المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم

المركز الوطني لتطوير المناهج
National Center for Curriculum Development

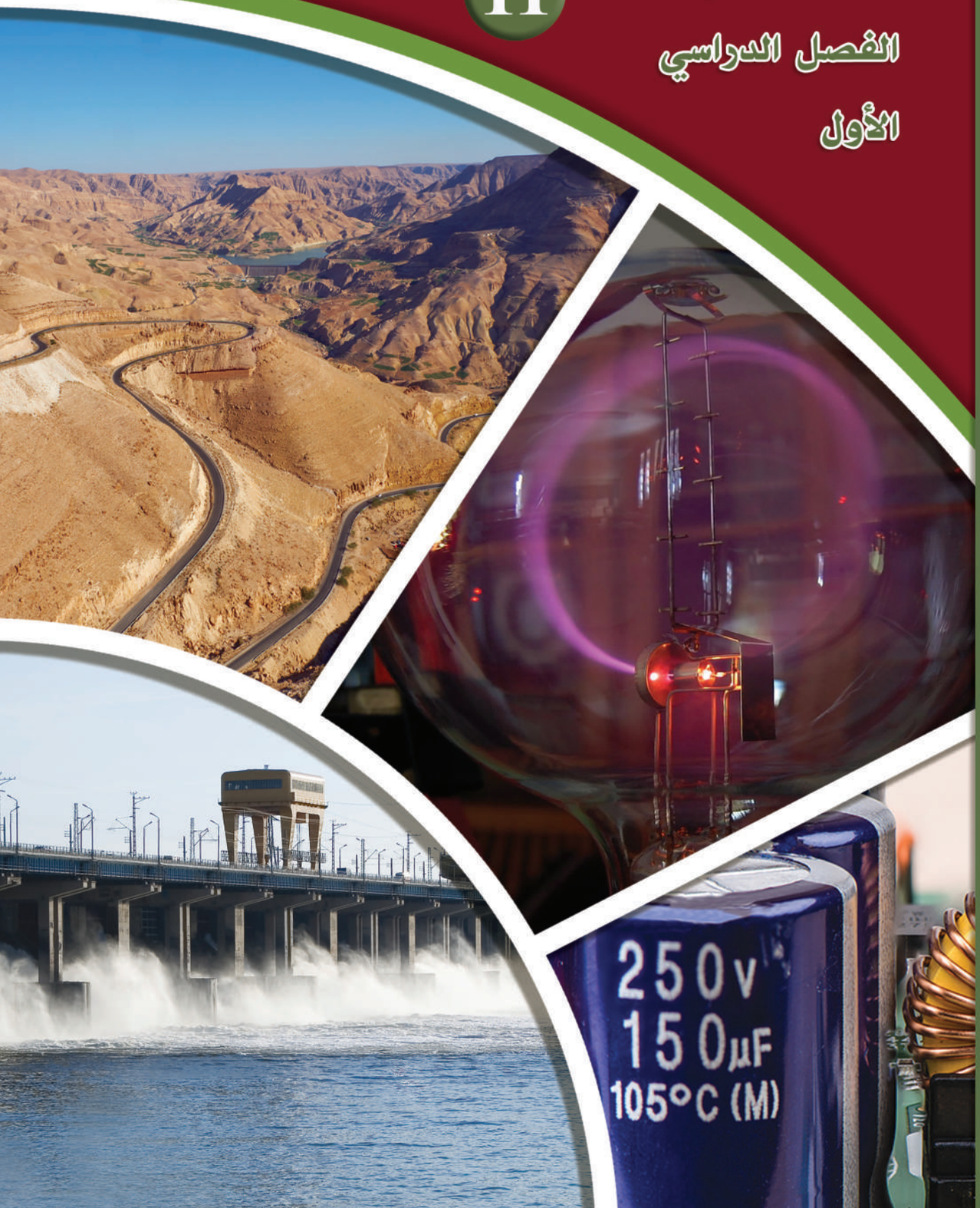
الفيزياء

الصف الحادي عشر

11

الفصل الدراسي الأول

دليل المعلم



المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم

المركز الوطني لتطوير المناهج
National Center for Curriculum Development

دليل المُعلِّم

الفيزياء

الصف الحادي عشر

الفصل الدراسي الأول 11

فريق التأليف

موسى عطا الله الطراونة (رئيسًا)

د. حسين محمود الخطيب

خلدون سليمان المصاروه

ميمي محمد التكروري

موسى محمود جرادات

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

يسر المركز الوطني لتطوير المناهج، استقبال آرائكم وملحوظاتكم على هذا الدليل عن طريق العناوين الآتية:

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

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

قـرَّرت وزارة التربيـة والتعليـم اسـتخدام هـذا الدليـل في مـدارس المملكـة الأردنية الهاشـمية جميعها، بنـاءً على قـرار المجلس الأعـلى للمركز الوطنـي لتطوير المناهـج في جلسـته رقـم (2023/4)، تاريـخ 2023/7/11 م، وقـرار مجلس التربيـة والتعليم رقـم (2023/251)، تاريـخ 2023/8/9 م، بدءًا مـن العام الدراسي 2023 / 2024 م.

© HarperCollins Publishers Limited 2023.
- Prepared Originally in English for the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan
- Translated to Arabic, adapted, customised and published by the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan

ISBN: 978 - 9923 - 41 - 492 - 7

المملكة الأردنية الهاشمية
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية:
(2023/5/2645)

373,19

الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج

دليل المعلم: الفيزياء: الصف الحادي عشر الفصل الدراسي الأول/ المركز الوطني لتطوير المناهج.– عمان: المركز، 2023

(190) ص.

ر.إ.: 2023/5/2645

الواصفات: / الفيزياء/ / دليل المعلم/ / التعليم الثانوي/

يتحمَّل المُؤلِّف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مُصنَّفه، ولا يُعبِّر هذا المُصنَّف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية.

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 Lecensing Agency Ltd, Barnard›s Inn, 86 Fetter Lane, London, EC4A 1EN.
British Library Cataloguing -in- Publication Data
A catalogue record for this publication is available from the Library.

الطبعة الأولى (التجريبية) 1444 هـ – 2023 م

قائمةُ المحتوياتِ

الموضوعُ	الصفحةُ
المقدمة	5
نظرة عامة إلى كتاب الطالب	a
نظرة عامة إلى كتاب الأنشطة والتجارب العملية	e
نظرة عامة إلى دليل المُعلِّم	g
التقويم	i
المهارات	m
استراتيجيات التدريس والأساليب الداعمة لعملية التعلُّم	o
تمايز التدريس والتعلُّم	q
توظيف التكنولوجيا	s
الوحدة 1: الشغل والطاقة	7
تجربة استهلالية: حساب الشغل	9
الدرس 1: الشغل والقدرة	10
الدرس 2 : الطاقة الميكانيكية	25
مراجعة الوحدة	47
الوحدة 2: المجال الكهربائي	51
تجربة استهلالية: قياس قوة التنافر الكهربائية بين شحنتين بطريقة عملية	53
الدرس 1: قانون كولوم	54
الدرس 2 : المجال الكهربائي للشحنات النقطية	67
الدرس 3 : المجال الكهربائي لتوزيع متّصل من الشحنات الكهربائية	77
مراجعة الوحدة	91

الموضوعُ	الصفحةُ

الوحدة 3: الجهد الكهربائي والمواسعة 93

تجربة استهلالية: العلاقة بين فرق الجهد الكهربائي والمجال الكهربائي 95

الدرس 1 : الجهد الكهربائي لشحنة نقطية 96

الدرس 2 : الجهد الكهربائي لموصل مشحون 110

الدرس 3 : المواسعة الكهربائية 119

مراجعة الوحدة 137

ملحق أوراق العمل A1

ملحق إجابات كتاب الأنشطة والتجارب العملية A19

قائمة المراجع A26

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

جاء هذا الدليل ليكون مرشدًا للمعلّم والمعلمة في تخطيط دروس الفيزياء وتنفيذها، بوصفه أحد المصادر التي أعدّت وفق معايير الأداء الرئيسة، ومعايير البحث والاستقصاء العلمي، التي تساعد على تحقيق أهداف تدريس الفيزياء المنشودة، مؤكّدًا سعي المملكة الأردنية الهاشمية المستمر لأداء رسالتها المتمثّلة في مواكبة التطوّرات العالمية للمناهج على نحوٍ يلائم حاجات الطلبة، وبما يحقّق معايير تدريس العلوم في المملكة التي تهدف إلى إحداث تطوّر نوعي في تعليم العلوم وتعلّمها.

يشتمل هذا الدليل على عرض مفصّل لكيفية تخطيط الدروس وتنفيذها بما يناسب قدرات الطلبة، والبيئة المادية الصفية، والأهداف المنشودة، عن طريق مجموعة من العناصر المترابطة التي تمثّل مختلف جوانب الموقف التعليمي.

يقدّم الدليل دعمًا مكثّفًا للطلبة وفق إطار المنهاج، ويعطي إشارات مرجعية مرتبطة بكتاب الطالب وكتاب الأنشطة والتجارب العملية؛ تساعد المعلّم/ المعلّمة على الاستفادة القصوى منها جميعًا، فضلًا عن مجموعة متنوعة من أفكار التدريس يمكن الاختيار منها.

يعرض الدرس في كلٍّ من وحدات الدليل وفق نموذج تدريسي مكوّن من ثلاث مراحل، هي: تقديم الدرس، والتدريس، والتقويم. ينفّذ كلٌّ منها تبعًا لعناصر محدّدة.

يشتمل الدليل على محتوى كتاب الطالب، وإجابات الأسئلة الواردة فيه، إضافةً إلى إجابات الأسئلة الواردة في كتاب الأنشطة والتجارب العملية، وإجابات أسئلة التجارب الإضافية.

ونحن إذ نقدّم هذا الدليل؛ فإنّا نأمل أن يسهم في تحقيق أهداف التعلّم المنشودة، وإبراز قدرات المعلّم/ المعلّمة الإبداعية على وضع البدائل، وإضافة الجديد، وبناء أدوات تقويم ذات معايير جديدة.

والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

بِنية كتاب الطالب: دورة التعلُّم الخماسية

صُمِّمت وحدات كتاب الطالب وفق دورة التعلُّم الخماسية التي تمنح الطلبة الدور الأكبر في العملية التعلُّمية التعليمية، وتُوفِّر لهم فرصًا عديدة للاستقصاء، وحل المشكلات، والبحث، واستخدام التكنولوجيا. تتضمَّن هذه الدورة ما يأتي:

1 التهيئة Engagement:

إثارة فضول الطلبة الطبيعي ودافعيتهم إلى البحث والاستكشاف، وتنشيط المعرفة السابقة بالموضوع.

أتأمّل الصورة

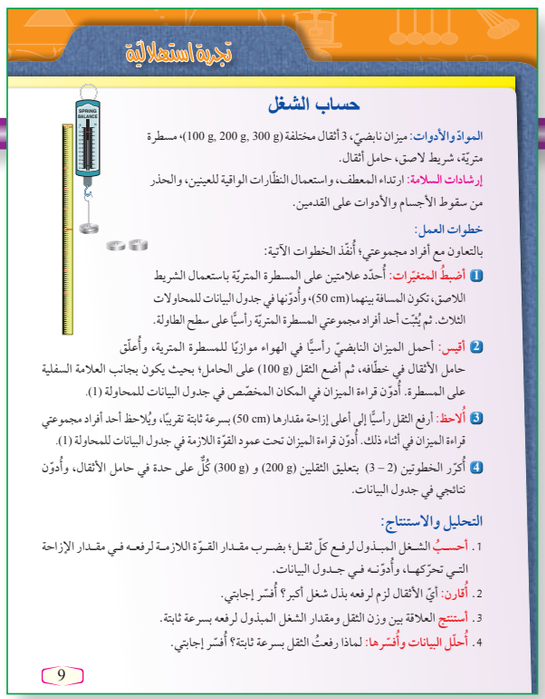
الفيزياء والطاقة

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

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

2 الاستكشاف Exploration:

مشاركة الطلبة في الموضوع؛ ما يمنحهم فرصةً لبناء فهمهم الخاص. ويجمع الطلبة في هذه المرحلة بيانات مباشرة تتعلق بالمفهوم الذي يدرسونه عن طريق إجراء أنشطة عملية متنوعة وجاذبة، يعتمد بعضها المنحى التكاملي STEAM الذي يساعد الطلبة على اكتساب مهارات العلم.



تجربة استهلالية

حساب الشغل

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

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

خطوات العمل:

بالتعاون مع أفراد مجموعتي، أُنفّذ الخطوات الآتية:

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

التحليل والاستنتاج:

1. **أحسبُ** الشغل المبذول لرفع كلّ ثقل؛ بضرب مقدار القوّة اللازمة لرفعه في مقدار الإزاحة التي تحرّكها، وأُدوّنه في جدول البيانات.
2. **أُقارن:** أيّ الأثقال لزم لرفعه بذل شغل أكبر؟ أُفسّر إجابتي.
3. **أستنتج** العلاقة بين وزن الثقل ومقدار الشغل المبذول لرفعه بسرعة ثابتة.
4. **أُحلّل البيانات وأُفسّرها:** لماذا رفعتُ الثقل بسرعة ثابتة؟ أُفسّر إجابتي.

9

5 التقويم Evaluation:

التحقق من تعلُّم الطلبة وفهمهم للموضوع، ومنحي فرصة لتعرُّف نقاط القوة والضعف لدى طلبتي.

مراجعة الوحدة

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

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكلّ جملة مما يأتي:
   1. الشغل الذي تبذله قوّة مقدارها (1 N) عندما تؤثر في جسم وتُحركه إزاحة مقدارها (1 m) في اتجاهها، يُسمّى:
      أ. النيوتن (N) ب. الجول (J) جـ. الواط (W) د. الحصان (hp)
   2. مقدرة الجسم على بذل شغل، تُسمّى:
      أ. الطاقة ب. الشغل جـ. القدرة د. القوة المحصلة
   3. الطاقة المختزنة في جسم نتيجة موقعه بالنسبة إلى مستوى إسناد، تُسمّى:
      أ. الشغل ب. الطاقة الحركية جـ. القدرة د. طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية
   توضّح الأشكال الثلاثة الآتية، انزلاق 3 صناديق مختلفة الكتل من السكون، من الارتفاع نفسه على مستويات مائلة متماثلة لها الميل نفسه. استعمل بيانات الأشكال للإجابة عن الأسئلة (4 – 7).

   4. الصندوق الذي له أكبر طاقة وضع ناشئة عن الجاذبية، هو:
      أ. A ب. B جـ. C د. طاقات وضعها جميعها متساوية
   5. الترتيب الصحيح للطاقة الحركية للصناديق الثلاثة لحظة وصولها إلى سطح الأرض، هو:
      أ. $KE_C > KE_B > KE_A$ ب. $KE_C > KE_B = KE_A$ جـ. $KE_B > KE_A > KE_C$ د. طاقاتها الحركية جميعها متساوية
   6. الصندوق الذي له أكبر سرعة لحظة وصوله إلى سطح الأرض، هو:
      أ. A ب. B جـ. C د. سرعاتها جميعها متساوية
   7. الصندوق الذي يصل إلى سطح الأرض أولًا، هو:
      أ. A ب. B جـ. C د. تصل جميعها إلى سطح الأرض في اللحظة نفسها.
   8. تكون الطاقة الميكانيكية لجسم يسقط سقوطًا حرًّا عند إهمال مقاومة الهواء:
      أ. متزايدة. ب. متناقصة. جـ. ثابتة. د. صفرًا.
   9. عندما تؤثر قوّة في جسم عموديًا على الماء إزاحته؛ فإنّ شغلها يكون:
      أ. موجبًا. ب. سالبًا. جـ. صفرًا. د. موجبًا أو سالبًا.
   10. إذا كان شغل قوّة مؤثرة في جسم بين موقعين، يعتمد على موقعه النهائي وموقعه الابتدائي، ولا يعتمد على المسار الفعلي للحركة؛ فإنّ هذه القوّة توصف بأنها قوة:
      أ. احتكاك. ب. محافظة. جـ. غير محافظة. د. شدّ.

47

11. يتحرّك جسم أفقيًا بسرعة ثابتة مقدارها (5 m/s) شرقًا، ويقطع إزاحة مقدارها (50 m). إنّ الشغل الكلّي المبذول على الجسم خلال هذه الإزاحة يساوي:
    أ. 250 J. ب. الطاقة الحركية له. جـ. صفرًا. د. طاقته الميكانيكية.
12. تتحرّك سيّارة بسرعة (15 m/s) شرقًا، بحيث كانت طاقتها الحركية (2×10^3 J). إذا تحرّكت السيارة غربًا بالسرعة نفسها؛ فإنّ مقدار طاقتها الحركية يساوي:
    أ. 9×10^3 J ب. -9×10^3 J جـ. 18×10^3 J د. 0 J
13. يركض محمد بسرعة مقدارها (3 m/s). إذا ضاعف مقدار سرعته مرّتين؛ فإنّ طاقته الحركية:
    أ. تتضاعف مرّتين. ب. تتضاعف 4 مرّات. جـ. تقلّ بمقدار النصف. د. تقلّ بمقدار الربع
14. يحمل عندئل صندوقًا وزنه (200 N) ويسير به أفقيًا بسرعة ثابتة إزاحة مقدارها (10 m). إنّ مقدار الشغل الذي يبذله عندئل على الصندوق خلال هذه الإزاحة يساوي:
    أ. 0 J ب. 2 J جـ. 200 J د. 2000 J
15. إذا كان الشغل الكلّي المبذول على جسم يساوي صفرًا، فهذا يعني أنّ الجسم:
    أ. ساكن أو متحرّك بسرعة ثابتة. ب. ساكن أو يتحرّك بتسارع ثابت.
    جـ. ساكن أو يتحرّك إلى أسفل بتسارع د. ساكن أو يتحرّك إلى أعلى بتسارع

2. **أفسّر** إذا كان لِثقل شغل أم لا في الحالات الآتية:
   أ. تحمل هند حقيبتها، وتصعد بها إلى شقتها في الطابق الثاني.
   ب. يرفع باسر حقيبة كتبه رأسيًا إلى أعلى عن سطح الأرض.
   جـ. تسير سارة أفقيًا وهي تحمل حقيبة كتبها بين يديها.
   د. تحاول ليلى دفع الأريكة، ولا تستطيع تحريكها من مكانها.
3. **أوضّح** هل يُمكن لطاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية أن تكون سالبة.
4. **أصدر حكمًا:** في أثناء دراستي وزميلتي أسماء لمبرهنة الشغل – الطاقة الحركية، قالت: "إنّ الشغل الكلّي المبذول على جسم يساوي طاقته الحركية النهائية". أناقش صحة قول أسماء.
5. **أحلّل:** قُذفت كرة رأسيًا إلى أعلى من سطح الأرض. عند أيّ ارتفاع يكون مقدار سرعتها مساويًا نصف مقدار سرعتها الابتدائية؟ أُفسّر إجابتي.
6. **أتدبّر الفيزياء:** أثّرت قوّة محصلة متغيّرة في جسم كتلته (10 kg)؛ فحرّكته من السكون إزاحة مقدارها (15 m)، كما هو موضّح في الشكل المجاور. أحسبُ 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).
   جـ. الشغل الذي بذلته القوّة المحصلة خلال الإزاحة كاملة (الشغل الكلّي)

48

3 الشرح والتفسير Explanation:

تقديم محتوى يتسم بالتنوع في أساليب العرض، ويضم عددًا من الصور والأشكال التوضيحية والرسوم البيانية المرتبطة بالموضوع؛ ما يمنح الطلبة فرصةً لبناء المفهوم.

الدرس 1 الشغل والقدرة
Work and Power

الشغل Work

يرتبط مفهوم الشغل بتأثير قوّة في جسم وتحريكها له، ويختلف المفهوم الفيزيائيّ للشغل عن معناه الشائع؛ إذ إنّ مفهوم الشغل لدينا يتضمّن القيام بعمل عقلي أو عضلي، ولكنّ الشغل عند الفيزيائيين له معنى آخر أكثر تحديدًا. أنظرُ إلى الشكل (1)، وأحدّد أين يبذل الشخص شغلًا.

إذا أثّرت قوّة (F) في جسم وأحدثت له إزاحة اتجاهها غير متعامد مع اتجاه القوّة؛ فإنّ هذه القوّة تكون قد بذلت **شغلًا Work** على الجسم. وفي الشكل (1/أ)، ألاحظ أنّ الشخص الذي يحمل الصندوق لا يبذل شغلًا عليه من الناحية الفيزيائية؛ على الرغم من شعوره بالتعب من حمله؛ لأنّه لا توجد إزاحة في اتجاه القوّة الرأسية المؤثّرة في الصندوق إلى أعلى. في حين يبذل الشخص الذي يدفع السيارة في الشكل (1/ب) شغلًا عليها؛ لوجود إزاحة في اتجاه القوّة المؤثّرة.

إنّ القوّة المؤثّرة في جسم قد تكون ثابتةً أو متغيّرة؛ لذا سأدرس حساب شغل كلٍّ منهما على حدة.

الشكل (1): (أ) لا يبذل الشخص حامل الصندوق شغلًا عليه عندما يتحرّك أفقيًا بسرعة ثابتة؛ لأنّ يكون ساكنًا. (ب) يبذل الشخص شغلًا على السيارة؛ عندما تتحرّك في الاتجاه نفسه لقوّته المؤثّرة فيها.

فكرة الدرس:
الشغل ناتج قوّى تؤثّر في الأجسام، ومفهوم الشغل فيزيائيًا يختلف عن معناه الشائع. ويُستعمل مفهوم القدرة للمقارنة بين الآلات المختلفة في المعدّل الزمني لإنجاز الشغل نفسه.

نتاجات التعلم:
- أفرّق بين مفهومَي الشغل والقدرة.
- أعرّف الشغل الذي تبذله قوّة ثابتة، والشغل الذي تبذله قوّة متغيّرة.
- أحسبُ الشغل الذي تبذله قوّة الجاذبية الأرضيّة في تحريك جسم إزاحة ما.
- أشرحُ أهمّية استعمال مفهوم القدرة في وصف الآلات.
- أحسبُ قدرة آلة معبّرًا عنها بمعادلة.
- أطبّق بحلّ مسائل على الشغل، والقدرة.

المفاهيم والمصطلحات:

الشغل	Work
الجول	joule
القدرة	Power
الواط	watt

10

الشكل (2): (أ) قوّة ثابتة تصنع زاوية (θ) مع اتجاه الإزاحة، (ب) تحليل متجه القوّة المؤثّرة إلى مركّبتيه.

الشغل الذي تبذله قوّة ثابتة Work Done by a Constant Force

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

$$W_F = \mathbf{F} \cdot \mathbf{d}$$
$$= Fd \cos\theta$$

هذه هي المعادلة العامّة لحساب الشغل، حيث (θ): الزاوية المحصورة بين اتّجاه القوّة واتّجاه الإزاحة، و($F\cos\theta$)، مركّبة متّجه القوّة في اتّجاه الإزاحة التي تحرّكها الجسم تحت تأثير هذه القوّة، أنظرُ إلى الشكل (2/ب). ويُقاس الشغل بوحدة **الجول joule (J)** حسب النظام الدولي للوحدات؛ تكريمًا للعالم (جيمس بريسكوت جول). ويُعرّف الجول بأنّه الشغل الذي تبذله قوّة مقدارها (1 N) عندما تؤثّر في جسم، وتحرّكه إزاحة مقدارها (1 m) في اتّجاهها.

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

لحساب الشغل الذي تبذله القوّة المؤثّرة في الصندوق الموضّح في الشكل (2)؛ أُحلّل متّجه القوّة المؤثّرة إلى مركّبتيه: مركّبة أفقية موازية لاتّجاه الإزاحة ($F_x = F\cos\theta$)، ومركّبة عمودية على اتّجاه الإزاحة ($F_y = F\sin\theta$)، وألاحظ أنّ إزاحة الصندوق ($\mathbf{d}$) في اتّجاه المحور x؛ لذا فإنّ المركّبة الموازية لاتّجاه الإزاحة هي التي تبذل شغلًا فقط، أما المركّبة العمودية فلا تبذل شغلًا؛ لعدم وجود إزاحة في اتّجاهها.

أستعين بالإنترنت: برنامج سكراتش (Scratch) عرضًا يوضّح الشغل الذي تبذله قوّة ثابتة، ثم أشارك زملائي/زميلاتي في الصف.

11

4 الإثراء والتوسُّع Elaboration:

تزويد الطلبة بخبرات إضافية لإثارة مهارات الاستقصاء لديهم؛ عن طريق إشراكهم في تجارب وأنشطة جديدة تكون أشبه بتحدٍّ يُفضي إلى التوسُّع في الموضوع، أو تعميق فهمه.

الإثراء والتوسّع

طاقة الرياح Wind Power

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

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

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

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

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

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

مزرعة رياح

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

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

46

عناصر محتوى الدرس:

يشمل الدرس عناصر متنوعة، عرضت بتسلسل بنائي واضح؛ ما يُسهِّل تعلُّم الطلبة المفاهيم والمعارف والأفكار الواردة في الدرس.

الفكرة الرئيسة:

تتضمَّن تلخيص المفاهيم والأفكار والمعارف التي سيتعلَّمها الطلبة في أثناء الحصة.

الفكرة الرئيسة:

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

شرح محتوى الدرس:

شرح محتوى الدرس بعبارات بسيطة تراعي الفئة العمرية وخصائص الطلبة النمائية، وتنظيم عملية الشرح بحيث تشتمل على عناوين رئيسة، يتفرَّع منها عناوين ثانوية، وتندرج أحيانًا عناوين فرعية من العناوين الثانوية، وتظهر بألوان مختلفة.

الشغل الذي تبذله قوّة متغيّرة Work Done by a Varying Force

عندما تؤثّر قوّة ثابتة في جسم وتحرّكه إزاحة معيّنة في اتّجاهها؛ فإنّ مقدار شغل هذه القوّة يُحسب بضرب مقدار القوّة في مقدار الإزاحة (Fd). فمثلًا، إذا كان مقدار هذه القوّة الثابتة (60 N)، ومقدار إزاحة الجسم التي تحرّكها في اتّجاه القوّة نفسه (5 m)؛ فإنّ مقدار شغل هذه القوّة يُحسب كما يأتي:

$$W_F = Fd\cos\theta$$
$$= 60 \times 5 \times \cos 0^\circ$$
$$= 300\ \text{J}$$

وإذا مثّلتُ العلاقة بين هذه القوّة الثابتة والإزاحة بيانيًّا، أحصلُ على شكل مماثل للشكل (8)؛ حيث مُثّلتْ القوّة الثابتة على المحور y، وإزاحة الجسم على المحور x، وإذا حسبتُ المساحة المحصورة بين منحنى (القوّة – الإزاحة) ومحور الإزاحة، وهي تساوي مساحة المستطيل (A) بضرب ضلع المستطيل الرأسي (مقدار القوّة الثابتة) في ضلعه الأفقي (مقدار الإزاحة)، أجد أنّها تساوي عدديًّا شغل القوّة خلال هذه الإزاحة، حيث:

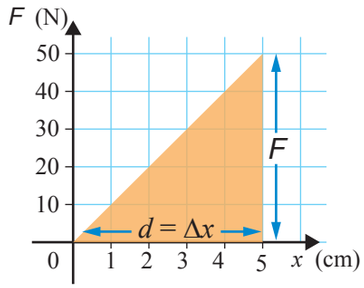
$$A = Fd = 60 \times 5 = 300\ \text{J} = W_F$$

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

أستعملُ أيضًا هذه الطريقة البيانية في حساب الشغل عندما تكون القوّة المؤثّرة في جسم متغيّرة في أثناء إزاحته. ومن أمثلة القوى المتغيّرة: القوّة اللازمة لشد نابض؛ فعندما أشدّ نابضًا أو أضغطه ألاحظ تغيّر مقدار قوتي اللازم تأثيرها فيه باستمرار، فلزيادة استطالة النابض يلزم زيادة مقدار قوتي المؤثّرة فيه، أنظرُ إلى الشكل (9). وأحسبُ شغل القوّة المتغيّرة بحساب المساحة المحصورة بين منحنى (القوّة – الإزاحة) ومحور الإزاحة حسب شكلها الهندسي.

الصور والأشكال:

صور واضحة ومتنوعة تُحقِّق الغرض العلمي.



الشكل (10): القوّة المؤثّرة في نابض، تتغيّر خطيًّا في أثناء استطالة النابض.

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

أسئلة الأشكال:

أسئلة إجاباتها من الصورة؛ لتدريب الطلبة على التحليل.

أُفكِّر:

تنمية مهارات التفكير.

أفكّر: ما التفسير الفيزيائي لكلّ من الشغل الموجب والشغل السالب المبذولَين على جسم؟ أُناقش أفراد مجموعتي، وأستعمل مصادر المعرفة الموثوقة والمُتاحة ومنها شبكة الإنترنت للتوصّل إلى إجابة عن السؤال.

مختلفة هي **القدرة** (**Power** (P)؛ وتُعرف بأنّها المعدّل الزمني للشغل المبذول، أي إنّها تساوي ناتج قسمة الشغل المبذول (W) على الزمن المستغرق لبذله (Δt). ويُمكنني حساب القدرة المتوسطة ($\overline{P}$) وفقًا للمعادلة الآتية: $\overline{P} = \frac{W}{\Delta t}$.

المفاهيم والمصطلحات:

تظهر مظلَّلة، وبخط غامق؛ للتركيز عليها، وجذب انتباه الطلبة إليها.

التجربة:

خبرات عملية تُكسِب الطلبة مهارات ومعارف متنوعة، بعضها وفق المنحى التكاملي STEAM.

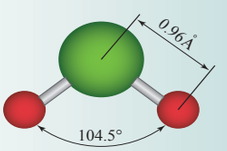
المهارات:

تحدّي قدرات الطلبة في مجال التفسير، والتحليل، ومعالجة المعلومات؛ لذا فهي تُنمّي قدراتهم على التأمُّل، والتفكير، والاستقصاء؛ لتحقيق مفهوم التعلُّم مدى الحياة.

الربط بـ

تقديم معلومات بغرض التكامل مع المباحث الأُخرى، أو ربط تعلُّم الطلبة بمجالات الحياة؛ ليصبح تعلُّمهم ذا معنى.

الربط بالكيمياء



يتكوّن جزيء الماء (H_2O) من ذرّة أكسجين وذرّتَي هيدروجين ترتبط معًا بروابط تساهمية، ولا تكون هذه الذرّات الثلاث على استقامة واحدة، إذ توجد زاوية بين ذرّتَي الهيدروجين مقدارها (104.5°)، ما يُعطي الماء خصائص متميّزة عن المواد الأُخرى. إنّ زيادة الكثافة الإلكترونية حول ذرّة الأكسجين تجعلها قطبًا كهربائيًّا سالبًا، ونقصها حول ذرّتَي الهيدروجين تجعلهما قطبًا موجبًا لجزيء الماء.

أسئلة مراجعة الدرس:

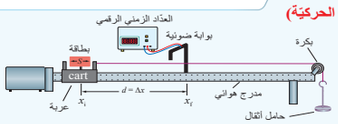
أسئلة متنوعة مرتبطة بالفكرة الرئيسة، والمفاهيم، والمصطلحات، والمهارات.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** ما المقصود بالشغل؟ وما العوامل التي يعتمد عليها؟ وما المقصود بالقدرة؟ وما وحدة قياسها حسب النظام الدولي للوحدات؟
2. **أستنتجُ:** رفع ريّان صندوقًا من الطابق الأرضي في مدرسته إلى الطابق الأول خلال (2 min)، بينما احتاج نصر إلى (4 min) لرفع الصندوق نفسه بين الطابقين. ما العلاقة بين مقدار الشغل الذي بذله كلّ منهما على الصندوق؟ وما العلاقة بين مقداريّ قدرتهما؟ أفترضُ أنّ السرعة ثابتةٌ في الحالتين.
3. **أستعملُ المتغيّرات:** يسحب سائحٌ حقيبة سفره بسرعة ثابتة على أرضية أُفقية في المطار بإزاحة مقدارها (200 m). إذا علمتُ أنّ قوّة السحب تساوي (40 N) باتّجاه يصنع زاوية (53°) على الأُفقي؛ فأحسبُ مقدار ما يأتي:

التجربة ١

مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركيّة)



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

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

خطوات العمل:

بالتعاون مع أفراد مجموعتي، أنفّذ الخطوات الآتية:

1. أثبّت المدرج الهوائي أفقيًّا على سطح الطاولة، ثمّ أثبّت البكرة في نهايته كما في الشكل، ثم أثبّت المسطرة المترية على سطح الطاولة، بحيث يكون صفرها عند بداية المدرج.
2. **أقيس** طول البطاقة (x) الساتة بالعربة ثم أثبّتها عليها، وأدوّن طولها للمحاولات جميعها في الجدول (1).
3. **أقيس** كتلة العربة المنزلقة (m_{cart}) وأدوّنها أعلى الجدول، ثم أضع العربة عند بداية المدرج عند الموقع ($x_i = 0$ m).
4. **أقيس:** أضع أثقالًا مناسبةً (50 g مثلًا) على حامل الأثقال، ثم أقيس كتلة الحامل وأثقاله (m_{hang}) وأدوّنها أعلى الجدول.
5. أربط أحد طرفي الخيط بمقدّمة العربة، ثم أربط طرفه الآخر بحامل الأثقال مرورًا بالبكرة، مراعيًا وصول العربة إلى نهاية المسار على المدرج قبل ملامسة حامل الأثقال أرضية الغرفة. أثبّت حاجز الاصطدام في نهاية المسار؛ لمنع اصطدام العربة بالبكرة.
6. أثبّت البوّابة الضوئية عند الموقع ($x_f = 40$ cm)، ثم أصلها بالعدّاد الزمني الرقمي، ثم أصله بمصدر الطاقة الكهربائيّة ثمّ أشغّله. أدوّن بُعد البوابة الضوئية عن مقدّمة العربة ($d = x_f - x_i$) للمحاولة (1) في الجدول.
7. **أجرّب:** أشغّل مضخّة الهواء، ثم أفلت العربة لتتحرّك من السكون، وألاحظ قراءة العداد الزمني الرقمي (Δt) الذي يُمثّل الزمن الذي تستغرقه البطاقة التي على العربة في عبور البوابة الضوئية. أدوّن هذا الزمن في الجدول للمحاولة (1).
8. أكرّر الخطوتين (6 - 7) مرّتين مع تغيير موقع البوابة الضوئية في كل مرّة، وأدوّن في الجدول القياسات الجديدة لكلّ من : (d)، و (Δt).
9. أكرّر التجربة مرّة أخرى بزيادة الأثقال على الحامل.

التحليل والاستنتاج:

1. **أحسبُ** مقدار السرعة النهائيّة للعربة لكلّ محاولة، باستعمال العلاقة: $(v_f = \frac{S}{\Delta t})$، ثم أجد مربّع هذه السرعة، وأدوّن الحسابات في الجدول (1).
2. **أحسبُ** مقدار شغل القوّة المحصّلة الخارجية المؤثّرة في العربة لكلّ محاولة، باستعمال العلاقة: $(W_F = (\frac{m_{cart}\, m_{hang}}{m_{hang} + m_{cart}})gd)$، ثم أدوّنه في الجدول (2).
3. **أحسبُ** مقدار التغيّر في الطاقة الحركيّة للعربة لكلّ محاولة باستعمال العلاقة: $(\Delta KE = KE_f - KE_i)$، ثم أدوّنه في الجدول (2).
4. **أقارن** بين (W_F)، و (ΔKE) لكلّ محاولة. ما العلاقة بينهما؟ هل يوجد أي اختلاف بينهما؟ أفسّر إجابتي.
5. **أحلّل:** هل دعّمت نتائجي التجريبية التي حصلت عليها مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركيّة)؟ أوضّح سبب وجود أيّ اختلاف بينهما.
6. **أحلّل واستنتج:** هل يُبذل شغل على العربة عند ملامسة حامل الأثقال لأرضية الغرفة؟ أوضّح إجابتي.
7. **أتوقّع** مصادر الخطأ المحتملة في التجربة.

المثال:

أسئلة متنوعة وحلولها لتعزيز فهم الطلبة.

المثال ١

سحبت شفاء حقيبتها على سطح أُفقي أملس بقوّة مقدارها (10 N)، إزاحة أُفقية مقدارها (1.6 m).

أحسبُ مقدار شغل القوّة في الحالتين الآتيتين:

أ. إذا كانت القوّة في اتّجاه الإزاحة نفسه.

ب. إذا كانت القوّة تصنع زاوية (37°) مع اتّجاه الإزاحة.

المعطيات:

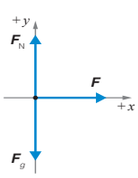
$F = 10$ N, $d = 1.6$ m, $\theta_1 = 0°$, $\theta_2 = 37°$.

المطلوب:

$W_1 = ?$, $W_2 = ?$

الحلّ:

أرسمُ مخطّط الجسم الحرّ للحقيبة في الحالتين.



القوّة المؤثّرة في اتّجاه الإزاحة نفسه.

أ. أستعملُ معادلة الشغل الآتية، مع تعويض $\theta_1 = 0°$.

$W_1 = Fd \cos\theta_1$

$= 10 \times 1.6 \times \cos 0°$

$= 16 \times 1$

$= 16$ J

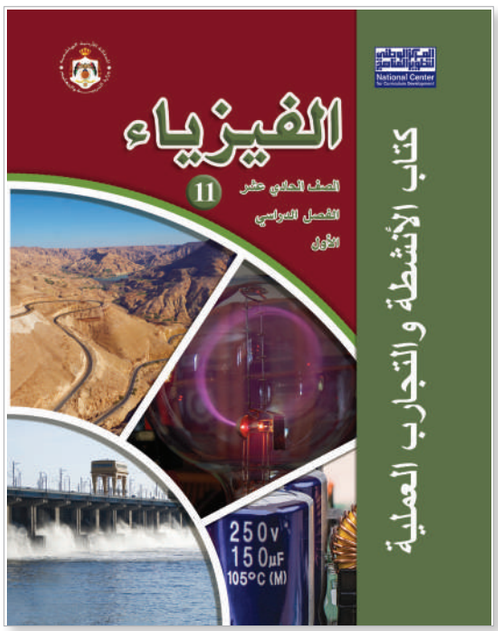
التقويم التكويني:

أسئلة تهدف إلى التحقُّق من مدى فهم الطلبة في أثناء عملية التعلُّم.

✓ **أتحقّق:** متى يكون شغل قوّة سالبًا؟ ومتى يكون شغلها صفرًا؟

بِنية كتاب الأنشطة والتجارب العملية:

أُفرِد كتاب الأنشطة والتجارب العملية لتدوين الملاحظات ونتائج الأنشطة والتمارين التي يُنفِّذها الطلبة، وما يتعلَّمونه بصورة رئيسة في الدروس. وهو يتضمَّن توجيهات للطلبة بخصوص ما يجب القيام به، ويُسهِم في تقديم تغذية راجعة مكتوبة عن تعلُّمهم وأدائهم.



أوراق عمل خاصة بالأنشطة الموجودة في كتاب الطالب

تتضمَّن أوراق العمل المواد والأدوات اللازمة لإجراء النشاط، وإرشادات السلامة الواجب اتباعها في أثناء تنفيذ النشاط. وهي تشمل خطوات العمل، والأماكن المخصصة لتدوين الملاحظات والنتائج التي توصَّل إليها الطلبة. وتتضمن بعض أوراق العمل صورًا توضيحية لبعض الإجراءات التي توجِب ذلك.

التجربة 1
مبرهنة (الشغل - الطاقة الحركيّة)
الخلفية العلمية:
عندما تبذل قوّة محصّلة خارجية شغلًا على جسم، تتغيّر طاقته الحركيّة، ويكون مقدار التغ
الحركيّة مساويًا لشغل القوّة المحصّلة الخارجية المؤثّرة فيه. ويُعبّر عن ذلك بالمعادلة الآ
1 .....
تُسمّى هذه المعادلة مبرهنة (الشغل - الطاقة الحركيّة).
في هذه التجربة، سأستقصي صحّة هذه المبرهنة؛ إذ يوضّح الشكل أدناه كيفية ترتيب المو
لتنفيذ هذه التجربة. ألاحظ أنّ المدرج الهوائي في وضع أفقي تمامًا، وكتلة العربة (m_{cart})
التعليق (الحامل والأثقال التي عليه) (m_{hang}) تؤثر بقوّة الشد في الخيط الذي يبذل شغلًا
لحساب شغل القوّة المحصّلة الخارجية المبذول على العربة، ألاحظ أنّه لا توجد قوّة
العربة والمدرج. والخيط الواصل بين البكرة والعربة خفيف مهمل الكتلة، كما أنّه أفقي تم
أن تكون القوّة المحصّلة الخارجية المؤثّرة في العربة في اتّجاه الإزاحة نفسه. ويتطبيق القانون الثاني لنيوتن على العربة وثقل التعليق كلّ على حدة؛ أحصلُ على المعادلتين الآتيتين:
العداد الزمني الرقمي
بوابة ضوئية
بكرة
بطاقة
cart
مدرج هوائي
حامل أثقال
2 .....
3 .....
وبجمع المعادلتين (2) و(3)؛ أحصلُ على معادلة حساب تسارع العربة وثقل التعليق:
4 .....
حسب القانون الثاني لنيوتن، تكون القوّة المحصّلة المؤثّرة في العربة ($F_T = m_{cart}\, a$)
القوّة المحصلة مساوية لقوّة الشد في الخيط، وأحسبُ شغلها الذي تبذله في تحريك
مقدارها (d) في اتّجاهها بالعلاقة: $W_F = \sum Fd = F_T\, d = m_{cart}\, a\, d$
وبتعويض التسارع من المعادلة (4) في معادلة حساب الشغل؛ أحصلُ على المعادلة الآتية
5 .....
الوحدة 1 :الشغل والطاقة.

تجربة استهلالية
حساب الشغل
الخلفية العلمية: لرفع جسم رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ثابتة؛ لا بدّ من التأثير فيه بقوّة خارجية (F_{ext}) مقدارها مساوٍ لمقدار وزن الجسم واتجاهها بعكس اتجاه الوزن، وعندها تكون القوّة المحصّلة المؤثّرة فيه صفرًا، وحسب القانون الأول لنيوتن، يتحرّك الجسم بسرعة متّجهة ثابتة.
$$\sum F = F_{ext} - F_g = 0$$
$$F_{ext} = F_g$$
وتبذل القوّة المؤثّرة (F_{ext}) في الجسم شغلًا (W_F) عليه عند تحريكه إزاحة ($d = \Delta x$) يُعطى مقداره بالعلاقة:
$$W_F = F_{ext}\, d \cos\theta$$
حيث (θ) الزاوية المحصورة بين اتّجاهي القوّة المؤثّرة والإزاحة. وعند رفع الجسم رأسيًّا إلى أعلى يكون مقدار هذه الزاوية صفرًا، ويُحسب الشغل المبذول لتحريك الجسم إزاحةً رأسيّةً مقدارها (d) بسرعة متّجهة ثابتة كما يأتي:
$$W_F = F_{ext}\, d \cos\theta = F_g\, d = mgd$$
الهدف:
- تعرُّف مفهوم الشغل.
- حساب الشغل الذي تبذله قوّة ثابتة مقدارًا واتّجاهًا.
- استنتاج العلاقة بين وزن جسم، ومقدار الشغل المبذول لرفعه بسرعة ثابتة.
المواد والأدوات:
ميزان نابضيّ، (3) أثقال مختلفة (100 g, 200 g, 300 g)، مسطرة مترية، شريط لاصق، حامل أثقال.
إرشادات السلامة:
ارتداء المعطف، واستعمال النظّارات الواقية للعينين، والحذر من سقوط الأجسام والأدوات على القدمين.
4 الوحدة 1 : الشغل والطاقة.

تجارب إثرائية

يشتمل كتاب الأنشطة والتجارب العملية على تجارب إثرائية، منها ما يُعمِّق فهم الطلبة لموضوع الدرس، ومنها ما يمنحهم فرصة التوسُّع في المعرفة المُتَعلِّقة بموضوع ما.

تجربة إثرائية

اكتشاف الإلكترون

الخلفية العلمية:

أثبت عالم الفيزياء البريطاني ثومسون في عام 1897م أنّ الذرّة ليست هي المكوّن الأساس للمادّة؛

الأشعّة المهبطيّة تنحرف عن مسارها المستقيم داخل أنبوب زجاجي منخفض

ٍّ من المجالين الكهربائيّ أو المغناطيسي، وبذلك يكون قد أثبت أنّ الأشعّة

قائق مادية مشحونة بشحنات كهربائيّة، كما يُبيّن الشكل أدناه. وهذه الدقائق

سالب (المهبط) وتتّجه نحو القطب الموجب (المصعد)، فهي تحمل شحنةً

الدقائق التي اكتشفها ثومسون تسمى الآن (إلكترونات).

اس مقدار انحراف الأشعّة المهبطية تحت تأثير كل من المجال الكهربائيّ

، ثم حساب نسبة كتلة الإلكترون إلى شحنته. ويتكرار هذه التجربة، واستعمال

مهبط، وغازات مختلفة في الأنبوب؛ تبيّن أنّ الإلكترون لا يختلف من مادّة إلى

س لذرّات الموادّ جميعها.

شعّة المهبطيّة:

فّاف في داخله غاز منخفض الضغط؛ متّسع من إحدى نهايتيه ومطلي بمادّة

ند سقوط الأشعة المهبطيّة عليها.

مهبط) الذي يوصل مع القطب السالب لمصدر الطاقة الكهربائيّة، وتنبعث منه

المصعد)، الذي يوصل مع القطب الموجب لمصدر الطاقة الكهربائيّة، فيعمل

الأشعّة المهبطيّة وإكسابها طاقة حركيّة.

تجربة إثرائية

بناء أُفعوانية STEAM

الخلفية العلمية:

الطاقة الميكانيكية لأيّ نظام محفوظة عندما تكون القوى التي تبذل شغلًا فيه محافظة، وبذلك تبقى الطاقة الميكانيكية للنظام ثابتة. وجرت الاستفادة من حفظ الطاقة الميكانيكية في تصميم كثير من الأجهزة والأنظمة الميكانيكية والألعاب، ومنها: لعبة الأُفعوانية.

تعتمد عربات الأُفعوانية في عملها على طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبيّة الأرضيّة، إذ تُعدّ قوّة الجاذبيّة الأرضيّة هي القوّة المحرّكة للعربات في أغلب الأُفعوانيات. بدايةً؛ تُجرّ عربات الأُفعوانية إلى التلّ الأول الذي يكون أعلى تلّ (منحدر) في مسار حركتها، وعندها تكون الطاقة الميكانيكية للعربات طاقة وضع ناشئة عن الجاذبيّة الأرضيّة، وتكون قيمتها عظمى؛ إذ الطاقة الحركيّة صفر.

وعندما تبدأ عربات الأُفعوانية هبوطها إلى أسفل التلّ الأول، تتحوّل طاقة الوضع المختزنة فيها إلى

وعندما تعاود العربات الصعود إلى أعلى تلّ آخر ارتفاعه أقلّ فإنّها تتباطأ، ويتحوّل جزء

ها الحركيّة إلى طاقة وضع ناشئة عن الجاذبيّة الأرضيّة. ولا يُمكن للعربات أن تصعد

ع نفسه للتلّ الأول؛ لأنّها تفقد جزءًا من طاقتها الميكانيكية نتيجة تأثير قوى الاحتكاك

سار الحركة في الأُفعوانية، وهو ما يتسبّب في التباطؤ التدريجي لحركة العربات. تتوالى

طاقة بين طاقة الوضع وطاقة الحركة في أثناء حركة العربات صعودًا ونزولًا، عبر التلال

في مسار حركتها، حتى تعود إلى نقطة البداية.

ع طاقتَي الوضع والحركة والطاقة المفقودة نتيجة الاحتكاك لنظام (العربة والمسار

مًا مساويًا الطاقة الميكانيكية الابتدائية (طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الابتدائية

ربات حركتها من السكون)، ولا يُمكن أن يكون المجموع أكبر منها؛ لذا يُراعي مصمّمو

ن يكون للعربات ما يكفي من طاقة الوضع الابتدائية؛ كي تتمكّن من قطع مسار الحركة

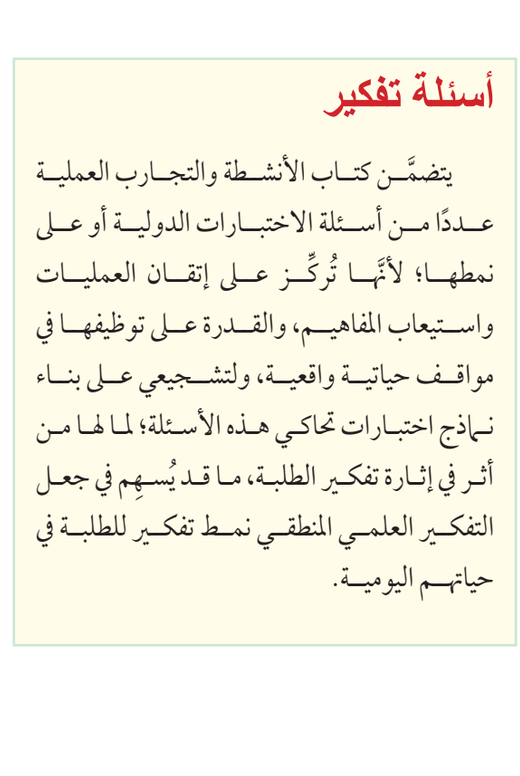
ا كاملًا. وهذا بدوره يضع بعض القيود والمحدّدات على التصميم، فمثلًا؛ لا يُمكن

واية أن تتحرّك عبر مسار حلقي رأسي أو تصعد تلًا يزيد ارتفاعهما عن ارتفاع التل

نطلقت منه؛ لأنّ ذلك يتطلّب طاقةً تفوق الطاقة التي تمتلكها العربات. أيضًا؛ إذا كان

أسئلة تفكير

يتضمَّن كتاب الأنشطة والتجارب العملية عددًا من أسئلة الاختبارات الدولية أو على نمطها؛ لأنَّها تُركِّز على إتقان العمليات واستيعاب المفاهيم، والقدرة على توظيفها في مواقف حياتية واقعية، ولتشجيعي على بناء نماذج اختبارات تحاكي هذه الأسئلة؛ لما لها من أثر في إثارة تفكير الطلبة، ما قد يُسهِم في جعل التفكير العلمي المنطقي نمط تفكير للطلبة في حياتهم اليومية.



أسئلة

1. تتجمّع دقائق الغبار بصورة مستمرّة على شاشا
الكهرباء الساكنة وفق الآلية الآتية:
أ - تكون دقائق الغبار مشحونة بشحنة سالبة؛
عليها.
ب- ينشأ أمام الشاشة مجال كهربائي يعمل عل
فينجذب طرفها المخالف في شحنته نحو ال
ج- يتسبّب الضوء الصادر عن الشاشة في شحن
فتنجذب نحو الشاشة.
د- يحتوي الهواء على إلكترونات حرّة تلتصق
الشاشة الموجبة.

2. بينما كان أحمد يقود سيارته (A) وصديقه حسن
وخطر متوقّع لحدوث صاعقة؛ فتذكّرا ما درسا
كلّ منها أن يبقى داخل سيّارته لتحميه من خطر
أ - القرار غير صائب؛ فكلا السيّارتين مصنو
السيّارتان حماية السائقين من الخطر.
ب- القرار صائب بالنسبة لكلا السائقين؛ فسيّارة
يمكن أن يحدث تفريغ للشحنات، فكلا السـ
ج- سائق السيارة (A) سيكون في مأمن؛ لعدم
تتّجه إلى مقدّمة السيارة ومؤخّرتها دون أ
للخطر.
د- سائق السيارة (B) سيكون في مأمن؛ لأ
سيارته موصل للكهرباء، فيحدث تفريغ
من الصاعقة إلى جسم السيّارة الفلّزي.
الأرض دون أن يتأثّر سائقها، بينما قد يحـ
في جسم السائق الآخر؛ فالعجلات العاز
تفريغ الشحنة.

أسئلة تفكير

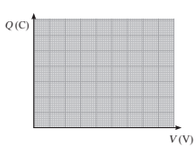
1. أراد يمان الحصول على مواسعة $3\ \mu F$ باستعمال (3) مواسعات متماثلة، جرّب توصيلها على التوازي فكانت مواسعتها المكافئة $6\ \mu F$، طريقة توصيل المواسعات التي تُمكّنه من الحصول على المواسعة المطلوبة، هي:
أ. المواسعات الثلاثة على التوالي.
ب. مواسعان على التوالي والمواسع الثالث على التوازي مع المواسع المكافئ للمواسعين الأولَيْن.
جـ. مواسعان على التوازي والمواسع الثالث على التوالي مع المواسع المكافئ للمواسعين الأولَيْن.
د. لا يُمكنه ذلك.

2. شحنتان مختلفتان (q_1, q_2) وضعتا عند نقطتين مختلفتين؛ كلّ شحنة عند نقطة في مجال كهربائي، فإذا كان الجهد الكهربائيّ متساويًا عند كلّ من النقطتين؛ فهل طاقة الوضع الكهربائيّة متساوية للشحنتين؟
أ. نعم؛ فإذا كان الجهد الكهربائيّ متساويًا عند نقطتين؛ فإنّ طاقة الوضع الكهربائيّة تكون متساوية كذلك بغض النظر عن مقدار ونوع الشحنات، عند تلك النقاط.
ب. نعم؛ لأنّ الجهد الكهربائيّ وطاقة الوضع الكهربائيّة أسماء مختلفة للمفهوم نفسه.
جـ. لا؛ لأنّ الجهد الكهربائيّ عند نقطة ما، يعتمد على الشحنة الموضوعة عند تلك النقطة، بينما طاقة الوضع الكهربائيّة ليست كذلك.
د. لا؛ لأنّ طاقة الوضع الكهربائيّة عند نقطة ما، تعتمد على الشحنة الموضوعة عند تلك النقطة، بينما الجهد الكهربائيّ ليس كذلك.

3. في تجربة قامت بها رقيّة لقياس مواسعة مواسع ذي صفيحتين متوازيتين عن طريق تغيير جهده، حصلت على النتائج المبينة في الجدول الآتي:

جهد المواسع (V)	5	10	15	20	25
شحنة المواسع (μC)	2	4	6	8	10

مستعينًا بالبيانات في الجدول، أُجيب عمّا يأتي:
أ. ما مقدار مواسعة المواسع؟
ب. أرسمُ العلاقة بين جهد المواسع وشحنته، ثم أحسبُ مواسعة المواسع عن طريق ميل المنحنى الناتج.



دليل المُعلِّم:

يُقدِّم الدليل نظرة عامة عن كل وحدة في كتاب الطالب والدروس التي فيها. ويُعرَض الدرس وفق نموذج تدريس من ثلاث مراحل؛ تُنفَّذ كلٌّ منها باستعمال عناصر مُحدَّدة. تبدأ كل وحدة بمصفوفة نتاجات تتضمَّن نتاجات الوحدة، والنتاجات السابقة، واللاحقة المرتبطة بها؛ لتعينني على الترابط الرأسي للمفاهيم والأفكار، وتساعدني على تصميم أنشطة التعلُّم والتعليم في الوحدة وتنفيذها.

مراحل نموذج التدريس:

1 تقديم الدرس

يشمل تقديم الدرس ما يأتي:

- **الفكرة الرئيسة:**

توضّح لي كيفية عرض فكرة الدرس الرئيسة.

- **الربط بالمعرفة السابقة:**

يُقصَدُ به تنشيط التعلُّم السابق للطلبة، حيث يُعَدُّ أساسًا لتعرُّف تنظيم المعلومات، وطرائق ترابطها. ويُقدِّم الدليل مقترحات عدَّةٍ لهذا الربط، وينتهج أساليب متنوعة تختلف باختلاف موضوع الدرس.

2 التدريس

يشمل التدريس ما يأتي:

- **المناقشة:**

يُقدِّم الدليل لي مقترحات لمناقشة الطلبة في موضوع الدرس، مثل الأسئلة التي تُمهِّد للحوار بيني وبين طلبتي، والإجابات المقترحة لها. تمنح المناقشة الطلبة فرصةً للتعبير عن آرائهم، وتُعلِّمهم تنظيم أفكارهم، وحسن الإصغاء، واحترام الرأي الآخر، وتزيد من ثقتهم بأنفسهم.

- **بناء المفهوم:**

تنوعت طرائق بناء المفهوم بالدليل، وذلك بحسب طبيعة المفهوم. يُقدِّم الدليل أفكارًا مقترحة لبناء المفاهيم الواردة في كتاب الطالب.

- **استخدام الصور والأشكال:**

تُنمّي الصور والأشكال الثقافة البصرية، وتُوضِّح المفاهيم الواردة في الدرس.

يُبيِّن الدليل لي كيفية توظيفه الصور والأشكال في عملية التدريس، ويُرشِدني إلى كيفية الإفادة منها في تحفيزهم على التفكير.

- **إضاءة للمعلِّم/ للمعلِّمة:**

معلومة لي تُسهم في إعطائي تفصيلات مُحدَّدة عن موضوع ما. وقد تُسهِم في تقديم إجابات لأسئلة الطلبة التي تكون غالبًا خارج نطاق المعلومة الواردة في الكتاب.

---

1 تقديم الدرس

الفكرة الرئيسة:

- أوضّح للطلبة مفهوم الشغل فيزيائيًّا، وأبين لهم كيفية حسابه.
- أوضّح للطلبة أنّهم في هذا الدرس سيدرسون الشغل والقدرة والعلاقة بينهما، وأنّهم سيتعلمون المفاضلة بين الأجهزة والآلات المختلفة في إنجازها للشغل.
- أوضّح للطلبة أنّ الشغل والقدرة كميّتان فيزيائيتان قياسيتان، غير مترادفتين، وأنّهم سيتعرّفون في هذا الدرس كيفية حساب كلّ منهما.

الربط بالمعرفة السابقة:

- أذكّر الطلبة بأبرز ما تعلّموه عن قوانين نيوتن في الحركة، والقوة المحصلة.
- أذكّر الطلبة بما درسوه في الصف التاسع عن حساب الشغل عندما تكون القوة موازية لاتجاه الإزاحة.

المناقشة:

- أوضّح للطلبة المفهوم الفيزيائي للشغل، ثم أسألهم:

– متى تبذل قوة مؤثّرة في جسم شغلًا عليه؟

تبذل هذه القوة شغلًا عندما يكون اتجاه إزاحة الجسم غير متعامد مع اتجاه القوة.

– أصف موقفًا تؤثّر فيه قوة في جسم ولا تبذل عليه شغلًا.

عندما تؤثر قوة في جسم ولا يتحرك الجسم فلا تبذل عليه شغلًا، وعندما تؤثر قوة في جسم باتجاه عمودي على اتجاه إزاحته فإنها لا تبذل عليه شغلًا.

بناء المفهوم الشغل.

- أبيّن للطلبة أنه اعتمادًا على المعادلة العامة لحساب الشغل فإنّه يمكن التوصّل إلى حالات خاصة لحساب الشغل، ثم أسألهم:

– متى يكون مقدار شغل قوة معيّنة أكبر ما يمكن؟ عندما تؤثر هذه القوة في جسم بشكل موازٍ لاتجاه إزاحته.

– متى يكون شغل قوة معيّنة سالبًا؟ عندما تؤثر هذه القوة في جسم بعكس اتجاه حركته، أو عندما يكون هذه القوة مركّبة معاكسة لاتجاه حركة الجسم؛ أي عندما تكون الزاوية المحصورة بين اتجاه القوة واتجاه الإزاحة $90° < \theta \leq 180°$.

– متى يكون مقدار شغل قوة معيّنة صفرًا؟ عندما تؤثر هذه القوة في اتجاه عموديّ على اتجاه الإزاحة.

استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (1)، وملاحظة متجهات القوى والإزاحة، ثم أسألهم:

– في الشكل (أ)، هل يبذل الشخص حامل الصندوق شغلًا عليه عندما يقف ساكنًا؟ لا يبذل الشخص شغلًا؛ لعدم وجود إزاحة.

إضاءة للمعلِّم/ للمعلِّمة

عند دفع العربة إلى أعلى المستوى المائل يلزم التأثير فيها بقوة موازية للمستوى المائل (باتجاه قمته)، بحيث تكون هذه القوة معاكسة لكلٍّ من: قوة الاحتكاك المؤثرة فيها، ومركّبة وزن العربة الموازية للمستوى المائل. وعند حركة العربة بسرعة ثابتة تكون القوة المحصلة المؤثرة فيها صفرًا؛ وهذا يتضمن أن القوة المحصلة الموازية للمستوى تساوي صفرًا، والقوة المحصلة العمودية عليه تساوي صفرًا أيضًا.

أخطاء شائعة:

قد يكون البناء المعرفي لدى بعض الطلبة غير صحيح؛ فيُنبِّه الدليل إلى ذلك، مُبيِّنًا الخطأ والصواب.

أخطاء شائعة

قد يخلط بعض الطلبة بين مفهومي شغل الآلة (أو الجهاز) وقدرته؛ لذا أبيّن لهم أن الشغل يعبر عن مقدار الطاقة التي يستهلكها الجهاز، ووحدة قياسه الجول، أما القدرة فتعبر عن معدل استهلاك الجهاز للطاقة، ووحدة قياسها الواط.

طريقة أُخرى للتدريس:

يُقدِّم الدليل مقترحات لتدريس المفهوم بأكثر من طريقة. ويمكن لي الاستفادة من تنوُّع الطرائق المُقدَّمة لتدريس مفهوم ما في خططي العلاجية؛ لمعالجة ضعف بعض الطلبة، إضافةً إلى إمكانية الإفادة منها في تقديم المفهوم بطرائق تنسجم مع خصائص الطلبة وذكاءاتهم المختلفة.

طريقة أخرى للتدريس

- لمساعدة الطلبة ذوي المستويات المختلفة على تعرّف مفهوم القدرة، أوزّعهم في مجموعات غير متجانسة، ثم أطلب إلى كلّ مجموعة كتابة إعلان تجاري يروّج لسيارة، على أن يشتمل الإعلان على مواصفات محرك السيارة، وتسارعها.
- أطلب إلى أفراد كل مجموعة عرض إعلانها على اللوح.
- أدير نقاشًا بين الطلبة مع التركيز على مفهوم قدرة المحرك ووحدة قياسها. قد أجد بعض الطلبة عبّر عنها بمصطلح قوة محرك. أخبر الطلبة أن المصطلح الفيزيائي المستخدم هو قدرة المحرك وليس قوة المحرك.
- قد أجد بعض الطلبة عبّر عن قدرة السيارة بوحدة الحصان؛ إذ إنها الوحدة الشائعة لقياس قدرة محرّك السيارة.

القدرة

نشاط سريع:

يُسهِم هذا النشاط في التنسيق بين الموقف التعليمي وأحد المواقف في الحياة العملية، واستثارة قدرات الطلبة، وتشويقهم.

نشاط سريع

- أحضر عدة أثقال معلومة الكتلة (100 g, 200 g, 300 g)، ثم أمسك نابضًا وأعلّقه رأسيًّا من أحد طرفيه، ثم أعلّق الثقل (100 g) في نهايته الأخرى. أطلب إلى الطلبة تدوين كتلة الثقل، وقياس مقدار استطالة النابض.
- أكرّر الخطوة السابقة مع الثقلين الآخرين، مع قياس مقدار استطالة النابض في كل محاولة.
- أمثّل بيانيًّا العلاقة بين القوة والإزاحة (الاستطالة). يكون التمثيل خطًّا مستقيمًا، ويمثّل علاقة طردية.
- أطلب إلى الطلبة حساب المساحة المحصورة بين منحنى (القوة–الإزاحة) ومحور الإزاحة، وأسألهم: ما الذي تمثّله هذه المساحة؟ المساحة تساوي عدديًّا مقدار الشغل المبذول لشدّ النابض.
- أدير نقاشًا بين الطلبة لتفسير أي اختلافات في النتائج التي توصلوا إليها.

معلومة إضافية:

تُسهِم المعلومة الإضافية في توسيع مدارك الطلبة.

معلومة إضافية

سمّيت وحدة قياس القدرة الواط watt تكريمًا للعالم الأسكتلندي جيمس واط، مخترع الآلة البخارية. كما تستخدم وحدة كيلو واط. ساعة (kWh) لقياس الطاقة عند قياس القدرة بوحدة (kW)، والزمن بوحدة (h).

تعزيز:

معلومات تُعزِّز فهم موضوع الدرس، فضلًا عن اقتراح طرائق متنوعة لتعزيز المفهوم.

التعزيز:

- قد يخلط بعض الطلبة بين المفهوم الفيزيائي للشغل والمعنى الشائع له؛ لذا أبيّن للطلبة ما يأتي:

– عندما يقف شخص حاملًا جسمًا معيّنًا، فإنه فيزيائيًّا لا يبذل شغلًا على الجسم رغم شعوره بالتعب؛ حيث لا يوجد إزاحة للجسم.

– ولا يبذل هذا الشخص شغلًا على الجسم أيضًا عندما يتحرك أفقيًّا بسرعة ثابتة في خط مستقيم؛ لأن اتجاه القوة التي يؤثر بها الشخص في الجسم يكون متعامدًا مع اتجاه الإزاحة.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية:

يُبيِّن الدليل لي القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية والموضوع المرتبط بها، وأهمية كل مفهوم في حياة الطلبة، وفي بناء شخصية متكاملة متوازنة لكلٍّ منهم.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* التفكير: التحليل.

ألفت انتباه الطلبة إلى أنّ التحليل من مهارات التفكير التي يمكن عن طريقها تقسيم الشيء إلى أجزاء؛ لإدراك الشيء الأصلي، واستكشاف العلاقات بين المفاهيم المختلفة.

أبيّن للطلبة أنّ تحليل القوى المؤثرة في جسم إلى مركّباتها يؤدي إلى تحديد القوى التي تبذل شغلًا والقوى التي لا تبذل شغلًا بسهولة، ممّا يساعد على حل المسألة حلًّا صحيحًا.

3 التقويم

يشمل التقويم ما يأتي:

- إجابات أسئلة مراجعة الدرس.
- إجابات أسئلة مراجعة الوحدة.

التقويم في كتاب الطالب

روعي التقويم في كتاب الطالب، وكتاب الأنشطة والتجارب العملية، ودليل المُعلِّم؛ للتحقُّق من فهم الطلبة، وتعزيز إنجازاتهم الفردية، ومنحهم فرصة التأمُّل في تعلُّمهم، ووضع أهداف لأنفسهم، وتقديم التغذية الراجعة والتحفيز والتشجيع لهم، فضلًا عن تضمينه استراتيجيات تلبي حاجات الطلبة المتنوعة، وفق ما يأتي:

أتحقَّق:

أسئلة لتقرير مدى فهم الطلبة في أثناء عملية التعلُّم.

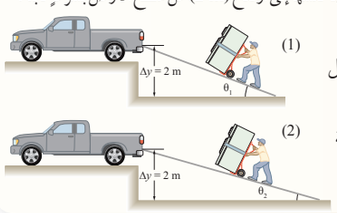
✓ **أتحقّق:** متى يكون شغل قوّة سالبًا؟ ومتى يكون شغلها صفرًا؟

مراجعة الدرس

أسئلة متنوعة مرتبطة بالفكرة الرئيسة للدرس، والمفاهيم، والمصطلحات، والمهارات المتنوعة.

مراجعة الدرس

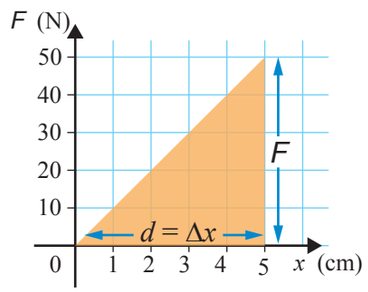
1. **الفكرة الرئيسة:** ما المقصود بالشغل؟ وما العوامل التي يعتمد عليها؟ وما المقصود بالقدرة؟ وما وحدة قياسها حسب النظام الدولي للوحدات؟
2. **أستنتجُ:** رفع ريّان صندوقًا من الطابق الأرضي في مدرسته إلى الطابق الأول خلال (2 min)، بينما احتاج نصر إلى (4 min) ليرفع الصندوق نفسه بين الطابقين. ما العلاقة بين مقدار الشغل الذي بذله كلّ منهما على الصندوق؟ وما العلاقة بين مقداريّ قدرتهما؟ أفترضُ أنّ السرعة ثابتةٌ في الحالتين.
3. **أستعملُ المتغيّرات:** يسحب سائحٌ حقيبة سفره بسرعة ثابتة على أرضية أُفقية في المطار إزاحة مقدارها (200 m). إذا علمتُ أنّ قوّة السحب تساوي (40 N) باتّجاه يصنع زاوية (53°) على الأُفقي؛ فأحسبُ مقدار ما يأتي:
   أ. الشغل الذي يبذله السائح على الحقيبة.
   ب. الشغل الذي تبذله قوّة الاحتكاك الحركي على الحقيبة.
   جـ. قدرة السائح على سحب الحقيبة؛ إذا استغرق (2 min) لقطع هذه الإزاحة.
4. **أستعملُ الأرقام:** يرفع محرّك كهربائيّ مصعدًا كتلته مع حمولته (1800 kg) بسرعة ثابتة مقدارها (1 m/s) من سطح الأرض إلى ارتفاع (80 m). إذا علمتُ أنّ قوّة احتكاك حركي ثابتة مقدارها (3000 N) تؤثّر في المصعد في أثناء رفعه؛ فأحسب مقدار ما يأتي:
   أ. الشغل الذي يبذله المحرّك على المصعد.
   ب. شغل قوّة الاحتكاك الحركي.
   جـ. القدرة المتوسّطة للمحرّك في أثناء رفعه للمصعد.
5. **أُصدِر حُكمًا:** في أثناء دراستي وزميلتي ندى هذا الدرس، قالت: «إنّ الشغل الذي تبذله قوّة الجاذبية الأرضيّة على قمر صناعي يتحرّك حركة دائرية منتظمة حول الأرض، يزداد بزيادة كتلة القمر وسرعته المماسّية». أُناقش صحّة قول ندى.
6. **التفكير الناقد:** يوضّح الشكلان (1 و 2) أدناه، رفع الثلاجة نفسها إلى ارتفاع (2 m) عن سطح الأرض بسرعةٍ ثابتة. باستعمال مستوى مائل أملس، وأُلاحظ أنّ ($\theta_1 > \theta_2$).



