمزاً لها (PE)، وتعرف بأنّها الطاقة المخزنة في نظام (الجسم - الأرض) نتيجة موقع الجسم في مجال الجاذبية الأرضية، علمًا أنه عند دراسة نظام مكوّن من جسم والأرض، فإنّنا نُعبر عن طاقة وضع النظام (الجسم - الأرض) بطاقة وضع الجسم، ويُعبر عنها بالعلاقة الآتية:

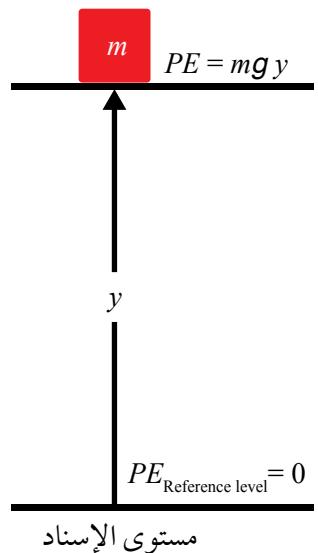
$$PE = mg y$$

حيث (m) كتلة الجسم، (g) تسارع السقوط الحرّ، (y) الارتفاع الرأسـيـ للجسم عن مستوى الإسـنـادـ، وهو مستـوىـ مرـجـعـيـ اختيارـيـ تكون طـاقـةـ الـوضـعـ عـنـهـ صـفـرـاـ، وـعـادـةـ نـخـتـارـ سـطـحـ الأـرـضـ مـسـتـوىـ إـسـنـادـ. وبافتراض أنـ تسـارـعـ السـقـوـطـ الحـرـ ثـابـتـ تقـرـيـباـ قـرـبـ سـطـحـ الأـرـضـ، فـإـنـ طـاقـةـ الـوضـعـ النـاشـئـةـ عـنـ الجـاذـبـيـةـ الأـرـضـيـةـ تـعـتمـدـ عـلـيـ كـتـلـةـ الـجـسـمـ، وـعـلـىـ اـرـتـفـاعـهـ الرـأـسـيـ عـنـ سـطـحـ الأـرـضـ (علمـاـ أـنـ سـطـحـ الأـرـضـ هوـ مـسـتـوىـ إـسـنـادـ).

أمـاـ التـغـيـرـ فيـ طـاقـةـ الـوضـعـ لـجـسـمـ ΔPE عـنـ حـرـكـتـهـ مـنـ مـوـقـعـ اـبـتـدـائـيـ (y_i) إـلـىـ مـوـقـعـ نـهـائـيـ (y_f)، فـيـعـتـمـدـ عـلـىـ التـغـيـرـ فيـ الـارـتـفـاعـ الرـأـسـيـ لـجـسـمـ بـيـنـ هـذـيـنـ الـمـوـقـعـيـنـ (Δy)، وـيـعـبـرـ عـنـهـ بـالـعـلـاقـةـ الآـتـيـةـ:

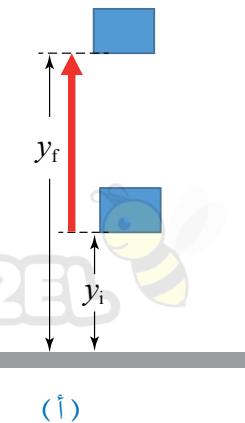
$$\Delta PE = mg \Delta y$$

حيث ($\Delta y = y_f - y_i$)

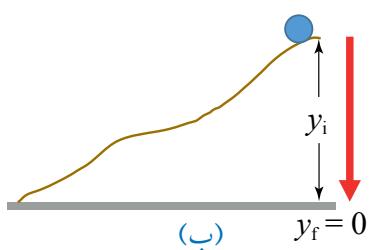


الشكل (20): طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية.

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



(أ)



(ب)

الشكل (21):

- أ. تزداد طاقة الوضع للجسم عندما يتحرّك إلى الأعلى.
- ب. تقل طاقة الوضع للجسم عندما يتحرّك إلى الأسفل.

تحقق: ما المقصود بطاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية؟
ولماذا يلزم مستوى إسناد لحسابها؟

شغل قوة الجاذبية الأرضية

تؤثّر قوة الجاذبية الأرضية في الأجسام جميعها، ويكون اتجاهها دائمًا رأسياً نحو الأسفل، وعندما يتحرّك جسم إلى الأعلى كما في الشكل (22/أ)، ويقطع إزاحة رأسية مقدارها (Δy)، فإنّ قوة الجاذبية الأرضية (mg) تبذل عليه شغلاً سالباً، لأن اتجاه القوة يعكس اتجاه الإزاحة، ويمكن التعبير عن شغل قوة الجاذبية الأرضية في هذه الحالة بالصيغة 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 تعليم هذه النتيجة مهما كان شكل المسار الذي يسلكه الجسم؛ فشغل قوة الجاذبية الأرضية (الوزن) يساوي دائمًا سالب التغيير في طاقة الوضع، وهذا يعني أنه عند تحريك جسم بين موقعين في مجال الجاذبية الأرضية، فإنّ شغل قوة الجاذبية الأرضية يعتمد فقط على التغيير في الارتفاع الرأسي بين النقطتين.

تحقق: ما العلاقة بين شغل قوة الجاذبية الأرضية، والتغيير في طاقة وضع الجسم الناشئة عن الجاذبية الأرضية؟

صندوق كتلته (10 kg)، رُفع بحبل رأسياً إلى أعلى بسرعة ثابتة من سطح الأرض إلى ارتفاع (9 m).

أحسب مقدار ما يأتي علمًا أن تسارع السقوط الحر (10 m/s^2):

- التغير في طاقة وضع الصندوق الناشئة عن الجاذبية الأرضية نتيجة رفعه.
- الشغل الذي بذلته قوة الجاذبية الأرضية في أثناء رفع الصندوق.
- الشغل الذي بذلته قوة الشد في الحبل (W_T) لرفع الصندوق.

المعطيات: $m = 10 \text{ kg}$, $y_i = 0 \text{ m}$, $y_f = 9 \text{ m}$, $g = 10 \text{ m/s}^2$

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

الحل:

الشكل (22): تحديد مستوى إسناد

لحساب طاقة الوضع.

اختار سطح الأرض مستوى إسناد لطاقة الوضع ملحوظاً الشكل (22).

أ. أحسب التغير في طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية باستخدام العلاقة الآتية:

$$\Delta PE = mg\Delta y = 10 \times 10 \times 9 = 900 \text{ J}$$

ب. أحسب الشغل الذي بذلته قوة الجاذبية الأرضية بالعلاقة الآتية:

$$W_g = -\Delta PE \\ = -900 \text{ J}$$

ج. لحساب الشغل الذي بذلته قوة الشد أستخدم مبرهنة الشغل والطاقة:

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

ولأن الصندوق تحرك بسرعة ثابتة، والشغل الكلي (W_{Total}) يساوي مجموع شغل الوزن (W_g)،

وشغل قوة الشد (W_T)؛ أي أن:

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

$$W_T = 900 \text{ J}$$

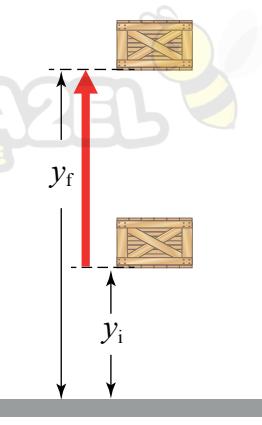
وعليه، فإن

.....

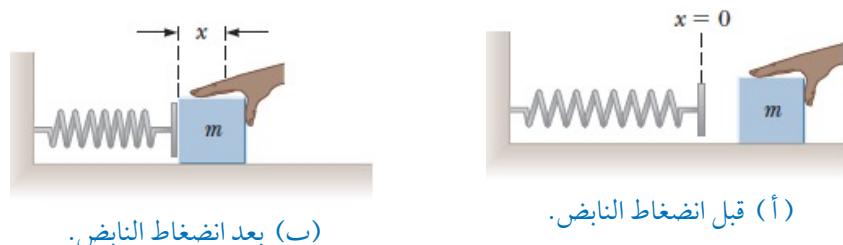
للمزيد

استخدم 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.



الشكل (23): نظام (كتلة - نابض).



طاقة الوضع المرونية Elastic Potential Energy

فضلاً عن معرفتنا بالطاقة الكامنة الناتجة من جاذبية الأرض للأجسام، سنتكشف نوعاً آخر من الطاقة الكامنة التي يمتلكها نظام يتكون من كتلة ونابض متصلين معًا كما هو موضح في الشكل (23)، عند ضغط النابض أو شده، تولد فيه قوة بعكس اتجاه القوة المؤثرة فيه لإرجاعه إلى موضع الاتزان . ويعبر عن قوة النابض بالعلاقة الآتية:

$$F = -kx$$

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) يعبر 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، يعبر عنها بالعلاقة الآتية:

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

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

أبحث

تصنع النابض بأشكال مختلفة، ويحدد ثابت مرونة النابض خصائص النابض، فمثلاً، 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 النابض بأشكالها المختلفة، ثم أعد عرضًا تقديميًّا أعرضه على زملائي / زميلاتي.



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



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

المطلوب: $U = ?$

الحل:

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

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

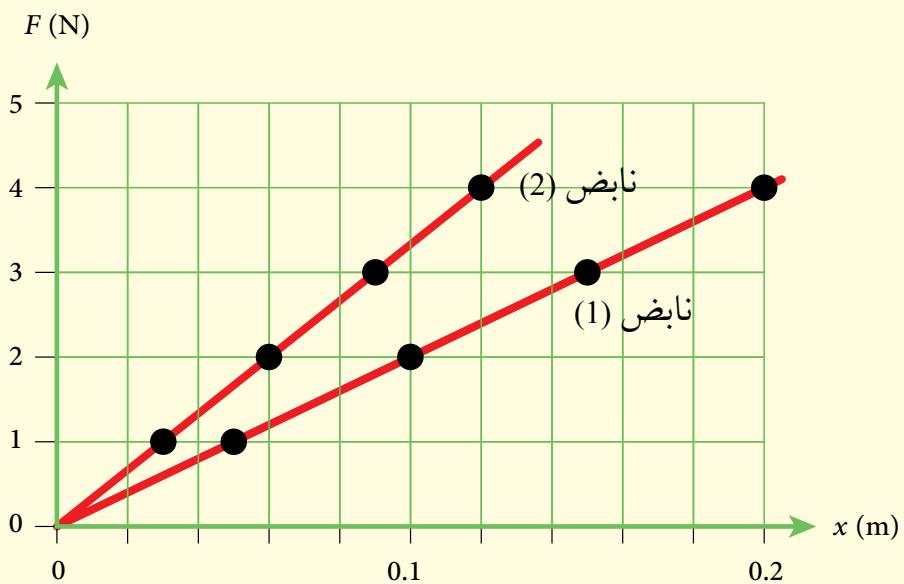
$$U = \frac{1}{2} \times 80 \times (0.2)^2 = 1.6 \text{ J}$$

أفڪر:

تختلف النوابض في قساوتها وفقاً للغرض الذي تصمم من أجله. يبين الشكل (24) تمثيلاً بيانيّاً لمنحنى القوة - الاستطالة (نابضين).

أ. ماذا يمثل ميل الخط المستقيم؟

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



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

مراجعة الدرس

AWA2EL
LEARN 2 BE

1. **الفكرة الرئيسية:** ما المقصود بالطاقة الميكانيكية؟ وعلام 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.

ج. انفلات جسم متصل بنايبض مضغوط.

د . انزلاق قرص فلزي على سطح جليدي أملس.

3. **أتوقع:** هل تتغير سرعة جسم إذا كان الشغل الكلي المبذول عليه صفرًا؟

4. **استنتاج:** كرتان متماثلان، 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 بنايبض، وموضوع على سطح أفقي أملس. ضغط النايبض بواسطة الجسم إزاحة (x) عن موضع الاتزان، وعند إفلاته تحرك الجسم حول موضع اتزانه يميناً ويساراً حركة تذبذبية. الشكل المجاور يبين علاقة كل من طاقة الوضع والطاقة الحركية مع الإزاحة.

أجيب عما يأتي، مستعيناً بالمنحنى:

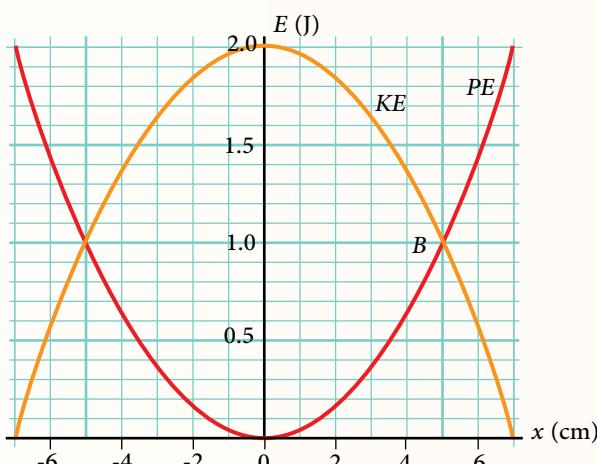
أ . ما أكبر إزاحة للكتلة عن موضع الاتزان؟

ب. أحسب ثابت المرونة للنايبض.

ج. ماذا تمثل نقطة تقاطع المنحنيين (B)؟

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

هـ. **أقدم دليلاً** على أن الطاقة الميكانيكية للنظام ثابتة.



الفكرة الرئيسية:

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

توجد الطاقة في هذا الكون بأشكال كثيرة، مثل الطاقة الضوئية، والحرارية، والصوتية، والكيميائية، والكهربائية، والمغناطيسية، والنوية. 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.

تحولات الطاقة Energy Transformation

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



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.

نتائج التعلم:

- 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 ومواصف حياتية.

المفاهيم والمصطلحات:

حفظ الطاقة الميكانيكية

Conservation of Mechanical Energy

قوى محافظة

Nonconservative Forces

قوى غير محافظة

الشكل (25): عملية شحن سيارة كهربائية.

حفظ الطاقة Energy Conservation

الربط بالحياة

السيارة الواقفة والوقود المخزون فيها يشكلان نظاماً واحداً، عند تشغيل المحرك وانطلاق السيارة تبدأ الطاقة بالتحول من كيميائية كامنة في الوقود إلى طاقة حرارية في المحرك، التي بدورها تحول إلى طاقة ميكانيكية، تحرك السيارة بسرعة ممتلكة طاقة حرارية. لايقف السيارة أو إبطاء سرعتها تُستخدم الفرامل، التي تؤثر بقوة احتكاك تحول الطاقة الحرارية للسيارة إلى طاقة حرارية.

تحول الطاقة من شكل إلى آخر داخل الأنظمة المختلفة، وتبقى الطاقة الكلية محفوظة في أثناء ذلك، إذ ينص مبدأ حفظ الطاقة على أن «الطاقة لا تفنى ولا تُخلق من العدم، لكنها تحول من شكل إلى آخر». عند تحول الطاقة في نظام من شكل إلى آخر، فإنها في الواقع لا تحول جميعها إلى الشكل المطلوب، إذ تنتج دائمًا من عمليات التحول أشكال غير مفيدة من الطاقة، على سبيل المثال، المحرك الكهربائي يحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية، تكون كفاءته في التحويل بنسبة قد تصل إلى (85 %)، فهل هذا يعني أن (15 %) من الطاقة الكهربائية قد فنيت ولم تعد موجودة؟ في الحقيقة الطاقة لا تفنى، إذ إنَّ الجزء المفقود من الطاقة الكهربائية قد تجول 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

تخزن الكثرة الساكنة الموضوعة على ارتفاع ما فوق سطح الأرض طاقة وضع ناشئة عن الجاذبية الأرضية، وعند سقوط الكرة نحو الأرض تحول طاقة الوضع إلى طاقة حرارية. في مثال آخر مألف في الحياة اليومية، تملك الدراجة الهوائية عند سيرها على طريق أفقية كما في الشكل (26) طاقة حرارية، وعند استعمال الفرامل وتوقف الدراجة عن الحركة، تصبح طاقتها الحرارية صفرًا، ومقابل ذلك لا تتغير طاقة الوضع لها؛ لأن الطريق أفقية. فما الفرق بين حركتي الكرة والدراجة؟ الإجابة عن هذا السؤال تكون بدراسة نوعي القوى المحافظة وغير المحافظة.

أتحقق: أفسر: عندما تحول طاقة من شكل إلى آخر لا تحول جميعها إلى طاقة مفيدة.



الشكل (26): استخدام الفرامل لإيقاف الدراجة على طريق أفقية مستقمة.

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

القوى المحافظة Conservative Forces

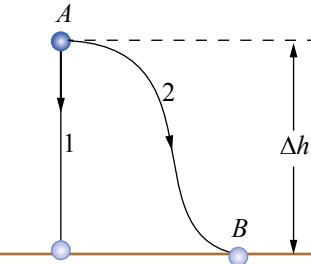
تحرك الكرة الساقطة نحو الأرض تحت تأثير قوة الجاذبية الأرضية، وعند إهمال مقاومة الهواء، لوحظ أن النقصان في طاقة الوضع للكرة يقابلها زيادة متساوية في طاقتها الحركية. ما يعني أن الطاقة الميكانيكية للنظام محفوظة، وعليه، فإنّ قوة الجاذبية الأرضية هي قوة محافظة. ومن الأمثلة الأخرى على القوى المحافظة: القوة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

1. شغلها المبذول على جسم لحركته بين أي موقعين، لا يعتمد على المسار الذي يسلكه الجسم بين الموقعين.
 2. شغلها المبذول على جسم لحركته عبر مسار مغلق يساوي صفرًا.
- والقوة المحافظة conservative force** تبذل شغالاً يكون متساوياً سالباً التغير في طاقة الوضع للنظام.

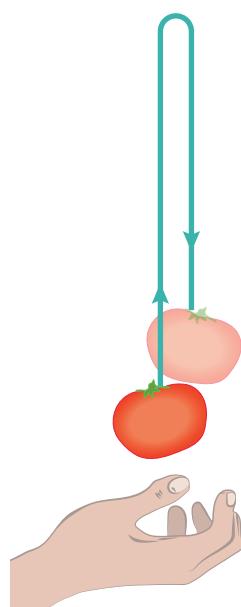
القوى غير المحافظة Nonconservative Forces

تُعدّ أيّ قوّة لم تُتحقّق خصائصي القوى المحافظة السابقتين قوّة غير محافظة، إذ يعتمد شغلها الذي تبذلها على جسم على المسار الذي يسلكه الجسم، ويوضح الشكل (28) اعتماد شغل القوّة غير المحافظة على المسار؛ فالشغل الذي تبذلها 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.

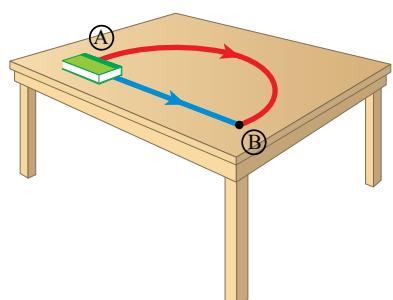
عندما تؤثر قوى غير محافظة في جسم، فإنها تعمل على تغيير طاقته الميكانيكية، وبالعودة إلى مثال قيادة الدراجة الهوائية على طريق أفقية واستعمال الفرامل، فإن قوة الفرامل هي قوة احتكاك، وخلافاً للقوى المحافظة، فإن شغل قوّة الاحتكاك لا يختزن، فالدراجة توقفت عن الحركة، والطاقة الحركية التي كانت تمتلكها تحولت إلى طاقة غير مفيدة، حيث تحول جزء كبير منها إلى طاقة حرارية تؤدي إلى تغيير الطاقة الداخلية لنظام (الدراجة - سطح الطريق).