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

ب. **أُقارن** بين مقداري القوّة المؤثّرة في الثلاجة في الشكلين (1 و 2). ماذا أستنتج؟

24



الشكل (10): القوّة المؤثّرة في نابض، تتغيّر خطيًّا في أثناء استطالة النابض.

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

أسئلة الأشكال:

أسئلة إجاباتها من الصورة الواردة في الشكل التوضيحي؛ لتدريب الطلبة على التحليل.

مراجعة الوحدة

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

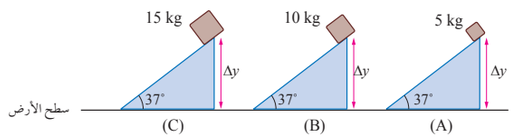
1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكلّ جملة ممّا يأتي:

1. الشغل الذي تبذله قوّة مقدارها (1 N) عندما تؤثّر في جسم وتُحرّكه إزاحة مقدارها (1 m) في اتّجاهها، يُسمّى:
أ . النيوتن (N). ب . الجول (J). جـ . الواط (W). د . الحصان (hp).

2. مقدرة الجسم على بذل شغل، تُسمّى:
أ. الطاقة. ب. الشغل. جـ. القدرة. د. القوّة المحصّلة.

3. الطاقة المختزنة في جسم نتيجة موقعه بالنسبة إلى مستوى إسناد، تُسمّى:
أ. الشغل. ب. الطاقة الحركية. جـ. القدرة. د. طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية.

توضّح الأشكال الثلاثة الآتية، انزلاق 3 صناديق مختلفة الكتل من السكون، من الارتفاع نفسه على مستويات مائلة ملساء لها الميل نفسه. أستعينُ بهذه الأشكال للإجابة عن الأسئلة (4 – 7):



4. الصندوق الذي له أكبر طاقة وضع ناشئة عن الجاذبية، هو:
أ . A. ب. B. جـ . C. د . طاقات وضعها جميعها متساوية.

5. الترتيب الصحيح للطاقة الحركية للصناديق الثلاثة لحظة وصولها إلى سطح الأرض، هو:
أ. $KE_A > KE_B > KE_C$ ب . $KE_C > KE_B > KE_A$ جـ . $KE_B > KE_A > KE_C$
د . طاقاتها الحركية جميعها متساوية.

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

7. الصندوق الذي يصل إلى سطح الأرض أولًا، هو:
أ . A. ب. B. جـ. C. د . تصل جميعها إلى سطح الأرض في اللحظة نفسها.

8. تكون الطاقة الميكانيكية لجسم يسقط سقوطًا حرًّا عند إهمال مقاومة الهواء:
أ . متزايدة. ب. متناقصة. جـ. ثابتة. د. صفرًا.

9. عندما تؤثّر قوّة في جسم عموديًّا على اتّجاه إزاحته؛ فإنّ شغلها يكون:
أ . موجبًا. ب. سالبًا. جـ. صفرًا. د. موجبًا أو سالبًا.

10. إذا كان شغل قوّة مؤثّرة في جسم بين موقعين، يعتمد على موقعه النهائي وموقعه الابتدائي، ولا يعتمد على المسار الفعلي للحركة؛ فإنّ هذه القوّة توصف بأنّها قوّة:
أ . احتكاك. ب. محافظة. جـ. غير محافظة. د. شدّ.

47

مراجعة الوحدة:

أسئلة متنوعة مرتبطة بالمفاهيم، والمصطلحات، والمهارات، والأفكار العلمية الواردة في الوحدة.

التقويم في كتاب الأنشطة والتجارب العملية

يشمل التقويم في كتاب الأنشطة والتجارب العملية ما يأتي:

أسئلة الاختبارات الدولية

أسئلة تفكير

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

1- **أُفسّر**: الشغل الذي تبذله قوّة مركزية لتحريك كرة حركة دائرية منتظمة دورةً واحدة، يساوي الشغل الذي تبذله القوّة نفسها لتحريك الكرة 10 دورات. أُفسّر إجابتي.

.....

.....

2- **أستعملُ المتغيّرات**: زلّاجة كتلتها (3 kg) تنزلق على سطح جليدي أُفقي نحو اليمين، بسرعة مقدارها (2 m/s). إذا أثّرت فيها قوّة محصّلة أُفقيّة مقدارها (20 N) في اتجاه حركتها نفسه إزاحةً مقدارها (5 m) فأحسبُ مقدار:

أ - الشغل الذي بذلته القوّة المحصّلة الخارجية على الزلّاجة.

.....

.....

ب - الطاقة الحركيّة الابتدائية للزلّاجة.

.....

.....

جـ - التغيّر في الطاقة الحركيّة للزلّاجة.

.....

.....

د - السرعة النهائية للزلّاجة.

.....

.....

هـ - شغل القوّة العموديّة خلال هذه الإزاحة.

.....

.....

أسئلة التحليل والاستنتاج

التحليل والاستنتاج:

1. **أتوقّع** قراءة الفولتميتر عند وضع المجسّ على الصفيحة السالبة، ثم أتأكّد من ذلك عمليًّا.

.....

2. **أُفسّر**: أصف خطوط تساوي الجهد التي رسمتها، مفسّرًا إجابتي.

.....

.....

3. أرسمُ خطوط المجال الكهربائيّ بناءً على خطوط تساوي الجهد.

.....

.....

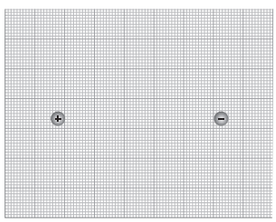
4. **أحسبُ** مقدار المجال الكهربائيّ بين الصفيحتين؛ باستعمال فرق الجهد والمسافة بينهما.

.....

.....

.....

5. **أتنبّأ** بشكل خطوط تساوي الجهد؛ عند استعمال كرتين فلزّيتين صغيرتين بدلًا من الصفيحتين.



.....

.....

التقويم في دليل المُعلِّم

الربط بالمعرفة السابقة.

1 تقديم الدرس

الربط بالمعرفة السابقة:

- أذكّر الطلبة بأبرز ما تعلّموه عن قوانين نيوتن في الحركة، والقوة المحصلة.
- أذكّر الطلبة بما درسوه في الصف التاسع عن حساب الشغل عندما تكون القوة موازية لاتجاه الإزاحة.

استراتيجيات التقويم:

التقويم المعتمد على الأداء.

المواقف التقويمية التابعة للاستراتيجية:

- التقديم: عرض مُنظَّم مُخطَّط يقوم به الطالب/ الطالبة.
- العرض التوضيحي: عرض شفوي أو عملي يقوم به الطالب/ الطالبة.
- الأداء العملي: أداء الطالب/ الطالبة مهام مُحدَّدة بصورة عملية.
- الحديث: تحدُّث الطالب/ الطالبة عن موضوع معين في مدَّة مُحدَّدة.
- المعرض: عرض الطالب/ الطالبة إنتاجه الفكري والعملي.
- المحاكاة/ لعب الأدوار: تنفيذ الطالب/ الطالبة حوارًا بكل ما يرافقه من حركات.
- المناقشة/ المناظرة: لقاء بين فريقين من الطلبة يناقشون فيه قضية ما، بحيث يتبنّى كل فريق وجهة نظر مختلفة.

الورقة والقلم.

المواقف التقويمية التابعة للاستراتيجية:

- الاختبار: طريقة مُنظَّمة لتحديد مستوى تحصيل الطالب/ الطالبة معلومات ومهارات في مادة دراسية تمّ تعلّمها قبلًا.

التواصل.

المواقف التقويمية التابعة للاستراتيجية:

- المؤتمر: لقاء مُخطَّط يُعقَد بين المُعلِّم والطالب/ المعلِّمة والطالبة.
- المقابلة: لقاء بين المُعلِّم والطالب/ المعلِّمة والطالبة.
- الأسئلة والأجوبة: أسئلة مباشرة من المُعلِّم إلى الطالب/ من المعلِّمة إلى الطالبة.

الملاحظة.

المواقف التقويمية التابعة للاستراتيجية:

- الملاحظة المُنظَّمة: ملاحظة يُخطَّط لها من قبل، ويُحدّد فيها ظروف مضبوطة، مثل: الزمان، والمكان، والمعايير الخاصة بكلٍّ منهما.

مراجعة الذات.

المواقف التقويمية التابعة للاستراتيجية:

- يوميات الطلبة: كتابة الطلبة ما يُقرأ أو يشاهَد أو يُسمَع.
- ملف الطالب/ الطالبة: ملف يضم أفضل أعمال الطالب/ الطالبة.
- تقويم الذات: قدرة الطالب/ الطالبة على تقييم أدائه/ أدائها، والحكم عليه.

أدوات التقويم:

- قائمة الرصد.
- سُلَّم التقدير الرقمي.
- سُلَّم التقدير اللفظي.
- سجل وصف سير التعلُّم.
- السجل القصصي.

المهارات

يشتمل كتاب الطالب على مهارات متنوعة:

مهارات القرن الحادي والعشرين:

يشهد العالم تطوُّرات وتغيُّرات هائلة؛ ما يتطلَّب مستويات مُتقدِّمة من الأداء والمهارة، والتحوُّل من ثقافة المستوى الأدنى إلى ثقافة الجودة والإتقان، ومن ثقافة الاستهلاك إلى ثقافة الإنتاج. يُعدُّ إكساب الطلبة مهارات القرن الحادي والعشرين ركيزة أساسية لتحقيق مفهوم التعلُّم مدى الحياة.

- التعلُّم الذاتي.
- التفكير الابتكاري.
- التفكير والعمل التعاوني.
- التفكير الناقد.
- التواصل.
- المعرفة المعلوماتية والتكنولوجية.
- المرونة.
- القيادة.
- المبادرة.
- الإنتاجية.

مهارات العلم:

العمليات التي يقوم بها الطلبة في أثناء التوصُّل إلى النتائج والحكم والتحقُّق من صدقها. وتُسهِم ممارسة هذه المهارات في إثارة الاهتمامات العلمية للطلبة؛ ما يدفعهم إلى مزيد من البحث والاكتشاف. وتتضمن مهارات العلم المهارات الآتية:

- الأرقام والحسابات.
- استعمال المتغيرات.
- الاستنتاج.
- التجريب.
- تفسير البيانات.
- التواصل.
- التوقُّع.
- توجيه الأسئلة.
- القياس.
- الملاحظة.

مهارات القراءة:

تُعَدُّ القراءة عملية عقلية يمارس فيها الفرد عِدَّة مهارات. وبوجه عام تهدف مهارات القراءة إلى تنمية البنى المعرفية وحصيلة المفردات العلمية والذكاءات المتعددة، وتعزيز الجوانب الوجدانية والثقة بالنفس والقدرة على التواصل الفاعل، وتنمية التفكير العلمي والإبداعي، وتتضمن مهارات القراءة المهارات الآتية:

- الاستنتاج.
- التسلسل والتتابع.
- التصنيف.
- التلخيص.
- التوقُّع.
- الحقيقة والرأي.
- السبب والنتيجة.
- الفكرة الرئيسة والتفاصيل.
- المشكلة والحل.
- المقارنة.

المهارات العلمية والهندسية:

تُنمّي هذه المهارات قدرات الطلبة على عرض أعمالهم وأفكارهم بدقة وموضوعية، وتبريرها والبرهنة على صدقها، وعرضها بطرائق وأشكال مختلفة، وتبادلها مع الآخرين، واحترام الرأي الآخر. وهي تُؤكِّد أهمية إحداث الترابط المرغوب فيه بين المواد الدراسية المختلفة، ومتطلَّبات التفكير الناقد، والتفكير الإبداعي، وتتضمن المهارات العلمية والهندسية المهارات الآتية:

- استخدام الرياضيات.
- الاعتماد على الحجة والدليل العلمي.
- بناء التفسيرات العلمية، وتصميم الحلول الهندسية.
- تحليل البيانات وتفسيرها.
- التخطيط، وإجراء الاستقصاءات.
- تطوير النماذج واستخدامها.
- الحصول على المعلومات، وتقييمها، وإيصالها.
- توجيه الأسئلة، وتحديد المشكلات.

استراتيجيات التدريس والأساليب الداعمة لعملية التعلُّم:

يعتمد اختيار استراتيجية التدريس أو الأسلوب الداعم على عوامل عِدَّة، منها: النتاجات، وخصائص الطلبة النمائية والمعرفية، والإمكانات المتاحة، والزمن المتاح.

التعلُّم التعاوني Collaborative Learning:

عمل الطلبة ضمن مجموعات لمساعدة بعضهم بعضًا في التعلُّم؛ تحقيقًا لهدف مشترك أو واجب ما؛ على أنْ يبدي كل طالب/ طالبة مسؤولية في التعلُّم، ويتولّون مجموعة من الأدوار داخل المجموعة.

التفكير الناقد Critical Thinking:

نشاط ذهني عملي للحكم على صحة رأي أو اعتقاد عن طريق تحليل المعلومات، وفرزها، واختبارها بهدف التمييز بين الأفكار الإيجابية والأفكار السلبية.

حل المشكلات Problem Solving:

استراتيجية تقوم على تقديم قضايا ومسائل حقيقية واقعية للطلبة، ثم الطلب إليهم تمحيصها ومعالجتها بأسلوب مُنظَّم.

أكواب إشارة المرور Traffic Light Cups:

يُستخدَم هذا الأسلوب للتدريس والمتابعة باستعمال أكواب مُتعدِّدة الألوان (أحمر، أصفر، أخضر)، بوصف ذلك إشارة لي في حال احتاج الطلبة إلى المساعدة. يشير اللون الأخضر إلى عدم حاجة الطلبة إلى المساعدة، ويشير اللون الأصفر إلى حاجتهم إليها، أو إلى وجود سؤال يريدون توجيهه لي من دون أنْ يمنعهم ذلك من الاستمرار في أداء المهام المنوطة بهم. أمّا اللون الأحمر فيشير إلى حاجة الطلبة الشديدة إلى المساعدة، وعدم قدرتهم على إتمام مهامهم.

فكِّر، انتقِ زميلًا، شارِك Think- Pair- Share:

أسلوب يُستخدَم لعرض أفكار الطلبة، وفيه أوجّه للطلبة سؤالًا، وأمنحهم الوقت الكافي للتفكير في الإجابة وكتابة أفكارهم في ورقة، ثم أطلب إلى كل طالبين/ طالبتين مشاركة بعضهما بعضًا في الأفكار، ثم عرضها على أفراد المجموعات.

الطاولة المستديرة Round Table:

يمتاز هذا الأسلوب بسرعة تجميع أفكار الطلبة؛ إذ أكتب أنا أو أحد أفراد المجموعة سؤالًا في أعلى ورقة فارغة، ثم يُمرِّر أفراد المجموعة الورقة على الطاولة، بحيث يضيف كل طالب/ طالبة فقرة جديدة تُمثِّل إسهامًا في إجابة السؤال، ويستمر ذلك حتى أطلب إنهاء ذلك. بعدئذٍ، يُنظِّم أفراد المجموعة مناقشة للإجابات، ثم تعرض كل مجموعة نتائجها على بقية المجموعات.

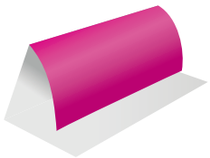
دراسة الحالة Case Study:

تعتمد هذه الاستراتيجية على إثارة موضوع أو مفهوم ما للنقاش، ثم يعمل الطلبة في مجموعات على جمع البيانات وتنظيمها، وتحليلها للوصول إلى إيضاحٍ كافٍ للموضوع، أو تحديد أبعاد المشكلة، واقتراح حلول مناسبة لها.

بطاقة الخروج Exit Ticket:

يُمثِّل هذا الأسلوب مهمة قصيرة يُنفِّذها الطلبة قبل خروجي من الصف. وفيها يجيبون عن أسئلة قصيرة مُحدَّدة مكتوبة في بطاقة صغيرة، ثم أجمع البطاقات لأقرأ الإجابات، ثم أُعلِّق في الحصة اللاحقة على إجابات الطلبة التي تُمثِّل تغذية راجعة أستند إليها في الحصة اللاحقة.

اثنِ ومرِّر Fold and Pass:

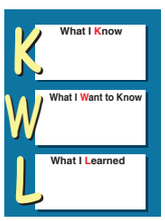


أسلوب يجيب فيه الطلبة أو أفراد المجموعات عن سؤال في ورقة؛ إذ تُمرَّر الورقة على طلبة الصف بعد ثنيها، وتستمر العملية حتى أصدر لهم إشارة بالتوقُّف، ثم يقرأ أحد أفراد المجموعة ما كُتِب في الورقة بصوت مسموع. وبهذا يُمكِن لي جمع معلومات عن إجابات الطلبة، ويُمكِن للطلبة المشاركة بحرية أكبر، وتقديم التغذية الراجعة، وتقويم الآخرين عندما يقرؤون إجابات غيرهم.

كنت أعتقد، والآن أعرف I Used to Think, But Now I know:

أسلوب يقارن فيه الطلبة (لفظًا، أو كتابةً) أفكارهم في بداية الدرس بما توصَّلوا إليه عند نهايته، ومن الممكن استخدامه تقويمًا ذاتيًّا يتيح لي الاطِّلاع على مدى تحسُّن التعلُّم لدى الطلبة، وتصحيح المفاهيم البديلة لديهم، وتخطيط الدرس التالي، وتصميم خبرات جديدة تناسب تعلُّمهم بصورة أفضل.

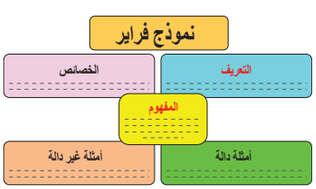
جدول التعلُّم (What I Know/What I Want to Know/What I Learned):



يعتمد هذا الجدول على ثلاثة محاور أساسية، هي:

- ماذا أعرف؟ هي: خطوة مهمة لفهم الموضوع الجديد وإنجاز المهام؛ فالطلبة يحدّدون إمكاناتهم للاستفادة منها على أحسن وجه.
- ماذا أريد أنْ أعرف؟ هي: مرحلة تحديد المهمة المُتوقَّع إنجازها، أو المشكلة التي ينبغي حلها.
- ماذا تعلَّمت؟ هي: مرحلة تقويم لما تعلَّمه الطلبة من معارف ومهام وأنشطة.

نموذج فراير Frayer Model:



يتطلَّب هذا النموذج إكمال الطلبة (فرادى، أو ضمن مجموعات) المنظم التصويري المجاور.

الطلاقة اللفظية Word Fluency:

يُستخدَم هذا الأسلوب لتعزيز عمليتي المناقشة والتأمُّل. وفيه يتبادل أفراد المجموعة الأدوار بالتحدُّث عن الموضوع المطروح، والاستماع لبعضهم بعضًا مدَّة مُحدَّدة من الوقت.

التعلُّم بالتعاقد Contract Learning:

تعتمد هذه الاستراتيجية على إشراك الطلبة إشراكًا فعليًّا في تحمُّل مسؤولية تعلُّمهم، بدءًا بتحديد ما سيتعلَّمونه في مدَّة زمنية مُحدَّدة. تتضمَّن هذه الاستراتيجية عقد اتفاق مُحدَّد بيني وبين طلبتي يشمل المصادر التعليمية التي سيستعين بها الطلبة في أثناء عملية بحثهم، وطبيعة الأنشطة التي سيجرونها، وأسلوب التقويم وتوقيته.

السقالات التعليمية Instructional Scaffolding:

يُقصَد بها تجزئة موضوع الدرس إلى أجزاء صغيرة؛ ما يساعد الطلبة على استيعابه، أو استخدام الوسائط السمعية والبصرية، أو الخرائط الذهنية، أو الخطوط العريضة، أو إيماءات الجسد، أو الروابط الإلكترونية، وغير ذلك من الوسائل التي تُعَدُّ بمنزلة السقالات التعليمية التي تهدف إلى مساعدة الطلبة على تحقيق التعلُّم المنشود.

التعلُّم المقلوب Flipped Learning:

استعمال التقنيات الحديثة وشبكة الإنترنت على نحوٍ يسمح لي بإعداد الدرس عن طريق مقاطع الفيديو، أو الملفات الصوتية، أو غير ذلك من الوسائط؛ ليطَّلِع عليها الطلبة في منازلهم (تظلُّ متاحة لهم على مدار الوقت)، باستعمال حواسيبهم، أو هواتفهم الذكية، أو أجهزتهم اللوحية قبل الحضور إلى غرفة الصف. في حين يُخصَّص وقت اللقاء الصفي في اليوم التالي لتطبيق المفاهيم والمحتوى العام الذي شاهدوه، وذلك في صورة سلسلة من أنشطة التعلُّم النشط، والأنشطة الاستقصائية، والتجريبية، والعمل بروح الفريق، وتقييم التقدُّم في سير العمل.

تمايُز التدريس والتعلُّم

Differentiation of Teaching and Learning:

يهدف التمايُز إلى الوفاء بحاجات الطلبة الفردية، ويكون في المحتوى، أو في بيئة التعلُّم، أو في العملية التعلُّمية التعليمية، ويُسهِم التقييم المستمر والتجميع المرن في نجاح هذا النهج من التعليم.

يكون التمايُز في أبسط مستوياته عندما ألجأ إلى تغيير طريقة التدريس؛ بُغْيَةَ إيجاد فرص تعلُّم لطالب/ طالبة، أو مجموعة صغيرة من الطلبة.

يُمكِن لي تحقيق التمايُز عن طريق أربعة عناصر رئيسة، هي:

1. **المحتوى Content:** ما يحتاج الطلبة إلى تعلُّمه، وكيفية حصولهم على المعلومة.
2. **الأنشطة Activities:** الفعاليات التي يشارك فيها الطلبة؛ لفهم المحتوى، أو إتقان المهارة.
3. **المُنتَجات Products:** المشاريع التي يتعيَّن على الطلبة تنفيذها؛ للتدرُّب على ما تعلّموه في الوحدة، وتوظيفه في حياتهم، والتوسُّع فيه.
4. **بيئة التعلُّم Learning Environment:** عناصر البيئة الصفية جميعها.

أمثلة على التمايُز في المحتوى:

- تقديم الأفكار باستعمال الوسائل السمعية والبصرية.
- الاجتماع مع مجموعات صغيرة من الطلبة الذين يعانون صعوبات؛ لإعادة تدريسهم فكرةً، أو تدريبهم على مهارة؛ أو توسيع دائرة التفكير ومستوياته لدى أقرانهم المُتقدِّمين Advanced Students.

أمثلة على التمايُز في الأنشطة:

- الإفادة من الأنشطة المُتدرِّجة التي يمارسها الطلبة كافةً، ولكنَّهم يُظهِرون فيها تقدُّمًا حتى مستويات معينة. وهذا النوع من الأنشطة يُسهِم في تحسُّن أداء الطلبة، ويتيح لهم الاستمرار في التقدُّم، مراعيًا الفروق الفردية بينهم؛ إذ تتباين درجة التعقيد في المستويات التي يصلها الطلبة في هذه الأنشطة.
- تطوير جداول الأعمال الشخصية (قوائم مهام أكتبها، وتتضمَّن المهام المشتركة التي يتعيَّن على الطلبة جميعهم إنجازها، وتلك التي تفي بحاجات الطلبة الفردية).
- تقديم أشكال من الدعم العملي للطلبة الذين يحتاجون إلى المساعدة.
- منح الطلبة وقتًا إضافيًّا لإنجاز المهام؛ بُغْيَةَ دعم الطلبة الذين يحتاجون إلى المساعدة، وإفساح المجال أمام الطلبة المُتقدِّمين Advanced Students للخوض في الموضوع على نحوٍ أعمق.

أمثلة على التمايُز في الأعمال التي يؤديها الطلبة:

- السماح للطلبة بالعمل فرادى أو ضمن مجموعات صغيرة؛ لتنفيذ المهام المنوطة بهم، وتحفيزهم على ذلك.

أمثلة على التمايُز في بيئة التعلُّم:

- تطوير إجراءات تسمح للطلبة بالحصول على المساعدة عند انشغالي بطلبة آخرين، وعدم تمكُّني من تقديم المساعدة المباشرة لهم.
- التحقُّق من وجود أماكن في غرفة الصف، يُمكِن للطلبة العمل فيها بهدوء، وكذلك أماكن أُخرى تُسهِّل العمل التعاوني بينهم.

ملحوظة: يعتمد التمايُز في التعليم على مدى استعداد الطلبة، ومناحي اهتماماتهم، وسجلّات تعلُّمهم.

- نشاط سريع.

نشاط سريع

- أحضر عدة أثقال معلومة الكتلة (100 g, 200 g, 300 g)، ثم أمسك نابضًا وأعلّقه رأسيًّا من أحد طرفيه، ثم أعلّق الثقل (100 g) في نهايته الأخرى. أطلب إلى الطلبة تدوين كتلة الثقل، وقياس مقدار استطالة النابض.
- أكرّر الخطوة السابقة مع الثقلين الآخرين، مع قياس مقدار استطالة النابض في كل محاولة.
- أمثّل بيانيًّا العلاقة بين القوة والإزاحة (الاستطالة). يكون التمثيل خطًّا مستقيمًا، ويمثّل علاقة طردية.
- أطلب إلى الطلبة حساب المساحة المحصورة بين منحنى (القوة-الإزاحة) ومحور الإزاحة، وأسألهم: ما الذي تمثّله هذه المساحة؟ المساحة تساوي عدديًّا مقدار الشغل المبذول لشدّ النابض.
- أدير نقاشًا بين الطلبة لتفسير أي اختلافات في النتائج التي توصلوا إليها.

- طريقة أُخرى للتدريس.

طريقة أُخرى للتدريس | القدرة

- لمساعدة الطلبة ذوي المستويات المختلفة على تعرّف مفهوم القدرة، أوزّعهم في مجموعات غير متجانسة، ثم أطلب إلى كلّ مجموعة كتابة إعلان تجاري يروّج لسيارة، على أن يشتمل الإعلان على مواصفات محرك السيارة، وتسارعها.
- أطلب إلى أفراد كل مجموعة عرض إعلانها على اللوح.
- أدير نقاشًا بين الطلبة مع التركيز على مفهوم قدرة المحرك ووحدة قياسها. قد أجد بعض الطلبة عبّر عنها بمصطلح قوة محرك. أخبر الطلبة أن المصطلح الفيزيائي المستخدم هو قدرة المحرك وليس قوة المحرك.
- قد أجد بعض الطلبة عبّر عن قدرة السيارة بوحدة الحصان؛ إذ إنّها الوحدة الشائعة لقياس قدرة محرّك السيارة.

- مشروع الوحدة.

مشروع الوحدة:

- أخبر الطلبة أن مشروع الوحدة هو بناء نموذج ناجح لأفعوانية تحرّكها قوة الجاذبية الأرضية، ودراسة العوامل التي تحكم عمل الأفعوانية.
- أوزّع الطلبة في مجموعات، وأكلّف كل مجموعة بإعداد تصميم لنموذج الأفعوانيّة.
- أوجّه الطلبة إلى الاستفادة ممّا تعلّموه عن الشغل والطاقة وحفظ الطاقة الميكانيكية في تصميم النموذج.
- بعد الانتهاء من عمل التصاميم، أدير نقاشًا بين الطلبة يتناول مزايا كل تصميم، ثم أخبرهم بالتصميم الذي استوفى الشروط المطلوبة.
- أوجّه الطلبة إلى اختيار المواد والأدوات اللازمة لبناء النموذج.
- أوجّه الطلبة إلى بناء النموذج، واختباره، وتحديد نقاط الضعف في النموذج ومعالجتها.
- أشجّع مجموعات الطلبة على عرض نماذجهم أمام زملائهم/ زميلاتهن.

توظيف التكنولوجيا:

في ظل التسارع الملحوظ الذي يشهده العالم في مجال التكنولوجيا، والتوجُّهات العالمية لمواكبة مختلف القطاعات والمجالات، بما في ذلك قطاع التعليم، فقد تضمَّن كتاب الطالب وكتاب الأنشطة والتجارب العملية دروسًا تعتمد على التعلُّم المتمازج (Blended Learning) الذي يربط بين التكنولوجيا وطرائق التعلُّم المختلفة، وأنشطةً وفق المنحى التكاملي STEAM، حيث تُعَدُّ التكنولوجيا المحور الرئيس فيها.

عند توظيفي للتكنولوجيا، يتعيَّن عليّ مراعاة ما يأتي:

- التحقُّق من موثوقية المواقع الإلكترونية التي أقترحها على الطلبة؛ إذ توجد الكثير من المواقع التي تحوي معلومات علمية غير دقيقة.
- زيارة الموقع الإلكتروني قبل وضعه ضمن قائمة المواقع الإلكترونية المقترحة؛ إذ تتعرَّض بعض المواقع الإلكترونية أحيانًا إلى القرصنة الإلكترونية واستبدال الموضوعات المعروضة.
- إرشاد الطلبة إلى المواقع الإلكترونية الموثوقة التي تنتهي عادة بأحد الاختصارات الآتية: (org .edu .gov.).

توظيف التكنولوجيا

أبحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع فيديو تعليمية، أو تجارب عمليّة مصوّرة توضح مفاضلة بين آلات وأجهزة مختلفة في أداء الشغل نفسه، علمًا أنّه يمكنني إعداد عروض تقديمية تتعلّق بموضوع الدرس.

أشارك الطلبة هذه المواد التعليمية عن طريق صفحة المدرسة الإلكترونية، أو باستخدام أحد التطبيقات المناسبة، أو استعمال أيّ وسيلة تكنولوجية مناسبة بمشاركة الطلبة وذويهم.

الوحدة الأولى: الشغل والطاقة Work and Energy

تجربة استهلالية: حساب الشغل.

الدرس	النتاجات	التجارب والأنشطة	عدد الحصص
الدرس 1 : الشغل والقدرة.	• التفريق بين مفهومي الشغل والقدرة. • تعريف الشغل الذي تبذله قوة ثابتة، والشغل الذي تبذله قوة متغيرة. • حساب الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية في تحريك جسم إزاحة ما. • شرح أهمية استخدام مفهوم القدرة في وصف الآلات. • حساب قدرة آلة والتعبير عنها بمعادلة. • التطبيق بحلّ مسائل على: الشغل، والقدرة.		6
الدرس 2 : الطاقة الميكانيكية.	• توضيح مفهوم كلٍّ من: الطاقة، الطاقة الحركية، مبرهنة (الشغل–الطاقة الحركية)، طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية. • استقصاء العلاقة بين الشغل الكلي المبذول على جسم والتغير في طاقته الحركية. • التعبير عن حفظ الطاقة الميكانيكية بمعادلة رياضية. • التعبير عن شغل القوى المحافظة، وشغل القوى غير المحافظة بمعادلات رياضية. • التطبيق بحلّ مسائل على الطاقة الميكانيكية.	• مبرهنة (الشغل–الطاقة الحركية).	10

النتاجات السابقة	الصف	النتاجات اللاحقة	الصف
• توضيح مفهومي: الشغل، والقدرة. • توضيح العلاقة بين الشغل والتغيّر في الطاقة الحركية.	التاسع	• تصنيف التصادمات إلى: تصادمات مرنة، وتصادمات غير مرنة، وفقًا للتغيّرات التي تطرأ على الطاقة الحركية للأجسام المتصادمة.	الثاني عشر.

الوحدة 1

الشغل والطاقة
Work and Energy

أتأمّل الصورة

الفيزياء والطاقة

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

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

- أوضّح للطلبة دور علم الفيزياء، في تطوير تصاميم التوربينات، ومزارع الرياح، وزيادة كفاءة المولّدات الكهربائية، اعتمادًا على القوانين والعلاقات الفيزيائية المرتبطة بهذه التكنولوجيا، ومنها العلاقات والقوانين المرتبطة بالشغل والطاقة الحركية الخطية والطاقة الحركية الدورانية والتيار الكهربائي والعزم والمغناطيسية،....

الوحدة 1

الشغل والطاقة
Work and Energy

أتأمّل الصورة

- ألفت انتباه الطلبة إلى الصورة الواردة في بداية الوحدة، ثم أوجّه لهم الأسئلة الآتية:
  - هل تمتلك الرياح طاقة؟ نعم.
  - ما نوع هذه الطاقة؟ طاقة حركية.
  - كيف يستفاد من الطاقة الحركية للرياح؟ في تدوير توربينات تتصل بمولّدات كهربائية، فنحصل على الطاقة الكهربائية.
  - ماذا تسمّى المناطق التي تحوي هذه التوربينات والمولّدات؟ مزارع رياح.
  - هل تُبنى مزارع الرياح في أيّ مكان أم في مناطق معيّنة؟ في مناطق معيّنة.
  - ما الشروط الواجب توافرها في المناطق التي تبنى فيها مزارع الرياح؟ جغرافية هذه المنطقة ومناخها مناسبان؛ هبوب رياح بسرعات مناسبة (16 km/h تقريبًا) بطريقة منتظمة على مدار العام، وألا تكون المنطقة عرضة للعواصف القوية، قرب المنطقة التي تُبنى فيها مزرعة الرياح من أماكن استهلاك الطاقة المنتجة،....
  - ما دور علم الفيزياء في عملية توليد الطاقة الكهربائية باستخدام طاقة الرياح؟ تمتلك الرياح طاقة حركية، تكسب التوربينات طاقة حركية دورانية، وتتصل التوربينات بدورها بمولّدات كهربائية تحوّل الطاقة الحركية الدورانية إلى طاقة كهربائية نتيجة لتدوير ملفات في مجال مغناطيسي.
- أستمع لإجابات الطلبة، ثم أناقشهم فيها؛ لاستنتاج أهمية مزارع الرياح.
- أبيّن للطلبة أنّه يجب بناء مزارع الرياح في مناطق بعيدة عن المحميات؛ كي لا تتسبّب في مقتل الطيور، وكي لا تكون مصدر ضوضاء وإزعاج للحيوانات.

الفكرة العامة:

- أوضّح للطلبة أنّ لقوانين نيوتن الثلاثة في الحركة أهمية كبيرة في حياتنا عند دراسة حركة الأجسام.
- أسأل الطلبة عن أهميّة الشغل والطاقة في تحليل حركة الأجسام.
- أوضّح للطلبة أنّنا سوف نستخدم هنا طريقة مختلفة لتحليل حركة الأجسام باستخدام الكميتين الفيزيائيتين: الشغل، والطاقة، إذ يعدّ التعامل معهما واستخدامهما في حلّ المسائل أمرًا يسيرًا؛ لأنّهما كميتان قياسيتان.

مشروع الوحدة:

- أخبر الطلبة أن مشروع الوحدة هو بناء نموذج ناجح لأفعوانية تحرّكها قوة الجاذبية الأرضية، ودراسة العوامل التي تحكم عملها.
- أوزّع الطلبة في مجموعات، وأكلّف كل مجموعة بإعداد تصميم لنموذج الأفعوانيّة.
- أوجّه الطلبة إلى الاستفادة ممّا تعلّموه عن الشغل والطاقة وحفظ الطاقة الميكانيكية في تصميم النموذج.
- بعد الانتهاء من عمل التصاميم، أدير نقاشًا بين الطلبة يتناول مزايا كل تصميم، ثم أخبرهم بالتصميم الذي استوفى الشروط المطلوبة.
- أوجّه الطلبة إلى اختيار المواد والأدوات اللازمة لبناء النموذج.
- أوجّه الطلبة إلى بناء النموذج، واختباره، وتحديد نقاط الضعف في النموذج ومعالجتها.
- أشجّع مجموعات الطلبة على عرض نماذجهم أمام زملائهم/ زميلاتهن.

الفكرة العامّة:

للشغل والطاقة أهمّية كبيرة في حياتنا؛ لإدارة عجلة الحياة، وإنجاز أنشطتنا اليومية المختلفة.

الدرس الأول: الشغل والقدرة

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

الدرس الثاني: الطاقة الميكانيكية

الفكرة الرئيسة: الطاقة الميكانيكية لجسم ما تساوي مجموع طاقة وضعه وطاقته الحركية. وللطاقة الميكانيكية تطبيقاتٌ تكنولوجيّة في المجالات كافّة.

تجربة استهلالية

الهدف:

- تعرّف مفهوم الشغل.
- حساب الشغل الذي تبذله قوة ثابتة مقدارًا واتجاهًا.
- استنتاج العلاقة بين وزن جسم، ومقدار الشغل المبذول لرفعه إزاحة معيّنة بسرعة ثابتة.

زمن التنفيذ: 10 دقائق.

إرشادات السلامة:

أوجّه الطلبة إلى ارتداء المعطف، واستخدام النظارات الواقية للعينين، وأطلب إليهم توخّي الحذر من سقوط الأجسام والأدوات على أقدامهم.

المهارات العلمية:

الملاحظة، والقياس، والمقارنة، والاستنتاج، وتحليل البيانات وتفسيرها.

الإجراءات والتوجيهات:

أطلب إلى الطلبة الاطلاع على الخلفية النظرية للتجربة في كتاب الأنشطة والتجارب العملية، ومعايرة الميزان النابضيّ قبل البدء في تنفيذ التجربة.

النتائج المتوقعة:

كلّما زادت كتلة الثقل زاد وزنه، وزاد مقدار الشغل المبذول لرفعه بسرعة ثابتة.

التحليل والاستنتاج:

1 أنظر عيّنة البيانات في الجدول أدناه.

رقم المحاولة	المسافة (d) (m)	وزن الحامل وثقل التعليق (N)	القوة اللازمة (N)	الشغل (J)
1	0.5	1.05	1.05	0.525
2	0.5	2.05	2.05	1.025
3	0.5	3.05	3.05	1.525

2 الثقل الأكبر كتلة لزم بذل شغل أكبر لرفعه؛ لأنه كلّما زادت كتلة الثقل زاد وزنه، ومن ثمّ زاد مقدار القوة الخارجية اللازم تأثيرها لرفع الثقل بسرعة متجهة ثابتة.

3 كلّما زاد وزن الثقل زاد مقدار القوة الخارجية اللازم تأثيرها فيه لرفعه بسرعة متجهة ثابتة، ومن ثمّ زاد مقدار الشغل المبذول لرفعه.

4 لكي تكون القوة المحصلة المؤثرة في الثقل تساوي صفرًا، وبحسب القانون الأول لنيوتن يكون:

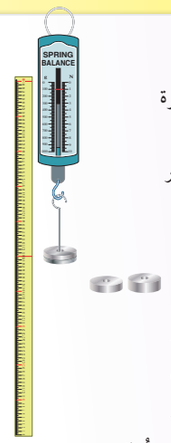
$$\sum F = F_{ext} - F_g = 0$$

$$F_{ext} = F_g$$

أي أنّ مقدار القوة الخارجية مساوٍ لمقدار وزن الثقل.

تجربة استهلالية

حساب الشغل



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

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

خطوات العمل:

بالتعاون مع أفراد مجموعتي؛ أُنفّذ الخطوات الآتية:

1 **أضبطُ المتغيّرات:** أُحدّد علامتين على المسطرة المترية باستعمال الشريط اللاصق، تكون المسافة بينهما (50 cm)، وأُدوّنها في جدول البيانات للمحاولات الثلاث. ثم يُثبّت أحد أفراد مجموعتي المسطرة المترية رأسيًّا على سطح الطاولة.

2 **أقيس:** أحمل الميزان النابضيّ رأسيًّا في الهواء موازيًا للمسطرة المترية، وأُعلّق حامل الأثقال في خطّافه، ثم أضع الثقل (100 g) على الحامل؛ بحيث يكون بجانب العلامة السفلية على المسطرة. أُدوّن قراءة الميزان في المكان المخصّص في جدول البيانات للمحاولة (1).

3 **أُلاحظ:** أرفع الثقل رأسيًّا إلى أعلى إزاحة مقدارها (50 cm) بسرعة ثابتة تقريبًا، ويُلاحظ أحد أفراد مجموعتي قراءة الميزان في أثناء ذلك. أُدوّن قراءة الميزان تحت عمود القوّة اللازمة في جدول البيانات للمحاولة (1).

4 أُكرّر الخطوتين (2 – 3) بتعليق الثقلين (200 g) و (300 g) كُلٍّ على حدة في حامل الأثقال، وأُدوّن نتائجي في جدول البيانات.

التحليل والاستنتاج:

1. **أحسبُ** الشغل المبذول لرفع كلّ ثقل؛ بضرب مقدار القوّة اللازمة لرفعه في مقدار الإزاحة التي تحرّكها، وأُدوّنه في جدول البيانات.
2. **أُقارن:** أيّ الأثقال لزم لرفعه بذل شغل أكبر؟ أُفسّر إجابتي.
3. **أستنتج** العلاقة بين وزن الثقل ومقدار الشغل المبذول لرفعه بسرعة ثابتة.
4. **أُحلّل البيانات وأُفسّرها:** لماذا رفعتُ الثقل بسرعة ثابتة؟ أُفسّر إجابتي.

استراتيجية التقويم: الملاحظة.

أداة التقويم: سلّم تقدير.

الرقم	المعيار	مقبول	جيد	ممتاز
1	مراعاة تعليمات الأمان والسلامة العامة عند تنفيذ التجربة.			
2	احترام آراء الآخرين، وتقبّلها.			
3	تفسير سبب رفع الثقل بسرعة ثابتة.			
4	تدوين الملاحظات على كل خطوة من خطوات التجربة.			
5	قراءة تدريج الميزان بدقة.			

الدرس 1

الشغل والقدرة
Work and Power

1 تقديم الدرس

◄ الفكرة الرئيسة:

- أوضّح للطلبة مفهوم الشغل فيزيائيًّا، وأبين لهم كيفية حسابه.
- أوضّح للطلبة أنّهم في هذا الدرس سيدرسون الشغل والقدرة والعلاقة بينهما، وأنّهم سيتعلمون المفاضلة بين الأجهزة والآلات المختلفة في إنجازها للشغل.
- أوضّح للطلبة أنّ الشغل والقدرة كميّتان فيزيائيتان قياسيتان، غير مترادفتين، وأنّهم سيتعرّفون في هذا الدرس كيفية حساب كلّ منهما.

◄ الربط بالمعرفة السابقة:

- أذكّر الطلبة بأبرز ما تعلّموه عن قوانين نيوتن في الحركة، والقوة المحصلة.
- أذكّر الطلبة بما درسوه في الصف التاسع عن حساب الشغل عندما تكون القوة موازية لاتجاه الإزاحة.

2 التدريس

◄ المناقشة:

- أوضّح للطلبة المفهوم الفيزيائي للشغل، ثم أسألهم:

– متى تبذل قوة مؤثّرة في جسم شغلًا عليه؟

تبذل هذه القوة شغلًا عندما يكون اتجاه إزاحة الجسم غير متعامد مع اتجاه القوة.

– صِف/ صِفي موقفًا تؤثّر فيه قوة في جسم ولا تبذل عليه شغلًا.

عندما تؤثر قوة في جسم ولا يتحرك الجسم فلا تبذل عليه شغلًا، وعندما تؤثر قوة في جسم باتجاه عمودي على اتجاه إزاحته فإنها لا تبذل عليه شغلًا.

◄ استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (1)، وملاحظة متجهات القوى والإزاحة، ثم أسألهم:

– في الشكل (أ)، هل يبذل الشخص حامل الصندوق شغلًا عليه عندما يقف ساكنًا؟

لا يبذل الشخص شغلًا؛ لعدم وجود إزاحة.

◄ الفكرة الرئيسة:

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

◄ نتاجات التعلّم:

- أُفرّق بين مفهومَي الشغل والقدرة.
- أُعرّف الشغل الذي تبذله قوّة ثابتة، والشغل الذي تبذله قوّة متغيّرة.
- أحسبُ الشغل الذي تبذله قوّة الجاذبية الأرضيّة في تحريك جسم إزاحة ما.
- أشرحُ أهمّية استعمال مفهوم القدرة في وصف الآلات.
- أحسبُ قدرة آلة معبّرًا عنها بمعادلة.
- أُطبّق بحل مسائل على الشغل، والقدرة.

◄ المفاهيم والمصطلحات:

الشغل	Work
الجول	joule
القدرة	Power
الواط	watt

الشغل Work

يرتبط مفهوم الشغل بتأثير قوّة في جسم وتحريكها له، ويختلف المفهوم الفيزيائيّ للشغل عن معناه الشائع؛ إذ إنّ مفهوم الشغل لدينا يتضمّن القيام بعمل عقلي أو عضلي، ولكنّ الشغل عند الفيزيائيين له معنى آخر أكثر تحديدًا. أنظرُ إلى الشكل (1)، وأُحدّد أين يبذل الشخص شغلًا.

إذا أثّرت قوّة (F) في جسم وأحدثت له إزاحة اتّجاهها غير متعامد مع اتّجاه القوّة؛ فإنّ هذه القوّة تكون قد بذلت **شغلًا Work** على الجسم. وفي الشكل (1/ أ)، أُلاحظ أنّ الشخص الذي يحمل الصندوق لا يبذل شغلًا عليه من الناحية الفيزيائية، على الرغم من شعوره بالتعب من حمله؛ لأنّه لا توجد إزاحة في اتّجاه القوّة الرأسية المؤثّرة في الصندوق إلى أعلى. في حين يبذل الشخص الذي يدفع السيارة في الشكل (1/ ب) شغلًا عليها؛ لوجود إزاحة في اتّجاه القوّة المؤثّرة.

إنّ القوّة المؤثّرة في جسم قد تكون ثابتةً أو متغيّرة؛ لذا سأدرس حساب شغل كلّ منهما على حدة.

الشكل (1): (أ) لا يبذل الشخص حامل الصندوق شغلًا عليه عندما يتحرّك أفقيًّا بسرعة ثابتة، أو يكون ساكنًا. (ب) يبذل الشخص شغلًا على السيّارة؛ عندما تتحرّك في الاتّجاه نفسه لقوّته المؤثّرة فيها.

(أ) (ب)

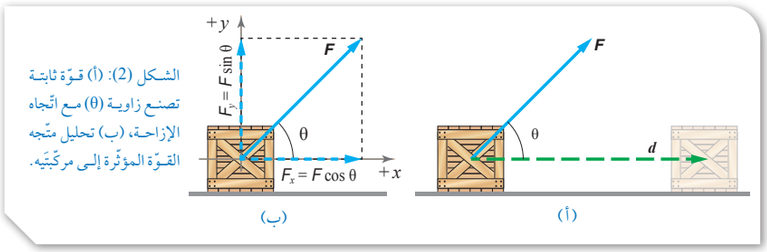
- في الشكل (أ)، هل يبذل الشخص حامل الصندوق شغلًا عليه عندما يتحرك أفقيًّا بسرعة ثابتة؟

لا يبذل الشخص شغلًا؛ لعدم وجود قوة أو مركّبة للقوة في اتجاه الإزاحة، إذ إن متجه القوة متعامد مع متجه الإزاحة في هذه الحالة.

- في الشكل (ب)، هل يبذل الشخص الذي يدفع السيارة شغلًا عليها؟

نعم؛ لوجود قوة في اتجاه الإزاحة.

- أستمع لإجابات الطلبة، ثم أناقشهم فيها؛ للتوصّل إلى الحالات التي لا يوجد فيها شغل مبذول.



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

الشغل الذي تبذله قوّة ثابتة Work Done by a Constant Force

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

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

هذه هي المعادلة العامّة لحساب الشغل، حيث (θ): الزاوية المحصورة بين اتّجاه القوّة واتّجاه الإزاحة، و($F \cos\theta$): مركّبة متّجه القوّة في اتّجاه الإزاحة التي تحرّكها الجسم تحت تأثير هذه القوّة، أنظرُ إلى الشكل (2/ ب). ويُقاس الشغل بوحدة **الجول joule (J)** حسب النظام الدولي للوحدات؛ تكريمًا للعالم (جيمس بريسكوت جول). ويُعرّف الجول بأنّه الشغل الذي تبذله قوّة مقدارها (1 N) عندما تؤثّر في جسم، وتحرّكه إزاحة مقدارها (1 m) في اتّجاهها.

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

لحساب الشغل الذي تبذله القوّة المؤثّرة في الصندوق الموضّح في الشكل (2)؛ أُحلّل متّجه القوّة المؤثّرة إلى مركّبَتَيه: مركّبة أفقية موازية لاتّجاه الإزاحة ($F_x = F \cos\theta$)، ومركّبة عمودية على اتّجاه الإزاحة ($F_y = F \sin\theta$). وألاحظ أنّ إزاحة الصندوق ($\boldsymbol{d}$) في اتّجاه المحور x؛ لذا فإنّ المركّبة الموازية لاتّجاه الإزاحة هي التي تبذل شغلًا فقط، أما المُركّبة العمودية فلا تبذل شغلًا؛ لعدم وجود إزاحة في اتّجاهها.

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

✓ **أتحقّق:** الشغل كمّية فيزيائية قياسية ناتجة من حاصل الضرب القياسي لمتّجه القوّة المؤثّرة في جسم في متّجه إزاحة الجسم، ورمزه (W)، ويقاس بوحدة الجول joule (J) حسب النظام الدولي للوحدات.

- أوجّه الطلبة إلى تصميم عرض تفاعلي يوضح الشغل الذي تبذله قوة ثابتة، باستخدام برنامج السكراتش (Scratch)، ثمّ أوجههم إلى مشاركته أو عرضه أمام الزملاء/ الزميلات في الصفّ.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: التحليل.**

ألفت انتباه الطلبة إلى أنّ التحليل من مهارات التفكير التي يمكن عن طريقها تقسيم الشيء إلى أجزاء؛ لإدراك الشيء الأصلي، واستكشاف العلاقات بين المفاهيم المختلفة. أبيّن للطلبة أنّ تحليل القوى المؤثرة في جسم إلى مركّباتها يؤدي إلى تحديد القوى التي تبذل شغلًا والقوى التي لا تبذل شغلًا بسهولة، ممّا يساعد على حل المسألة حلًّا صحيحًا.

◄ المناقشة:

- أوضّح للطلبة المفهوم الفيزيائي للشغل، ثم أسألهم:

– هل الشغل كمية فيزيائية قياسية أم متجهة؟ لماذا؟

الشغل كمية فيزيائية قياسية؛ لأنّه يساوي ناتج الضرب القياسي لمتجه القوة الثابتة المؤثرة في جسم في متجه الإزاحة.

– ما شرطا بذل شغل على جسم؟

وجود قوة مؤثرة في الجسم، ووجود إزاحة اتجاهها غير متعامد مع اتجاه القوة.

– ما وحدة قياس الشغل حسب النظام الدولي للوحدات؟

الجول joule (J).

◄ استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (2/ ب)، وملاحظة البيانات المبيّنة فيه، ثم أسألهم:

– أيّ مركّبتي القوة تبذل شغلًا؟ المركّبة الأفقية الموازية لاتجاه الإزاحة؛ ($F \cos\theta$).

– لماذا لا تبذل المركّبة العمودية ($F \sin\theta$) شغلًا؟

لأنّ هذه المركّبة تكون عمودية على اتجاه الإزاحة؛ أي أنّ الزاوية بين متجه هذه المركّبة ومتجه الإزاحة (90°)، و ($\cos 90° = 0$).

◄ التعزيز:

- قد يخلط بعض الطلبة بين المفهوم الفيزيائي للشغل والمعنى الشائع له؛ لذا أبيّن للطلبة ما يأتي:

– عندما يقف شخص حاملًا جسمًا معيّنًا، فإنّه فيزيائيًّا لا يبذل شغلًا على الجسم رغم شعوره بالتعب؛ حيث لا يوجد إزاحة للجسم.

– ولا يبذل هذا الشخص شغلًا على الجسم أيضًا عندما يتحرك أفقيًّا بسرعة ثابتة في خط مستقيم؛ لأن اتجاه القوة التي يؤثر بها الشخص في الجسم يكون متعامدًا مع اتجاه الإزاحة.

بناء المفهوم

الشغل.

- أبيّن للطلبة أنه اعتمادًا على المعادلة العامّة لحساب الشغل فإنّه يمكن التوصّل إلى حالات خاصة لحساب الشغل، ثم أسألهم:

– متى يكون مقدار شغل قوة معيّنة أكبر ما يمكن؟

عندما تؤثر هذه القوة في جسم بشكل موازٍ لاتجاه إزاحته.

– متى يكون شغل قوة معيّنة سالبًا؟

عندما تؤثر هذه القوة في جسم بعكس اتجاه حركته، أو عندما يكون لهذه القوة مركّبة معاكسة لاتجاه حركة الجسم؛ أي عندما تكون الزاوية المحصورة بين اتجاه القوة واتجاه الإزاحة $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$.

– متى يكون مقدار شغل قوة معيّنة صفرًا؟

عندما تؤثر هذه القوة في اتجاه عموديّ على اتجاه الإزاحة.

طريقة أخرى للتدريس — **معادلة حساب الشغل**

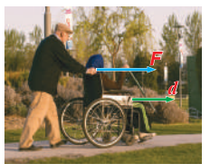
- أستخدم **استراتيجية التعلم التعاوني**؛ لمساعدة الطلبة على تحديد العوامل التي يعتمد عليها شغل قوة معيّنة عندما تؤثّر في جسم وتحرّكه إزاحة محدّدة.
- أوزّع الطلبة في مجموعات غير متجانسة، ثم أكتب على اللوح العلاقة العامّة لحساب الشغل. ثم أطلب إليهم الإجابة عن الأسئلة الآتية كتابيًّا:

– ما العلاقة بين شغل القوة المؤثرة في جسم ومقدار هذه القوة؟ **إجابة محتملة:** كلّما زاد مقدار القوة المؤثرة زاد مقدار الشغل المبذول عند ثبات مقدار الإزاحة.

– ما العلاقة بين شغل القوة المؤثرة في جسم ومقدار الإزاحة؟ **إجابة محتملة:** كلّما زاد مقدار الإزاحة زاد مقدار الشغل المبذول عند ثبات مقدار القوة المؤثّرة.

– ما العلاقة بين شغل القوة المؤثرة والزاوية المحصورة بين متجهي القوة والإزاحة؟ **إجابة محتملة:** كلّما قلّ مقدار الزاوية المحصورة بين متجهي القوة والإزاحة زاد مقدار الشغل المبذول عند ثبات مقداريهما.

- أتجوّل بين أفراد المجموعات لتوجيههم ومساعدتهم وإرشادهم، وأصحّح المفاهيم غير الصحيحة لديهم.
- أطلب إلى كل مجموعة عرض النتائج التي توصلت إليها على اللوح أمام المجموعات الأخرى، ثم مناقشة هذه النتائج.



(أ)

(ب)

الشكل (3): (أ) رجل يدفع أفقيًّا كرسيًّا متحرّكًا على طريق أفقي مستقيم. (ب) صندوق ينزلق بعد دفعه على طريق أفقي خشن.

أفكّر: ما التفسير الفيزيائي لكلّ من الشغل الموجب والشغل السالب المبذولَين على جسم؟ أناقش أفراد مجموعتي، وأستعمل مصادر المعرفة الموثوقة والمُتاحة ومنها شبكة الإنترنت للتوصّل إلى إجابة عن السؤال.

الشكل (4): لا تبذل القوّة المؤثّرة في جسم شغلًا عليه، عندما يكون اتّجاهها عموديًّا على اتّجاه إزاحته.

وبناءً على معادلة حساب الشغل العامّة؛ أُلاحظ الحالات الخاصّة الآتية:

الحالة الأولى: أن تكون القوّة المؤثّرة في جسم في الاتّجاه نفسه لإزاحته، حيث الزاوية المحصورة بين اتّجاهيهما صفر، و $(\cos 0^\circ = 1)$، وعندها تبذل القوّة شغلًا موجبًا يُعطى مقداره بالعلاقة: $W_F = Fd$. أنظرُ إلى الشكل (3/ أ) الذي يُبيّن رجلًا يدفع كرسيًّا متحرّكًا على طريق أُفقيٍّ مستقيمٍ بقوّةٍ أُفقيّة.

الحالة الثانية: أن تكون القوّة المؤثّرة بعكس اتّجاه الإزاحة، حيث الزاوية المحصورة بين اتّجاهيهما 180°، و$(\cos 180^\circ = -1)$، وعندها تبذل القوّة شغلاً سالبًا، يُعطى مقداره بالعلاقة: $W_F = -Fd$. ومن الأمثلة على القوى التي تبذل شغلًا سالبًا: قوّة الاحتكاك الحركي f_k كما هو موضّح في الشكل (3/ ب)، وقوّة الجاذبية الأرضيّة عند رفع جسم إلى أعلى.

الحالة الثالثة: أن تكون القوّة المؤثّرة عموديّةً على اتّجاه الإزاحة، حيث الزاوية المحصورة بين اتّجاهيهما 90°، و $(\cos 90^\circ = 0)$، وعندها لا تبذل القوّة شغلًا. فعندما أحمل حقيبتي وأتحرّك أُفقيًّا، فإنّني أُؤثّر فيها بقوّة رأسية إلى أعلى في أثناء حركتي أُفقيًّا؛ أي إنّ الزاوية المحصورة بين اتّجاهَيهما 90°، إذ لا توجد إزاحة في اتّجاه القوّة نفسِه؛ لذا لا تبذل القوّة شغلًا على الحقيبة، $W = 0\ \text{J}$. أنظرُ إلى الشكل (4).

✓ **أتحقّق:** متى يكون شغل قوّة سالبًا؟ ومتى يكون شغلها صفرًا؟

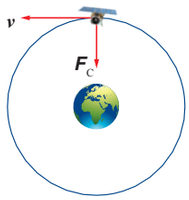
أفكّر:

- أستخدم **استراتيجية الطاولة المستديرة**؛ للتوصّل إلى التفسير الفيزيائي لكلّ من الشغل الموجب والشغل السالب المبذولين على جسم.
- أوزّع الطلبة في مجموعات غير متجانسة، ثم أكتب على اللوح السؤال الآتي: ما المعنى الفيزيائي لكلّ من: الشغل الموجب، والشغل السالب؟
- أطلب إلى أفراد كل مجموعة الإجابة عن السؤال. ثم أناقش إجاباتهم مع الطلبة.

إذا أثّرت قوة في جسم وأكسبته طاقة، يكون شغلها موجبًا. وإذا فقد الجسم طاقة بفعل القوة المؤثّرة فيه يكون شغلها سالبًا.

✓ **أتحقّق:** يكون شغل قوة على جسم سالبًا عندما تؤثر فيه بعكس اتجاه حركته، أو عندما يكون لهذه القوة مركّبة معاكسة لاتجاه حركة الجسم؛ أي عندما تكون الزاوية المحصورة بين اتجاه القوة واتجاه الإزاحة $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$.

ويكون شغل قوة صفرًا عندما تكون القوّة المؤثّرة في جسم عمودية على اتّجاه إزاحته، حيث الزاوية المحصورة بين اتّجاهيهما 90°، و $(\cos 90^\circ = 0)$.



الشكل (5): لا تبذل القوّة المركزية (قوّة الجاذبية) شغلًا على قمر صناعيّ يتحرّك حركة دائرية منتظمة حول الأرض.

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

الربط بالفضاء

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

الشغل الذي تبذله عدّة قوى ثابتة

Work Done by Many Constant Forces

إذا أردتُ حساب شغل عدّة قوى ثابتة تؤثّر في جسم؛ فإنّني أحسبُ الشغل الذي تبذله كلّ قوّة على انفراد، ثم أحسبُ الشغل الكلّي المبذول (W_{Total}) بإيجاد ناتج الجمع الجبري لشغل القوى جميعها. كما يُمكنني حساب الشغل الكلّي المبذول بحساب شغل القوّة المحصّلة المؤثّرة في الجسم.

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

حيث تُمثّل n عدد القوى المؤثّرة في الجسم.

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

الربط بالرياضيات

يرمزُ الحرف اليوناني (Σ) للمجموع، ويُقرأ سيجما. فمثلًا، يُمكنني التعبير عن شغل أكثر من قوّة بطريقة أبسط باستعمال رمز المجموع كما يأتي:

$$W_{Total} = \sum_{i=1}^{n} F_i d_i \cos\theta_i$$

وتعني أنّ الشغل الكلّي المبذول على جسم يساوي الجمع الجبري لناتج ضرب كل قوّة (F_i) في الإزاحة (d_i) التي تحرّكها الجسم تحت تأثير هذه القوّة في جيب تمام الزاوية المحصورة بين اتجاهي هذه القوّة وهذه الإزاحة ($\cos\theta_i$)، حتى الوصول إلى القوّة رقم (n).

الربط بالفضاء

أوجه الطلبة إلى تأمل الشكل (5)، وملاحظة الزاوية المحصورة بين اتجاه القوة المركزية (قوة الجاذبية الأرضية) المؤثرة في القمر الصناعيّ نحو مركز الأرض واتجاه إزاحته (اتجاه المماس)، وأبين لهم أنها عند كلّ موقع في مساره الدائريّ تساوي (90°)؛ لذا يكون شغل القوة المركزية المبذول عليه صفرًا. أبين لهم أن ارتفاع القمر عن سطح الأرض يتحدد بحسب الهدف من إطلاقه ووظيفته.

✓ **أتحقّق:** أحسب الشغل الذي تبذله كلّ قوّة على انفراد، ثم أحسب الشغل الكلّي المبذول (W_{Total}) بإيجاد ناتج الجمع الجبري لشغل القوى جميعها. ويمكن أيضًا حساب الشغل الكلّي المبذول بحساب شغل القوّة المحصّلة (ΣF) المؤثّرة في الجسم.

أفكّر:

- أستخدم **استراتيجية التعلّم التعاوني**، فأوزّع الطلبة في مجموعات غير متجانسة؛ ليساعدوا بعضهم في عملية التعلّم.
- أدير نقاشًا بين أفراد المجموعات للتوصّل إلى الإجابة الصحيحة، وتصحيح المفاهيم غير الصحيحة.

أشعر بالتعب؛ لأنه يبذل شغل داخل جسمي؛ إذ إن دفع الجدار أو الجسم الثقيل يلزم التأثير فيه بقوة، وهذا يتطلب حدوث تمدد وتقلص للعضلات، حيث تبذل شغلًا في أثناء ذلك، وتستهلك طاقة، ويلزم لذلك توافر كميات إضافية من الأكسجين، فيبذل القلب شغلًا إضافيًّا على الدم لزيادة تدفقه.

بناء المفهوم

شغل عدة قوى ثابتة.

- أكتب المثال الآتي على اللوح مدعّمًا بالرسم: يسحب شخص صندوقًا كتلته (m) بواسطة حبل على سطح أفقيّ خشن إزاحة مقدارها (d)، بقوة شد مقدارها (F) تميل على السطح الأفقي بزاوية (θ)، فيتحرك الصندوق بسرعة ثابتة في خط مستقيم. ثم أوجّه للطلبة الأسئلة الآتية:

– ما القوى المؤثّرة في الصندوق؟

قوة الشد، وقوة الاحتكاك، والقوة العمودية، وقوة الجاذبية الأرضية (الوزن).

– أيّ هذه القوى تبذل شغلًا؟ وأيّها لا تبذل شغلًا؟

مركّبة قوة الشد في اتجاه الإزاحة، وقوة الاحتكاك تبذلان شغلًا. أما القوة العمودية، وقوة الجاذبية الأرضية، ومركّبة قوة الشد العمودية على اتجاه الإزاحة فلا تبذل شغلًا.

– كيف أحسب مقدار الشغل الكلي الذي تبذله هذه القوى على الصندوق؟

إجابات محتملة: عن طريق حساب شغل كل قوة على انفراد، ثم إيجاد ناتج الجمع الجبري لشغل القوى جميعها. أو عن طريق حساب شغل القوة المحصلة المؤثرة في الجسم.

الربط بالرياضيات

أوجّه الطلبة إلى قراءة محتوى صندوق الربط بالرياضيات، وأوضّح لهم رمز المجموع وكيفية قراءته، وأبيّن لهم أهميّة هذا الرمز واستخدامه.

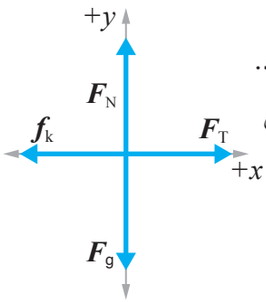
مثال إضافي

يسحب شخص مكنسة كهربائية على سطح أفقي خشن إزاحة مقدارها (5 m) بسرعة ثابتة، بقوة أفقية مقدارها (40 N). أحسب مقدار ما يأتي:

أ . شغل قوة السحب.

ب. شغل قوة الاحتكاك.

جـ. الشغل الكلّي المبذول على المكنسة.



الحل:

نرسم مخطط الجسم الحرّ للمكنسة لتحديد القوى المؤثرة فيها.

أ . أستعمل معادلة الشغل الآتية لحساب شغل قوة الشد، مع ملاحظة أنّ اتجاه قوة الشد في اتجاه الإزاحة نفسه؛ $\theta = 0^\circ$.

$$W_F = F_T\, d \cos\theta$$
$$= 40 \times 5 \times \cos 0^\circ$$
$$= 200 = 2 \times 10^2 \text{ J}$$

ب. تسحب المكنسة أفقيًّا بسرعة ثابتة، فتكون القوة المحصلة المؤثرة فيها في الاتجاه الأفقي تساوي صفرًا.

$$\sum F_x = ma = 0$$
$$F_T - f_k = 0$$
$$f_k = F_T = 40 \text{ N}$$

تؤثر قوة الاحتكاك (f_k) بعكس اتجاه الإزاحة، أي أنّ $\theta = 180^\circ$.

$$W_f = f_k\, d \cos\theta$$
$$= 40 \times 5 \times \cos 180^\circ$$
$$= -200 = -2 \times 10^2 \text{ J}$$

جـ. لا تبذل القوة العمودية وقوة الجاذبية الأرضية شغلًا على المكنسة؛ لأنهما تؤثّران في اتجاه عمودي على اتجاه الإزاحة، فيكون الشغل الكلي المبذول على المكنسة يساوي مجموع شغل قوتي الشد والاحتكاك فقط، وهو يساوي أيضًا شغل القوة المحصّلة، ويساوي صفرًا.

$$W_{\text{Total}} = W_F + W_f$$
$$= 200 + (-200) = 0$$

المثال 1

سحبت شفاء حقيبتها على سطح أُفقي أملس بقوّة مقدارها (10 N)، إزاحة أُفقية مقدارها (1.6 m). أحسبُ مقدار شغل القوّة في الحالتين الآتيتين:

أ . إذا كانت القوّة في اتّجاه الإزاحة نفسه.

ب. إذا كانت القوّة تصنع زاوية (37°) مع اتّجاه الإزاحة.

المعطيات:

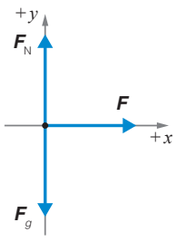
$F = 10 \text{ N}, d = 1.6 \text{ m}, \theta_1 = 0^\circ, \theta_2 = 37^\circ.$

المطلوب:

$W_1 = ?, W_2 = ?$

الحلّ:

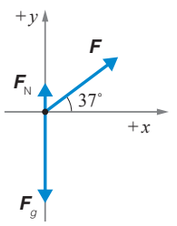
أرسمُ مخطّط الجسم الحرّ للحقيبة في الحالتين.



القوّة المؤثّرة في اتّجاه الإزاحة نفسه.

أ. أستعملُ معادلة الشغل الآتية، مع تعويض $\theta_1 = 0^\circ$.

$$W_1 = Fd \cos\theta_1$$
$$= 10 \times 1.6 \times \cos 0^\circ$$
$$= 16 \times 1$$
$$= 16 \text{ J}$$



القوّة المؤثّرة تصنع زاوية (37°) مع اتّجاه الإزاحة.

ب. أستعملُ معادلة الشغل الآتية، مع تعويض $\theta_2 = 37^\circ$.

$$W_2 = Fd \cos\theta_2$$
$$= 10 \times 1.6 \times \cos 37^\circ$$
$$= 16 \times 0.8$$
$$= 12.8 \text{ J}$$

أُلاحظ في هذا المثال، أنّ شفاء أثّرت بالقوّة نفسها في الحالتين، غير أنّ شغلها عندما كانت القوّة موازية لاتّجاه الإزاحة، أكبر من شغلها عندما أثّرت بزاوية خلال الإزاحة نفسها؛ لأنّ مركّبة القوّة في اتّجاه الإزاحة في الحالة الأولى كانت أكبر.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: الأدلة والبراهين.**

أخبر الطلبة أنّ تقديم الأدلة والبراهين يعزّز التفكير، وأنّه يتعيّن على الإنسان دعم أفكاره بالأدلة والبراهين التي تضفي طابعي القوة والمصداقية عليها.

المثال 2

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

أ . الذي يبذله خالد على الصندوق.

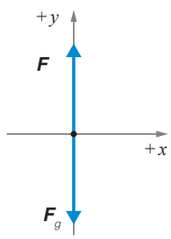
ب. الذي تبذله قوّة الجاذبية الأرضيّة على الصندوق.

جـ. الكلّي المبذول على الصندوق.

د . الذي تبذله قوّة الجاذبية الأرضيّة على الصندوق؛ إذا سقط الصندوق من الارتفاع نفسه نحو سطح الأرض.

المعطيات:

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



المطلوب:

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

الحلّ:

أرسمُ مخطّط الجسم الحر للصندوق؛ لتحديد القوى المؤثّرة فيه.

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

$$\sum F_y = ma = 0$$
$$F - F_g = 0$$
$$F = F_g = mg = 5 \times 10 = 50\ N$$

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

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

$$W_F = F\,d\cos\theta$$
$$= 50 \times 1.5 \times \cos 0^\circ$$
$$= 75\ J$$

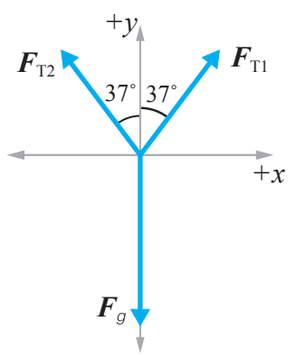
مثال إثرائي

يرفع شخصان صندوقًا رأسيًّا إلى أعلى من على سطح الأرض إلى ارتفاع (10 m) بسرعة ثابتة، بواسطة حبلين يصنع كل منهما زاوية مقدارها (37°) مع محور ($+y$). إذا علمت أنّ مقدار القوة التي يؤثّر بها كلّ منهما في الحبل يساوي (200 N)، فأحسب مقدار ما يأتي:

أ . شغل قوة كلّ من الشخصين.