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

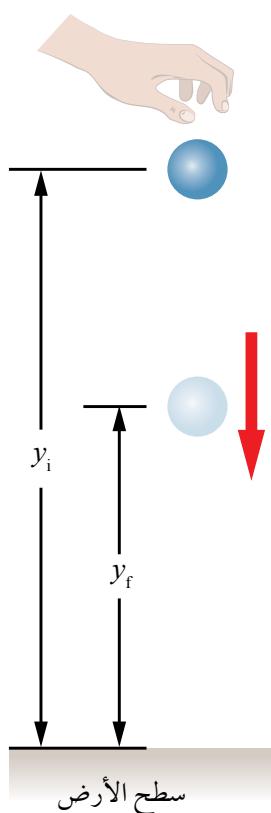


الشكل (27/ب): الشغل الكلي الذي تبذل قوة الجاذبية الأرضية على جسم عبر مسار مغلق يساوي صفرًا.



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

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



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

ما الطاقة الميكانيكية للكرة عند الموضع (y_i)؟ وما طاقتها الميكانيكية مباشرة قبل ملامستها سطح الأرض؟

حفظ الطاقة الميكانيكية Conservation of Mechanical Energy

القوى المحافظة تحافظ على كمية الطاقة الميكانيكية ثابتة للجسم المتحرك تحت تأثيرها فقط، في حين يتغير 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 يُعبر 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 التغيير في الطاقة الحركية والتغيير في طاقة الوضع أتوصل إلى ما يأتي:

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

$$KE_i + PE_i = KE_f + PE_f$$

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

$$ME_i = ME_f$$

$$\Delta ME = 0$$

ويكون:

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



أتحقق: ما الفرق بين القوى المحافظة والقوى غير المحافظة؟
ومتى تكون الطاقة الميكانيكية لنظام محفوظة؟

المثال 8

قذف لاعب كرة كتلتها (300 g) رأسياً إلى أعلى عن سطح الأرض بسرعة مقدارها (20 m/s)، أنظر إلى الشكل (30). أفترض أنه لا توجد قوى احتكاك، وأفترض أن تسارع السقوط الحر (10 m/s^2)، فأحسب

مقدار ما يأتي للكرة عند وصولها إلى أقصى ارتفاع:

$$\left. \begin{array}{l} y_f = h \\ PE_f = mg y_f \\ KE_f = 0 \end{array} \right\}$$

أ. طاقتها الميكانيكية.

ب. التغيير في طاقة وضعها الناشئة عن الجاذبية الأرضية.

ج. أقصى ارتفاع تصله عن سطح الأرض.

د. التغيير في طاقتها الحركية.

هـ. الشغل الذي بذلته قوة الجاذبية الأرضية عليها.

المعطيات: $m = 300 \text{ g} = 0.3 \text{ kg}$, $v_i = 20 \text{ m/s}$, $y_i = 0 \text{ m}$, $g = 10 \text{ m/s}^2$
الشكل (30): قذف كرة رأسياً إلى أعلى.

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

الحل:

اختار سطح الأرض مستوى إسناد لطاقة الوضع. أنظر إلى الشكل (30).

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

أما طاقتها الميكانيكية عند أقصى ارتفاع (y_f) فهي طاقة وضع فقط، حيث مقدار سرعتها صفر عند هذا الموقع. أستعمل 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:

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

والتحريك في طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية للكرة:

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

ج. أحسب أقصى ارتفاع تصله الكرة (h) باستعمال التغيير 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 قوة غير محافظة تبذل شغلاً على الكرة؛ لذا فإن التغيير في طاقتها الحركية يساوي سالب التغيير في طاقة وضعها الناشئة عن الجاذبية الأرضية:

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

إذ تناقض طاقتها الحركية في أثناء ارتفاعها.

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

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

أستخدام الأرقام: في المثال السابق، إذا قُذفت الكرة نفسها بسرعة (15 m/s) رأسياً إلى أعلى عن سطح الأرض، فأحسب مقدار ما يأتي علماً أنَّ تسارع السقوط الحر (10 m/s²)، وبإهمال قوى الاحتكاك:

- أ. الطاقة الحركية الابتدائية للكرة.
- ب. طاقة الوضع التي اكتسبتها الكرة عند وصولها إلى أقصى ارتفاع عن سطح الأرض.
- ج. سرعة الكرة لحظة عودتها إلى المستوى نفسه الذي قُذفت منه.

أبحثُ:



تعتمد مصادر الطاقة المتتجدة التي يمكن 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 المتتجدة الأنسب لاستخدامه في منطقتي، ثم أعدُّ عرضاً تفصيلياً، ثم أعرضه على طلبة الصف.

الربط بالحياة

يُستفاد من تحول طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية إلى طاقة حركية في توليد الطاقة الكهربائية؛ لذا أنشأت بعض الدول سدوداً في مجاري أنهارها الكبيرة، أنظر إلى الشكل (31). يحجز السد ماء النهر خلفه، ما يؤدي إلى زيادة ارتفاع مستوى سطح الماء المحجوز خلفه (أي زيادة طاقة وضعه الناشئة عن الجاذبية الأرضية). ومن ثم، يجري التحكم في معدل تدفق الماء المحجوز خلف السد عن طريق ممرات خاصة، بحيث يدير الماء المتدافق مراوح خاصة (توربينات) متصلة بمولّدات كهربائية، ما يؤدي إلى الحصول على الطاقة الكهربائية، التي تُسمى الطاقة الكهرومائية.

.Hydroelectric Power

الشكل (31): للماء المحجوز خلف سد طاقة وضع تحول إلى طاقة حركية، تُدبر توربينات متصلة بمولّدات كهربائية مولدة طاقة كهربائية.



الطاقة الميكانيكية في الأنظمة غير المحافظة

Mechanical Energy in Nonconservative Systems

أفكار: إذا بذلت شغلاً موجباً على جسم ولم تغير طاقته الحركية، وكذلك لم تغير طاقة وضعه، فما الذي أستنجه عن النظام الموجود فيه الجسم؟ وماذا يحدث للشغيل الذي بذلته؟

لتحريك كتاب على سطح أفقي خشن، يجب التأثير فيه بقوة باستمرار؛ للمحافظة على حركته؛ إذ تحول قوة الاحتكاك الحركي بين سطح الكتاب وسطح الطاولة جزءاً كبيراً من الطاقة الحركية للكتاب إلى طاقة داخلية على هيئة طاقة حرارية ترفع درجة حرارة السطحين المتلامسين؛ لذا يجب بذل شغل على الكتاب؛ تعويضاً للطاقة الميكانيكية المتحولة إلى طاقة داخلية بسبب قوة الاحتكاك.

عند تأثير قوة غير محافظة في جسم وبذلها شغلاً عليه، فإن طاقته الميكانيكية تصبح غير محفوظة، ويُعبر عن شغل القوى غير المحافظة بالعلاقة الآتية:

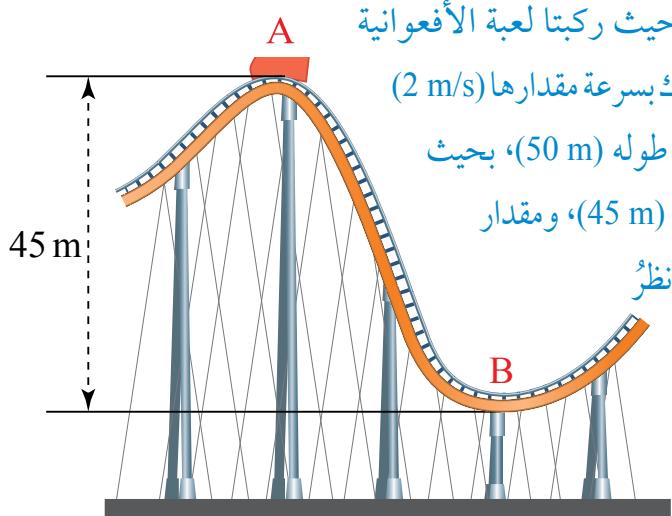
$$W_{nc} = \Delta ME$$

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

تحقق: للمحافظة على حركة جسم على مسار خشن، يجب التأثير فيه بقوة باستمرار. لماذا؟

المثال 9

ذهبت حلا وصديقتها سرى إلى مدينة الألعاب، حيث ركبنا لعبة الأفعوانية (Roller - coaster). وعندما كانت عربة الأفعوانية تتحرك بسرعة مقدارها (2 m/s) عند الموقع (A)، هبطت فجأة عبر مسار منحدر خشن طوله (50 m)، بحيث كان التغيير في الارتفاع الرأسى عبر هذا المسار المنحدر (45 m)، ومقدار سرعة العربة (24 m/s) عند نهاية المسار (الموقع B)، أنظر إلى الشكل (32). إذا علمت أن كتلة عربة الأفعوانية مع ركابها (3×10^2 kg)، وتسارع السقوط الحر (10 m/s²)، فأحسب مقدار ما يأتي عند حركة عربة الأفعوانية من الموقع (A) إلى (B):



أ. التغيير في طاقة وضعها الناشئة عن الجاذبية الأرضية.

الشكل (32): حركة عربة الأفعوانية عبر مسار منحدر خشن.

ب. التغيير في طاقتها الحركية.

ج. التغيير في طاقتها الميكانيكية.

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

هـ. قوة الاحتكاك الحركي المؤثرة 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: $\Delta PE = ?$, $\Delta KE = ?$, $\Delta ME = ?$, $W_f = ?$, $f_k = ?$

الحل:

اختار أدنى مستوىً لحركة الأفعوانية - وهو الموضع (B) - مستوى إسناد لطاقة الوضع.

تؤثر في الأفعوانية قوة غير محافظة (قوة الاحتكاك الحركي) تبذل شغلاً عليها؛ لذا الطاقة الميكانيكية غير محفوظة.

أ. أحسب التغيير في طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية لعربة الأفعوانية، مفترضاً أنّ موقعها عند (A) الموقع الابتدائي (y_i), وموقعها عند (B) الموقع النهائي (y_f) كما يأتي:

$$\Delta PE = PE_f - PE_i$$

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

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

تشير الإشارة السالبة إلى حدوث نقصان في طاقة الوضع.

بـ. أحسب التغيير في الطاقة الحركية لعربة الأفعوانية كما يأتي:

$$\Delta KE = KE_f - KE_i$$

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

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

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

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

جـ. أحسب التغيير في الطاقة الميكانيكية كما يأتي:

$$ME = KE + PE$$

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

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

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

اللاحظ أنّ الطاقة الميكانيكية غير محفوظة؛ لوجود قوة الاحتكاك.

د. أستعمل العلاقة الآتية لحساب شغل قوة الاحتكاك الحركي وهي قوة غير محافظة:

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

$$W_f = \Delta ME$$

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

$$W_f = \Delta ME = -f_k d$$

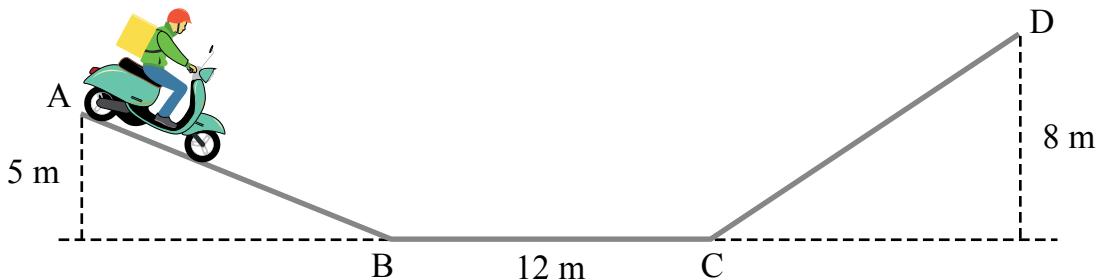
$$-4.92 \times 10^4 = -f_k \times 50$$

$$f_k = 9.84 \times 10^2 \text{ N}$$

هـ. أحسب مقدار قوة الاحتكاك الحركي كما يأتي:

المثال 10

يقود موزع بضاعة دراجته الكهربائية على ممر مبين بالشكل (33)، 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، علماً أن ($g = 10 \text{ m/s}^2$). أحسب سرعة الدراجة عند مرورها بالنقطة (D).



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

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

المطلوب: $v_D = ?$

الحلّ:

تحريك الدراجة في مجال الجاذبية الأرضية، وهو نظام محافظ، لكن تشغيل المحرك لمسافة محددة، عمل على تغيير مقدار الطاقة الميكانيكية للنظام، بإضافة شغل موجب إليها؛ لذا فإن:

$$ME_A = ME_B, \quad ME_D = ME_C$$

$$ME_C = ME_B + W_{motor} \rightarrow ME_D = ME_A + W_{motor}$$

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

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

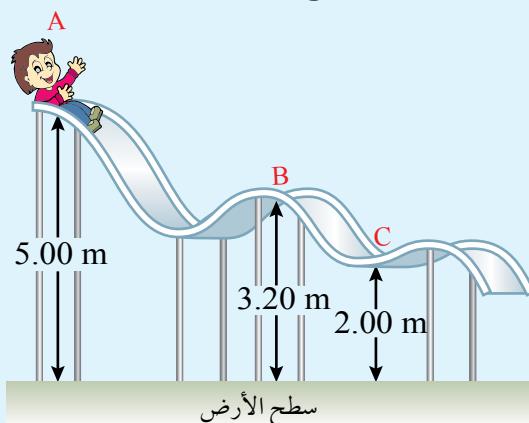
$$60 \times v_D^2 + 9600 = 1500 + 6000 + 2400$$

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

لـمـرـيـه

1. **أَتُوْقِعُ:** 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. **أَسْتَخْدُمُ الْأَرْقَامَ:** ينزلق طفل بدءاً من السكون من الموقع (A) عن قمة منحدر أملس كما هو موضح في الشكل (34). إذا علمت أن 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).

ج. شغل قوة الجاذبية الأرضية المبذول على الطفل في أثناء انزلاقه من الموقع (A) إلى الموقع (C).

مراجعة الدرس

AWA2B
LEARN 2 BE

1. **الفكرة الرئيسية:** ما المقصود بكل من القوة المحافظة والقوة غير المحافظة؟ وبمَ تمتاز إحداهما عن الأخرى؟

2. **أستنتاج:** في أي الحالات الآتية يبقى مقدار الطاقة الميكانيكية ثابتاً؟ وفي أي منها يتغير؟

أ. حركة كتلة متصلة بناطص أفقياً على سطح أملس.

ب. استخدام الفرامل في إيقاف الدراجة الهوائية المتحركة.

ج. حركة الهبوط بالمظلة بعد القفز من الطائرة.

3. **أقارن:** متى يتساوي التغير في طاقة الحركة لجسم مع التغير في طاقته الكامنة؟ ومتى لا يتساوي التغيران؟

4. **استخدم الأرقام:** سقطت كرة كتلتها (0.2 kg) من السكون من ارتفاع (6 m) عن سطح الأرض،

وعلى ارتفاع (1 m) دخلت حوضاً مملاً بالماء، فوصلت إلى سطح الأرض بسرعة نهائية مقدارها (5 m/s). إذا علمت أن تسارع السقوط الحر (10 m/s^2), أحسب كلاً من:

أ. الطاقة الحركية للكرة عند سطح الماء.

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

ج. قوة الاحتكاك بين الكرة والماء.

5. **استخدم الأرقام:** صندوق كتلته (5 kg) يتحرك على مستوى مائل نحو أعلى بسرعة ابتدائية (8 m/s).

توقف الصندوق عن الحركة بعد أن قطع مسافة ($d = 3 \text{ m}$) على طول المستوى المائل، الذي يميل عن الأفق بزاوية (30°). إذا علمت أن ($g = 10 \text{ m/s}^2$) أحسب كلاً من:

أ. التغير في الطاقة الحركية للصندوق.

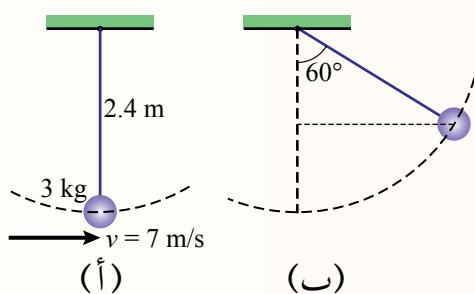
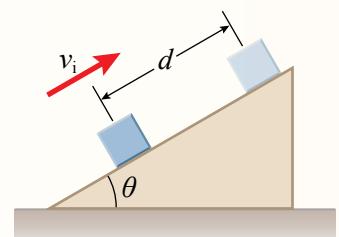
ب. التغير في طاقة الوضع لنظام (الأرض - الصندوق).

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

6. **التفكير الناقد:** ربط نبيل كرة بحبيل، ثم ثبت طرفه الآخر في سقف الغرفة، ودفع الكرة بقوة نحو اليمين

فانطلقت بسرعة ابتدائية أفقية كما في الشكل (أ).

أحسب مقدار سرعة الكرة عندما تصبح الزاوية بين الحبل والخط العمودي على الأفق (60°) كما في الشكل (ب)، مستعيناً بالبيانات المثبتة في الشكل.



الإثراء والتتوسيع

طاقة الرياح Wind Power

في سياق التوجيهات الملكية السامية للحكومات المتعاقبة بتبني مشاريع الطاقة البديلة، لتخفيض حجم الفاتورة النفطية، بُنيت مشاريع عدّة لتوليد الطاقة الكهربائية. وتوضّح صورة بداية الوحدة إحدى مزارع الرياح في الأردن لتوليد الطاقة الكهربائية.

تولّد توربينات (مراوح) الرياح طاقة كهربائية عن طريق تحويل الطاقة الحركية للرياح إلى طاقة كهربائية باستعمال مولّدات كهربائية، فمثلاً، مزرعة رياح الطفيلة تولّد طاقة كهربائية بمعدل (117 MW) تقريباً. كيف أحسب 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 عمودياً على شفرات التوربين، يكون حجم الهواء المار عبر المستوى الذي تشكّله هذه الشفرات مساوياً 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 تشكّله شفرات التوربين في الثانية الواحدة يساوي ($V = Av$). يُحسب مقدار الطاقة الحرارية للرياح التي تمرّ عبر هذا التوربين كل ثانية كما يأتي:

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

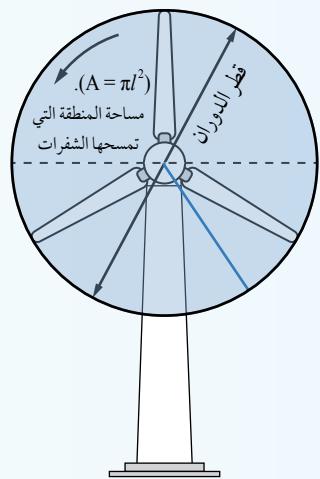
$$= \frac{1}{2} \rho(Av)v^2 = \frac{1}{2} \rho(Av)^3$$

حيث ρ كثافة الهواء. ولا تحوّل كامل الطاقة الحرارية للرياح إلى طاقة كهربائية؛ إذ يُفقد جزء من طاقتها الحرارية على هيئة حرارة وصوت وشغل للتغلب على قوى الاحتكاك في التوربين، وغيرها، ويُعبر عن مقدار الطاقة الناتجة من التوربين نسبة إلى الطاقة الداخلة إليه بمصطلح الكفاءة، وتترواح كفاءة هذه التوربينات في تحويل الطاقة بين 40% و 50% تقريباً.

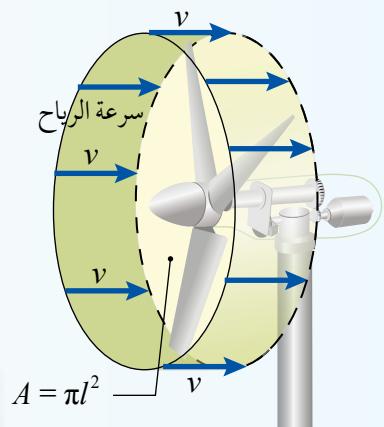
أبحث بالاستعانة بمصادر المعرفة المناسبة، عن مزرعة رياح في منطقتي أو المناطق المجاورة، ثم أعدّ وأفراد مجموعتي تقريراً مدعماً بالصور عن مزاياها وسلبياتها إن وجدت، وطول شفرات توربيناتها، ثم أحسب مقدار الطاقة الحرارية للرياح التي تمر عبر أحد توربيناتها كل ثانية، والطاقة الكهربائية الناتجة في الثانية الواحدة، باستعمال كثافة الهواء عند مستوى سطح البحر ($\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$)، وسرعة الرياح (20 m/s)، وافتراض كفاءة التوربين (50%). وأبحث عن مصادر الطاقة المتتجددة التي يمكن استخدامها في منطقتي.



مزرعة رياح



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



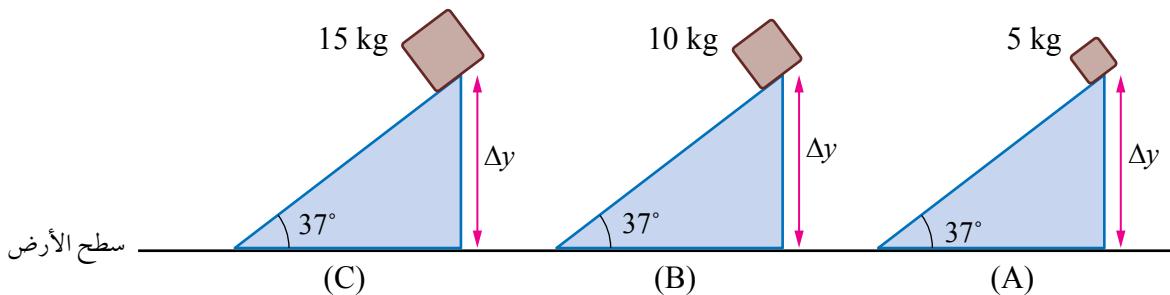
حجم الهواء المار عبر المستوى الذي تشكّله شفرات التوربين يساوي حجم أسطوانة مساحة مقطعها العرضي (A)، وطولها في الثانية الواحدة يساوي سرعة الرياح (v).

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

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1. يُعرف الشغل الذي تبذله قوّة مقدارها (N) عندما تؤثّر في جسم وتحركه إزاحة مقدارها (1 m) في اتجاهها:
 أ . النيوتن (N). ب . الجول (J). ج . الواط (W). د . الحسان (hp).

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



2. الصندوق الذي له أكبر طاقة وضع ناشئة عن الجاذبية، هو:
 د . الصناديق متساوية في طاقة الوضع. ج . C. ب . B. أ . A.

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

- | | |
|--|--|
| $KE_C > KE_B > KE_A$
$. KE_A = KE_B = KE_C$ | $KE_A > KE_B > KE_C$
$. KE_B > KE_A > KE_C$ |
|--|--|

4. الصندوق الذي له أكبر سرعة لحظة وصوله إلى سطح الأرض، هو:
 د . سرعاتها جميعها متساوية. ج . C. ب . B. أ . A.

5. الصندوق الذي يصل إلى سطح الأرض أولاً، هو:
 د . تصل جميعها في اللحظة نفسها. ج . C. ب . B. أ . A.

6. تكون الطاقة الميكانيكية لجسم يسقط سقوطاً حرّاً عند إهمال مقاومة الهواء:

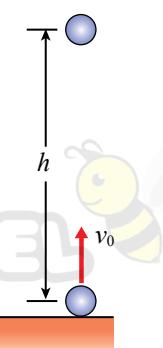
- د . صفرًا. ج . ثابتة. ب . متناقصة. أ . متزايدة.

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:

- د . شدّ. ج . غير محافظة. ب . محافظة. أ . احتكاك.

مراجعة الوحدة

8. قُذفت كرة من سطح الأرض رأسياً 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. $\frac{1}{4}h$
ج. $\frac{1}{2}h$
د. $\frac{3}{4}h$

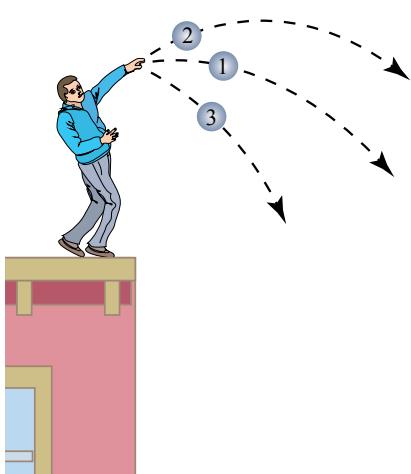
9. يركض محمد بسرعة مقدارها (3 m/s). إذا ضاعف مقدار سرعته مرتين، فإن طاقته الحركية:

- أ. تتضاعف مرتين.
ب. تتضاعف 4 مرات.
ج. تقل بمقدار النصف.
د. تقل بمقدار الربع.

10. إذا كان الشغل الكي المبذول على جسم يساوي صفرًا، فهذا يعني أن الجسم:

- أ. ساكن أو متحرك بسرعة ثابتة.
ب. ساكن أو متحرك بتسارع ثابت.
ج. ساكن أو يتتحرك إلى أسفل بتسارع.
د. ساكن أو يتتحرك إلى أعلى بتسارع.

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

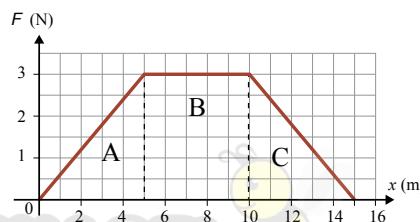


3. **التفكير الناقد:** يرمي خالد 3 كرات متماثلة من أعلى بناء. إذا رمى الكرات الثلاث بمقدار السرعة الابتدائية نفسه، باتجاهات مختلفة فاتبعت المسارات الموضحة في الشكل المجاور. أرتّب الكرات الثلاث بحسب مقادير سرعاتها لحظة وصولها إلى سطح الأرض بإهمال مقاومة الهواء. أبرر إجابتي.

4. **التفكير الناقد:** تحتوي بعض أقلام الحبر نابضاً داخلها، وعندما نضغط زرّ نهاية القلم يخرج رأس الكتابة. إذا أمسكت بقلم كتلته (10 g) في وضع عمودي ورأسه نحو الأعلى، ثم ضغطته على الطاولة، لينضغط الزر، ثم حررت القلم فجأة، فقفز للأعلى مسافة (4 cm)، فما مقدار ثابت مرونة النابض؟



مراجعة الوحدة



منحنى (القوة - الإزاحة) لقوى محصلة متغيرة تؤثر في جسم.

5. **استخدم البيانات:** أثّرت قوّة محصلة متغيرة في جسم كتلته (10 kg)، فحرّكته من السكون إزاحة مقدارها (15 m) كما هو موضح في الشكل المجاور. أحسب مقدار ما يأتي:

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

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

ج. الشغل الذي بذلته القوّة المحصلة خلال الإزاحة كاملة (الشغل الكلي).

6. **استخدم الأرقام:** سيارة 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 الأفقي (15°)؛ فأحسب مقدار ما يأتي:

أ. القوّة التي يؤثّر بها محرّك السيارة.

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

7. **استخدم الأرقام:** يُريد عبد الرحمن رفع صندوق كتلته (100 kg) عن سطح الأرض، فاستخدم مستوى مائلاً طوله (2 m)، ودفع الصندوق إلى أعلى المستوى المائل بقوّة موازية للمستوى بسرعة ثابتة. إذا كان مقدار قوّة الاحتكاك الحركي المؤثرة في الصندوق (100 N)، فأحسب مقدار الشغل الذي:

أ. بذلته قوّة الاحتكاك على الصندوق.

ب. بذله عبد الرحمن على الصندوق.

ج. بذلته قوّة الجاذبية الأرضية على الصندوق.

8. **استخدم الأرقام:** تسحب ناديا صندوقاً كتلته (50 kg) على سطح أفقي خشن بحبيل يميل عن الأفقي بزاوية (45°) إزاحة مقدارها (15 m) كما هو موضح في الشكل المجاور. إذا علمت أن مقدار قوّة الشدّ في الحبل (200 N)، واكتسب الصندوق تسارعاً مقداره (0.3 m/s^2)، فأحسب مقدار ما يأتي:

أ. الشغل الذي بذلته ناديا على الصندوق.

ب. التغيير في الطاقة الحركية للصندوق.

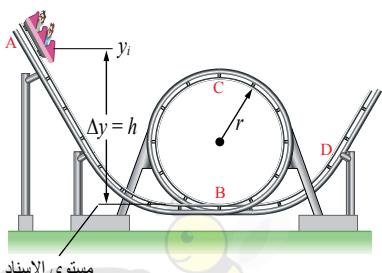
ج. الشغل الذي بذلته قوّة الاحتكاك الحركي على الصندوق.

9. **استنتج:** مصعد كتلته مع حمولته (2×10^3 kg)، يُرفع بمحرك 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)، أحسب مقدار ما يأتي:

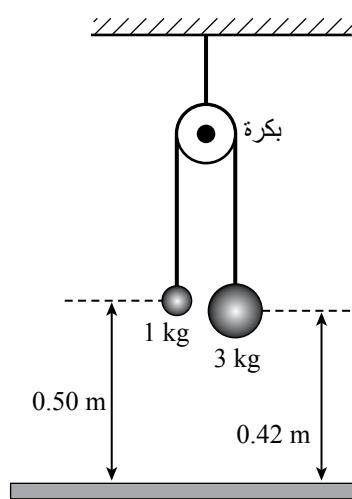
أ. قدرة المحرّك.

ب. شغل قوّة الاحتكاك الحركي.

ج. التغيير في الطاقة الميكانيكية للمصعد.



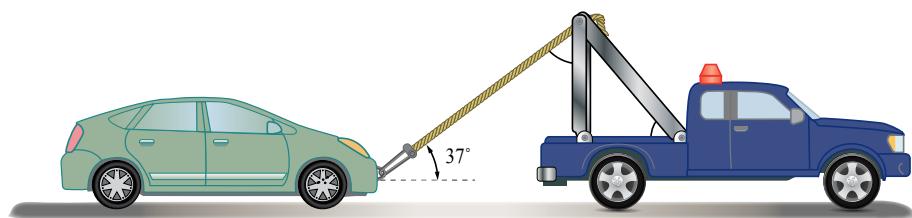
لعبة الأفعوانية.



- 10. استخدم الأرقام:** يوضح الشكل المجاور أفعوانية كتلة عربتها ($2 \times 10^2 \text{ kg}$) تتحرّك من السكون من نَل ارتفاعه (60 m) (الموقع A) إلى أسفل النَل على مسار مهمّل الاحتكاك، وتمرّ في أثناء ذلك بمسار دائري رأسي عند الموقـع (B) على شكل حلقـة نصف قطرها (20 m) وتحـل مسـارها مـارـة بالـمـوقـع (D). أستعين بالشكل المجاور على حساب مقدار ما يأتي:
- سرعة عربة الأفعوانية عند الموقـع (B).
 - سرعة عربة الأفعوانية عند الموقـع (C).
 - الشـغـلـ الـكـلـيـ المـبـذـلـ عـلـىـ العـرـبـةـ فـيـ أـثـنـاءـ حـرـكـتـهـ مـنـ المـوـقـعـ (B) إـلـىـ المـوـقـعـ (C).
 - الطـاقـةـ الـمـيكـانـيـكـيـةـ لـعـرـبـةـ الأـفـعـوـانـيـةـ عـنـدـ المـوـقـعـ (D).

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

- 12. استخدم الأرقام:** تسحب رافعة سيارة من السكون على طريق أفقى بقوة شد مقدارها ($2 \times 10^3 \text{ N}$) بحبل يميل عن الأفقى بزاوية (37°) إزاحة مقدارها ($5 \times 10^2 \text{ m}$ ، انظر إلى الشكل المجاور. إذا علمت أنّ مقدار قوة الاحتكاك الحركي المؤثرة في السيارة ($10^2 \text{ N} \times 6$)، والحبل مهمّل الكتلة وغير قابل للاستطالـةـ، أجيـبـ عـماـ يـأتـيـ:



رافعة تسحب سيارة على طريق أفقى خشن.

- أحسب التغيير في الطاقة الميكانيكية للسيارة.
- أطرح سؤالاً** تكون إجابته: "لا؛ لأن السيارة لم تتحرك بسرعة ثابتة".

الديناميكا الحرارية

Thermodynamics

الوحدة

2

أتأمل 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 المادة طاقة أو تفقدها تتغير طاقتها الداخلية ما قد يغير درجة حرارتها أو حالتها الفيزيائية كما يظهر في هذه الصورة. ما المقصود بالطاقة الداخلية؟

الفكرة العامة:

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

الدرس الأول: تبادل الطاقة الحرارية

الفكرة الرئيسية: تنتقل الطاقة الحرارية بين الأجسام عند اتصالها حرارياً نتيجة اختلاف درجات حرارتها، ويكون انتقالها على هيئة حرارة. وتعد درجة الحرارة والطاقة الداخلية للنظام الحراري مفهومين أساسيين في دراسة الديناميكا الحرارية، ولكل منها معنى مختلف. ولفهمهما أهمية كبيرة عند تطبيقنا لأنشطة اليومية.

الدرس الثاني: حالات المادة

الفكرة الرئيسية: تغير الحالة الفيزيائية للمادة عند اكتسابها أو فقدانها مقداراً محدداً من الطاقة، ويتضمن التغيير في حالة المادة تغييراً في الطاقة الكامنة للمادة دون حدوث تغيير في درجة حرارتها.

الدرس الثالث: التمدد الحراري

الفكرة الرئيسية: يؤدي التمدد (أو التقلص) الحراري إلى تغيير في أبعاد المادة. وللتتمدد تطبيقات كثيرة، وقد يؤدي إهماله إلى حدوث أضرار كبيرة.



تجربة استهلاكه

تأثير كتلة الجسم في تغيير درجة حرارته



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

إرشادات السلامة: تجنب سكب الماء على أرضية المختبر، وتجنب الانزلاق نتيجة انسكاب الماء عليها.

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

أختبر فرضيتي:

أنفذ الخطوات الآتية بالتعاون مع أفراد مجتمعي:

1 أضع أحد الكوبين داخل الآخر، وأثبتهما معًا بالشريط اللاصق، ثم أنصب غطاء الكوب من منتصفه بالمثقب، على أن يدخل مقياس درجة الحرارة عبره.

2 أقيس: أضع (g 200) من برادة الحديد في الكوب الداخلي وأغلقه بعطايه بإحكام، ثم أدخل مقياس درجة الحرارة عبر ثقب الغطاء حتى يلامس مستودعه برادة الحديد، وأثبته بالشريط اللاصق، ثم أقيس درجة حرارة برادة الحديد وأدونها.

3 أسكب (100 mL) من الماء الساخن في المخبر، ثم أقيس درجة حرارته وأدونها.

4 **الاحظ:** أزيل غطاء الكوب ومقياس درجة الحرارة المثبتين معًا، ثم أسكب بحذر الماء الساخن في الكوب، ثمأغلقه بعطايه بسرعة. الاحظ ما يحدث لقراءة مقياس درجة الحرارة، وعندما تثبت قراءته أدونها.

5 **أضبط المتغيرات:** أكرر الخطوات (4-2) بزيادة كمية الماء الساخن، مع تثبيت كمية برادة الحديد ودرجة حرارتها الابتدائية. وأدون النتائج في جدول بيانات.

التحليل والاستنتاج:

1. **أفسّر:** لماذا استخدمت كوبين بلاستيكين ولم أستخدم كوبًا واحدًا؟ أفسّر إجابتي.

2. **أفسّر:** ما الذي تمثله قراءة مقياس درجة الحرارة في الخطوة 4؟

3. **أقارب** بين درجتي حرارة الماء الساخن وبرادة الحديد قبل خلطهما معًا وبعده. وأفسّر أي اختلافات.

4. **استنتج** تأثير زيادة كمية الماء الساخن في تغيير درجة حرارة المخلوط.

5 - **أصدر حكمًا** عما إذا كانت النتائج قد توافقت مع فرضيتي أم لا.

6. **أتوقع** كيف تؤثر مضاعفة كتلة برادة الحديد المستخدمة في درجة حرارة المخلوط النهائية. أبّرر توقعّي.

مفاهيم في الديناميكا الحرارية

Concepts in Thermodynamics

تطور فهم الناس الحرارة مع الزمن، كان يعتقد قديماً أن الحرارة تشبه الماء في انسياها داخل الأجسام والمواد. لكن الأمر مختلف تماماً مع تطور فهم الفيزيائيين الحرارة، فوضعوا مفاهيم أساسية لا بد من فهمها، لتمكن 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.لاحظ الشكل (1). لكن الوصف النوعي لا يُظهر نتائج دقيقة؛ لذا فقد سعى العلماء إلى الانتقال من الوصف النوعي إلى الوصف الكمي لدرجة الحرارة، فجاء اختراع المقياس الزئبقي لقياس درجة الحرارة، التي

الفكرة الرئيسية:

تنقل الطاقة الحرارية بين الأجسام عند اتصالها حرارياً نتيجة اختلاف درجات حرارتها، وتعد درجة الحرارة والطاقة الداخلية لأي نظام حراري مفهومين أساسيين في دراسة الديناميكا الحرارية، ولكل منها معنى مختلف. ولفهمهما أهمية كبيرة عند تطبيقنا لأنشطة اليومية.

تتاجنات التعلم:

- أفرق بين المفاهيم الآتية: الحرارة، ودرجة الحرارة، والطاقة الحرارية، والطاقة الداخلية.
- أعرّف المفاهيم الآتية: السّعة الحرارية النوعية، والاتزان الحراري.
- أصنف تأثير انتقال الطاقة من الجسم وإليه في تغيير درجة حرارته.
- اطبق بحل مسائل على كمية الحرارة المفقودة والمكتسبة، وإيجاد السّعة الحرارية النوعية لمادة.