ب. شغل قوة الجاذبية الأرضية.

جـ. الشغل الكلّي المبذول على الصندوق.



الحل:

نرسم مخطط الجسم الحرّ للصندوق لتحديد القوى المؤثرة فيه.

ألاحظ أنّ:

$$F_T = F_{T2} = F_{T1}$$

أ . أستعمل معادلة الشغل لحساب شغل قوة كلّ من الشخصين، مع ملاحظة أنّ شغليهما متساويان؛ لأن مقادير القوتين والإزاحة متساوية، وتصنعان الزاوية نفسها مع محور ($+y$).

$$W_{FT1} = W_{FT2} = W_{FT} = F_T\,d\cos\theta$$
$$= 200 \times 10 \times \cos 37^\circ$$
$$= 1600 = 1.6 \times 10^3\ J$$

ب. يُسحَب الصندوق رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ثابتة، فتكون القوة المحصلة المؤثرة فيه في الاتجاه الرأسي تساوي صفرًا.

$$\sum F_y = ma = 0$$
$$F_{T1}\cos\theta + F_{T2}\cos\theta - F_g = 0$$
$$F_g = 2F_T\cos 37^\circ$$
$$= 2 \times 200 \times 0.8 = 320\ N$$

تؤثر قوة الجاذبية الأرضية (F_g) بعكس اتجاه الإزاحة، أي أنّ $\theta = 180^\circ$.

$$W_g = F_g\,d\cos\theta$$
$$= 320 \times 10 \times \cos 180^\circ$$
$$= -3200 = -3.2 \times 10^3\ J$$

جـ. الشغل الكلي المبذول على الصندوق يساوي المجموع الجبري لشغل جميع القوى المؤثرة فيه، ويساوي أيضًا شغل القوة المحصلة المؤثّرة في الصندوق، وهو يساوي صفرًا؛ حيث يتحرك الصندوق بسرعة ثابتة في خط مستقيم.

$$W_{Total} = W_{F1} + W_{F1} + W_g$$
$$= 1.6 \times 10^3 + 1.6 \times 10^3 + (-3.2 \times 10^3) = 0$$

تمرين

.1

أ . أستعمل معادلة الشغل، مع تعويض $\theta = 37^\circ$.

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

ب. يؤثّر وزن الصندوق (F_g) في اتجاه عمودي في اتّجاه إزاحته، أي إنّ $\theta = 90^\circ$.

$$W_g = F_g\, d \cos\theta$$
$$= mg\, d \cos\theta$$
$$= 20 \times 10 \times 5 \times \cos 90^\circ$$
$$= 0 \text{ J}$$

.2

الشغل الكلّي المبذول على العربة يساوي شغل القوة المحصلة المؤثرة فيها.

$$W_{\text{Total}} = (\sum F)\, d \cos\theta$$
$$= 60 \times 12 \times \cos 0^\circ$$
$$= 720 \text{ J}$$

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

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

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

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

د . في أثناء سقوط الصندوق، تكون القوّة المحصّلة المؤثّرة فيه هي قوّة الجاذبية الأرضيّة، ويكون اتّجاه الإزاحة إلى أسفل، أي إنّ $\theta = 0^\circ$. وأحسبُ شغلها كما يأتي:

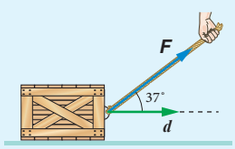
$$W_g = F_g\, d \cos\theta$$
$$= 50 \times 1.5 \times \cos 0^\circ$$
$$= 75 \times 1$$
$$= 75 \text{ J}$$

تمرين

1. **أحسبُ:** يسحب محمّد صندوقًا كتلته (20 kg) على سطح أُفقي أملس إزاحة مقدارها (5 m)، بوساطة حبل يميل على الأُفقي بزاوية مقدارها (37°)، كما هو موضّح في الشكل (6). إذا علمتُ أنّ مقدار قوّة الشد في الحبل (140 N)، فأحسبُ مقدار ما يأتي:

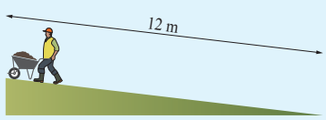
أ . الشغل الذي بذله محمّد على الصندوق.

ب. الشغل الذي بذلته قوّة الجاذبية الأرضيّة على الصندوق.



الشكل (6): سحب صندوق على سطح أُفقي أملس.

2. **أستعملُ المتغيّرات:** يدفع عامل عربة بناء إلى أعلى مستوى مائل طوله (12 m). إذا كان مقدار القوّة المحصّلة المؤثّرة في العربة (60 N) في اتّجاه موازٍ للمستوى المائل، كما هو موضّح في الشكل (7)؛ فأحسبُ مقدار الشغل الكلّي المبذول على العربة.



الشكل (7): عامل يدفع عربة إلى أعلى مستوى مائل.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **المهارات الحياتية: الابتكار.**

أخبر الطلبة أنّ الابتكار يتجاوز أساسًا كل ما هو تقليدي، وأنّه توجد وسائل جديدة للوصول إلى النتائج المنشودة، وحين يبحث الطالب/ الطالبة عن حلول لقضايا فيزيائية تتعلق بالمواقف اليومية، كتسخير أداة بسيطة لتصبح مستوىً مائلًا، ففي ذلك ممارسة للابتكار.

إضاءة للمُعلِّم / للمعلِّمة

عند دفع العربة إلى أعلى المستوى المائل يلزم التأثير فيها بقوة موازية للمستوى المائل (باتجاه قمته)، بحيث تكون هذه القوة معاكسة لكلّ من: قوة الاحتكاك المؤثرة فيها، ومركّبة وزن العربة الموازية للمستوى المائل. وعند حركة العربة بسرعة ثابتة تكون القوة المحصلة المؤثرة فيها صفرًا؛ وهذا يتضمن أن القوة المحصلة الموازية للمستوى تساوي صفرًا، والقوة المحصلة العمودية عليه تساوي صفرًا أيضًا.

الشغل الذي تبذله قوّة متغيّرة Work Done by a Varying Force

عندما تؤثّر قوّة ثابتة في جسم وتحرّكه إزاحة معيّنة في اتّجاهها؛ فإنّ مقدار شغل هذه القوّة يُحسب بضرب مقدار القوّة في مقدار الإزاحة (Fd). فمثلًا، إذا كان مقدار هذه القوّة الثابتة (60 N)، ومقدار إزاحة الجسم التي تحرّكها في اتّجاه القوّة نفسه (5 m)؛ فإنّ مقدار شغل هذه القوّة يُحسب كما يأتي:

$$W_F = Fd \cos\theta$$
$$= 60 \times 5 \times \cos 0^\circ$$
$$= 300 \text{ J}$$

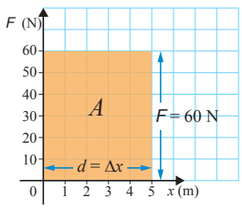
وإذا مثّلتُ العلاقة بين هذه القوّة الثابتة والإزاحة بيانيًّا، أحصلُ على شكل مماثل للشكل (8)؛ حيث مُثّلتْ القوّة الثابتة على المحور y، وإزاحة الجسم على المحور x، وإذا حسبتُ المساحة المحصورة بين منحنى (القوّة – الإزاحة) ومحور الإزاحة، وهي تساوي مساحة المستطيل (A) بضرب ضلع المستطيل الرأسي (مقدار القوّة الثابتة) في ضلعه الأفقي (مقدار الإزاحة)، أجد أنّها تساوي عدديًّا شغل القوّة خلال هذه الإزاحة، حيث:

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

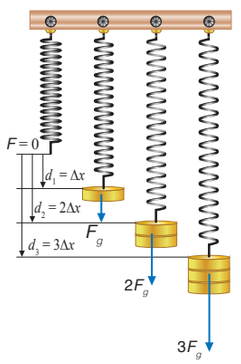
أي إنّ المساحة المحصورة بين منحنى (القوّة – الإزاحة) ومحور الإزاحة، تساوي عدديًّا الشغل الذي تبذله القوّة خلال فترة تأثيرها.

أستعملُ أيضًا هذه الطريقة البيانية في حساب الشغل عندما تكون القوّة المؤثّرة في جسم متغيّرة في أثناء إزاحته. ومن أمثلة القوى المتغيّرة: القوّة اللازمة لشد نابض؛ فعندما أشدّ نابضًا أو أضغطه أُلاحظ تغيّر مقدار قوتي اللازم تأثيرها فيه باستمرار، فلزيادة استطالة النابض يلزم زيادة مقدار قوتي المؤثّرة فيه، أنظرُ إلى الشكل (9). وأحسبُ شغل القوّة المتغيّرة بحساب المساحة المحصورة بين منحنى (القوّة – الإزاحة) ومحور الإزاحة حسب شكلها الهندسي.

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



الشكلُ (8): الشغل يساوي عدديًّا المساحة المحصورة بين منحنى (القوّة – الإزاحة) ومحور الإزاحة، وتساوي مساحة المستطيل المظلّل.



الشكلُ (9): يتناسب مقدار القوّة اللازم تأثيرها في نابض لزيادة استطالته، طرديًّا مع مقدار هذه الاستطالة.

◄ استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (8)، الذي يوضح منحنى (القوة–الإزاحة) لقوة ثابتة تؤثر في جسم، وملاحظة شكل المنحنى، ثم أسألهم:
  - ماذا يحدث لمقدار القوة بتغيّر موقع الجسم؟ لا يتغيّر مقدارها.
  - هل اتجاه القوة في هذا الشكل ثابت أم متغيّر؟ ثابت.
  - ما الذي تمثّله المساحة المحصورة بين منحنى (القوة–الإزاحة) ومحور الإزاحة؟ المساحة تساوي عدديًّا شغل القوة خلال هذه الإزاحة.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

*** التفكير: التأمّل والتساؤل.**

أخبر الطلبة أنّ التأمّل في النصوص والأشكال يثير التفكير، ويفضي إلى تساؤلات عدّة، توصل غالبًا إلى حلول جيدة، وطرح أفكار بنّاءة. ألفت انتباه الطلبة إلى أنّهم عند دراستهم للأشكال فإنّهم يطبّقون مهارة التأمّل والتساؤل.

◄ المناقشة:

- أستخدم **استراتيجية حل المشكلات**؛ للتوصل إلى كيفية حساب الشغل الذي تبذله قوة متغيّرة.
- أوزّع الطلبة في مجموعات، ثم أطلب إليهم دراسة الشكل (9).
- أطلب إلى أفراد كل مجموعة مناقشة السؤال الآتي: تعلّمت كيف أحسب شغل قوة ثابتة، ولكن كيف أحسب شغل القوة اللازمة لشد نابض متغيّرة المقدار؟

  لا نستطيع استخدام المعادلة ($W = Fd \cos\theta$) لحساب شغل هذه القوة، لأنّ مقدارها يتغيّر بتغيّر مقدار استطالة النابض، ونحسب شغل هذه القوة برسم منحنى بياني للقوة مقابل الإزاحة، فيكون مقدار المساحة المحصورة بين هذا المنحنى ومحور الإزاحة يساوي عدديًّا شغل القوة المتغيّرة.
- أستمع لإجابات الطلبة، ثم أناقشهم فيها للتوصّل إلى الإجابة الصحيحة.

نشاط سريع

- أحضر عدة أثقال معلومة الكتلة (100 g, 200 g, 300 g)، ثم أمسك نابضًا وأعلّقه رأسيًّا من أحد طرفيه، ثم أعلّق الثقل (100 g) في نهايته الأخرى. أطلب إلى الطلبة تدوين كتلة الثقل، وقياس مقدار استطالة النابض.
- أكرّر الخطوة السابقة مع الثقلين الآخرين، مع قياس مقدار استطالة النابض في كل محاولة.
- أمثّل بيانيًّا العلاقة بين القوة والإزاحة (الاستطالة). يكون التمثيل خطًّا مستقيمًا، ويمثّل علاقة طردية.
- أطلب إلى الطلبة حساب المساحة المحصورة بين منحنى (القوة–الإزاحة) ومحور الإزاحة، وأسألهم: ما الذي تمثّله هذه المساحة؟ المساحة تساوي عدديًّا مقدار الشغل المبذول لشدّ النابض.
- أدير نقاشًا بين الطلبة لتفسير أي اختلافات في النتائج التي توصلوا إليها.

أوجّه الطلبة إلى تصميم عرض تفاعلي يوضح الشغل الذي تبذله قوة متغيّرة، باستخدام برنامج السكراتش (Scratch)، ثمّ أوجّههم إلى مشاركته أو عرضه أمام الزملاء/ الزميلات في الصفّ.

استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (10)، الذي يوضح منحنى (القوة–الإزاحة) لقوة متغيّرة تؤثر في نابض، وملاحظة شكل المنحنى، ثم أسألهم:

– ما شكل العلاقة بين القوة المؤثرة في نابض ومقدار استطالة النابض؟ علاقة طردية؛ إذ تزداد استطالة النابض كلما زاد مقدار القوة المؤثرة فيه.

– هل مقدار القوة في هذا الشكل ثابت أم متغيّر؟ مقدار القوة المؤثرة متغيّر بتغيّر استطالة النابض.

– أعطِ/ أعطي مثالًا آخر غير النابض لقوة متغيّرة تؤثر في جسم. **إجابة محتملة:** القوة التي يؤثر بها غاز محصور في مكبس متحرك.

– ما الذي تمثّله المساحة المحصورة بين منحنى (القوة–الإزاحة) ومحور الإزاحة؟ المساحة تساوي عدديًّا شغل القوة المتغيّرة خلال هذه الإزاحة.

- أستمع لإجابات الطلبة، ثم أناقشهم فيها للتوصل إلى الإجابة الصحيحة.

مثال إضافي

في المثال 3، أحسب الشغل الذي بذلته القوة المحصّلة:

أ . خلال (3 m) الأولى من بداية حركة الجسم.

ب. عند حركة الجسم من الموقع (3 m) إلى الموقع (6 m).

الحل:

أ . الشغل الذي بذلته القوة المحصلة خلال (3 m) الأولى من بداية حركة الجسم يساوي عدديًّا مساحة مستطيل طول قاعدته (3 m)، وارتفاعه (5 N).

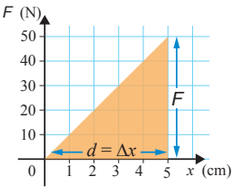
$$W_{(0\text{-}3)} = A_{(0\text{-}3)}$$
$$= 3 \times 5$$
$$= 15\ J$$

ب. الشغل الذي بذلته القوة المحصلة عند حركة الجسم بين الموقعين (3 m) و (6 m) يساوي عدديًّا مساحة شبه منحرف طول قاعدتيه (1 m) و (3 m)، وارتفاعه (البعد العمودي بين القاعدتين) يساوي (5 N).

$$W_{(3\text{-}6)} = \frac{1}{2} \times [(4 - 3) + (6 - 3)] \times 5$$
$$= 10\ J$$

يوضّح الشكل (10) رسمًا بيانيًّا للعلاقة الخطّية بين استطالة نابض والقوّة المؤثّرة فيه. أحسبُ شغل القوّة المؤثّرة في النابض بحساب مساحة المثلث المحصور بين منحنى (القوّة – الإزاحة) ومحور الإزاحة:

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



الشكل (10): القوّة المؤثّرة في نابض، تتغيّر خطيًّا في أثناء استطالة النابض.

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

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

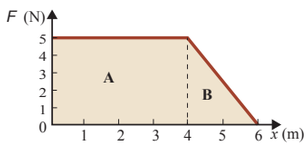
المثال 3

أثّرت قوّة محصّلة متغيّرة في جسم؛ فحرّكته إزاحة مقدارها (6 m)، كما هو موضّح في الشكل (11). أحسُب الشغل الذي بذلته القوّة المحصّلة:

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

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

جـ. خلال الإزاحة كاملة (الشغل الكلي).



الشكلُ (11): شغل قوّة متغيّرة.

المعطيات: منحنى (القوّة – الإزاحة).

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

الحلّ:

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

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

إجابة سؤال الشكل (10):

$$W = \frac{1}{2} Fd$$
$$= \frac{1}{2} \times 50 \times 0.05$$
$$= 1.25\ J$$

✓ **أتحقّق:** أحسب شغل القوّة المتغيّرة بحساب المساحة المحصورة بين منحنى (القوّة – الإزاحة) ومحور الإزاحة حسب شكلها الهندسي.

ب. الشغل الذي بذلته القوّة المحصّلة عند حركة الجسم بين الموقعين (4 m) و (6 m) يساوي المساحة B عدديًّا، ويساوي مساحة مثلّث طول قاعدته (2 m) وارتفاعه (5 N).

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

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

$W = 5 \text{ J}$

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

$W_{Total} = W_{(0-4)} + W_{(4-6)}$

$= A + B$

$= 20 + 5$

$= 25 \text{ J}$

أو يُمكنني حساب مساحة شبه المنحرف كاملًا الذي يُكوّن المستطيل والمثلّث. مساحة شبه المنحرف تساوي نصف مجموع القاعدتين المتوازيتين؛ مضروبًا في البعد العموديّ بينهما.

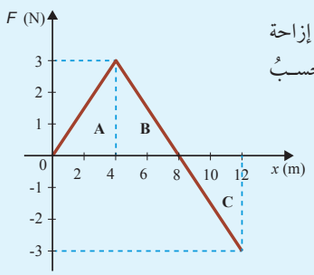
$W_{(0-6)} = \frac{1}{2} \times [(6 - 0) + (4 - 0)] \times 5$

$= \frac{1}{2} \times (6 + 4) \times 5$

$= 25 \text{ J}$

تمرين

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



الشكل (12): منحنى (القوّة – الإزاحة) لقوّة محصلة متغيّرة تؤثّر في جسم.

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

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

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

د . خلال الإزاحة كاملةً (الشغل الكلي).

ورقة العمل (1)

أقسّم الطلبة إلى مجموعاتٍ ثنائية، ثم أوزّع عليهم ورقة العمل (1) الموجودة في الملحق، وأوجّههم إلى الحل فرادى وأمنحهم وقتًا كافيًا، ثم نناقش الحل معًا. أوجّه كل مجموعة لعرض إجاباتها ومناقشتها مع المجموعات الأخرى.

تمرين

أ . الشغل الذي بذلته القوّة المحصّلة المتغيّرة خلال (4 m) الأولى من بداية حركة الجسم يساوي المساحة A عدديًّا، ويساوي مساحة مثلّث طول قاعدته (4 m) وارتفاعه (3 N).

$W_{0-4} = A$

$= \frac{1}{2} \times (4 - 0) \times 3$

$= 6 \text{ J}$

ب. الشغل الذي بذلته القوّة المحصّلة المتغيّرة خلال (8 m) الأولى من بداية حركة الجسم يساوي عدديًّا مجموع المساحتين A و B، ويساوي مساحة مثلث متساوي الساقين طول قاعدته (8 m) وارتفاعه (3 N).

$W_{0-8} = A + B$

$= \frac{1}{2} \times (8 - 0) \times 3$

$= 12 \text{ J}$

جـ. الشغل الذي بذلته القوّة المحصّلة المتغيّرة عند حركة الجسم من الموقع (8 m) إلى الموقع (12 m) يساوي المساحة C، ويساوي مساحة مثلّث طول قاعدته (4 m) وارتفاعه (-3 N).

$W_{8-12} = C$

$= \frac{1}{2} \times (12 - 8) \times -3$

$= -6 \text{ J}$

د . الشغل الكلّي الذي بذلته القوّة المحصّلة المتغيّرة على الجسم يساوي عدديًّا مجموع المساحات A و B و C.

$W_{Total} = A + B + C$

$= W_{0-4} + W_{4-8} + W_{8-12}$

$= W_{0-8} + W_{8-12}$

$= 12 + (-6) = 6 \text{ J}$

نشاط سريع

- أحضر ثقلًا وأربطه بخيط، ثم أضعه على سطح الطاولة.
- أطلب إلى أحد الطلبة تثبيت مسطرة مترية في وضع رأسي على سطح الطاولة بيديه بجانب الثقل. وأضع علامة عند القياس (50 cm).
- أطلب إلى أحد الطلبة رفع الثقل من سطح الطاولة إلى ارتفاع (50 cm) في حين يقيس الطلبة الزمن المستغرق لذلك، ويدوّنونه.
- أكرّر الخطوة السابقة بحيث يرفع طالب آخر/ طالبة أخرى الثقل نفسه إلى الارتفاع نفسه، في حين يقيس الطلبة الزمن المستغرق لذلك.
- أطلب إلى الطلبة حساب قدرة كل من الطالبين/ الطالبتين على رفع الثقل، وأسألهم: أيّهما قدرته أكبر في رفع الثقل؟ **إجابة محتملة:** الذي رفع الثقل خلال زمن أقل. أي الطالبين/ الطالبتين بذل شغلًا أكبر؟ **إجابة محتملة:** كلاهما بذل الشغل نفسه.

◄ المناقشة:

- أستخدم **استراتيجية التفكير الناقد؛** للتوصل إلى مفهوم القدرة وكيفية حسابها.
- أوزع الطلبة في مجموعات، وأطلب إلى أفراد كل مجموعة مناقشة الأسئلة الآتية:

مضخّتا ماء ترفعان كمية الماء نفسها إلى الارتفاع نفسه، الأولى خلال (7 s)، والثانية خلال (8 s).

- ما الكمية الفيزيائية التي أفاضل بها بين المضختين؟
- أيّ المضخّتين تبذل شغلًا أكبر في رفع الماء؟

- أناقش مع الطلبة إجاباتهم، وأوضح لهم أنّ المفاضلة بين المضختين من حيث قدرتيهما؛ فهما بذلتا الشغل نفسه، إلا أن المضخة الأولى بذلت الشغل بزمن أقل فتكون قدرتها أكبر.

◄ التعزيز:

أكتب على اللوح تعريف القدرة المتوسطة، وأعبر عنها بالعلاقة ($\overline{P} = \frac{W}{\Delta t}$) وأعرف وحدة قياسها، ثم أسألهم:

- ما العلاقة بين القدرة والزمن عند ثبات مقدار الشغل المبذول؟ كلّما زاد زمن الشغل المبذول قلّت القدرة.
- أيّ الأجسام أو الآلات تبذل الشغل نفسه خلال زمن أقل: الأكبر قدرة أم الأصغر قدرة؟ الأجسام أو الآلات الأكبر قدرة تبذل الشغل نفسه خلال زمن أقل.

الشكلُ (13): استعمال مضخّة ماء لضخ الماء إلى سطح عمارة.

القدرةُ Power

يُريد صديقي شراء مضخّة ماء؛ كي يستعملها لضخ الماء إلى سطح عمارة، أنظرُ إلى الشكل (13). يوجد مضختان من النوع نفسه، الأولى يُمكنها رفع (50 kg) ماء إلى ارتفاع رأسي مقداره (7 m) خلال (7.2 s)، والمضخّة الثانية يُمكنها رفع كمّية الماء نفسها للارتفاع نفسه خلال (9 s)، فأيّ المضختين أنصحه بشرائها؟ وما الكمّية الفيزيائية التي يُمكنني عن طريقها المفاضلة بين هاتين المضخّتين؟

أُلاحظ أنّ الشغل الذي تبذله المضختان في رفع الماء متساوٍ، على الرغم من اختلاف زمن إنجازه. وبالتأكيد، سأنصحه باختيار المضخّة الأولى التي تُنجز الشغل نفسه خلال زمن أقل. والكمّية الفيزيائية التي يُمكنني عن طريقها المفاضلة بين معدل بذل الشغل لآلات أو أجسام مختلفة هي **القدرة Power (*P*)**؛ وتُعرف بأنّها المعدّل الزمني للشغل المبذول، أي إنّها تساوي ناتج قسمة الشغل المبذول (W) على الزمن المستغرق لبذله (Δt). ويُمكنني حساب القدرة المتوسطة ($\overline{P}$) وفقًا للمعادلة الآتية: $\overline{P} = \frac{W}{\Delta t}$.

أُلاحظ أنّ وحدة قياس القدرة هي (J/s)، وتُسمّى **واط watt (W)** حسب النظام الدولي للوحدات، وهو يساوي قدرة آلة أو جهاز تبذل شغلًا مقداره (1 J) خلال فترة زمنية مقدارها (1 s). كما تستخدم وحدة الحصان Horse power (hp) لقياس القدرة، وهو يساوي (746 W)، وأُعرّفه بأنّه قدرة آلة تنجز شغلًا مقداره (746 J) خلال فترة زمنية مقدارها (1 s).

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

✓ **أتحقّق:** القدرة هي المعدّل الزمني للشغل المبذول، أي إنّها تساوي ناتج قسمة الشغل المبذول (W) على الزمن المستغرق لبذله (Δt). وحدة قياس القدرة هي (J/s)، وتسمّى واط (W) حسب النظام الدولي للوحدات.

طريقة أخرى للتدريس — القدرة

- لمساعدة الطلبة ذوي المستويات المختلفة على تعرّف مفهوم القدرة، أوزّعهم في مجموعات غير متجانسة، ثم أطلب إلى كلّ مجموعة كتابة إعلان تجاري يروّج سيارة، على أن يشتمل الإعلان على مواصفات محرك السيارة، وتسارعها.
- أطلب إلى أفراد كل مجموعة عرض إعلانها على اللوح.
- أدير نقاشًا بين الطلبة مع التركيز على مفهوم قدرة المحرك ووحدة قياسها. قد أجد بعض الطلبة عبّر عنها بمصطلح قوة محرك. أخبر الطلبة أن المصطلح الفيزيائي المستخدم هو قدرة المحرك وليس قوة المحرك.
- قد أجد بعض الطلبة عبّر عن قدرة السيارة بوحدة الحصان؛ إذ إنّها الوحدة الشائعة لقياس قدرة محرّك السيارة.

القدرة اللحظية Instantaneous Power

تُعرّف **القدرة اللحظيّة** (*P*) **Instantaneous Power**؛ بأنّها القدرة عند لحظة زمنيّة معيّنة، وتساوي ناتج ضرب مقدار سرعة الجسم اللحظيّة (v) في مُركّبة القوّة في اتّجاه السرعة نفسه ($F \cos\theta$) عند تلك اللحظة. ويُحسب مقدارُها بالعلاقة الآتية:

$$P = Fv \cos\theta$$

وإذا تحرّك جسمٌ بسرعة ثابتة؛ فإنّ قدرته اللحظيّة تساوي قدرته المتوسّطة.

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

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

المثال 4

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

أ . الشغل الذي تبذله المضخّة في رفع الماء.

ب. القدرة المتوسّطة لمحرّك المضخّة في رفع الماء.

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

المطلوب: $W = ?,\ \overline{P} = ?$.

الحلّ:

أ . لحساب الشغل الذي يبذله محرّك المضخّة في رفع الماء بسرعة ثابتة؛ يلزمني حساب مقدار أقل قوّة رأسية يجب تأثيرها في الماء. ولحسابها؛ أستعملُ القانون الثاني لنيوتن. بما أنّ الماء يُرفع بسرعة ثابتة (التسارع صفر)، فتكون القوّة المحصّلة المؤثّرة فيه في الاتّجاه الرأسي تساوي صفرًا.

$$\sum F_y = ma = 0$$
$$F - F_g = 0$$
$$F = F_g$$
$$= mg = 50 \times 10$$
$$= 500\ N$$

أُلاحظ أنّ مقدار القوّة اللازم تأثيرها في كتلة الماء يساوي مقدار وزنها.

- أوجّه الطلبة إلى عمل مقطع مرئي (فيلم) قصير باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضح مفهوم القدرة المتوسطة والقدرة اللحظية ويشتمل على مقارنة بين قدرة آلات وأجسام مختلفة، مدعّمًا بالشروح الصوتية المناسبة والصور أو مقاطع فيديو، ثم أنظّم عرضها أمامي وأمام الزملاء/ الزميلات في الصف.

إضاءة للمُعلِّم / للمعلِّمة

الآلة المثالية: آلة شغلها الناتج يساوي شغلها المبذول، وكفاءتها تساوي (100%). وهي غير موجودة في الواقع، فكلّ الآلات المستخدمة غير مثالية؛ نتيجة تحوّل جزء من الطاقة أو الشغل المبذول إلى أشكال أخرى غير مفيدة من الطاقة. ويسعى العلماء والمهندسون إلى زيادة كفاءة الآلات لتقترب من كفاءة الآلة المثالية.

المناقشة:

- أوضّح للطلبة مفهوم القدرة اللحظية، وأكتب العلاقة المستخدمة لحسابها ($P = Fv \cos\theta$).
- أناقشهم في القدرة اللحظية لمحرك السيارة وكيف تتغير هذه القدرة بتغير سرعة السيارة، عندما تكون القوة ثابتة.
- أسأل الطلبة عن أثر تغير الزاوية بين السرعة والقوة في القدرة اللحظية. تزداد القدرة اللحظية عند نقصان الزاوية بين اتّجاهي السرعة والقوة عند ثبات مقداريهما.
- أسأل الطلبة: متى تتساوى القدرة اللحظية والقدرة المتوسطة لسيارة متحركة؟ عند حركة السيارة بسرعة ثابتة.
- أستمع لإجابات الطلبة، ثم أناقشهم فيها للتوصل إلى الإجابة الصحيحة.

✓ **أتحقّق:** بحساب ناتج ضرب مقدار سرعة السيارة الثابتة في مقدار مركّبة القوة في اتجاه السرعة نفسه.

مثال إضافي

يرفع محرك كهربائي مصعدًا كتلته مع حمولته ($1.5 \times 10^3\ kg$) إزاحة رأسية مقدارها (10 m) بسرعة ثابتة خلال (12 s). أحسب مقدار:

أ . الشغل الذي يبذله المحرك في رفع المصعد.

ب. القدرة المتوسطة للمحرّك في رفع المصعد.

الحل:

أ . لكي أحسب الشغل الذي يبذله المحرك في رفع المصعد بسرعة ثابتة، يلزمني حساب مقدار أقل قوة رأسية يلزم تأثيرها في المصعد، وهي تساوي وزنه:

$$F = F_g$$
$$= mg = 1.5 \times 10^3 \times 10 = 1.5 \times 10^4\ N$$

ثم أحسب الشغل:

$$W = F \times d$$
$$= 1.5 \times 10^4 \times 10$$
$$= 1.5 \times 10^5\ J$$

ب. أحسب القدرة المتوسطة للمحرك بالمعادلة الآتية:

$$\overline{P} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{1.5 \times 10^5}{12} = 1.25 \times 10^4\ watt$$

أحسبُ الشغل بالمعادلة الآتية، وأُلاحظ أنّ اتّجاهَي القوّة والإزاحة في الاتّجاه نفسه.

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

ب. أحسبُ القدرة المتوسّطة لمحرّك المضخّة بالمعادلة الآتية:

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

تمرين

1. **أحسبُ:** سيّارة كتلتها (1400 kg) تتحرّك بسرعة متّجهة ثابتة مقدارها (25 m/s) على طريق أُفقي، ومجموع قوى الاحتكاك المؤثّرة فيها يساوي (2000 N). أحسبُ مقدار ما يأتي:
   أ. قدرة محرّك السيارة بوحدة الواط (W)، ووحدة الحصان (hp).
   ب. تسارع السيّارة إذا أصبحت القوّة التي يؤثّر بها المحرك في السيارة (2280 N)، ولم يتغيّر مجموع قوى الاحتكاك.
2. **أستعملُ المتغيّرات:** رافعة يولّد محرّكها قدرة مقدارها (1200 W) لرفع ثقل كتلته (400 kg) بسرعة ثابتة إلى ارتفاع (90 m) عن سطح الأرض، خلال فترة زمنية مقدارها (5 min)، أنظرُ إلى الشكل (14). إذا علمتُ أنّ تسارع السقوط الحر ($10\ \text{m/s}^2$)؛ فأحسبُ مقدار ما يأتي:

الشكل (14): رافعة ترفع ثقلًا رأسيًّا إلى أعلى.

أ. الشغل الذي يبذله محرّك الرافعة في رفع الثقل.

ب. السرعة التي يتحرّك بها الثقل.

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

معلومة إضافية

سمّيت وحدة قياس القدرة الواط watt تكريمًا للعالم الأسكتلندي جيمس واط، مخترع الآلة البخارية. وتُستخدَم وحدة كيلو واط. ساعة (kWh) لقياس الطاقة عند قياس القدرة بوحدة (kW)، والزمن بوحدة (h).

توظيف التكنولوجيا

أبحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع فيديو تعليمية، أو تجارب عمليّة مصوّرة توضح مفاضلة بين آلات وأجهزة مختلفة في أداء الشغل نفسه، علمًا أنّه يمكنني إعداد عروض تقديمية تتعلّق بموضوع الدرس.

أشارك الطلبة هذه المواد التعليمية عن طريق صفحة المدرسة الإلكترونية، أو باستخدام أحد التطبيقات المناسبة، أو استعمال أيّ وسيلة تكنولوجية مناسبة بمشاركة الطلبة وذويهم.

تمرين

1. أ . السيارة تتحرك بسرعة متجهة ثابتة، فتكون القوة المحصلة المؤثرة فيها في الاتجاه الأفقي صفرًا. فتكون قوة المحرك مساوية مجموع قوى الاحتكاك.

$$\sum F = F - f = 0$$
$$F = f = 2000\ \text{N}$$

ثم أحسب قدرة محرك السيارة كما يأتي:

$$P = Fv\cos\theta$$
$$= 2000 \times 25 \times \cos 0^\circ$$
$$= 50000 = 5 \times 10^4\ \text{W}$$
$$= \frac{50000}{746} = 67\ \text{hp}$$

ب. بتطبيق القانون الثاني لنيوتن:

$$a = \frac{\sum F}{m}$$
$$= \frac{2280 - 2000}{1400}$$
$$= \frac{280}{1400} = 0.2\ \text{m/s}^2$$

2. أ . الشغل المبذول يساوي ناتج ضرب القدرة التي يولّدها المحرك لرفع الثقل في الزمن المستغرق لرفعه.

$$W = P\,\Delta t$$
$$= 1200 \times (5 \times 60\ \text{s}) = 3.6 \times 10^5\ \text{J}$$

ب. يتحرّك الثقل رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ثابتة؛ لذا أستخدم معادلة السرعة لحساب مقدارها، كما يأتي:

$$v = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{90}{5 \times 60} = 0.3\ \text{m/s}$$

جـ. تؤثر قوة الجاذبية الأرضية في الثقل بقوة إلى أسفل بعكس اتجاه إزاحته؛ $\theta = 180^\circ$.

$$W_g = F_g\,d\cos\theta$$
$$= 4 \times 10^3 \times 90 \times \cos 180^\circ$$
$$= -3.6 \times 10^5\ \text{J}$$

أخطاء شائعة

قد يخلط بعض الطلبة بين مفهومي شغل الآلة (أو الجهاز) وقدرته؛ لذا أبيّن لهم أن الشغل يعبر عن مقدار الطاقة التي يستهلكها الجهاز، ووحدة قياسه الجول، أما القدرة فتعبر عن معدل استهلاك الجهاز للطاقة، ووحدة قياسها الواط.

الشكل (15): يُشق الطريق الذي يعبر واديًا بشكل متعرّج.

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

أبحثُ:
لعلم الفيزياء دور مهمّ في تصميم الطرق، وتحديد المواقع التي تحتاج إلى دعامات أو جدران استنادية (داعمة) أو جسور في أثناء شق الطريق.
أبحثُ في دور مهندسي الطرق في تصميم الطرق الجبلية والطرق التي تمرّ خلال أودية سحيقة. وأُعدّ عرضًا تقديميًّا أعرضه أمام طلبة الصفّ.

الربط بالهندسة

عند شقّ الطرق خلال أودية سحيقة أو جبال؛ يُراعى في تصميمها أن تُشقّ بشكل متعرّج (Zig – Zag) بدلًا من شقّها بشكل مستقيم. ويوضّح الشكل (15) الطريق الملوكي الذي يشقّ وادي الموجب ويصل بين محافظتَي الكرك ومادبا، ألاحظ شكل الطريق المتعرّج. ويكون تعرّج الطريق أكبر في جزئه الواقع في محافظة الكرك؛ حيث انحدار الوادي في هذا الجانب أكبر.

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

أبحثُ:
أوجّه الطلبة للبحث في مصادر المعرفة الموثوقة والمتاحة عن دور مهندسي الطرق في تصميم الطرق الجبلية، كما يمكنهم جمع معلومات من مهندسي طرق من أفراد عائلاتهم أو أقاربهم، ثم أكلفهم بإعداد عرض تقديمي وعرضه أمام زملائهم/ زميلاتهن في الصف.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **القضايا ذات العلاقة بالعمل: إدارة المشاريع.**

أوجّه الطلبة إلى أهمية دراسة المشروع والتخطيط له بشكل علميّ دقيق؛ فتصميم الطرق، أو بناء الجسور يتطلب جمع معلومات كافية قبل البدء بتنفيذ المشروع، ثم عمل المخططات والتصاميم المناسبة واختبارها.

أفكّرُ: أطلب إلى أفراد مجموعتي السير بشكل متعرّج (Zig - Zag) على الطريق نفسها، مع أخذ احتياطات السلامة والتأكد من خلوّ الطريق من السيارات في أثناء السير المتعرّج؛ لتجنّب التعرّض للدهس.

الربط بالهندسة

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (15)، وملاحظة طريقة شقّ الطريق المتعرّج، ثم أسألهم:

– لماذا يُشَقّ الطريق بهذا الشكل المتعرّج؟

إجابة محتملة: لجعله أقلّ انحدارًا.

– هل مقدار قوة محركّ سيّارة اللازمة لصعود جبل معيّن أقلّ في حالة الطريق المستقيمة أم الطريق المتعرّجة؟

إجابة محتملة: الصعود في طريق متعرّجة يقلّل مقدار قوة محرّك السيارة اللازمة لصعود الجبل.

– في حالة الطريق المتعرّجة تزداد المسافة اللازم قطعها، فهل يزداد مقدار الشغل المبذول؟

لا يتغيّر مقدار الشغل المبذول عند الحركة بمقدار السرعة نفسه في الحالتين؛ لأنّ زيادة المسافة يقابلها نقصان في مقدار القوة.

– ماذا يحدث للزمن المستغرق لصعود الجبل باستخدام طريق متعرجة؟

يزداد الزمن.

– ماذا يحدث للقدرة اللازمة لصعود الجبل باستخدام الطرق المتعرّجة؟

يقل مقدار القدرة؛ إذ إنّ القدرة اللازمة لصعود الجبل باستخدام طريق متعرّجة أقل منها في حالة الطريق المستقيمة.

- أستمع لإجابات الطلبة، ثم أناقشهم فيها لاستنتاج أهمية تصميم الطرق الجبلية بشكل متعرّج.

إجابات أسئلة مراجعة الدرس

1 الشغل: كمّية فيزيائية قياسية تساوي ناتج الضرب القياسي لمتّجه القوّة المؤثّرة في جسم في متّجه إزاحة الجسم. يعتمد الشغل على مقدار القوة المؤثرة (F) ومقدار الإزاحة (d)، وجيب تمام الزاوية المحصورة بين اتجاهي القوة والإزاحة ($\cos\theta$). والقدرة: هي المعدّل الزمني للشغل المبذول، وتقاس بوحدة (J/s)، وتسمّى واط (W).

2 مقدارا الشغل الذي بذلاه على الصندوق متساويان؛ لأنّ الصندوق نفسه (القوة المؤثرة تساوي وزن الصندوق) والإزاحة نفسها. وقدرة ريّان أكبر من قدرة نصر؛ لأن ريّان أنجز الشغل نفسه خلال زمن أقل.

3 أ .
$$W_F = F\,d\cos\theta = 40 \times 200 \times \cos 53^\circ$$
$$= 4.8 \times 10^3 \text{ J}$$

ب. الحقيبة تتحرك بسرعة متجهة ثابتة، فتكون القوة المحصلة المؤثرة فيها في الاتجاه الأفقي صفرًا.
$$\sum F_x = F\cos\theta - f_k = 0$$
$$f_k = F\cos 53^\circ = 40 \times 0.6 = 24 \text{ N}$$
ويكون شغل قوة الاحتكاك الحركي:
$$W_f = f_k\, d\cos\theta$$
$$= 24 \times 200 \times \cos 180^\circ = -4.8 \times 10^3 \text{ J}$$

جـ.
$$\overline{P} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{4800}{2 \times 60} = 40 \text{ watt}$$

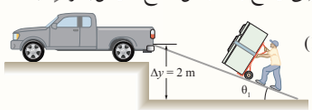
4 أ . يتحرك المصعد بسرعة متجهة ثابتة، فتكون القوة المحصلة المؤثرة فيه في الاتجاه الرأسي صفرًا، ولحساب مقدار قوة المحرك F أطبق القانون الثاني لنيوتن في الاتجاه الرأسي.
$$\sum F_y = F - (F_g + f_k) = 0$$
$$F = F_g + f_k = mg + f_k$$
$$F = 1800 \times 10 + 3000$$
$$= 21000 = 2.1 \times 10^4 \text{ N}$$

ثم أحسب شغل المحرك:
$$W_F = F\,d\cos\theta$$
$$= 2.1 \times 10^4 \times 80 \times \cos 0^\circ$$
$$= 1.68 \times 10^6 \text{ J}$$

ب.
$$W_f = f_k\, d\cos\theta$$
$$= 3000 \times 80 \times \cos 180^\circ$$
$$= -2.4 \times 10^5 \text{ J}$$

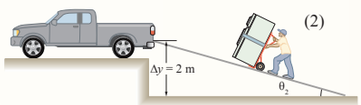
مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** ما المقصود بالشغل؟ وما العوامل التي يعتمد عليها؟ وما المقصود بالقدرة؟ وما وحدة قياسها حسب النظام الدولي للوحدات؟
2. **أستنتجُ:** رفع ريّان صندوقًا من الطابق الأرضي في مدرسته إلى الطابق الأول خلال (2 min)، بينما احتاج نصر إلى (4 min) ليرفع الصندوق نفسه بين الطابقين. ما العلاقة بين مقدار الشغل الذي بذله كلّ منهما على الصندوق؟ وما العلاقة بين مقداريّ قدرتهما؟ أفترضُ أنّ السرعة ثابتةٌ في الحالتين.
3. **أستعملُ المتغيّرات:** يسحب سائحٌ حقيبة سفره بسرعة ثابتة على أرضية أُفقية في المطار إزاحة مقدارها (200 m). إذا علمتُ أنّ قوّة السحب تساوي (40 N) باتّجاه يصنع زاوية (53°) على الأُفقي؛ فأحسبُ مقدار ما يأتي:
   أ. الشغل الذي يبذله السائح على الحقيبة.
   ب. الشغل الذي تبذله قوّة الاحتكاك الحركي على الحقيبة.
   جـ. قدرة السائح على سحب الحقيبة؛ إذا استغرق (2 min) لقطع هذه الإزاحة.
4. **أستعملُ الأرقام:** يرفع محرّك كهربائيّ مصعدًا كتلته مع حمولته (1800 kg) بسرعة ثابتة مقدارها (1 m/s) من سطح الأرض إلى ارتفاع (80 m). إذا علمتُ أنّ قوّة احتكاك حركي ثابتة مقدارها (3000 N) تؤثّر في المصعد في أثناء رفعه؛ فأحسب مقدار ما يأتي:
   أ. الشغل الذي يبذله المحرّك على المصعد.
   ب. شغل قوّة الاحتكاك الحركي.
   جـ. القدرة المتوسّطة للمحرّك في أثناء رفعه للمصعد.
5. **أُصدِر حُكمًا:** في أثناء دراستي وزميلتي ندى هذا الدرس، قالت: «إنّ الشغل الذي تبذله قوّة الجاذبية الأرضيّة على قمر صناعي يتحرّك حركة دائرية منتظمة حول الأرض، يزداد بزيادة كتلة القمر وسرعته المماسّية». أُناقش صحّة قول ندى.
6. **التفكير الناقد:** يوضّح الشكلان (1 و 2) أدناه، رفع الثلاجة نفسها إلى ارتفاع (2 m) عن سطح الأرض بسرعةٍ ثابتة. باستعمال مستوى مائل أملس، وأُلاحظ أنّ ($\theta_1 > \theta_2$).



(1)

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



(2)

ب. **أُقارن** بين مقداري القوّة المؤثّرة في الثلاجة في الشكلين (1 و 2). ماذا أستنتج؟

جـ. بما أنّ المصعد يرفع بسرعة ثابتة فتكون القدرة المتوسطة مساوية للقدرة اللحظية.
$$P = Fv\cos\theta$$
$$= 2.1 \times 10^4 \times 1 \times \cos 0^\circ$$
$$= 2.1 \times 10^4 \text{ watt}$$

5 القمر الصناعي يتحرك حركة دائرية منتظمة، فتكون القوة المركزية (قوة الجاذبية) المؤثرة فيه عمودية دائمًا على اتجاه إزاحته عند كل موقع في مساره الدائري؛ وبما أن $\cos 90^\circ = 0$، فيكون شغل قوة الجاذبية الذي تبذله على القمر الصناعي يساوي صفرًا.

6 أ . مقدارا الشغل المبذول في الشكلين متساويان؛ لأنّ الارتفاع الرأسي النهائي في الحالتين نفسه، وزيادة طول المستوى المائل (الإزاحة) كان على حساب نقصان مقدار القوة اللازمة لدفع الثلاجة.

ب. بما أنّ زاوية ميل المستوى المائل في الشكل (2) أقل، فيكون مقدار القوة اللازم تأثيرها في الثلاجة لدفعها إلى أعلى المستوى بسرعة ثابتة في هذه الحالة أقل منها في الشكل (1). مقدار القوة اللازم تأثيرها في الثلاجة لدفعها بسرعة ثابتة إلى أعلى المستوى المائل يعطى بالعلاقة: $F = F_g \sin\theta$، فكلّما قلّ ميل المستوى قلّ مقدار القوة اللازم تأثيرها في الثلاجة.

الدرس 2

الطاقة الميكانيكية
Mechanical Energy

1 تقديم الدرس

◄ الفكرة الرئيسة:

- أوضّح للطلبة أنّهم في هذا الدرس سيدرسون الطاقة الميكانيكية وحفظها، والعلاقة بين الشغل والطاقة، وشغل القوى المحافظة والقوى غير المحافظة، ومبرهنة الشغل – الطاقة الحركية.

◄ الربط بالمعرفة السابقة:

- أذكّر الطلبة بما تعلموه في صفوف سابقة عن الشغل وتعريفه، وعلاقته مع كل من الإزاحة والقوة، وأذكّرهم بأن الحالات التي درسوها سابقًا اقتصرت على توازي متجهي القوة والإزاحة.
- أذكّر الطلبة أنّ الطاقة الميكانيكية لجسم هي مجموع طاقة وضعه وطاقته الحركية؛ وتعتمد طاقة الوضع على موقع الجسم والطاقة الحركية على حالته الحركية.

2 التدريس

◄ المناقشة:

- أوجّه للطلبة الأسئلة الآتية:

– ماذا يحدث للجسم عندما تبذل قوة شغلًا عليه؟ **إجابة محتملة:** يؤدي هذا الشغل إلى تغيير طاقة الجسم.

– ما المقصود بالطاقة؟ **إجابة محتملة:** هي مقدرة الجسم على بذل شغل.

– هل الطاقة كمية فيزيائية قياسية أم متجهة؟ وما وحدة قياسها؟ الطاقة كمية فيزيائية قياسية، وتقاس بوحدة الجول joule (J) حسب النظام الدولي للوحدات.

– ما العلاقة بين الشغل والطاقة؟ **إجابة محتملة:** الشغل إحدى طرائق نقل الطاقة بين الأجسام.

– ما نوعا الطاقة الميكانيكية؟ طاقة حركية، وطاقة كامنة (طاقة وضع).

- أطلب إلى عدد من الطلبة التعليق على الشكل (16)، وتحديد نوع الطاقة التي يمتلكها كل من السيارة وكتاب على الرف. **إجابة محتملة:** تمتلك السيارة طاقة حركية؛ لأنها تتحرك، ويمتلك الكتاب طاقة وضع ناشئة عن الجاذبية الأرضية؛ نتيجة موقعه بالنسبة إلى سطح الأرض.

- أستمع لإجابات الطلبة، وأشجّعهم على توجيه الأسئلة، ونقد إجابات بعضهم، واحترام الرأي الآخر.

✓ **أتحقّق:** الطاقة الحركية، والطاقة الكامنة (طاقة الوضع).

◄ بناء المفهوم:

الشغل والطاقة.

- أوضّح للطلبة أنّه بناءً على تعريف الطاقة (المقدرة على بذل شغل)، فإنّه يمكن إعادة تعريف الشغل بأنه إحدى طرائق نقل الطاقة بين الأجسام.

الدرس 2
الطاقة الميكانيكية
Mechanical Energy

◄ الفكرة الرئيسة:
الطاقة الميكانيكية لجسم تساوي مجموع طاقة وضعه وطاقته الحركيّة. وللطاقة الميكانيكية تطبيقات تكنولوجيّة في المجالات كافّة.

◄ نتاجات التعلّم:

- أُوضّح مفهوم كلّ من: الطاقة، الطاقة الحركيّة، مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركيّة)، طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة.
- أستقصي العلاقة بين الشغل الكلّي المبذول على جسم، والتغيّر في طاقته الحركيّة.
- أُعبّر عن حفظ الطاقة الميكانيكية بمعادلة رياضية.
- أُعبّر عن شغل القوى المحافظة، وشغل القوى غير المحافظة بمعادلات رياضية.
- أُطبّق بحل مسائل على الطاقة الميكانيكية.

◄ المفاهيم والمصطلحات:

الطاقة	Energy
الطاقة الحركيّة	Kinetic Energy
مبرهنة الشغل – الطاقة الحركيّة	Work – Kinetic Energy Theorem
طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة	Gravitational Potential Energy
الطاقة الميكانيكية	Mechanical Energy
حفظ الطاقة الميكانيكية	Conservation of Mechanical Energy

الشغل والطاقة Work and Energy

تعرّفتُ في الدرس السابق أنّه عندما تؤثّر قوّة خارجية في جسم، وتحرّكه إزاحة معيّنة؛ فإنّها تبذل شغلًا عليه. وأتساءل: ماذا يحدث لهذا الشغل المبذول على الجسم؟ يؤدي هذا الشغل إلى تغيير طاقة الجسم، أنظرُ إلى الشكل (16). وتُعرف **الطاقة Energy** بأنّها مقدرة الجسم على بذل شغل، وهي كمّية قياسية تُقاس بوحدة الجول joule (J) حسب النظام الدولي للوحدات. فالرياح لها طاقة حركية تُمكّنها من بذل شغل على شفرات المراوح عندما تصطدم بها، كما هو موضّح في صورة بداية الوحدة. وبناء على ما سبق، يُمكنني تعريف الشغل بأنّه إحدى طرائق نقل الطاقة بين الأجسام.

للطاقة أشكال متعدّدة تنحصر في نوعين رئيسين، هما: الطاقة الحركيّة، والطاقة الكامنة (طاقة الوضع).

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

الشكل (16): (أ) يبذل محرّك السيّارة شغلًا عليها يُغيّر طاقتها الحركيّة عندما تتسارع على طريق أفقي. (ب) عندما أرفع الكتاب وأضعه على رفّ الكتب؛ فإنّني أبذل شغلًا عليه يُغيّر طاقته الكامنة.

◄ بناء المفهوم:

الطاقة الحركية.

- أوجّه انتباه الطلبة إلى الشكل (17)، الذي يوضح تثبيت مسمار في لوح خشبي باستخدام مطرقة، ثم أسألهم:

– ما المقصود بالطاقة الحركية؟ هي الطاقة المرتبطة بحركة الأجسام، أي التي تمتلكها الأجسام المتحركة.

– ما الطاقة التي تمتلكها المطرقة؟ طاقة حركية.

– كيف عرفت أنها تمتلك طاقة حركية؟ لأنها تتحرك.

– ما رمز الطاقة الحركية؟ وما وحدة قياسها؟ رمزها (KE)، ووحدة قياسها الجول (J) joule.

– علام تعتمد الطاقة الحركية؟ على كتلة الجسم (m)، ومقدار سرعته (v).

- أوجّه للطلبة السؤال الآتي: سيّارتان (A و B) متماثلتان، إذا علمت أن ($v_A = 2v_B$)، فما مقدار نسبة الطاقة الحركية للسيارة A إلى الطاقة الحركية للسيارة B؟

$$\frac{KE_A}{KE_B} = \frac{\frac{1}{2} m v_A^2}{\frac{1}{2} m v_B^2} = \frac{4v_B^2}{v_B^2} = 4$$

أوجّه الطلبة إلى تصميم عرض تفاعلي يوضح الطاقة الحركية، باستخدام برنامج السكراتش (Scratch)، ثمّ أوجّههم إلى مشاركته أو عرضه أمام الزملاء/ الزميلات في الصفّ.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: التحليل.**

أخبر الطلبة أنّ للتحليل دورًا في الوصول إلى المعرفة، واستكشاف العلاقات بين المفاهيم المختلفة. وأنّه بالنظر إلى علاقة الطاقة الحركية وتحليلها أتوصّل إلى العوامل التي يعتمد عليها مقدار الطاقة الحركية لجسم.

أخطاء شائعة

قد يظن بعض الطلبة خطأً أن الطاقة الحركية كمية متجهة؛ لاحتوائها سرعة الجسم؛ لذا أوضح للطلبة أنّ الطاقة كمية قياسية، فعند حساب الطاقة الحركية، فإننا نعوض مقدار السرعة فقط (أو نأخذ القيمة المطلقة للسرعة).

الشكل (17): للمطرقة طاقة حركية تُمكّنها من بذل شغل على المسمار ودفعه في اللوح الخشبي.

الطاقة الحركيّة Kinetic Energy

توضّح صورة بداية الوحدة، توليد الطاقة الكهربائيّة بالاستفادة من حركة الرياح؛ حيث تبذل الرياح شغلًا على المراوح (التوربينات) فتحرّكها؛ أي إنّ للرياح طاقة. أُلاحظ أن الأجسام المتحرّكة قد تُحدث تغييرًا في الأجسام التي تصطدم بها، أنظرُ إلى الشكل (17). تُسمّى الطاقة المرتبطة بحركة جسم **الطاقة الحركيّة Kinetic Energy** ورمزها (KE)، وتعتمد على كلّ من: كتلة الجسم (m) ومقدار سرعته (v)، ويُعبّر عنها بالعلاقة الآتية:

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

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

أُصمّم باستعمال برنامج السكراتش (Scratch) عرضًا يوضّح الطاقة الحركيّة، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.

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

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

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

طريقة أخرى للتدريس — الطاقة الحركية

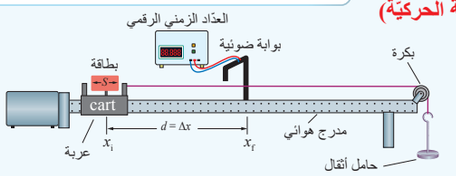
- لمساعدة الطلبة على معرفة العوامل التي تعتمد عليها الطاقة الحركية، أستخدم **استراتيجية الاستقصاء وحل المشكلات**؛ فأوزّعهم في مجموعات، وأزوّد كل مجموعة بمستوى مائل أملس وكرتين مختلفتين في الكتلة ومكعب خشبي وشريط لاصق. وأطلب إليهم وضع المستوى المائل على سطح أفقي، ثم وضع المكعب الخشبي عند نهايته، وأستخدم الشريط اللاصق لوضع علامتين عند موقعين مختلفين في الارتفاع؛ A عند أعلى المستوى المائل، و B عند منتصفه.
- أطلب إلى أفراد كل مجموعة دراسة أثر الكرة الواحدة عند تصادمها بسرعتين مختلفتين مع المكعب في حركته. ثم دراسة أثر كتلة كل من الكرتين في حركة المكعب.

✓ **أتحقّق:** الطاقة الحركية هي الطاقة المرتبطة بحركة جسم، ورمزها KE، وتعتمد على كلٍّ من: كتلة الجسم (m) ومقدار سرعته (v)، ويعبّر عنها بالمعادلة الآتية: $KE = \frac{1}{2} mv^2$.

التجربة 1

مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركيّة)

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



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

خطوات العمل:

بالتعاون مع أفراد مجموعتي، أنفّذ الخطوات الآتية:

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

التحليل والاستنتاج:

1. **أحسبُ** مقدار السرعة النهائيّة للعربة لكلّ محاولة، باستعمال العلاقة: $(v_f = \frac{S}{\Delta t})$، ثمّ أجد مربّع هذه السرعة، وأدوّن الحسابات في الجدول (1).
2. **أحسبُ** مقدار شغل القوّة المحصّلة الخارجية المؤثّرة في العربة لكلّ محاولة، باستعمال العلاقة: $(W_F = (\frac{m_{cart}\, m_{hang}}{m_{hang} + m_{cart}})gd)$، ثمّ أدوّنه في الجدول (2).
3. **أحسبُ** مقدار التغيّر في الطاقة الحركيّة للعربة لكلّ محاولة باستعمال العلاقة: $(\Delta KE = KE_f - KE_i)$، ثمّ أدوّنه في الجدول (2).
4. **أقارن** بين (W_F)، و (ΔKE) لكلّ محاولة. ما العلاقة بينهما؟ هل يوجد أي اختلاف بينهما؟ أفسّر إجابتي.
5. **أحلّل:** هل دعّمت نتائجي التجريبية التي حصلت عليها مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركيّة)؟ أوضّح سبب وجود أيّ اختلاف بينهما.
6. **أحلّل وأستنتج:** هل يُبذَل شغل على العربة عند ملامسة حامل الأثقال لأرضية الغرفة؟ أوضّح إجابتي.
7. **أتوقّع** مصادر الخطأ المحتملة في التجربة.

تقويم نشاط مبرهنة (الشغل-الطاقة الحركية)

استراتيجية التقويم: الملاحظة.

أداة التقويم: سلّم تقدير رقمي.

الاسم	المهامّ			
	1	2	3	4

المهامّ:

1: تنفيذ خطوات التجربة بصورة صحيحة دقيقة.

2: تدوين القراءات بصورة دقيقة وبموضوعية.

3: تفسير النتائج والإجابات تفسيرًا علميًّا.

4: استنتاج العلاقة بين شغل قوة خارجية والطاقة الحركية.

العلامات:

4: تنفيذ أربع مهام بصورة صحيحة.

3: تنفيذ ثلاث مهام بصورة صحيحة.

2: تنفيذ مهمتين بصورة صحيحة.

1: تنفيذ مهمة واحدة بصورة صحيحة.

التجربة 1

مبرهنة (الشغل-الطاقة الحركية)

الهدف:

- استقصاء العلاقة بين الشغل الذي تبذله قوة محصّلة خارجية ثابتة على جسم، والتغيّر في طاقته الحركية.
- إصدار حكم على صحّة مبرهنة (الشغل–الطاقة الحركية).
- اكتساب مهارة تصميم التجارب وتنفيذها.

الزمن المقدّر: 25 دقيقة.

إرشادات السلامة: أوجّه الطلبة إلى ارتداء المعطف، واستخدام النظارات الواقية للعينين، وأطلب إليهم توخّي الحذر من سقوط الأجسام والأدوات على أقدامهم.

المهارات العلمية: القياس، والملاحظة، والمقارنة، والاستنتاج، وتحليل البيانات وتفسيرها، وإصدار الأحكام، والتوقع، والتواصل.

الإجراءات والتوجيهات:

- أوجّه الطلبة إلى الاستعانة بكتاب الأنشطة والتجارب العملية عند إجراء التجربة، والاطلاع على الخلفية النظرية للتجربة، وأنبّههم إلى ما يأتي:

– أن يكون طول الطاولة وارتفاعها مناسبين لتنفيذ التجربة، بحيث لا يصل حامل الأثقال إلى أرضية الغرفة.

– عدم تعليق أثقال كبيرة في حامل الأثقال؛ لكيلا ينقطع الخيط.

النتائج المتوقّعة:

ملاحظة أنّ شغل القوة المحصّلة الخارجية المؤثرة في العربة لكلّ محاولة يساوي التغيّر في الطاقة الحركية للعربة.

التحليل والاستنتاج:

1. ستختلف الإجابات حسب مقدار الثقل المعلّق، وبُعد مقدمة العربة عن البوابة الضوئية.
2. ستختلف الإجابات حسب مقدار الثقل المعلّق، وبُعد مقدمة العربة عن البوابة الضوئية.
3. ستختلف الإجابات بحسب النتائج في الفرع 1.
4. تكونان متساويتين، وإن وجد أي اختلاف بينهما فقد يرجع سببه إلى دقة القياس والحسابات.
5. ستختلف الإجابات، إجابة محتملة: نعم، لقد دعمت النتائج التجريبية التي حصلت عليها مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركية).
6. لا يُبذل شغل على العربة عند ملامسة حامل الأثقال لأرضية الغرفة؛ لأنه عندئذٍ تنعدم قوة الشد في الخيط؛ أي تكون القوة المحصلة الخارجية المؤثرة في العربة تساوي صفرًا.
7. مصادر الخطأ المحتملة: قياس الكتل والمسافات، وإجراء الحسابات.

◄ المناقشة:

- أستخدم **استراتيجية التعلّم التعاوني**، وأوزّع الطلبة في مجموعات غير متجانسة؛ ليساعدوا بعضهم في عملية التعلّم.
- أوزّع الأدوار والمهام على أفراد كل مجموعة.
- أطلب إلى أفراد كل مجموعة الإجابة عن الأسئلة الآتية:

– عند تأثير قوة محصّلة خارجية في جسم في اتجاه حركته، ما الذي يحدث لمقدار سرعته؟ **إجابة محتملة:** يزداد.

– ما الذي يحدث للطاقة الحركية للجسم؟ تزداد.

– ما العلاقة بين شغل القوة المحصّلة الخارجيّة المؤثّرة في الجسم والتغيّر في طاقته الحركيّة؟ شغل القوة المحصّلة الخارجية المؤثّرة في الجسم يساوي التغيّر في طاقته الحركية.

- أطلب إلى كل مجموعة عرض إجاباتها أمام المجموعات الأخرى.
- أدير نقاشًا بين أفراد المجموعات للتوصّل إلى الإجابة الصحيحة، وتصحيح المفاهيم غير الصحيحة.

أفكّر:

الطاقة الحركية النهائية للسيارة تساوي صفرًا.

أحسب مقدار الإزاحة التي تتحركها السيارة عندما يكون مقدار سرعتها (v):

$$W_{Total} = \sum F_{ext}\,\Delta x = -f_s\,d = KE_f - KE_i = -KE_i$$

$$f_s\,d_1 = \frac{1}{2}\,mv_i^2$$

$$f_s\,d_1 = \frac{1}{2}\,mv^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 1$$

أحسب مقدار الإزاحة التي تتحركها السيارة عندما يكون مقدار سرعتها $(2v)$:

$$W_{Total} = \sum F_{ext}\,\Delta x = -f_s\,d = KE_f - KE_i = -KE_i$$

$$f_s\,d_2 = \frac{1}{2}\,m(2v)^2$$

$$f_s\,d_2 = 2mv^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2$$

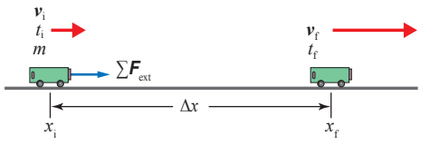
بقسمة المعادلة 2 على المعادلة 1، أحصل على ما يأتي:

$$\frac{f_s\,d_2}{f_s\,d_1} = \frac{2mv^2}{\frac{1}{2}\,mv^2}$$

$$\frac{d_2}{d_1} = 4$$

$$d_2 = 4\,d_1$$

يتضاعف مقدار الإزاحة 4 مرّات.



الشكل (18): الشغل الكلّي المبذول على العربة يساوي التغيّر في طاقتها الحركيّة.

أفكّر: يجب ترك مسافة أمان بين كل سيّارة والسيّارة التي أمامها في أثناء حركتها. إذا تحرّكت سيّارة على طريق أفقي بسرعة (v)؛ فإنها تتحرّك إزاحة مقدارها (d) حتى تتوقّف بعد الضغط على مكابحها. إذا تحرّكت السيّارة نفسها بسرعة $(2v)$؛ فأُقدّر مقدار الإزاحة التي تتحرّكها حتى تتوقّف من لحظة الضغط على مكابحها، بافتراض ثبات مقدار قوّة الاحتكاك السكوني بين إطارات السيّارة وسطح الطريق في الحالتين.

أستنتجُ بعد تنفيذ التجربة السابقة أنّ شغل القوّة المحصّلة الخارجية المؤثّرة في العربة، يساوي التغيّر في طاقتها الحركيّة. ولإثبات ذلك رياضيًّا أنظرُ إلى الشكل (18)، الذي يوضّح عربة كتلتها (m)، تتحرّك بسرعة متجهة ابتدائية $(\boldsymbol{v}_i)$.

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

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

$$\sum F_{ext} = ma$$

ويُعطى شغل القوّة المحصّلة الخارجية (الشغل الكلّي) خلال هذه الإزاحة بالعلاقة:

$$W_{Total} = \sum \boldsymbol{F}_{ext} \cdot \Delta \boldsymbol{x}$$
$$= \sum F_{ext}\,\Delta x \cos 0^\circ$$
$$= ma\Delta x$$

وبإعادة ترتيب حدود معادلة الحركة بتسارع ثابت الآتية: $v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$،

أتوصّل إلى معادلة حساب التسارع الآتية: $a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2\Delta x}$

وبتعويض قيمة التسارع (a) من هذه المعادلة في معادلة حساب الشغل السابقة؛ أحصل على ما يأتي:

$$W_{Total} = \sum F_{ext}\,\Delta x = m\left(\frac{v_f^2 - v_i^2}{2\Delta x}\right)\Delta x$$

$$W_{Total} = \sum F_{ext}\,\Delta x = \frac{1}{2}\,mv_f^2 - \frac{1}{2}\,mv_i^2 = KE_f - KE_i$$

إضاءة للمُعلّم / للمعلّمة

الطاقة الحركية للأجسام الجاهرية المتحركة تحسب باستخدام العلاقة $KE = \frac{1}{2}\,mv^2$. وعلى المستوى دون الجاهري، فإن متوسط الطاقة الحركية التي تمتلكها جسيمات الجسم، يعدّ مقياسًا لدرجة حرارة هذا الجسم.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **بناء الشخصية: المشاركة.**

أخبر الطلبة أنّ المشاركة إحدى مجالات بناء الشخصية، وأوضّح لهم أهمية المشاركة في الأنشطة والتجارب العملية والتجارب المخبرية، والتعاون مع الزملاء/ الزميلات.

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

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

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

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

أبحثُ:

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

المثال 5

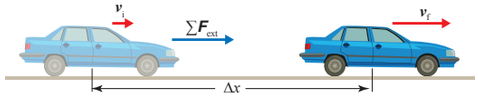
تتحرّك سيّارة كتلتها (8×10^2 kg) نحو الشرق على طريق أفقي بسرعة مقدارها (15 m/s). ضغط سائقها على دوّاسة الوقود كي يتجاوز سيّارة أخرى، بحيث أصبح مقدار سرعة السيارة (25 m/s) بعد قطعها إزاحة مقدارها (2×10^2 m) من لحظة ضغطه على الدوّاسة. أنظرُ إلى الشكل (19)، أحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . الطاقة الحركيّة الابتدائيّة للسيّارة.

ب. التغيّر في الطاقة الحركيّة للسيّارة خلال فترة الضغط على دوّاسة الوقود.

جـ. الشغل الكلّي المبذول على السيّارة خلال هذه الإزاحة.

د . القوّة المحصّلة الخارجية المؤثّرة في السيّارة.



الشكل (19): قوّة محصّلة خارجية تؤثّر في سيّارة تتحرّك نحو الشرق إزاحة مقدارها (Δx).

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

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

أبحثُ:

- أوضح للطلبة أنّ على السائق ترك مسافة أمان؛ تفصله عن السيارة التي أمامه، بحيث يتاح له الوقت الكافي للتوقف بأمان، عند توقف السيارة التي أمامه بصورة مفاجئة.
- أوجّه للطلبة الأسئلة الآتية، وأتقبل إجاباتهم:

– كيف تحدث استجابة السائق عند مشاهدته حدثًا يتطلب إيقاف السيارة؟ **إجابة محتملة:** يرسل الدماغ إشارة إلى القدم بالضغط على دوّاسة المكابح.

– ماذا يسمى الزمن المستغرق بين مشاهدة الحدث والاستجابة له؟ **إجابة محتملة:** زمن رد الفعل.

– ماذا تسمى المسافة التي تقطعها السيارة خلال زمن رد الفعل؟ **إجابة محتملة:** مسافة ردّ الفعل.

– هل تتوقف السيارة مباشرة بعد أن يضغط السائق على دوّاسة المكابح؟ **إجابة محتملة:** لا؛ ستقطع السيّارة مسافة قبل أن تتوقّف تسمّى «مسافة الفرملة».

- أوضح للطلبة أنّ مسافة التوقف تساوي مجموع مسافتي رد الفعل والفرملة.
- أوجه الطلبة إلى استخدام مصادر البحث المتاحة والموثوقة لجمع معلومات عن العوامل التي يعتمد عليها مقدار كلّ من مسافة ردّ الفعل ومسافة الفرملة، وإعداد عرض تقديمي يتضمن هذه العوامل.

مثال إضافي

في المثال (5)، إذا ضغط السائق على دوّاسة المكابح بدلًا من دواسة الوقود، وتوقفت السيارة بعد قطعها إزاحة مقدارها (1×10^2 m) من لحظة استخدام المكابح، فأحسب مقدار ما يأتي خلال فترة استخدام المكابح:

أ . التغيّر في الطاقة الحركية للسيّارة.

ب. الشغل الكلّي المبذول على السيّارة.

جـ. القوة المحصّلة الخارجية المؤثّرة في السيّارة.