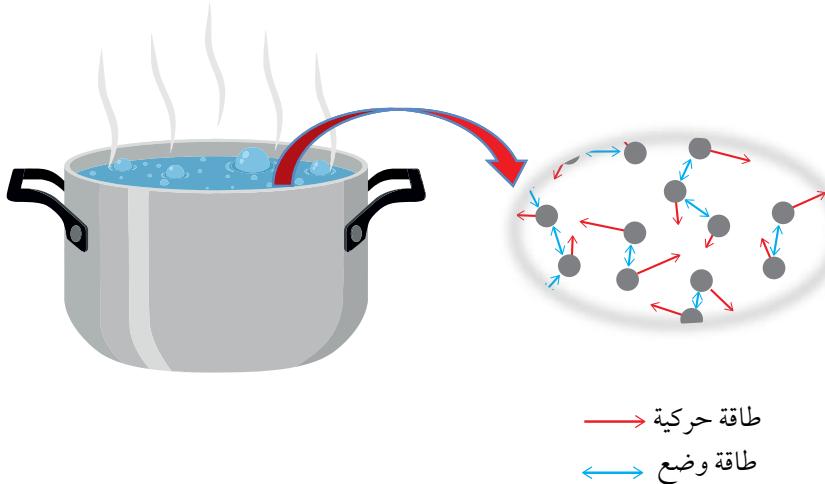
المفاهيم والمصطلحات:

Thermal Energy	الطاقة الحرارية
Heat	الحرارة
Thermal Equilibrium	اتزان حراري
	السّعة الحرارية النوعية
Specific Heat Capacity	
Internal Energy	الطاقة الداخلية
Temperature	درجة الحرارة

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):

لجزئيات الماء طاقة حرارية ناتجة حركتها العشوائية، وتوجد أيضاً طاقة كامنة بين جزيئات الماء، وطاقة كامنة بين الذرات داخل الجزيئات.



ترتبط سخونة الجسم وببرودته، ولضبط مقياس الحرارة ومعاييره، وضع العلماء معيارين، هما: درجة انصهار الجليد، ودرجة غليان الماء. طور العلماء تدريجات مختلفة لقياس درجة الحرارة، من أشهرها: تدرج سلسيلوس Celsius scale، وتدرج فهرنهايت Fahrenheit scale، وتدرينج كلفن (المطلقي) Kelvin scale. وقد درست ذلك بالتفصيل في صفوف سابقة.

لتتوصل إلى تعريف أكثر دقة لدرجة الحرارة، سندرس ما يحدث لجسيمات المادة على المستوى المجهرى عندما تكسب طاقة أو تفقدتها؛ إذ تملك هذه الجسيمات طاقة حرارية، وطاقة كامنة ناتجة من القوى المتبادلة بينها. أنظر إلى الشكل (2). فعندما يكسب جسم طاقة يزداد مقدار السرعة العشوائية لجسيماته، (الااهتزازية، الانتقالية، الدورانية)، أي تزداد طاقاتها الحرارية، فترتفع درجة حرارة الجسم. إذاً لا بد من وجود علاقة بين درجة حرارة الجسم والطاقة الحرارية لجسيماته؛ لذا تُعرف درجة الحرارة Temperature بأنها مقياس لمتوسط الطاقة الحرارية للجسيمات المكونة لجسم ما.

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

أفهم: عندما أقف حافي القدمين في الغرفة، واضعاً إحدى قدمي على سجادة، والأخرى على أرضية الغرفة، أحسّ بأَنَّ أرضية الغرفة أكثر بروداً من السجادة على الرغم من أنَّ لهما درجة الحرارة نفسها؟ أناقش أفراد مجتمعتي، وأستخدم مصادر المعرفة المتاحة للتوصل إلى إجابة عن السؤال.

أتحقق: ما الفرق بين درجة الحرارة والطاقة الحرارية؟



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

يوضح الشكل (3) كأسَي شاي متماثلين لهما درجة الحرارة نفسها؛ لذا يكون متوسّط الطاقة الحركية للجسيمات الموجودة في الكأسين متساوياً. ونظراً إلى أن كتلة الشاي (ومن ثم عدد جسيماته) في الكأس المُبيّنة في الشكل (3/أ) أكبر منها في الكأس المُبيّنة في الشكل (3/ب)، فإنَّ الطاقة الحرارية للشاي في الشكل (3/أ) هي الأكبر، على الرغم من أنَّ لهما درجة الحرارة نفسها.

الطاقة الداخلية Internal Energy

تمتلك جسيمات المادة طاقة حركية وطاقة كامنة. يسمى مجموع الطاقتين الحركية والكامنة لجسيمات المادة **الطاقة الداخلية Internal Energy**، أي أنَّ 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 الاثنين معًا، فالمادة الساخنة تمتلك طاقة داخلية أكثر مما تمتلك وهي باردة، بسبب احتواها طاقة حرارية أكثر. وتتجدر الإشارة إلى أنَّ الطاقة الداخلية للمواد الصلبة والسائلة تعتمد على كل من: درجة الحرارة، وكمية المادة، وتركيبها الكيميائي، أما في الغازات، فإنَّ الطاقة الداخلية تعتمد على ضغط الغاز إضافة إلى العوامل السابقة.

الرَّيْطُ بِالكِيمِيَاَءِ

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

- تكون المادة من جسيمات (جزيئات وذرات).
- المسافة الفاصلة بين جسيمات المادة صغيرة جدًا في المواد الصلبة، ومتوسطة في السوائل، وكبيرة جدًا في الغازات.
- تتحرك جسيمات المادة عشوائياً في الغازات، وانتقالياً في السوائل، واهتزازياً في المادة الصلبة.
- توجد بين جسيمات المادة قوى تعمل على ترابطها، تكون كبيرة في المادة الصلبة، ومتوسطة في السائلة، وصغيرة جدًا في الغازية.

أَتَحَقَّقَ: ما المقصود بالطاقة الداخلية لنظام؟

الحرارة Heat



أبحث

تختلف السعرات الحرارية التي أحصل عليها من الغذاء بحسب المادة الغذائية التي أتناولها. أبحث عن كمية السعرات الحرارية التي يُزوّدني بها (1 g) من المواد الغذائية التي أتناولها عادة. وأعد عرضاً تقديمياً، ثم أعرضه على طلبة الصف.

عندما يكون جسمان (نظامان) في حالة اتصال حراري تنتقل الطاقة من الجسم الأعلى درجة حرارة إلى الجسم الأدنى درجة حرارة، وتُسمى الطاقة المتنقلة 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.

✓ **أتحقق:** ما الطرائق المستخدمة في زيادة الطاقة الداخلية لنظام؟

٤٣ الرابط بالعلوم الحياتية

تحتاج الكائنات الحية إلى الطاقة لتمكّن من تنفيذ أنشطتها المختلفة (تنفس، تدوير الدم، هضم الطعام، النشاط البدني، وغيرها)، وتحصل على هذه الطاقة من الغذاء الذي تتناوله؛ إذ يُزوّدها الغذاء بالطاقة الازمة. فمثلاً، يحتاج جسم الإنسان إلى الطاقة لتنفيذ الأنشطة والأعمال المختلفة، ويتغير معدل حاجته إلى الطاقة بحسب مستوى نشاط الجسم، والعمر، وكتلة الجسم.

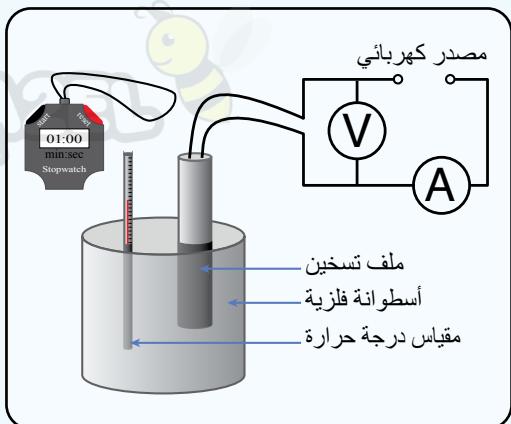
استخدم العلماء وحدات قياس مختلفة لقياس الحرارة، ومن أشهرها: السُّعر calorie وهو كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة (1 g) من الماء بمقدار (1°C)، وتستخدم هذه الوحدة عادة للدلالة على مقدار ما يحويه الغذاء من طاقة. أما وحدة قياس الحرارة بحسب النظام الدولي للوحدات، فهي الجول (J)، وهي نفسها وحدة قياس أشكال الطاقة الأخرى. والعلاقة الرياضية التي تربط السُّعر بالجول هي: $1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$.

السَّعة الحرارية النوعية Specific Heat Capacity

تحتاج الكتل المتساوية المصنوعة من مواد مختلفة في مقدار تغيير درجة حرارتها، عند اكتسابها أو فقدانها كمية الطاقة نفسها، فبعضها ترتفع درجة حرارته بمقدار أقل من غيره على الرغم من تزويدها بكميات متساوية من الطاقة، يمكن تفسير ذلك بتنفيذ التجربة الآتية:

التجربة ١

قياس السعة الحرارية النوعية لمادة



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

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

خطوات العمل:

أنفذ الخطوات الآتية بالتعاون مع أفراد مجموعتي:

- أقيس كتل الأسطوانات الثلاث ودرجات حرارتها الابتدائية، ثم أدونها.
- أصل ملف التسخين بالمصدر الكهربائي والأميتر والفولتميتر، كما هو موضح بالشكل.
- أجب: أضع ملف التسخين وقياس درجة الحرارة في التقبين المخصصين لهما في أسطوانة الرصاص، ثم أشغل المصدر الكهربائي متزامناً مع تشغيل ساعة التوقيت، ثم أدون قراءة كل من الأميتر والفولتميتر.
- أفصل التيار الكهربائي عند ارتفاع درجة الحرارة بمقدار (10°C) متزامناً مع إيقاف ساعة التوقيت، ثم أدون قراءة مقياس درجة الحرارة.
- أضبط المتغيرات: أكرر الخطوتين (٣، ٤) باستخدام الرصاص، ثم النحاس، مُراعياً إيقاف تشغيل المصدر عند ارتفاع درجة الحرارة بمقدار (10°C).

التحليل والإستنتاج:

- استنتج: ما العلاقة بين كمية الطاقة الحرارية Q وزمن تشغيل السخان؟
- أحسب مقدار الطاقة الحرارية المنقولة إلى الفلز بحسب العلاقة الآتية:

$$Q = IVt$$

- أحسب السعة الحرارية النوعية لكل مادة باستخدام العلاقة الآتية:

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

- أفسر: ما سبب الاختلاف في قيم السعة الحرارية النوعية لكل من الرصاص والألمنيوم والنحاس؟

أَمْكَنْ: يجب تفّقد الماء في المشعّات (الرادييتر) في السيارة دورياً؛ للتأكد من كمية الماء فيها. لماذا يُحدّر من فتح غطاء (الرادييتر) عندما تكون درجة حرارة المحرك مرتفعة؟



أُستتّجُ بعد تنفيذ التجربة السابقة أنّ نوع مادّة الجسم يؤثّر في مقدار التغيير في درجة حرارته عند تسخينه أو تبريده؛ إذ توجد خصيصة للمادّة تعتمد على طبيعتها، وتحتّل من مادّة إلى أخرى نتيجة اختلاف كيّفية حركة ذرّاتها وجزيئاتها على المستوى المجاري، وتحتّل عدد ذرّاتها أو جزيئاتها في وحدة الكتل، إضافة إلى اختلافها في مقدارتها على توصيل الطاقة بحسب تراصّ الذرّات وترابطها، وتُسمّى هذه الخاصيّة **السّعّة الحراريّة النوعيّة (c)** وتعُرف بأنّها كميّة الطاقة اللازّمة لرفع درجة حرارة (1 kg) من المادّة بمقدار (1 K)، وتُقاس بوحدة (J/kg.K) بحسب النّظام الدولي للوحدات. وهي تعتمد على نوع مادّة الجسم فقط؛ فهي تختلف من مادّة إلى أخرى، ولا تعتمد على كتلة الجسم أو حجمه.

بالإضافة إلى تأثير نوع مادّة الجسم (السّعّة الحراريّة النوعيّة) في مقدار التغيير في درجة حرارته، فإنّ لكلّ من كتلته وكميّة الطاقة التي يُزوّد بها تأثير أيضاً في مقدار هذا التغيير. وبربط هذه المتغيرات معًا يمكن تعريف السّعّة الحراريّة النوعيّة رياضيًّا على النحو الآتي: إذا زوّد جسم كتلته (m) بطاقة مقدارها (Q)، وتغيّرت درجة حرارته بمقدار (ΔT)، فإنّه يمكن التعبير عن السّعّة الحراريّة النوعيّة لمادّة الجسم رياضيًّا بالعلاقة الآتية:

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

يمكن استخدام هذه العلاقة في حساب كميّة الطاقة التي يكتسبها جسم أو يفقدها عند تغيير درجة حرارته - التي تساوي التغيير في طاقته الحراريّة (ΔE) - على النحو الآتي:

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

ألاّحظ أنّه إذا اكتسب الجسم طاقة، فإنّ كلاً من (Q) و (ΔT) تكونان موجبّتين. أمّا إذا فقد الجسم طاقة، فإنّ كلاً من (Q) و (ΔT) تكونان سالبّتين. ويمكن حساب التغيير في درجة الحرارة بوحدة سلسليوس أو كلفن؛ إذ إنّ الفرق بين تدريجين متتاليين في مقاييس سلسليوس يساوي عدديًّا الفرق بين تدريجين متتاليين في مقاييس كلفن، ويوضّح الجدول (1) السّعّة الحراريّة النوعيّة لبعض المواد الشائعة.

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

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

أفخر: 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، مستعيناً بالجدول (1).

أبحث

تحتوي الكائنات الحية نسبياً مختلقة من الماء في أجسامها؛ فنسبة الماء في جسم الإنسان مرتفعة تصل إلى (70%) تقريباً من كتلة جسمه. أبحث في دور وجود الماء في جسم الإنسان وغيره من الكائنات الحية، وأهميته في المحافظة على ثبات درجات حرارة أجسامها طوال اليوم تقريباً، وأعد عرضاً تقديرياً، ثم أعرضه على طلبة الصف.

أتحقق: ما السعة الحرارية النوعية؟ ما العوامل التي تعتمد عليها كمية الطاقة المكتسبة أو المفقودة؟

الربط بالحياة

يُعد الماء سائلاً مثالياً للتبريد؛ بسبب سعته الحرارية النوعية الكبيرة جداً، فهو يسخن ببطء ويرد ببطء، وهذا يمكّنه من احتزان الطاقة والحفاظ عليها مددًا زمنية طويلة بالمقارنة مع غيره من السوائل؛ لذا يستخدم الماء في أنظمة التبريد في المحركات؛ إذ يمكن لكمية قليلة من الماء أن تكتسب كمية كبيرة من الطاقة من أجزاء المحرك مقابل ارتفاع قليل في درجة حرارتها، ثم يتخلص من هذه الطاقة إلى الهواء الجوي عن طريق المشعّات (الراديتور)، انظر إلى الشكل (4).



الشكل (4): يستخدم الراديتور في أنظمة التبريد؛ للتخلص من الطاقة الناتجة في أجزاء المحرك.

المثال 1

وضعت هناء قطعة رصاص كتلتها (250 g) ودرجة حرارتها (20°C)، على مصدر حراري زوّدتها بكمية طاقة مقدارها (2.6 kJ). إذا علمت أن السعّة الحرارية النوعية للرصاص ($c_{\text{Pb}} = 130 \text{ J/kg.K}$) تقريرياً، فأحسب مقدار ما يأتي:

- ال滂غ في الطاقة الحرارية لقطعة الرصاص (ΔE_{Pb}).
- درجة حرارة قطعة الرصاص النهائية.

المعطيات: $m = 250 \text{ g} = 0.250 \text{ kg}$, $T_i = 20^{\circ}\text{C}$, $Q = 2.6 \times 10^3 \text{ J}$, $c_{\text{Pb}} = 130 \text{ J/kg.K}$

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

الحلّ:

أ. مقدار الت滂غ في الطاقة الحرارية لقطعة الرصاص يساوي كمية الطاقة التي اكتسبتها؛ إذ لا يوجد تغير في الحالة الفيزيائية للرصاص.

$$\Delta E_{\text{Pb}} = Q = 2.6 \times 10^3 \text{ J}$$

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

$$Q = mc \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{Q}{mc} = \frac{2.6 \times 10^3}{0.250 \times 130} = 80^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = T_f - T_i$$

$$T_f = \Delta T + T_i = 80 + 20 = 100^{\circ}\text{C}$$

المثال 2

سخان كهربائي قدرته (1.5 kW)، يحتوي (20 kg) ماءً درجة حرارته (15°C)، يُراد تسخينه إلى درجة حرارة (65°C). بافتراض تحول الطاقة الكهربائية كاملة إلى طاقة حرارية اكتسبها الماء، والسعّة الحرارية النوعية للماء ($c_w = 4200 \text{ J/kg.K}$) تقريرياً، أحسب مقدار ما يأتي:

- كمية الطاقة التي اكتسبها الماء.
- الزمن الذي يستغرقه السخان 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: $Q = ?$, $\Delta t = ?$

الحل:

أ. تحول مقاومة السخان الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية يكتسبها الماء، وترفع درجة حرارته.

$$\begin{aligned} Q &= mc \Delta T \\ &= 20 \times 4.2 \times 10^3 \times (65 - 15) \\ &= 4.2 \times 10^6 \text{ J} \end{aligned}$$

ب. العلاقة التي تربط القدرة بالشغل والزمن، هي:

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

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

$$\begin{aligned} P &= \frac{W}{\Delta t} = \frac{Q}{\Delta t} \\ \Delta t &= \frac{Q}{P} = \frac{4.2 \times 10^6}{1.5 \times 10^3} \\ &= 2.8 \times 10^3 \text{ s} = 46.67 \text{ min} \end{aligned}$$

لندن

1. **استخدم الأرقام:** قطعة ألمانيوم كتلتها (15 g) ودرجة حرارتها (450 K). وُضِعت داخل إناء يحتوي ماءً فانخفضت درجة حرارتها إلى (280 K). أحسب كمية الطاقة التي فقدتها قطعة الألمنيوم.

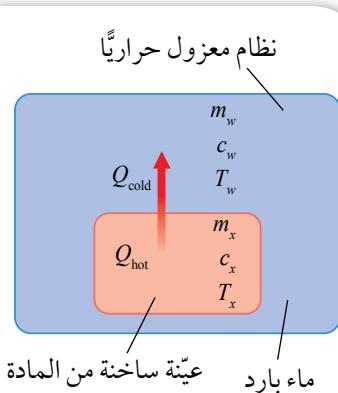


الشكل (5): الشرuber المتطاير من أحد أنواع الألعاب النارية (Sparklers).