الحل:

أ . الطاقة الحركية النهائية للسيارة تساوي صفرًا، ويحسب التغيّر في الطاقة الحركية كما يأتي:

$$\Delta KE = KE_f - KE_i = 0 - \frac{1}{2} mv_i^2$$

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

ب. الشغل الكلّي الذي بذلته القوة المحصلة الخارجية على السيارة خلال فترة تباطئها يساوي التغير في طاقتها الحركية خلال الفترة نفسها.

$$W_{\text{Total}} = \Delta KE = -9 \times 10^4 \text{ J}$$

جـ. $W_{\text{Total}} = \sum F \Delta x = \Delta KE = -9 \times 10^4$ J

$$\sum F = \frac{\Delta KE}{\Delta x} = \frac{-9 \times 10^4}{1 \times 10^2} = -9 \times 10^2 \text{ N}$$

الإشارة السالبة تعني أن اتجاه القوة المحصلة التي عملت على تباطؤ السيّارة يكون بعكس اتجاه حركتها.

✓ **أتحقّق:** تنصّ على أنّ: (الشغل الكلي المبذول على جسم يساوي التغير في طاقته الحركية). ويزداد مقدار سرعة جسم عندما يكون الشغل الكلي المبذول عليه موجبًا.

إضاءة للمُعلّم / للمعلّمة

الشغل الذي تبذله قوة محصّلة خارجية مؤثّرة في جسم يساوي التغيّر في طاقته الحركية، سواء أكانت القوة المحصّلة الخارجية المؤثرة في الجسم ثابتة أم متغيّرة.

◄ بناء المفهوم:

مبرهنة (الشغل–الطاقة الحركية).

- بحسب مبرهنة (الشغل–الطاقة الحركية)، فإنه عند بذل شغل على جسم تتغيّر طاقته الحركية.
- أنبّه الطلبة إلى أنّ المقصود بالشغل في هذه العلاقة هو الشغل الكلي المبذول على الجسم، والذي تبذله جميع القوى المؤثرة فيه.

الشغل عند سحب جسم بسرعة ثابتة.

- أوضّح للطلبة أنّه عند سحب جسم على سطح خشن بسرعة ثابتة، فإنّ القوة المحصّلة المؤثّرة فيه في اتجاه الحركة تساوي صفرًا.
- أبيّن للطلبة أنّ قوة السحب تبذل شغلًا موجبًا على الجسم، في حين تبذل قوة الاحتكاك شغلًا سالبًا عليه خلال إزاحته.
- أوضّح للطلبة أنّ الشغل الكلّي المبذول على الجسم (المجموع الجبري لشغل قوة السحب وشغل قوة الاحتكاك) يساوي صفرًا، ولا تتغيّر الطاقة الحركية للجسم.
- أوجّه الطلبة إلى أنّ القوة العمودية المؤثّرة في الجسم لا تبذل شغلًا عليه؛ لأنّ اتّجاهها يعامد اتّجاه الإزاحة.

الحلّ:

أ . أحسبُ الطاقة الحركيّة الابتدائية للسيّارة؛ باستعمال معادلة الطاقة الحركيّة، كما يأتي:

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

ب. أحسبُ التغيّر في الطاقة الحركيّة للسيّارة، كما يأتي:

$$\Delta KE = KE_f - KE_i = \frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2$$
$$\Delta KE = \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2)$$
$$= \frac{1}{2} \times 8 \times 10^2 \times [(25)^2 - (15)^2]$$
$$= 4 \times 10^2 \times [400]$$
$$= 1.6 \times 10^5 \text{ J}$$

جـ. السيّارة تتحرّك على طريق أُفقي، وشُغل القوّة المحصّلة غيّر مقدار سرعتها؛ لذا، فإنّ الشغل الكلّي الذي بذلته القوّة المحصّلة الخارجية على السيارة يساوي التغيّر في طاقتها الحركيّة، حسب مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركيّة).

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

د. أستعملُ مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركيّة).

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

تمرين

أستعملُ المتغيّرات: سيّارة مخصّصة للسير على الرمال كتلتها (600 kg)، تتحرّك بسرعة مقدارها (28 m/s) في مسار أُفقي، أنظرُ إلى الشكل (20). أثّرت فيها قوّة محصّلة خارجية لفترة زمنية مقدارها (5 s) عملت على تباطؤها بمقدار (1.6 m/s^2). أحسبُ مقدار:

أ . الطاقة الحركيّة النهائية للسيّارة.

ب. التغيّر في الطاقة الحركيّة للسيارة خلال فترة تأثير القوّة المحصّلة الخارجية.

جـ. شغل القوّة المحصّلة الخارجية المبذول على السيّارة، خلال فترة تأثير هذه القوّة.

الشكل (20): سيّارة مخصّصة للسير على الرمال.

تمرين

أ . لحساب الطاقة الحركية النهائية للسيارة يلزم معرفة سرعتها النهائية.

$$v_f = v_i + at$$
$$= 28 + (-1.6) \times 5$$
$$= 20 \text{ m/s}$$

ثم أحسب الطاقة الحركية النهائية:

$$KE_f = \frac{1}{2} mv_f^2$$
$$= \frac{1}{2} \times 6 \times 10^2 \times (20)^2$$
$$= 1.2 \times 10^5 \text{ J}$$

ب.

$$\Delta KE = KE_f - KE_i = 1.2 \times 10^5 - \frac{1}{2} mv_i^2$$
$$\Delta KE = 1.2 \times 10^5 - \frac{1}{2} \times 6 \times 10^2 \times (28)^2$$
$$= 1.2 \times 10^5 - 2.352 \times 10^5$$
$$= -1.152 \times 10^5 \text{ J}$$

جـ. شغل القوة المحصلة الخارجية المبذول على السيارة خلال فترة تباطئها يساوي التغير في طاقتها الحركية خلال الفترة نفسها.

$$W_{Total} = \Delta KE = -1.152 \times 10^5 \text{ J}$$

الطاقة الكامنة (طاقة الوضع) Potential Energy

هي طاقةٌ مختزنة في نظام يتكوّن من جسمين أو أكثر، وتأخذ أشكالًا مختلفة؛ فقد تكون نتيجة موقع جسم بالنسبة إلى سطح الأرض، فتُسمّى طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبيّة الأرضية. أو نتيجة موقع جسم مشحون بالنسبة إلى جسم مشحون آخر وتُسمّى طاقة الوضع الكهربائيّة، وسنلقي الضوء في هذا الدرس على طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبيّة الأرضيّة.

طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبيّة الأرضيّة
Gravitational Potential Energy

عند رفع جسم إلى الأعلى مثل الجسم المُبيّن في الشكل (21)؛فإنّ الأرض والجسم يشكّلان نظامًا يسمّى نظام (الجسم- الأرض). يختزن النظام طاقة وضع تُسمّى **طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبيّة الأرضيّة Gravitational Potential Energy**، ورمزها (PE). وتعرف بأنّها الطاقة المختزنة في نظام (الجسم – الأرض) نتيجة موقع الجسم في مجال الجاذبيّة الأرضيّة. ونشير –هنا– أنّه عند دراسة نظام مكوّن من جسم والأرض؛ وللتسهيل؛ فإنّنا نُعبّر عن طاقة وضع النظام (الجسم – الأرض) بطاقة وضع الجسم، ونمثّلها بالعلاقة الآتية:

$$PE = mg\,y$$

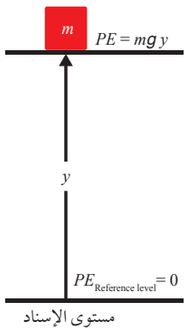
حيث (m) كتلة الجسم، (g) تسارع السقوط الحرّ، (y) الارتفاع الرأسيّ للجسم عن مستوى الإسناد؛ وهو مستوًى مرجعيّ اختياريّ تكون طاقة الوضع عنده صفرًا، وعادةً نختار سطح الأرض مستوى إسناد. وبافتراض أنّ تسارع السقوط الحرّ ثابت تقريبًا قرب سطح الأرض؛ فإنّ طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبيّة الأرضيّة تعتمد على كتلة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

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

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

حيث ($\Delta y = y_f - y_i$).

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



الشكل (21): طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية.

أوجّه الطلبة إلى تصميم عرض تفاعلي يوضح طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية، باستخدام برنامج السكراتش (Scratch)، ثمّ أوجّههم إلى مشاركته أو عرضه أمام الزملاء/ الزميلات في الصفّ.

نشاط سريع

- أنبّه الطلبة إلى وجوب ارتداء النظّارات الواقية.
- أطلب إلى أحد الطلبة حمل كرة، ثم تركها تسقط على الأرض، وملاحظة ما يحدث.
- أطلب إلى طالب/ طالبةٍ شدّ شريط مطاطي، ثم إفلاته، وملاحظة ما يحدث.
- أطلب إلى ثالث/ ثالثة تقريب قطبي مغناطيس متماثلين، ثم تركهما، وملاحظة ما يحدث.
- أناقش الطلبة في مشاهداتهم، للتوصّل معهم إلى أنّه: توجد طاقة مختزنة في كل من الأنظمة السابقة؛ ظهرت عند تحوّلها إلى أشكال أخرى من أشكال الطاقة.
- أطلب إلى الطلبة ذكر أمثلة أخرى على الطاقة الكامنة. **إجابة محتملة:** طاقة وضع كهربائية، طاقة كيميائية،...

بناء المفهوم:

طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية والشغل.

- أراجع الطلبة في تعريف الشغل، ثم أوجّه انتباههم إلى الشكل (21)، ثم أسألهم:

– ما مقدار الشغل المبذول لرفع الصندوق رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ثابتة؟ يساوي ناتج الضرب القياسي لوزن الجسم والإزاحة الرأسية التي قطعها؛ ($W = F_g \Delta y$).

– ماذا يحدث لهذا الشغل المبذول على الصندوق؟ يختزن في الجسم على شكل طاقة كامنة تسمّى طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية (PE).

– لماذا يلزم اختيار مستوى إسناد؟ **إجابة محتملة:** مستوى الإسناد مستوى مرجعي اختياري نفترض أنّ طاقة الوضع عنده تساوي صفرًا، ويلزم تحديده عند حل مسألة لكي نحسب طاقة وضع الجسم بالنسبة إليه.

إضاءة للمُعلّم / للمعلّمة

تأخذ الطاقة الكامنة أشكالًا مختلفة، من أهمها:

1. **طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية:** الطاقة المختزنة في جسم نتيجة موقعه بالنسبة إلى سطح الأرض.
2. **طاقة الوضع المرونية:** الطاقة المختزنة في جسم نتيجة مرونته، ومن أمثلتها الطاقة المختزنة في النابض، والقوس، والزانة، وغيرها.
3. **الطاقة الكيميائية:** الطاقة المختزنة في الروابط بين الذرات أو الجزيئات، وهذه الروابط تسلك سلوك النوابض، تختزن الطاقة. في بعض المواد، مثل الوقود والمتفجرات، يمكن تحرير الطاقة المختزنة في الروابط، وتحويلها إلى أشكال أخرى.
4. **الطاقة النووية:** تختزن الطاقة في نواة الذرة في روابط قوية للغاية بين مكونات النواة.

معلومة إضافية

تستخدم النوابض في السيارات؛ لتخفيف أثر اصطدامها بالأرض عند مرورها فوق الحفر والطرق الوعرة. وتستخدم نوابض صغيرة في سيارات ألعاب الأطفال، لتخزين الطاقة المرونية، ثم تحويلها إلى طاقة حركية لتحريك السيارة اللعبة.

◄ استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (22)، وأوضّح لهم أنّ قوة الجاذبية الأرضية تبذل شغلًا على الأجسام عندما تتحرّك في مجالها وتقطع إزاحة رأسية في أثناء حركتها. وبما أنّ اتجاه قوة الجاذبية الأرضية دائمًا إلى أسفل، فإنها تبذل شغلًا موجبًا على الأجسام المتحركة في مجالها إلى أسفل، في حين تبذل شغلًا سالبًا عند حركة هذه الأجسام إلى أعلى. أسأل الطلبة:

- هل بذلت قوة الجاذبية الأرضية شغلًا موجبًا أم سالبًا على الصندوق في الشكل (22/ أ)؟ لماذا؟ بذلت شغلًا سالبًا؛ لأنّ قوة الجاذبية الأرضية تؤثّر بعكس اتجاه الإزاحة:

$$W_g = F_g d \cos 180^\circ = -F_g d$$

- هل التغير في طاقة وضع الصندوق موجب أم سالب؟ موجب.

$$\Delta PE = PE_f - PE_i > 0$$

- هل بذلت قوة الجاذبية الأرضية شغلًا موجبًا أم سالبًا على الكرة في الشكل (22/ ب)؟ لماذا؟ بذلت شغلًا موجبًا؛ لأنّ قوة الجاذبية الأرضية تؤثّر باتجاه الإزاحة الرأسية:

$$W_g = F_g d \cos 0^\circ = F_g d$$

- هل التغير في طاقة وضع الكرة موجب أم سالب؟ سالب.

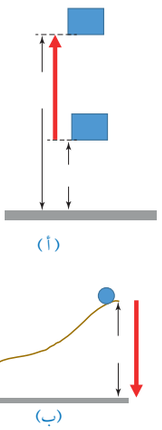
$$\Delta PE = PE_f - PE_i < 0$$

- ما العلاقة بين شغل قوة الجاذبية الأرضية المبذول على جسم والتغيّر في طاقة وضعه الناشئة عن الجاذبية الأرضية؟ شغل قوة الجاذبية الأرضية المبذول على جسم يساوي سالب التغيّر في طاقة وضعه الناشئة عن الجاذبية الأرضية.

- علام يعتمد شغل قوة الجاذبية الأرضية المبذول على جسم لتحريكه بين موقعين في مجال الجاذبية الأرضية؟ يعتمد فقط على التغيّر في الارتفاع الرأسي بين الموقعين.

✓ **أتحقّق:** طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية هي الطاقة المختزنة في نظام (جسم – الأرض) نتيجة موقع الجسم في مجال الجاذبية الأرضية، ورمزها PE، ويعبّر عنها بالعلاقة: $PE = mgy$.

ويلزم مستوى إسناد لحسابها؛ لأنه يلزم تحديد ارتفاع الجسم الرأسي (y) عن مستوى الإسناد، الذي تُعَدّ (اصطلاحًا) طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية لأي جسم عنده تساوي صفرًا.



الشكل (22):

أ . تزداد طاقة الوضع للجسم عندما يتحرّك إلى الأعلى.

ب. تقلُّ طاقة الوضع للجسم عندما يتحرّك إلى الأسفل.

وبالاعتماد على هذه العلاقة؛ نستنتج أنّه عندما يتحرّك الجسم إلى الأعلى، كما في الشكل (22/ أ)، فإنّ ($\Delta y > 0$)؛ لذا فإنّ التغيُّر في طاقة وضعه يكون موجبًا. بينما عندما يتحرّك الجسم إلى الأسفل، كما في الشكل (22/ ب)، فإنّ ($\Delta y < 0$)؛ لذا يكون التغيُّر في طاقة وضعه سالبًا، كذلك فإنّ التغيُّر في طاقة الوضع لا يعتمد على شكل المسار الذي يسلكه الجسم؛ بل يعتمد فقط على التغيُّر في الارتفاع الرأسيّ للجسم .

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

شغل قوة الجاذبية الأرضية Work Done by The Force of Gravity

تؤثّر قوّة الجاذبيّة الأرضيّة في الأجسام جميعها، ويكون اتّجاهها دائمًا رأسيًّا لأسفل. وعندما يتحرّك جسم إلى الأعلى كما في الشكل (22/ أ)، ويقطع إزاحة رأسية مقدارها (Δy)؛ فإنّ قوّة الجاذبيّة الأرضيّة (mg) تبذل عليه شغلًا سالبًا؛ لأن اتّجاه القوة بعكس اتّجاه الإزاحة، ويمكن التعبير عن شغل قوّة الجاذبيّة الأرضيّة في هذه الحالة بالعلاقة:

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

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

$$W_g = -\Delta PE$$

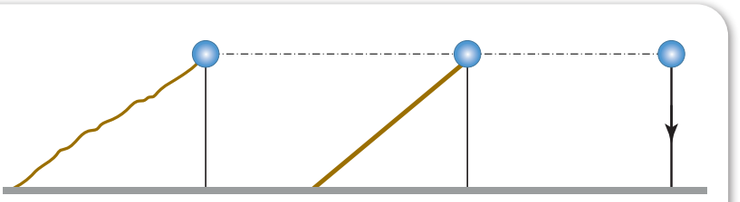
يمكن تعميم هذه النتيجة مهما كان شكل المسار الذي يسلكه الجسم؛ فشغل قوّة الجاذبيّة الأرضيّة (الوزن) يساوي دائمًا سالب التغيُّر في طاقة الوضع، وهذا يعني أنّه عند تحريك جسم بين موقعين في مجال الجاذبية الأرضيّة؛ فإنّ شغل قوة الجاذبية الأرضيّة يعتمد فقط على التغيُّر في الارتفاع الرأسيّ بين النقطتين.

◄ التعزيز:

- يساعد رسم مخطّط الجسم الحرّ الطلبة على تحديد القوى المؤثرة في الجسم، وتحديد أيّ هذه القوى يبذل شغلًا موجبًا وأيّها يبذل شغلًا سالبًا بعد تحديد اتجاه حركة الجسم.

- أرسم كرة على اللوح، في أثناء صعودها، وفي أثناء هبوطها، ثم أطلب إلى كلّ طالب/ طالبة رسم مخطّط الجسم الحرّ لها في كل حالة، وتحديد القوة/ القوى المؤثرة فيها واتجاه الحركة. تؤثر في الكرة قوة الجاذبية الأرضية في الحالتين: في أثناء الصعود وفي أثناء الهبوط.

- أسأل الطلبة: متى تبذل قوة الجاذبية الأرضية شغلًا موجبًا ومتى تبذل شغلًا سالبًا؟ **إجابة محتملة:** تبذل شغلًا سالبًا في أثناء حركة الكرة إلى أعلى، وتبذل شغلًا موجبًا في أثناء حركة الكرة إلى أسفل.

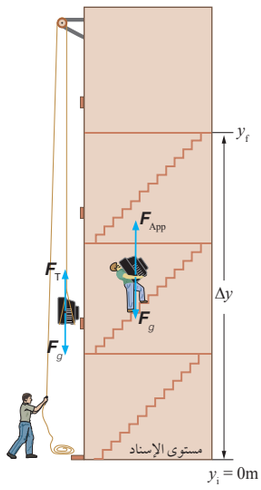


الشكل (23): الأجسام الثلاثة متساوية في الكتلة، وبدأت حركتها من السكون من الارتفاع نفسه؛ لذا تبذل قوة الجاذبيّة الأرضيّة عليها الشغل نفسه، على الرغم من تحرّكها عبر مسارات مختلفة.

فمثلًا، تبذل قوّة الجاذبيّة الأرضيّة على الأجسام الثلاثة المبينة في الشكل (23) الشغل نفسه بالرغم من أنها تتحرّك على مسارات مختلفة، لأنّ المسارات الثلاثة لها الارتفاع نفسه.

يُحسب الشغل المبذول لنقل جسم بين موقعين مختلفين في الارتفاع في مجال الجاذبية الأرضيّة من دون تغيير طاقته الحركيّة؛ بمعرفة التغيّر في طاقة وضعه الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة؛ لأنّه أسهل بكثير من حسابه باستعمال معادلة الشغل، وبخاصّة عند حركة الجسم في مسارات متعرّجة. من أجل ذلك، أنظرُ إلى الشكل (24) الذي يُبيّن رفع صندوق إلى أعلى بطريقتين: الأولى عبر مسار متعرّج (الدرج)، والثانية: رفعه رأسيًّا إلى أعلى بحبل. إنّ الشغل المبذول في الحالتين هو نفسه؛ لذا، أجد علاقة لحساب الشغل بدلالة التغيّر في طاقة وضع الصندوق كما يأتي:

لرفع الصندوق رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ثابتة بحبل، يلزمني التأثير فيه بقوّة شد (قوّة خارجية) إلى أعلى، تساوي وزنه في المقدار وتُعاكسه في الاتّجاه، إذ يُعطى مقدار شغل القوّة الخارجية عليه بالعلاقة ($W_F = \Delta PE$).



الشكلُ (24): التغير في طاقة وضع الصندوق بين الموقعين (y_i) و (y_f) لا يعتمد على المسار الذي يسلكه الجسم بينهما.

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

بناء المفهوم:

الشغل وطاقة الوضع.

- أوجّه انتباه الطلبة إلى الشكل (24)، ثمّ أوضّح لهم أنّه في أثناء صعود الشخص الدرج إلى أعلى المبنى فإنّه يبذل شغلًا موجبًا، في حين تبذل قوة الجاذبية الأرضية شغلًا سالبًا عليه، ويكون التغير في طاقة وضعه الناتج عن صعوده الدرج يساوي ($mg\Delta y$) سواء استخدم الدرج أم مصعدًا كهربائيًّا. أما عند نزوله الدرج فيكون التغيّر في طاقة وضعه ($-mg\Delta y$).

✓ **أتحقّق:** شغل قوة الجاذبية الأرضية المبذول على جسم يساوي دائمًا سالب التغير في طاقة وضع الجسم الناشئة عن الجاذبية الأرضية.

المناقشة:

- أطلب إلى الطلبة دراسة الشكل (23)، ثم أسألهم:

– قارن/ قارني بين التغيّر في طاقة الوضع للكرات الثلاث.

الكرات الثلاث متساوية في الكتلة، ولها الارتفاع الابتدائي نفسه، والارتفاع النهائي نفسه؛ لذا تتساوى في التغير في طاقة الوضع.

– قارن/ قارني بين مقادير الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية على الكرات.

بما أن التغيّر في طاقة الوضع متساوٍ للكرات الثلاث فإن قوة الجاذبية الأرضية تبذل عليها الشغل نفسه.

– هل يؤثّر شكل المسار المتعرّج في مقدار شغل قوة الجاذبية الأرضية؟ لماذا؟

لا يؤثر شكل المسار في شغل قوة الجاذبية الأرضية؛ لأنه يعتمد على الموقعين: الابتدائي، والنهائي لكل كرة.

- أستمع لإجابات الطلبة، ثم أناقشهم فيها للتوصل إلى الإجابة الصحيحة.

استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (24)، الذي يوضّح رفع الصندوق نفسه بين الموقعين أنفسهما بسرعة ثابتة بطريقتين؛ الأولى باستخدام الدرج، والثانية رأسيًّا إلى أعلى، ثم أسأل الطلبة ما يأتي:

– ما العلاقة بين مقداري التغيّر في طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية للصندوق في الحالتين؟

الموقع الابتدائي للصندوق (y_i) هو نفسه في الحالتين، وكذلك موقعه النهائي (y_f)؛ لذا يكون التغيّر في طاقة الوضع (ΔPE) متساويًا في الحالتين.

– ما العلاقة بين مقداري الشغل المبذول على الصندوق في الحالتين؟ لماذا؟ متساويان؛ لأن الشغل المبذول على الصندوق يساوي ($-\Delta PE$)، وهو متساوٍ في الحالتين.

– هل الشغل الذي بذله الشخص على الصندوق موجب أم سالب؟ لماذا؟ موجب؛ لأن اتجاه قوته في اتجاه الإزاحة نفسه.

– هل الشغل الذي بذلته قوة الجاذبية الأرضية على الصندوق موجب أم سالب؟ لماذا؟ سالب؛ لأن اتجاه قوة الجاذبية الأرضية بعكس اتجاه الإزاحة.

مثال إضافي

يرفع عامل بناء الطوب بسرعة ثابتة من سطح الأرض إلى سطح بناية ارتفاعه (7 m) عن سطح الأرض. إذا علمت أنّ كتلة الطوب الذي رفعه (20 kg)، وتسارع السقوط الحرّ ($10\ m/s^2$)، فأحسب ما يأتي:

أ . التغيّر في طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية للطوب.

ب. الشغل الذي بذلته قوة الجاذبية الأرضية في أثناء رفع الطوب.

جـ. الشغل الذي بذله العامل على الطوب.

الحل:

أ . أختار سطح الأرض مستوى إسناد، وأحسب التغيّر في طاقة الوضع للطوب كما يأتي:

$$\Delta PE = mg\Delta y = 20 \times 10 \times (7 - 0)$$
$$= 1400\ J$$

ب. لحساب شغل قوة الجاذبية الأرضية في أثناء رفع الطوب:

$$W_g = -\Delta PE$$
$$= -1400\ J$$

جـ. أستخدم مبرهنة (الشغل-الطاقة الحركية) لحساب شغل العامل:

$$W_{Tot} = \Delta KE = 0$$
$$W_F + W_g = 0$$
$$W_F = -W_g = 1400\ J$$

المثال 6

في الشكل (24)، إذا كانت كتلة الصندوق (10 kg)، ورفعتُه رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ثابتة من سطح الأرض إلى ارتفاع (9 m) عنه، فأحسبُ مقدار ما يأتي علمًا بأنّ تسارع السقوط الحر ($10\ m/s^2$):

أ . التغيُّر في طاقة وضع الصندوق الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة عند رفعه من سطح الأرض إلى أقصى ارتفاع.

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

جـ. الشغل الذي بذلته قوّة الشدّ (W_T) لرفع الصندوق من سطح الأرض إلى أقصى ارتفاع.

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

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

الحلّ:

أختار سطح الأرض مستوى إسناد لطاقة الوضع.

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

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

ب. أحسبُ الشغل الذي بذلته قوّة الجاذبيّة الأرضيّة باستخدام العلاقة:

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

جـ. لحساب الشغل الذي بذلته قوّة الشدّ في رفع الصندوق بسرعةٍ ثابتة؛ يمكنني استخدام مبرهنة الشغل والطاقة:

$$W_{Total} = \Delta KE = 0$$

لأنّ الصندوق تحرّك بسرعة ثابتة. أمّا الشغل الكلي (W_{Total}) فيساوي مجموع الشغل الذي بذلته قوة الوزن (W_g)، والشغل الذي بذلته قوّة الشدّ (W_{F_T})؛ أي أنّ:

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

وبذلك فإنّ $W_T = 900\ J$.

التعزيز:

- أستخدم **استراتيجية التفكير الناقد**، وأوزّع الطلبة في مجموعات غير متجانسة.
- أكتب العبارة الآتية على اللوح: "شغل القوة الخارجية المبذول على الصندوق لرفعه من موقعه الابتدائي إلى موقعه النهائي بسرعة ثابتة باستخدام الدرج أكبر من الشغل المبذول عليه عند رفعه رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ثابتة".
- أطلب إلى كل مجموعة مناقشة صحّة هذه العبارة، واتخاذ رأي واحد لكل مجموعة، ثم تبرر كل مجموعة رأيها أمام المجموعات الأخرى.
- أشجّع الطلبة على المشاركة في المناقشة، وأدير دفّة الحوار بينهم.
- أتقبّل إجابات الطلبة جميعها، وأناقشهم فيها للتوصّل إلى الإجابة الصحيحة.

الإجابة الصحيحة: العبارة غير صحيحة علميًّا؛ فشغل القوة الخارجية المبذول على الصندوق بين الموقعين الابتدائي والنهائي متساوٍ في الحالتين ولا يعتمد على شكل المسار بينهما؛ فطاقة الوضع الابتدائية هي نفسها في الحالتين، وكذلك طاقة الوضع النهائية؛ لذا يكون الشغل المبذول على الصندوق $(W = \Delta PE = mg\Delta y)$.

تمرين

أستنتجُ: إصّيص أزهار كتلته (800 g)، سقط من السكون من ارتفاع (250 cm) عن سطح الأرض. أحسبُ مقدار ما يأتي، علمًا بأنّ تسارع السقوط الحر ($10\ m/s^2$):

أ. طاقة وضعه الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة لحظة سقوطه.

ب. التغيّر في طاقة وضعه الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة.

جـ. شغل قوّة الجاذبية الأرضيّة المبذول على الإصّيص.

الربط بالحياة

تُصدر مديريّتا الأمن العامّ والدفاع المدني نشرات توعوية وتحذيرات للمواطنين عند تأثّر المملكة بمنخفض جوي، وبخاصّة عندما يكون مصحوبًا برياح سرعتها كبيرة، تُحذّرهم من خطر تطاير بعض الأجسام غير المثبّتة -ألواح الزينكو مثلًا- نتيجة هذه الرياح، وتطلب إليهم تثبيتها جيّدًا. فالرياح لها طاقة حركية تُمكّنها من بذل شغل على الأجسام التي تصطدم بها. وعندما تكون سرعة الرياح كبيرة؛ فإنّها قد تُلحق أضرارًا كبيرة بهذه الأجسام وتُسبّب تطايرها، كما قد تؤدّي هذه الرياح إلى اقتلاع الأشجار والخِيَم والبيوت الزراعية البلاستيكية، كما أنّها تؤثّر سلبًا في الملاحة البحرية والجوية، أنظرُ إلى الشكل (25).

إنّ قيادة المركبات في أثناء هبوب هذه الرياح ذات السرعة الكبيرة فيها خطورة أيضًا، وبخاصّة إذا كان اتّجاه حركة الرياح عرضي على الطريق، إذ يصعب عندئذ قيادة السيارة والسيطرة عليها وتوجيهها، وقد تؤدّي هذه الرياح إلى انحراف السيارة عن الطريق وفقدان السيطرة عليها.

لذا، يجب أخذ هذه التحذيرات والإرشادات في الحسبان، وتثبيت أيّ جسم قابل للتطاير جيّدًا؛ كي لا نؤذي الآخرين نتيجة تطايرها، وعدم قيادة المركبات إلّا في حالة الضرورة القصوى في مثل هذه الظروف الجوّية.

(أ)

(ب)

(جـ)

الشكل (25):

(أ) للرياح طاقة حركية تزداد بزيادة سرعتها.

(ب) قد تُمكّنها من اقتلاع الأشجار في حال كانت سرعتها كبيرة.

(جـ) وإلحاق الضرر في الأجسام التي تعترض طريقها.

أبحثُ:

للرياح آثار إيجابية وأُخرى سلبية حسب سرعتها وطبيعة المنطقة التي تعصف بها. أبحثُ في بعض هذه الآثار الإيجابية والآثار السلبية غير التي ذُكرت هنا، وأُعدُّ عرضًا تقديميًّا أعرضه أمام طلبة الصفّ.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: التنبؤ.**

أوضّح للطلبة أنّ التنبّؤ العلمي المبني على الملاحظة يعدّ من طرائق المعرفة العلمية، وأنّ أهميته تتمثّل في اكتساب المعرفة في الحالات التي تصعب فيها الملاحظة، أو إجراء القياس العلمي. وللتنبؤ الجوي دور مهمّ في حياتنا اليومية؛ إذ يترتّب عليه اتّخاذ قرارات متعددة في ما يتعلّق بالأنشطة على مستوى الفرد أو الوطن.

توظيف التكنولوجيا

أبحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع مرئية (فيديوهات) توضح الأضرار التي قد تحدثها الرياح نتيجة سرعتها الكبيرة، علمًا أنّه يمكنني إعداد عروض تقديمية تتعلّق بموضوع الدرس. أشارك الطلبة في هذه المواد التعليمية عن طريق صفحة المدرسة الإلكترونية، أو باستخدام أحد التطبيقات المناسبة، أو استعمال أيّ وسيلة تكنولوجية مناسبة بمشاركة الطلبة وذويهم.

تمرين

أ. أختار سطح الأرض مستوى إسناد لطاقة الوضع، وأحسب طاقة الوضع الابتدائية للأصيص:

$$PE_i = mgy_i$$
$$= 0.8 \times 10 \times 2.5 = 20\ J$$

ب. التغير في طاقة الوضع:

$$\Delta PE = PE_f - PE_i$$
$$= mg\,(y_f - y_i)$$
$$= 0.8 \times 10 \times (0 - 2.5) = -20\ J$$

جـ. شغل قوة الجاذبية الأرضية المبذول على الأصيص يساوي سالب التغير في طاقة وضعه.

$$W_g = -\Delta PE$$
$$= -(-20) = 20\ J$$

الربط بالحياة

أوجّه الطلبة إلى قراءة موضوع (الربط بالحياة)، مع الانتباه إلى الشكل (25)، ثم أسألهم: لماذا نثبّت الأجسام القابلة للتطاير عند تأثّر المملكة بمنخفض جوّي مصحوب برياح سرعتها كبيرة؟ لحماية المواطنين من خطر تطاير هذه الأجسام غير المثبّتة (ألواح الزينكو مثلًا).

أبحثُ:

- أوجه الطلبة إلى البحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة والمتاحة عن آثار الرياح.
- أوضّح للطلبة أن للرياح آثارًا إيجابية وأخرى سلبية؛ أذكر منها:

الآثار الإيجابية: تعد الرياح منظّمًا للغلاف الجوي، وبسببها يحدث الكثير من الظواهر الجوية؛ فهي تعمل على موازنة درجات الحرارة والرطوبة والضغط الجوي بين مكان وآخر. وهي مهمة لنقل حبوب اللقاح بين الأزهار، ونقل البذور. وتمتلك طاقة حركية تمكّن الإنسان من الإفادة منها، خاصة في مجال توليد الطاقة الكهربائية.

الآثار السلبية: دورها في التلوث البيئي سواء أكان بالعوامل الطبيعية (العواصف الترابية مثلًا)، أو تلوث كيماوي (نقلها الغازات والأدخنة). ولها تأثير سلبي على المحاصيل الزراعية في المناطق التي تتعرض باستمرار للرياح الشديدة. وتعمل الرياح الشديدة السرعة ولا سيما في المناطق الجافة على تعرية التربة وتكوين الكثبان الرملية.

المناقشة:

- أرسم شكلًا يبيّن عددًا من المواقع لكرة قُذفت رأسيًا للأعلى، ثم عادت للأرض، وأكتب عند كل موقع طاقة الوضع والطاقة الحركية، والطاقة الميكانيكية في مرحلتي الصعود والهبوط، ثم أسأل الطلبة:

– ما المقصود بالطاقة الميكانيكية؟ هي مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع لجسم أو نظام.

– ماذا يعني حفظ الطاقة الميكانيكية؟ أن يبقى مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع لجسم أو نظام مساويًا لمقدار ثابت.

– ما نوعا القوى اللذان سنتعرّفهما هنا؟ قوى محافظة، وقوى غير محافظة.

– للقوى المحافظة خصيصتان، من يذكرهما؟

- شغلها المبذول لتحريك جسم بين أيّ موقعين لا يعتمد على المسار الذي يسلكه الجسم بينهما.
- شغلها المبذول لتحريك جسم عبر مسار مغلق يساوي صفرًا.

– اذكر/ اذكري بعض الأمثلة على قوى محافظة. قوة الجاذبية الأرضية، القوة المرونية، القوة الكهربائية.

نشاط سريع

- أوزّع الطلبة في مجموعات، وأحضر خيطًا خفيفًا، وكرة فلزية أو كرة معجون، وحاملًا فلزّيًّا، ومسطرة مترية. أعمل بندولًا بسيطًا كما يأتي: أعلق الكرة الفلزية باستخدام الخيط بالحامل الفلزّي. أثبّت المسطرة المترية رأسيًّا على سطح الطاولة، ثم أسحب ثقل البندول جانبيًّا إلى ارتفاع محدّد تشير إليه المسطرة المترية مع الانتباه إلى بقاء الخيط مشدودًا، ثم أطلب إليهم وضع فرضيات حول حركة البندول عند إفلات ثقله، وإلى الارتفاع الذي يصله عند عودته إلى نقطة إفلاته.
- أناقش فرضيات الطلبة وأتقبل إجاباتهم، على أن يشارك جميع الطلبة في النقاش، وأتجوّل بين المجموعات لتقديم المساعدة وتصحيح المفاهيم غير الصحيحة لديهم.

يتأرجح البندول ذهابًا وإيابًا حول موضع اتزانه (أدنى نقطة في مساره)، ويصل إلى الارتفاع نفسه تقريبًا عند عودته إلى نقطة إفلاته نتيجة حفظ الطاقة الميكانيكية، بإهمال ضياع جزء قليل من الطاقة نتيجة الاحتكاك مع الهواء ونقطة التعليق.

أوجّه الطلبة إلى عمل مقطع مرئي (فيلم) قصير باستخدام برنامج صانع الأفلام (Movie maker) يوضّح الطاقة الميكانيكية وحفظها، والتحول بين طاقتي الوضع والحركة، ويشتمل على مقارنة بين القوى المحافظة والقوى غير المحافظة، والشغل الذي تبذله، وعلى أمثلة توضيحية، مدعمًا بالشروح الصوتية، ثم أنظم عرضها أمام الزملاء/ الزميلات في الصفّ.

✓ **أتحقّق:** الطاقة الميكانيكية لجسم هي مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع، ويعبر عنها بالمعادلة الآتية: $ME = KE + PE$

الطاقة الميكانيكية Mechanical Energy

عرفتُ أنّ جسمًا يُمكن أن يكون له طاقة حركية (KE) أو طاقة وضع (PE) أو كلاهما. يُسمّى مجموع الطاقة الحركيّة وطاقة الوضع **الطاقة الميكانيكية** **Mechanical Energy** (ME)، ويُعبّر عنها بالمعادلة الآتية:

$$ME = KE + PE$$

أعدّ فيلمًا قصيرًا باستعمال برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضّح الطاقة الميكانيكية وحفظها، وأحرص على أن يشتمل الفيلم على توضيح التحوّل بين طاقة الوضع وطاقة الحركة، وعلى مقارنة بين القوى المحافظة والقوى غير المحافظة، وعلى مفهوم كلّ من: حفظ الطاقة الميكانيكية، وشغل القوى المحافظة، وشغل القوى غير المحافظة، وعلى صور لأمثلة توضيحية، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.

حفظ الطاقة الميكانيكية Conservation of Mechanical Energy

عندما تتحرّك كرة قريبًا من سطح الأرض، يكون مجموع الطاقة الحركيّة وطاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية لنظام (الكرة – الأرض) محفوظًا عند إهمال مقاومة الهواء، ويساوي مقدارًا ثابتًا، حيث:

$$ME = KE + PE = \text{constant}$$

وبتغيّر ارتفاع الكرة عن سطح الأرض، تتحوّل طاقة الوضع إلى طاقة حركية عند حركتها إلى أسفل (نحو الأرض)، أو تتحوّل الطاقة الحركية إلى طاقة وضع عند حركتها إلى أعلى، بينما تبقى الطاقة الميكانيكية ثابتة ما دامت الكرة تتحرّك تحت تأثير قوّة الجاذبية الأرضيّة فقط.

✓ **أتحقّق:** ما الطاقة الميكانيكية لجسم؟

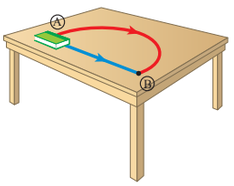
القوى المحافظة والقوى غير المحافظة
Conservative and Nonconservative Forces

تُصنّف القوى إلى قوى محافظة وقوى غير محافظة. وللقوّة المحافظة خصيصتان، هما:

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

وعندما تعيق قوّة محافظة حركة جسم تزداد طاقة وضعه، أما عندما تُحرّك القوّة المحافظة الجسم فتقلّ طاقة وضعه. وتُعدّ قوّة الجاذبية الأرضيّة والقوّة المرونية والقوّة الكهربائيّة أمثلة على القوى المحافظة.

وتُعدّ أيّ قوّة لم تُحقّق خصيصتَي القوى المحافظة السابقتين قوّة غير محافظة، إذ يعتمد شغلها على المسار. وعندما تؤثّر قوى غير محافظة في نظام وتبذل شغلًا عليه؛ فإنّها تعمل على تغيير طاقته الميكانيكية. ويوضّح الشكل (26) اعتماد شغل القوّة غير المحافظة على المسار؛ فالشغل الذي تبذله قوّة الاحتكاك الحركي في أثناء حركة الكتاب بين الموقعين (A) و (B) على سطح الطاولة الأفقي الخشن، يكون أكبر عبر المسار المنحني؛ لأنّه أطول من المسار المستقيم؛ لذا، لا تُعدّ قوّة الاحتكاك قوّة محافظة. وخلافًا للقوى المحافظة فإنّ شغل قوّة الاحتكاك لا يُختزن، بل يتحوّل جزء كبير منه إلى طاقة حرارية. وتُعدّ قوّة الاحتكاك الحركي وقوّة الشدّ، أمثلة على القوى غير المحافظة.



الشكل (26): يعتمد شغل القوّة غير المحافظة على المسار.

للتوصّل إلى علاقة رياضية لحفظ الطاقة الميكانيكية؛ أدرس حركة جسم تحت تأثير قوّة محافظة فقط. يوضّح الشكل (27) نظامًا يتكوّن من كرة والأرض، إذ تسقط الكرة سقوطًا حرًّا تحت تأثير قوّة الجاذبية الأرضيّة فقط عند إهمال مقاومة الهواء، وسأدرس شغل قوّة الجاذبية الأرضيّة على الكرة.

أُمسك الكرة على ارتفاع (y_i) بالنسبة إلى سطح الأرض، فتكون الطاقة الميكانيكية للكرة عند أقصى ارتفاع فقط طاقة وضع ناشئة عن الجاذبية، حيث الطاقة الحركية الابتدائية لها صفر؛ لأنّها ساكنة. بعد إفلات الكرة تسقط إلى أسفل، فتزداد طاقتها الحركية، بينما تقلّ طاقة وضعها، وعند وصول الكرة إلى الموقع النهائي (y_f) تكون قوّة الجاذبية الأرضيّة قد بذلت عليها شغلًا يُعطى بالعلاقة:

$$W_g = -\Delta PE$$

إنّ قوّة الجاذبية الأرضيّة قوّة محافظة، وهي تساوي القوّة المحصّلة المؤثّرة في الكرة في أثناء سقوطها، وبتطبيق مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركية) على الكرة، أتوصّل إلى أنّ الشغل الكلّي المبذول على الكرة في أثناء سقوطها يساوي التغيّر في طاقتها الحركية:

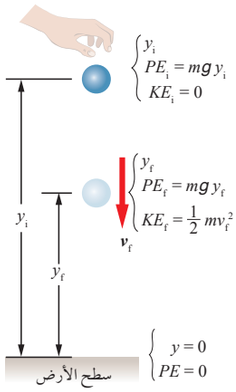
$$W_{\text{Total}} = W_g = \Delta KE$$

وبمساواة معادلتَيّ حساب الشغل السابقتين، أحصل على:

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

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

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



الشكل (27): إسقاط كرة من الموقع (y_i) بالنسبة إلى سطح الأرض.

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

إجابة سؤال الشكل (27):

الطاقة الميكانيكية للكرة عند الموقع y_f تساوي:

$$ME_f = KE_f + PE_f = \frac{1}{2}mv_f^2 + mgy_f$$

الطاقة الميكانيكية للكرة قبل ملامستها سطح الأرض مباشرة:

$$ME_{\text{ground}} = KE_{\text{ground}} + PE_{\text{ground}}$$

$$= \frac{1}{2}mv^2 + 0 = \frac{1}{2}mv^2$$

أخطاء شائعة

عند تأثير قوة غير محافظة في جسم أو نظام، وحدوث تغيّر في طاقته الميكانيكية (أي أنّها تكون غير محفوظة)، قد يظن بعض الطلبة أن الطاقة تختفي وتتلاشى في هذه الحالة؛ لذا أوضّح لهم أنّ عدم حفظ الطاقة الميكانيكية لا يعني اختفاء الطاقة، بل إنّها تحولت إلى شكل آخر مثل الطاقة الحرارية وغيرها.

استخدام الصور والأشكال:

- أستخدم **استراتيجية الطاولة المستديرة**، فأوزّع الطلبة في مجموعات، وأوزّع الأدوار والمهام بينهم، بحيث يتفاعل الجميع معًا، وألفت انتباههم إلى دراسة الشكل (27)، الذي يوضّح إسقاط كرة، ثمّ أسألهم:

- ما القوة/القوى المؤثّرة في الكرة في أثناء سقوطها؟ هل هي قوى محافظة أم لا؟ تؤثّر في الكرة قوة الجاذبية الأرضية فقط (بإهمال مقاومة الهواء)، وهي قوة محافظة.
- ما الطاقة الميكانيكية للكرة لحظة إفلاتها؟ لماذا؟ طاقة وضع عظمى ناشئة عن الجاذبية الأرضية؛ ($ME_i = PE_i$)، أمّا طاقتها الحركية الابتدائية فتساوي صفرًا؛ لأنها ساكنة.
- في أثناء سقوط الكرة من الموقع (y_i) إلى الموقع (y_f). كيف تكون طاقتها الميكانيكية محفوظة؟ لماذا؟ يتساوى مقدار الزيادة في طاقتها الحركية مع النقص في طاقة وضعها؛ لأن قوة الجاذبية الأرضية قوة محافظة، وهي القوة الوحيدة التي تبذل شغلًا على الكرة.

- أطلب إلى كل مجموعة عرض إجاباتها أمام المجموعات الأخرى.
- أدير نقاشًا بين أفراد المجموعات للتوصّل إلى الإجابة الصحيحة، وتصحيح المفاهيم غير الصحيحة.

المناقشة:

- أستخدم **استراتيجية التعلّم التعاوني**، فأوزّع الطلبة في مجموعات غير متجانسة؛ ليساعدوا بعضهم.
- أوزّع الأدوار والمهام على أفراد كل مجموعة بحيث يتفاعل الجميع معًا، وأطلب إليهم الإجابة عن الأسئلة الآتية:

- متى تتغيّر الطاقة الميكانيكية لنظام؟ عندما تؤثّر فيه قوى غير محافظة وتبذل شغلًا عليه.
- لماذا تعدّ قوة الاحتكاك الحركي قوة غير محافظة؟ لأنّ شغلها المبذول على جسم لتحريكه بين موقعين يعتمد على المسار الذي يسلكه الجسم بينهما، كما أنّ شغلها المبذول على جسم لتحريكه عبر مسار مغلق لا يساوي صفرًا.
- أذكر مثالين على قوى غير محافظة. قوة الاحتكاك الحركي، وقوة الشد.

- أطلب إلى كل مجموعة عرض إجاباتهم أمام الصف، ثم أدير نقاشًا بينهم للتوصّل إلى الإجابة الصحيحة.

التعزيز:

- أستخدم **استراتيجية التفكير الناقد**، وأوزّع الطلبة في مجموعات غير متجانسة.
- أكتب على اللوح العبارة الآتية: «يمكن أن يكون ارتفاع التلّ الثاني في مسار حركة الأفعوانية أكبر من ارتفاع التلّ الابتدائي».
- أطلب إلى الطلبة على شكل مجموعات مناقشة صحة العبارة السابقة.
- أشجّع الطلبة على المشاركة في المناقشة، وأدير دفّة الحوار بينهم.
- أستمع لإجابات الطلبة، وأشجّعهم على توجيه الأسئلة، واحترام الرأي الآخر، ونقد إجابات بعضهم، وأناقشهم في إجاباتهم للتوصّل إلى الإجابة الصحيحة.

الإجابة: عند اعتماد الأفعوانية في حركتها على التغيّر بين طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية والطاقة الحركية فقط (لا يوجد قوة خارجية تبذل شغلًا على الأفعوانية وتزوّدها بالطاقة) فإنها لا يمكن أن تصعد تلًّا ارتفاعه أكبر من ارتفاع التلّ الابتدائي حتى لو افترضنا أنّ مسار حركتها أملس. ولكي تصعد تلًّا ارتفاعه أكبر من التلّ الأول يلزم تأثير قوة خارجية فيها وبذلها شغلًا عليها.

- أوضّح للطلبة أنّ مبدأ عمل الأفعوانية يعتمد على التغيّر بين طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية والطاقة الحركية، وبافتراض عدم وجود قوى غير محافظة تبذل شغلًا على عربات الأفعوانية، يبقى مجموع طاقة الوضع والطاقة الحركية يساوي مقدارًا ثابتًا.

إضاءة للمُعلّم / للمعلّمة

يمكن استخدام حفظ الطاقة الميكانيكية لتوضيح لماذا تتغير سرعة كوكب في مداره الإهليلجي حول نجم بتغير موقعه في المدار، كما يأتي:

- الأوج: هو أبعد موقع للكوكب عن النجم، وعنده يمتلك الكوكب أكبر طاقة وضع له، ومع تناقص هذا البعد تقل طاقة الوضع؛ لذا يجب أن تزداد الطاقة الحركية للكوكب؛ لكي تبقى الطاقة الميكانيكية له محفوظة. أي إنّ الكوكب يمتلك أقل طاقة حركية في الأوج. لذلك، يكون مقدار سرعته أصغر ما يمكن.
- الحضيض: هو أقرب موقع للكوكب من النجم، وعنده يمتلك الكوكب أقل طاقة وضع، وتكون لطاقته الحركية قيمة عظمى؛ لذا يكون مقدار سرعة الكوكب أكبر ما يمكن عند الحضيض.

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

تُعطى الطاقة الميكانيكية بالعلاقة: $ME = KE + PE$؛ لذا، فإنّ:

$$ME_i = ME_f$$

ويكون:

$$\Delta ME = 0$$

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

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

المثال 7

قذف لاعب كرة كتلتها (300 g) رأسيًّا إلى أعلى عن سطح الأرض بسرعة مقدارها (20 m/s)، أنظر إلى الشكل (28). أفترضُ أنّه لا يوجد قوى احتكاك، وتسارع السقوط الحر ($10\ m/s^2$)، فأحسبُ مقدار ما يأتي للكرة عند وصولها إلى أقصى ارتفاع:

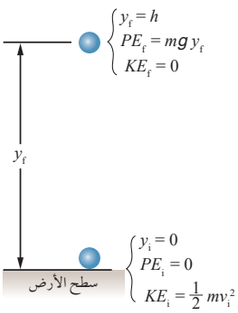
أ. طاقتها الميكانيكية.

ب. التغيّر في طاقة وضعها الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة.

جـ. أقصى ارتفاع تصله عن سطح الأرض.

د. التغيّر في طاقتها الحركية.

هـ. الشغل الذي بذلته قوّة الجاذبية الأرضيّة عليها.



الشكل (28): قذف كرة رأسيًّا إلى أعلى.

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

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

الحلّ:

أختار سطح الأرض مستوى إسناد لطاقة الوضع.

بإهمال مقاومة الهواء تؤثّر قوّة الجاذبية الأرضيّة فقط في الكرة؛ لذا، فإنّ الطاقة الميكانيكية محفوظة، أنظرُ إلى الشكل (28).

أ. الطاقة الميكانيكية محفوظة؛ لا يوجد قوى غير محافظة تبذل شغلًا. والطاقة الميكانيكية للكرة لحظة

✓ **أتحقّق:**

القوة المحافظة	القوة غير المحافظة
الشغل المبذول على جسم لتحريكه بين أي موقعين لا يعتمد على المسار الذي يسلكه الجسم بينهما.	الشغل المبذول على جسم لتحريكه بين أي موقعين يعتمد على المسار الذي يسلكه الجسم بينهما.
الشغل المبذول على جسم لتحريكه عبر مسار مغلق يساوي صفرًا.	الشغل المبذول على جسم لتحريكه عبر مسار مغلق لا يساوي صفرًا.

تكون الطاقة الميكانيكية لنظام محفوظة في ظل وجود قوى محافظة فقط تبذل شغلًا.

مثال إضافي

قُذِف جسم كتلته (5 kg) رأسيًّا إلى أعلى من سطح الأرض. إذا علمت أنّ طاقته الميكانيكية على ارتفاع (5 m) من سطح الأرض تساوي (1000 J)، وأنّه لا توجد قوى احتكاك، وتسارع السقوط الحر ($10\ m/s^2$)، فأحسب مقدار ما يأتي:

أ . السرعة الابتدائية التي قُذِف بها الجسم.

ب. طاقته الميكانيكية عند أقصى ارتفاع.

جـ. أقصى ارتفاع يصله الجسم عن سطح الأرض.

د . طاقة الوضع التي اكتسبها الجسم عند وصوله إلى أقصى ارتفاع عن سطح الأرض.

الحل:

أختار سطح الأرض مستوى إسناد لطاقة الوضع.

أ . الطاقة الميكانيكية محفوظة؛ وهي عند ارتفاع (5 m) تساوي طاقته الميكانيكية عند سطح الأرض، التي تساوي طاقته الحركية فقط؛ لأنّ ($PE_i = 0$). وأحسب الطاقة الحركية الابتدائية للجسم؛ لكي أحسب سرعة قذفه، كما يأتي:

$$ME_i = KE_i + 0 = 1000$$

$$\frac{1}{2} mv_i^2 = 1000$$

$$\frac{1}{2} \times 5 \times v_i^2 = 1000$$

$$v_i^2 = 400$$

$$v_i = 20\ m/s$$

ب. الطاقة الميكانيكية للجسم عند أقصى ارتفاع تساوي طاقته الميكانيكية عند سطح الأرض.

$$ME_f = ME_i = 1000\ J$$

جـ. الطاقة الميكانيكية للجسم عند أقصى ارتفاع تكون طاقة وضع عظمى فقط، وتساوي الطاقة الميكانيكية الابتدائية. وأحسب أقصى ارتفاع (h) للجسم بمعرفة التغيّر في طاقة وضعه، كما يأتي:

$$\Delta PE = PE_f - PE_i = PE_f$$

$$mg\Delta y = 1000\ J$$

$$\Delta y = y_f - y_i = \frac{1000}{5 \times 10}$$

$$y_f - 0 = 20$$

$$y_f = 20\ m$$

د. حيث إنّ طاقة الوضع الابتدائية تساوي صفرًا، وطاقة الوضع النهائية عند أقصى ارتفاع تساوي (1000 J)؛ لذا أحسب طاقة الوضع التي اكتسبها الجسم، كما يأتي:

$$\Delta PE = PE_f - PE_i = PE_f - 0 = 1000\ J$$

قذفها طاقة حركية فقط، حيث طاقة وضعها صفر؛ لأنّها تقع على مستوى الإسناد لطاقة الوضع. أمّا طاقتها الميكانيكية عند أقصى ارتفاع (y_f) فهي طاقة وضع فقط، حيث مقدار سرعتها صفر عند هذا الموقع.

أستعملُ معادلة حفظ الطاقة الميكانيكية كما يأتي:

$$ME_f = ME_i$$

$$= KE_i + PE_i$$

$$= \frac{1}{2} mv_i^2 + 0 = \frac{1}{2} \times 0.3 \times (20)^2$$

$$= 60\ J$$

ب. طاقتها الميكانيكية عند أقصى ارتفاع طاقة وضع فقط:

$$ME_f = KE_f + PE_f = PE_f = 60\ J$$

أحسبُ التغيّر في طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة للكرة عند وصولها إلى أقصى ارتفاع، كما يأتي:

$$\Delta PE = PE_f - PE_i$$

$$= 60 - 0$$

$$= 60\ J$$

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

$$\Delta PE = PE_f - PE_i$$

$$60 = mg\Delta y = mg\,(y_f - y_i)$$

$$60 = 0.3 \times 10 \times (y_f - 0)$$

$$y_f = 20\ m = h$$

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

$$\Delta KE = -\Delta PE = -60\ J$$

إذ تتناقص طاقتها الحركية في أثناء ارتفاعها.

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

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

$$= -60\ J$$

ورقة العمل (2)

أقسّم الطلبة إلى مجموعاتٍ ثنائية، ثم أوزّع عليهم ورقة العمل (2) الموجودة في الملحق، وأوجّههم إلى الحل فرادى وأمنحهم وقتًا كافيًا، ثم نناقش الحل معًا. أوجّه كل مجموعة لعرض إجاباتها ومناقشتها مع المجموعات الأخرى.

تمرين

أ. أختار سطح الأرض مستوى إسناد، فتكون $PE_i = 0$، وأحسب الطاقة الحركية الابتدائية للكرة كما يأتي:

$$KE_i = ME_i$$
$$= \frac{1}{2} mv_i^2 = \frac{1}{2} \times 0.3 \times (15)^2$$
$$= 33.75 \text{ J}$$

ب. الطاقة الميكانيكية للكرة عند أقصى ارتفاع هي طاقة وضع فقط؛ ($ME_f = KE_f + PE_f = PE_f$)؛ لأن الكرة ساكنة، وطاقة الوضع الابتدائية تساوي صفرًا. وحيث إنّ الطاقة الميكانيكية محفوظة؛ فإنّ:

$$\Delta PE = PE_f - PE_i$$
$$= PE_f - 0$$
$$= ME_f = 33.75 \text{ J}$$

جـ. بما أن الطاقة الميكانيكية محفوظة، والطاقة الميكانيكية للكرة لحظة قذفها طاقة حركية، فيكون مقدار سرعة الكرة لحظة قذفها مساويًا لمقدار سرعتها لحظة عودتها إلى المستوى الذي قذفت منه؛ ويساوي 15 m/s.

الربط بالحياة

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (29)، ثمّ أسألهم:

– لماذا تبني بعض الدول السدود على مجاري الأنهار الكبيرة؟

يحجز السدّ ماء النهر خلفه، فيزداد ارتفاع مستوى سطح الماء، وتزداد طاقة وضعه الناشئة عن الجاذبية الأرضية.

– كيف يتم توليد الطاقة الكهربائية في هذا الشكل؟

يُمرَّر الماء المحجوز خلف السد بمعدّل تدفّق منتظم عبر قنوات، بحيث يدير توربينات متصلة بمولّدات كهربائية، للحصول على الطاقة الكهربائية.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: التأمّل والتساؤل.**

أخبر الطلبة أنّ التأمّل والتساؤل يؤثّران إيجابًا في قدرتهم على التركيز والاستيعاب. وأنّ التأمل والتساؤل في كيفية تحويل الطاقة الكامنة المختزنة في المياه إلى طاقة يمكن الاستفادة منها يدفعان الطلبة إلى التركيز في موضوع الدرس.

تمرين

أحسبُ: في المثال السابق، إذا قُذِفت الكرة نفسها بسرعة (15 m/s) رأسيًّا إلى أعلى عن سطح الأرض؛ فأحسبُ مقدار ما يأتي علمًا بأنّ تسارع السقوط الحر (10 m/s^2)، وبإهمال قوى الاحتكاك:

أ. الطاقة الحركية الابتدائية للكرة.

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

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

الربط بالحياة

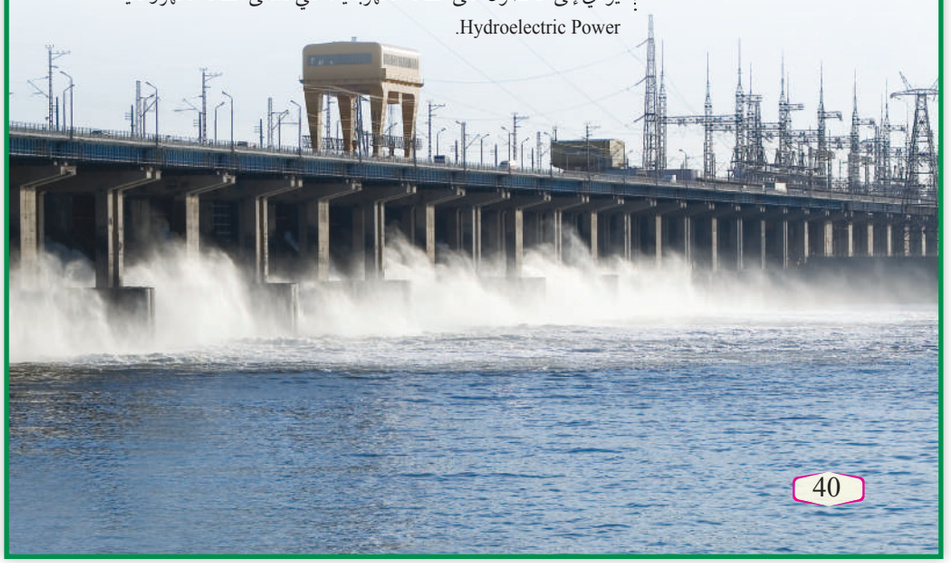
يُستفاد من تحوّل طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة إلى طاقة حركية في توليد الطاقة الكهربائيّة؛ لذا، عملت بعض الدول على إنشاء سدود في مجاري أنهارها الكبيرة، أنظرُ إلى الشكل (29). يحجز السد ماء النهر خلفه، ما يؤدّي إلى زيادة ارتفاع مستوى سطح الماء المحجوز خلفه (أي زيادة طاقة وضعه الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة). ومن ثمّ، يجري التحكّم بمعدّل تدفّق الماء المحجوز خلف السد عن طريق ممرّات خاصّة، بحيث يدير الماء المتدفّق مراوح خاصّة (توربينات) متّصلة بمولّدات كهربائيّة، ما يؤدّي إلى الحصول على الطاقة الكهربائيّة، التي تُسمّى الطاقة الكهرومائية Hydroelectric Power.

أبحثُ:

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

أبحثُ في دور علم الفيزياء، في تحديد مصدر الطاقة المتجدّد الأنسب لاستعماله في منطقتي، وأُعدُّ عرضًا تقديميًّا أعرضه أمام طلبة الصفّ.

الشكل (29): للماء المحجوز خلف سد طاقة وضع تتحوّل إلى طاقة حركية، تُدير توربينات متّصلة بمولّدات كهربائيّة؛ مولّدة طاقة كهربائيّة.



أبحثُ:

- أوضّح للطلبة أنّ من مصادر الطاقة المتجددة:

الطاقة الكهرومائية (Hydropower)، والطاقة الشمسية (Solar energy)، والطاقة الحيوية (الوقود المشتق من الكتلة الحيوية) (Biomass)، وطاقة الرياح (Wind energy)، والطاقة الحرارية الجوفية (Geothermal energy)، وطاقة الأمواج والمد والجزر.

قد يتضمن العرض التقديمي المصادر الآتية؛ الأكثر استخدامًا في المملكة:

طاقة الرياح: تستخدم في المناطق المرتفعة والمفتوحة، التي لا يوجد فيها حواجز طبيعية أو بنايات مرتفعة. حيث تتوافر الرياح على مدار العام بسرعات مناسبة.

الطاقة الشمسية: تستخدم في المناطق الغنية بالإشعاع الشمسي، ويكون فيها متوسط الإشعاع الشمسي المباشر مناسبًا على مدار العام.

شغل القوى غير المحافظة

Work Done by Nonconservative Forces (W_{nc})

لتحريك كتاب على سطح أُفقي خشن، يلزمني التأثير فيه بقوّة بشكل مستمر للمحافظة على حركته؛ إذ تعمل قوّة الاحتكاك الحركي بين سطح الكتاب وسطح الطاولة، على تحويل جزء كبير من الطاقة الحركية للكتاب إلى طاقة حرارية ترفع درجة حرارة السطحين المتلامسين؛ لذا، يلزمني بذل شغل على الكتاب؛ لتعويض الطاقة المبذولة في التغلب على قوّة الاحتكاك.

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

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

حيث (W_{nc}) الشغل التي تبذله القوى غير المحافظة.

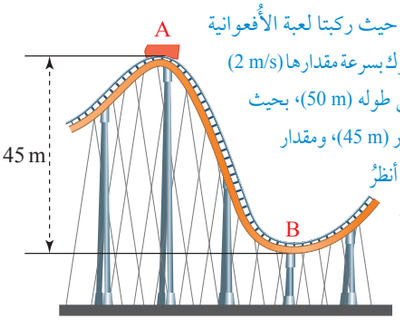
أفكّر: إذا بـذلتُ شغـلًا موجبًا على جسم ولم تتغيّر طاقته الحركية، وكذلك لم تتغيّر طاقة وضعه، فما الذي أستنتجه عن النظام الموجـود فيه الجسم؟ وماذا يحدث للشغل الذي بذلته؟ أُناقش أفراد مجموعتي، وأستعملُ مصـادر المعرفـة الموثوقة والمُتاحـة للتوصّل إلى إجابـة عن السؤال.

✓ **أتحقّق:** للمحافظة على حركة جسم على مسار خشن، يلزم التأثير فيه بقوّة بشكل مستمر. لماذا؟

المثال 8

ذهبت حلا وصديقتها سُرى إلى مدينة الألعاب، حيث ركبتا لعبة الأُفعوانية (Roller - coaster). وعندما كانت عربة الأُفعوانية تتحرّك بسرعة مقدارها (2 m/s) عند الموقع (A)، هبطت فجأة عبر مسار منحدر خشن طوله (50 m)، بحيث كان التغيّر في الارتفاع الرأسي عبر هذا المسار المنحدر (45 m)، ومقدار سرعة العربة (24 m/s) عند نهاية المسار (الموقع B)، أنظرُ إلى الشكل (30). إذا علمتُ أنّ كتلة عربة الأُفعوانية مع ركّابها (3×10^2 kg)، وتسارع السقوط الحر ($10\ m/s^2$)؛ فأحسبُ مقدار ما يأتي عند حركـة عربـة الأُفعوانية من الموقع (A) إلى (B):

أ. التغيّر في طاقة وضعها الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة.



الشكلُ (30): حركة عربة الأُفعوانية عبر مسار منحدر خشن.

أفكّر:

يتضمن النظام قوى غير محافظة تبذل شغلًا سالبًا على الجسم. الشغل الموجب المبذول استُهلك في تزويد الجسم بطاقة استخدمها لتعويض الطاقة المبدّدة بواسطة القوى غير المحافظة التي تعمل على تقليل طاقة الجسم، وتحوّلها إلى شكل آخر من أشكال الطاقة (طاقة حرارية مثلًا نتيجة قوة الاحتكاك الحركي).

إضاءة للمُعلِّم / للمعلِّمة

في الأنظمة المغلقة والمعزولة تكون الطاقة محفوظة؛ أي أن المجموع الكلي لأشكال الطاقة المختلفة؛ كالميكانيكية والحرارية والكيميائية وغيرها يساوي مقدارًا ثابتًا، وهذا لا يمنع أن تتحوّل الطاقة من شكل إلى آخر، بحيث يبقى المجموع الكلّي للطاقة في النظام ثابتًا، ومثل هذه الأنظمة تمنع تسرب الطاقة إلى الوسط المحيط.

المناقشة:

- أستخدم **استراتيجية التعلّم التعاوني**. فأوزّع الطلبة في مجموعات غير متجانسة؛ ليساعدوا بعضهم في عملية التعلّم. وأوزّع الأدوار والمهام على أفراد كل مجموعة ليتفاعل الجميع معًا.
- أطلب إلى أفراد كل مجموعة الإجابة عن الأسئلة الآتية:

– متى تعدّ الطاقة الميكانيكية لنظام محفوظة؟ عندما لا توجد قوى غير محافظة تبذل شغلًا على النظام.

– متى تعدّ الطاقة الميكانيكية لنظام غير محفوظة؟ عندما تؤثّر فيه قوى غير محافظة وتبذل شغلًا عليه.

– ماذا يعني أن الطاقة الميكانيكية لنظام تصبح غير محفوظة؟ يتغيّر مقدار الطاقة الميكانيكية من موقع لآخر، ولا يساوي مقدارًا ثابتًا عند المواقع جميعها.

- أطلب إلى كل مجموعة عرض إجاباتها أمام المجموعات الأخرى.
- أدير نقاشًا بين أفراد المجموعات للتوصّل إلى الإجابة الصحيحة، وتصحيح المفاهيم غير الصحيحة.

✓ **أتحقّق:** للمحافظة على حركته؛ إذ تعمل قوة الاحتكاك الحركي بين سطحي الجسم والمسار على تحويل جزء كبير من الطاقة الحركية للجسم إلى طاقة حرارية ترفع درجة حرارة السطحين المتلامسين؛ لذا يلزم بذل شغل لتعويض الطاقة المبذولة في التغلب على قوة الاحتكاك.

توظيف التكنولوجيا

أبحث في المواقـع الإلكترونيـة الموثوقـة والمتاحـة عن مقاطع مرئيـة (فيديوهات)، أو تجارب عملية مصوّرة توضح التغيّرات بين طاقة الوضع والطاقة الحركية، وحفظ الطاقة الميكانيكية. أشارك الطلبة في هذه المواد التعليمية عن طريق صفحـة المدرسة الإلكترونيـة، أو أيّ وسيلـة أخرى للتواصل مـع الطلبة.

مثال إضافي

وُضِع صندوق كتلته (2 kg) عند قمّة مستوى مائل خشن ارتفاعه عن سطح الأرض (8 m)، وطول المستوى المائل (16 m)، فانزلق من السكون إلى أسفل المستوى المائل. إذا علمت أن سرعة الصندوق عند نهاية المستوى المائل بلغت (8 m/s)، وتسارع السقوط الحر ($10\ m/s^2$)، فأحسب مقدار ما يأتي عند حركة الصندوق من قمة المستوى المائل إلى أسفله:

أ . التغيّر في طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية للصندوق.

ب. التغيّر في الطاقة الحركية للصندوق.

جـ. التغيّر في الطاقة الميكانيكية للصندوق.

د . الشغل الذي بذلته قوة الاحتكاك الحركي على الصندوق.

هـ. قوة الاحتكاك الحركي المؤثّرة في الصندوق.

الحلّ:

أختار سطح الأرض مستوى إسناد لطاقة الوضع.

أ. لنأخذ قمة المستوى المائل موقعًا ابتدائيًّا (y_i)، وأسفل المستوى المائل (سطح الأرض) موقعًا نهائيًّا (y_f)، كما يأتي:

$$\Delta PE = PE_f - PE_i$$
$$= mg\,(y_f - y_i) = 2 \times 10 \times (0 - 8)$$
$$= -160\ J$$

الإشارة السالبة تشير إلى حدوث نقص في طاقة الوضع.

ب. أحسب التغير في الطاقة الحركية للصندوق، كما يأتي:

$$\Delta KE = KE_f - KE_i$$
$$= \frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2 = \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2)$$
$$= \frac{1}{2} \times 2 \times [(8)^2 - (0)^2] = 64\ J$$

التغير في الطاقة الحركية موجب، إذ تزداد الطاقة الحركية للصندوق في أثناء هبوطه إلى أسفل المستوى المائل.

جـ. أحسب التغير في الطاقة الميكانيكية كما يأتي:

$$ME = KE + PE$$
$$\Delta ME = \Delta KE + \Delta PE$$
$$= 64 + (-160)$$
$$= -96\ J$$

ب. التغيّر في طاقتها الحركية.

جـ. التغيّر في طاقتها الميكانيكية.

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

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

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

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

الحلّ:

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

تؤثّر في الأُفعوانية قوّة غير محافظة (قوّة الاحتكاك الحركي) تبذل شغلًا عليها؛ لذا، الطاقة الميكانيكية غير محفوظة.