2. **التفكير الناقد:** يُبيّن الشكل (5) أحد أنواع الألعاب النارية البرّاقة الصغيرة التي تُحمل باليد وتُسمّى الماسة (Sparkler)، وتتميز بأنّها تشتعل ببطء، مُولّدةً شرراً ولهاً. وتكون درجة حرارة الجزء المشتعل منها (2000°C) تقريباً، ويؤدي لمسه باليد إلى الإصابة بحروق خطيرة. أوضح لماذا لا يُسبب سقوط شرارة منبعثة من الماسة المحترقة على الجلد إصابات خطيرة له؟



أصمم باستخدام برنامج السكراتش (Scratch) عرضاً يوضح طريقة انتقال الطاقة بين جسمين مختلفين في درجتي حرارتيهما، حتى يصل إلى حالة اتزان حراري.



الشكل (6): في تجربة قياس السعة الحرارية النوعية، تتوضع عينة ساخنة من مادة مجهولة السعة الحرارية النوعية في ماء بارد، في وعاء يعزل النظام عن المحيط الخارجي.

الاتزان الحراري Thermal Equilibrium

عند اتصال الأجسام المختلفة في درجات حرارتها معاً، فإنها تسعى تلقائياً 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.

تُفسّر عملية انتقال الطاقة هذه على المستوى المجهري، بأن الجسيمات المتحركة داخل الجسم الساخن التي تمتلك طاقة حركية كبيرة نسبياً 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، وعندما يتساوى معدلاً انتقال الطاقة بين الجسمين فيصبح الجسمان في حالة اتزان حراري Thermal equilibrium ويكون صافي الطاقة المتقللة بين الجسمين صفرًا.

$$\sum Q = 0$$

يوضّح الشكل (6) نظاماً يتكون من عينة (x) مرتفعة درجة الحرارة (T_x) من مادة مجهولة السعة الحرارية النوعية (c_x) موضوعة في ماء بارد؛ إذ تنتقل الطاقة تلقائياً داخل النظام من الجزء الأعلى درجة حرارة إلى الجزء الأدنى درجة حرارة، حتى يُصيحاً في حالة اتزان حراري، وتكون لهما درجة الحرارة النهائية (T_f) نفسها.

إذا كان النظام معلقاً ومعزولاً حرارياً، بحيث لا تدخل طاقة أو مادة إلى النظام ولا تغادره، يبقى المجموع الكلي للطاقة في النظام ثابتاً. وبافتراض أنّ النظام مكون من العينة (x) والماء فتكون الطاقة الكلية للنظام ثابتة، أي أنّ:

$$E_x + E_w = \text{constant}$$

أتحقق: متى يصل جسمان إلى حالة اتزان حراري؟ ✓

ونظراً إلى أنّ النظام مغلق ومعزول حرارياً؛ فإنّ التغيير الكلّي في طاقة النظام يجب أن يساوي صفرًا، أي أنّ:

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

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



الاحظ أنّ التغيير في الطاقة الحرارية لأحد جزأي النظام موجب، فترتفع درجة حرارته، في حين يكون التغيير في الطاقة الحرارية لجزء النظام الآخر سالباً، فتنخفض درجة حرارته. ونظراً إلى أنّ النظام مغلق ومعزول ولا يُبدل شغل عليه، فإنّ التغيير في الطاقة الحرارية لجزأي النظام ناتج من انتقال الطاقة بينهما، ومقداره يساوي كمية الطاقة المنتقلة (Q)؛ لذا يمكن التعبير عن تغيير الطاقة الحرارية لكلّ من جزأي النظام بالعلاقة الآتية:

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

ونظراً إلى أنّ كمية الطاقة التي تفقدتها العينة الساخنة (Q_{hot}) تساوي كمية الطاقة التي يكتسبها الماء البارد (Q_{cold})، وباستخدام مبدأ حفظ الطاقة، يمكن التعبير رياضياً عما سبق على النحو الآتي:

$$Q_x + Q_w = 0$$

ولأيّ عدد من الأجسام (A, B, C, ...) في حالة اتصال حراري في نظام مغلق ومعزول ومتزن حرارياً، يمكن كتابة معادلة انتقال الطاقة بينها على النحو الآتي:

$$Q_A + Q_B + Q_C + \dots = 0$$

أتحقق: ما المقصود بالنظام الحراري المغلق والمعزول؟ ✓

الربط بالเทคโนโลยيا



المسعر الحراري Calorimeter
إناء معزول حرارياً يتكون من طبقتين بينهما مادة عازلة للحرارة. توضع داخله المواد المختلفة فيحدث بينها تبادل الطاقة الحرارية، ويستخدم في قياس السعة الحرارة النوعية لمادة معينة.



مسعر حراري يحتوي ماءً كتلته (0.4 kg) ودرجة حرارته (20°C)، وُضعت فيه كرة فلزية كتلتها (0.05 kg) ودرجة حرارتها (200°C). إذا كانت درجة الحرارة النهائية للنظام عند الاتزان الحراري (22.4°C)، والنظام مغلق ومعزول وبإهمال الطاقة التي تكتسبها مادة المسعر، فأحسب مقدار ما يأتي:

- أ. التغيير في الطاقة الحرارية للماء.
- ب. السعة الحرارية النوعية لمادة الكرة الفلزية.

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:

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

الحل:

أ. تفقد الكرة الفلزية الساخنة كمية من الطاقة يكتسبها الماء البارد، حتى يصل إلى حالة الاتزان الحراري. أحسب التغيير في طاقته الحرارية على النحو الآتي:

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

التغيير في الطاقة الحرارية للماء موجب، أي أنه اكتسب طاقة.

ب. أستخدم معادلة انتقال الطاقة الآتية:

$$Q_w + Q_b = 0$$

$$Q_w = -Q_b$$

$$m_w c_w \Delta T_w = -m_b c_b \Delta T_b$$

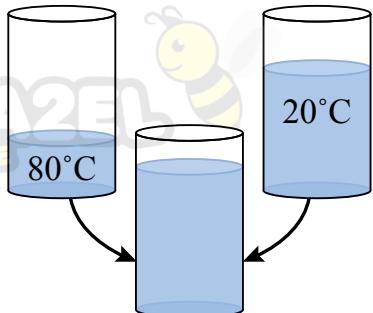
وبالحل بالنسبة إلى (c_b):

$$c_b = -\frac{m_w c_w (T_f - T_{i,w})}{m_b (T_f - T_{i,b})}$$

$$c_b = -\frac{4.03 \times 10^3}{0.05 \times (22.4 - 200)}$$

$$c_b = 454 \text{ J/kg.K}$$

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:

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

المطلوب:

$$T_f = ?$$

الحل:

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

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

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

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

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

$$1.6T_f = 56 \rightarrow T_f = 35^\circ\text{C}$$

لـمـرـلـه

أستخدم الأرقام: وضع ياسين قالبًا فلزّياً كتلته (0.14 kg) ودرجة حرارته (160°C)، في مسّعر حراري يحتوي ماءً كتلته (0.15 kg) ودرجة حرارته (10°C)، وكانت درجة الحرارة النهائية للنظام عند الاتّزان الحراري (24°C). إذا علمتُ أنَّ النّظام مغلقٌ ومعزولٌ وبإهمال الطاقة التي تكتسبها مادّة المسّعر،

فأحسبُ مقدار ما يأتي:

- أ. التغيير في الطاقة الحرارية للقالب الفلزّي.
- ب. السّعة الحرارية النوعية لمادّة القالب.

مراجعة الدرس

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

2. **أصدر حكماً:** في أثناء دراسة فاتن هذا الدرس، قالت: «إن الأجسام الأعلى درجة حرارة تمتلك طاقة حرارية أكبر من الأجسام الأقل درجة حرارة». أناقش زملائي / زميلاتي في صحة قولها.

3. **توقع:** أرادت إسراء تصميم مدفأة كهربائية يعتمد مبدأ عملها على التسخين الكهربائي لصفيحة فلزية توجد داخلها، وعند وصول درجة حرارة الصفيحة إلى قيمة معينة ينفصل التيار الكهربائي آلياً عن المدفأة، ثم يعود التيار عند انخفاض درجة حرارة الصفيحة. أناقش زملائي / زميلاتي في مزايا استخدام مادة فلزية ذات سعة 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 ${}^{\circ}\text{C}$.3 والمادة (B) بمقدار ${}^{\circ}\text{C}$.4 أي المادتين لها سعة حرارية نوعية أكبر؟
أفسر إجابتي.

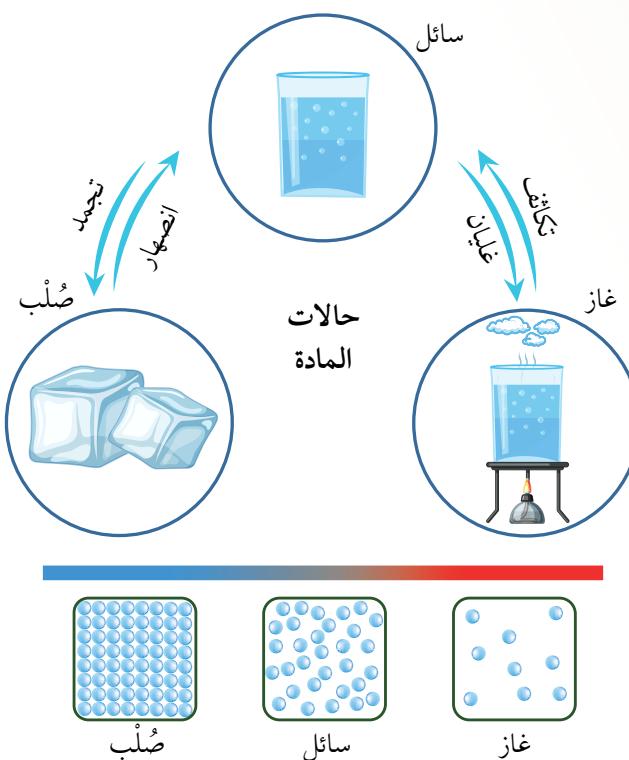
5. **استخدم الأرقام:** مصدر حراري يعمل بالوقود. إذا كانت كمية الوقود المتوفّرة فيه تولّد طاقة مقدارها (1.25 MJ) عند حرقها، فأحسب كتلة الماء التي يمكن تسخينها من درجة حرارة (8°C) إلى درجة حرارة (100°C) بافتراض اكتساب الماء الطاقة المتولدة كلها، والسعّة الحرارية النوعية للماء ($c_w = 4200 \text{ J/kg.K}$) تقريرياً.

6. **التفكير الناقد:** لدى علياء أربع قطع متساوية في الكتلة: اثنان من الحديد واثنان من الألミニوم، درجة حرارتها (20°C)، ولديها أربع كميات متساوية في الكتلة: اثنان من الماء، واثنان من الإيثانول، درجة حرارتها (80°C)، ووضعت قطعة حديد في الماء والثانية في الإيثانول، ووضع قطعة ألمانيوم في الماء والثانية في الإيثانول. إذا علمت أن السعّة الحرارية النوعية للإيثانول ($2.4 \times 10^3 \text{ J/kg.K}$) وعتمداً على الجدول (1). أي القطع الأربع ترتفع درجة حرارتها ارتفاعاً أكبر؟
أفسر إجابتي

تغير الحالة الفيزيائية Phase Change

يحدث غالباً تغيير في درجة حرارة المادة عند حدوث تبادل في الطاقة بينها وبين محاطها الخارجي، فمثلاً، ترتفع درجة حرارة الماء عند تسخينه، بسبب انتقال طاقة حرارية إليه من مصدر التسخين. ولكن، توجد حالات لا يؤدي فيها نقل الطاقة إلى تغيير في درجة الحرارة. ويحدث هذا عندما تغير الحالة الفيزيائية للمادة، وهو ما يعرف باسم **تغير الحالة Phase Change** والحالات الفيزيائية الثلاث المعروفة للمادة هي: السائلة، والصلبة، والغازية. كما توجد حالة رابعة تسمى **البلازم**، عند درجات الحرارة العالية جداً. وستقتصر دراستنا على الحالات الثلاث.

يبين الشكل (7) تغييرين شائعين في الحالة الفيزيائية للمادة، هما: التغيير بين الحالتين الصلبة والسائلة (الانصهار، أو التجمد)، والتغيير بين الحالتين السائلة والغازية (التصعيد، أو التكاثف). تتضمن هذه التغييرات تغييراً في الطاقة الكامنة (الوضع) للمادة، من دون تغيير في درجة حرارتها.



الفكرة الرئيسية:

تغير الحالة الفيزيائية للمادة عند اكتسابها أو فقدانها مقداراً محدداً من الطاقة، ويتضمن التغيير في حالة المادة تغيراً في الطاقة الكامنة للمادة، دون حدوث تغيير في درجة حرارتها.

متطلبات التعلم:

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

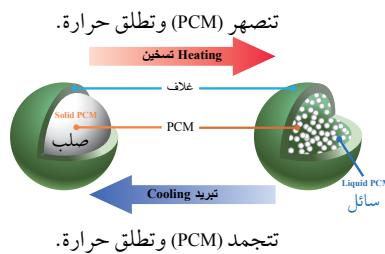
المفاهيم والمصطلحات:

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

الشكل (7): التغييرات في الحالة الفيزيائية للمادة وتوضيح ما يرافق تغير الحالة الفيزيائية من تغير على وضع جسيمات المادة.



المادة متغيرة الحالة material و اختصارها (PCM) هي مادة تمتص وتطلق كميات كبيرة من الطاقة في أثناء تحولها من الحالة الصلبة إلى السائلة أو العكس، عند درجة حرارة ثابتة. حيث تُعد مخزناً للطاقة الحرارية، تكون على شكل كبسولات صغيرة ذات غلاف بلاستيكي، داخلها مادة (PCM) ومن الأمثلة عليها شمع البرافين. تلقى هذه المواد اهتماماً لدى العلماء؛ بغية تطوير خصائصها واستخدامها في تطبيقات تكنولوجية مختلفة، مثل استخدامها في المبني بدلاً عن مواد العزل الحراري التقليدية.



أَفْخَر: عند درجة تجمّد الماء أو درجة انصهاره، يوجد الماء في حالته الصلبة والسائلة معًا. إذا أضفت (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؟ لأنّ قشر أفراد مجموعتي، وأستخدم مصادر المعرفة المتاحة للتوصّل إلى إجابة عن السؤال.

التغيير بين الحالتين: الصلبة والسائلة

Change of Phase Between Solid and Liquid

عند تزويد مادة صلبة بالطاقة، ترتفع درجة حرارتها حتى تصل إلى درجة حرارة محددة تثبت عندها، على الرغم من استمرار تزويدها بالطاقة، حيث تبدأ المادة الصلبة في التغيير وتحول إلى الحالة السائلة عند درجة الحرارة نفسها. تُسمى درجة الحرارة التي تتغير عندها الحالة الفيزيائية للمادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة **درجة الانصهار Melting point**، وثبات درجة الانصهار يُعدّ خصيصة فيزيائية للمادة النقيّة، ويتغير مقدارها من مادة إلى أخرى بحسب قوى الترابط بين جسيمات المادة، وهي نفسها درجة التجمّد Freezing point التي تتغير عندها الحالة الفيزيائية للمادة 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، فتتحرّك الجسيمات مبتعدة عن بعضها، وتزداد طاقة الوضع (الكامنة) لهذه الجسيمات التي تغيرت حالتها إلى الحالة السائلة، معبقاء متوسط طاقتها الحرّيكية ثابتاً، لذا لا ترتفع درجة حرارة المادة .

تُعرّف الحرارة النوعية الكامنة لانصهار Specific latent heat of fusion

بأنّها كمية الطاقة اللازمة لتحويل (1 kg) من المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة من دون تغيير درجة حرارتها، رمزها (L_f) ووحدة قياسها (J/kg) بحسب النظام الدولي للوحدات، وهي خصيصة للمادة النقيّة لا تعتمد على كتلتها، فمثلاً، الحرارة النوعية الكامنة لانصهار الجليد تساوي ($3.34 \times 10^5 \text{ J/kg}$)، وهذا يعني أنّه يلزم طاقة مقدارها ($3.34 \times 10^5 \text{ J}$) لتحويل (1 kg) من الجليد عند درجة الانصهار (0°C) من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة عند درجة الحرارة نفسها.

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

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

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

أتحقق: 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 kJ) لصهرها عند درجة الحرارة نفسها. فما كتلة الجليد المنصهر، علماً أن 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:

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



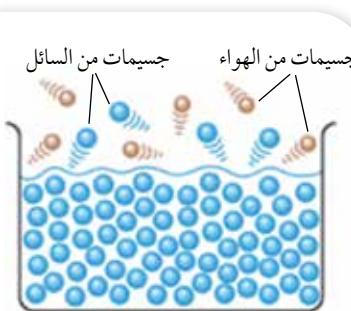
أبحث

عندما يكون هواء الغرفة جافاً وأفتح مجّمد الثلاجة، لا حظ أحياناً تصاعد البخار منه؛ إذ تتغيّر حالة الجليد فيها من الصلبة إلى الغازية دون المرور بالحالة السائلة. أبحث عن هذه الظاهرة واسمها والتفسير الفيزيائي لها، ثم أعدّ عرضاً تقديميّاً أعرضه على زملائي / زميلاتي في الصفّ.

التغيير بين الحالتين: السائلة والغازية

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 الالزامية لتبخر العرق تُسحب من الجسم، ويعتمد معدل التبخر على الرطوبة النسبية للهواء الملائم للجلد، فإذا كانت الرطوبة عالية يكون الهواء مشبعاً بالبخار، فيكون معدل تبخر العرق أبطأ، ما يؤدي إلى الشعور بالتعرق اللزج الذي نشعر به عند ارتفاع درجة الحرارة والرطوبة.



الشكل (8): يلزم طاقة إضافية لبذل شغل ضد قوة الضغط الجوي لتوفير حيز لجزيئات السائل المتبخّرة.

Change of State Between Liquid and Gas

باستمرار تسخين مادة سائلة ترتفع درجة حرارتها حتى تثبت عند درجة حرارة محددة، تبدأ عندئذٍ حالتها الفيزيائية بالتغيّر من السائلة إلى الغازية عند درجة الحرارة نفسها، على الرغم من استمرار تزويدها بالطاقة. تُسمى درجة الحرارة التي تتغيّر عندها الحالة الفيزيائية للمادة من السائلة إلى الغازية **درجة الغليان Boiling point**، وثبات درجة الغليان يُعد خصيصة فيزيائية للمادة النقية، ويتغير مقدارها من مادة إلى أخرى بحسب قوى الترابط بين جسيماتها. أمّا التكافّل Condensation فهو تغيّر الحالة الفيزيائية للمادة من الغازية إلى السائلة.

الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد

في أثناء تغيّر الحالة الفيزيائية للمادة عند درجة الغليان، تُستخدم الطاقة التي تُزود للسائل في كسر قوى الترابط بين جسيماته، ما يؤدي إلى زيادة المسافة الفاصلة بينها؛ لذا يزيد التسخين الطاقة الكامنة للجسيمات، مع بقاء متوسط طاقتها الحرارية ثابتاً. وتُستخدم هذه الطاقة أيضاً في بذل شغل ضد القوة الناتجة من ضغط الغلاف الجوي على سطح السائل، بحيث تمكّن الجسيمات من مغادرة سطح السائل، أنظر إلى الشكل (8).