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

$$\Delta PE = PE_f - PE_i$$
$$= mg\,(y_f - y_i) = 3 \times 10^2 \times 10 \times (0 - 45)$$
$$= -1.35 \times 10^5\ J$$

تُشير الإشارة السالبة إلى حدوث نقصان في طاقة الوضع.

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

$$\Delta KE = KE_f - KE_i$$
$$= \frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2 = \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2)$$
$$= \frac{1}{2} \times 3 \times 10^2 \times [(24)^2 - (2)^2]$$
$$= 8.58 \times 10^4\ J$$

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

جـ. أحسبُ التغيّر في الطاقة الميكانيكية كما يأتي:

$$ME = KE + PE$$
$$\Delta ME = \Delta KE + \Delta PE$$
$$= 8.58 \times 10^4 + (-1.35 \times 10^5)$$
$$= -4.92 \times 10^4\ J$$

أُلاحظ أنّ الطاقة الميكانيكية غير محفوظة؛ لوجود قوّة الاحتكاك.

أستنتج أنّ الطاقة الميكانيكية للصندوق غير محفوظة؛ إذ إن النقص في طاقة الوضع لا يساوي الزيادة في الطاقة الحركية، والتغير فيها يساوي شغل قوة الاحتكاك.

د. قوة الاحتكاك غير محافظة، وشغلها يساوي التغير في الطاقة الميكانيكية للصندوق:

$$W_{nc} = \Delta ME$$
$$W_f = \Delta ME = -96\ J$$

هـ. أحسب مقدار قوة الاحتكاك الحركي من شغل الاحتكاك كما يأتي:

$$W_f = \Delta ME = -f_k d$$
$$-96 = -f_k \times 16$$
$$f_k = 6\ N$$

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

$W_{nc} = \Delta ME$

$W_f = \Delta ME$

$= -4.92 \times 10^4$ J

هـ. أحسبُ مقدار قوّة الاحتكاك الحركي، كما يأتي:

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

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

$f_k = 9.84 \times 10^2$ N

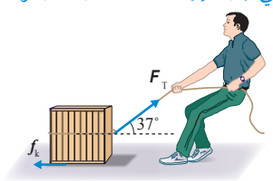
المثال 9

يسحب عمر صندوقًا كتلته (60 kg) من السكون على أرضية أُفقية خشنة بقوّة شدّ (F_T) كما في الشكل (31) إزاحة مقدارها (50 m) جهة اليمين، إذا علمتُ أن سرعة الصندوق في نهاية الإزاحة (5 m/s)، ومقدار قوّة الاحتكاك الحركي المؤثّرة في الصندوق (100 N)، والحبل مهمل الكتلة وغير قابل للاستطالة، فأحسبُ مقدار ما يأتي:

أ. شغل قوّة الاحتكاك الحركي.

ب. التغيّر في الطاقة الميكانيكية للصندوق.

جـ. شغل قوّة الشدّ.



الشكل (31): سحب صندوق على أرضية أُفقية خشنة.

المعطيات: $m = 60$ kg, $d = 50$ m, $v_i = 0$ m/s, $v_f = 5$ m/s, $f_k = 100$ N.

المطلوب: $W_T = ?$, $\Delta ME = ?$, $W_f = ?$.

الحلّ:

أختار سطح الأرض مستوى إسناد لطاقة الوضع.

تؤثّر في الصندوق قوى غير محافظة تبذل شغلًا عليه وهي: قوّة الاحتكاك الحركي وقوّة الشد؛ لذا، الطاقة الميكانيكية غير محفوظة.

أ . تؤثّر قوّة الاحتكاك الحركي بعكس اتّجاه إزاحة الصندوق، وأحسبُ شغلها كما يأتي:

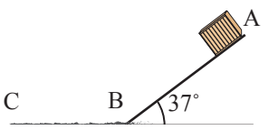
$W_f = f_k\, d \cos 180^\circ$

$= -f_k\, d = -100 \times 50$

$= -5000$ J $= -5 \times 10^3$ J

مثال إثرائي

مستوى مائل أملس (AB) يصنع زاوية (37°) مع المستوى الأفقي، وفي نهايته مستوى أفقي خشن (BC)، كما هو موضح في الشكل. أُفلت صندوق كتلته (5 kg) من النقطة (A) عند قمّة المستوى المائل، فبلغ مقدار سرعته (10 m/s) لحظة مروره بالنقطة (B). إذا علمت أن المسار الخشن (BC) أثّر في الصندوق بقوة احتكاك حركي ثابتة، وتسارع السقوط الحر ($10\ m/s^2$)، فأحسب ما يأتي:



أ . التغيّر في الطاقة الحركية للصندوق عند حركته من (A) إلى (B).

ب. التغيّر في طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية للصندوق عند حركته من (A) إلى (B).

جـ. ارتفاع قمّة المستوى المائل (A) عن مستوى الإسناد.

د . شغل قوة الاحتكاك الحركي على الصندوق، عند حركته من (B) إلى (C)، إذا توقف عند النقطة (C).

الحلّ:

- أختار المستوى الأفقي مستوى إسناد لطاقة الوضع.
- تؤثر في الصندوق قوة غير محافظة (قوة الاحتكاك الحركي) تبذل شغلًا عليه، لذا فإنّ طاقته الميكانيكية غير محفوظة على المسار (BC).

أ . المستوى المائل أملس؛ لذا تكون الطاقة الميكانيكية محفوظة. وأحسب التغير في الطاقة الحركية كما يأتي:

$\Delta KE = KE_f - KE_i$

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

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

$= \frac{1}{2} \times 5 \times [(10)^2 - (0)^2]$

$= 2.5 \times 10^2$ J

التغير في الطاقة الحركية موجب، يعني زيادة في الطاقة الحركية للصندوق في أثناء هبوطه.

ب. الطاقة الميكانيكية محفوظة عند حركة الصندوق من (A) إلى (B)؛ لذا أحسب التغير في طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية للصندوق كما يأتي:

$\Delta PE = -\Delta KE = -2.5 \times 10^2$ J

الإشارة السالبة تعني حدوث نقص في طاقة الوضع.

جـ. قمة المستوى المائل (A) تمثل الموقع الابتدائي (y_i)، وأسفل المستوى المائل (B) يمثل الموقع النهائي (y_f). أحسب ارتفاع (A) عن مستوى الإسناد؛ بمعرفة التغير في طاقة الوضع للصندوق، كما يأتي:

$\Delta PE = PE_f - PE_i$

$-2.5 \times 10^2 = mg\,(y_f - y_i)$

$-2.5 \times 10^2 = 5 \times 10 \times (0 - y_i)$

$y_i = 5$ m

د . شغل قوة الاحتكاك الحركي يساوي التغير في الطاقة الميكانيكية للصندوق عند حركته من (B) إلى (C)، علمًا أن التغير في طاقة وضعه يساوي صفرًا؛ وطاقته الحركية النهائية تساوي صفرًا؛ لأنه توقف:

$W_{nc} = W_f = \Delta ME = \Delta KE + \Delta PE$

$= KE_f - KE_i + 0$

$= 0 - \frac{1}{2} mv_i^2 = -\frac{1}{2} \times 5 \times 100$

$= -250$ J

ب. طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة لا تتغيّر؛ لأنّ الحركة على مسار أُفقي؛ ($\Delta PE = 0$). ويكون التغيّر في الطاقة الميكانيكية نتيجة تغيّر طاقة الحركة فقط، وأحسبُ التغير كما يأتي:

$$\Delta ME = \Delta KE + \Delta PE$$
$$= \frac{1}{2} m (v_f^2 - v_i^2) + 0$$
$$= \frac{1}{2} \times 60 \times [(5)^2 - (0)^2]$$
$$= 7.5 \times 10^2 \text{ J}$$

أُلاحظ أنّ الطاقة الميكانيكية غير محفوظة؛ فقد ازدادت.

جـ. تبذل قوّة الشد شغلًا على الصندوق، وأحسبُ شغلها بالمعادلة الآتية:

$$W_{nc} = \Delta ME$$
$$W_T + W_f = \Delta ME$$
$$W_T = \Delta ME - W_f$$
$$= 7.5 \times 10^2 - (-5 \times 10^3)$$
$$= 5.75 \times 10^3 \text{ J}$$

استُنفِدَ جزء من شغل قوّة الشد للتغلّب على قوّة الاحتكاك الحركي، والجزء الآخر منه أكسب الصندوق طاقة حركية.

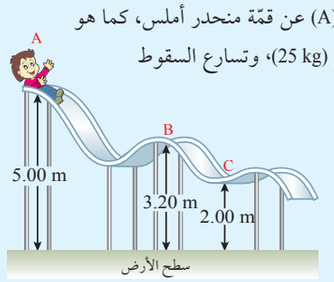
تمرين

أستنتجُ: ينزلق طفل بدءًا من السكون من الموقع (A) عن قمّة منحدر أملس، كما هو موضّح في الشكل (32). إذا علمتُ أنّ كتلة الطفل (25 kg)، وتسارع السقوط الحر (10 m/s^2)؛ فأحسب مقدار ما يأتي:

أ . سرعة الطفل عند الموقع (B).

ب. الطاقة الحركية للطفل عند الموقع (C).

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



الشكل (32): طفل ينزلق على منحدر أملس.

أخطاء شائعة

قد يظن بعض الطلبة خطأً أن وجود قوى غير محافظة تبذل شغلًا على نظام يعني عدم حفظ طاقة النظام، إذ يحدث خلط عندهم بين مفهوم حفظ الطاقة الميكانيكية ومفهوم حفظ الطاقة الكلية للنظام؛ لذا أوضّح للطلبة أنّ الطاقة الكلّية لأيّ نظام تكون دائمًا محفوظة على الرّغم من عدم حفظ الطاقة الميكانيكية له أحيانًا؛ فمثلًا عندما ينزلق جسم على سطح خشن تبذل قوى الاحتكاك شغلًا يتحوّل جزء كبير منه إلى طاقة ترفع الطاقة الداخلية للنظام (يدرس هذا الموضوع في الفصل الدراسي الثاني)، ممّا يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة النظام المكوّن من الجسم والسطح الخشن، وهنا تبقى الطاقة الكلّية للنظام ثابتة، على الرّغم من حدوث نقص في طاقته الميكانيكية.

معلومة إضافية

يعتمد تسارع جسم ينزلق إلى أسفل مستوى مائل أملس على مقدار تسارع السقوط الحرّ، وزاوية ميل المستوى. ويعطى تسارع الجسم في هذه الحالة بالعلاقة الآتية:

$$a = g \sin \theta$$

ويعتمد تسارع جسم ينزلق إلى أسفل مستوى مائل خشن على مقدار تسارع السقوط الحرّ، وزاوية ميل المستوى، ومعامل الاحتكاك الحركي بين الجسم والمستوى المائل. ويعطى تسارع الجسم في هذه الحالة بالعلاقة الآتية:

$$a = g \sin \theta - g \mu_k \cos \theta$$

تمرين

أ.

$$ME_A = ME_B$$
$$mgy_A + 0 = mgy_B + \frac{1}{2} mv_B^2$$
$$v_B^2 = 2g (y_A - y_B)$$
$$v_B^2 = 2 \times 10 \times (5 - 3.2) = 36$$
$$v_B = 6 \text{ m/s}$$

ب.

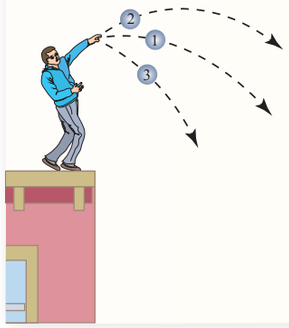
$$ME_C = ME_A$$
$$mgy_C + KE_C = mgy_A + 0$$
$$KE_C = mg (y_A - y_C)$$
$$KE_C = 25 \times 10 \times (5 - 2) = 750 \text{ J}$$

جـ. الشغل الذي بذلته قوة الجاذبية الأرضية على الطفل في أثناء انزلاقه من A إلى C يساوي التغير في طاقته الحركية، ويساوي سالب التغير في طاقة وضعه الناشئة عن الجاذبية الأرضية.

$$W_{g(A-C)} = \Delta KE = - \Delta PE$$
$$W_{g(A-C)} = KE_C - KE_A$$
$$W_{g(A-C)} = 750 - 0 = 750 \text{ J}$$

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** ما المقصود بالطاقة الميكانيكية؟ وعلامَ تنص مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركية)؟
2. **أُحلّل:** في أيّ الحالات الآتية أُطبّق حفظ الطاقة الميكانيكية؟ وفي أيّها لا أُطبّقه؟
   أ. سقوط ورقة شجر.
   ب. رمي كرة سلة نحو السلة.
   جـ. حركة سيّارة على طريق رملي.
   د. انزلاق قرص فلزي على سطح جليدي أملس.
3. **أتوقّع:** هل يمكن أن تتغيّر سرعة جسم؛ إذا كان الشغل الكلّي المبذول عليه صفرًا؟
4. **أستعملُ المتغيّرات:** كرتان متماثلتان، قُذفت الأولى بسرعة مقدارها (3 m/s)، وقُذفت الثانية بسرعة مقدارها (9 m/s). أجد نسبة الطاقة الحركية للكرة الثانية إلى الطاقة الحركية للكرة الأولى. ماذا أستنتجُ؟
5. **أحسبُ:** إذا علمتُ أن كتلة سوسن (50 kg)، وتسارع السقوط الحر ($10\ m/s^2$)؛ فأحسبُ مقدار:
   أ. طاقتها الحركية؛ عندما تركض بسرعة مقدارها (3 m/s).
   ب. طاقة وضعها الناشئة عن الجاذبية الأرضيّة؛ عندما تجلس في شرفة منزلها التي يبلغ ارتفاعها (8 m) عن سطح الأرض.
   (ملحوظة: أفترض سطح الأرض مستوى إسناد).
6. **التفكير الناقد:** يرمي خالد 3 كرات متماثلة من أعلى بناية. إذا رمى الكرات الثلاث بمقدار السرعة الابتدائية نفسه، بالاتّجاهات الموضّحة في الشكل المجاور، فأُرتّب الكرات الثلاث حسب مقاديـر سرعاتها لحظة وصولها إلى سطح الأرض بإهمال مقاومة الهواء. أُوضّح إجابتي.



القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: التحليل.**

أخبر الطلبة أنّ للتحليل دورًا في الوصول إلى المعرفة، واستكشاف العلاقات بين المفاهيم المختلفة. وأنّ تحليل حركة الكرات الثلاث في سؤال التفكير الناقد ومعرفة أن لها السرعة الابتدائية نفسها والارتفاع الابتدائي نفسه يؤدي إلى حل المسألة واستكشاف العلاقة بين مقادير سرعاتها لحظة وصولها إلى سطح الأرض.

3 التقويم

إجابات أسئلة مراجعة الدرس

1. الطاقة الميكانيكية هي مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع، ويعبّر عنها بالمعادلة الآتية: $ME = KE + PE$. تنص مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركية) على أنّ: "الشغل الكلّي المبذول على جسم يساوي التغيّر في طاقته الحركية".

2. أ. ورقة الشجر خفيفة ولا يمكن إهمال تأثير مقاومة الهواء في حركتها؛ لذا لا أطبّق حفظ الطاقة الميكانيكية.
   ب. لأن كتلة كرة السلة كبيرة فإن تأثير مقاومة الهواء في حركتها يكون مهملًا، ومن ثمّ أطبّق حفظ الطاقة الميكانيكية.
   جـ. لا يمكن إهمال تأثير الرمل في إعاقة حركة السيارة؛ لذا لا أطبّق حفظ الطاقة الميكانيكية.
   د. السطح الجليدي أملس؛ لذا أطبّق حفظ الطاقة الميكانيكية.

3. لا، لأنّ أيّ تغيّر في سرعة الجسم يعني بالضرورة تغيّرًا في طاقته الحركية، وهذا لا يتم من دون شغل كلّي مبذول على الجسم.

4. $$\frac{KE_2}{KE_1} = \frac{\frac{1}{2}mv_2^2}{\frac{1}{2}mv_1^2} = \frac{v_2^2}{v_1^2}$$
$$= \frac{(9)^2}{(3)^2} = \frac{81}{9} = \frac{9}{1}$$
أستنتج أنّه عند مضاعفة السرعة ثلاث مرّات تتضاعف الطاقة الحركية للجسم بمقدار 9 أضعاف.

5. أ. $KE = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 50 \times (3)^2 = 225\ J$
   ب. $PE = mgy = 50 \times 10 \times 8 = 4000\ J$

6. الإزاحات الرأسية للكرات الثلاث متساوية لحظة وصولها إلى سطح الأرض؛ لذا للكرات الثلاث التغيّر نفسه في طاقة الوضع. والطاقات الحركية الابتدائية للكرات الثلاث متساوية؛ لأنها رُميت بمقدار السرعة الابتدائية نفسه. وبما أنه لا توجد قوى غير محافظة تبذل شغلًا على الكرات فتكون طاقاتها الميكانيكية متساوية، وبذلك فإن طاقاتها الحركية لحظة وصولها إلى سطح الأرض متساوية، فتكون سرعاتها أيضًا متساوية.

الإثراء والتوسُّع

طاقة الرياح

الهدف:

- تعرّف أهمية علم الفيزياء في الحياة العملية.
- استنتاج ميّزات استخدام طاقة الرياح لتوليد الطاقة الكهربائية.

الإجراءات والتوجيهات:

- أوزّع الطلبة في مجموعات، ثم أطلب إلى أفراد كل مجموعة قراءة بند «الإثراء والتوسّع»، ومناقشة محتواه في ما بينهم.
- أوجّه لأفراد المجموعات الأسئلة الآتية:

– لماذا تبحث الدول ومن ضمنها المملكة الأردنية الهاشمية، عن مصادر بديلة للطاقة للحصول على الطاقة الكهربائية؟ **إجابة محتملة:** لتخفيف حجم الفاتورة النفطية، للمحافظة على البيئة،....

– كيف تُوَلَّد الطاقة الكهربائية من الرياح؟ باستخدام توربينات الرياح التي تدور عند هبوب الرياح، وتُستخدَم مولّدات كهربائية لتحويل هذه الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية.

– ما إيجابيات مزارع الرياح؟ وما سلبياتها؟ أنظر معلومات بند (أبحث) أدناه.

أبحث:

- أخبر الطلبة بأنّ مصادر الطاقة المتجددة التي يمكن استخدامها في بلد ما، تعتمد على جغرافية البلد ومناخه، فما يناسب بلدًا معينًا قد لا يناسب آخر. ومن هذه المصادر: الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والطاقة المائية من الأنهار، وطاقة المدّ والجَزْر من المحيطات، وغيرها.
- أوضّح للطلبة أن من إيجابيات مزارع الرياح أنها: منخفضة التكلفة، وغير ملوّثة للبيئة، إذ تسهم في خفض معدلات انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون، وباستعمالها يقل الاعتماد على الوقود الأحفوري.
- أوضّح لهم أنّ من سلبيات مزارع الرياح: الرياح لا تهب على مدار العام بالسرعة المناسبة، الضوضاء الناتجة من دوران التوربينات، الطاقة الناتجة تحتاج إلى النقل إلى شبكة الكهرباء؛ لأنها عادة تركّب بعيدًا عن المناطق المأهولة، تعريض الحياة البرية للخطر (شفرات التوربينات تشكل خطرًا على الطيور).

سأبني حساباتي على توربينات رياح الطفيلة ذات شفرات طولها (55 m)، وهذا يساوي نصف طول ملعب كرة القدم. بداية أحسب مساحة المنطقة التي تمسحها شفرات التوربين كما يأتي:

$$A = \pi l^2 = 3.14 \times (55)^2$$
$$= 9.499 \times 10^3 \ \text{m}^2$$

ثم أحسب مقدار الطاقة الحركية التي تمر عبر أحد التوربينات كل ثانية:

$$KE = \frac{1}{2}\rho A v^3$$
$$= \frac{1}{2} \times 1.2 \times 9.499 \times 10^3 \times (20)^3$$
$$= 4.5595 \times 10^7 \ \text{J/s}$$
$$= 4.5595 \times 10^7 \ \text{W}$$
$$= 45.595 \ \text{MW}$$

لحساب الطاقة الكهربائية الناتجة من توربين واحد، أضرب الطاقة الحركية الناتجة منه في كفاءته:

Output energy of one turbine = E

$$E = 50\% \times 45.595 \ \text{MW}$$
$$E = 22.798 \ \text{MW}$$

طاقة الرياح Wind Power

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

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

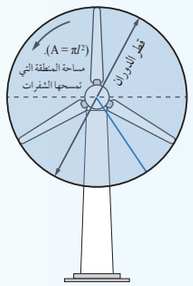
إذا كان طول إحدى شفرات التوربين (l)، فإنّها تمسح عند دورانها دائرة نصف قطرها (l)، ومساحتها ($A = \pi l^2$)، وعندما تهبّ الرياح عموديًّا على شفرات التوربين يكون حجم الهواء المار عبر المستوى الذي تُشكّله هذه الشفرات مساويًا لحجم أسطوانة، مساحة مقطعها العرضي يساوي مساحة المنطقة التي تمسحها الشفرات ($A =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

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

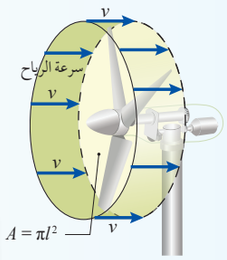
حيث ρ كثافة الهواء. ولا تُحوّل كامل الطاقة الحركية للرياح إلى طاقة كهربائيّة؛ إذ يُفقد جزء من طاقتها الحركية على شكل حرارة وصوت وشغل للتغلّب على قوى الاحتكاك في التوربين، وغيرها... ويُعبّر عن مقدار الطاقة الناتجة من التوربين نسبة إلى الطاقة الداخلة إليه بمصطلح الكفاءة، وتتراوح كفاءة هذه التوربينات في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

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

مزرعة رياح



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



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

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

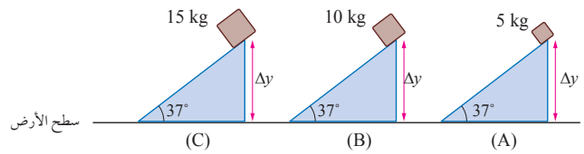
1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكلّ جملة ممّا يأتي:

1. الشغل الذي تبذله قوّة مقدارها (1 N) عندما تؤثّر في جسم وتُحرّكه إزاحة مقدارها (1 m) في اتّجاهها، يُسمّى:
أ . النيوتن (N). ب . الجول (J). جـ . الواط (W). د . الحصان (hp).

2. مقدرة الجسم على بذل شغل، تُسمّى:
أ. الطاقة. ب. الشغل. جـ. القدرة. د. القوّة المحصّلة.

3. الطاقة المختزنة في جسم نتيجة موقعه بالنسبة إلى مستوى إسناد، تُسمّى:
أ. الشغل. ب. الطاقة الحركية. جـ. القدرة. د. طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية.

توضّح الأشكال الثلاثة الآتية، انزلاق 3 صناديق مختلفة الكتل من السكون، من الارتفاع نفسه على مستويات مائلة ملساء لها الميل نفسه. أستعينُ بهذه الأشكال للإجابة عن الأسئلة (4 – 7):



4. الصندوق الذي له أكبر طاقة وضع ناشئة عن الجاذبية، هو:
أ . A. ب. B. جـ . C. د . طاقات وضعها جميعها متساوية.

5. الترتيب الصحيح للطاقة الحركية للصناديق الثلاثة لحظة وصولها إلى سطح الأرض، هو:
أ. $KE_A > KE_B > KE_C$ ب . $KE_C > KE_B > KE_A$ جـ . $KE_B > KE_A > KE_C$
د . طاقاتها الحركية جميعها متساوية.

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

7. الصندوق الذي يصل إلى سطح الأرض أولًا، هو:
أ . A. ب. B. جـ. C. د . تصل جميعها إلى سطح الأرض في اللحظة نفسها.

8. تكون الطاقة الميكانيكية لجسم يسقط سقوطًا حرًّا عند إهمال مقاومة الهواء:
أ . متزايدة. ب. متناقصة. جـ. ثابتة. د. صفرًا.

9. عندما تؤثّر قوّة في جسم عموديًّا على اتّجاه إزاحته؛ فإنّ شغلها يكون:
أ . موجبًا. ب. سالبًا. جـ. صفرًا. د. موجبًا أو سالبًا.

10. إذا كان شغل قوّة مؤثّرة في جسم بين موقعين، يعتمد على موقعه النهائي وموقعه الابتدائي، ولا يعتمد على المسار الفعلي للحركة؛ فإنّ هذه القوّة توصف بأنّها قوّة:
أ . احتكاك. ب. محافظة. جـ. غير محافظة. د. شدّ.

1. 1 . ب. الجول (J).

2. أ . الطاقة.

3. د . طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية.

4. جـ. C.

5. ب. $KE_C > KE_B > KE_A$

6. د . سرعاتها جميعها متساوية.

7. د . تصل جميعها إلى سطح الأرض في اللحظة نفسها.

8. جـ. ثابتة.

9. جـ. صفرًا.

10. ب. محافظة.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

*** التفكير: التأمّل والتساؤل.**

أخبر الطلبة أنّ التأمّل والتساؤل يؤثّران إيجابًا في قدرتهم على التركيز والاستيعاب. وأنّ التأمل في مسألة انزلاق الصناديق الثلاثة على مستويات مائلة متماثلة، وطرح التساؤلات عن سرعاتها الابتدائية والعوامل التي تؤثّر في مقادير سرعاتها النهائية يسهم في حلّ المسألة بطريقة صحيحة.

مراجعة الوحدة

11. جـ. صفرًا.

12. أ. 9×10^4 J.

13. ب. تتضاعف 4 مرّات.

14. أ. 0 J

15. أ. ساكن أو متحرّك بسرعة ثابتة.

2 أ. تبذل هند شغلًا موجبًا على الحقيبة عند تأثيرها بقوة إلى أعلى في الحقيبة بعكس وزنها، كما تبذل شغلًا موجبًا على جسمها في الصعود. في حين تبذل قوة الجاذبية الأرضية شغلًا سالبًا على جسم هند والحقيبة.

ب. يبذل ياسر شغلًا موجبًا على الحقيبة عن طريق تأثيره بقوة إلى أعلى في الحقيبة بعكس وزنها، أما قوة الجاذبية الأرضية فتبذل شغلًا سالبًا على الحقيبة.

جـ. لا يبذل شغل على الحقيبة؛ لأن اتجاه قوة سارة (إلى أعلى) واتجاه قوة الجاذبية الأرضية (إلى أسفل) المؤثرتين في الحقيبة متعامدتان مع اتجاه الإزاحة. تبذل كل من سارة وقوة الجاذبية الأرضية شغلًا عند رفع سارة رجلَها عن سطح الأرض وعند إنزالها لها، أما خلال الحركة الأفقية فلا يُبذَل شغل.

د. لا تبذل ليلى شغلًا على الأريكة؛ لأنه لا يوجد إزاحة في اتجاه قوة دفع ليلى.

3 نعم؛ لأن طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية تعتمد على اختيارنا لمستوى الإسناد، فعندما يكون الجسم أسفل مستوى الإسناد فإن طاقة الوضع له سالبة.

4 الشغل الكلي المبذول على جسم يساوي التغير في طاقته الحركية. وعندما يبدأ الجسم حركته من السكون فقط، فإنّ الشغل الكلي المبذول عليه يساوي طاقته الحركية النهائية.

5 أفترض أن هذا الارتفاع هو (y)، والطاقة الميكانيكية عنده (ME_y) تساوي الطاقة الميكانيكية الابتدائية (ME_i) وتساوي الطاقة الميكانيكية عند أقصى ارتفاع (ME_f). وأقصى ارتفاع تصله الكرة (h).

$$KE_y = \frac{1}{2} m v_y^2 = \frac{1}{2} m(\frac{1}{2} v_i)^2 = \frac{1}{4} (\frac{1}{2} m v_i^2)$$

$$KE_y = \frac{1}{4} KE_i = \frac{1}{4} PE_f$$

$$ME_y = ME_i = ME_f$$

$$PE_y + KE_y = PE_f$$

$$PE_y + \frac{1}{4} PE_f = PE_f \rightarrow PE_y = \frac{3}{4} PE_f$$

$$mgy = \frac{3}{4} (mgh) \rightarrow y = \frac{3}{4} h$$

11. يتحرّك جسم أُفقيًّا بسرعة ثابتة مقدارها (5 m/s) شرقًا، ويقطع إزاحة مقدارها (50 m). إنّ الشغل الكلّي المبذول على الجسم خلال هذه الإزاحة يساوي:

أ. 250 J. ب. الطاقة الحركية له. جـ. صفرًا. د. طاقته الميكانيكية.

12. تتحرّك سيّارة بسرعة (15 m/s) شرقًا، بحيث كانت طاقتها الحركية $(9 \times 10^4$ J). إذا تحرّكت السيارة غربًا بالسرعة نفسها؛ فإنّ مقدار طاقتها الحركية يساوي:

أ. 9×10^4 J ب. -9×10^4 J جـ. 18×10^4 J د. 0 J

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

أ. تتضاعف مرّتين. ب. تتضاعف 4 مرّات. جـ. تقلّ بمقدار النصف. د. تقلّ بمقدار الربع.

14. يحمل عدنان صندوقًا وزنه (200 N) ويسير به أُفقيًّا بسرعة ثابتة إزاحة مقدارها (10 m). إنّ مقدار الشغل الذي يبذله عدنان على الصندوق خلال هذه الإزاحة يساوي:

أ. 0 J ب. 2 J جـ. 200 J د. 2000 J

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

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

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

2. **أُفسّر** إذا كان يُبذل شغل أم لا في الحالات الآتية:

أ. تحمل هند حقيبتها، وتصعد بها إلى شقتها في الطابق الثاني.

ب. يرفع ياسر حقيبة كتبه رأسيًّا إلى أعلى عن سطح الأرض.

جـ. تسير سارة أُفقيًّا وهي تحمل حقيبة كتبها بين يديها.

د. تحاول ليلى دفع الأريكة، ولا تستطيع تحريكها من مكانها.

3. **أوضّح** هل يُمكن لطاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية أن تكون سالبة.

4. **أُصدِر حُكمًا:** في أثناء دراستي وزميلتي أسماء لمبرهنة (الشغل – الطاقة الحركية)، قالت: "إنّ الشغل الكلّي المبذول على جسم يساوي طاقته الحركية النهائية". أُناقش صحّة قول أسماء.

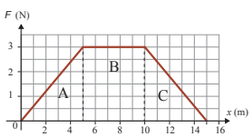
5. **أُحلّل:** قُذفت كرة رأسيًّا إلى أعلى من سطح الأرض. عند أيّ ارتفاع يكون مقدار سرعتها مساويًا نصف مقدار سرعتها الابتدائية؟ أُفسّر إجابتي.

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

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

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

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



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

6 أ. الشغل الذي بذلته القوة خلال (5 m) الأولى من بداية حركة الجسم يساوي المساحة A عدديًّا، وهي مثلث قاعدته (5 m)، وارتفاعه (3 N).

$$W_{0\text{-}5} = A = \frac{1}{2} \times (5 - 0) \times 3 = 7.5 \text{ J}$$

ب. الشغل الكلي الذي بذلته القوة المحصلة خلال (10 m) الأولى من بداية حركة الجسم يساوي مجموع المساحتين (A) و (B) عدديًّا، ويساوي مساحة شبه المنحرف الذي يشكّلانه. وبحسب مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركية)، فإن الشغل الكلي المبذول على الجسم يساوي التغير في طاقته الحركية. وأفترض أن سرعة الجسم في نهاية الإزاحة (10 m) رمزها (v_B).

$$W_{\text{Total } (0\text{ - }10)} = \Delta KE$$

$$A + B = \frac{1}{2} m v_B^2$$

$$7.5 + (10 - 5) \times 3 = \frac{1}{2} \times 10 \times v_B^2$$

$$v_B^2 = 4.5 \rightarrow v_B = 2.12 \text{ m/s}$$

جـ. الشغل الكلي الذي بذلته القوة المحصلة المتغيرة على الجسم يساوي عدديًّا مجموع المساحات A وB وC، أو يمكن حساب مساحة شبه المنحرف كاملًا الذي تكوّنه هذه المساحات.

$$W_{(0\text{ - }15)} = \frac{1}{2} \times [(15 - 0) + (10 - 5)] \times 3$$

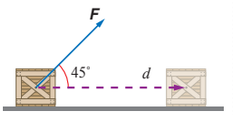
$$= \frac{1}{2} \times (15 + 5) \times 3 = 30 \text{ J}$$

7. **أستعملُ الأرقام:** سيّارة كتلتها (8×10^2 kg) تصعد تلًّا بسرعة ثابتة مقدارها (25 m/s)، وتؤثّر فيها قوى احتكاك مقدارها (5×10^2 N). إذا كانت زاوية ميلان التلّ على الأُفقي (15°)؛ فأحسبُ مقدار ما يأتي:
   أ . القوّة التي يؤثّر بها محرّك السيارة.
   ب . قدرة المحرّك اللازمة كي تصعد السيارة التلّ بهذه السرعة.

8. **أستعملُ الأرقام:** يجرّ قارب سفينة بحبل يصنع زاوية (25°) أسفل الأُفقي بسرعة ثابتة إزاحة مقدارها (2×10^2 m) بقوّة شدّ مقدارها (2×10^3 N). إذا كان الحبل مهمل الكتلة وغير قابل للاستطالة؛ فأحسبُ مقدار ما يأتي:
   أ . الشغل الذي يبذله القارب على السفينة.
   ب . الشغل الذي تبذله القوى المعيقة المؤثّرة في السفينة.

9. **أُحلّل:** يُريد موسى رفع صندوق كتلته (100 kg) إلى ارتفاع (1 m) عن سطح الأرض. فاستخدم مستوى مائلًا طوله (2 m)، ودفع الصندوق إلى أعلى المستوى المائل بقوّة موازية للمستوى بسرعة ثابتة. إذا كان مقدار قوّة الاحتكاك الحركي المؤثّرة في الصندوق (100 N)؛ فأحسبُ مقدار ما يأتي:
   أ . الشغل الذي بذلته قوّة الاحتكاك على الصندوق.
   ب . الشغل الذي بذله موسى على الصندوق.
   جـ . الشغل الذي بذلته قوّة الجاذبية الأرضيّة على الصندوق.

10. **أستعملُ الأرقام:** تسحب ناديا صندوقًا كتلته (50 kg) على سطح أفقي خشن بحبل يميل على الأفقي بزاوية (45°) إزاحة مقدارها (15 m)، كما هو موضّح في الشكل المجاور. إذا علمتُ أنّ مقدار قوّة الشدّ في الحبل (200 N)، واكتسب الصندوق تسارعًا مقداره ($0.3\ m/s^2$)؛ فأحسبُ مقدار ما يأتي:
   أ . الشغل الذي بذلته ناديا على الصندوق.
   ب . التغيّر في الطاقة الحركية للصندوق.
   جـ . الشغل الذي بذلته قوّة الاحتكاك الحركي على الصندوق.
   د . الشغل الكلّي المبذول على الصندوق.



سحب صندوق على سطح أفقي خشن.

11. **أستنتجُ:** مصعد كتلته مع حمولته (2×10^3 kg)، يُرفع بمحرّك من سطح الأرض إلى ارتفاع (60 m) عن سطحها بسرعة ثابتة مقدارها (1 m/s). وتؤثّر فيه في أثناء حركته إلى أعلى قوّة احتكاك حركي ثابتة مقدارها (2×10^3 N)، أحسبُ مقدار ما يأتي:
   أ . الشغل الذي يبذله المحرّك على المصعد.
   ب . شغل قوّة الاحتكاك الحركي.
   جـ . قدرة المحرّك.
   د . التغيّر في الطاقة الميكانيكية للمصعد.

7 أ. قوة محرك السيارة (F).

$$\sum F_{ext} = 0$$
$$F - F_g \sin\theta - f_k = 0$$
$$F = mg \sin\theta + f_k$$
$$= 8 \times 10^2 \times 10 \times \sin 15^\circ + 5 \times 10^2$$
$$= 2.57 \times 10^3 \text{ N}$$

ب.
$$P = Fv \cos\theta = 2.57 \times 10^3 \times 25 \times \cos 0^\circ$$
$$P = 6.425 \times 10^4 \text{ W}$$

8 أ.
$$W_T = F_T\, d \cos\theta$$
$$= 2 \times 10^3 \times 2 \times 10^2 \times \cos 25^\circ = 3.64 \times 10^5 \text{ J}$$

ب. باستخدام مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركية).
$$W_{Total} = \Delta KE = 0$$
$$W_T + W_f = 0 \rightarrow W_f = -W_T \quad = -3.64 \times 10^5 \text{ J}$$

9 أ.
$$W_f = f_k \times d \times \cos 180^\circ$$
$$= 100 \times 2 \times (-1) = -200 \text{ J}$$

ب. توجد قوى غير محافظة مؤثرة في الصندوق تبذل شغلًا عليه، إذًا الطاقة الميكانيكية غير محفوظة. ودفع الصندوق بقوة (F) موازية للمستوى المائل بسرعة ثابتة (لا يوجد تغيّر في الطاقة الحركية).
$$W_{nc} = \Delta ME$$
$$W_F + W_f = \Delta ME$$
$$W_F = \Delta KE + \Delta PE - W_f$$
$$W_F = 0 + mg\Delta y - (-200)$$
$$= 100 \times 10 \times 1 + 200 = 1.2 \times 10^3 \text{ J}$$

جـ.
$$W_g = -\Delta PE = -(mg\Delta y)$$
$$= -100 \times 10 \times 1$$
$$= -1 \times 10^3 \text{ J}$$

10 أ. الشغل الذي بذلته ناديا على الصندوق.
$$W_F = F_T\, \Delta x \cos 45^\circ$$
$$= 2 \times 10^2 \times 15 \times 0.71 = 2.13 \times 10^3 \text{J}$$

ب. أحسب سرعة الصندوق في نهاية الإزاحة.
$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x = (0)^2 + 2 \times 0.3 \times 15$$
$$v_f = 3 \text{ m/s}$$
$$\Delta KE = KE_f - KE_i$$
$$= \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2)$$
$$= \frac{1}{2} \times 50 \times (9 - 0) = 225 \text{ J}$$

جـ. أستخدم مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركية).
$$W_{Total} = \Delta KE$$
$$W_F + W_f = \Delta KE$$
$$W_f = \Delta KE - W_F$$
$$W_f = 225 - 2.13 \times 10^3$$
$$= -1.905 \times 10^3 \text{ J}$$

د.
$$W_{Total} = \Delta KE = 225 \text{ J}$$

11 أ.
$$\sum F = 0$$
$$F_T - F_g - f_k = 0$$
$$F_T = F_g + f_k = mg + f_k$$
$$F_T = 2 \times 10^3 \times 10 + 2 \times 10^3 = 2.2 \times 10^4 \text{ N}$$
$$W_F = F_T\, d \cos 0^\circ = 2.2 \times 10^4 \times 60$$
$$W_F = 1.32 \times 10^6 \text{ J}$$

ب.
$$W_f = f_k\, d \cos 180^\circ$$
$$W_f = -f_k\, d = -2 \times 10^3 \times 60$$
$$= -1.2 \times 10^5 \text{ J}$$

جـ.
$$P = F_T\, v \cos\theta = 2.2 \times 10^4 \times 1 \times \cos 0^\circ$$
$$P = 2.2 \times 10^4 \text{ W}$$

د.
$$\Delta ME = \Delta KE + \Delta PE$$
$$\Delta ME = 0 + mg\Delta y = 2 \times 10^3 \times 10 \times 60$$
$$\Delta ME = 1.2 \times 10^6 \text{ J}$$

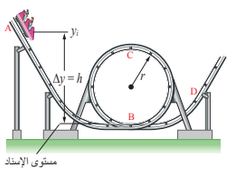
12. **التفكير الناقد:** يوضّح الشكل المجاور أُفعوانية كتلة عربتها (2×10^2 kg) تتحرّك من السكون من تل ارتفاعه (60 m) (الموقع A) إلى أسفل التلّ على مسار مهمل الاحتكاك، وتمرّ في أثناء ذلك بمسار دائري رأسي عند الموقع (B) على شكل حلقة نصف قطرها (20 m) وتُكمل مسارها مارّة بالموقع (D). أستعينُ بالشكل المجاور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

أ . سرعة عربة الأُفعوانية عند الموقع (B).

ب . سرعة عربة الأُفعوانية عند الموقع (C).

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

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



لعبة الأُفعوانية.

13. ينزلق طفل كتلته (40 kg) بدءًا من السكون من قمة منزلق مائي أملس طوله (1×10^2 m) وارتفاعه (30 m) عن سطح الأرض، أنظرُ إلى الشكل المجاور. أجيب عمّا يأتي:

أ . **أحسبُ** مقدار الطاقة الميكانيكية للطفل عند قمّة المنزلق.

ب. **أحسبُ** مقدار الطاقة الحركية الطفل عند نهاية المنزلق.

جـ. **أحسبُ** مقدار سرعة الطفل عند نهاية المنزلق.

د . **أحسبُ** مقدار شغل قوّة الجاذبية الأرضيّة المبذول على الطفل، في أثناء انزلاقه من قمّة المنزلق إلى أسفله.

هـ. **أُفسّر:** هل يؤثّر طول المنزلق في سرعة الطفل عند نهايته؟ أُفسّر إجابتي.

منزلق مائي أملس.

14. **أستعملُ المتغيّرات:** تسحب رافعة سيّارة من السكون على طريق أُفقي بقوّة شدّ مقدارها (2×10^3 N) بحبل يميل على الأُفقي بزاوية (37°) إزاحة مقدارها (5×10^2 m)، أنظرُ إلى الشكل المجاور. إذا علمتُ أنّ مقدار قوّة الاحتكاك الحركي المؤثّرة في السيارة (6×10^2 N)، والحبل مهمل الكتلة وغير قابل للاستطالة؛ فأحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . شغل قوّة الاحتكاك الحركي.

ب. شغل قوّة الشدّ.

جـ. التغيّر في الطاقة الحركية للسيارة.

د . التغيّر في الطاقة الميكانيكية للسيارة.

رافعة تسحب سيارة على طريق أُفقي خشن.

12 أ . الطاقة الميكانيكية للعربة محفوظة؛ لعدم وجود قوى غير محافظة تبذل شغلًا عليها؛ لذا فإنّ:

$$ME_A = ME_B$$
$$KE_A + PE_A = KE_B + PE_B$$
$$\frac{1}{2}mv_A^2 + mgy_A = \frac{1}{2}mv_B^2 + mgy_B$$
$$0 + 2 \times 10^2 \times 10 \times 60 = \frac{1}{2} \times 2 \times 10^2 \times v_B^2 + 0$$
$$v_B^2 = 1200$$
$$v_B = 34.6 \text{ m/s}$$

ب.
$$ME_A = ME_B = ME_C$$
$$KE_A + PE_A = KE_C + PE_C$$
$$1.2 \times 10^5 = \frac{1}{2}mv_C^2 + mgy_C$$
$$1.2 \times 10^5 = \frac{1}{2} \times 2 \times 10^2 \times v_C^2 + 2 \times 10^2 \times 10 \times 40$$
$$v_C^2 = 400$$
$$v_C = 20 \text{ m/s}$$

جـ. القوة الوحيدة المؤثرة في العربة التي تبذل شغلًا عليها هي قوة الجاذبية الأرضية، وهي قوة محافظة. ويكون شغلها المبذول على العربة مساويًا سالب التغير في طاقة وضع العربة الناشئ عن الجاذبية الأرضية، ويساوي أيضًا التغير في طاقتها الحركية.

$$W_g = -\Delta PE = -(PE_C - PE_B) = -mg(y_C - y_B)$$
$$= -2 \times 10^2 \times 10 \times (40 - 0) = -8 \times 10^4 \text{J}$$

د . الطاقة الميكانيكية للعربة محفوظة لعدم وجود قوى غير محافظة تبذل شغلًا عليها؛ لذا فإن:

$$ME_A = ME_D$$
$$= KE_A + PE_A$$
$$= \frac{1}{2}mv_A^2 + mgy_A$$
$$= 0 + 2 \times 10^2 \times 10 \times 60 = 1.2 \times 10^5 \text{J}$$

13 أ . بالرمز إلى قمة المنزلق بالرمز (A). والطاقة الحركية للطفل تساوي صفرًا؛ لأنه انزلق من السكون، واختيار سطح الأرض مستوى إسناد.

$$ME_A = PE_A + KE_A$$
$$= mgy_A + 0 = 40 \times 10 \times 30$$
$$= 1.2 \times 10^4 \text{ J}$$

ب. نهاية المنزلق (B). وطاقة الوضع للطفل عندها تساوي صفرًا. ولا توجد قوة احتكاك؛ فتكون الطاقة الميكانيكية محفوظة.

$$ME_A = ME_B = 1.2 \times 10^4 \text{ J} = PE_B + KE_B$$
$$0 + KE_B = 1.2 \times 10^4 \text{ J}$$
$$KE_B = 1.2 \times 10^4 \text{ J}$$

جـ.
$$KE_B = 1.2 \times 10^4 \text{ J}$$
$$\frac{1}{2}mv_f^2 = 1.2 \times 10^4$$
$$v_f^2 = \frac{2 \times 1.2 \times 10^4}{40} = 600$$
$$v_f = 24.495 \text{ m/s} \approx 24.5 \text{ m/s}$$

د .
$$W_g = -\Delta PE = -(PE_B - PE_A)$$
$$= -(0 - mgy_A) = 1.2 \times 10^4 \text{ J}$$

هـ. لا يؤثر طول المنزلق في سرعة الطفل عند نهايته؛ لأنه لا توجد قوى غير محافظة تبذل شغلًا عليه، فتكون الطاقة الميكانيكية محفوظة، ولا تتغير طاقته الحركية عند وصوله نهاية المنزلق بتغير طول المنزلق.

14 أختار سطح الأرض مستوى إسناد لطاقة الوضع.

نظام (السيارة – سطح الطريق) تؤثر فيه قوى غير محافظة تبذل شغلًا عليه؛ لذا الطاقة الميكانيكية غير محفوظة.

في هذا النظام السيارة متحركة.

أ. تؤثر قوة الاحتكاك الحركي بعكس اتجاه حركة السيارة، وأحسب شغلها كما يأتي:

$$W_f = f_k d \cos 180^\circ = -f_k d$$
$$= -6 \times 10^2 \times 5 \times 10^2 = -3 \times 10^5 \text{J}$$

ب.
$$W_F = F_T d \cos 37^\circ$$
$$= 2 \times 10^3 \times 5 \times 10^2 \times 0.8 = 8 \times 10^5 \text{ J}$$

جـ. أستخدم مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركية).

$$W_{\text{Total}} = \Delta KE$$
$$W_F + W_f = \Delta KE$$
$$\Delta KE = W_F + W_f = 8 \times 10^5 + (-3 \times 10^5)$$
$$= 5 \times 10^5 \text{ J}$$

د. التغيّر في الطاقة الميكانيكية للسيارة هو نتيجة تغير الطاقة الحركية فقط؛ ($\Delta PE = 0$).

$$W_{nc} = \Delta ME = W_F + W_f = 5 \times 10^5 \text{ J}$$

الوحدة الثانية: المجال الكهربائي Electric Field.

تجربة استهلالية: قياس قوة التنافر الكهربائية بين شحنتين بطريقة عملية.

الدرس	النتاجات	التجارب والأنشطة	عدد الحصص
الأول: **قانون كولوم**	• وصف العلاقة بين القوّة الكهربائيّة المتبادلة بين شحنتين نقطيتين، وكلّ من مقدار الشحنتين والمسافة بينهما. • حساب محصّلة القوى الكهربائيّة المؤثّرة في شحنة نقطية.	• استقصاء العلاقة بين القوة الكهربائية والبعد بين الشحنتين في قانون كولوم.	4
الثاني: **المجال الكهربائي للشحنات النقطية**	• تعريف المجال الكهربائيّ عند نقطة. • وصف خطوط المجال الكهربائيّ المحيط بنظام من الشحنات الكهربائيّة؛ لتوزيعات مختلفة من الشحنات النقطيّة. • حساب المجال الكهربائيّ عند نقطة في المجال الكهربائيّ لشحنة نقطية. • حساب محصّلة المجال الكهربائيّ عند نقطة بتأثير عدّة شحنات نقطية. • وصف التدفّق الكهربائيّ الذي يخترق سطحًا بمعادلة.		3
الثالث: **المجال الكهربائي لتوزيع متصل من الشحنات الكهربائية**	• وصف التدفّق الكهربائيّ الذي يخترق سطحًا بمعادلة. • حساب مقدار المجال الكهربائيّ لتوزيع متّصل للشحنات الكهربائيّة. • دراسة حركة شحنة نقطية في مجال كهربائيّ منتظم.	• تخطيط المجال الكهربائي المنتظم بطريقة عملية.	4

النتاجات السابقة	الصف	النتاجات اللاحقة	الصف
• توضيح المقصود بالشحنة الكهربائية. • تنفيذ نشاط لاستقصاء مفهوم الشحنات الكهربائية والقوى الكهربائية المتبادلة بينها.	الثالث	.....	
• توضيح المقصود بعمليات الشحن الكهربائية (التوصيل، الحث، الدلك). • التوصل عمليًّا إلى طرائق شحن الأجسام كهربائيًّا. • التوصل إلى تفاعل الأجسام المشحونة مع بعضها بالتجاذب والتنافر.	التاسع	.....	

المجال الكهربائيّ
Electric Field

أتأمّل الصورة

البرق والمجال الكهربائيّ

ربما يكون البرق الناتج عن العواصف الرعدية، من أكبر الشواهد على آثار المجال الكهربائيّ التي نُشاهدها في الطبيعة. تشتهر بحيرة ماراكايبو في فنزويلا بأنّها المنطقة الأكثر تعرّضًا للبرق على وجه الأرض؛ إذ تتعرّض تلك المنطقة سنويًّا إلى (250) ومضة برق تقريبًا لكل كيلومتر مربّع. بالإضافة إلى رؤية البرق من سطح الأرض؛ فإنّ تأثير المجال الكهربائيّ الناتج عن السحب الرعدية يمتدّ عاليًا في الغلاف الجوي لدرجة أنّ الضوء الأزرق أو الأحمر الساطع الناتج عن البرق، يُمكن رؤيته أحيانًا من محطّة الفضاء الدولية، التي تدور على ارتفاع يزيد على (400 km) فوق سطح الأرض، ما مصدر الطاقة الضوئية والحرارية الهائلة الناتجة عن الصواعق؟

- بعد هذا التقديم، أوجّه للطلبة السؤالين الآتيين:

– لماذا يعدّ البرق شاهدًا طبيعيًّا على الكهرباء الساكنة؟

عندما تتقابل غيمتان مشحونتان بشحنتين مختلفتين ينشأ بينهما فرق في الجهد الكهربائي، فيعمل على تأيين الهواء في المنطقة بين الغيمتين، وتتحرك الأيونات مشكّلة تيارًا كهربائيًّا، يعمل على تفريغ الشحنة، ونتيجة مقاومة هذا الوسط المتأين للتيار، يسخن فيتوهج ويصدر ضوءًا ساطعًا يمثل البرق.

– ما مصدر الطاقة الضوئية والحرارية الهائلة الناتجة من الصواعق؟

طاقة وضع كهربائية مختزنة في النظام المكوّن من الشحنات الكهربائية تتحرّر عند تفريغ الشحنة خلال الهواء.

المجال الكهربائي
Electric Field

أتأمَّل الصورة

- ألفت انتباه الطلبة إلى صورة البرق، وأطلب إليهم ذكر تجاربهم الشخصية مع ظاهرة البرق.
- قد يكون من الممتع أن أعرّف الطلبة ببحيرة ماراكايبو Maracaibo التي تقع في غرب فنزويلا بقارة أمريكا الجنوبية، وتبلغ مساحتها ($13200\ km^2$)، وتتصل مع البحر الكاريبي بقناة طولها (75 km).
- أخبر الطلبة بتفسير الباحثين لتعرض هذه البحيرة للبرق بشكل متواصل، بأنّه يعود لوجودها بجوار جبال شاهقة.
- أفسّر للطلبة أن تصادم تيارات الرياح الباردة القادمة من الجبال مع مياه البحيرة الدافئة يسبب عواصف رعدية فوق سطح البحيرة تستمر لمدة زمنية تصل إلى 300 يوم سنويًّا.

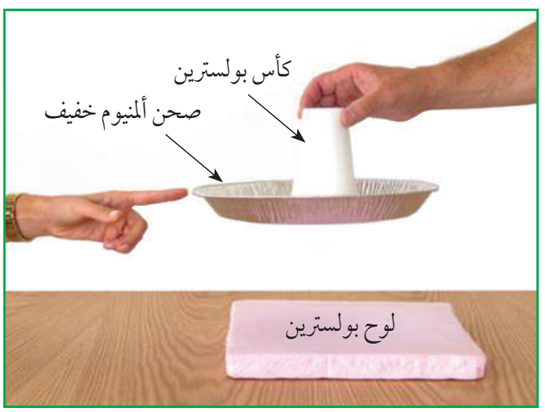
الفكرة العامة:

- أذكّر الطلبة أن المادة تتكون من ذرات تحتوي على بروتونات وإلكترونات، وأنّ الإلكترونات تحمل شحنات سالبة، والبروتونات تحمل شحنات موجبة. لذلك فإنّ الأجسام جميعها تحمل شحنات كهربائية موجبة وسالبة معًا.
- أبيّن لهم أنه عند حدوث فائض في أحد نوعي الشحنة عن الآخر، فإن الجسم يصبح مشحونًا.
- أوضّح للطلبة بأنّهم سيتعلمون أن الشحنات أو الأجسام المشحونة تولد حولها مجالًا كهربائيًّا، يؤثر بقوىً كهربائية في الشحنات الأخرى الموجودة فيه.

مشروع الوحدة:

تحقيقًا لمنحى STEAM في التعليم، ولتدريب الطلبة على خطوات بناء مشروع علمي يطبّقون فيه ما تعلموه في الكهرباء الساكنة، أطلب إليهم تصميم أداة لتوليد الشحنات الكهربائية ونقلها، وبناء نموذج لهذه الأداة.

يوضح الشكل أحد هذه النماذج؛ إذ يدلك لوح البولسترين بقطعة فَروٍ لشحنه، ويستخدم صحن الألمنيوم لحمل الشحنة ونقلها، وكأس البولسترين يمثل مقبضًا عازلًا يستخدم لرفع الصحن. ويمكن لمس الصحن المشحون لتفريغ الشحنة، ثم شحنه من جديد بملامسته للطبق.



أوجّه الطلبة إلى البحث في مصادر المعرفة المتاحة والموثوقة، للاطلاع على المعلومات والصور أو المقاطع المرئية (الفيديوهات) المناسبة، قبل بدء العمل. بعد ذلك أطبّق الخطوات الآتية:

الفكرة العامّة:

تكون الأجسام متعادلة أو مشحونة كهربائيًّا، والجسم المشحون يحمل شحنة كهربائيّة فائضة موجبة أو سالبة، ويولّد مجالًا كهربائيًّا في المنطقة المحيطة به. يُمكنني التعبير عنه بعلاقة رياضية أو بالرسم؛ باستعمال خطوط المجال الكهربائيّ، ويؤثّر المجال الكهربائيّ بقوة في الشحنات الموجودة فيه.

الدرس الأول: قانون كولوم

الفكرة الرئيسة: تنشأ بين الشحنات الكهربائيّة المتشابهة قوى تنافر وبين الشحنات المختلفة قوى تجاذب، وهي قوى تأثير عن بُعد، وتتناسب القوّة الكهربائيّة طرديًّا مع حاصل ضرب الشحنتين، وعكسيًّا مع مربّع المسافة بينهما.

الدرس الثاني: المجال الكهربائيّ للشحنات النقطيّة

الفكرة الرئيسة: المجال الكهربائيّ خاصّية للحيّز الذي يُحيط بشحنة كهربائيّة وتظهر فيه آثار القوّة الكهربائيّة. ويُعرّف المجال الكهربائيّ عند نقطة بأنّه القوّة الكهربائيّة لكلّ وحدة شحنة موجبة عند هذه النقطة.

الدرس الثالث: المجال الكهربائيّ لتوزيع متّصل من الشحنات الكهربائيّة

الفكرة الرئيسة: يستخدم قانون غاوس لحساب المجال الكهربائيّ الناتج عن توزيع منتظم للشحنات.

- أُطلِع الطلبة على معايير تقويم المشروع، وأكتبها على لوحة معلقة أمام الجميع.
- أوزّع الطلبة إلى مجموعات، وأكلف كل مجموعة بإعداد تصميم مناسب لأداة توليد الشحنات الكهربائية ونقلها.
- أجري نقاشًا مع الطلبة أطبّق خلاله معايير التقويم على التصاميم المنجزة، لاختيار المناسب منها، وتعديل غير المناسب.
- أكلّف كل مجموعة بتنفيذ تصميمها المتفق عليه، وتجريبه عمليًّا أمام الطلبة، لاختبار نجاحه.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

*** القضايا ذات العلاقة بالعمل: إدارة المشاريع.**

أوجّه الطلبة إلى أهمية التخطيط العلمي الدقيق للمشروع، وأهمية جمع معلومات كافية عنه قبل البدء بالتنفيذ، ثم عمل التصاميم المناسبة واختبارها. أطلب إلى الطلبة عند تنفيذ المشروع اختيار الأدوات المناسبة لبناء النموذج، ثم إجراء التعديلات اللازمة عليه.

تجربة استهلالية

الهدف:

- الحصول على أجسام مشحونة باستعمال مولّد فان دي غراف.
- قياس قوة التنافر بين شحنتين متماثلتين.

زمن النشاط: 25 دقائق.

إرشادات السلامة:

- أحذّر الطلبة من الجهد العالي، وعدم لمس كرة مولّد فان دي غراف وهو يعمل، أو بعد توقفه؛ لأنها تبقى محتفظة بشحنتها بعد توقف المولد، ولا بد من تفريغ الشحنة باستخدام أداة خاصة.

المهارات العلمية:

الملاحظة، والقياس، والتفسير، والوصف، والتنبؤ.

الإجراءات والتوجيهات:

أطلب إلى الطلبة الاستعانة بدليل الأنشطة والتجارب العملية، مع تنبيههم إلى الملاحظات الآتية:

- تغليف الكرات وعزلها جيدًا؛ حتى تحتفظ بالشحنات الكهربائية.
- عدم تعريض أدوات التجربة لمجرى هواء؛ حتى تكون القراءات دقيقة.
- الانتباه لوحدات قياس الكتلة والقوة، والتحويل بينهما بصورة صحيحة.
- نقل الشحنة من كرة فان دي غراف إلى كرتي التجريب باستخدام الأداة الملحقة بالمولد.

النتائج المتوقعة:

من المتوقع الحصول على نتائج مقبولة في حال تمت عملية شحن الكرتين بنجاح، وسوف يظهر تغير ملحوظ على قراءة الميزان. مع الانتباه إلى أن الأمر يكون أكثر صعوبة عندما يكون الجو رطبًا.

التحليل والاستنتاج:

1. حتى تحافظ الكرة على شحنتها ولا يحدث لها تفريغ في يد المستخدم.
2. عند ملامسة كرة مشحونة إلى كرتين متماثلتين فإنهما تحصلان على مقدار من الشحنة يقسم بينهما بالتساوي؛ لأن الشحنة تتوزع على سطحي الكرتين بانتظام، بسبب تساوي مساحة السطحين. أما عندما تكون إحدى الكرتين أكبر من الثانية، فإن مساحة سطحها تكون كبيرة، وتأخذ كمية من الشحنة أكبر من كمية الشحنة التي تأخذها الكرة الصغيرة.

تجربة استهلالية

قياس قوّة التنافر الكهربائيّة بين شحنتين بطريقة عملية

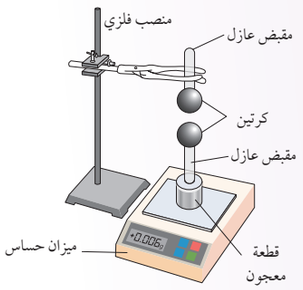
الموادّ والأدوات: ميزان رقميّ حسّاس، (3) كرات بولسترين (أقطارها: 5, 5, 10 cm تقريبًا)، ورق ألمنيوم، منصب فلزيّ، معجون، مقبض عازل عدد (3)، مولّد فان دي غراف.

إرشادات السلامة: تحذير جهد عالٍ – عدم لمس كرة مولّد فان دي غراف وهو يعمل.

خطوات العمل:

بالتعاون مع أفراد مجموعتي؛ أُنفّذ الخطوات الآتية:

1. أغرزُ مقبضًا عازلًا في كلّ كرة بولسترين، ثمّ أُغلّف الكرة جيدًا بورق الألمنيوم (لماذا؟).
2. أُشغّل الميزان وأُثبّت إحدى الكرتين الصغيرتين ومقبضها العازل فوق الميزان باستعمال قطعة معجون، أو بأيّ طريقة مناسبة، وأُلاحظ قراءته بوحدة kg، ثم أضرِبُ القراءة في تسارع السقوط الحر؛ لحساب وزن الكرة والمقبض (W_1)، وأُدوّنه.
3. أُثبّت الكرة الصغيرة الثانية ومقبضها العازل في المنصب الفلزيّ، كما في الشكل.
4. أُشغّل مولّد فان دير غراف بمساعدة المعلم/ المعلمة، وأشحن به كلًّا من الكرتين، بملامسة كرة المولّد للكرتين معًا في اللحظة نفسها.
5. أُقرّب المنصب الفلزي من الميزان الحسّاس لتُصبح كرة المنصب فوق كرة الميزان، من دون أن تتلامسا.
6. أُلاحظ قراءة الميزان بوحدة kg وأُدوّنها، وأضرِبُ القراءة في تسارع السقوط الحرّ لحساب الوزن (W_2)، علمًا بأنّ: القوّة الكهربائيّة = فرق الوزنين ($W_2 - W_1$).
7. أُغيّر إحدى الكرتين بالكرة الكبيرة ثمّ أُعيد شحنهما، وأُكرّر الخطوات السابقة جميعها.



التحليل والاستنتاج:

1. أستنتجُ أهمّية المقبض العازل الذي ثُبّت به كلّ كرة.
2. أُفسّر كيف حصلتُ على شحنتين متماثلتين على الكرتين الصغيرتين، وكيف حصلتُ على شحنتين غير متساويتين؛ عند استعمال كرة كبيرة وأُخرى صغيرة.
3. بناءً على قراءات الميزان؛ أُحدّد اتّجاه القوّة الكهربائيّة المؤثّرة في الشحنة السفلى في كل محاولة ومقدارها.
4. أتوقّع: كيف سيكون تأثير زيادة المسافة الرأسية بين الكرتين، أو إنقاصها؟
5. أُعلّل لماذا تُصنّف القوّة الكهربائيّة بأنّها قوّة تأثير عن بُعد.

3. بما أن قراءة الميزان تزداد عند تأثير القوة الكهربائية، فإن اتجاه هذه القوة يكون نحو الأسفل.
4. عند زيادة المسافة الرأسية بين الكرتين، سوف تقل قوة التنافر الكهربائية بينهما، والعكس صحيح.
5. لأن تأثير القوة الكهربائية ينتقل إلى الأجسام المشحونة دون حدوث تلامس أو اتصال مباشر بينها.

استراتيجية التقويم: التقويم المعتمد على الأداء. **أداة التقويم:** قائمة الرصد.

الرقم	معيار الأداء	نعم	لا
1	مراعاة تعليمات الأمان والسلامة العامة عند تنفيذ التجربة.		
2	قياس وزن الكرة بدقة؛ قبل وجود القوة الكهربائية وبعده.		
3	تحويل قراءة الميزان من قياس الكتلة إلى قياس القوة.		
4	تدوين الملاحظات بدقة وأمانة عند تنفيذ كل خطوة.		
5	التعاون مع الزملاء/ الزميلات والاحترام المتبادل والاستماع للآراء.		

الدرس 1

قانون كولوم
Coulomb's Law

1 تقديم الدرس

◄ الفكرة الرئيسة:

- أسأل الطلبة:

– كيف تؤثر الشحنات الكهربائية في بعضها بعضًا؟
الشحنات المختلفة تتجاذب، والشحنات المتشابهة تتنافر.

– ما العوامل المؤثرة في القوة الكهربائية بين شحنتين؟
تزداد القوة بزيادة مقدار كل من الشحنتين، وبنقصان البعد بينهما.

- أبيّن للطلبة أن قانون كولوم يطبّق في حالة الشحنات النقطية فقط.

◄ الربط بالمعرفة السابقة:

- أنفّذ مع الطلبة جلسة عصف ذهني، فأذكّرهم أن الأجسام تشحن كهربائيًّا بثلاث طرائق هي: الدلك، والتوصيل، والحثّ.
- أذكّرهم أن الأجسام المشحونة تؤثر في بعضها بقوى كهربائية، على صورة تجاذب أو تنافر.

2 التدريس

نشاط سريع

- أستخدم **استراتيجية التعلم التعاوني**، فأوزع الطلبة في مجموعات.
- تضع كل مجموعة قصاصات ورق صغيرة على طاولة خشبية، ثم تدلك مسطرة بلاستيكية سميكة بقطعة فرو.
- أطلب إلى أحد أفراد كل مجموعة تقريب طرف المسطرة من قصاصات الورق؛ من دون أن تلامسها.
- أسأل المجموعات عن ملاحظاتهم. سيلاحظ الطلبة أن المسطرة تلتقط عددًا من قصاصات الورق.
- أسأل المجموعات، ما نوع شحنة المسطرة؟ لماذا انجذبت بعض قصاصات الورق (المتعادلة الشحنة) نحو المسطرة؟ شحنة المسطرة سالبة. وحدث للذرات على سطح قصاصة الورق المواجه للمسطرة استقطاب، فأصبح الوجه المقابل للمسطرة موجب الشحنة وانجذبت القصاصة كلها للمسطرة.

◄ الفكرة الرئيسة:
تنشأ بين الشحنات الكهربائيّة المتشابهة قوى تنافر، وبين الشحنات المختلفة قوى تجاذب؛ وهي قوى تأثير عن بُعد، وتتناسب القوّة الكهربائيّة طرديًّا مع حاصل ضرب الشحنتين، وعكسيًّا مع مربّع المسافة بينهما.

◄ نتاجات التعلم:
- أصف العلاقة بين القوّة الكهربائيّة المتبادلة بين شحنتين نقطيتين، وكلّ من مقدار الشحنتين والمسافة بينهما.
- أحسبُ محصّلة القوى الكهربائيّة المؤثّرة في شحنة نقطية، الناتجة عن عدّة شحنات نقطية.

◄ المفاهيم والمصطلحات:

شحنة كهربائيّة	Electric Charge
كولوم	Coulomb
شحن بالدلك	Charging by Rubbing
شحن بالتوصيل	Charging by Conduction
شحن بالحثّ	Charging by Induction
قانون كولوم	Coulomb's Law
سماحية كهربائيّة	Electric Permittivity

الشكل (1): انجذاب قصاصات الورق إلى المسطرة.

الشحنات الكهربائيّة Electric Charges

قبل 2600 عام تقريبًا، اكتشف الفيلسوف والرياضي اليوناني طاليس أنّه إذا دلك قطعة من العنبر المطّاطي بقطعة من الفرو؛ فإنّ العنبر يُصبح لديه القدرة على جذب الريش. ويُمكنني ملاحظة التأثير نفسه عند دلك مسطرة بلاستيكية بقطعة قماش صوفي أو فرو، ثمّ تقريبها من قصاصات ورق صغيرة، كما في الشكل (1).

خلال عملية الدلك انتقلت بعض الإلكترونات من الفرو إلى المسطرة البلاستيكية؛ فأصبحت المسطرة مشحونة بشحنة كهربائيّة سالبة، وعند تقريب المسطرة من قصاصات الورق الملقاة على الطاولة –من دون ملامستها لها– تقفز هذه القصاصات من الطاولة إلى المسطرة. يحدث هذا لأنّ الشحنة السالبة على المسطرة تؤثّر في الورقة فيحدث استقطاب لذرّات الورقة وهو إعادة توزيع طفيف لشحنات تلك الذرّات تحت تأثير شحنة خارجية، وهذا يؤدّي إلى شحن سطح الورقة القريب من المسطرة بشحنة كهربائيّة موجبة، تتجاذب مع الشحنات السالبة على المسطرة البلاستيكية.

يُمكنني أيضًا ملاحظة التأثير الناتج عن تجاذب الشحنات الكهربائيّة على الأجسام، عندما ندلك بالونًا مطّاطيًّا منفوخًا بشعرنا أو بقطعة فرو،

◄ المناقشة:

- أذكر بعض التطبيقات والظواهر اليومية المتعلقة بالكهرباء الساكنة، وأناقش الطلبة في تفسيرها.
- أقدّم للطلبة بعض المعلومات عن مكونات الذرة المتعادلة، وأبيّن تأثير انتزاع إلكترون منها أو إضافته إليها في شحنتها.
- أرسم على اللوح ذرات متعادلة وأخرى متأينة، ثم أطلب إلى الطلبة توضيح تأثير فقد الإلكترونات واكتسابها في كل شكل في شحنة الذرة.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

❋ المهارات الحياتية: الحوار، والاتصال.

أخبر الطلبة أن الحوار والاتصال من المفاهيم العابرة التي لها أهمية كبيرة في نقل المعلومات بين أفراد المجموعة؛ سعيًا إلى بلوغ المعرفة العلمية إلى جميع الطلبة، وتوثيق مصادرها.

الشكل (2): انجذاب تيّار الماء إلى بالون مطّاطي مشحون.

فيُشحن البالون ويُصبح سالب الشحنة عن طريق الدلك، ويمكنه جذب تيّار ماء صغير ينحدر من صنبور عند تقريبه منه، كما يُبيّن الشكل (2).

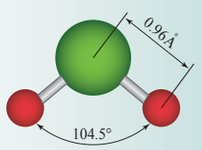
لماذا ينجذب تيّار الماء إلى البالون المشحون؟ مع أنّ جزيء الماء متعادل الشحنة، إلّا أنّ له قطبين كهربائيّين؛ أحدهما سالب تُمثّله ذرة الأكسجين، والآخر موجب تُمثّله ذرّتا الهيدروجين. وعند مرور تيّار الماء بالقرب من جسم مشحون بشحنة كهربائيّة سالبة مثل البالون؛ فإنّ جزيئات الماء تُعيد اصطفافها بحيث تتجه أقطابها الموجبة نحو البالون والسالبة بعيدًا عنه؛ لذا تنجذب هذه الجزيئات إلى البالون.

طرائق الشحن الكهربائيّ Methods of Electric Charging

تنتج عملية الشحن الكهربائيّ للأجسام عن إحداث عدم توازن في توزيع الشحنات الكهربائيّة عليها. وتوجد (3) طرائق لإحداث عملية الشحن الكهربائيّ للأجسام، هي:

- **الشحن بالدلك Charging by Rubbing**: عملية دلك جسم مع جسم آخر، فينتج عنها انتقال الإلكترونات من سطح أحد الجسمين إلى سطح الجسم الآخر؛ فيُصبح الجسم الفاقد للإلكترونات موجب الشحنة، ويُصبح الجسم المكتسب للإلكترونات سالب الشحنة. وهذه الطريقة مفيدة في شحن الأجسام العازلة مثل البلاستيك. وقد لاحظتُ هذه الطريقة عند شحن كلّ من المسطرة البلاستيكية والبالون المطّاطي في المثالين السابقين.

الربط بالكيمياء



يتكوّن جزيء الماء (H_2O) من ذرّة أكسجين وذرّتَي هيدروجين ترتبط معًا بروابط تساهمية، ولا تكون هذه الذرّات الثلاث على استقامة واحدة، إذ توجد زاوية بين ذرّتَي الهيدروجين مقدارها (104.5°)، ما يُعطي الماء خصائص متميّزة عن المواد الأُخرى. إنّ زيادة الكثافة الإلكترونية حول ذرّة الأكسجين تجعلها قطبًا كهربائيًّا سالبًا، ونقصها حول ذرّتَي الهيدروجين تجعلهما قطبًا موجبًا لجزيء الماء.

الربط بالكيمياء

أطلب إلى الطلبة الاستعانة بمصادر المعرفة الموثوقة والمتاحة، للحصول على معلومات عن جزيئات الماء من حيث: شكل الجزيء، ومكوناته، وصفاته الفيزيائية، ثم الاستعانة بمعلم/ معلمة الكيمياء؛ للتأكد من دقة هذه المعلومات، وبيان هل توجد مواد أخرى تتشابه مع جزيئات الماء في استقطابها.

معلومة إضافية

عند تقريب جسم مشحون بشحنة موجبة (مؤثر) من جسم موصل متعادل، فإن الشحنات السالبة على الموصل تنجذب وتتحرك نحو المؤثر، في حين لا تتحرك الشحنات الموجبة على الموصل، وهذا الفصل لنوعي الشحنة على الموصل يسمى استقطابًا كهربائيًّا. وكما يحدث الاستقطاب للأجسام الكبيرة الموصلة، فهو يحدث في الأجسام العازلة على مستوى الذرات السطحية؛ كما حدث مع قصاصات الورق في النشاط السابق؛ إذ حدث ذلك عند استخدام جسم مؤثر مشحون (المسطرة).

نشاط سريع

- أحضر بالونًا وأنفخه وأربط فوهته، وأدلكه بقطعة من الفرو، ثم أقرّب البالون من تيار ماء صغير ينحدر من صنبور.
- أطلب إلى الطلبة مشاهدة ما يحدث لتيار الماء، ثم تفسير مشاهداتهم.
- عند تعذّر استخدام صنبور ماء، يمكن استخدام قنينة مملوءة بالماء وإحداث ثقب في قاعدتها.

المناقشة:

- أوجّه للطلبة السؤالين الآتيين:

– عندما كان البالون مشحونًا، لماذا انجذبت إليه جزيئات الماء المنحدرة من الصنبور، علمًا أن جزيء الماء متعادل كهربائيًّا؟

جزيء الماء متعادل لكنه مستقطب، تشكل ذرة الأكسجين قطبًا سالبًا وذرتا الهيدروجين قطبًا موجبًا، لذلك يحدث التجاذب مع البالون.

– هل يمكن أن تحدث الظاهرة نفسها مع تيار من الزيت؟

لا؛ لأن جزيء الزيت متعادل وغير مستقطب.

- أستخدم **استراتيجية التفكير الناقد**، فأوجه الطلبة إلى تأمل الشكل (1)، ثم أسألهم: لو استعملت قضيبًا من النحاس بدل المسطرة البلاستيكة ودلكته بالصوف، هل تنجذب إليه قصاصات الورق؟ لماذا؟
- أعطي للطلبة وقتًا للتفكير ومناقشة أفكارهم، ثم أستمع لإجاباتهم، وأطلب إليهم التعليق عليها.

تنتقل الشحنات خلال الأجسام الموصلة بسهولة؛ لذا فإنّ الشحنة التي يكتسبها قضيب النحاس بالدلك لا تستقر على سطحه، بل تنتقل إلى الأرض عبر جسم الإنسان؛ الذي يعدّ موصلًا أيضًا. لذلك تستخدم مقابض عازلة لحمل الأجسام الموصلة عند دلكها حتى تحتفظ بالشحنة الكهربائية.

المناقشة:

- أبيّن للطلبة أن طريقة الشحن بالتوصيل أو التلامس تكون مفيدة بشكل جيد في شحن الأجسام الموصلة؛ لسهولة انتقال الشحنات خلالها.
- أبيّن للطلبة أن طريقة الشحن بالحث قد تؤدي إلى وجود شحنة مؤقتة تزول بزوال المؤثر، أو شحنة دائمة لا تزول بزوال المؤثر. ثم أسألهم:

– عند تلامس موصل متعادل (أ) مع موصل مشحون بشحنة موجبة (ب)، حدّد/ حدّدي اتجاه انتقال الشحنة بين الموصلين، وفسّر/ فسّري إجابتك.

تنقص الشحنة الموجبة قليلًا على الموصل (ب)، وتظهر شحنة موجبة على الموصل (أ)؛ لكن هذا لا يعني أن الشحنات الموجبة انتقلت من (ب) إلى (أ)، بل إن الإلكترونات انتقلت من (أ) إلى (ب).

أتحقّق:

– الشحن بالدلك، الشحن بالتوصيل، الشحن بالحث.

– أقل كمية من الشحنة قد توجد على انفراد (1.6×10^{-19} C)، ويحمل هذا المقدار البروتون، في حين يحمل الإلكترون مقدارًا مساويًا من الشحنة، لكنها سالبة.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

التفكير: التحليل.

أخبر الطلبة أنّ التحليل هو أحد المفاهيم العابرة، وأنّه من خطوات التفكير، وتتمثل أهميته في استخراج المعلومة من موقف معين؛ فتحليل ما يحدث عند شحن الأجسام بالكهرباء يسهّل على الطلبة التفكير للتوصل إلى فهم كامل لعملية الشحن، وهذا يمكّنهم من تفسير كثير من المواقف الحياتية المشابهة.

ورقة العمل (1)

أوزع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة، ثم أزودهم بورقة العمل (1) الموجودة في الملحق، وأمنحهم وقتًا كافيًا للإجابة عليها، ومناقشة الإجابة ضمن المجموعة. ثم أكلف كل مجموعة بعرض إجاباتها، ومناقشتها مع الآخرين.

- **الشحن بالتوصيل Charging by Conduction**: عملية ملامسة جسم مشحون مع آخر متعادل؛ فيحدث انتقال للشحنات الكهربائيّة بين الجسمين. فإذا كان الجسم المشحون سالب الشحنة، انتقلت بعض الإلكترونات منه إلى الجسم المتعادل؛ فأصبح الجسمان سالبين. وإذا كان الجسم المشحون موجب الشحنة، انتقلت إليه بعض الإلكترونات من الجسم المتعادل؛ فأصبح الجسمان موجبين. وهذه الطريقة مفيدة في شحن الأجسام الموصلة؛ لسهولة انتقال الشحنات الكهربائيّة خلال الأجسام الموصلة، أو بين جسمين موصلين متلامسين، مثل ملامسة موصل كروي لمولّد فان دي غراف.
- **الشحن بالحثّ Charging by Induction**: عملية شحن جسم موصل متعادل؛ عن طريق تقريب جسم مشحون (موصل أو عازل) منه من دون ملامسته، فيُعاد توزيع الشحنات على طرفَي الجسم الموصل المتعادل، بحيث تنحاز الشحنات السالبة إلى جهة محدّدة من الجسم لتُشكّل طرفًا سالبًا، تاركة الطرف الآخر موجب الشحنة، ويستمر هذا التوزيع طالما بقي الجسم المؤثر قريبًا. وإذا ما فُرّغت شحنة الموصل البعيدة في الأرض؛ فإنّ شحنته تُصبح دائمة.

والشحنة الكهربائيّة كمّية فيزيائيّة، تُقاس وفق النظام الدولي للوحدات بوحدة كولوم coulomb، ورمزه C علمًا بأنّ شحنة الإلكترون الواحد التي تساوي (-1.6×10^{-19} C)، هي أقلّ كمّية من الشحنة الكهربائيّة يُمكن أن توجد على انفراد، وتُسمّى الشحنة الأساسية. والشحنة الكهربائيّة توجد على شكل كمّات محدّدة من مضاعفات الشحنة الأساسية، وهذا يُسمّى مبدأ تكمية الشحنة، وتنشأ قوى التجاذب الكهربائيّ بين الشحنات الكهربائيّة المختلفة، في حين تنشأ قوى التنافر الكهربائيّ بين الشحنات الكهربائيّة المتشابهة.

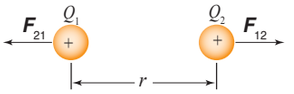
أتحقّق:

– أذكرُ طرائق شحن الأجسام المتعادلة بشحنة كهربائيّة.

– ما مقدار أقلّ كمّية من الشحنة الكهربائيّة يُمكن أن توجد على انفراد؟ وما الجسيمات التي تحملها؟

أخطاء شائعة

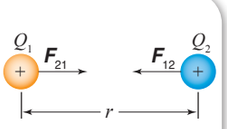
قد يظن بعض الطلبة خطأً أن الشحنة تنتقل دائمًا من الجسم المشحون إلى الجسم المتعادل، عندما يتلامس الجسمان؛ سواء أكانت الشحنة موجبة أم سالبة؛ لذا أوضّح لهم أن هذا خطأ، وأنّ الشحنات السالبة (الإلكترونات) فقط يمكنها الانتقال بين الجسمين، لأن الإلكترون قد يكون ارتباطه بالذرة ضعيفًا فيغادرها عندما يتأثر بقوة كافية لانتزاعه منها. في حين أن الشحنات الموجبة (ذرة ناقصة إلكترونًا أو أكثر) لا يمكنها الانتقال من جسم لآخر؛ لأن الذرات مترابطة مع بعضها. وعندما نقول إن شحنة موجبة انتقلت (افتراضيًا) من جسم مشحون بشحنة موجبة إلى جسم متعادل، فإن ما يحدث في الحقيقة هو انتقال الإلكترونات من الجسم المتعادل إلى الجسم المشحون بشحنة موجبة.



الشكل (3/أ): القوّة الكهربائيّة الناشئة بين شحنتين كهربائيتين نقطيتين.

قانون كولوم Coulomb's Law

نشر عالم الفيزياء الفرنسي شارل كولوم سنة 1785م نتائج تجاربه على القوى الناشئة بين الشحنات الكهربائية، إذ وضّح أنّ القوّة الكهربائيّة (F) الناشئة بين شحنتين كهربائيتين (Q_1) و (Q_2) تعتمد على مقدار كلّ من الشحنتين، كما أنّها تتغيّر بتغيّر المسافة الفاصلة بين مركزيهما (r)، وفقًا لقانون التربيع العكسي، كما في الشكل (3).



الشكل (3/ب): القوّة الكهربائيّة الناشئة بين شحنتين كهربائيتين نقطيتين.

ينصّ **قانون كولوم Coulomb's Law** على أنّ مقدار القوّة الناشئة بين شحنتين نقطيتين يتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب الشحنتين، وعكسيًّا مع مربّع المسافة بينهما. وعندما تكون الشحنات في الهواء يُمثّل رياضيًّا بالعلاقة الآتية:

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

حيث الرمز ε_0 **السماحية الكهربائيّة Electric Permittivity** للفراغ، ومقداره يساوي: $8.85 \times 10^{-12}\ C^2/Nm^2$، وتُعرّف السماحية الكهربائيّة للوسط بأنّها: خصيصة للمادّة العازلة للكهرباء تعبّر عن قابلية ذراتها للاستقطاب عند تعرّضها لمجال كهربائيّ.

يُمكنني التعبير عن الثوابت جميعها في العلاقة السابقة بثابت واحد أرمزُ له بالرمز k، حيث:

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

وقيمة الثابت k في الفراغ تساوي $9 \times 10^9\ Nm^2/C^2$ ولا يختلف هذا المقدار عند وجود الشحنات في الهواء. ويُمكنني إعادة كتابة العلاقة الرياضية لقانون كولوم بدلالة الثابت k على الصورة الآتية:

$$F = k\frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

أفكّر: بناءً على العلاقة الرياضيّة لقانون كولوم، أُبيّن ما يحدث للقوة الكهربائيّة الناشئة بين شحنتين تفصلهما مسافة في الهواء؛ عندما أضع بينهما مادّة من المطاط سماحيّتها الكهربائيّة تساوي 3 أضعاف سماحيّة الهواء.

معلومة إضافية

حساب قيمة الثابت k:

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = \frac{1}{4 \times 3.14 \times 8.85 \times 10^{-12}}$$

$$= 8.996 \times 10^9\ N.m^2/C^2$$

إضاءة للمُعلّم / للمعلّمة

عند تعرض المادة العازلة لمجال كهربائي، فإنه يحدث لذراتها استقطاب، وتختلف استجابة ذرات المادة للاستقطاب باختلاف نوعها، وينتج من استقطاب ذرات المادة العازلة مجال كهربائي داخلي يكون معاكسًا للمجال الخارجي، حيث يكون المجال الكهربائي المحصل داخل المادة العازلة أقل من المجال خارجها. لذلك تكون القوة الكهربائية بين شحنتين نقطيتين متجاورتين أكبر ما يمكن عندما يفصل بينهما الفراغ، وتقل هذه القوة إذا غمرت الشحنتان داخل وسط لدى ذراته قابلية للاستقطاب (أي له سماحية كهربائية أكبر منها للفراغ أو الهواء).

بناء المفهوم:

قانون كولوم.

- أستخدم أسلوب **فكر، انتق زميلًا، شارك**، وأوجّه الأسئلة الآتية للطلبة، ثم أمنحهم وقتًا للتفكير وكتابة الإجابات على ورقة، ثم المشاركة:

– اذكر/ اذكري نص قانون كولوم، وبيّن/ بيّني سبب تسميته.

يتناسب مقدار القوّة الناشئة بين شحنتين نقطيتين طرديًّا مع حاصل ضربهما، وعكسيًّا مع مربّع المسافة بينهما. سمي بهذا الاسم نسبةً إلى عالم الفيزياء شارل كولوم.

– عرّف/ عرّفي السماحية الكهربائية للوسط.

خصيصة للمادة العازلة للكهرباء تعبّر عن قابلية ذراتها للاستقطاب عند تعرضها لمجال كهربائي؛ فعندما تكون سماحية الوسط كبيرة، فإن القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين تكون أقل مقارنة بالحالة عندما يكون الوسط الفاصل هواءً.

التعزيز:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (3)، ثم أوضّح لهم أن القوة الكهربائية بين شحنتين نقطيتين منفصلتين تتناسب عكسيًا مع مربع المسافة بينهما. فهي تقل بزيادة هذه المسافة.
- أزودهم ببعض البيانات على شكل جدول، يتضمن مسافات مختلفة تبدأ من مقدار أكبر من الصفر، وتنتهي عند اللانهاية، ثم أطلب إليهم توقع مقدار القوة (بدلالة الشحنتين).

أفكّر: عندما أستخدم مادة عازلة سماحيتها $(\varepsilon = 3\varepsilon_0)$، وحيث إن القوة تتناسب عكسيًّا مع السماحية، فإن القوة (F') تصبح ثلث القوة في حالة الهواء:

$$F' = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon r^2} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi 3\varepsilon_0 r^2} = \frac{1}{3}F$$

◄ التعزيز:

أوضح للطلبة ما يأتي:

- يشترط عند تطبيق قانون كولوم أن تكون الشحنات نقطية؛ أي أن أبعادها صغيرة مقارنة بالمسافات الفاصلة بينها.
- عندما تكون الشحنة محمولة على جسم مادي، فإنّه لتطبيق قانون كولوم، يشترط أن تكون أبعاد الأجسام صغيرة مقارنة بالمسافات بينها؛ وفي هذه الحالة نصف هذه الأجسام بأنها نقطيّة.

◄ استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة للاطلاع على الأشكال الواردة في المثالين (1, 2)، وأبيّن لهم أن رسم الجسم على شكل دائرة بداخلها إشارة (+) أو (-) للتعبير عن نوع الشحنة، ورسم خطوط مستقيمة منقطة تصل بين الشحنات وكتابة المسافة بين الشحنتين على كل خط، يساعد على توضيح معطيات السؤال ويسهّل خطوات الحل، ويساعد أيضًا على رسم متجهات القوى التي تؤثر بها كل شحنة في الأخرى. ثم أوجّه السؤالين الآتيين:

– ما أهمية وضع الإشارة (-, +) على الشكل؟

تساعد على تذكّر نوع الشحنة، ومن ثمّ تحديد نوع القوة واتجاهها.

– لماذا تُرسَم الشحنات على شكل دوائر صغيرة؟

حتى نمثل بها الشحنات النقطية أو الأجسام النقطية المشحونة (التي يمكن إهمال أبعادها).

أخطاء شائعة

قد يخطئ بعض الطلبة في التعامل مع الأسس، وكذلك عند تعويض المعطيات في المسائل التي ينطبق فيها قانون كولوم، بأن المتر المربع يساوي 100 سنتمتر مربع، وهذا غير صحيح؛ إذ إن:

$$1\ m^2 = 100\ cm \times 100\ cm$$

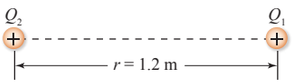
$$1\ m^2 = 10^4\ cm^2$$

$$1\ cm^2 = 10^{-4}\ m^2$$

ويقتصر تطبيق قانون كولوم عندما تكون الشحنات الكهربائيّة نقطية، والشحنة النقطيّة Point Charge هي شحنة كهربائيّة موجودة في نقطة. ويُمكنني التعامل مع الشحنات التي تحملها أجسام أبعادها صغيرة ومهملة بالنسبة إلى المسافات بين الأجسام نفسها على أنّها شحنات نقطية. ومثال ذلك الإلكترون والبروتون، والأيونات الموجبة والسالبة، كما أنّ الجسيمات الكروية المشحونة التي تتوزّع الشحنات عليها بشكل منتظم تُعدّ شحنات نقطية بالنسبة إلى المناطق الواقعة خارج هذه الجسيمات الكروية.

المثال 1

شحنتان نقطيتان موجبتان تقعان على محور (x) في الهواء، بحيث تفصلهما مسافة (1.2 m) كما في الشكل (4). مقدار الأولى (4×10^{-6} C) ومقدار الثانية (6×10^{-6} C). أجد مقدار القوّة المؤثّرة في الشحنة الأولى وأُحدّد اتّجاهها، ثمّ أجد مقدار القوّة المؤثّرة في الشحنة الثانية وأُحدّد اتّجاهها.



الشكل (4): شحنتان نقطيتان في الهواء.

المعطيات: $Q_1 = 4 \times 10^{-6}$ C, $Q_2 = 6 \times 10^{-6}$ C, $r = 1.2$ m

المطلوب: $F_{12} = ?$, $F_{21} = ?$

الحلّ:

أوّلًا: مقدار القوّة التي تؤثّر بها الشحنة (Q_2) في الشحنة (Q_1)

$$F_{21} = k\frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

$$F_{21} = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 10^{-6} \times 6 \times 10^{-6}}{(1.2)^2}$$

$$F_{21} = 1.5 \times 10^{-1}\ N$$

بما أنّ الشحنتين متشابهتان؛ فإنّ القوّة الناشئة بينهما تكون تنافرًا، أي إنّ القوّة التي تتأثّر بها الشحنة الأولى تكون نحو اليمين؛ باتّجاه محور (x) الموجب.

58

مثال إضافي

شحنتان نقطيتان تقعان على محور (x) في الهواء، بحيث تفصلهما مسافة (0.6 m)، الأولى موجبة مقدارها (2 μC) والثانية سالبة مقدارها (1 μC). أجد مقدار القوّة الناشئة بين الشحنتين، وأحدّد نوعها.

الحل:

$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6}}{(0.6)^2}$$

$$F = 0.05\ N$$

بما أن الشحنتين مختلفتان في النوع، فإن القوة الناشئة بينهما تكون تجاذبًا.

ثانيًا: مقدار القوّة التي تؤثّر بها الشحنة (Q_1) في الشحنة (Q_2)

$$F_{12} = k\frac{Q_1Q_2}{r^2}$$

$$F_{12} = 9\times10^9 \times \frac{4\times10^{-6}\times6\times10^{-6}}{(1.2)^2}$$

$$F_{12} = 1.5\times10^{-1}\ \text{N}$$

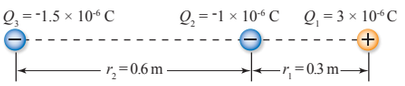
وبما أنّ الشحنتين متشابهتان؛ فإنّ القوّة الناشئة بينهما تكون تنافرًا، أي إنّ القوّة التي تتأثّر بها الشحنة الثانية تكون نحو اليسار؛ باتّجاه محور (x) السالب.

أستنتجُ أنّ القوّتين المؤثّرتين في كلا الشحنتين هما قوّتان متساويتان مقدارًا ومتعاكستان اتّجاهًا، فهما قوّتا فعل وردّ فعل حسب القانون الثالث لنيوتن، ويُمكنني وصفهما بالقوّة المتبادلة بين الشحنتين.

$$F_{21} = -F_{12}$$

المثال 2

(3) شحنات تقع جميعها على محور (x) في الهواء، يُبيّن الشكل (5) مقاديرها وأنواعها والمسافات الفاصلة بينها. أجد مقدار القوّة المحصّلة المؤثّرة في الشحنة (Q_2)، وأُحدّد اتّجاهها.



الشكل (5): القوّة المحصّلة المؤثّرة في شحنة.

المعطيات: $Q_1 = 3\times10^{-6}$ C, $Q_2 = -1\times10^{-6}$ C, $Q_3 = -1.5\times10^{-6}$ C,
$r_1 = 0.3$ m, $r_2 = 0.6$ m

المطلوب: $F_2 = ?$

الحلّ:

سأستعملُ الرمز F_{12} لتمثيل مقدار القوّة التي تؤثّر بها الشحنة Q_1 في الشحنة Q_2، وأستعملُ الرمز F_{32} لتمثيل مقدار القوّة التي تؤثّر بها الشحنة Q_3، في الشحنة Q_2.

$$F_{12} = k\frac{Q_1Q_2}{r_1^2}$$

$$F_{12} = 9\times10^9 \times \frac{3\times10^{-6}\times1\times10^{-6}}{(0.3)^2}$$

$$F_{12} = 3\times10^{-1}\ \text{N}$$

59

المناقشة:

- أوضّح للطلبة أن الشحنتين المتشابهتين تنشأ بينهما قوة تنافر، وأنّ الشحنتين المختلفتين تنشأ بينهما قوة تجاذب.
- أوضّح للطلبة أن القوة التي تؤثر بها الشحنة الأولى في الثانية تساوي في مقدارها القوة التي تؤثر بها الشحنة الثانية في الأولى، وتعاكسها اتجاهًا. وأن القوتين تشكلان زوجي فعل ورد فعل، حسب القانون الثالث لنيوتن.
- أؤكّد للطلبة أهمية الإشارة السالبة للشحنة الكهربائية في قانون كولوم، فمع أنها لن تدخل في تعويض الشحنات في القانون وفي الحسابات، إلا أنها مهمة في تحديد اتجاه القوة التي تؤثر بها إحدى الشحنتين في الأخرى.

مثال إضافي

شحنتان نقطيتان موجبتان تقعان على محور (x) في الهواء، بحيث تفصلهما مسافة (1.2 m)، الأولى من جهة اليمين مقدارها (6 μC) والثانية مقدارها (4 μC)، وضعت شحنة ثالثة سالبة مقدارها (1 μC) في منتصف المسافة بينهما. أجد مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة الثالثة، وأحدد اتجاهها.

الحل:

بما أن الشحنة الثالثة سالبة فهي تتأثر بقوة جذب نحو اليمين وقوة جذب أخرى نحو اليسار:

$$F_{13} = k\frac{Q_1Q_3}{r_1^2}$$

$$F_{13} = 9\times10^9 \times \frac{6\times10^{-6}\times1\times10^{-6}}{(0.6)^2}$$

$$F_{13} = 0.15\ \text{N} \quad \text{(باتجاه اليمين)}$$

$$F_{23} = k\frac{Q_2Q_3}{r_1^2}$$

$$F_{23} = 9\times10^9 \times \frac{4\times10^{-6}\times1\times10^{-6}}{(0.6)^2}$$

$$F_{23} = 0.1\ \text{N} \quad \text{(باتجاه اليسار)}$$

محصلة القوتين تساوي:

$$F = F_{13} - F_{23}$$

$$= 0.15 - 0.1 = 0.05\ \text{N} \quad \text{(باتجاه اليمين)}$$

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: النقد.**

أخبر الطلبة أنّ النقد هو مرحلة متقدمة من مراحل التفكير، فهو مبني على أشكال التفكير الأخرى، مثل: التحليل وإقامة البراهين، والتأمل، ويساعدهم على استكمال البنية المعرفية لديهم؛ مثل التأكد من مقدار المحصلة واتجاهها في المثال السابق.

التعزيز:

- عندما تكون الشحنات جميعها على خط مستقيم، مثل محور (x)، أرشد الطلبة إلى أنّ القوة المحصلة تساوي ناتج جمع القوتين إن كانتا بالاتجاه نفسه، والفرق بينهما إن كانتا باتجاهين متعاكسين، وتكون المحصلة باتجاه القوة الكبيرة.
- إن كانت القوتان متعامدتي الاتجاه، عليهم إيجاد المحصلة باستخدام العلاقة:

$$F = \sqrt{(F_1)^2 + (F_2)^2}$$

- إن كانت الزاوية بين القوتين لا تساوي $(90°)$، أبيّن للطلبة ضرورة تحليل كل قوة إلى مركبتين، وجمع المركبات التي على المحور نفسه، ثم إيجاد المحصلة الكليّة.
- أخبر الطلبة أنّه لتحديد اتجاه المحصلة، عليهم معرفة الزاوية المرجعية التي تصنعها المحصلة مع محور (x) الموجب، وحساب ظل الزاوية من العلاقة:

$$\tan\theta = \frac{F_y}{F_x}$$

- أطلب إلى الطلبة تطبيق العلاقات السابقة باستخدام متجهات قوى مختلفة.

ألاحظ أنّ الإشارة السالبة للشحنة الكهربائيّة لا تدخل في حساب مقدار القوّة الكهربائيّة، لكنّها مهمّة في تحديد اتّجاه القوّة الكهربائيّة المؤثّرة في كلّ شحنة. وبما أنّ الشحنتين Q_1, Q_2 مختلفتان في النوع؛ فإنّ القوّة الناشئة بينهما تكون تجاذبًا، أي إنّ القوّة $\boldsymbol{F}_{12}$ تكون باتّجاه محور (x) الموجب.

$$F_{32} = k\frac{Q_3 Q_2}{r_2^2}$$

$$F_{32} = 9\times10^{9}\times\frac{1.5\times10^{-6}\times1\times10^{-6}}{(0.6)^2}$$

$$F_{32} = 0.375\times10^{-1}\ \text{N}$$

وبما أنّ الشحنتين Q_3, Q_2 متشابهتان؛ فإنّ القوّة الناشئة بينهما تكون تنافرًا، أي إنّ القوّة $\boldsymbol{F}_{32}$ تكون باتّجاه محور (x) الموجب.

$$\boldsymbol{F}_2 = \boldsymbol{F}_{12} + \boldsymbol{F}_{32}$$

$$F_2 = 0.375\times10^{-1} + 3\times10^{-1} = 3.375\times10^{-1}\ \text{N}$$

وتكون القوّة المحصّلة التي تؤثّر في الشحنة الثانية نحو اليمين؛ أي باتّجاه محور (x) الموجب.

تمرين

في مثال (2) السابق، أجد مقدار القوّة المحصّلة المؤثّرة في الشحنة (Q_1) وأُحدّد اتّجاهها.

بما أنّ الشحنات التي نتعامل معها في التطبيقات الحسابية على قانون كولوم صغيرة جدًّا؛ فإنّه من الضروري استعمال البادئات المصاحبة لوحدات القياس، بحيث أُعبّر عن الشحنات الصغيرة جدًّا باستعمال بعض هذه البادئات مع وحدة الكولوم، كما يُبيّن الجدول الآتي:

الجدول (1): استعمال بادئات الوحدات في التعبير عن مقدار الشحنة.

الشحنة باستعمال البادئة	الرمز	البادئة	الشحنة بوحدة كولوم
2 mC	m	ملّي	2×10^{-3} C
5 µC	µ	ميكرو	5×10^{-6} C
2 nC	n	نانو	2×10^{-9} C
4 pC	p	بيكو	4×10^{-12} C
4 fC	f	فيمتو	4×10^{-15} C

تمرين

سأستعمل الرمز F_{21} لتمثيل القوّة التي تؤثّر بها الشحنة Q_2 في الشحنة Q_1، وأستعمل الرمز F_{31} لتمثيل القوّة التي تؤثّر بها الشحنة Q_3 في الشحنة Q_1.

$$F_{21} = k\frac{Q_1 Q_3}{r_1^2} = 9\times10^{9}\times\frac{1\times10^{-6}\times3\times10^{-6}}{(0.3)^2} = 3\times10^{-1}\ \text{N}$$

بما أنّ الشحنتين (Q_1, Q_2) مختلفتان في النوع؛ فإنّ القوّة الناشئة بينهما تكون تجاذبًا؛ أي إنّ القوّة F_{21} تكون باتّجاه محور (x) السالب.

$$F_{31} = k\frac{Q_3 Q_1}{r_2^2} = 9\times10^{9}\times\frac{1.5\times10^{-6}\times3\times10^{-6}}{(0.9)^2} = 0.5\times10^{-1}\ \text{N}$$

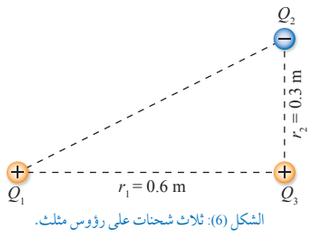
وبما أنّ الشحنتين (Q_3, Q_1) مختلفتان في النوع؛ فإنّ القوّة الناشئة بينهما تكون تجاذبًا؛ أي إنّ القوّة F_{31} تكون باتّجاه محور (x) السالب.

$$F_1 = F_{21} + F_{31} = 3\times10^{-1} + 0.5\times10^{-1} = 3.5\times10^{-1}\ \text{N}$$

وتكون القوّة المحصّلة التي تؤثّر في الشحنة الأولى نحو اليسار؛ أي باتّجاه محور (x) السالب.

المثال 3

(3) شحنات موضوعة في الهواء، بحيث تُشكّل معًا مثلّثًا قائم الزاوية، كما في الشكل (6). إذا علمتُ بأنّ الشحنة الأولى (+17.1 μC) والشحنة الثانية (-6 μC) والشحنة الثالثة (+700 nC)؛ فأحسبُ مقدار القوّة المحصّلة المؤثّرة في الشحنة الثالثة، وأُحدّد اتّجاهها.



الشكل (6): ثلاث شحنات على رؤوس مثلث.

المعطيات:

$Q_1 = +17.1 \times 10^{-6}$ C, $Q_2 = -6 \times 10^{-6}$ C, $Q_3 = +700 \times 10^{-9}$ C, $r_1 = 0.6$ m, $r_2 = 0.3$ m

المطلوب:

$F_3 = ?$

الحلّ:

$$F_{13} = k\frac{Q_1 Q_3}{r_1^2}$$

$$F_{13} = 9 \times 10^9 \times \frac{17.1 \times 10^{-6} \times 700 \times 10^{-9}}{(0.6)^2}$$

$$F_{13} = 0.3 \text{ N}$$

وبما أنّ الشحنتين Q_3, Q_1 متشابهتان؛ فإنّ القوّة الناشئة بينهما تكون تنافرًا، أي إنّ $\boldsymbol{F}_{13}$ تؤثّر بها الشحنة الأولى في الثالثة تكون نحو اليمين؛ باتّجاه محور (x) الموجب.

$$F_{23} = k\frac{Q_2 Q_3}{r_2^2}$$

$$F_{23} = 9 \times 10^9 \times \frac{6 \times 10^{-6} \times 700 \times 10^{-9}}{(0.3)^2}$$

$$F_{23} = 0.42 \text{ N}$$

وبما أنّ الشحنتين Q_3, Q_2 مختلفتان؛ فإنّ القوّة الناشئة بينهما تكون تجاذبًا، أي إنّ $\boldsymbol{F}_{23}$ تؤثّر بها الشحنة الثانية في الثالثة تكون نحو الأعلى؛ أي باتّجاه محور (y) الموجب.

$$F_3 = \sqrt{(F_{13})^2 + (F_{23})^2}$$

$$F_3 = \sqrt{(0.3)^2 + (0.42)^2}$$

$$F_3 = \sqrt{0.09 + 0.18} = 0.52 \text{ N}$$

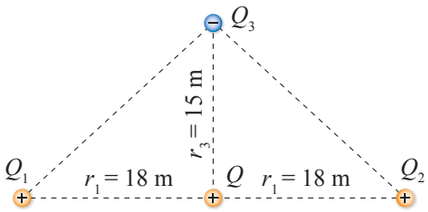
بناء المفهوم:

البادئات.

- لتدريب الطلبة على البادئات، أستخدم أسلوب بطاقة الخروج. أقدم للطلبة قبل نهاية الحصة بطاقات صغيرة مكتوبًا عليها الأسئلة الآتية:
  - أحوّل الشحنة (12 μC) إلى وحدة (C). $(12 \times 10^{-6}$ C)
  - أحوّل الشحنة (4 nC) إلى وحدة (C). $(4 \times 10^{-9}$ C)
  - أحوّل الشحنة (200 pC) إلى وحدة (C). $(200 \times 10^{-12}$ C)
  - أحوّل المسافة (32 cm) إلى وحدة (m). $(32 \times 10^{-2}$ m)
- أطلب إلى الطلبة الإجابة عن الأسئلة على البطاقة نفسها، ثم أجمع البطاقات لمراجعتها.
- في الحصة القادمة أعلّق على إجابات الطلبة على شكل تغذية راجعة أقدمها لهم.

مثال إضافي

وضعت 3 شحنات متساوية؛ مقدار كل منها (3 μC) على رؤوس مثلث متساوي الساقين أبعاده كما في الشكل. أحسب القوة المحصلة المؤثرة في شحنة (+5 μC) موضوعة في منتصف القاعدة.



الحل:

$$F_1 = k\frac{QQ_1}{r_1^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{5 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^{-6}}{(0.18)^2}$$

$= 4.17$ N (لليمين)

$$F_2 = k\frac{QQ_2}{r_2^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{5 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^{-6}}{(0.18)^2}$$

$= 4.17$ N(لليسار)

$$F_3 = k\frac{QQ_3}{r_3^2}$$

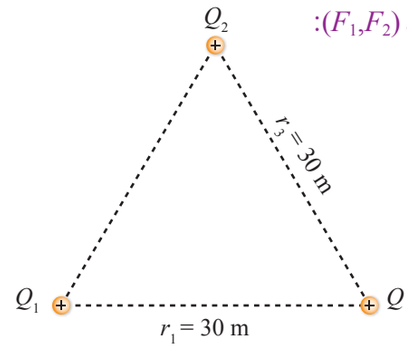
$$= 9 \times 10^9 \times \frac{5 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^{-6}}{(0.15)^2}$$

$= 6$ N (للأعلى)

القوتان (F_1) و (F_2)؛ متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه (الأولى باتجاه $+x$ والثانية باتجاه $-x$)، أي أن محصلتهما تساوي صفرًا، فتبقى المحصلة الكلية المؤثرة في الشحنة (Q_3) تساوي (F_3) وباتجاه محور $(+y)$.

تمرين

لمعرفة القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة (Q)، توجد قوتان (F_1,F_2):



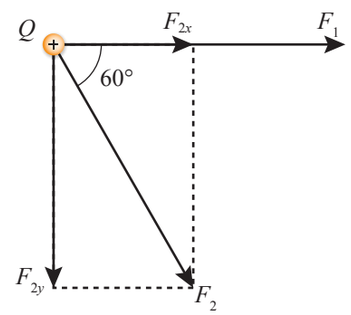
$$F_1 = k\frac{QQ_1}{r_1^2} = 9\times10^9 \times \frac{1\times10^{-6}\times1\times10^{-6}}{(0.3)^2} = 1\times10^{-1}\ \text{N}$$

$$F_2 = k\frac{QQ_2}{r_2^2} = 9\times10^9 \times \frac{1\times10^{-6}\times1\times10^{-6}}{(0.3)^2} = 1\times10^{-1}\ \text{N}$$

لإيجاد المحصلة نحلل القوة الثانية إلى:

$F_{2x} = F_2 \cos 60 = 0.5\times10^{-1}$ N

$F_{2y} = F_2 \sin 60 = 0.87\times10^{-1}$ N



$F_x = F_1 + F_{2x} = 1.5\times10^{-1}$ N

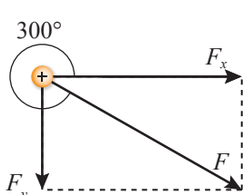
$F_y = F_{2y} = 0.87\times10^{-1}$ N

$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = 1.73\times10^{-1}$ N

اتجاه المحصلة يصنع زاوية مرجعية (θ) مع محور (x) الموجب بعكس اتجاه عقارب الساعة، يعطى مقدارها:

$$\tan^{-1} = \frac{F_y}{F_x} = \frac{-0.87}{1.5} = 0.58$$

$\theta = 330°$



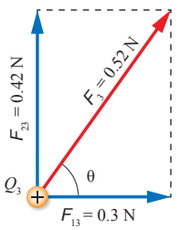
أُحدّد اتّجاه القوّة المحصّلة التي تؤثّر في الشحنة الثالثة؛ بمعرفة الزاوية المرجعية θ بين القوّة المحصّلة ومحور (x) الموجب. كما في الشكل (7).

$$\tan\theta = \frac{0.42}{0.3} = 1.4$$

$\theta = \tan^{-1}(1.4) = 54.5°$

$\boldsymbol{F}_3 = 0.52$ N,54.5°

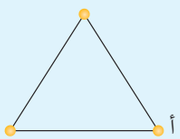
أُلاحظ أنّ الزاوية ($\theta > 45°$)، أي إنّ المحصّلة أقرب إلى القوّة الأكبر.



الشكل (7): محصلة قوتين متعامدتين.

تمرين

وُضِعت في الهواء (3) شحنات موجبة ومتساوية، مقدار كلّ منها ($+1\mu C$) على رؤوس مثلّث متساوي الأضلاع؛ طول ضلعه (30 cm). أجد مقدار القوّة المحصّلة المؤثّرة في الشحنة الموضوعة عند الرأس أ.



الربط بالحياة

يحدث احتكاك بين قطع الملابس عند دورانها بسرعة عالية داخل مجفّف الغسيل؛ فتحدث عملية شحن بالدلك. وتُشحن بعض الملابس بشحنة كهربائيّة موجبة، وبعضها الآخر بشحنة كهربائيّة سالبة. تُسبّب قوى التجاذب الكهربائيّ التصاق الملابس معًا، وقد يصدر عنها بعض الشرر المتقطّع عند محاولة تفكيكها.

للتخلّص من هذه المشكلة؛ تُباع في الأسواق أوراق خاصّة توضع مع الملابس عند تجفيفها، تحتوي على مركّب كيميائي موجب الشحنة، تساعد على التخلّص من الشحنات السالبة التي تظهر على بعض الملابس؛ فتمنع التصاقها. ويُمكن حلّ هذه المشكلة بصناعة كرات صغيرة من ورق الألمنيوم ووضعها مع الملابس عند تجفيفها، تمنع عملية شحن الملابس.

الربط بالحياة

أوضح للطلبة أن عملية شحن الملابس والتصاقها لا تحدث في الغسالة؛ بسبب الرطوبة، لكنها تحدث في مجفف الغسيل (النشّافة)، إذ تتخلص درجة الحرارة المرتفعة من الرطوبة، وبذلك تظهر مشكلة الكهرباء الساكنة. أطلب إلى الطلبة تجريب استخدام كرات صغيرة من ورق الألمنيوم للتخلص من المشكلة في المنزل.

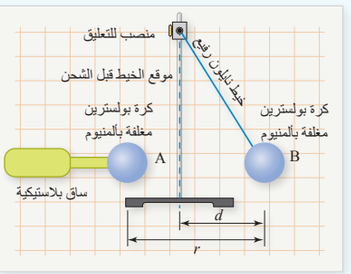
توظيف التكنولوجيا

أبحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة والمتاحة عن مقاطع مرئية (فيديوهات)، أو تجارب عملية مصورة توضح قانون كولوم عمليًّا، وأستنتج منها العوامل المؤثرة في القوة الكهربائية.

أشارك الطلبة هذه المواد التعليمية عن طريق صفحة المدرسة الإلكترونية، أو أي وسيلة أخرى للتواصل مع الطلبة.

التجربة 1

استقصاء العلاقة بين القوّة الكهربائيّة والبُعد بين الشحنتين في قانون كولوم



الموادّ والأدوات: كرتان من البولسترين، ورق ألمنيوم، ساق بلاستيكية، خيط نايلون رفيع طوله (50 cm)، مولّد فان دي غراف، منصب فلزيّ، طبق كرتون مدرّج بوحدة (cm).

إرشادات السلامة: تحذير جهد عالٍ - عدم لمس كرة مولّد فان دي غراف وهو يعمل.

خطوات العمل:

بالتعاون مع أفراد مجموعتي؛ أنفّذ الخطوات الآتية:

1. أغلّف كرتيّ البولسترين بورق الألمنيوم، ثم أقيس كتلة الكرة (B) وأعلّقها على المنصب باستعمال خيط النايلون، وأثبّت الثانية في الساق البلاستيكية كما في الشكل، وأثبّت طبق الكرتون المدرّج خلف الكرتين بشكل رأسي.
2. بمساعدة المعلم/المعلمة؛ أشغّل مولّد فان دي غراف وأستعمله لشحن الكرتين بشحنتين متشابهتين.
3. أقرّب الكرة (A) المتّصلة بالساق بشكل تدريجيّ من الكرة المعلّقة (B) وألاحظ ما يحدث للكرة (B).
4. أحافظ على إبقاء مركز كلّ كرة على الخط الأفقيّ الواصل بينهما.
5. أقيس كلًّا من طول الخيط (L) والإزاحة الأفقية التي حدثت للكرة المعلّقة (d) والمسافة الفاصلة بين الكرتين (r)، وأدوّن النتائج في جدول خاصّ.
6. أحرّك الكرة (A) والساق الأفقية باتّجاه الكرة (B) المعلّقة، ثمّ أكرّر القياسات في الخطوة السابقة.
7. ألاحظ التغيّر في كلّ من (r, d)، وأدوّن ملاحظاتي.
8. أكرّر التجربة (3) مرّات أخرى مع تغيير موقع الكرة (A) في كلّ مرة، ثمّ أدوّن القياسات.

التحليل والاستنتاج:

1. أحسبُ مقدار القوّة الكهربائيّة بمعرفة وزن الكرة وكلّ من القياسات السابقة؛ باستعمال قوانين المتّجهات والاتّزان السكوني.
2. أرسمُ مخطّط الجسم الحرّ للكرة (B).
3. أحسبُ: بمعرفة زاوية الميل (θ) ووزن الكرة، واعتماد العلاقة $\sin\theta = \tan\theta$ (لأنّ الزاوية صغيرة القياس)؛ أحسبُ القوّة الكهربائيّة.
4. أرسمُ العلاقة البيانية بين القوّة الكهربائيّة والمسافة الفاصلة بين الكرتين (r).

استراتيجية التقويم: التقويم المعتمد على الأداء. **أداة التقويم:** سُلَّم تقدير رقمي.

الرقم	معيار الأداء	3	2	1
1	مراعاة تعليمات الأمان والسلامة عند تنفيذ التجربة.			
2	قراءة تعليمات التجربة بدقة، والتعاون مع الزملاء/ الزميلات.			
3	تثبيت الكرة بالساق جيدًا وشحنها، وتقريبها من الأخرى.			
4	الحصول على مسافة تنافر واضحة ومحددة بين الكرتين.			
5	رسم الأشكال بصورة صحيحة، وبيان الكميات عليها.			
6	ملاحظة المسافة وحساب القوة الكهربائية بشكل صحيح.			
7	رسم علاقة بيانية مقبولة وواضحة تمثل قانون كولوم.			

التجربة 2

استقصاء العلاقة بين القوة الكهربائية والبعد بين الشحنتين في قانون كولوم.

الهدف:

- قياس المسافة بين مركزي الكرتين المشحونتين، وحساب القوة الكهربائية.
- التوصل إلى علاقة التربيع العكسي بين القوة والمسافة.

زمن النشاط: 35 دقيقة

إرشادات السلامة: أحذّر الطلبة من الجهد العالي، وعدم لمس كرة مولّد فان دي غراف وهو يعمل، أو بعد توقفه؛ لأنها تبقى محتفظة بشحنتها بعد توقف المولد، ولا بد من تفريغ الشحنة باستخدام أداة خاصة.

المهارات العلمية: الملاحظة، والقياس، والتفسير، والوصف، والاستنتاج.

الإجراءات والتوجيهات:

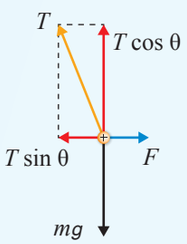
- أؤكد ضرورة تغليف كرات البولسترين بورق الألمنيوم حتى تصبح موصلة.
- أؤكد ضرورة الحفاظ على الكرات مشحونة بعدم لمسها وتفريغ الشحنة منها.
- أبيّن للطلبة أن الأمر يتطلب مزيدًا من الدقة عند تقريب الكرة المتصلة بالساق؛ لملاحظة المسافة التي تبتعد بها الكرة الثانية.

النتائج المتوقعة:

سيلاحظ الطلبة أنّ الكرة المعلقة تقفز مبتعدة عن الأخرى، وهنا عليهم التركيز لملاحظة مسافة الابتعاد. يستنتج الطلبة زيادة قوة التنافر بصورة واضحة عند تقريب الكرتين من بعضهما أكثر.

التحليل والاستنتاج:

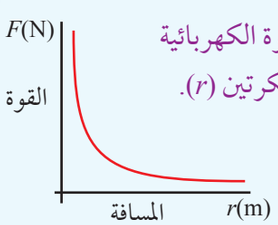
1. ($F = mg \tan\theta$)



2. الرسم:

3. $F = mg\frac{d}{L}$

4. الرسم: العلاقة بين القوة الكهربائية والمسافة الفاصلة بين الكرتين (r).



مثال إضافي

أحسب القوة الكهربائية بين إلكترون ونواة ذرة تحتوي على (12) بروتونًا، إذا كان طول نصف قطر مدار الإلكترون حول النواة (150 pm).

الحل:

شحنة الإلكترون $(-1.6 \times 10^{-19}\ C)$

شحنة النواة $(+12 \times 1.6 \times 10^{-19}\ C)$

المسافة بينهما $(150 \times 10^{-12}\ m)$

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 19.2 \times 10^{-19}}{150 \times 150 \times 10^{-24}}$$

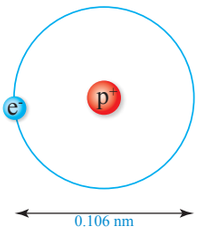
$$= 1.23 \times 10^{-7}\ N$$

- أطلب إلى الطلبة المقارنة بين المثال (4) والمثال الإضافي، وبيان لماذا لم تكن القوة في المثال الإضافي تعادل (12) ضعفًا للقوة في حالة ذرة الهيدروجين.

لأن المسافة في المثال الإضافي أكبر منها في ذرة الهيدروجين؛ نتيجة اختلاف عدد البروتونات في النواة وعدد الإلكترونات في المدارات حول النواة، والقوة الكهربائية تتناسب عكسيًا مع مربع المسافة.

المثال 4

تتكوّن ذرّات الموادّ بصورة عامّة من نوى موجبة الشحنة وإلكترونات سالبة الشحنة تدور حولها، وترتبط الإلكترونات مع النواة بقوّة تجاذب كهربائيّ، وتتكوّن ذرّة الهيدروجين من إلكترون واحد سالب الشحنة يدور حول نواة تتكوّن من بروتون واحد موجب الشحنة، كما في الشكل (8).



الشكل (8): ذرّة الهيدروجين.

تنشأ بين الإلكترون والبروتون قوّة تجاذب كهربائيّة، تُشكّل قوّة مركزية تجعل الإلكترون يدور بشكل مستمر حول النواة. إذا علمتُ أنّ شحنة البروتون $1.6 \times 10^{-19}\ C$ وشحنة الإلكترون $-1.6 \times 10^{-19}\ C$، وقطر ذرّة الهيدروجين 0.106 nm؛ فأحسبُ مقدار القوّة المركزية المؤثّرة في الإلكترون.

المعطيات:

$$Q_e = -1.6 \times 10^{-19}\ C, \quad Q_p = 1.6 \times 10^{-19}\ C,$$

$$r = \frac{1}{2} \times 0.106 \times 10^{-9} = 0.053 \times 10^{-9}\ m$$

المطلوب:

$$F = ?$$

الحلّ:

القوّة المركزية المؤثّرة في الإلكترون تعود في أصلها إلى القوّة الكهربائيّة:

$$F = k \frac{Q_p Q_e}{r^2}$$

$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 1.6 \times 10^{-19}}{(0.053 \times 10^{-9})^2}$$

$$F = 8.19 \times 10^{-8}\ N$$

إضاءة للمُعلِّم / للمعلِّمة

الذرة التي تحتوي نواتها على (12) بروتونًا هي ذرة المغنيسيوم، وعندما يقع الإلكترون المتأثر بقوة جذب من النواة في المدار الأخير للذرة؛ أي على مسافة (150 pm) من النواة، فإنه يتأثر بمجموعة من القوى الكهربائية، إضافة إلى قوة جذب النواة له؛ فهو يتنافر مع إلكترونات الذرة الأخرى، ويتأثر بقوة محصلة.

طريقة أُخرى للتدريس

قانون كولوم

- أساعد الطلبة على فهم قانون كولوم ومعرفة العوامل التي تعتمد عليها القوة الكهربائية، فأستخدم **استراتيجية التعلم التعاوني** في تدريس الموضوع.
- أوزّع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة، ليساعد بعضهم بعضًا في عملية التعلم، وأوزّع الأدوار بين أفراد كل مجموعة.
- أزوّد كل مجموعة بعدد متشابه من المغانط (المغناطيس الواحد يمثل وحدة شحنة)، وخيوط، ومسطرة.
- تعلق المجموعة كل مغناطيس بخيط، ثم تبدأ بتقريب المغانط من بعضها وتلاحظ زيادة قوة التجاذب بنقصان المسافة، ثم تعيد التجربة بتقريب مغناطيس واحد من مغناطيسين متلاصقين، لملاحظة أثر الشحنة في القوة.

الموصلات المشحونة Charged Conductors

لاحظتُ في ما سبق، أنّ الشحنات توجد في الطبيعة على أجسام مختلفة، فقد تكون صغيرة جدًّا مثل الإلكترون، وقد تكون كرة من البولسترين مغلّفة بورق الألمنيوم. إلّا أنّه افتُرِض مفهوم الشحنة النقطيّة لتسهيل التعامل مع الأجسام المشحونة عن طريق قانون كولوم. كيف سأتعامل حسابيًّا مع أجسام كبيرة مشحونة بشحنة كهربائيّة، لا تُعدّ شحنات نقطية؟

سنقتصر دراستنا هنا على جسم كروي يحمل شحنة كهربائيّة موزّعة على سطحه بانتظام، مثل كرة فلزّية نصف قطرها (R) ومركزها (O) مشحونة بشحنة كهربائيّة مقدارها (Q_1)، تتوزّع الشحنة بسبب تنافرها على السطح الخارجي للكرة الفلزّية، كما في الشكل (9). ستؤثّر هذه الكرة بقوى كهربائيّة في الشحنات المجاورة لها كما لو كانت شحنة هذه الكرة (Q_1) مكثفة وموجودة جميعها في نقطة واحدة هي مركز هذه الكرة (O).

شحنة Q_1 موزعة بانتظام على سطح الكرة.

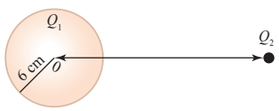
الشكل (9): كرة موصلة مشحونة.

أتحقّق:

ما الطريقة التي يُمكنني بها حساب القوّة الكهربائيّة التي تنشأ بين كرتين من النحاس مشحونتين بشحنتين كهربائيتين؟

المثال 5

كرة نحاسية مفرّغة نصف قطرها 6 cm شُحنت بشحنة مقدارها 4 µC وُضِعت بالقرب منها وعلى بعد 36 cm من مركز الكرة شحنة نقطية 5 pC، كما في الشكل (10). أجد مقدار القوّة التي تؤثّر بها الكرة في الشحنة النقطيّة.



الشكل (10): القوّة بين كرة نحاسية وشحنة نقطية.

المعطيات: $Q_1 = 4\ \mu C = 4 \times 10^{-6}\ C,\quad Q_2 = 5\ pC = 5 \times 10^{-12}\ C,\quad r = 36\ cm = 36 \times 10^{-2}\ m$

المطلوب: $F = ?$

الحلّ:

$$F_{12} = k\frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

$$F_{12} = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-12}}{(36)^2 \times 10^{-4}}$$

$$F_{12} = 1.39 \times 10^{-6}\ N$$

مثال إثرائي

كرتان نحاسيتان طول نصف قطر الأولى (5 cm) والثانية (8 cm)، تحملان شحنتين متماثلتين مقدار كل منهما (20 µC). تفصل بين سطحيهما مسافة (17 cm)، أجد مقدار القوة الكهربائية بينهما.

الحل:

المسافة بين مركزي الكرتين: $r = 5 + 17 + 8 = 30\ cm$

$$F = k\frac{Q_1 Q_1}{r^2}$$

$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{20 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^{-6}}{0.3 \times 0.3}$$

$$F = 40\ N$$

بناء المفهوم:

الموصلات المشحونة

- أذكّر الطلبة بما ورد في الفكرة الرئيسة، بأن قانون كولوم يطبّق على الشحنات النقطية، إلا أنه توجد في الطبيعة أجسام مشحونة ذات أبعاد، مثل الكرة والأسطوانة وأجسام أخرى غير منتظمة.
- أؤكّد للطلبة أن دراسة الأجسام الموصلة المشحونة ستقتصر في هذه المرحلة على الأجسام الكروية الموصلة، إذ تتوزع الشحنة على سطحها الخارجي بانتظام.
- أبيّن لهم أنّ الكرة الموصلة المشحونة تؤثر في الشحنات المجاورة لها، كما لو كانت شحنتها جميعها مركّزة في مركزها.

المناقشة:

- أوجّه للطلبة السؤال الآتي:

– هل يؤثر طول نصف قطر الكرة الموصلة المشحونة في تفاعلها مع الشحنات المجاورة؟ ما المبرر؟

لا، لا يؤثر؛ لأن شحنة الكرة يتم التعامل معها على أنها مركّزة في مركز الكرة.

استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (9)، ثم أسألهم:

– ما الذي تعنيه الشحنات الموجبة المرسومة على محيط الدائرة؟

تعني أن الشحنات تتوزع على السطح الخارجي للموصل بانتظام.

– لماذا تتوزع الشحنات الكهربائية بانتظام؟

بسبب قوى التنافر الكهربائي بينها؛ لأنها متماثلة، إذ تكون المسافات بين الشحنات متساوية، فتظهر بهذا الانتظام.

أتحقَّق:

يلزم استخدام قانون كولوم؛ لأن الكرة المشحونة يكون تأثيرها خارجها كما لو كانت الشحنة نقطية، والكميات اللازمة: مقدار الشحنة على كل كرة، والمسافة بين مركزي الكرتين، ولا يلزم معرفة طول نصفي قطري الكرتين.

الربط بالعلوم الحياتية

أوجّه الطلبة للبحث في مصادر المعرفة الموثوقة والمتاحة عن العلاقة بين سلوك النحل والكائنات الحية الأخرى وبين الشحنات الكهربائية، والاطلاع على ما يمكن من نتائج بحوث علمية تتعلق بالموضوع. ثم أكلفهم كتابة نشرات حول ما توصلوا إليه، وإطلاع زملائهم/ زميلاتهن عليها.

3 التقويم

إجابات أسئلة مراجعة الدرس

1 **الفكرة الرئيسة:** ينصّ قانون كولوم على أنّ القوّة الناشئة بين شحنتين نقطيتين في الفراغ تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب الشحنتين، وعكسيًّا مع مربّع البعد بينهما.

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

2 **الشحن بالدلك:** دلك جسم مع آخر ينتج منه انتقال إلكترونات من سطح أحد الجسمين إلى سطح الآخر؛ فيصبح الجسم الفاقد للإلكترونات موجب الشحنة، والجسم المكتسب للإلكترونات سالب الشحنة.

الشحن بالتوصيل: ملامسة جسم مشحون مع آخر متعادل؛ فيحدث انتقال للشحنات الكهربائية بين الجسمين. فإن كان الجسم المشحون سالب الشحنة، انتقلت بعض الإلكترونات منه إلى الجسم المتعادل؛ فأصبحا سالبين. وإن كان الجسم المشحون موجب الشحنة، انتقلت إليه بعض الإلكترونات من الجسم المتعادل؛ فأصبحا موجبين.

الشحن بالحث: تقريب جسم مشحون (موصل أو عازل) من جسم متعادل من دون ملامسته، فيعاد توزيع الشحنات على طرفي الجسم الموصل المتعادل، بحيث تنحاز الشحنات السالبة إلى جهة محدّدة من الجسم لتشكّل طرفًا سالبًا، تاركة الطرف الآخر موجب الشحنة، ويكون هذا التوزيع مؤقّتًا ما دام المؤثر قريبًا.

3 تؤثّر الشحنة السالبة على المسطرة في الورقة، فيحدث استقطاب لذرّات الورقة ينتج منه إعادة توزيع طفيف لشحنات تلك الذرّات، وهذا يؤدّي إلى شحن سطح الورقة القريب من المسطرة بشحنة كهربائية موجبة، تتجاذب مع الشحنات السالبة على المسطرة البلاستيكية. وعند التلامس تنتقل الشحنة السالبة من المسطرة إلى الورقة فيحدث تنافر بينهما وتبتعد الورقة عن المسطرة.

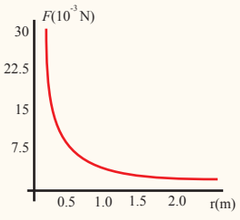
4 **القوّة الكهربائية**

$$F = k\frac{Q_2 Q_1}{r_2^2}$$

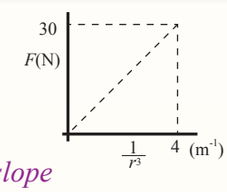
$$= 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-6}}{0.5^2} = 1.44 \times 10^{-1}\ \text{N}$$

5 **التحليل البياني:**

العلاقة بين المسافة والقوة



العلاقة بين مقلوب مربع المسافة والقوة



أستنتج أن ميل هذه العلاقة يساوي المقدار

$$\frac{F}{\frac{1}{r^2}} = Fr_2 = slope$$

$$F = k\frac{Q_2 Q_1}{r_2}$$

$$slope = kQ_2 Q_1$$

تخضع النتائج لقانون كولوم، لكن تنحرف بعض القياسات عن القيم الحقيقية لها، بسبب أخطاء في التجربة.

6 **التفكير الناقد:** أن تساوي القوة المحصلة صفرًا، فهذا يعني أن القوتين المؤثرتين في الشحنة الثالثة (q) متساويتان مقدارًا ومتعاكستان اتجاهًا، علمًا أن: $Q_1 = Q_2 = Q$

$$F_1 = F_2$$

$$k\frac{Qq}{r^2} = k\frac{Qq}{(1-r)^2}$$

$$r_2 = (1-r)^2 = 1 - 2r + r^2$$

$$r = \frac{1}{2} = 0.5\ \text{m}$$

أستنتج أن نقطة التعادل تقع في منتصف المسافة بين الشحنتين المتساويتين والمتشابهتين.

الربط بالعلوم الحياتية

أُشاهد النحلة تطير من زهرة إلى أُخرى؛ فرائحة الأزهار وألوانها تجذب النحل إليها كي تجمع الرحيق وحبوب اللقاح. توصّل باحثون من جامعة بريستول البريطانية إلى أنّ الأزهار تحمل شحنات كهربائيّة سالبة، في حين تكتسب النحلة في أثناء طيرانها بسبب حركة جناحيها شحنات كهربائيّة موجبة، وأنّ النحلة يُمكنها استشعار الشحنة السالبة على الأزهار، كما يُمكنها معرفة إن كان نحل آخر قد حطّ على هذه الزهرة أم لا، فزيارة كلّ نحلة للزهرة تعمل على معادلة جزء من الشحنة السالبة عليها. كما أنّ اختلاف الشحنة بين الزهرة والنحلة يجعل حبوب اللقاح تنجذب إلى جسم النحلة، فتحملها معها.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أذكرُ نص قانون كولوم، وأُمثّله بعلاقة رياضية.
2. أُوضّح الطرائق الثلاث التي تُشحن بها الأجسام المتعادلة بشحنة كهربائيّة.
3. **أُفسّر** سبب انجذاب قصاصات الورق من مسطرة بلاستيكية دُلكت بشعر الرأس، ثم تنافر القصاصات مع المسطرة عند تلامسهما.
4. **أستعملُ المتغيّرات:** شحنتان كهربائيتان نقطيّتان موجبتان، مقدار كل منهما (2 μC) تفصلهما مسافة (0.5 m). أحسبُ مقدار القوّة الكهربائيّة التي تؤثّر بها إحدى الشحنتين في الأُخرى.
5. **أُحلّل بيانيًّا:** أُجريت تجربة عملية لدراسة العلاقة بين قوّة التجاذب الكهربائيّة بين شحنتين نقطيتين والمسافة الفاصلة بينهما، ونُظّمت النتائج في الجدول الآتي. أُمثّل البيانات بالرسم البياني، ممثّلًا المسافة على محور (x) والقوّة على محور (y)، ثمّ أُمثّل العلاقة بين القوّة والمقدار $(\frac{1}{r^2})$، ثمّ أستنتجُ ما يعنيه ميل هذه العلاقة. هل تخضع هذه النتائج لقانون كولوم بدقّة؟ أُعلّل إجابتي.

المسافة بين الشحنتين (m)	0.5	1.0	1.5	2.0
القوّة الكهربائيّة (N)	30×10^{-3}	7×10^{-3}	3×10^{-3}	2×10^{-3}

6. **التفكير الناقد:** عند وجود شحنتين متساويتين ومتماثلتين في الهواء تفصلهما مسافة (1 m)، أُحدّد نقطة في المنطقة التي تقع فيها الشحنتان، بحيث إذا وُضِعت فيها شحنة ثالثة تكون القوّة الكهربائيّة المحصّلة المؤثّرة فيها صفرًا.

الدرس 2

المجال الكهربائي للشحنات النقطية
Electric Field of Point Charges

1 تقديم الدرس

◄ الفكرة الرئيسة:

- أوضّح للطلبة أن المجال الكهربائي خاصية للحيز الذي يحيط بشحنة كهربائية، بحيث إذا وجدت شحنة أخرى في هذا الحيز، فإنها تتأثر بقوة كهربائية.
- أبيّن للطلبة أن كل شحنة تولّد حولها مجالًا كهربائيًا، وعند وجود أكثر من شحنة، فإن المجال الكهربائي عند نقطة معينة هو حاصل الجمع المتجهي للمجالات الكهربائية الناتجة من تلك الشحنات عند تلك النقطة.
- أخبر الطلبة بأن القوة الكهربائية ترتبط بوجود مجال كهربائي، وشحنة كهربائية موضوعة في هذا المجال.

◄ الربط بالمعرفة السابقة:

- أذكّر الطلبة بأن الأرض لها مجال جذب كتلي يؤثر في الأجسام على سطحها وبالقرب منها، وأن هذا التأثير يسبب وزن الجسم. وأنّ المغناطيس يولّد مجالًا مغناطيسيًّا يؤثر في المغانط الأخرى بقوة مغناطيسية.
- أبيّن للطلبة أن المجال الكهربائي يشبه المجالين السابقين (مجال الجاذبية الأرضية، والمجال المغناطيسي) من حيث التأثير بقوة عن بُعد.

2 التدريس

◄ المناقشة:

- أذكّر الطلبة بموضوع المتجهات وكيفية التعامل معها، ثم أؤكد لهم أن المجال الكهربائي من الكميات الفيزيائية المتجهة.
- أخبرهم بأن الكشف عن المجال الكهربائي حول شحنة نقطية يجري باستخدام شحنة أخرى، لكن لكي يكون مجال الشحنة الجديدة ضعيفًا جدًّا ولا يؤثر في المجال الأصلي، فإن هذه الشحنة تكون صغيرة جدًّا، وتسمى شحنة اختبار.

◄ الفكرة الرئيسة:
المجال الكهربائيّ خاصّية للحيّز الذي يُحيط بشحنة كهربائيّة وتظهر فيه آثار القوّة الكهربائيّة. ويُعرّف المجال الكهربائيّ عند نقطة بأنّه القوّة الكهربائيّة لكلّ وحدة شحنة موجبة عند هذه النقطة.

◄ نتاجات التعلّم:
- أُعرّف المجال الكهربائيّ عند نقطة.
- أصف خطوط المجال الكهربائيّ المحيط بنظام من الشحنات الكهربائيّة؛ لتوزيعات مختلفة من الشحنات النقطيّة.
- أحسبُ المجال الكهربائيّ عند نقطة في المجال الكهربائيّ لشحنة نقطية.
- أحسبُ محصّلة المجال الكهربائيّ عند نقطة بتأثير عدّة شحنات نقطية.
- أصف التدفّق الكهربائيّ الذي يخترق سطحًا بمعادلة.

◄ المفاهيم والمصطلحات:

شحنة اختبار	Test Charge
المجال الكهربائيّ	Electric Field
المجال الكهربائيّ عند نقطة	Electric Field at a Point
خطوط المجال الكهربائيّ	Electric Field Lines
كثافة خطوط المجال الكهربائيّ	Density of Electric Field Lines
التدفّق الكهربائيّ	Electric Flux

المجال الكهربائيّ Electric Field

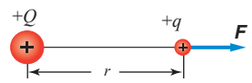
بالعودة إلى مثال البالون وتيّار الماء النازل من الصنبور في الدرس السابق، لاحظتُ أنّ القوّة الكهربائيّة التي أثّر بها البالون في التيّار المائي هي قوّة تأثير عن بُعد؛ أي إنّ الأثر انتقل من البالون إلى الماء من دون حصول تلامس بينهما، ومثل هذه القوى تكون صادرة عن مجالات مختلفة مثل المجال الكهربائيّ والمجال المغناطيسي ومجال الجاذبية الأرضيّة، الذي يجعل لكلّ جسم وزنًا. أي إنّ البالون المشحون يوجد حوله **مجال كهربائيّ Electric Field** وهو خاصّية للحيّز المحيط بالجسم المشحون، ويظهر في هذا الحيّز تأثير المجال على شكل قوى كهربائيّة تؤثّر في الأجسام المشحونة الأخرى. والمجال الكهربائيّ من الكمّيات الفيزيائية المتّجهة، نُعبّر عنه بالمقدار والاتّجاه.

المجال الكهربائيّ لشحنة نقطية Electric Field of a Point Charge

لمعرفة المجال الكهربائيّ الناتج عن شحنة نقطية موجبة $(+Q)$ عند نقطة قريبة منها، نضع شحنة اختبار صغيرة $(+q)$ في هذه النقطة، كما في الشكل (11). **وشحنة الاختبار Test Charge** هي شحنة كهربائيّة موجبة صغيرة المقدار تُستعمل للكشف عن المجال الكهربائيّ، ويكون مقدارها صغير جدًّا لدرجة أنّ تأثيرها في المجال الكهربائيّ المحيط بها يكون مهملًا. ألاحظ أنّ شحنة الاختبار ستتأثّر بقوّة كهربائيّة (F)، يُمثّل اتّجاهها اتّجاه المجال الكهربائيّ عند هذه النقطة. أمّا مقدار القوّة فإنّه يُعطى بالعلاقة الآتية:

$$F = k\frac{Qq}{r^2}$$

حيث (r) المسافة الفاصلة بين مركزي الشحنتين.



الشكل (11): القوّة المؤثّرة في شحنة الاختبار.

◄ الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (11)، ثم أسألهم:

– لماذا استُخدم حرفان أحدهما كبير والثاني صغير للرمز إلى الشحنتين؟ للتفريق بين الشحنتين (Q) و (q)، إذ إن الشحنة الكبيرة ينشأ عنها مجال كهربائي في الحيز المحيط بها، أما الشحنة الصغيرة فيكون المجال الناشئ عنها ضعيفًا جدًّا؛ يمكن إهماله.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

*** المهارات الحياتية: الحوار، والاتصال.**

أخبر الطلبة أن الحوار والاتصال من المفاهيم العابرة التي لها أهمية كبيرة في نقل المعلومات بين الأفراد والجهات المختلفة؛ سعيًا إلى بلوغ المعرفة العلمية، وتوثيق مصادرها. فالحوار الذي يجري بين أفراد المجموعة، يساعدهم على تذكّر كل من موضوعي الجاذبية الأرضية والمتجهات.