تُسمى كمية الطاقة الالزامية لتحويل (1 kg) من المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية دون تغيير درجة حرارتها **الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد Specific latent heat of vaporization** ورمزها (L_v)

وحدة قياسها (J/kg) بحسب النظام الدولي للوحدات، وهي خصيصة للمادة النقية لا تعتمد على كتلتها، فمثلاً، الحرارة النوعية الكامنة لتصعيد الماء تساوي (2.26×10^6 J/kg)، وهذا يعني أنه 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.

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

ال المادة	درجة الانصهار (°C)	الحرارة النوعية الكامنة للانصهار (J/kg)	الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد (J/kg)	درجة الغليان (°C)	الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد (J/kg)
الأكسجين	-218.79	2.13×10^5	1.38×10^4	-182.97	
الماء	0.00	2.26×10^6	3.34×10^5	100.00	
الرصاص	327.3	8.70×10^5	2.45×10^4	1750	
الألミニوم	660	1.14×10^7	3.97×10^5	2450	
الفضة	960.8	2.33×10^6	8.82×10^4	2193	
الذهب	1063.00	1.58×10^6	6.44×10^4	2660	
النحاس	1083	5.06×10^6	1.34×10^5	1187	

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

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

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

يُبيّن الجدول (2) درجتي الانصهار والغليان، وبعض قيم الحرارة النوعية الكامنة للانصهار، والحرارة النوعية الكامنة للتصعيد لبعض المواد النقية الشائعة.

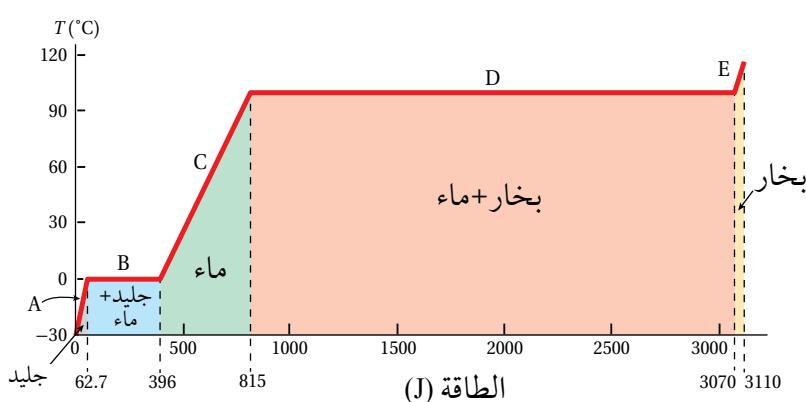
منحنى تغيرات الحالة الفيزيائية Phase Changes Graph

يوضح الشكل (9) تمثيلاً بيانيًّا للتغير في درجة حرارة عينة من مادة معينة بتغيير كمية الطاقة المكتسبة، وذلك في أثناء تحول العينة من الحالة

أفخر: لماذا تكون درجة حرارة الجو في أثناء تساقط الثلج أدنى نسبيًّا من درجة الحرارة في أثناء انصهاره؟

تحقق: ماذا يعني أن «الحرارة النوعية الكامنة لتصعيد الرصاص تساوي

$$(8.70 \times 10^5 \text{ J/kg})$$



الشكل (9): التغيرات في درجة حرارة جسم من مادة معينة، بتغيير كمية الطاقة المكتسبة، وتغيير حالته الفيزيائية عند درجتي الانصهار والغليان.

الصلبة إلى الحالة الغازية. الشكل المرسوم يوضح الطاقة اللازمة لتحول مكعب من الجليد كتلته (1.00 g) ودرجة حرارته (-30.0 °C) إلى بخار درجة حرارته (120 °C). يمكن تقسيم المنهنى خمس مراحل كما هو مثبت على الشكل.

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

المرحلة (A): تتغير درجة حرارة الجليد من (30 °C) إلى (0 °C). ولأن السعة الحرارية النوعية للجليد (2090 J/kg)، يمكن حساب الطاقة المكتسبة بالعلاقة الآتية:

$$Q = m_i c_i \Delta T = 1 \times 10^{-3} \times 2090 \times 30 = 62.7 \text{ J}$$

المرحلة (B): عند وصول درجة حرارة الجليد إلى (0 °C)، فإن خليط (الماء - الثلج) يثبت عند هذه الدرجة، على الرغم من استمرار تزوييد العينة بالطاقة، إلى أن تنصهر العينة كاملة وتتحول إلى ماء. وتحسب الطاقة اللازمة لانصهار العينة بالعلاقة الآتية:

$$Q_{\text{fusion}} = m_i L_f = 1 \times 10^{-3} \times 3.33 \times 10^5 = 333 \text{ J}$$

نلاحظ أنها على محور الطاقة انتقلنا إلى التدرج (396 J).

$$\text{حيث } (62.7 + 333 = 396 \text{ J})$$

المرحلة (C): بين درجتي الحرارة (0 °C) و (100 °C) تستخدم الطاقة التي يزود بها الماء في رفع درجة حرارة الماء. وتحسب بالعلاقة الآتية:

$$Q = m_w c_w \Delta T = 1 \times 10^{-3} \times 4.19 \times 10^3 \times 100 = 419 \text{ J}$$

المرحلة (D): عند درجة الحرارة (100 °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:

$$Q_{\text{vaporization}} = m_w L_v = 1 \times 10^{-3} \times 2.26 \times 10^6 = 2.26 \times 10^3 \text{ J}$$

المرحلة (E): في هذه المرحلة، تستخدم الطاقة في رفع درجة حرارة البخار من (100 °C) إلى (120 °C)، وتحسب بالعلاقة الآتية:

$$Q = m_s c_s \Delta T = 1 \times 10^{-3} \times 2.01 \times 10^3 \times 20 = 40.2 \text{ J}$$



أصمّم باستخدام برنامج السكراتش (Scratch) عرضاً يوضح كيفية تغيير حالة المادة عند تزويدها بالطاقة مساعيناً بالشكل (9).

التبخر والغليان Evaporation and Boiling

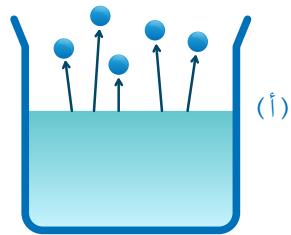
يخلط البعض بين مفهومي التبخر والغليان، ويوجد فرق بينهما على الرغم من أنهما يمثلان تغير حالة المادة من السائلة إلى الغازية، ولكن التبخر Evaporation يحدث عند درجات الحرارة جميعها، وهي عملية بطيئة تحدث للجسيمات الموجودة على سطح السائل كونها أقل ارتباطاً ببقية جسيمات السائل مقارنة بارتباط الجسيمات داخل السائل، فعندما يمتلك الجسيم طاقة حرارية كافية تكون عادة أكبر من متوسط الطاقة الحرارية لبقية جسيمات السائل فإنه يتبخر، أنظر إلى الشكل (10/أ).

فمثلاً، تُسخّن أشعة الشمس الماء على السطح، ويكون بعض الجزيئات الموجودة على سطح الماء طاقة حرارية أكبر من غيرها، وإذا كانت هذه الطاقة كافية لكسر قوى الترابط بين جزيئاته فإنّها ستتبخر وتغادر سطح الماء، على الرغم من أنّ درجة حرارته أقلّ من درجة الغليان، أنظر إلى الشكل (10/ب).

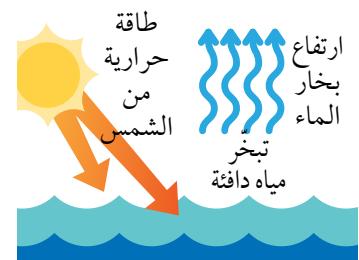
أما الغليان Boiling فهو عملية تبخر سريعة تحدث عندما يساوي ضغط البخار الضغط الجوي، وهي تحدث عند درجة حرارة محددة هي درجة الغليان؛ إذ تمتلك جزيئات السائل طاقة كافية لمغادرة السائل بكميات كبيرة بما فيها الجسيمات داخله، فيكون التبخر من أجزاء السائل جميعها، وتظهر الفيزياء تحت سطحه؛ إذ ترفع الطاقة المضافة الطاقة الكامنة من دون تغيير درجة الحرارة في أثناء الغليان، فتتكسّر الروابط بينها، ما يُمكّنها من الحركة بحرية أكبر، ومن ثمّ تتحول إلى الحالة الغازية، وتخرج من السائل على هيئة فقاعات. أنظر إلى الشكل (10/ج).

أبحث

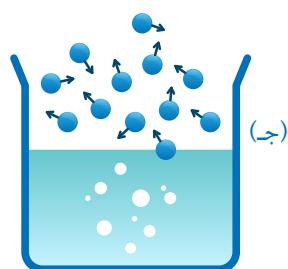
يعتمد معدل التبخر على عوامل عده، منها درجة الحرارة، ومساحة السطح المعرض للتقطير، أبحث عن العوامل التي يعتمد عليها معدل التبخر، ثم أعدّ عرضاً تقديميًّا يحتوي صوراً أو صوراً أوضاع عبرها أثر كل عامل، ثم أعرض ما توصلت إليه على زملائي / زميلاتي.



التبخر



(ب)



الغليان

الشكل (10):

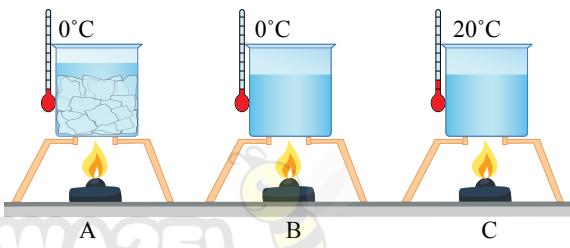
(أ) تبخر الجزيئات التي على سطح السائل.

(ب) تبخر جزيئات الماء على السطح بفعل التسخين الحراري من الشمس.

(ج) تبخر الجزيئات من أجزاء السائل جميعها عند غليانه.

أتحقق: أقارن بين التبخر والغليان.

المثال 6



AWAY2EIN
LEARN 2 BE

الشكل (11): مراحل انصهار مكعبات جليد.

- يوضح الشكل (11) انصهار مكعبات جليد كتلتها (2 kg) بدرجة حرارة (0°C) إلى ماء سائل بدرجة حرارة (0°C) وتوسّعها المرحلة: (A) إلى (B)، ثم رفع درجة حرارة الماء السائل من (0°C) إلى ماء سائل بدرجة حرارة (20°C) وتوسّعها المرحلة: (B) إلى (C). إذا علمنت أن السعة الحرارية النوعية للماء (4200 J/kg.K)، والحرارة النوعية الكامنة لانصهار الجليد (3.33×10^5 J/kg)، أحسب كمية:
- الطاقة اللازمة لصهر الجليد في المرحلة A إلى B.
 - الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء في المرحلة B إلى C.
 - الطاقة الكلية اللازمة لرفع درجة حرارة الجليد من (0°C) إلى ماء بدرجة حرارة (20°C).

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

المطلوب: $Q_{fusion} = ?$, $Q_w = ?$, $Q_{total} = ?$

الحل:

أ. أحسب كمية الطاقة اللازمة لصهر الجليد على النحو الآتي:

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

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

$$Q_w = m_w c_w \Delta T_w \\ = 2 \times 4200 \times (20 - 0) \\ = 1.68 \times 10^5 \text{ J}$$

ج. أحسب كمية الطاقة الكلية اللازمة لرفع درجة حرارة الجليد من (0°C) إلى ماء بدرجة حرارة (20°C) على النحو الآتي:

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

كمية من بخار الماء كتلتها (5 kg) ودرجة حرارتها (130°C)، يراد تبریدها وتحويلها إلى سائل بدرجة حرارة (50°C). إذا علمت أن السعة الحرارية النوعية للبخار (2010 J/kg.K)، والسعّة الحرارية النوعية للماء

(4200 J/kg.K)، والحرارة النوعية الكامنة لتصعيد الماء ($2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$)، أحسب ما يأتي:

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

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

ج. كمية الطاقة الكلية المنطلقة عند تبرید بخار الماء من (130°C) إلى ماء بدرجة حرارة (50°C).

المعطيات:

$$m = 5 \text{ kg}, T_{i,vapor} = 130^\circ\text{C}, T_{f,liquid} = 50^\circ\text{C}, c_{vapor} = 2010 \text{ J/kg.K}, c_w = 4200 \text{ J/kg.K},$$

$$L_v = 2.26 \times 10^6 \text{ J/kg.}$$

المطلوب:

الحل:

أ. يوجد تغيير في الحالة في أثناء التبريد، فأحسب كمية الطاقة المنطلقة على مرتين: الأولى عند تبريد البخار من (130°C) إلى بخار بدرجة حرارة (100°C)، والثانية عند تغيير الحالة عند تكافف البخار وتحوله إلى ماء سائل عند درجة الغليان نفسها، وهي (100°C).

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

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

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

ثم أحسب كمية الطاقة المنطلقة عند تكافف بخار الماء، مع وضع إشارة سالبة أمام كمية الطاقة؛ لأنّها طاقة منطلقة، علماً أن كمية الطاقة المنطلقة تساوي كمية الطاقة المكتسبة في أثناء تغيير الحالة؛ أي ستنطلق كمية طاقة متساوية لكمية الطاقة التي نفدت في التصعيد.

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

ف تكون كمية الطاقة المنطلقة:

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



ب. لا يوجد تغير في الحالة عند تبريد الماء من (100°C) إلى ماء بدرجة حرارة (50°C); لذا أحسب (Q₂) على النحو الآتي:

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

ج. كمية الطاقة الكلية المنطلقة (Q_{total}) عند تبريد بخار الماء من (130°C) إلى ماء بدرجة حرارة (50°C) تساوي ناتج الجمع الجبري للكميتين (Q₁) و (Q₂), وأحسبها على النحو الآتي:

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

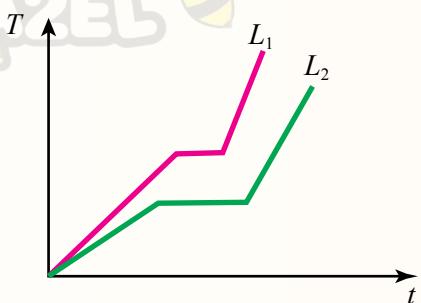
للمزيد

أستخدم الأرقام: في محطة لتوليد الطاقة الكهربائية باستخدام البخار، يُسخّن الماء من (10°C) باستخدام مِرجل (بويلر) لتحويله إلى بخار ماء بدرجة حرارة (100°C) بمعدل (350 kg/s). إذا علمت أن السعة الحرارية النوعية للبخار (2010 J/kg.K) والسعّة الحرارية النوعية للماء (4200 J/kg.K)، والحرارة النوعية الكامنة لتصعيد الماء ($2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$ ، فأحسب مقدار ما يأتي:

- كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء من (10°C) وتحويله إلى بخار ماء بدرجة حرارة (100°C).
- قدرة المِرجل (البويلر) بافتراض أن كفاءته 100%.

مراجعة الدرس

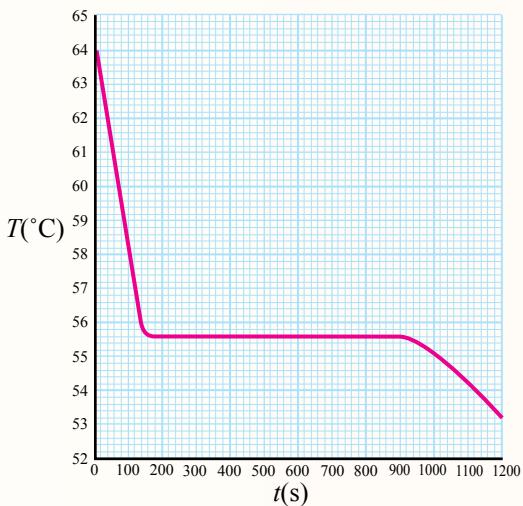
1. **الفكرة الرئيسية:** ماذا يحدث لكمية الطاقة التي تزود في أثناء انصهارها وفي أثناء غليانها؟



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

3. **استخدم الأرقام:** خلال ساعة من أدائه التمارين الرياضية، يفقد فادي (0.5 kg) من العرق. بافتراض أن كل هذا العرق يتبخر، أحسب الطاقة الحرارية المفقودة بسبب التعرق. أفترض أن الحرارة النوعية الكامنة لتبيخير الماء عند درجة حرارة الجلد ($2.4 \times 10^6 \text{ J/kg}$).

4. **استنتج:** صممت مجموعة من الطالبات تجربة لاستقصاء تحول عينة من stearic acid (مادة شمعية) كتلتها (0.40 kg) من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة. رُصد التغير في درجة حرارة العينة مدةً من الزمن، ومثلت التغيرات في درجة الحرارة كما هو موضح في الرسم البياني. أجيبي عمما يأتي مستعيناً بالشكل:



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

ب. ما الزمن اللازم لتحول العينة من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة؟

ج. أحسب مقدار الطاقة المنطلقة إلى الوسط المحيط، والناتجة من تحول العينة من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة. إذا علمت أن الحرارة النوعية الكامنة لانصهار هذه المادة ($1.99 \times 10^5 \text{ J/kg}$).

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

التمدد الحراري

Thermal Expansion

3

الدرس

التمدد الحراري للمواد الصلبة والسائلة والغازية

Thermal Expansion of Solids, Liquids and Gases

درستُ أنه عندما يحدث تبادل حراري بين جسم ومحبيه الخارجي، فإنّ حالته الفيزيائية قد تتغيّر، وإذا لم تتغيّر حالته الفيزيائية، فإنّ تبادل الطاقة هنا يؤدّي إلى تغيّر درجة حرارة الجسم، ما يؤدّي إلى تمدد (أو تقلصه) طولياً أو سطحياً أو حجمياً، إذ تزداد أبعاد أغلب المواد بارتفاع درجة حرارتها، وتتقلّص أبعادها بانخفاض درجة حرارتها، وللتمدد الحراري فوائد وتطبيقات كثيرة في حياتنا، انظر إلى الشكل (12/أ). وقد يؤدّي إهمال تمدد الأجسام إلى حدوث أضرار كبيرة، انظر إلى الشكل (12/ب).

أ



الشكل (12):

أ. يعتمد مبدأ عمل مقياس درجة الحرارة على تمدد السائل المستخدم فيه وتقلصه بتغيّر درجة الحرارة.

ب. أدت درجات الحرارة المرتفعة إلى تقوس مسارات سكة الحديد نتيجة تمددها.

ب

الفكرة الرئيسية:

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

نتائج التعلم:

- أُعرّف معامل التمدد الحراري الطولي، وأُعبر عنه بمعادلة رياضية.
- أتوصّل إلى العوامل التي تُغيّر من مقدار الزيادة في طول ساق فلزية عند تسخينها.

- أصمّ ثermometers يتحكّم في درجة حرارة سخان كهربائي.

- أشرح شذوذ الماء ودوره في بقاء الكائنات البحريّة على قيد الحياة تحت الجليد في البحيرات المتجمدة.