◄ بناء المفهوم:

المجال الكهربائي

- أبيّن للطلبة أن شحنة الاختبار تستخدم للكشف عن اتجاه المجال عند نقطة، وقد اصطُلح على أن تكون موجبة؛ لكي يكون اتجاه القوة المؤثرة فيها من المجال باتجاه المجال عند تلك النقطة.
- أؤكد للطلبة أن مقدار المجال الكهربائي عند نقطة يُحسَب بقسمة مقدار القوة التي يؤثر بها المجال في الشحنة (الموضوعة عند تلك النقطة) على مقدار الشحنة.
- أستخدم **استراتيجية التعلم التعاوني**، فأوزع الطلبة إلى مجموعات، وأوجّه الأسئلة الآتية:

- اكتب/ اكتبي بلغتك الخاصة تعريفًا مناسبًا للمجال الكهربائي عند نقطة.

هو القوة الكهربائية التي تؤثر في وحدة الشحنات الكهربائية الموجبة الموضوعة عند تلك النقطة.

- هل يتأثر مقدار المجال الكهربائي عند نقطة الناشئ عن شحنة أو عن مجموعة شحنات بمقدار شحنة الاختبار الموضوعة عندها؟ فسّر/ فسّري إجابتك.

لا يتأثر؛ لأن المجال الكهربائي خاصية للشحنة المولّدة للمجال، حتى في حالة عدم وجود شحنة اختبار، لذلك عند تعويض قانون كولوم في العلاقة $(E = F/q)$ اختصرت شحنة الاختبار (q)، وحصلنا على العلاقة:

$$E = k\frac{Q}{r^2}$$

✓ أتحقّق:

المجال الكهربائي: خاصّية للحيّز المحيط بالجسم المشحون، ويظهر في هذا الحيّز تأثير المجال على شكل قوى كهربائية تؤثّر في الأجسام المشحونة الأخرى.

المجال الكهربائي عند نقطة: هو القوّة الكهربائية التي تؤثّر في وحدة الشحنة الكهربائية الموجبة الموضوعة في تلك النقطة.

أفكّر: جميعها قوى مجالات تؤثر في الأجسام عن بعد دون الحاجة إلى الاتصال أو التلامس المباشر.

يُعرّف **المجال الكهربائيّ** $\boldsymbol{E}$ الذي تولّده الشحنة $(+Q)$ عند موقع شحنة الاختبار q بأنّه القوّة الكهربائيّة التي تؤثّر في وحدة الشحنة الموجبة الموضوعة في تلك النقطة.

ونُعبّر عن المجال الكهربائيّ بالعلاقة الرياضية الآتية:

$$\boldsymbol{E} = \frac{\boldsymbol{F}}{q}$$

وبتعويض قيمة القوّة من قانون كولوم في العلاقة السابقة، أحصل على العلاقة الآتية:

$$E = k\frac{Qq}{qr^2}$$

$$E = k\frac{Q}{r^2}$$

أُلاحظ من العلاقة الأخيرة أنّه يُمكنني حساب مقدار المجال عند نقطة من دون الحاجة لوضع شحنة اختبار عندها. وتُستعمل وحدة (نيوتن/ كولوم) (N/C) لقياس المجال الكهربائيّ حسب النظام الدولي للوحدات.

أفكّر: ما وجه الشبه بين كلّ من القوى الآتية: القوّة المتبادلة بين مغناطيسين، والقوّة المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين، والقوّة المتبادلة بين الأرض والقمر؟

✓ أتحقّق: أُوضّح المقصود بكل من: المجال الكهربائيّ، المجال الكهربائيّ عند نقطة.

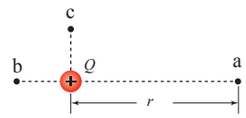
أخطاء شائعة

قد يظن بعض الطلبة خطأً أن شحنة الاختبار تساوي وحدة الشحنات الموجبة، وهذا غير صحيح؛ لذا أوضح لهم أن شحنة الاختبار يجب أن تكون صغيرة جدًّا مقارنة بالشحنة المولدة للمجال الكهربائي، حتى لا تؤثر فيه.

تستخدم وحدة الشحنات لتعريف المجال باستخدام مفهوم القوة الكهربائية، مثل تعريف الضغط عندما نقول بأنه مقدار القوة المؤثرة في وحدة المساحة، وتعريف الكثافة بأنها كتلة وحدة الحجوم.

المثال 6

شحنة كهربائيّة نقطية موجبة مقدارها (5 μC). أُحدّد اتّجاه المجال عند النقاط (a,b,c)، ثمّ أجد مقدار المجال الكهربائيّ عند النقطة (a) التي تبعد عن الشحنة مسافة 36 cm والمبيّنة في الشكل (12).



الشكل (12): المجال عند نقطة.

المعطيات:

$Q = 5\ \mu C = 5 \times 10^{-6}\ C,\ r = 36\ cm = 36 \times 10^{-2}\ m$

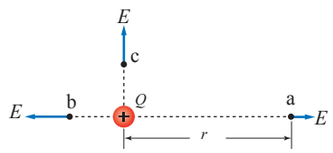
المطلوب:

اتّجاه المجال عند (a,b,c)

$E_a = ?$

الحلّ:

لتحديد اتّجاه المجال عند كل نقطة من (a,b,c) أفترض وجود شحنة اختبار موجبة عند كُلٍّ منها، وأحدّد اتجاه القوّة المؤثّرة في كُلٍّ شحنة. ويكون اتجـاه المجال في اتجاه القوّة نفسه.



الشكل (13): اتّجاه المجال حول شحنة.

وبذلك فإن اتّجاه المجال عند (a) يكون باتّجاه محور (+x)، وعند النقطة (b) يكون باتّجاه محور (-x)، وعند النقطة (c)، يكون باتّجاه محور (+y)، كما في الشكل (13).

ولمعرفة مقدار المجال؛ أستعملُ العلاقة الآتية:

$$E = k\frac{Q}{r^2}$$

$$E = 9 \times 10^9 \times \frac{5 \times 10^{-6}}{(36)^2 \times 10^{-4}}$$

$$E_a = 3.47 \times 10^5\ N/C$$

تمرين

في المثال السابق؛ أجد مقدار القوّة الكهربائيّة التي يؤثّر بها المجال الكهربائيّ في شحنة اختبار موجبة صغيرة مقدارها (3 nC) موضوعة في النقطة (a)، ثمّ أُحدّد اتّجاه هذه القوّة.

تمرين

$$F_a = E_a q$$

$$F_a = 3.47 \times 10^5 \times 3 \times 10^{-9}$$

$$F_a = 1.04 \times 10^{-3}\ N$$

اتجاه القوة يكون باتجاه المجال نفسه عند هذه النقطة؛ لأن شحنة الاختبار دائمًا موجبة.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **بناء الشخصية: التعلّم المستمر.**

أخبر الطلبة أن التعلّم المستمر من المفاهيم العابرة التي لها أهمية كبيرة في بناء شخصية الطالب/ الطالبة؛ فالبنية المعرفية تتوسع باستمرار، فاستخدام برمجية محاكاة، كتلك التي استخدمت لاستقصاء المجال الكهربائي الناتج من شحنة نقطية، يساعد الطلبة على التعلم.

مثال إضافي

أعيد حل المثال (6)، إذا كانت الشحنة (Q) سالبة وتساوي (18 μC).

الحل:

لتحديد اتجاه المجال عند كل نقطة من (a, b, c) أفترض وجود شحنة اختبار موجبة عند كل منها، وأحدد اتجاه القوة المؤثرة في كل شحنة اختبار، بذلك يكون اتجاه المجال عند (a) باتجاه محور (-x)، وعند النقطة (b) يكون باتجاه محور (+x)، وعند النقطة (c) يكون باتجاه (-y).

لحساب مقدار المجال عند (a):

$$E = k\frac{Q}{r_2}$$

$$E = 9 \times 10^9 \times \frac{18 \times 10^{-6}}{36^2 \times 10^{-4}}$$

$$E = 1.25 \times 10^6\ N/C$$

طريقة أُخرى للتدريس — المجال الكهربائي

- أستخدم **أسلوب الطاولة المستديرة**. أوزّع الطلبة إلى مجموعات، وأرشدهم إلى استخدام أجهزة الحاسوب والإنترنت للبحث عن برمجية محاكاة مناسبة، واستخدامها لاستقصاء المجال الكهربائي الناتج من شحنة نقطية، بحيث تحدّد المجموعة نوع الشحنة ومقدارها، ثم تختار نقاطًا في مواقع مختلفة في الحيز حول الشحنة، فيظهر عند النقطة سهم، اتجاهه يمثل اتجاه المجال الكهربائي، وطوله يعبر عن مقدار المجال.
- يتبادل أفراد المجموعة الواحدة الأدوار في تحديد مقدار المجال واتجاهه.
- تتناقش كل مجموعة مع باقي المجموعات الأخرى في ما توصل إليه أفرادها.

بناء المفهوم:

المجال الكهربائي المحصل.

- أوجّه للطلبة أسئلة لاستثارة تفكيرهم، مثل:

- صِف/صِفي المجال الناتج من وجود شحنتين متجاورتين.

إن وجود شحنتين نقطيتين أو أكثر بالقرب من بعضهما، ينشأ عنه عند كل نقطة مجال كهربائي مشترك واحد يعدّ محصلة المجالات الناتجة من كل شحنة.

- كيف نتأكد من عدم وجود مجالين متقاطعين؟

عند اختيار نقطة في الحيز المشترك لهذه الشحنات جميعها، ووضع شحنة اختبار عند تلك النقطة، فإنها تتأثر بقوة محصلة تنتج من الجمع المتجهي للقوى التي تؤثر بها الشحنات جميعها في شحنة الاختبار.

- أوجه الطلبة إلى استخدام العلاقات الرياضية الخاصة بالمحصلة عند إيجاد مقدار المجال الكهربائي المحصل وتحديد اتجاهه، كما جرى استخدامها في إيجاد القوة الكهربائية المحصلة.

مثال إضافي

في المثال (7)، أجد مقدار المجال الكهربائي المحصل وأحدد اتجاهه، عندما تكون الشحنة (Q_2) سالبة، مع ثبات مقداري الشحنتين.

الحل:

مقدار المجال الناتج من الشحنة (Q_1) عند النقطة (a):

$$E_1 = k\frac{Q_1}{r_1^{\,2}}$$

$$E_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 10^{-6}}{(6 \times 10^{-2})^2}$$

$$E_1 = 7.5 \times 10^6 \text{ N/C}$$

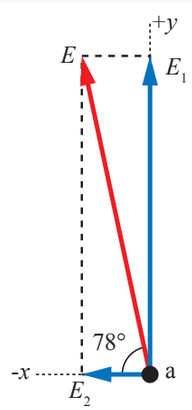
مقدار المجال الناتج من الشحنة (Q_2) عند النقطة (a):

$$E_2 = k\frac{Q_2}{r_2^{\,2}}$$

$$E_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 10^{-6}}{(15 \times 10^{-2})^2}$$

$$E_2 = 1.6 \times 10^6 \text{ N/C}$$

اتجاه المجال الناتج من الشحنة الأولى يكون باتجاه محور ($+y$)، واتجاه المجال الناتج من الشحنة الثانية يكون باتجاه محور ($-x$). والزاوية بين متجهي المجالين (90°)، كما في الشكل،



وبطريقة مماثلة لحل المثال (7) يكون مقدار المجال المحصل ($E = 7.67 \times 10^6$ N/C).

واتجاه المجال المحصل يصنع زاوية مع محور ($-x$) مقدارها (78°)، كما في الشكل.

ورقة العمل (2)

أوزع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة، ثم أزودهم بورقة العمل (2) الموجودة في الملحق، وأمنحهم وقتًا كافيًا للإجابة عليها، ومناقشة الإجابة ضمن المجموعة. ثم أكلف كل مجموعة بعرض إجاباتها، ومناقشتها مع الآخرين.

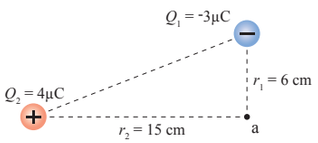
المجال الكهربائيّ لعدّة شحنات نقطية

Electric Field of Several Point Charges

عند وضع عدد من الشحنات الكهربائيّة المتشابهة أو المختلفة بشكل معيّن، تنشأ حول كلّ منها منطقة مجال كهربائيّ، بحيث يكون المجال الكهربائيّ المحصّل عند أيّ نقطة في هذه المنطقة مساويًا لمحصّلة المجالات الناتجة عن كل شحنة إذا كانت منفردة. وتُستعمل في ذلك طريقة جمع المتّجهات.

المثال 7

يوضّح الشكل (14) شحنتين نقطيتين في الهواء، الأولى سالبة والثانية موجبة. مستعينًا بالشكل؛ أجد المجال الكهربائيّ المحصّل عند النقطة (a) وأُحدّد اتّجاهه.



الشكل (14): نقطة قُرب شحنتين.

المعطيات:

$$Q_1 = -3\ \mu C = -3 \times 10^{-6}\ C,\quad Q_2 = 4\ \mu C = 4 \times 10^{-6}\ C$$

$$r_1 = 6\ cm = 6 \times 10^{-2}\ m,$$

$$r_2 = 15\ cm = 15 \times 10^{-2}\ m$$

المطلوب:

$$E = ?$$

الحلّ:

مقدار المجال الناتج عن الشحنة (Q_1) عند النقطة (a):

$$E_1 = k\frac{Q_1}{r_1^{\,2}} = 9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 10^{-6}}{(6 \times 10^{-2})^2}$$

$$E_1 = 7.5 \times 10^6 \text{ N/C}$$

تُستعمل إشارة الشحنة في تحديد اتّجاه المجال وليس حساب مقداره؛ لذا فإنّ المجال الناتج عن الشحنة الأولى يكون باتّجاه محور ($+y$).

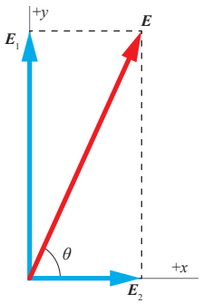
ومقدار المجال الناتج عن الشحنة (Q_2) عند النقطة (a):

$$E_2 = k\frac{Q_2}{r_2^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 10^{-6}}{15^2 \times 10^{-4}}$$

$$E_2 = 1.6 \times 10^6 \text{ N/C}$$

اتّجاه المجال الناتج عن الشحنة الثانية يكون باتّجاه محور ($+x$).

أُلاحظ أنّ الزاوية بين متّجهي المجالين (90°)، كما في الشكل (15)، وفي هذه الحالة يُحسب المجال المحصل باستعمال العلاقة:



الشكل (15): اتّجاه المجال المحصّل.

$$E = \sqrt{(E_1)^2 + (E_2)^2}$$

$$E = \sqrt{(7.5 \times 10^6)^2 + (1.6 \times 10^6)^2} = \sqrt{56.25 \times 10^{12} + 2.56 \times 10^{12}}$$

$$E = 7.67 \times 10^6 \text{ N/C}$$

ويُحدّد اتّجاه المجال المحصّل بالزاوية المرجعية (θ) حيث:

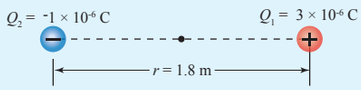
$$\tan\theta = \frac{7.5 \times 10^6}{1.6 \times 10^6} = 4.69$$

$$\theta = \tan^{-1}(4.88) = 78°$$

$$\boldsymbol{E} = 7.67 \times 10^6 \text{ N/C}, 78°$$

تمرين

يوضح الشكل (16) شحنتين نقطيتين في الهواء: الأولى موجبة والثانية سالبة، تفصلهما مسافة (1.8 m). مستعينًا بالشكل؛ أجد المجال الكهربائيّ المحصّل عند نقطة تنصف المسافة بين الشحنتين.



الشكل (16): شحنتان نقطيتان في الهواء.

تمرين

$$E_1 = k\frac{Q_1}{r_1^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 10^{-6}}{81 \times 10^{-2}}$$

$$E_1 = 3.3 \times 10^4 \text{ N/C}$$

(باتجاه اليسار؛ لأن الشحنة موجبة والمجال خارج منها)

$$E_2 = k\frac{Q_2}{r_2^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 10^{-6}}{81 \times 10^{-2}}$$

$$E_2 = 1.1 \times 10^4 \text{ N/C}$$

(باتجاه اليسار؛ لأن الشحنة سالبة والمجال يتجه نحوها)

$$E = E_1 + E_2 = 3.3 \times 10^4 + 1.1 \times 10^4$$

$$= 4.4 \times 10^4 \text{ N/C} \quad \text{(باتجاه اليسار)}$$

التعزيز:

- أستخدم **استراتيجية التعلم التعاوني** في تلخيص حالات إيجاد المجال المحصل عند نقطة والناتج عن مجموعة شحنات نقطية.
- أوزّع الطلبة إلى مجموعات وأوزّع عليهم الأدوار والمهام.
- أزوّد كل مجموعة بمجموعة الأسئلة الآتية:

– ما الطريقة المستخدمة لإيجاد المجال المحصل لشحنتين نقطيتين، عند نقطة على امتداد الخط الواصل بينهما؟

عندما يكون المجالان بالاتجاه نفسه نجمعهما، وعندما يكونان متعاكسين نجد الفرق بينهما.

– ما الطريقة المستخدمة لإيجاد المجال المحصل لشحنتين نقطيتين، عند نقطة تشكل مع الشحنتين رؤوس مثلث قائم الزاوية؟

عندما تكون النقطة عند الزاوية القائمة نستخدم العلاقة:

$$E = \sqrt{(E_1^2 + E_2^2)}$$

وعدا ذلك نحلل أحد المجالين إلى مركبتيه.

– ما الطريقة المستخدمة لإيجاد المجال المحصل لأربع شحنات نقطية على رؤوس مربع، عند نقطة في مركزه؟

نستخدم طريقة التحليل ثم جمع المركبات أو طرحها لإيجاد المحصلة.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: التحليل.**

أخبر الطلبة أنّ للتحليل دورًا في الوصول إلى المعرفة، واستكشاف العلاقات بين المفاهيم والكميات المختلفة، وهذا ينطبق عند إيجاد المجال المحصل.

◄ استخدام الصور والأشكال:

- أوزع الطلبة في مجموعات، ثم أوجههم للاطلاع على الشكل (17). أستخدم استراتيجية **الاستقصاء وحلّ المشكلات**، فأوزع عليهم أوراقًا مكتوبًا فيها الأسئلة الآتية، ويستقصي الطلبة الإجابات من دراسة الشكل وتحليله.
- أكلف أحد الطلبة من كل مجموعة قراءة إجابة المجموعة، ثم أدير نقاشًا بين المجموعات.

– أوضح المقصود بخط المجال الكهربائي.

هو مسار شحنة اختبار موجبة تتحرك تحت تأثير المجال الكهربائي فقط.

– أي الشحنات تخرج منها خطوط المجال الكهربائي، وأيها تدخل فيها؟

تخرج خطوط المجال من الشحنة الموجبة وتدخل في السالبة.

– أين تكون خطوط المجال متقاربة من بعضها، وأين تكون متباعدة؟

تكون متقاربة من بعضها في المناطق القريبة من الشحنة، حيث المجال قوي، وتكون متباعدة عن بعضها في المناطق البعيدة عن الشحنة؛ حيث يضعف المجال بالابتعاد عن الشحنة.

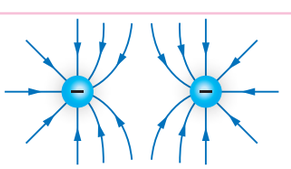
– لماذا تكون خطوط المجال مستقيمة أو منحنية؟

تكون مستقيمة في الحيز المحيط بشحنة مفردة، وتصبح منحنية عند وجود شحنتين (أو أكثر) في هذا الحيز؛ لأنها ناتجة من محصلة متجهين (أو أكثر).

إجابة سؤال الشكل (17):

الشكل (د) يحتوي على نقطة تعادل تقع على الخط الواصل بين الشحنتين وفي منتصف المسافة بينهما، حيث يكون المجالان الناتجان عن كلا الشحنتين متساويين مقدارًا ومتعاكسين اتجاهًا، ومحصلتهما تساوي صفرًا.

✓ **أتحقّق:** رسم خطوط المجال الكهربائي في الحيز المحيط بشحنتين سالبتين متجاورتين ومتساويتي المقدار.



خطوط المجال الكهربائيّ Electric Field Lines

المجال الكهربائيّ كمّية فيزيائية متّجهة، وفي الأمثلة السابقة مثّلنا متّجه المجال عند نقطة بسهم اتّجاهه يُعبّر عن اتّجاه المجال عند تلك النقطة، ويتناسب طول السهم مع مقدار المجال. ويُمكنني تمثيل منطقة المجال الكهربائيّ الذي يُحيط بشحنة كهربائيّة مفردة أو عدد من الشحنات؛ برسم خطوط، عليها أسهم توضّح اتّجاه المجال، وتُسمّى **خطوط المجال الكهربائيّ Electric Field Lines** وهي تُمثّل مسارات شحنة اختبار موجبة تتحرّك تحت تأثير المجال الكهربائيّ فقط. مع التذكير بأنّ اتّجاه المجال عند أي نقطة فيه، هو اتّجاه القوّة التي يؤثّر بها المجال في شحنة الاختبار النقطيّة الموجبة، الموضوعة عند تلك النقطة.

يُبيّن الشكل (17) أربعة مجالات كهربائيّة منفصلة، مُثّلت بخطوط المجال.

أ . المجال الكهربائيّ الناشئ عن شحنة نقطية موجبة.

ب. المجال الكهربائيّ الناشئ عن شحنة نقطية سالبة.

جـ. المجال الكهربائيّ الناشئ عن شحنتين نقطيتين متساويتين ومتجاورتين، إحداهما موجبة والثانية سالبة.

د . المجال الكهربائيّ الناشئ عن شحنتين نقطيتين موجبتين متساويتين ومتجاورتين.

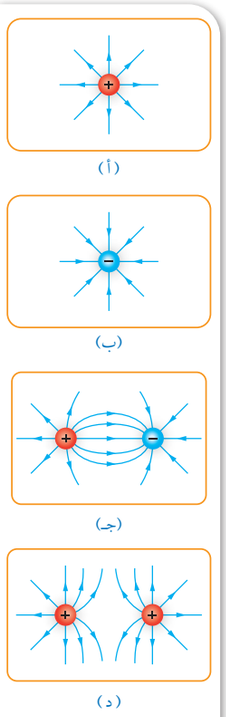
أستنتجُ من الأشكال السابقة الملحوظات الآتية:

– تدلّ كثافة خطوط المجال الكهربائيّ التي تخترق سطحًا محدّدًا على مقدار المجال الكهربائيّ، ويُقصد **بكثافة خطوط المجال الكهربائيّ Density of Electric Field Lines** أنّها عدد الخطوط التي تخترق وحدة المساحة من هذا السطح بشكل عموديّ عليه؛ أي إنّ مقدار المجال الكهربائيّ تزداد حيثما تتزاحم خطوط المجال.

– تبدأ خطوط المجال من الشحنة الموجبة وتنتهي إلى الشحنة السالبة؛ لأنّها تُمثّل مسار حركة شحنة الاختبار الموجبة داخل المجال، بسبب تنافرها مع الشحنة الموجبة وتجاذبها مع الشحنة السالبة.

– تكون خطوط المجال الكهربائيّ مستقيمة أو منحنية لكنّها لا تتقاطع، إذ لو تقاطع خطّان لأصبح للمجال أكثر من اتّجاه عند نقطة التقاطع، وهذا يتعارض مع مفهوم المجال عند نقطة.

✓ **أتحقّق:** بناءً على الشكل (17) والملحوظات التي استنتجتُها منه؛ أرسمُ خطوط المجال الكهربائيّ لشحنتين نقطيتين سالبتين ومتجاورتين.



الشكل (17): أنماط المجالات الكهربائيّة حول عدد من الشحنات النقطيّة.

سؤال: تُسمّى النقطة التي يكون فيها مقدار المجال المحصّل مساويًا للصفر نقطة انعدام المجال. أيّ من الأشكال (أ، ب، جـ، د) تحتوي على نقطة انعدام للمجال؟ وأين توجد داخل الشكل؟

معلومة إضافية

يسمى العدد الكلي لخطوط المجال الكهربائي التي تخترق مساحة محددة من سطح **التدفق الكهربائي**، وهو يتناسب مع مقدار المجال الكهربائي. وعدد الخطوط التي تخترق وحدة المساحة بصورة عمودية عليها يسمى **كثافة خطوط المجال الكهربائي**، وهي لا تساوي مقدار المجال، لكنها تعدّ مؤشرًا عليه.

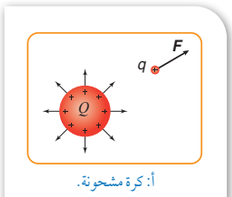
يمكننا مقارنة شحنتين نقطيتين أيهما أكبر، عن طريق المقارنة بين عدد خطوط المجال التي تحيط بكل شحنة، لكن لا يمكن معرفة مقدار كل شحنة بهذه الطريقة؛ فمثلًا مقدار الشحنة الموجبة التي يخرج منها (8) خطوط يساوي نصف مقدار الشحنة التي يخرج منها (16) خطًّا.

المجال الكهربائيّ لكرة موصلة مشحونة

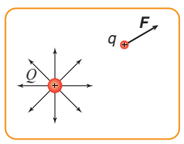
Electric Field of a Charged Conducting Sphere

يُشكّل المجال الكهربائيّ الذي تولّده كرة فلزية مشحونة بشحنة موجبة ($Q+$) منطقة تُحيط بهذه الكرة. لوصف هذا المجال؛ أتتبّع مسار حركة شحنة اختبار صغيرة موجبة ($q+$)، كما يُبيّن الشكل (18/ أ)، عند وضعها في نقاط مختلفة حول الكرة المشحونة. عند رسم مسارات حركة شحنة الاختبار تحت تأثير القوّة الكهربائيّة المتبادلة مع الكرة الفلزية المشحونة، أستنتجُ أنّ المجال الكهربائيّ خارج كرة فلزية مشحونة يُماثل تمامًا المجال الكهربائيّ حول شحنة نقطية مساوية للشحنة الكلّية على الكرة ($Q+$)، ويكون موقعها كما لو كانت في مركز هذه الكرة، كما يُبيّن الشكل (18/ ب).

لحساب مقدار المجال عند أي نقطة خارج الكرة الموصلة المشحونة؛ تُستعمل العلاقات الخاصة بمجال الشحنات النقطيّة، لكنّ المجال الكهربائيّ داخل الكرة يساوي محصّلة متّجهات المجال الناتجة عن كلّ الشحنات على سطح الكرة، ويساوي صفرًا.



أ: كرة مشحونة.

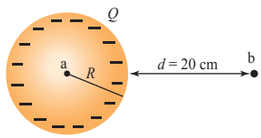


ب: شحنة نقطية.

الشكل (18):
أ: تأثير كرة مشحونة في شحنة اختبار.
ب: تأثير شحنة نقطية في شحنة اختبار.

المثال 8

يوضّح الشكل (19) كرة نحاسية نصف قطرها (10 cm)، موضوعة في الهواء ومشحونة بشحنة سالبة ($-12\ \mu C$). مستعينًا بالشكل؛ أجد المجال الكهربائيّ عند كل من النقطتين (b,a).



الشكل (19): كرة موصلة مشحونة بشحنة سالبة.

المعطيات: $R = 10\ cm = 0.1\ m,\ Q = -12\ \mu C = -12 \times 10^{-6}\ C,\ d = 20\ cm = 0.2\ m$

المطلوب: $E_a = ?,\ E_b = ?$

الحلّ:

المجال عند النقطة (a) في مركز الكرة يساوي صفرًا، وكذلك عند أيّ نقطة داخل الكرة.

المجال عند النقطة (b) على بعد (20 cm) من سطح الكرة:

$$r = R + d = 0.1 + 0.2 = 0.3\ m$$

$$E_b = k\frac{Q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{12 \times 10^{-6}}{0.3^2}$$

$$E_b = 12 \times 10^5\ N/C$$

اتّجاه المجال عند النقطة (b) يكون باتّجاه محور ($-x$)، وهو اتّجاه حركة شحنة الاختبار الموجبة، إذا وُضِعت عند هذه النقطة.

إضاءة للمُعلّم / للمعلّمة

في الكرة الفلزية الموصلة تتوزع الشحنات على السطح الخارجي بسبب تنافرها، وسهولة حركة الإلكترونات الحرة داخل الفلز، وعند دراسة المجال الكهربائي خارجها، يكون مماثلًا لمجال شحنة نقطية مساوية ومتركزة في مركز الكرة، أما داخلها وعند أي نقطة في الداخل فيكون المجال يساوي صفرًا.

في الكرة العازلة، عندما تتوزع الشحنة حجميًّا على الكرة، يكون المجال الكهربائي خارجها مماثلًا لمجال الكرة الموصلة، أما في الداخل فإنه لا ينعدم إلا في المركز، أما في النقاط الداخلية الأخرى، فإن محصلة المجال لا تساوي صفرًا، وهي تختلف مقدارًا واتجاهًا من نقطة لأخرى.

المناقشة:

- أذكّر الطلبة بأن الشحنات المتشابهة تتنافر، وأن الشحنات تتحرك في الأجسام الموصلة بسهولة.
- أوضّح لهم أن الكرة الموصلة عند شحنها فإنّ الشحنات تتوزع على سطحها الخارجي بسبب قوى التنافر بينها، سواء أكانت الكرة مفرغة أم مصمتة، ويكون توزيع الشحنة بانتظام.

نشاط سريع

- أوزع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة، ثم أوظف استراتيجية **الطاولة المستديرة**.
- أكلف أفراد كل مجموعة بتمرير ورقة فارغة على أفرادها بحيث يرسم الفرد الأول دائرة (تمثل كرة) وتوزيع شحنات كهربائية موجبة على محيطها.
- يرسم الفرد الثاني خطوط المجال الكهربائي حول الدائرة، عن طريق افتراض وجود شحنات اختبار موجبة حولها.
- يقارن فرد آخر بين المجال الكهربائي حول كرة موصلة مشحونة والمجال حول شحنة نقطية.
- تناقش كل مجموعة المجموعات الأخرى في ما توصلت إليه من استنتاج للمجال الكهربائي خارج الكرة وداخلها.

مثال إضافي

كرة موصلة طول نصف قطرها (0.1 m)، موضوعة في الهواء ومشحونة بشحنة موجبة، إذا كان مقدار المجال الكهربائي عند نقطة تبعد (2.4 m) عن مركزها يساوي ($5 \times 10^3\ N/C$)، فما مقدار الشحنة التي تحملها الكرة؟

الحل:

$$E = k\frac{Q}{r^2}$$

$$Q = \frac{Er^2}{k}$$

$$Q = \frac{5 \times 10^3 \times 2.4^2}{9 \times 10^9}$$

$$Q = 3.2 \times 10^{-6}\ C$$

نشاط سريع

- أحضر قارورتين بلاستيكيتين متماثلتين مملوءتين بالماء، وحوضًا ومسمارًا ودبوسًا وساعة إيقاف ومخبارًا، ثم أنفّذ النشاط الآتي:
- أرفع القارورة الأولى على مرأى من الطلبة، وأزود أحدهم بساعة إيقاف، ثم أثقب قاعدة القارورة بالدبوس، بحيث ينسكب الماء في الحوض مدة نصف دقيقة. أطلب إلى أحد الطلبة قياس حجم الماء المنسكب باستخدام المخبار المدرج.
- أكرر الخطوة السابقة باستخدام القارورة الثانية بعد ثقبها بالمسمار.
- أوجّه للطلبة الأسئلة الآتية:

– من يقارن بين كميتي الماء المنسكب من القارورتين؟ كمية الماء المنسكبة من القارورة الثانية أكبر.

– ماذا يسمى معدل انسكاب الماء من القارورة؟ تدفق الماء.

– لماذا كان تدفق الماء من القارورة الثانية أكثر منه في الأولى؟ لأن مساحة ثقب المسمار أكبر.

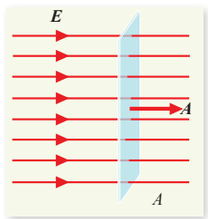
المناقشة:

- أوضّح للطلبة بأن التدفق الكهربائي يشبه تدفق الماء من الثقب، وهو ينتج من عبور خطوط المجال الكهربائي لمساحة محدّدة.
- أؤكّد للطلبة أنّ التدفق الكهربائي يعتمد على: مقدار المجال الكهربائي، ومقدار المساحة، والزاوية بين متجهي المساحة والمجال.
- أوجه الطلبة لتأمل الشكل (20)، ثم أطلب إليهم توضيح المقصود بمتجه المساحة. إن متجه المساحة للسطوح المغلقة ثلاثية الأبعاد، يكون عموديًّا على السطح واتجاهه نحو الخارج.
- أسألهم عن متجه المساحة للسطح المستوي. نفترض أنّ متجه المساحة للسطوح المستوية (غير المغلقة) مع اتجاه المجال، ما لم يوصف بغير ذلك في المسألة.

التدفّق الكهربائيّ Electric Flux

أفترضُ أنّ لديّ سائلًا يجري خلال أنبوب، ويخرج من مقطعه الذي يُشكّل سطحًا مستويًا مساحته (A)، وأنّ اتّجاه الجريان يتعامد مع هذا السطح؛ فإنّ حجم السائل الذي ينفذ من السطح في وحدة الزمن يُسمّى تدفّقًا. وفي حالة المجال الكهربائيّ، فإنني أحدّد كمّية مشابهة تسمّى التدفّق الكهربائي Electric Flux، الذي يتناسب طرديًا مع عدد خطوط المجال الكهربائي التي تخترق مساحة محدّدة.

لاحظتُ عند وصف خطوط المجال الكهربائيّ، أنّ مقدار المجال الكهربائيّ يتناسب طرديًّا مع عدد خطوط المجال التي تخترق وحدة المساحة بشكل عموديّ، وهذا يؤدّي إلى علاقة بين التدفّق الكهربائيّ ومقدار المجال الكهربائيّ. ولتسهيل تحديد هذه العلاقة، أفترضُ وجود سطح مستوٍ مساحته (A) عموديّ على اتّجاه مجال كهربائيّ منتظم $\boldsymbol{E}$ (ثابت المقدار والاتّجاه) وتخترقه خطوط المجال، كما في الشكل (20).



الشكل (20): التدفّق الكهربائيّ.

إنّ التدفّق الكهربائي لهذا المجال يُعطى بالعلاقة الرياضية الآتية: $\phi = E\,A$، إذ يُمثّل الرمز ϕ التدفّق خلال المساحة A، ويتناسب مع عدد خطوط المجال الكلّية التي تخترق هذه المساحة. ويُقاس التدفّق الكهربائيّ بوحدة Nm^2/C حسب النظام الدولي للوحدات. وتجدر الإشارة إلى أنّ المجال الكهربائيّ والمساحة كمّيتان متّجهتان؛ إذ يكون متّجه المساحة هو العمود المُقام على السطح باتّجاه الخارج (بالنسبة إلى السطوح المغلقة)، في حين أنّ التدفق كمّية فيزيائية قياسية. بالنظر إلى الشكل (20) ألاحظ أنّه لو حصل دوران للسطح الذي مساحته A بحيث تصبح خطوط المجال غير عمودية على المساحة؛ فإنّ هذا سيؤدّي إلى إنقاص عدد خطوط المجال التي تخترقه؛ لذا فإنّه في الحالة العامّة التي تكون فيها الزاوية بين متّجه المساحة واتّجاه خطوط المجال ضمن المدى $0^\circ \le \theta \le 180^\circ$؛ فإنّه يمكن التعبير عن **التدفّق الكهربائي Electric Flux** بأنه ناتج الضرب القياسي لمتّجهي المجال والمساحة ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$\phi = E\,A\cos\theta$$

أستنتجُ من هذه العلاقة أنّ التدفّق الكهربائيّ خلال سطح يعتمد على (3) عوامل: مقدار المجال الكهربائيّ، ومقدار المساحة التي يُحسب التدفّق خلالها، والزاوية بين متّجهَي المساحة والمجال الكهربائيّ.

أفكّر: سطح مستو أفقي يوجد فوقه جسم مشحون بشحنة موجبة، أصف تدفّق خطوط المجال الكهربائي الذي يعبر السطح والناتج عن هذه الشحنة، ثم أبيّن ما يحدث للتدفّق عن وضع شحنة سالبة أسفل السطح الأفقي، مع بقاء الشحنة الموجبة.

أفكّر: ستكون خطوط المجال خارجة من الشحنة الموجبة، وتعبر السطح الأفقي من الأعلى إلى الأسفل بزوايا مختلفة، وعند وضع شحنة سالبة أسفل السطح ستكون خطوط مجالها نحو الأسفل أيضًا، وتعبر السطح بزوايا مختلفة، وبذلك فإنّ التدفق الكهربائي عبر السطح سوف يزداد.

أخطاء شائعة

يخلط بعض الطلبة بين مفهومين مختلفين، هما: التدفق الكهربائي، وكثافة خطوط المجال الكهربائي، ولمعالجة ذلك أوضح للطلبة الفرق الدقيق بين المفهومين، **فالتدفق الكهربائي**: هو ناتج الضرب القياسي لمتجهي المجال والمساحة التي تخترقها خطوط المجال. في حين أن **كثافة المجال الكهربائي** تعبر عن عدد خطوط المجال الكهربائي التي تخترق وحدة المساحة من سطح معيّن بشكل عمودي عليه.

المثال 9

مجال كهربائيّ ثابت مقداره (3×10^3 N/C) تخترق بعض خطوطه سطحًا مساحته (0.04 m^2)، كما في الشكل (20). إذا علمتُ أنّ خطوط المجال موازية لمتّجه المساحة؛ فأحسبُ التدفّق الكهربائيّ.

المعطيات: $E = 3 \times 10^3$ N/C, $A = 0.04$ m^2, $\theta = 0$

المطلوب: $\phi = ?$

الحلّ:

$$\phi = E A \cos\theta$$

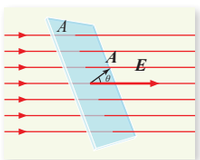
$$\phi = 3 \times 10^3 \times 0.04 \times \cos 0$$

$$\cos 0^\circ = 1$$

$$\phi = 120 \text{ Nm}^2/\text{C}$$

المثال 10

أحسبُ التدفّق الكهربائيّ خلال سطح مستطيل الشكل، أبعاده (5 cm,10 cm) موضوعٍ في منطقة مجال كهربائيّ ثابت مقداره (100 N/C)، كما في الشكل (21). علمًا بأنّ الزاوية بين متّجه المجال ومتّجه المساحة (37°).



الشكل (21): التدفّق الكهربائيّ.

المعطيات: $E = 100$ N/C, $A = 0.05 \times 0.1$ m^2, $\theta = 37^\circ$

المطلوب: $\phi = ?$

الحلّ:

$$A = 0.05 \times 0.1 = 0.005 \text{ m}^2$$

$$\phi = E A \cos 37^\circ$$

$$\phi = 100 \times 0.005 \times 0.8$$

$$\phi = 0.4 \text{ Nm}^2/\text{C}$$

معلومة إضافية

أوضح للطلبة عند حساب التدفق أن المساحة كمية متجهة، ويحدّد متجه المساحة بالعمود المقام على السطح. أوضح لهم أن السطح المغلق (مثل الكرة) يكون متجه المساحة بالنسبة له دائمًا نحو الخارج، وفي هذه الحالة إذا كانت خطوط المجال الكهربائي خارجةً من السطح، فتكون الزاوية بين متجهي السطح والمجال ($0^\circ < \theta < 90^\circ$)، وإذا كان المجال داخلًا في السطح، فتكون الزاوية بينهما ($90^\circ < \theta \leq 180^\circ$). أما عندما تخترق خطوط المجال الكهربائي سطحًا مستويًا غير مغلق (مثل المربع أو الدائرة)، فإنه يفترض متجه المساحة مع اتجاه المجال، أي أن الزاوية بين متجهي السطح والمجال ($0^\circ \leq \theta < 90^\circ$) فقط، أي أن خطوط المجال لا توصف بأنها داخلة أو خارجة من السطح، ما لم يوصف اتجاهه بغير ذلك في المسألة.

مثال إضافي

سطح مربع طول ضلعه (0.2 m) يخترقه تدفق كهربائي (60 Nm^2/C)، باتجاه موازٍ لمتجه المساحة لهذا السطح. ما مقدار مجاله الكهربائي؟

الحل:

$$\phi = EA\cos\theta$$

$$E = \frac{\phi}{A\cos\theta}$$

$$E = \frac{60}{0.2 \times 0.2 \times \cos 0}$$

$$E = 1.5 \times 10^3 \text{ N/C}$$

مثال إضافي

مجال كهربائي مقداره (1000 N/C) يخترق سطحًا مساحته (1 m^2)، ما مقدار الزاوية بين متجهي المجال والمساحة الذي يجعل التدفق (800 Nm^2/C)؟

الحل:

$$\phi = EA\cos\theta$$

$$\cos\theta = \frac{\phi}{EA}$$

$$\cos\theta = \frac{800}{1000 \times 1} = 0.8$$

$$\theta = \cos^{-1} 0.8 = 37^\circ$$

تمرين

مجموع التدفق خلال وجهي المكعب الأيمن والأيسر يعطى بالعلاقة:

$$\phi = \phi_1 + \phi_2$$
$$= EA_1 \cos\theta_1 + EA_2 \cos\theta_2$$
$$= E(l)^2 \cos 180° + E(l)^2 \cos 0°$$
$$\phi = -El^2 + El^2 = 0$$

أما التدفق خلال الوجوه الأربعة الأخرى للمكعب فيساوي صفرًا؛ لأن خطوط المجال لا تخترق هذه الوجوه.

3 التقويم

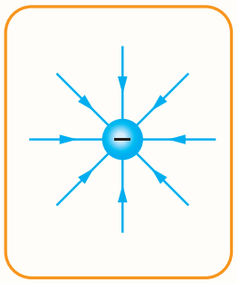
إجابات أسئلة مراجعة الدرس

1 الفكرة الرئيسة:

المجال الكهربائي عند نقطة: هو القوّة الكهربائية التي تؤثّر في وحدة الشحنة الموجبة الموضوعة في تلك النقطة.

خط المجال الكهربائي: مسار شحنة اختبار موجبة تتحرّك تحت تأثير المجال الكهربائي فقط.

2 الرسم:



3 لو تقاطع خطّان لأصبح للمجال أكثر من اتّجاه عند نقطة التقاطع، وهذا يتعارض مع مفهوم المجال عند نقطة.

4

$$E_1 = k\frac{Q_1}{r_1^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 10^{-6}}{36 \times 10^{-4}}$$
$$E_1 = 7.5 \times 10^6 \text{ N/C}$$

باتجاه اليمين؛ لأن الشحنة سالبة والمجال يتجه نحوها.

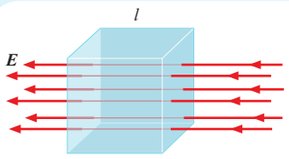
$$E_2 = k\frac{Q_2}{r_2^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 10^{-6}}{81 \times 10^{-4}}$$
$$E_2 = 4.4 \times 10^6 \text{ N/C}$$

باتجاه اليمين؛ لأن الشحنة موجبة والمجال خارج منها.

$$E = E_1 + E_2 = 3.5 \times 10^6 + 4.4 \times 10^6$$
$$= 7.9 \times 10^6 \text{ N/C} \quad \text{(باتجاه اليمين)}$$

تمرين

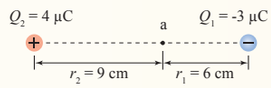
مكعّبٌ طول ضلعه (l)، مغمور في مجالٍ كهربائيٍّ منتظم كما في الشكل. أثبتُ أنّ التدفُّق الكُلّيّ عبر المكعب يساوي صفرًا.



الشكل (22): التدفّق الكهربائيّ خلال وجهَي مكعّب.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أُوضّح المقصود بكلّ من: المجال الكهربائيّ عند نقطة، خط المجال الكهربائيّ.
2. أُوضّح بالرسم خطوط المجال الكهربائيّ حول شحنة نقطية سالبة موضوعة بالفراغ.
3. **أُفسّر** عدم إمكانية تقاطع خطّين من خطوط المجال الكهربائيّ.
4. **أستعملُ المتغيّرات:** يوضّح الشكل المجاور شحنتين؛ الأولى سالبة والثانية موجبة. مستعينًا بالشكل؛ أجد المجال الكهربائيّ المحصّل عند النقطة a وأُحدّد اتّجاهه.



5. **التفكير الناقد:** شحنة نقطية في الهواء مقدارها (12 μC) موجودة في مركز سطح كروي نصف قطره (0.2 m). أجد التدفّق الكهربائيّ خلال السطح الكروي، ثمّ أُبيّن: هل يتغيّر التدفّق بتغيّر نصف قطر السطح الكروي؟

5 التفكير الناقد:

$$E = k\frac{Q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{12 \times 10^{-6}}{4 \times 10^{-2}} = 2.7 \times 10^6 \text{ N/C}$$

$$A = 4\pi r^2 = 4 \times 3.14 \times 4 \times 10^{-2} = 0.5 \text{ m}^2$$

$$\theta = 0°, \cos\theta = 1$$

$$\phi = EA\cos\theta = 2.7 \times 10^5 \times 0.5 \times 1$$
$$= 1.35 \times 10^6 \text{ Nm}^2/\text{C}$$

عندما يتغير طول نصف قطر السطح الكروي، فإن المجال يتغير ومساحة السطح تتغير، لكن التدفق الكلي يبقى ثابتًا، وكذلك عدد الخطوط الكلي الذي يعبر السطح لا يتغير. يمكن إثبات ذلك بتعويض طول نصف قطر جديد وإعادة الحل.

الدرس 3

المجال الكهربائي لتوزيع متّصل من الشحنات الكهربائية

Electric Field of a Continuous Charge Distribution

1 تقديم الدرس

الفكرة الرئيسة:

- أذكّر الطلبة بقانون كولوم، وأنه يستخدم لحساب المجال الكهربائي عند نقطة في مجال شحنة نقطية، وإذا كان لدينا أكثر من شحنة نقطية فإننا نجد المجال الكهربائي المحصّل عند تلك النقطة (بجمع المجالات الناتجة من الشحنات النقطية جمعًا متجهًا).
- أبيّن للطلبة أن هناك قانونًا يكافئ قانون كولوم ويستخدم لحساب المجال الكهربائي الناشئ عن عدد من الشحنات بطريقة أخرى تختلف عن قانون كولوم وأكثر بساطة منه، وهو قانون غاوس.

الربط بالمعرفة السابقة:

- أذكّر الطلبة بقانون المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة نقطية، وعلاقته بقانون كولوم.
- أذكّر الطلبة بمفهوم التدفّق الكهربائي وعلاقته بالمجال الكهربائي.

2 التدريس

استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (23)، وأبيّن لهم أن السطح الكروي المحيط بالشحنة هو سطح افتراضي (وهميّ)، ثم أسألهم:

– هل تختلف قيم المجال الكهربائي الناشئ عن الشحنة $(+Q)$ عند النقاط الواقعة على السطح الافتراضي (سطح غاوس)؟ ولماذا؟ لا؛ لأن جميع النقاط الواقعة على السطح الافتراضي تبعد المسافة نفسها عن الشحنة.

– ما مقدار الزاوية بين متجه المساحة ومتجه المجال الكهربائي عند نقطة على سطح غاوس؟ وهل تختلف قيمة هذه الزاوية من نقطة إلى أخرى على سطح غاوس؟ صفر، لا؛ لأن متجه المساحة يكون دائمًا عموديًّا على السطح ويمر امتداده بمركز الكرة، وبما أن الشحنة في مركز الكرة وخطوط المجال الكهربائي تخرج منها، فإن الزاوية بين متجه المساحة ومتجه المجال عند أي نقطة على السطح تكون مساوية للصفر.

الدرس 3

المجال الكهربائي لتوزيع متّصل من الشحنات الكهربائية

Electric Field of a Continuous Charge Distribution

الفكرة الرئيسة:

يستخدم قانون غاوس لحساب المجال الكهربائيّ الناتج عن توزيعٍ منتظمٍ للشحنات.

نتاجات التعلّم:

- أصف التدفّق الكهربائيّ الذي يخترق سطحًا بمعادلة.
- أحسبُ مقدار المجال الكهربائيّ لتوزيع متّصل للشحنات الكهربائيّة.
- أدرسُ حركة شحنة نقطية في مجال كهربائيّ منتظم.

المفاهيم والمصطلحات:

قانون غاوس	Gauss's Law
سطح غاوس	Gaussian Surface
الكثافة السطحية للشحنة	Surface Charge Density
المجال الكهربائيّ المنتظم	Uniform Electric Field

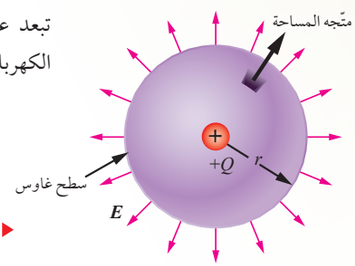
قانون غاوس Gauss's Law

بعد أقل من 50 عامًا من نشر شارل كولوم قانونه، توصّل عالم الفيزياء والرياضيات الألماني كارل غاوس إلى قانون يُكافئ قانون كولوم في وصفه العلاقة بين المجال الكهربائيّ والشحنة، الذي عُرف باسمه (قانون غاوس)، إلّا أنّ غاوس قدّم طريقة مختلفة للتعبير عن هذه العلاقة. ينصّ **قانون غاوس Gauss's Law** على أنّ التدفّق الكهربائيّ الكلّي عبر سطح مغلق يتناسب طرديًّا مع المجموع الجبري للشحنات الكهربائيّة المحتواة Enclosed Charge داخل هذا السطح.

أفترضُ سطحًا كرويًّا وهميًّا نصف قطره (r) يُحيط بشحنة نقطية موجبة $(+Q)$ موضوعة في الفراغ، كما في الشكل (23). ألاحظ أنّ خطوط المجال الكهربائيّ للشحنة تخترق السطح الافتراضي الكروي، الذي يُسمّى **سطح غاوس Gaussian Surface**، وتكون موازية لمتّجه المساحة العموديّ على السطح عند تلك النقطة وخارجًا منها (بالنسبة إلى السطوح المغلقة)، أي إنّ الزاوية بين المجال ومتّجه المساحة $(\theta = 0°)$.

النقاط جميعها الواقعة على سطح غاوس الافتراضي تبعد عن الشحنة النقطيّة المسافة نفسها (r)، والمجال الكهربائيّ (E) عند أيّ من هذه النقاط يُعطى بالعلاقة الآتية:

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$



الشكل (23): شحنة نقطية داخل سطح غاوس.

بناء المفهوم:

قانون غاوس

- أذكر الطلبة أن المجال الكهربائي الناشئ عن الشحنة $(+Q)$ عند نقطة تبعد مسافة (r) عن الشحنة (على سطح غاوس) يساوي: $E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_\circ r^2}$، ثمّ أوجّه لهم الأسئلة الآتية:

– ماذا يمثل المقدار $(4\pi r^2)$؟

مساحة السطح الافتراضي A (سطح غاوس).

– ما مقدار التدفق الكهربائي عبر سطح غاوس؟ $\phi = EA\cos 0 = EA$

أي أن: $\phi = EA = \frac{Q}{\varepsilon_\circ}$

ورقة العمل (3)

أوزع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة، ثم أزودهم بورقة العمل (3) الموجودة في الملحق، وأمنحهم وقتًا كافيًا للإجابة عليها، ومناقشة الإجابة ضمن المجموعة. ثم أكلف كل مجموعة بعرض إجاباتها، ومناقشتها مع الآخرين.

◄ المناقشة:

- أوجّه انتباه الطلبة إلى أن العلاقة السابقة تمثل الصورة الرياضية لقانون غاوس عندما يكون سطح غاوس المحيط بالشحنة كرويًّا، ثمّ أطلب إلى الطلبة أن يضع كل منهم بشكل منفرد صيغة لفظية مناسبة لقانون غاوس اعتمادًا على العلاقة السابقة، ويناقش زميله/ زميلتها بها، ثمّ مشاركته مع باقي الزملاء/ الزميلات في الصف.

التدفّق الكهربائيّ عبر سطح كروي مغلق افتراضي يحيط بشحنة نقطية تقع في مركزه، يساوي ناتج قسمة الشحنة على السماحيّة الكهربائيّة للفراغ.

- أوضح للطلبة أن الصيغة السابقة هي حالة خاصة من قانون غاوس يمكن تعميمها على أي سطح مغلق، وأية شحنة داخله، ثمّ أسألهم:

– على ماذا يعتمد التدفق الكهربائي عبر أي سطح مغلق؟

على الشحنة الكهربائية الموجودة داخل السطح وعلى السماحيّة الكهربائيّة للوسط.

– اذكر/ اذكري نص قانون غاوس بصورته العامة.

التدفّق الكهربائيّ الكلّي عبر سطح مغلق يتناسب طرديًّا مع المجموع الجبري للشحنات الكهربائيّة داخل هذا السطح.

أفكّرُ:

أ . تدل خطوط المجال غير المتوازية على أن اتجاه المجال يتغير من نقطة إلى أخرى؛ أي أنه مجال غير منتظم.

ب. الخطوط المتوازية تدل على أن اتجاه المجال ثابت، والمسافات بين الخطوط متساوية تدل على أن مقدار المجال ثابت، ما يعني أن المجال منتظم.

✓ **أتحقّق:**

التدفّق الكهربائيّ الكلّي عبر سطح مغلق يتناسب طرديًّا مع المجموع الجبري للشحنات الكهربائيّة الموجودة داخل هذا السطح.

أفكّرُ: أصف المجال الكهربائيّ في الحالتين الآتيتين:

أ . خطوط المجال الكهربائي غير متوازية.

ب. خطوط المجال الكهربائي متوازية، والمسافات بينها متساوية.

أمّا التدفّق الكهربائيّ خلال سطح غاوس؛ فيُعطى بالعلاقة الآتية:

$$\phi = EA\cos 0$$

إذ إنّ سطح غاوس يُمثّل كرة مساحة سطحها: $(A = 4\pi r^2)$.

بتعويض المساحة في العلاقة السابقة أجد أنّ:

$$\phi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\ 4\pi r^2$$

وبذلك فإنّ:

$$\phi = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

أستنتجُ أنّ التدفّق الكهربائيّ عبر سطح كروي افتراضي يُحيط بشحنة نقطية تقع في مركزه، يساوي ناتج قسمة الشحنة على السماحيّة الكهربائيّة للفراغ، وأستنتجُ أنّ التدفّق الكهربائيّ عبر أيّ سطح مغلق يعتمد على الشحنة المحتواة داخل السطح وعلى السماحيّة الكهربائيّة للوسط فقط.

يُعدّ ما توصّلتُ إليه حالة خاصّة من قانون غاوس، وباستعمال حساب التفاضل والتكامل يُمكنني تعميم هذه النتيجة لتشمل أيّ سطح مغلق؛ سواء أكان منتظمًا أم غير منتظم، وأيّة شحنة كهربائيّة داخله؛ سواء أكانت نقطية أم مجموعة من الشحنات المتصلة والموزعة داخل السطح. وبهذا أكون قد توصّلتُ إلى الصورة العامة لقانون غاوس، وهي: إنّ التدفّق الكهربائيّ عبر أيّ سطح مغلق يساوي المجموع الجبري للشحنات الكهربائيّة داخل السطح؛ مقسومًا على السماحيّة الكهربائيّة للوسط المحيط بالشحنة .

✓ **أتحقّق:** أكتب نص قانون غاوس.

إضاءة للمُعلِّم / للمعلِّمة

الشحنة (Q) في قانون غاوس، هي الشحنة الكليّة الموجودة داخل سطح غاوس الافتراضي فقط ولا تشمل الشحنة الموجودة خارجه، في حين أن المجال الكهربائي (E) هو المجال المحصّل الناشئ عن الشحنات الموجودة داخل السطح وتلك الموجودة خارجه، إلا أن التدفق الكهربائي الناشئ عن الشحنات الموجودة خارج سطح غاوس يساوي صفرًا؛ لأن خطوط المجال الناشئة عن هذه الشحنات تدخل السطح من جهة وتغادره من الجهة الأخرى؛ لذا يكون التدفق الكهربائي الكلّي (ϕ) عبر سطح غاوس ناشئًا فقط عن الشحنات الموجودة داخله.

المجال الكهربائيّ لكرة موصلة مشحونة

Electric Field of a Charged Conducting Sphere

عند شحن الأجسام الموصلة للكهرباء بشحنة كهربائيّة؛ فإنّ الشحنات تتباعد عن بعضها بسبب تنافرها، فتتوزّع على السطح الخارجي للجسم الموصل. عندما يكون الموصل كرة نصف قطرها (R) ومساحة سطحها الخارجي $(4\pi R^2)$، وعند شحنها بشحنة كهربائيّة (Q)؛ فإنّ الشحنة تتوزّع على المساحة بانتظام.

تُعرّف **الكثافة السطحية للشحنة** **Surface Charge Density (σ)** بأنّها ناتج قسمة الشحنة الكلّية للجسم على مساحة سطحه. وهي بالنسبة للكرة تُعطى بالعلاقة الآتية:

$$\sigma = \frac{Q}{4\pi R^2}$$

لمعرفة المجال الكهربائيّ خارج الكرة الموصلة المشحونة، وعلى مسافة $(r > R)$ من مركز الكرة، أُطبّق قانون غاوس:

$$\phi = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

أفترضُ سطح غاوس وهميًّا يُحيط بالكرة الموصلة، كما في الشكل (24)، مساحته (A). بتعويض قيمتَي الشحنة والتدفّق في قانون غاوس:

$$\phi = EA,\ Q = \sigma(4\pi R^2)$$

أحصل على العلاقة الآتية:

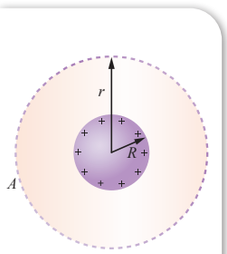
$$E(4\pi r^2) = \frac{\sigma(4\pi R^2)}{\varepsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \cdot \frac{R^2}{r^2}$$

لحساب المجال الكهربائيّ بالقرب من سطح الكرة الموصلة (خارج الكرة وعلى مسافة قريبة جدًّا من سطحها)، أفترضُ سطح غاوس وهميًّا يُحيط بالكرة الموصلة بشكل قريب جدًّا منها؛ أي إنّ نصف قطره يساوي نصف قطرها تقريبًا؛ $(r \cong R)$. أجد أنّ:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R^2}$$

وبصورة عامّة؛ فإنّ المجال الكهربائيّ خارج الكرة الموصلة المشحونة وعلى مسافة (r) من مركزها يُعطى بالعلاقة:



الشكل (24): موصل كروي مشحون.

◄ التعزيز:

أنبّه الطلبة إلى أن التدفق الكهربائي عبر سطح غاوس لا يعتمد مطلقًا على مساحة سطح غاوس ولا على شكله؛ بمعنى أنه لو كان طول نصف قطر سطح غاوس المحيط بالشحنة (Q) أكبر أو أصغر من (r)، أو أن سطح غاوس الافتراضي لم يكن سطحًا كرويًّا، وسواء أكان منتظمًا أو غير منتظم، فإن التدفق الكهربائي عبره يساوي: $\frac{Q}{\varepsilon_0}$.

أخطاء شائعة

يخلط بعض الطلبة بين العوامل التي يعتمد عليها التدفق الكهربائي الذي يعبر سطحًا مفتوحًا (غير مغلق) مساحته (A)، وبين العوامل التي يعتمد عليها التدفق الذي يعبر سطحًا مغلقًا يحيط بالشحنة المولدة للمجال الكهربائي (كسطح غاوس)؛ لذا أبيّن لهم أن الأول يعتمد على كلٍّ من (A,E,θ)، في حين يعتمد الثاني على الشحنة (Q) المحتواة داخل سطح غاوس وعلى سماحية الوسط (ε_0).

◄ المناقشة:

- أذكّر الطلبة بأن الشحنات الكهربائية المتشابهة تتنافر، ثمّ أوجّه لهم الأسئلة الآتية:

– كيف تتوزع الشحنات الكهربائية على موصل عند شحنه بشحنة كهربائية؟ برّر/ برّري إجابتك.

تتوزع على السطح الخارجي؛ لأنها تتباعد عن بعضها بسبب تنافرها بعضها مع بعض. وإذا كان الموصل كرويًّا فإنها تتوزع على سطحه بانتظام.

– ما المقصود بالكثافة السطحية للشحنة؟

الشحنة الموجودة في وحدة المساحة، وهي تساوي ناتج قسمة الشحنة الكلية الموزعة على سطح الموصل على مساحة السطح.

– ما العوامل التي تعتمد عليها الكثافة السطحية للشحنة للموصل الكروي؟

مقدار الشحنة الموزعة على سطحه، وطول نصف قطره.

◄ استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (24)، ثم أسألهم:

– كيف نحسب المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة الكرة عند نقطة تقع خارجها؟

بافتراض سطح غاوس وهميّ يحيط بالكرة، ثم التطبيق على قانون غاوس: $\phi = EA = \frac{Q}{\varepsilon_0}$، والتعويض بقيم كلٍ من (A, Q).

– على ماذا يعتمد المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة الكرة عند نقطة تقع خارجها؟

شحنة الكرة، وبعد النقطة عن مركز الكرة (طول نصف قطر سطح غاوس)، والسماحية الكهربائية للوسط.

– هل يختلف المجال الناشئ عن الشحنة النقطية عن المجال الناشئ عن الكرة المشحونة بشحنة مماثلة للشحنة النقطية عند نقطة خارج الكرة؟

لا، فكلاهما يعطي النتيجة نفسها، إذا كانت النقطة تبعد عن الشحنة النقطية المسافة نفسها عن مركز الكرة المشحونة.

- أوضّح للطلبة أن المجال الكهربائي الناشئ عن الكرة المشحونة خارجها (من نقطة قريبة جدًّا من سطح الموصل حتى اللانهاية) يماثل تمامًا المجال الناشئ عن الشحنة النقطية، وهذا يدل على أن شحنة الكرة كما لو كانت مركّزة في مركزها.

مثال إضافي

كرة فلزية معزولة طول نصف قطرها (0.3 m) موضوعة في الهواء، ومشحونة بشحنة كهربائية مقدارها (2 μC)، أحسب كلًّا من:

أ . الكثافة السطحية للشحنة.

ب. المجال الكهربائي عند نقطة (*a*) خارج سطح الكرة وقريبة جدًّا منه.

جـ. المجال الكهربائي عند نقطة (*b*) على بعد (0.6 m) من مركز الكرة.

الحل:

أ .
$$\sigma = \frac{Q}{4\pi R^2} = \frac{2\times10^{-6}}{4 \times 3.14 \times 0.3^2}$$
$$= 1.77 \times 10^{-6}\ \text{C/m}^2$$

ب.
$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ}\frac{Q}{R^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6}}{0.3^2}$$
$$= 2 \times 10^5\ \text{N/C}$$

أو:
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_\circ} = \frac{1.77 \times 10^{-6}}{8.85 \times 10^{-12}} = 2 \times 10^5\ \text{N/C}$$

جـ.
$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ}\frac{Q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6}}{0.6^2}$$
$$= 5 \times 10^4\ \text{N/C}$$

تمرين

التدفق الكهربائي خلال سطح مغلق يساوي ناتج قسمة المجموع الجبري للشحنات المحتواة على السماحية الكهربائية للهواء، حسب قانون غاوس.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$
$$= -2 \times 10^{-6} + 4 \times 10^{-6} + 6 \times 10^{-6}$$
$$= 8 \times 10^{-6}\ \text{C}$$
$$\phi = \frac{Q}{\varepsilon_\circ} = \frac{8 \times 10^{-6}}{8.85 \times 10^{-12}}$$
$$= 9 \times 10^5\ \text{N.m}^2/\text{C}$$

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

أستنتجُ أنّ المجال الكهربائيّ في نقطة تقع خارج الكرة وقريبة جدًّا من سطحها يُعطى بدلالة الكثافة السطحية للشحنة والسماحيّة الكهربائيّة للفراغ فقط، وأنّ النتيجة في الحالة العامة خارج الكرة تتّفق مع قانون كولوم، أي إنّ المجال الكهربائيّ خارج الكرة المشحونة يُماثل مجال الشحنة النقطيّة.

✓ **أتحقّق:** لماذا تتوزّع الشحنات على السطح الخارجي للموصل المشحون، ولا تستقر في الداخل؟

المثال 11

كرة فلزّية معزولة نصف قطرها (0.2 m) موضوعة في الهواء، مشحونة بشحنة كهربائيّة موجبة موزّعة على سطحها بانتظام بكثافة سطحية ($3.1 \times 10^{-7}\ \text{C/m}^2$). باستعمال قانون غاوس أحسبُ كلًّا من:

أ. المجال الكهربائيّ عند نقطة (a) على بعد (0.5 m) من مركز الكرة الفلزّية.

ب. المجال الكهربائيّ عند نقطة (b) خارج سطح الكرة الفلزية وقريبة جدًّا منه.

المعطيات: $\sigma = 3.1 \times 10^{-7}\ \text{C/m}^2,\ \varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ \text{C}^2/\text{Nm}^2,\ R = 0.2\ \text{m},\ r = 0.5\ \text{m}$

المطلوب: $E_a = ?,\ E_b = ?$

الحلّ:

(أ)
$$E_a = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \cdot \frac{R^2}{r^2}$$
$$E_a = \frac{3.1 \times 10^{-7}}{8.85 \times 10^{-12}} \times \frac{0.2^2}{0.5^2} = 3.5 \times 10^4 \times 0.16$$
$$E_a = 5.6 \times 10^3\ \text{N/C}$$

(ب)
$$E_b = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{3.1 \times 10^{-7}}{8.85 \times 10^{-12}} = 3.5 \times 10^4\ \text{N/C}$$

تمرين

أحسبُ التدفّق الكهربائيّ خلال سطح كروي مغلق يحتوي في داخله على (3) شحنات كهربائيّة، هي:

$$Q_1 = -2 \times 10^{-6}\ \text{C},\ Q_2 = 4 \times 10^{-6}\ \text{C},\ Q_3 = 6 \times 10^{-6}\ \text{C}$$

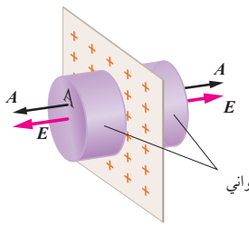
✓ **أتحقّق:** عند شحن الأجسام الموصلة للكهرباء بشحنة كهربائية؛ فإنّ الشحنات تتباعد عن بعضها بسبب تنافرها، فتتوزّع على السطح الخارجي للجسم الموصل.

معلومة إضافية

بما أن الشحنات الكهربائية تتوزع على السطح الخارجي للموصل، فإن الشحنة تنعدم داخله (على فرض أن الموصل مصمت)، وإذا أردنا حساب المجال الكهربائي عند نقطة داخل الموصل المشحون، نفرض سطح غاوس وهميًّا يمر بالنقطة، ثمّ نطبق قانون غاوس:

$$\phi = EA = \frac{Q}{\varepsilon_\circ}$$

وبما أن الشحنة داخل سطح غاوس ($Q = 0$)، فإن المجال الكهربائي يساوي صفرًا، وهذا يعني أن المجال الكهربائي ينعدم داخل الموصلات المصمتة المشحونة.



الشكل (25): قشرة مستوية مشحونة.

المجال الكهربائيّ لشحنة موزّعة على قشرة مستوية لا نهائية

Electric Field of an Infinite Plane Sheet of Charge

لمعرفة المجال الكهربائيّ الناتج عن قشرة مستوية لا نهائية الطول والعرض، تتوزّع عليها شحنة كهربائيّة بكثافة سطحية منتظمة (σ) باستعمال قانون غاوس؛ أختار في البداية جزءًا من القشرة المشحونة مساحته (A)، ثم أفترضُ أنّ سطح غاوس الذي يُحيط بهذا الجزء على شكل أسطوانة مثلًا، كما في الشكل (25).

مساحة كلّ من قاعدتَي الأسطوانة (A)، أمّا سطحها الجانبي فلا تخترقه خطوط المجال الكهربائيّ كونها موازية للسطح الجانبي، ولا ينشأ خلاله تدفّق. وبذلك يكون التدفّق خلال قاعدتيّ الأسطوانة فقط وبصورة عمودية عليهما. وبما أنّ المجال الكهربائيّ ينفذ من قاعدتيّ الأسطوانة (A_1, A_2)؛ فإنّ التدفق الكلّي يُعطى بالعلاقة:

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 = EA_1 + EA_2 = E(2A)$$

لأنّ مساحتَي وجهَي الأسطوانة متساويتان ($A = A_1 = A_2$).

بما أنّ الشحنة الكلّية المحتواة داخل سطح غاوس هي ($Q = \sigma A$)، والمجال الكهربائيّ ينفذ من جهتَي القشرة، فإنّه بتطبيق قانون غاوس:

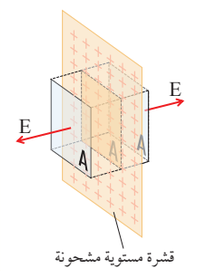
$$\phi = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

$$E(2A) = \frac{\sigma A}{\varepsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

تُعطي العلاقة السابقة المجال الكهربائيّ الناتج عن القشرة المشحونة.

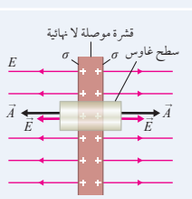
أفكّر: هل يُمكنني التوصّل إلى حساب المجال الكهربائيّ الناتج عن قشرة مشحونة لانهائية الأبعاد؛ بافتراض سطح غاوس الوهمي، على شكل مكعّب مساحة وجهه (A)، كما في الشكل. أُوضّح إجابتي.



إضاءة للمُعلِّم / للمعلِّمة

المجال الكهربائي بالقرب من الموصل المشحون يساوي $\frac{\sigma}{\varepsilon_\circ}$ بصرف النظر عن شكل الموصل، على أن تكون الشحنة موزعة على سطحه توزيعًا منتظمًا، وللصفيحة المستوية الموصلة، فإن الشحنات الكهربائية تتوزع على كلا سطحيها، كما في الشكل؛ لذا تكون الشحنة الكلية داخل سطح غاوس ($2\sigma A$)، وبتطبيق قانون غاوس على الصفيحة:

$$\phi = 2EA = 2\sigma A/\varepsilon_\circ \rightarrow E = \frac{2\sigma A}{\varepsilon_\circ}$$



أو يمكن أخذ سطح غاوس لجهة واحدة من الصفيحة، فيكون التدفق الكهربائي عبر سطح غاوس مساويًا (EA)؛ لأن المجال الكهربائي داخل الموصل يساوي صفرًا، والشحنة الكلية داخل سطح غاوس تساوي (σA)، أي أن:

$$\phi = EA = \frac{\sigma A}{\varepsilon_\circ} \rightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon_\circ}$$

وهذه النتيجة تتشابه مع المجال الناشئ عن كرة موصلة مشحونة؛ بالقرب من سطحها.