المفاهيم والمصطلحات:

معامل التمدد الطولي

Coefficient of Linear Expansion

شذوذ الماء

Anomalous Behavior of Water

تفسير التمدد الحراري للمواد

Explaining Thermal Expansion of Materials

وفقاً لنموذج الحركة الجزيئية - الذي درسته سابقاً - تحرّك جسيمات المواد الصلبة والسائلة حرقة اهتزازية مستمرة، إضافة إلى وجود حرقة انتقالية لجسيمات السوائل، وعند ارتفاع درجة حرارة هذه المواد يزداد مقدار سرعة جسيماتها، فيبتعد بعضها عن بعض قليلاً وتتمدد، ويكون التمدد الحراري للمواد السائلة أكبر منه للمواد الصلبة، أمّا الغازات التي تكون أصلاً المسافات بين جسيماتها كبيرة، فيكون تمددها هو الأكبر.

✓ **أتحقق:** لماذا تمدد المواد عند ارتفاع درجة حرارتها؟

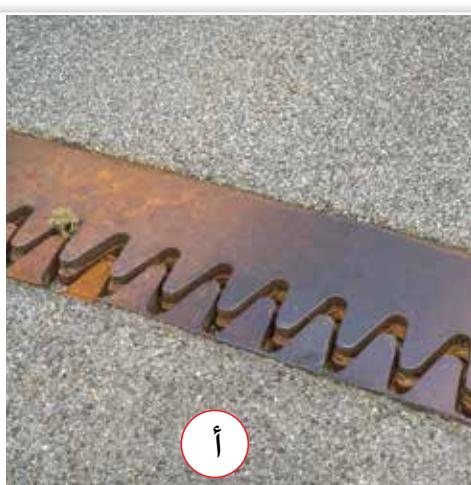
التمدد الحراري الطولي Thermal Linear Expansion

لظاهرة التمدد الحراري دور مهم في العديد من التطبيقات الهندسية؛ إذ يحرص المهندسون على ترك فراغات أو وضع فاصل تمدد حراري في المبني والطرق الخرسانية ومسارات السكك الحديدية والجسور وغير ذلك؛ للسماح لها بالتمدد والتقلص بحرقية عند تغيير درجة الحرارة، من دون أن يؤدي ذلك إلى تلفها أو انهيارها، أنظر إلى الشكل (13). تسمى الزيادة في طول سلك فلزي رفيع عند رفع درجة حرارته التمدد الطولي Thermal linear expansion. وتُظهر التجارب أن التغيير في طول ساق أو سلك فلزي رفيع (ΔL) يتتناسب طردياً مع التغيير في درجة حرارته (ΔT)؛ فكلما كان الارتفاع في درجة حرارته أكبر، زاد مقدار التغيير في طوله. ويتناسب أيضاً التمدد الطولي



أعد فيلمًا قصيراً

باستخدام صانع الأفلام (Movie maker) يعرض تأثيرات عدم مراعاة التمدد الحراري، في المبني والطرق الخرسانية ومسارات السكك الحديدية والجسور وغيرها.



الشكل (13):

أ. يسمح فاصل التمدد (الفراغ أو المادة اللينة) في الجسر لمادة الجسر وسطح الطريق، بالتمدد في الأيام شديدة الحرارة، والتقلص في الأيام شديدة البرودة بحرقية من دون تقوس الجسر أو انهياره أو تشقّقه.

ب. يُملأ فاصل التمدد الرأسى بين قطع الطوب في البناء بمادة لينة (مرنة) تسمح للطوب بالتمدد والتقلص بتغيير درجة حرارته.

أَفْخَر: أطرح سؤالاً تكون إجابته: بسبب اختلاف معاملات تمدد زجاج البايركس عن الزجاج العادي (مستعيناً بالجدول (3)).



للساقي أو السلك الرفيع طردياً مع طوله؛ فتمدد ساق فلزية من الحديد طولها (4 m) يساوي أربعة أضعاف مقدار تمدد ساق مماثلة طولها (1 m) عند رفع درجة حراريتهما بالمقدار نفسه. فإذا افترضنا أن لدينا سلكاً طوله (l_i) عند درجة حرارة (T_i)، وأصبح طوله (l_f) عند درجة حرارة (T_f)؛ فإننا نستخدم المعادلة الآتية في حساب الزيادة في طول السلك عند تمدده أو النقصان في طوله عند تقلصه:

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

حيث ($\Delta T = T_f - T_i$)، و ($\Delta l = l_f - l_i$)، أمّا ألفا (α) فتتمثل معامل التمدّد الطولي Coefficient of linear expansion لمادة السلك، وهو يختلف من مادة إلى أخرى، ووحدة قياسه ($^{\circ}\text{C}^{-1}$) أو (K^{-1}). ويُعرف بأنه يساوي مقدار الزيادة في طول (1 m) من المادة عند رفع درجة حرارتها بمقدار (1°C). يوضح الجدول (3) معاملات التمدّد الطولي لمواد مختلفة عند درجة حرارة الغرفة. لا يلاحظ من الجدول أنّ مقدار معامل التمدّد الطولي للفلزات يكون أكبر من مقداره للمواد الأخرى.

أَتَحَقَّق: ما العوامل التي يعتمد عليها التمدّد الطولي للمواد الصلبة؟ ✓

الجدول 3: معامل التمدّد الطولي لمواد مختلفة عند درجة حرارة الغرفة (20°C).

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

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

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

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

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

المطلوب: $l_f = ?$, $\Delta l = ?$

الحلّ:

أ. أستخدم المعادلة الآتية في حساب التغيير في طول قضيب الفولاذ.

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

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

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

نظراً إلى صغر معامل التمدد الحراري يكون مقدار التمدد صغيراً.

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. أستخدم المعادلة السابقة نفسها في إيجاد مقدار التمدد أو مقدار التقلص. ولمّا كانت الزيادة في طول قضيب الفولاذ ($1.65 \times 10^{-2} \text{ m}$) عند رفع درجة حرارته بمقدار (50°C)، فإنّ مقدار تقلصه عند انخفاض درجة حرارته بمقدار (50°C) سيكون ($1.65 \times 10^{-2} \text{ m}$).

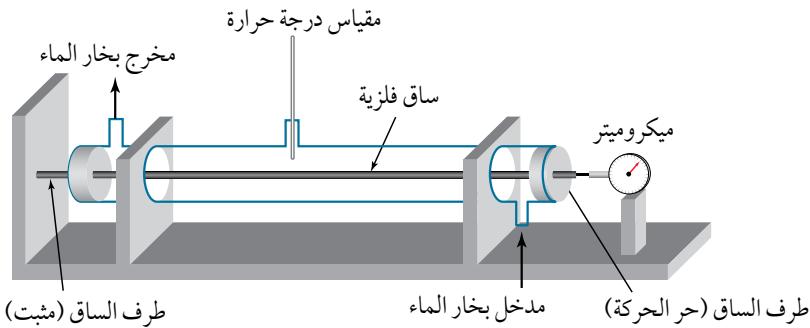
للمزيد

أستخدم الأرقام: مسطرة طولها (30 cm) مصنوعة من الفولاذ، تكون أكثر دقة عند استخدامها عند درجة حرارة (20°C). بالاستعانة بالبيانات الواردة في الجدول (3)، أحسب 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.

$$l_i = 700 \text{ mm} \quad T_i = 20^\circ\text{C} \quad \text{درجة الحرارة الابتدائية}$$



الشكل (14/أ): مراحل انصهار مكعبات جليد.

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

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 $\alpha = ?$ معرفة نوع المادة.

الحل:

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

ب. أحسب ميل الخط المستقيم:

ثم أحسب معامل التمدد الطولي للساق:

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

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

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

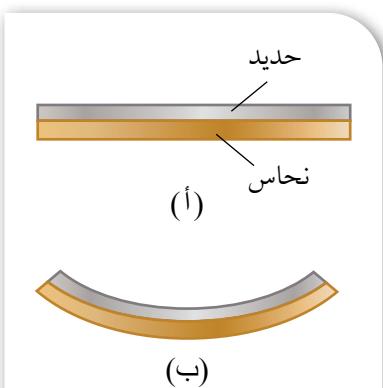
تطبيقات على التمدد الطولي Applications of Linear Expansion

يختلف معامل التمدد الطولي من مادة إلى أخرى، ولهذا الاختلاف في معاملات التمدد مزايا وعيوب، فمثلاً، يراعي المهندسون ذلك عند تصميمهم الجسور والمباني والسكك الحديدية وغيرها، فمثلاً، في الأسمنت المسلح تُستخدم قضبان من الحديد مع الخرسانة (الأسمنت والحصى وغيرهما) من أجل تقويتها؛ لأن لها معامل التمدد نفسه، وإلا تصدع البناء عند تعرضه باستمرار لارتفاع درجة حرارته وانخفاضها بتغيير درجة حرارة الجو.

من التطبيقات المهمة لاختلاف في معاملات التمدد صناعة الشريط الثنائي الفلز Bimetalic strip. يتكون الشريط الثنائي الفلز من شريطيين فلزيين مختلفين مثبتين معًا، ولهمما الطول نفسه، ويكونان عادة من الحديد والنحاس، انظر إلى الشكل (15/أ). وعند تسخين الشريط يتمدد النحاس بمقدار أكبر من تمدد الحديد بسبب الاختلاف في معامل التمدد الحراري الطولي للفلزين، انظر الجدول (3)، ونظراً إلى أن الشريطيين مثبتان معًا، فإن الشريط الثنائي الفلز ينحني نحو الحديد، بحيث يكون النحاس على السطح الخارجي للشريط، انظر إلى الشكل (15/ب).

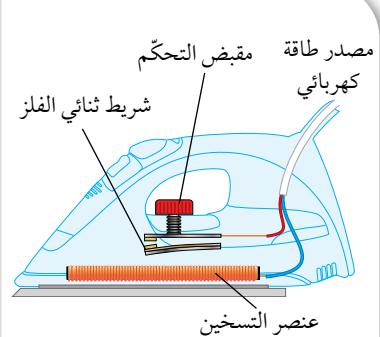
يستخدم الشريط الثنائي الفلز في منظم الحرارة Thermostat. ويوضح الشكل (16) منظم حرارة في دارة مكواة كهربائية. فعندما تصل درجة حرارة عنصر التسخين إلى درجة الحرارة المطلوبة، ينحني الشريط بعيداً عن نقطة التوصيل الكهربائي، فتفصل الدارة الكهربائية في المكواة، ولا يمر فيها تيار كهربائي، وعندما يبرد الشريط، فإنه يعود إلى وضعه البدائي (مستقيماً)، فيلامس نقطة التوصيل الكهربائي ويفعل الدارة الكهربائية، وتعمل المكواة مرة أخرى، وإذا دُور مقبض التحكم بحيث ينزل إلى أسفل قليلاً، فيجب أن ينحني الشريط الثنائي الفلز بمقدار أكبر لفتح الدارة الكهربائية، وهذا يتطلب ارتفاع درجة حرارة الشريط بمقدار أكبر.

أفڪ: في أي اتجاه ينحني الشريط الثنائي الفلز عند تبريده؟ أوضح إجابتي بالرسم.



الشكل (15):

- شريط ثقائي الفلز من الحديد والنحاس بدرجة حرارة الغرفة.
- ينحني الشريط نحو الحديد عند تسخينه.

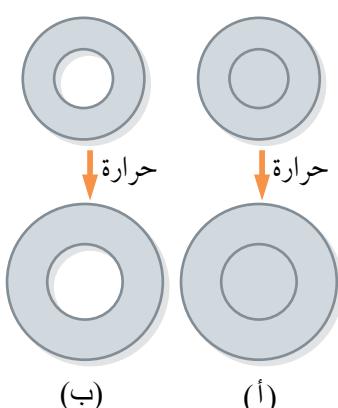


الشكل (16): يستخدم الشريط الثنائي الفلز في منظم الحرارة في المكواة الكهربائية.

أبحث



يُستخدم الشريط الثنائي الفلزّي
مُنظمات الحرارة في السخانات
الكهربائية، وفي الثلاجات، وغيرها
من الدارات الكهربائية. أبحث عن
مبدأ عمل منظم الحرارة ودور
الشريط الثنائي الفلز فيها، وأعدّ
عرضًا تقديميًّا، ثمّ أعرضه على
زملائي / زميلاتي في الصفّ.



الشكل (17):

- يزداد نصف قطر القرص الفلزي عند رفع درجة حرارته.
- يزداد نصف قطر التجويف عند رفع درجة حرارته.

التمدد الحراري السطحي Thermal Surface Expansion

عند رفع درجة حرارة صفيحة رقيقة من مادة صلبة فإنّها تمدّد، إذ يتغيّر مقدار كلّ من طولها وعرضها فتزداد مساحتها. وإذا احتوت الصفيحة تجويفًا يزداد نصف قطره (نتيجة تمدد مادة الصفيحة المحيطة به) كما لو كان ممثلاً بمادة الصفيحة نفسها. انظر إلى الشكل (17/أ)، الذي يُبيّن تمدد قرص فلزي وازيداد نصف قطره عند رفع درجة حرارته بمقدار (ΔT)، في حين يُبيّن الشكل (17/ب) ازيداد نصف قطر التجويف بالمقدار نفسه، كما لو كان ممثلاً بمادة القرص نفسها عند رفع درجة حرارته بالمقدار (ΔT) نفسه.

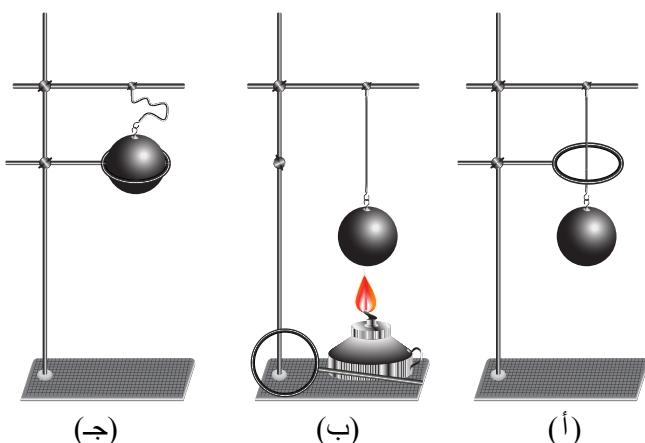
أتحقق: ما الذي يحدث لأبعاد صفيحة فلزية رقيقة عند رفع درجة حرارتها؟

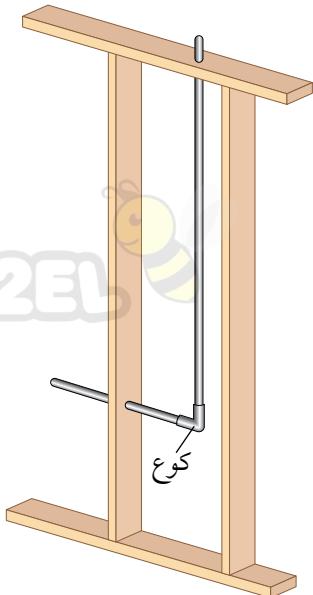
التمدد الحراري الحجمي Thermal Volume Expansion

تمدد المواد الصلبة حجميًّا عند رفع درجة حرارتها، إذ يزداد كلّ من طولها وعرضها وارتفاعها فيزداد حجمها. وإذا احتوى الجسم الصلب فجوات، فإنّها تمدد بالكيفية نفسها كما لو كانت ممثلاً بمادة الجسم الصلب نفسها. ويوضح الشكل (18) تجربة الحلقة والكرة؛ فعند درجة حرارة الغرفة أستطيع إدخال الكرة الفلزية من الحلقة الفلزية بسهولة. أمّا عند تسخين الكرة، فإنّه يصعب إدخالها من الحلقة؛ فقد ازداد نصف قطر الكرة ومن ثمّ، ازداد حجمها، وأصبح نصف قطرها أكبر من نصف قطر الحلقة.

الشكل (18):

- عند درجة حرارة الغرفة تدخل الكرة بسهولة من الحلقة الفلزية.
- عند تسخين الكرة الفلزية يزداد نصف قطرها فيزداد حجمها.
- يصبح قطر الكرة أكبر من قطر الحلقة فلا تدخل منها.





الشكل (19):
تمدد الأنابيب.

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

المعطيات:

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

المطلوب:

$$d = ?, \theta = ?$$

الحلّ:

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

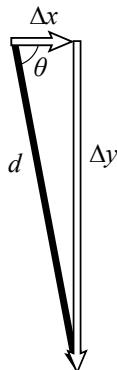
$$\Delta l = \alpha l_i \Delta T$$

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

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

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) بزاوية (θ) مقدارها:

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

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 تمددًا أكبر بكثير من الخزان، وعليه، قد يتدفق الوقود من الخزان إلى الخارج، وقد يسبب الاختلاف في التمدد مشكلة في قراءة عدد الوقود في السيارة، فإذا كان السائق معتاداً على قطع مسافة (25 km) بعد أن تضيء الإشارة التحذيرية بفad الوقود في فصل الشتاء، فإنه لن يتمكن من قطع هذه المسافة صيفاً، 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.

التمدد الحراري للسوائل

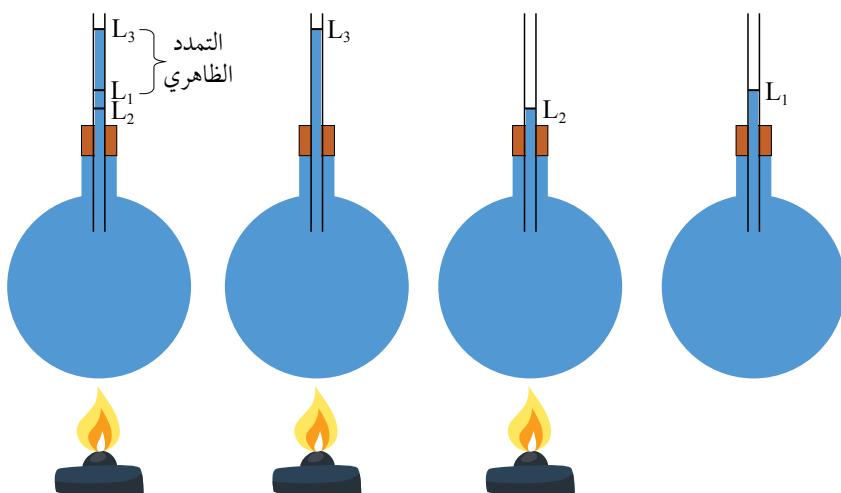
السوائل ليس لها شكل محدد، فالسائل يأخذ شكل الإناء الذي يحتويه، بذلك فإنه يمكننا تحديد كمية السائل عن طريق حجمه، ومن ثم، فإن تمدد السوائل يكون تمددًا حجميًّا. والسوائل تمدد بنسبة أكبر بكثير من تمدد المواد الصلبة، لارتفاع نفسه في درجات الحرارة؛ نظرًا إلى اختلاف طبيعة قوى الترابط بين الجسيمات، فحرية حركة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

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

أتحقق: لماذا تمدد السوائل بنسبة أكبر بكثير من تمدد المواد الصلبة، لارتفاع نفسه في درجات الحرارة؟

بعد مدة من الزمن، تصل الحرارة إلى السائل، فيتمدد تمددًا ملحوظًا.

في البداية، يتمدد الإناء قبل تمدد السائل، فينخفض مستوى السائل.



الشكل (20): التمدد الظاهري للسوائل.



Anomalous Behavior of Water شذوذ الماء

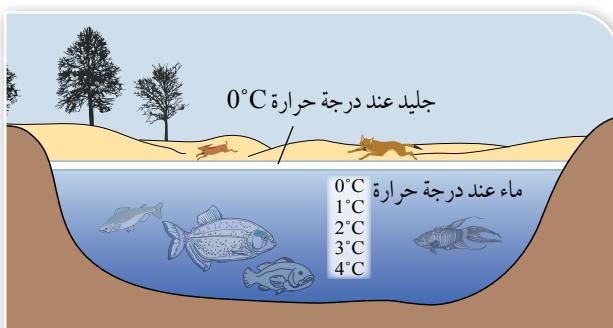
عند تسخين أغلب السوائل يزداد حجمها وتقلّ كثافتها، حيث $\frac{m}{V}$ ، وعند تبريدها يقلّ حجمها فتزداد كثافتها. ويشذّ عن هذا السلوك الماء بين درجتي الحرارة (0°C) و (4°C).

عند تبريد الماء إلى (4°C) فإنه يتقلص، مشابهًا بذلك في سلوكه بقية السوائل، ولكن في أثناء تبريده من 4°C إلى 0°C فإنه يتمدد، مخالفًا بهذا السلوك سلوك بقية السوائل التي يقلّ حجمها باستمرار تبريدها حتى تجمّدها، إذ يكون أقل حجم لكميّة من الماء (أكبر كثافة) عند (4°C). انظر إلى الشكل (21). ويُطلق على سلوك الماء هذا بين درجتي حرارة (4°C) و (0°C) **شذوذ الماء**.

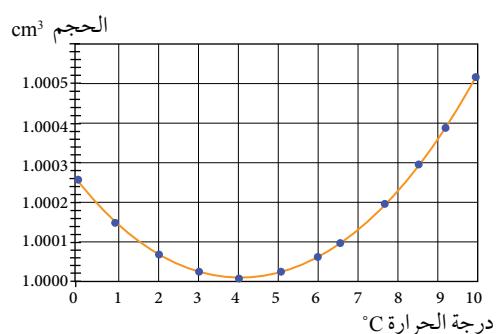
يُفسّر شذوذ الماء سبببقاء الأسماك وأشكال الحياة البحريّة الأخرى على قيد الحياة، في البحار والمحيطات والبحيرات في فصل الشتاء، إذ يبرد الماء الموجود في الجزء العلوي منها أوّلاً، فيقلّ حجمه ويعوض إلى قاعها؛ لأنّه أكبر كثافة حاملاً معه الأكسجين اللازم لتنفس الكائنات البحريّة، ثم يرتفع الماء الأكثر دفئاً والأقل كثافة إلى السطح (حاملاً معه ثاني أكسيد الكربون)، فتنخفض درجة حرارته نتيجة ملامسته الهواء البارد، ثم يغوص إلى أسفل، وهكذا دوليك. وإذا انخفضت درجة حرارة الماء على السطح إلى ما دون (4°C)، فإنّها تصبح أقل كثافة وتبقى في الأعلى، وتشكّل في النهاية طبقة من الجليد عند درجة حرارة (0°C) وتجمّد مياه بحيرة مثلًا بدايةً من السطح، مع بقاء الماء تحت الطبقة الجليدية سائلاً، ما يسمح للكائنات البحريّة في البقاء على قيد الحياة، وتكون درجات حرارة طبقات الماء في بحيرة كما في الشكل (22).

عندما يتجمّد الماء عند درجة حرارة (0°C) يحدث تمدد في حجمه، ويصبح حجم كلّ (100 cm^3) من الماء مساوياً (109 cm^3) من الجليد. وهذا يفسّر 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.

أتحقق: ما سبب بقاء الأسماك وأشكال الحياة البحريّة المختلفة على قيد الحياة في البحيرات المتجمّدة؟



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



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

مراجعة الدرس

AWA2EL
LEARN 2 BE

1. **الفكرة الرئيسية:** لماذا تمدد المواد الصلبة عند تسخينها؟ ما المقصود بمعامل التمدد الطولي؟

2. **أفسر سبب تقوس الشريط ثنائي الفلز عند تسخينه.**

3. **أضيّط المتغيرات:** أراد صقر دراسة التمدد الطولي لفلزين مختلفين، فأحضر سلكين رفيعين (A) و(B) من الفلزين، لهما الطول نفسه ودرجة الحرارة الابتدائية نفسها، ثم سخنهما بحيث ارتفعت درجتا حرارتيهما بالمقدار نفسه. لاحظ صقر أن مقدار الزيادة في طول السلك (B) أكبر منها للسلك (A). أجب عما يأتي:

أ. لماذا ضبطنا التغيير في درجة الحرارة للفلزين؟

ب. يتناسب مقدار التمدد الطولي لجسم طردياً مع طوله. هل يمكن لصقر أن يستنتج ذلك من تجربته هذه؟ أفسر إجابتي.

ج. استنتاج صقر أن: "معامل التمدد الطولي لمادة السلك (B) أكبر منه لمادة السلك (A)." أصدر حكماً على صحة استنتاجه بناءً على تجربته.



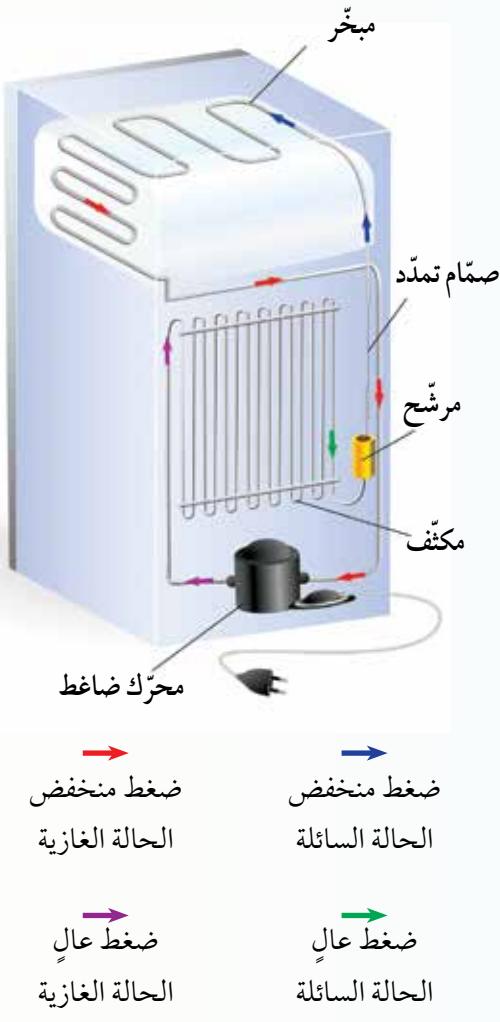
4. **التفكير الناقد:** يُبيّن الشكل المجاور إناءً زجاجياً مغلقاً بعطايا فلزي. حاولت هدى فتح العطاء الفلزي لكنها وجدت صعوبة في ذلك. بناءً على ما تعلّمته في هذا الدرس أقترح طريقة على هدى تمكنها من فتح العطاء الفلزي بسهولة. أفسر إجابتي.

5. **أصدر حكماً:** في أثناء دراستي وزميلتي باسمة هذا الدرس، قالت: "يجب أن يكون معامل تمدد مادة حشو الأسنان أكبر من معامل تمدد مينا الأسنان؛ لكي تثبت الحشوة في السن ولا تسقط". أناقش زملائي / زميلاتي في صحة قول باسمة.

الثلاجات Refrigerators

كيف تُبرد الثلاجة الطعام؟ لماذا يكون الجزء الخلفي من الثلاجة ساخناً؟

يعتمد مبدأ عمل الثلاجة على بذل شغل لنقل كمية من الطاقة من داخل الثلاجة (منطقة ذات درجة حرارة منخفضة T_L) إلى خارجها (منطقة ذات درجة حرارة مرتفعة T_H).



تتكون 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 يتتحول سائل التبريد إلى الحالة الغازية.

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

المرحلة الثالثة: يتنتقل 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 يُبرد السائل، فتقل طاقته الداخلية بحيث تصبح مماثلة لطاقةه عند بدء العملية، وتتكرر دورة التبريد.

أبحث عن مبدأ عمل مكيف هواء، مستعيناً بمصادر المعرفة المناسبة، ثم أعد وأفراد مجتمعتي تقريراً مدعماً بالصور يوضح ذلك، ثم أقارنه بمبدأ عمل الثلاجة.

مراجعة الوحدة

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

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

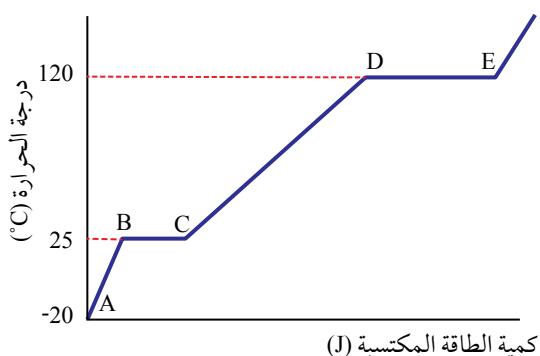
- أ. السُّعْر.
- ب. الكلن.
- ج. السلسليوس.
- د. الجول.



2. ما السَّعَةُ الْهَرَارِيَّةُ النَّوْعِيَّةُ بِوَحْدَةٍ (J/kg.K) لِفَلَازٍ كَتَلَتْ (620 g) إِذَا لَزَمَ (15000 J) لِرْفَعَ دَرْجَةَ حَرَارَتِهِ مِنْ (20°C) إِلَى (85°C)?

- أ. 3.72
- ب. 231
- ج. 15000
- د. 372

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



3. أيِّ أجزاءِ المنحنىِ البيانيِّ يُشيرُ إلى زيادةِ في متوسَّطِ الطاقةِ الحركيةِ لجُسيماتِ المادَّةِ؟

- أ. EF، CD، AB
- ب. BC، AB، CD
- ج. DE، BC
- د. BC، AB

4. أيِّ أجزاءِ المنحنىِ البيانيِّ يُشيرُ إلى زيادةِ فقطِ، في مقدارِ الطاقةِ الكامنةِ لجُسيماتِ المادَّةِ؟

- أ. EF، CD، AB
- ب. BC، AB، CD
- ج. DE، BC
- د. CD، AB

5. ماذا تُسمّى كمية الطاقة المكتسبة اللازمة لالانتقال من النقطة (B) إلى النقطة (C)؟

- أ. السَّعَةُ الْهَرَارِيَّةُ النَّوْعِيَّةُ.
- ب. الحرارة النوعية الكامنة لانصهار.
- ج. الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد.
- د. متوسَّطُ الطاقةِ الحركيةِ لجُسيماتِ المادَّةِ.

6. ما مقدار درجة غليان المادَّةِ؟

- أ. -20°C
- ب. 25°C
- ج. 120°C
- د. 0°C

مراجعة الوحدة



7. ما الذي يحدث لطاقة جسيمات مادة في أثناء تغيير حالتها الفيزيائية من السائلة إلى الغازية؟

- أ. تزداد طاقتها الحركية فقط.
- ب. تزداد طاقتها الكامنة فقط.
- ج. تزداد طاقتها الحركية وطاقتها الكامنة.
- د. لا تتغير طاقتها الحركية ولا الكامنة.

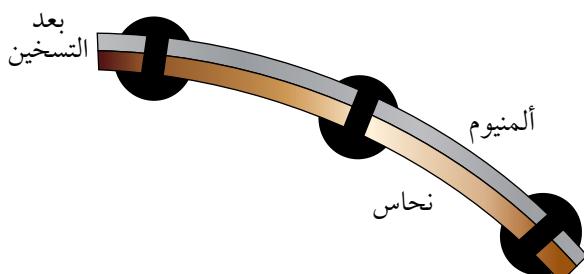
8. جسمان: A وB، حدث اتصال حراري بينهما ولم تتغير درجتا حرارتيهما. أستنتج أن الجسمين:

- ب. لهما السعة الحرارية النوعية نفسها.
- د. متزنان حرارياً.
- أ. مختلفان في الكتلة.
- ج. لهما الكتلة نفسها.

9. عندما يتجمد الماء فإن:

- ب. الكثافة تقل، والكتلة تزداد.
- د. الكثافة تزداد ، والكتلة تزداد.
- أ. الكثافة تقل ، والكتلة تزداد.
- ج. الكثافة تزداد، والكتلة تبقى ثابتة.

10. يوضح الشكل أدناه شريطاً ثانياً الفلز بعد تسخينه إلى درجة حرارة أكبر من درجة حرارة الغرفة. عند تبريد الشريط إلى ما دون درجة حرارة الغرفة بكثير فإنه:



- أ. يصبح مستقيماً.
- ب. يزداد انثناؤه نحو النحاس.
- ج. ينثنى نحو الألミニوم.
- د. لا يتغير انثناؤه إذ يبقى ثابتاً.

2. **أفسر** ما يأتي:

أ. الحرق الناتج من تعرض شخص لكتلة معينة من بخار ماء بدرجة حرارة (100°C)، أشدّ من الحرق الناتج من تعرضه 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.

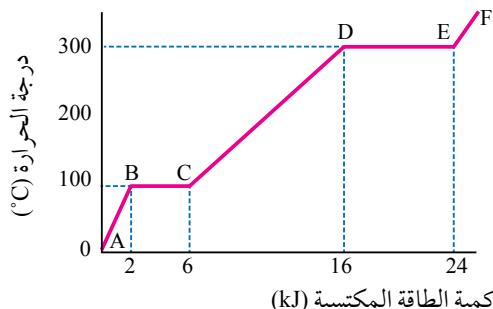
3. **أستنتج**: هل المواد التي ترتفع درجة حرارتها بسرعة وتبرد بسرعة، لها سعة حرارية نوعية كبيرة أم صغيرة؟
أوضح إجابتي.

4. **استخدم الأرقام**: كرة الألミニوم كتلتها (0.05 kg)، ووضعت في مسّعر حراري يحتوي ماءً كتلته (0.15 kg) ودرجة حرارته (20°C)، وكانت درجة الحرارة النهائية للنظام عند الاتزان الحراري (24°C). إذا علمت أن النظام مغلق ومعزول، وبإهمال الطاقة التي تكتسبها مادة المسّعر، فأحسب مقدار ما يأتي:

- ب. درجة حرارة كرة الألミニوم الابتدائية.
- أ. التغيير في الطاقة الحرارية للماء.

5. **استخدم البيانات:** سُخّنت عينة من مادة ما كثالتها (g 10)، فتغيرت درجة حرارتها على نحو ما هو موضح في الشكل.

أجب عما يأتي:



أ. ما درجة انصهار هذه المادة؟

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

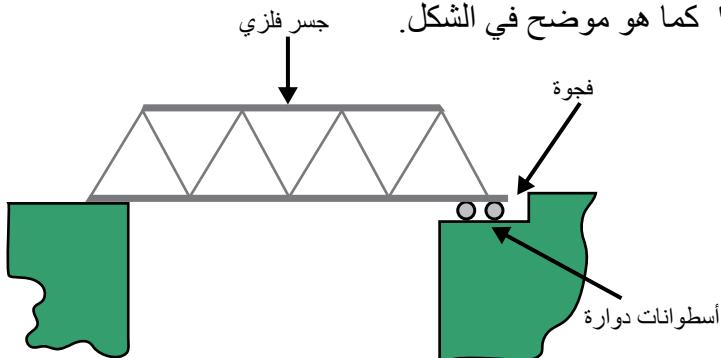
ج. أحسب الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد لهذه المادة.

د. **أطرح سؤالاً** 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 هنا إنّه يمكنها تبريد المطبخ في يوم حارّ عن طريق فتح باب الثلاجة فيه. أناقش زميلي / زميلتي في صحة قوله.

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

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



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

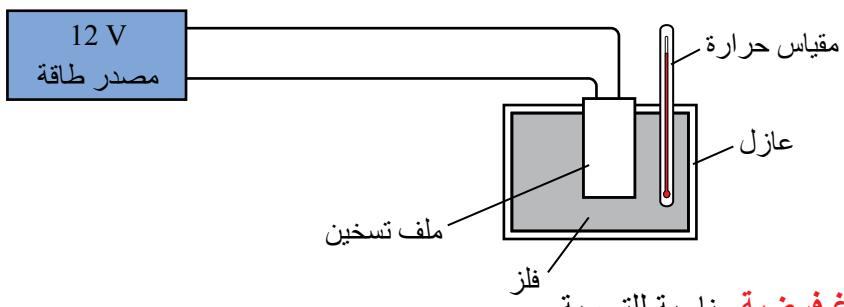
ب. هل تكون الفجوة أكبر في الصيف أم في الشتاء؟ أفسر إجابتي.

ج. **أتوقع:** إذا بُني الجسر في الصيف ولم يترك فراغ (فتحة) عند تصميم الجسر. ماذا سيحدث في فصل الشتاء؟

د. **أتتوقع:** إذا بُني الجسر في الشتاء ولم تُترك الفجوة، فماذا سيحدث في الصيف؟

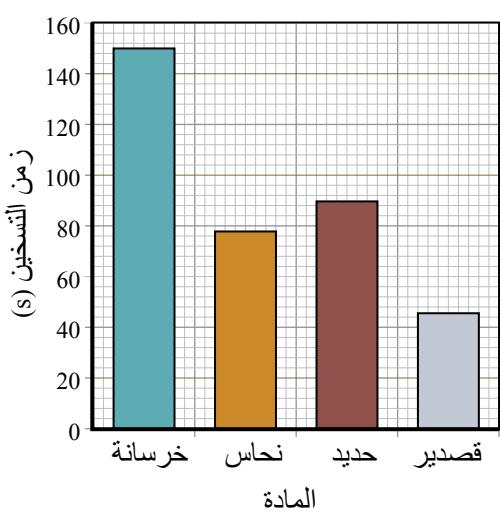
مراجعة الوحدة

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



أ. **أصوغ فرضية مناسبة للتجربة.**

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



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

د . ما المادة التي زُودت بأكبر كمية من الطاقة؟ ذكر 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). (مستعيناً بالجدول ١ في الكتاب)

١٠. **أصم 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 الثلوج 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 "تأثير إضافة الملح إلى درجة تجمد الماء"، ثم أنفذ 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 الماء 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 للتخصيد **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 شغلاً.
- درجة الانصهار **Melting Point** :درجة الحرارة التي تتغير عندها الحالة الفيزيائية للمادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة، وهي خاصية فيزيائية للمادة الندية.
- درجة الغليان **Boiling Point** :درجة الحرارة التي تتغير عندها الحالة الفيزيائية للمادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية، وهي خصيصة فيزيائية للمادة الندية.
- سعة 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، تفاص 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 طردياً 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 تخزن في جسم مرن (مثل نابض) نتيجة تغير في شكله أو طوله.
- **طاقة وضع ناشئة عن الجاذبية الأرضية Gravitational Potential Energy:** الطاقة المخزنة 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 مدار السرعة اللحظية في مركبة القوة (في اتجاه السرعة).
- **قوة محافظة Conservative Force:** قوة شغلها يساوي التغير في طاقة الوضع للنظام.
- **قوة غير محافظة Nonconservative Force:** قوة تبذل شغلاً 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 آلية تبذل شغلاً مقداره (J) خلال زمن (s).

جدول الاقترانات المثلثية

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

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

قائمة المراجع

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.