استخدام الصور والأشكال:

- أوجه الطلبة إلى دراسة الشكل (25)، ثم أسألهم:
  - كيف تتوزع الشحنة على القشرة المستوية اللانهائية؟ تتوزع على سطحها بانتظام؛ وذلك بسبب قوى التنافر الكهربائية بين الشحنات فتتباعد عن بعضها. في حالة القشرة فإن الشحنة نفسها تظهر من الجهتين، أمّا في الموصل الرقيق فتتوزع شحنة على أحد سطحيه، وشحنة مماثلة على السطح المقابل.
  - ما شكل خطوط المجال الكهربائي الناشئة عن القشرة المشحونة؟ خطوط مستقيمة ومتوازية وعلى أبعاد متساوية من بعضها.
  - كيف نحسب المجال الكهربائي الناشئ عن القشرة المستوية؟ نختار في البداية جزءًا من القشرة المشحونة مساحته (A)، ثم نفترض أنّ سطح غاوس الذي يحيط بهذا الجزء على شكل أسطوانة مثلًا.
- أوضح للطلبة كيف نرسم سطح غاوس بحيث يحيط بالمساحة (A)، وأن (A) هي أي جزء يمكن اختياره من القشرة، ثمّ أسألهم:
  - أيّ أوجه الأسطوانة تخترقه خطوط المجال الكهربائي؟ قاعدتا الأسطوانة فقط؛ لأن خطوط المجال تكون موازية للسطح الجانبي للأسطوانة فلا تخترقه.
  - ما العوامل التي يعتمد عليها المجال الكهربائي الناشئ عن قشرة مستوية لا نهائية؟ الكثافة السطحية للشحنة، والسماحية الكهربائية للوسط.
  - أستمع لإجابات الطلبة ثم أناقشهم فيها للتوصل إلى الإجابة الصحيحة.

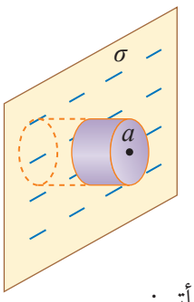
أفكّر: للمكعب ستة أوجه، مساحة كل منها (A)، وخطوط المجال الناتجة من جزء من القشرة مساحته (A) تنفذ عموديًّا من وجهين فقط، في حين تكون خطوط المجال موازية لمتجه المساحة في أوجه المكعب الأربعة المتبقية، وبذلك يكون تطبيق قانون غاوس كما هو الحال في الأسطوانة.

✓ **أتحقّق:**

الزاوية بين متجه المجال الكهربائي ومتجه المساحة لكل من قاعدتي الأسطوانة تساوي صفر درجة، والزاوية بين متجهي المجال والمساحة للسطح الجانبي للأسطوانة تساوي (90°).

مثال إضافي

في الشكل قشرة لا نهائية مشحونة بشحنة سالبة، إذا علمت أن المجال الكهربائي عند النقطة (a) والناشئ عن القشرة يساوي: (2×10^5 N/C) فأجيب عمّا يأتي:



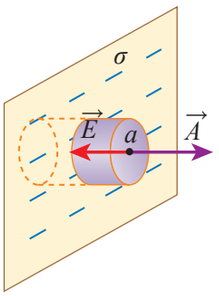
أ . أحدد اتجاه المجال الكهربائي عند النقطة (a).

ب. أحسب الكثافة السطحية للشحنة (σ).

الحل:

أ . اتجاه E باتجاه ($-x$).

ب .



$$\sigma = 2\varepsilon_\circ E$$
$$= 2 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 2 \times 10^5$$
$$= 3.54 \times 10^{-6} \text{ C/m}^2$$

التعزيز:

يطبق قانون غاوس في حال كانت الشحنات موزعة توزيعًا منتظمًا؛ لذا لا يستخدم القانون لحساب المجال الكهربائي الناشئ عن عدد من الشحنات النقطية (شحنتين فأكثر) إلا أن يطبق على كل شحنة على حدة، ثمّ تحسب محصلة المجالات. كما لا يستخدم لحساب المجال الناشئ عن الأجسام الموصلة المشحونة التي لا تتوزع عليها الشحنات بشكل غير منتظم، مثل المكعب، والصفيحة محدّدة الطول والعرض، والقرص الدائري،...، وما شابه ذلك.

✓ **أتحقّق:** ما مقدار الزاوية بين متّجهيّ المجال والمساحة، لكلّ من قاعدتَي الأسطوانة وسطحها الجانبي، في الشكل (25)؟

المثال 12

قشرة رقيقة مشحونة بشحنة كهربائيّة سالبة موزّعة عليها بانتظام بكثافة سطحية (8×10^{-7} C/m^2). إذا كانت أبعاد القشرة كبيرة، فأجد المجال عند نقطة قريبة جدًّا من منتصف القشرة.

المعطيات:

$$\sigma = 8 \times 10^{-7} \text{ C/m}^2, \varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$

المطلوب:

$$E = ?$$

الحلّ:

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = \frac{8 \times 10^{-7}}{2 \times 8.85 \times 10^{-12}}$$

$$E = 4.52 \times 10^4 \text{ N/C}$$

معلومة إضافية

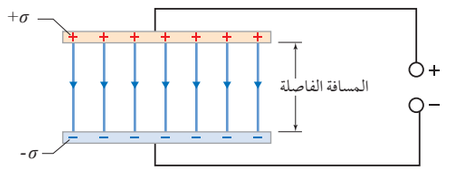
إذا كانت القشرة المستوية محدودة الطول والعرض، فإن المجال الكهربائي بالقرب منها لا يساوي ($\frac{\sigma}{2\varepsilon_\circ}$)؛ لأن توزيع الشحنات لا يكون منتظمًا على سطح القشرة (توزيع الشحنات عند الحواف يختلف عنه عند وسط القشرة)، فلا يكون المجال الكهربائي الناشئ عن القشرة منتظمًا، ومن ثم لا تكون خطوط المجال جميعها متعامدة مع قاعدتي الأسطوانة الممثلة لسطح غاوس.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

❋ **التفكير: التأمل والتساؤل**

أخبر الطلبة أن التأمل في النصوص والأشكال يثير التفكير، ويفضي إلى تساؤلات عدة توصل غالبًا إلى حلول جيدة، وطرح أفكار بناءة، مثل التأمل في شكل الموصل، وكيفية توزيع الشحنات عليه، والتوصل إلى شكل سطح غاوس المناسب له.

($\frac{\sigma}{2\varepsilon^\circ}$)



الشكل (26): المجال الكهربائيّ المنتظم.

المجال الكهربائيّ المنتظم Uniform Electric Field

عندما يكون المجال الكهربائيّ ثابتًا في مقداره واتّجاهه عند نقاطه جميعها؛ فإنّه يُسمّى **مجالًا كهربائيًّا منتظمًا Uniform Electric Field**، ويُمكنني الحصول عليه بوضع صفيحتين موصلتين متوازيتين ومتقابلتين، وتفصل بينهما مسافة قصيرة مقارنة بأبعادهما، وشحنهما بشحنتين مختلفتين في نوعيهما متساويتين في مقداريهما. وعند وضع شحنة بين هاتين الصفيحتين؛ فإنّ المجال المنتظم يؤثّر فيها بقوة ثابتة المقدار والاتّجاه مهما كان موقعها داخل المجال.

عند تمثيل المجال الكهربائيّ المنتظم عن طريق رسم خطوط المجال الكهربائيّ؛ فإنّها تكون متوازية والمسافات بينها متساوية وجميعها باتّجاه واحد، كما يُبيّن الشكل (26)، باستثناء المجال قرب حوافّ الصفيحتين؛ فإنّ الخطوط تكون منحنية قليلًا والمجال غير منتظم.

لحساب مقدار المجال الكهربائيّ المنتظم؛ أُطبّق قانون غاوس على كلا الصفيحتين كأنّها قشرة رقيقة مشحونة، فيكون المجال الناتج عن القشرة الموجبة E_1، والمجال الناتج عن القشرة السالبة E_2. ويكون المجال المحصّل في المنطقة الواقعة بين الصفيحتين مساويًا لناتج جمع المجالين، لأنّهما بالاتّجاه نفسه:

$$E = E_1 + E_2 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} + \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

✓ **أتحقّق:** أُوضّح المقصود بالمجال الكهربائيّ المنتظم، وأصف القوّة التي يؤثّر بها في جسيم مشحون داخله.

مستعينًا بمصادر المعرفة الموثوقة والمُتاحة ومنها شبكة الإنترنت، أبحثُ عن تطبيقات تكنولوجيّة مختلفة للمجال الكهربائيّ المنتظم، مثل الشاشات وأجهزة التصوير الطبية والمسارعات النووية، وأعد وأفراد مجموعتي تقريرًا مدعّمًا بالصور والرسومات التوضيحية لطريقة العمل.

83

✓ **أتحقَّق:**

هو المجال الكهربائي الذي يكون ثابتًا في مقداره واتّجاهه عند نقاطه جميعها. ويؤثر في الأجسام المشحونة الموجودة داخله بقوة ثابتة المقدار والاتجاه ويكسبها تسارعًا ثابتًا.

◄ المناقشة:

- أذكّر الطلبة، باستخدام الرسم، أن المجال الكهربائي الناشئ عن الشحنات النقطية يكون غير منتظم، أي أن المجال يختلف في المقدار أو الاتجاه أو كليهما معًا عند النقاط الواقعة في مجال هذه الشحنات. ثمّ أوجّه لهم الأسئلة الآتية:

– ما المقصود بالمجال الكهربائي المنتظم؟

هو المجال المتساوي في المقدار والاتجاه عند نقاطه كافة.

– كيف يمكن الحصول على مجال كهربائي منتظم؟

بوضع صفيحتين موصلتين متوازيتين ومتقابلتين، وتفصل بينهما مسافة قصيرة مقارنة بأبعادهما، وشحنهما بشحنتين مختلفتين في نوعيهما متساويتين في مقداريهما.

◄ استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (26)، ثم أسألهم:

– ما شكل خطوط المجال الكهربائي بين الصفيحتين؟

خطوط مستقيمة متوازية والمسافات بينها متساوية وجميعها باتّجاه واحد.

– ماذا يحدث لبروتون وإلكترون إذا وضعا ساكنين بين الصفيحتين؟

يتحركان بتأثير قوة المجال، بحيث يتجه البروتون إلى الأسفل، والإلكترون إلى الأعلى.

– صِف/ صِفي ما يحدث لبروتونين وضعا ساكنين في مكانين مختلفين بين الصفيحتين.

يتأثران بقوتين متساويتين في المقدار والاتجاه ويتسارعان إلى الأسفل بالمقدار نفسه.

أبحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع مرئية (فيديوهات) تعليمية، أو عروض تقديمية عن تطبيقات تكنولوجية للمجال الكهربائي، خاصة في أجهزة التصوير الطبية والمسارعات النووية وصناعة الشاشات. وأُعِدّ تقريرًا بذلك، ثمّ أشارك الطلبة هذه المواد عن طريق صفحة المدرسة الإلكترونية، أو استخدام أحد التطبيقات المناسبة.

التجربة 2

تخطيط المجال الكهربائيّ المنتظم بطريقة عملية

الهدف: استعمال البذور في تكوين خطوط المجال الكهربائيّ المنتظم.

زمن التنفيذ: 15 دقيقة.

إرشادات السلامة: أوجه الطلبة إلى ارتداء المعطف، واستخدام النظارات الواقية للعينين، وأطلب إليهم توخي الحذر عند استعمال مولّد فان دي غراف، وعدم لمس التوصيلات الكهربائيّة ومصدر الجهد.

المهارات العلمية:

الملاحظة، والوصف، والمقارنة، والاستنتاج، والرسم، وتحليل البيانات وتفسيرها، وإصدار الأحكام، والتواصل.

الإجراءات والتوجيهات:

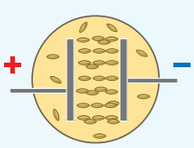
- أوجّه الطلبة إلى الاستعانة بكتاب الأنشطة والتجارب العملية عند إجراء التجربة، وأنبّههم إلى ما يأتي:
  - التعامل مع الزيت بحذر؛ تجنبًا لانسكابه على الأرض.
  - عدم تشغيل مصدر القدرة أو مولد فان دي غراف إلا بإشراف مباشر من المعلم/ المعلمة.
  - ضرورة إطفاء مصدر القدرة أو مولد فان دي غراف مباشرة بعد إنهاء كل مرحلة من مراحل التجربة.

النتائج المتوقعة:

قد يلاحظ بعض الطلبة النتائج كما هو متوقع، فيشاهدون اصطفاف البذور بترتيب يشبه خطوط المجال الكهربائي المنتظم، وقد يشاهد البعض الاصطفاف مع تشوهات بسيطة، وقد لا يحدث ذلك، وخاصة إذا استخدم مولد فان دي غراف دون التأكد من فاعليته وقدرته على توليد فرق الجهد المطلوب، أو إذا استخدم زيت عالي اللزوجة نسبيًّا.

التحليل والاستنتاج:

1. جزيئات الماء مستقطبة وسوف تكون موصلة للكهرباء عندما يكون الجهد كبيرًا، وهذا سيحدث تفريغًا للمجال.



2. في حالة القطبين المتوازيين سوف تترتب البذور في خطوط متوازية، ممثلة مجالًا كهربائيًّا منتظمًا.
3. نتيجة تعرض البذور للمجال الكهربائي يحدث استقطاب لها، فيصبح لكل بذرة طرف موجب وآخر سالب.

استراتيجية التقويم: الملاحظة.

أداة التقويم: قائمة شطب.

الرقم	مؤشر الأداء	التقدير	
		نعم	لا
1	التعاون مع أفراد المجموعة في تنفيذ خطوات التجربة.		
2	وضع الطبق الزجاجي بشكل أفقي، ووضع كمية مناسبة من الزيت فيه.		
3	نثر كمية من بذور الأعشاب فوق الزيت وتحريكها بقضيب زجاجي.		
4	تثبيت القطبين الكهربائيين في العازل وغمس طرفيهما في الزيت، ثم وصلهما بمصدر الطاقة الكهربائيّة.		
5	ضبط مصدر الطاقة وتشغيله بإشراف المعلم/ المعلمة. وملاحظة ما يحدث للبذور.		
6	تسجيل الملاحظات الخاصة بنتائج التجربة.		
7	الإجابة عن أسئلة التحليل والاستنتاج بدقة.		

المثال 13

صفيحتان فلزّيتان مشحونتان بشحنتين كهربائيتين إحداهما موجبة والأُخرى سالبة، موزّعة عليهما بانتظام بكثافة سطحية ($3.54 \times 10^{-7}\ C/m^2$)، إذا كانت أبعاد الصفيحتين كبيرة؛ فأجد المجال عند نقطة بين الصفيحتين.

المعطيات: $\sigma = 3.54 \times 10^{-7}\ C/m^2$, $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ C^2/Nm^2$

المطلوب: $E = ?$

الحلّ:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{3.54 \times 10^{-7}}{8.85 \times 10^{-12}} = 4 \times 10^4\ N/C$$

التجربة 2

تخطيط المجال الكهربائيّ المنتظم بطريقة عملية

المواد والأدوات: مصدر كهربائيّ عالي القدرة (0–3 kV) أو مولّد فان دي غراف، طبق بتري زجاجي، قطبان كهربائيان من الألمنيوم، قِطَع بلاستيكية عازلة لتثبيت القطبين، زيت الخروع أو أيّ زيت نباتيّ قليل اللزوجة، بذور أعشاب صغيرة الحجم (مثل بذور البقدونس).

إرشادات السلامة: الحذر عند استعمال مولّد فان دي غراف، وعدم لمس التوصيلات الكهربائيّة ومصدر الجهد.

تحذير: جهد كهربائيّ عالٍ جدًّا يُسبّب صعقة كهربائيّة.

خطوات العمل:

بالتعاون مع أفراد مجموعتي، أنفّذ الخطوات الآتية:

1. أضع كمّيةً من الزيت في الطبق الزجاجيّ حتى ارتفاع (0.5 cm) تقريبًا، ثمّ أنثرُ فوقها كمّيةً قليلةً من بذور الأعشاب، وأحرّك الزيت بقضيب زجاجي رفيع كي تنتشر جيدًا فوق الزيت.
2. أُثبّت القطبين الكهربائيين في العازل بحيث ينغمس طرفاهما في الزيت كما في الشكل، ثم أوصلهما بمصدر الطاقة الكهربائيّة أو بمولّد فان دي غراف (عند استعماله بدلًا عن مصدر الطاقة عالي الجهد).
3. بمساعدة معلمي/ معلمتي؛ أضبطُ مصدر الطاقة على جهد يقع بين (2,000 - 3,000 volts)، أو أشغّل مولّد فان دي غراف (عند استعماله بدلًا عن مصدر الطاقة عالي الجهد).

4. **ألاحظ** اصطفاف البذور بترتيب يُشبه خطوط المجال الكهربائيّ المنتظم.
5. بمساعدة معلمي/ معلمتي؛ أُطفئ مصدر الطاقة، أو أوقف مولّد فان دي غراف وأُفرّغ شحنته، ثمّ أُغيّر المسافة بين القطبين داخل الزيت، وأُكرّر خطوات التجربة.

التحليل والاستنتاج:

1. **أفسّر** سبب استعمال زيت نباتي، وعدم استعمال الماء في الطبق الزجاجي.
2. **أرسمُ**: أصف شكل البذور عند توصيل الجهد، ثم أرسمُ الشكل الناتج وأكتبُ عليه ملاحظاتي.
3. **أفسّر** سبب تأثّر بذور الأعشاب بقوى كهربائيّة؛ على الرغم من عدم شحنها قبل التجربة.

ملحوظة: عند تعذّر تنفيذ التجربة؛ يُمكنني الرجوع إلى مواقع الإنترنت الموثوقة لمشاهدة عرض فيديو للتجربة.

حركة جسيم مشحون في مجال كهربائيّ منتظم
Motion of a Charged Particle in a Uniform Electric Field

أفترض وجود أيون موجب يحمل شحنة $(+q)$ في مجال كهربائيّ منتظم، تتّجه خطوطه رأسيًّا نحو الأعلى كما في الشكل (27). إنّ هذا الأيون سيتأثّر بقوّة كهربائيّة (F) يكون اتّجاهها باتّجاه المجال (نحو الأعلى)، ويُعطى مقدار هذه القوّة بالعلاقة الرياضية الآتية:

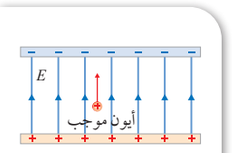
$$E = \frac{F}{q}$$

يُمكنني وصف حركة الجسيمات المشحونة داخل مجال كهربائيّ منتظم ضمن (3) حالات:

الحالة الأولى: عندما يكون الجُسيم ساكنًا؛ فإنّه يتحرّك باتّجاه المجال إن كان موجب الشحنة، وعكس اتّجاه المجال إن كان سالب الشحنة، تحت تأثير القوّة الكهربائيّة للمجال. وبمعرفة كلّ من القوّة الكهربائيّة وكتلة الجُسيم المشحون يُمكنني حساب تسارعه، الذي يكون تسارعًا ثابتًا يُعطى بالقانون الثاني لنيوتن، كما يأتي:

$$a = \frac{F}{m}$$

✓ **أتحقّق:** أصف حركة جُسيم مشحون بشحنة سالبة عند وجوده في وضع السكون داخل مجال كهربائيّ منتظم.



الشكل (27): أيون موجب في مجال كهربائيّ منتظم.

المثال 14

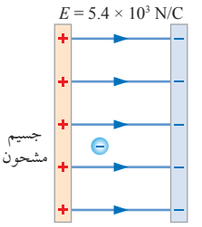
جُسيم كتلته (200 mg) يحمل شحنة مقدارها (-4×10^{-6} C)، وُضِع في حالة سكون داخل مجال كهربائيّ منتظم، كما في الشكل (28). بإهمال قوّة الجاذبية الأرضية بالنسبة إلى القوّة الكهربائيّة، أحسبُ التسارع الذي يكتسبه الجُسيم.

المعطيات: $E = 5.4 \times 10^3$ N/C, $q = -4 \times 10^{-6}$ C, $m = 2 \times 10^{-4}$ kg

المطلوب: $a = ?$

الحلّ:

$$F = Eq = 5.4 \times 10^3 \times 4 \times 10^{-6}$$
$$F = 2.16 \times 10^{-2} \text{ N}$$



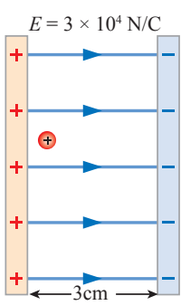
الشكل (28): جسيم مشحون في مجال كهربائيّ منتظم.

✓ **أتحقّق:** يؤثر المجال الكهربائي في الجسم الساكن داخله والمشحون بشحنة كهربائية سالبة بقوة كهربائية ثابتة بعكس اتجاه المجال، فيكتسب تسارعًا ثابتًا باتجاه معاكس للمجال.

مثال إضافي

جسيم كتلته (0.1 g) يحمل شحنة مقدارها (50 μC)، وضع في حالة سكون داخل مجال كهربائيّ منتظم، وبالقرب من الصفيحة الموجبة كما في الشكل.

بإهمال قوّة الجاذبية الأرضية بالنسبة إلى القوّة الكهربائيّة، أحسب الزمن الذي يستغرقه الجسيم للوصول إلى الصفيحة السالبة.



الحل:

نحسب أولًا التسارع الذي يكتسبه الجسيم بفعل القوة الكهربائية:

$$F = qE = 50 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^4 = 1.5 \text{ N}$$

وحسب القانون الثاني لنيوتن فإن: $F = ma$، ومنها

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1.5}{1 \times 10^{-4}} = 1.5 \times 10^4 \text{ m/s}^2$$

بما أن الشحنة موجبة، فإن اتجاه كل من القوة الكهربائية والتسارع يكون باتجاه محور $(+x)$.

وبالتطبيق على المعادلة الثانية في الحركة:

$$d = v_1 t + \frac{1}{2} a t^2 \, , \; v_1 = 0$$

$$3 \times 10^{-2} = \frac{1}{2} \times 1.5 \times 10^4 \times t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{6 \times 10^{-2}}{1.5 \times 10^4}} = 2 \times 10^{-3} \text{s}$$

طريقة أُخرى للتدريس — تخطيط المجال الكهربائي المنتظم

- في حال تعذر تنفيذ التجربة، ولمساعدة الطلبة ذوي المستويات المختلفة على فهم آلية تشكل خطوط المجال الكهربائي، يمكن الرجوع إلى مواقع الانترنت الموثوقة لمشاهدة عرض فيديو للتجربة، أو برمجية تعرض التجربة بطريقة المحاكاة، تمكن الطلبة من اختيار فرق الجهد ونوع الشحنة على كل من القطبين.
- أوزع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة، ليساعد بعضهم بعضًا في عملية التعلم، ثم أوزّع الأدوار بين أفراد كل مجموعة، وأزوّد كلًّا منها بجهاز حاسوب.
- أطلب إلى كل مجموعة أن تعرض ما توصلت إليه أمام المجموعات الأخرى، ثمّ أدير جلسة نقاشية للتوصل إلى النتائج المرجوة.

استخدام الصور والأشكال:

- أوجه الطلبة إلى تأمل الشكل (27)، ثم أسألهم:
  - صِف/ صِفي ما يحدث للأيون الموجب عند وضعه ساكنًا في المجال الكهربائي. تؤثر فيه قوة المجال، فيتحرك بتسارع ثابت إلى الأعلى، باتجاه المجال الكهربائي.
  - صِف/ صِفي ما يحدث لو وضعنا بدل الأيون الموجب أيونًا سالبًا. تؤثر فيه قوة المجال، فيتحرك بتسارع ثابت إلى الأسفل، باتجاه معاكس لاتجاه المجال الكهربائي.
- أنبّه الطلبة إلى أن الوصف السابق للتسارع الذي يكتسبه الأيون يكون صحيحًا بوجه عام بإهمال قوة الجاذبية الأرضية.

نشاط سريع

- أذكّر الطلبة أن تسارع الجاذبية الأرضية لا يعتمد على كتلة الجسم المتحرك في مجال الجاذبية الأرضية، وأن قيمة هذا التسارع بالقرب من سطح الأرض تساوي ($9.81\ m/s^2$) تقريبًا، ثمّ مقارنة هذه القيمة بتسارع الأيون في المجال الكهربائي.
- أطلب إلى مجموعة من الطلبة حساب الإزاحة الرأسية التي يقطعها الأيون في المثال السابق ومقارنتها بالإزاحة الأفقية (3 cm)، ثمّ أوضح للطلبة سبب إهمال قوة الجاذبية الأرضية نسبة للقوة الكهربائية.

تسارع السقوط الحر باتجاه ($-y$) يساوي ($10\ m/s^2$)

وبالتطبيق على المعادلة الثانية في الحركة:

$$y = v_1 t + \frac{1}{2} a t^2 \ , \ v_1 = 0$$

$$y = 0 + \frac{1}{2} \times 10 \times (2 \times 10^{-3})^2 = 2 \times 10^{-5}\ m$$

التعزيز:

أذكّر الطلبة بمعادلات الحركة بتسارع ثابت، وأبيّن لهم كيف نختار المعادلة المناسبة في الحل.

تمرين

$$F = EQ = 5.4 \times 10^3 \times 4 \times 10^{-6}$$

$$F = 2.16 \times 10^{-2}\ N$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{2.16 \times 10^{-2}}{2 \times 10^{-4}} = 108\ m/s^2$$

$$d = v_1 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$= 0 + \frac{1}{2} \times 108 \times 0.02 \times 0.02$$

$$= 2.16 \times 10^{-2}\ m$$

المناقشة:

- أنبّه الطلبة إلى أن حركة الجسيم في المجال الكهربائي سيتم التعامل معها في ثلاث حالات فقط، وهي: عندما يوضع الجسيم ساكنًا في المجال، وعندما يدخل المجال بسرعة ابتدائية باتجاه يوازي المجال، وعندما يدخل المجال بسرعة ابتدائية باتجاه عمودي على المجال. وفي هذه الحالات كافة سوف نهمل جاذبية الأرض، بحيث تبقى حركة الجسيم تحت تأثير القوة الكهربائية فقط.
- أوجّه للطلبة الأسئلة الآتية مع التوضيح بالرسم:

– ماذا يحدث لجسيم موجب الشحنة يدخل مجالًا كهربائيًّا بسرعة ابتدائية في الحالتين الآتيتين:

□ إذا كان اتجاه سرعته باتجاه المجال؟ يتسارع، فتتزايد سرعته مع استمرار حركته في المجال؛ لأن القوة الكهربائية تؤثر فيه باتجاه حركته.

□ إذا كان اتجاه سرعته باتجاه معاكس لاتجاه المجال؟ يتباطأ، فتتناقص سرعته مع استمرار حركته في المجال حتى تصبح سرعته تساوي صفرًا (يتوقف لحظيًّا عن الحركة)، ثمّ يعود ويتسارع باتجاه المجال؛ لأن القوة الكهربائية تؤثر فيه باتجاه معاكس لاتجاه حركته الابتدائية.

– ماذا يحدث لجسيم سالب الشحنة يدخل مجالًا كهربائيًّا بسرعة ابتدائية في الحالتين الآتيتين:

□ إذا كان اتجاه سرعته باتجاه المجال؟ يتباطأ، فتتناقص سرعته مع استمرار حركته في المجال حتى تصبح سرعته تساوي صفرًا (يتوقف لحظيًّا عن الحركة)، ثمّ يعود ويتسارع بعكس اتجاه المجال.

□ إذا كان اتجاه سرعته معاكسًا لاتجاه المجال؟ يتسارع، فتتزايد سرعته مع استمرار حركته في المجال؛ لأن القوة الكهربائية تؤثر فيه باتجاه حركته.

$$a = \frac{F}{m} = \frac{2.16 \times 10^{-2}}{2 \times 10^{-4}} = 108\ m/s^2$$

بما أنّ شحنة الجسيم سالبة؛ فإنّ اتّجاه القوّة والتسارع يكون معاكسًا لاتّجاه المجال الكهربائيّ؛ أي إنّ اتّجاه التسارع باتّجاه محور ($-x$). وبما أنّ الجُسيم يتحرّك بتسارع ثابت؛ فإنّه يُمكنني وصف حركته باستعمال معادلات الحركة في بُعد واحد.

– أتذكّر –

معادلات الحركة في بُعد واحد:

$$v_2 = v_1 + at$$

$$d = v_1 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$v_2^2 = v_1^2 + 2ad$$

تمرين

في المثال السابق، إذا بدأ الجُسيم حركته من السكون، فأحسبُ المسافة التي يقطعها خلال زمن (0.02 ms) من حركته تحت تأثير المجال.

الحالة الثانية: عندما يكون الجُسيم متحرّكًا بسرعة ابتدائية باتّجاه موازٍ لاتّجاه خطوط المجال؛ فإنّ حركته تكون في بُعد واحد. فهو يتسارع في حالتين: إن كان موجب الشحنة وسرعته الابتدائية مع المجال، وإن كان سالب الشحنة وسرعته الابتدائية عكس المجال. ويتباطأ في حالتين: إن كان موجب الشحنة وسرعته الابتدائية عكس المجال، وإن كان سالب الشحنة وسرعته الابتدائية مع المجال.

المثال 15

جُسيم كتلته (40 mg) يحمل شحنة سالبة (-5×10^{-5} C)، دخل مجالًا كهربائيًّا منتظمًا بسرعة ابتدائية (600 m/s)، باتّجاه محور ($+x$)، إذا كان مقدار المجال الكهربائيّ (3.2×10^3 N/C)، واتّجاهه مع محور ($+x$)، وبإهمال تأثير قوّة الجاذبية الأرضية؛ فأحسبُ الزمن اللازم لتوقّف الجُسيم عن الحركة.

المعطيات: $E = 3.2 \times 10^3\ N/C, \quad q = -5 \times 10^{-5}\ C, \quad m = 4 \times 10^{-5}\ kg, \quad v_1 = 600\ m/s$

المطلوب: $t = ?$

الحلّ:

$$F = Eq = 3.2 \times 10^3 \times 5 \times 10^{-5}$$

$$F = 1.6 \times 10^{-1}\ N$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1.6 \times 10^{-1}}{4 \times 10^{-5}} = 4 \times 10^3\ m/s^2$$

بما أنّ الجُسيم سالب الشحنة؛ فإنّ اتّجاه القوّة المؤثّرة فيه يكون بعكس اتّجاه المجال، وكذلك يكون اتّجاه التسارع؛ أي باتّجاه ($-x$)، وهنا أستعملُ معادلات الحركة، كما يأتي:

$$v_2 = v_1 + at$$

$$0 = 600 - (4 \times 10^3)t$$

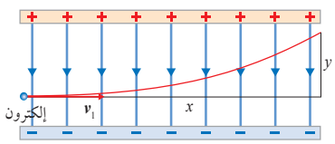
$$t = \frac{600}{4 \times 10^{-5}} = 15 \times 10^6 \text{ s}$$

الحالة الثالثة: عندما يكون الجُسيم متحرّكًا بسرعة ابتدائية باتّجاه عموديّ على اتّجاه خطوط المجال؛ فإنّ حركته تصبح في بُعدين، مشابهة لحركة المقذوفات الأُفقية في مجال الجاذبية الأرضية. بمعرفة القوّة الكهربائيّة وكتلة الجُسيم المشحون يُمكنني حساب تسارعه، ثمّ استعمال معادلات الحركة لوصف حركة الجُسيم.

المثال 16

عبر إلكترون منطقة مجال كهربائيّ رأسي منتظم اتّجاهه نحو الأسفل، ومقداره (300 N/C)، بسرعة ابتدائية أُفقية مقدارها (3×10^6 m/s) باتّجاه محور ($+x$)؛ فانحرف الإلكترون نحو الأعلى، كما في الشكل (29).

إذا كانت الإزاحة الأُفقية للإلكترون داخل منطقة المجال ($x = 4$ cm)، وبإهمال تأثير قوّة الجاذبيّة الأرضية؛ فما الإزاحة الرأسية التي حدثت للإلكترون؟ كتلة الإلكترون (9.11×10^{-31} kg).



الشكل (29): مسار إلكترون في مجال كهربائيّ منتظم.

المعطيات: $E = 300$ N/C, $q = -1.6 \times 10^{-19}$ C, $m = 9.11 \times 10^{-31}$ kg, $v_1 = 3 \times 10^6$ m/s, $x = 4$ cm

المطلوب: $y = ?$

الحلّ:

$$F = Eq = 300 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$F = 4.8 \times 10^{-17} \text{ N}$$

$$a_y = \frac{F}{m} = \frac{4.8 \times 10^{-17}}{9.11 \times 10^{-31}} = 5.268 \times 10^{13} \text{ m/s}^2$$

مثال إضافي

أعيد حل المثال (16) على فرض أن الذي عبر منطقة المجال هو بروتون، علمًا أن كتلة البروتون (1.67×10^{-27} kg)، ثمّ أرسم شكل المسار المتوقع للبروتون.

الحل:

بما أن البروتون والإلكترون متساويان في مقدار الشحنة، فإنهما يتساويان في مقدار القوة الكهربائية المؤثرة في كل منهما، أي أن:

$F = 4.8 \times 10^{-17}$ N، ويكون اتجاهها نحو الأسفل.

$$ay = \frac{F}{m} = \frac{4.8 \times 10^{-17}}{1.67 \times 10^{-27}}$$

$$= 2.87 \times 10^{10} \text{ m/s}^2$$

$$y = v_{1y}t + \frac{1}{2} a_y t^2$$

$$= 0 + \frac{1}{2} \times 2.87 \times 10^{10} \times (1.33 \times 10^{-8})^2$$

$$= 2.54 \times 10^{-6} \text{ m}$$

مثال إضافي

جسيم مشحون كتلته (20 mg) يتحرك بسرعة (300 m/s) باتجاه محور ($-x$)، دخل مجالًا كهربائيًّا منتظمًا مقداره (5×10^4 N/C) واتّجاهه مع محور ($+x$)، فتوقف عن الحركة بعد أن قطع مسافة (60 cm) داخل المجال. بإهمال تأثير قوّة الجاذبية الأرضية؛ أجد مقدار شحنة الجسيم، وأحدد نوعها.

الحل:

نوع شحنة الجسيم موجبة؛ لأن الجسيم تباطأ في حركته عند دخوله المجال باتجاه معاكس لاتجاهه.

ولتحديد مقدار الشحنة، يجب معرفة مقدار القوة الكهربائية التي أثرت في الجسيم:

$$v_2^2 = v_1^2 + 2ad$$

$$0 = 300^2 + 2a \times 0.6$$

$$a = -7.5 \times 10^4 \text{ m/s}^2$$

والإشارة السالبة تعني أن الجسيم يتباطأ.

$$F = ma = 20 \times 10^{-6} \times 7.5 \times 10^4$$

$$= 1.5 \text{ N}$$

$$q = \frac{F}{E} = \frac{1.5}{5 \times 10^4} = 3 \times 10^{-5} \text{ C}$$

استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (29)، وأنوّه لهم بأن الشكل يمثل مسار حركة جسيم مشحون يدخل بسرعة ابتدائية عموديًّا على مجال كهربائي منتظم، ثم أسألهم:

– ما الذي سبّب انحراف الجسيم عن مساره؟ ولماذا انحرف إلى الأعلى؟

القوة الكهربائية؛ إذ تؤثر باتجاه متعامد مع اتجاه حركة الجسيم. ولأن شحنة الجسيم سالبة (إلكترون)، فإن اتجاه القوة الكهربائية يكون باتجاه معاكس لاتجاه المجال.

– كيف يكون شكل المسار لو كان الجسيم بروتونًا؟

يكون اتجاه القوة الكهربائية نحو الأسفل، مما يؤدي إلى انحرافه نحو الأسفل.

- أوجه انتباه الطلبة إلى أن هذا المسار يشبه مسار الجسم المقذوف أفقيًّا في مجال الجاذبية الأرضية؛ لذا نطبق عليه معادلات الحركة للجسم المقذوف.

وبسبب عدم وجود تأثير لأيّ قوّة في الاتّجاه الأُفقي؛ فإنّ: $a_x = 0$

أستخرجُ زمن الحركة من المركّبة الأُفقية للسرعة والإزاحة، إذ إنّ المركّبة الأُفقية للسرعة ثابتة:

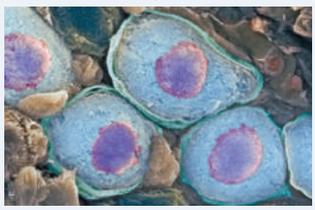
$$t = \frac{x}{v_{1x}} = \frac{4 \times 10^{-2}}{3 \times 10^{6}} = 1.33 \times 10^{-8}\,\text{s}$$

$$y = v_{1y}t + \frac{1}{2}a_y t^2$$

$$y = 0 + \frac{1}{2} \times 5.268 \times 10^{13} \times (1.33 \times 10^{-8})^2 = 4.659 \times 10^{-3}\,\text{m}$$

الربط بالعلوم الحياتية

توزيع الشحنات الكهربائيّة داخل الخلية العصبية والسيال العصبي



تحتوي الخلية العصبية للإنسان في داخلها على أيونات بوتاسيوم موجبة الشحنة (K^+)، وجزيئات بروتين مشحونة بشحنات سالبة (Pr^-).

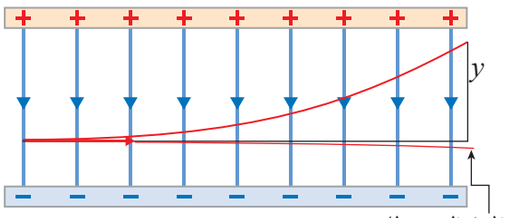
الخلية العصبية وقت الراحة: توجد خارج الخلية أيونات الصوديوم الموجبة، في حين توجد داخل الخلية كلّ من أيونات البوتاسيوم الموجبة وأيونات البروتين سالبة الشحنة.

نتيجة لفرق التركيز؛ تنتشر أيونات البوتاسيوم عبر غشاء الخلية إلى الخارج، فينتج عن ذلك أن يُصبح داخل الخلية مشحونًا بشحنة كهربائيّة سالبة، وخارج الخلية مشحونًا بشحنة كهربائيّة موجبة. علمًا بأنّ السائل داخل الخلية موصل للكهرباء بشكل جيّد، ما يسمح لجزيئات البروتين السالبة أن تتوزّع على المحيط الخارجي للسائل الخلوي (كما في الكرة الموصلة)؛ أي على السطح الداخلي لغشاء الخلية، الذي يُعدّ عازلًا للكهرباء، ويحدث هذا التوزيع للشحنات مهما كان شكل الخلية العصبية.

الخلية العصبية وقت التنبيه: عندما يصل المنبّه العصبي إلى مستوى معين، تفتح قنوات في الغشاء الخلوي فتدخل أيونات الصوديوم إلى الخلية بكمّيات تجعل الشحنة داخل الخلية موجبة وخارجها سالبة، ما يؤدّي إلى فتح قنوات أُخرى تسمح بدخول أيونات البوتاسيوم، فتزداد الشحنة السالبة خارج الخلية.

تعود الخلية إلى حالة الراحة نتيجة انتشار أيونات البوتاسيوم إلى الخارج وأيونات الصوديوم إلى الداخل عبر قنوات تسرّب خاصّة في الغشاء الخلوي، وينتقل هذا الانعكاس في القطبية على شكل موجة في الأعصاب لنقل الإحساس من أطراف الجسم إلى الدماغ، أو نقل الأوامر من الدماغ إلى العضلات.

وهذه الإزاحة أقل من الإزاحة التي يقطعها الإلكترون بـ (1840) مرّة تقريبًا؛ أي أن نسبة ما يقطعه البروتون إلى ما يقطعه الإلكترون في المجال الكهربائي تحت الظروف نفسها تساوي (1:1840)، وهي تساوي مقلوب نسبة كتلة البروتون إلى الإلكترون (1840:1). وهذا يدل على الانحراف الصغير جدًّا في مسار البروتون مقارنة مع الانحراف في مسار الإلكترون. والشكل الآتي يوضح ذلك:



المسار التقريبي للبروتون

الربط بالعلوم الحياتية

أوجه الطلبة للبحث في مصادر المعرفة الموثوقة عن دور الخلايا العصبية بوصفها وسيطًا بين الدماغ وأعضاء الجسم المختلفة، مدعمًا بالمقاطع المرئية (الفيديوهات) والصور التوضيحية، ومشاركته مع الزملاء/ الزميلات في الصف.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **المهارات الحياتية: الوعي الصحي.**

أخبر الطلبة أن الإلمام بالمعلومات والحقائق الصحية، وإحساس الفرد بالمسؤولية نحو صحته وصحة غيره من الأفراد، تزيد الوعي الصحي لدى الفرد، وتجعله يتبنى ممارسات صحية سليمة تقيه والمجتمع من الأمراض وتعزز الصحة العامة، مثل الإلمام بأهمية عنصري الصوديوم والبوتاسيوم في نقل الإحساس من أطراف الجسم إلى الدماغ، أو نقل الأوامر من الدماغ إلى العضلات.

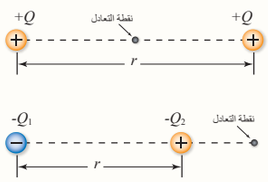
طريقة أُخرى للتدريس — **حركة جسيم مشحون في مجال كهربائي منتظم**

- لمساعدة الطلبة ذوي المستويات المختلفة على فهم موضوع حركة جسيم مشحون في المجال الكهربائي، أستخدم استراتيجية التعلم التعاوني.
- أوزع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة، ليساعد بعضهم بعضًا في عملية التعلم، ثم أوزّع الأدوار بين أفراد كل مجموعة، ثمّ أطلب إليهم أن يعملوا دراسة مقارنة بين حركة الجسيم المشحون في المجال الكهربائي مع حركة جسم في مجال الجاذبية الأرضية، مع توضيح مسارات الحركة بالرسوم التوضيحية.
- أمنح الطلبة الوقت الكافي لإجراء المقارنة، ثمّ أطلب إلى كل مجموعة أن تعرض ما توصلت إليه أمام المجموعات الأخرى، ثمّ أدير جلسة نقاشية للتوصل إلى النتائج المرجوة.

إجابات أسئلة مراجعة الدرس

1 **الفكرة الرئيسة:** هو المجال الكهربائي الذي يكون ثابتًا في مقداره واتّجاهه عند نقاطه جميعها. ويؤثر في الأجسام المشحونة الموجودة داخله بقوة ثابتة المقدار والاتجاه ويكسبها تسارعًا ثابتًا. ويمكن الحصول عليه بوضع صفيحتين موصلتين متوازيتين ومتقابلتين، وتفصل بينهما مسافة قصيرة مقارنة بأبعادهما، وشحنهما بشحنتين مختلفتين في نوعيهما متساويتين في مقداريهما.

2 **الحالة الأولى:** شحنتان متماثلتان ومتساويتان. بتطبيق قانون كولوم نجد أن نقطة التعادل تقع على الخط الواصل بين الشحنتين، وفي منتصف المسافة بينهما.



الحالة الثانية: شحنتان مختلفتان وغير متساويتين. بتطبيق قانون كولوم نجد أن نقطة التعادل تقع على امتداد الخط الواصل بين الشحنتين وخارجهما من جهة الشحنة الصغيرة.

3 الخطوط المتوازية تعبّر عن الثبات في اتجاه المجال، وعندما تفصل بين الخطوط مسافات متساوية فهذا يعبّر عن الثبات في المقدار.

4 من قانون كولوم نجد أن:

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

والتدفّق الكهربائي خلال سطح غاوس الكروي يعطى بالعلاقة الآتية:

$$\phi = EA\cos\theta$$

ومساحة سطح الكرة تعطى بالعلاقة: $(A = 4\pi r^2)$.

والزاوية θ تساوي صفر، $\cos\theta = 1$

$$\phi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\, 4\pi r^2 \cos\theta = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

5 إن حركة الجسيم المشحون بشحنة موجبة والمقذوف أفقيًّا في المجال الكهربائي المنتظم المتجه للأسفل، تشبه تمامًا حركة الكرة المقذوفة أفقيًّا في مجال جاذبية الأرض، فكلاهما يمتلك سرعة أفقية ثابتة، ويكتسب تسارعًا رأسيًّا نحو الأسفل، علمًا أن السرعة الرأسية الابتدائية لكليهما تساوي صفرًا.

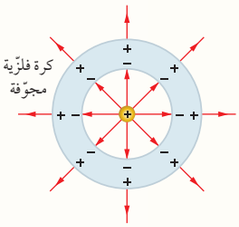
مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أُوضّح المقصود بالمجال الكهربائيّ المنتظم، وكيف يمكن الحصول عليه.
2. عند وجود شحنتين في الهواء تفصلهما مسافة؛ فإنّه توجد نقطة محددة ينعدم فيها المجال الكهربائيّ. أُحدّد موقع هذه النقطة بالنسبة إلى الشحنتين في الحالتين الآتيتين: الشحنتان متماثلتان ومتساويتان في المقدار، الشحنتان مختلفتان وإحداهما أكبر من الأُخرى.
3. ما خصائص خطوط المجال الكهربائيّ التي تُعبّر عن أنّ المجال الكهربائيّ المنتظم يكون ثابت المقدار والاتّجاه عند النقاط جميعها في داخله.
4. أُوضّح باستعمال العلاقات الرياضية المناسبة، أنّ التدفّق الكلّي الناتج عن شحنة نقطية عبر سطح كروي لا يعتمد على مساحة السطح.
5. **أُقارن** بين حركة جُسيم مشحون بشحنة موجبة، بسرعة ابتدائية أُفقية داخل مجال كهربائيّ منتظم عموديّ نحو الأسفل، وحركة كرة مقذوفة أفقيًّا في مجال الجاذبية الأرضية. (بإهمال كلّ من وزن الجُسيم المشحون، ومقاومة الهواء لحركة الكرة).
6. **أستعملُ المتغيّرات:** صفيحتان فلزّيتان مشحونتان بشحنتين كهربائيتين متساويتين إحداهما موجبة والأُخرى سالبة، موزّعة عليهما بانتظام بكثافة سطحية ($7.1 \times 10^{-7}\ C/m^2$)، إذا كانت أبعاد الصفيحتين كبيرة، فأجد:

أ. المجال عند نقطة بين الصفيحتين.

ب. تسارع جسيم كتلته ($5 \times 10^{-4}\ kg$) وشحنته ($2 \times 10^{-7}\ C$) عند وضعه بين الصفيحتين، بإهمال وزن الجسيم.

7. **أُحلّل الشكل:** وُضِعت شحنة نقطية موجبة في مركز كرة فلزّية مجوّفة ومتعادلة كهربائيًّا؛ فشحنتها بالحثّ كما في الشكل المجاور. أصف ما حدث لتوزيع الشحنات على الكرة، وأصف المجال الكهربائيّ داخل تجويف الكرة وخارجها.



6 أ. مقدار المجال بين الصفيحتين:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{7.1 \times 10^{-7}}{8.85 \times 10^{-12}} = 8 \times 10^4\ N/C$$

ب. تسارع الجسيم داخل المجال:

$$F = EQ = 8 \times 10^4 \times 2 \times 10^{-7}$$

$$= 1.6 \times 10^{-2}\ N$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1.6 \times 10^{-2}}{5 \times 10^{-4}} = 32\ m/s^2$$

7 يؤثر المجال الكهربائي للشحنة النقطية في الشحنات السالبة للكرة فتتحرك إلى السطح الداخلي للكرة، تاركة السطح الخارجي للكرة موجب الشحنة، فينشأ مجال معاكس داخل الجزء الفلزي من الكرة يجعل المجال الكلي صفرًا، في حين ينشأ عن الشحنة الموجبة على السطح الخارجي للكرة مجال كهربائي خارج جسم الكرة يشبه مجال الشحنة النقطية.

الإثراء والتوسُّع

الطابعات النافثة للحبر

الهدف:

- تعرّف أهمية استخدام الكهرباء الساكنة في التطبيقات التكنولوجية، مثل الطابعات وأجهزة الطلاء.
- تعرّف طريقة عمل هذه الأجهزة.

الإجراءات والتوجيهات:

- أوجّه الطلبة إلى قراءة فقرة (الإثراء والتوسع)، ثم أوجّه لهم الأسئلة الآتية:

– كيف يؤثر المجال الكهربائي في كل من الأجسام المشحونة والمتعادلة التي تتحرك خلاله؟

الأجسام المتعادلة عند دخولها مجالًا كهربائيًّا فإنها لا تتأثر بقوة كهربائية، لكن عندما تكون هذه الأجسام مشحونة بشحنات كهربائية، فإنها تتأثر بقوة كهربائية تجعلها تتحرك بسرعة مع المجال أو ضده، حسب نوع شحنتها.

– أوضح التشابه والاختلاف في آلية عمل كل من: الطابعة، والطلاء.

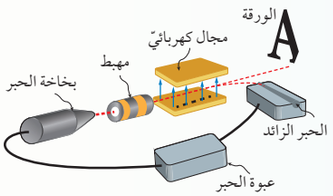
تتشابه آلية العمل في الجهازين بأن قطرات الحبر وقطرات الطلاء تشحن بشحنة كهربائية، وكلاهما تتحرك داخل مجال كهربائي. لكنهما تختلفان في أن قطرات الحبر تتحرك داخل مجال كهربائي منتظم، في حين تتحرك قطرات الطلاء داخل مجال كهربائي غير منتظم (بين مصدر الطلاء والجسم المراد طلاؤه).

– ما المشكلات التي تنتج عن الطلاء بأداة لا تستخدم المجال الكهربائي؟

في حالة الطلاء دون وجود مجال كهربائي، فإن قطرات الطلاء لا تصل جميعها إلى الجسم المراد طلاؤه، كذلك تتراكم بعض القطرات فوق بعضها، ولا يكون الطلاء متجانسًا. أما بوجود الكهرباء الساكنة فتتنافر القطرات مع بعضها فلا تتراكم، وتنجذب نحو الجسم، فيكون الطلاء متجانسًا.

الطابعات النافثة للحبر Ink Jet Printers

توصل الطابعات النافثة للحبر عادة مع جهاز الحاسوب؛ لطباعة النصوص والصور الملوّنة التي تُعدّ بوساطة الجهاز، وتُنفّذ عملية الطباعة عند إعطاء أمر بذلك. تُستعمل في هذا النوع من الطابعات عبوّات حبر سائل أسود اللون وعبوّات أُخرى ملوّنة بالألوان الأساسية الثلاثة؛ (الأصفر والسيان والماغنتا).

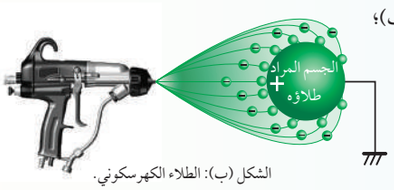


الشكل (أ): الطابعة النافثة للحبر.

تحتوي الطابعة على عبوّات الحبر السائل، وبخّاخة مزوّدة بفتحة ضيقة لخروج الحبر، ومهبط كهربائيّ لشحن قطرات الحبر بشحنة كهربائيّة سالبة، ومجال كهربائيّ منتظم، كما في الشكل (أ). تبدأ عملية الطباعة بخروج الحبر من فتحة البخّاخة على شكل قطرات صغيرة جدًّا باتّجاه المهبط الذي تمر عن طريقه فيزوّدها بشحنة كهربائيّة سالبة، ثم تعبر مجالًا كهربائيًّا منتظمًا. وبما أنّ قطرات الحبر مشحونة فإنّها تتأثّر بالمجال الكهربائيّ، وعن طريق التحكّم الإلكتروني بمقدار المجال واتّجاهه، فإنه تُوجّه قطرات الحبر بدقّة متناهية لتُشكّل الأحرف والصور عند ملامستها الورقة.

الطلاء الكهرسكوني Electrostatic Painting

أمّا عند الطلاء الكهرسكوني المُبيّن في الشكل (ب)؛ فإنّ خروج قطرات الطلاء من المصدر يكون بفعل ضغط الهواء، وتخرج القطرات مشحونة بشحنة كهربائيّة مشابهة لشحنة المصدر، فتتنافر القطرات معه مبتعدة. وبما أنّ الجسم المراد طلاؤه يُشحن بشحنة كهربائيّة مخالفة لشحنة مصدر الطلاء؛ فإنّ قطرات الطلاء تتجاذب مع الجسم وتلتصق به، وبخاصّة في الأماكن التي يصعب الوصول إليها من دون التجاذب الكهربائيّ.



الشكل (ب): الطلاء الكهرسكوني.

أبحث مستعينًا بمصادر المعرفة الموثوقة والمُتاحة ومنها شبكة الإنترنت، أبحثُ عن تطبيقات أُخرى للكهرباء الساكنة، مثل تنقية عوادم المصانع من الدقائق العالقة، وآلات التصوير والنسخ، وأعد وأفراد مجموعتي تقريرًا مدعّمًا بالرسومات التوضيحية لطريقة العمل وخطواته.

أبحث أوزع الطلبة إلى مجموعات، ثم أطلب إليهم البحث في المواقع المتاحة والموثوقة عن تطبيقات أخرى للكهرباء الساكنة. ثم كتابة تقرير وعرضه على الزملاء/ الزميلات في الصف.

نتائج بحث محتملة: تستخدم الكهرباء الساكنة في تنقية الدخان الناتج من المصانع، لحماية البيئة من الملوثات، كما تستخدم في آلات النسخ الضوئي للوثائق، وفي مولدات فان دي غراف.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **المهارات الحياتية: الابتكار.**

أخبر الطلبة أنّ الابتكار يتجاوز أساسًا كل ما هو تقليدي، وأنه توجد وسائل غير عادية للوصول إلى المنتج النهائي، وأحثهم على التفكير بأجهزة مماثلة لعمل الطابعة.

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

1. عند دلك مسطرة بلاستيكية بقطعة من القماش:
   أ . تُصبح شحنة المسطرة موجبة نتيجة انتقال البروتونات إليها من القماش.
   ب . تُصبح شحنة المسطرة سالبة نتيجة انتقال الإلكترونات إليها من القماش.
   جـ . تُصبح شحنة المسطرة موجبة نتيجة انتقال الإلكترونات منها إلى القماش.
   د . تُصبح شحنة المسطرة سالبة نتيجة انتقال البروتونات منها إلى القماش.

2. تختلف الأجسام الموصلة عن العازلة في الطريقة المناسبة لشحن كل جسم، وذلك كما يأتي:
   أ . طريقتا الدلك والحثّ مناسبتان لشحن الأجسام الموصلة، وطريقة التوصيل لشحن الأجسام العازلة.
   ب. طريقتا الدلك والتوصيل مناسبتان لشحن الأجسام الموصلة، وطريقة الحثّ لشحن الأجسام العازلة.
   جـ. طريقتا الحثّ والتوصيل مناسبتان لشحن الأجسام الموصلة، وطريقة الدلك لشحن الأجسام العازلة.
   د. طريقة التوصيل فقط مناسبة لشحن الأجسام الموصلة، وطريقتا الحثّ والدلك لشحن الأجسام العازلة.

3. أيّ الإجراءات الآتية تؤدّي إلى زيادة التدفّق الكهربائيّ الناشئ عن مجالٍ منتظمٍ عبر مساحة معينة؟
   أ . زيادة مقدار المجال الكهربائيّ.
   ب . إنقاص مقدار المجال الكهربائيّ.
   جـ . تغيير الزاوية بين المجال ومتّجه المساحة من (0°) إلى (90°).
   د . إنقاص مساحة السطح.

4. كرة فلزّية نصف قطرها (20 cm)، وكرة فلزّية ثانية نصف قطرها (10 cm)، تحملان شحنتين متساويتين ولا تؤثّران في بعضهما. إذا كان المجال الكهربائيّ على بعد (30 cm) من مركز الأولى (E_1)؛ فإنّ المجال الكهربائيّ على البعد نفسه من مركز الكرة الثانية يُعطى بالعلاقة:
   أ . $E_2 = 2E_1$ ب. $E_2 = \frac{1}{2}E_1$
   جـ. $E_2 = \frac{1}{4}E_1$ د. $E_2 = E_1$

5. ماذا يحدث إذا دخل بروتون وإلكترون أُفقيًّا منطقة مجال كهربائيّ منتظم يتّجه نحو الأعلى؟
   أ . ينحرف البروتون والإلكترون نحو الأعلى.
   ب . ينحرف البروتون والإلكترون نحو الأسفل.
   جـ . ينحرف البروتون نحو الأعلى والإلكترون نحو الأسفل.
   د . ينحرف البروتون نحو الأسفل والإلكترون نحو الأعلى.

1

1) (ب). تصبح شحنة المسطرة سالبة نتيجة انتقال الإلكترونات إليها من القماش.

2) (جـ). طريقتا الحث والتوصيل مناسبتان لشحن الأجسام الموصلة، وطريقة الدلك لشحن الأجسام العازلة.

3) (أ). زيادة مقدار المجال الكهربائي.

4) (د). $E_2 = E_1$

5) (جـ). ينحرف البروتون نحو الأعلى والإلكترون نحو الأسفل

مراجعة الوحدة

2 أ . الكثافة السطحية للشحنة على سطح الأرض:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$
$$\sigma = E\varepsilon_0 = 150 \times 8.85 \times 10^{-12}$$
$$= 1.33 \times 10^{-9}\ \text{C/m}^2$$

ب . الشحنة الكلية التي تحملها الأرض:

$$A = 4\pi r^2$$
$$A = 4 \times 3.14 \times (6.367 \times 10^6)^2$$
$$A = 5.1 \times 10^{14}\ \text{m}^2$$
$$Q = \sigma A$$
$$= 1.33 \times 10^{-9} \times 5.1 \times 10^{14}$$
$$= 6.8 \times 10^5\ \text{C}$$

3

$$F = k\frac{Q_1 Q_2}{r_2}$$
$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{8.5 \times 10^{-6} \times 9 \times 10^{-9}}{(0.07 + 0.08 + 0.03)^2}$$
$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{8.5 \times 10^{-6} \times 9 \times 10^{-9}}{(0.18)^2}$$
$$F = 2.1 \times 10^{-2}\ \text{N}$$

4 أ . التدفق عندما تكون الزاوية صفر:

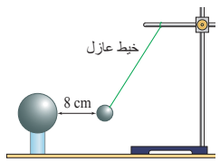
$$\phi = EA\cos\theta$$
$$\phi = 3 \times 10^3 \times 0.01 \cos 0°$$
$$\phi = 3 \times 10^3 \times 0.01 \times 1 = 30\ \text{Nm}^2/\text{C}$$

ب . التدفق عندما تكون الزاوية (60°)

$$\phi = EA\cos\theta$$
$$\phi = 3 \times 10^3 \times 0.01 \cos 60°$$
$$\phi = 3 \times 10^3 \times 0.01 \times 0.5 = 15\ \text{Nm}^2/\text{C}$$

2. تُعدّ الكرة الأرضية موصلًا كرويًّا يحمل شحنة كهربائيّة سالبة، والقيمة المتوسّطة لمجالها الكهربائيّ تساوي (150 N/C) واتّجاه الخطوط نحو مركز الأرض. إذا علمتُ أنّ نصف قطر الأرض (6367 km)؛ فأُجيب عمّا يأتي:
أ. ما مقدار الكثافة السطحية للشحنة الكهربائيّة على سطح الأرض؟
ب. ما مقدار الشحنة الكلّيّة التي تحملها الأرض؟

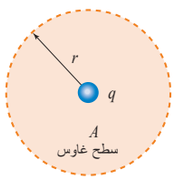
3. كرة فلزّية قطرها (7 cm)، معزولة ومشحونة بشحنة كهربائيّة موجبة مقدارها (+8.5 μC) مثبّتة فوق عازل، كما في الشكل. وكرة خفيفة من البولسترين قطرها (3 cm) مغلّفة بغلاف فلزّي ومعلّقة بخيط عازل مشحونة بشحنة سالبة مقدارها (-9 nC) في وضع اتّزان بالقرب من الكرة الفلزّية. أحسبُ مقدار القوّة الكهربائيّة المتبادلة بين الكرتين.



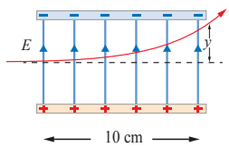
4. مجال كهربائيّ منتظم باتّجاه محور (+x)، مقداره (3×10^3 N/C). أحسبُ التدفّق الكهربائيّ له خلال مساحة مربّعة الشكل طول ضلعها (10 cm) في الحالتين الآتيتين:
أ. عندما يكون متّجه المساحة باتّجاه محور (+x).
ب. عندما يصنع متّجه المساحة زاوية (60°) مع محور (+x).

5. انطلق إلكترون داخل مجال كهربائيّ منتظم من حالة السكون من الصفيحة السالبة تحت تأثير المجال؛ فوصل إلى الصفيحة الموجبة خلال مدّة زمنية (2×10^{-8} s)، إذا كان مقدار المجال الكهربائيّ المنتظم يساوي (2×10^3 N/C)؛ فأجد المسافة الفاصلة بين الصفيحتين.

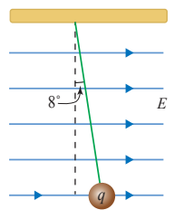
6. شحنة نقطية في الهواء تولّد تدفّقًا كهربائيًّا مقداره (-1×10^3 Nm²/C) خلال سطح غاوس كروي، نصف قطرة (10 cm) وتقع الشحنة في مركزه، كما في الشكل. أجد ما يأتي:
أ . مقدار الشحنة النقطيّة (q)، وأحدد نوعها.
ب. إذا تضاعف نصف قطر سطح غاوس، فما مقدار التدفّق؟



7. دخل جسيم ألفا بسرعة أُفقية باتّجاه (+x)، مقدارها (2×10^7 m/s) مجالًا كهربائيًّا منتظمًا، تتّجه خطوطه باتّجاه محور (+y)، كما في الشكل.
إذا علمتُ أنّ مقدار المجال الكهربائيّ يساوي (3×10^3 N/C)، وأنّ المسافة الأُفقية التي قطعها الجسم داخل المجال (10 cm)؛ فأحسبُ مقدار الإزاحة الرأسية للجسيم (بإهمال تأثير الجاذبية الأرضية). كتلة جسيم ألفا (6.6×10^{-27} kg)، وشحنته (3.2×10^{-19} C).



8. كرة كتلتها (5 g) مشحونة ومعزولة، معلّقة بخيط طوله (30 cm) داخل مجال كهربائيّ منتظم أُفقي الاتّجاه، كما في الشكل. إذا علمتُ أنّ شحنة الكرة (1 μC) وأنّها في حالة اتزان سكوني؛ فأجدُ مقدار المجال الكهربائيّ، حيث ($g = 10$ m/s²).



9. كرة موصلة قطرها (2.4 m) مشحونة بشحنة موجبة موزّعة على سطحها بانتظام، بكثافة سطحية مقدارها (80μ C/m²). أجد ما يأتي:
أ . الشحنة الكلّية للكرة.
ب. مقدار التدفّق الكلّي الذي يخرج من سطح الكرة.

5

$$F = Eq_e = 2 \times 10^3 \times 1.6 \times 10^{-19}$$
$$F = 3.2 \times 10^{-16}\ \text{N}$$
$$a = \frac{F}{m_e} = \frac{3.2 \times 10^{-16}}{9.11 \times 10^{-31}}$$
$$a = 3.5 \times 10^{14}\ \text{m/s}^2$$
$$d = v_1 t + \frac{1}{2}at^2$$
$$d = 0 + \frac{1}{2} \times 3.5 \times 10^{14} \times (2 \times 10^{-8})^2$$
$$d = 0.07\ \text{m}$$

6 أ .

$$\phi = \frac{q}{\varepsilon_0}$$
$$q = \phi\varepsilon_0 = 1 \times 10^3 \times 8.85 \times 10^{-12}$$
$$= 8.85 \times 10^{-9}\ \text{C}$$

التدفق سالب، ومتجه مساحة السطح الكروي للخارج؛ أي أن الزاوية بين المجال ومتجه المساحة ($\theta = 180°$)، ما يعني أن اتجاه المجال نحو مركز السطح الكروي؛ أي أن الشحنة سالبة.

ب. نلاحظ من العلاقة الرياضية لقانون غاوس أن التدفق عبر سطح كروي لا يعتمد على طول نصف قطره، ما يعني أن التدفق لا يتغير عندما يتضاعف نصف القطر.

7

$$F = Eq_\alpha = 3 \times 10^3 \times 3.2 \times 10^{-19}$$
$$F = 9.6 \times 10^{-16}\ \text{N}$$
$$a_\alpha = \frac{F}{m_\alpha} = \frac{9.6 \times 10^{-16}}{6.6 \times 10^{-27}}$$
$$a_\alpha = 1.45 \times 10^{11}\ \text{m/s}^2$$
$$t = \frac{x}{v_x} = \frac{0.1}{2 \times 10^7} = 5 \times 10^{-9}\ \text{s}$$
$$y = v_{1yt} + \frac{1}{2}a_\alpha t^2$$
$$y = 0 + \frac{1}{2} \times 1.45 \times 10^{11} \times (5 \times 10^{-9})^2$$
$$y = 1.8 \times 10^{-6}\ \text{m}$$

8 وزن الكرة:

$$W = mg = 0.005 \times 10 = 0.05\ \text{N}$$

نتيجة الاتزان السكوني للكرة، فإن:

$$T\cos\theta = mg,\ T\sin\theta = F$$

بقسمة إحدى المعادلتين على الأخرى، نحصل على العلاقة الآتية:

$$\tan\theta = \frac{F}{mg}$$
$$F = mg\tan\theta = 0.05 \times 0.14 = 7 \times 10^{-3}\ \text{N}$$
$$E = \frac{F}{q} = \frac{7 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-6}} = 7 \times 10^3\ \text{N/C}$$

9 الفرع (أ): الشحنة الكلية:

$$Q = \sigma A = \sigma \times 4\pi r^2$$
$$Q = 80 \times 10^{-6} \times 4 \times 3.14 \times (1.2)^2$$
$$= 1.45 \times 10^{-3}\ \text{C}$$

الفرع (ب): التدفق الكلي خلال سطح الكرة.

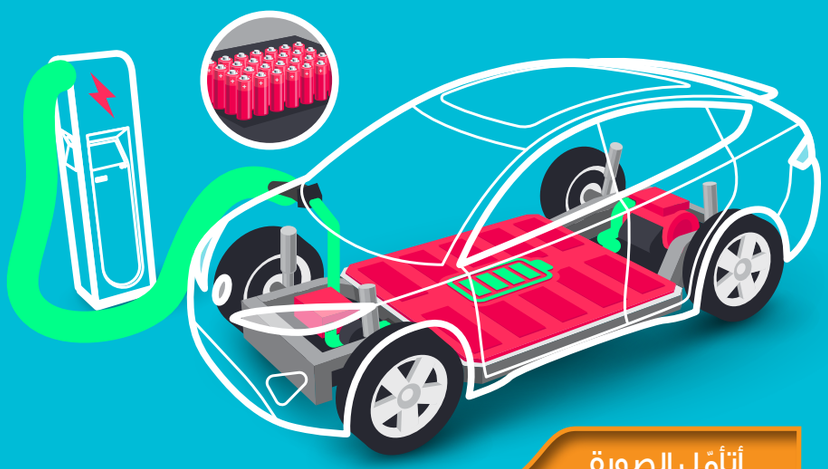
$$\phi = \frac{Q}{\varepsilon_0} = \frac{1.45 \times 10^{-3}}{8.85 \times 10^{-12}} = 1.64 \times 10^8\ \text{Nm}^2/\text{C}$$

الوحدة الثالثة: الجهد الكهربائي والمواسعة Electric Potential and Capacitance.

تجربة استهلالية: العلاقة بين فرق الجهد الكهربائي والمجال الكهربائي.

الدرس	النتاجات	التجارب والأنشطة	عدد الحصص
الأول: **الجهد الكهربائي لشحنة نقطية .**	• تعريف الجهد الكهربائي بالكلمات وبمعادلة. • وصف الجهد الكهربائي عند نقطة في المجال الكهربائي لشحنة نقطية، أو مجموعة شحنات نقطية كمّيًّا. • وصف فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في مجال كهربائي منتظم كمّيًّا. • ربط التغير في طاقة الوضع الكهربائية بالشغل الذي يبذله المجال في تحريك الشحنة من نقطة إلى أخرى، في المجال الكهربائي (المنتظم وغير المنتظم) رياضيًّا.		5
الثاني: **الجهد الكهربائي لموصل مشحون**	• وصف الجهد الكهربائي داخل موصل كروي مشحون وخارجه، والتعبير عنه بعلاقة رياضية. • وصف سطوح تساوي الجهد الكهربائي المحيطة بموصل كروي مشحون. • حساب الجهد الكهربائي داخل موصل كروي مشحون.	• رسم خطوط تساوي الجهد عمليًّا.	5
الثالث: **المواسعة الكهربائية**	• تعريف المواسعة الكهربائية لموصل رياضيًّا وبالكلمات. • تمثيل العلاقة بين تغيرات الجهد الكهربائي بين صفيحتي مواسع وشحنته. • توظيف الرسم البياني للعلاقة بين صفيحتي مواسع وشحنته في حساب الطاقة المختزنة في المواسع. • حساب المواسعة المكافئة لمجموعة مواسعات متصلة على التوالي أو على التوازي. • حساب كمية الشحنة على كل مواسع وفرق جهده.	• قياس مواسعة مواسع عمليًّا. • المواسعة المكافئة لعدة مواسعات تتصل على التوالي، أو التوازي.	6

النتاجات السابقة	الصف	النتاجات اللاحقة	الصف
		• تحليل رسم تخطيطي لدارة تيار متردد تشتمل على: مقاومة فقط، محث مثالي فقط، مواسع فقط، مقاومة ومحث ومواسع تتصل على التوالي.	الثاني عشر



أتأمّل الصورة

في ظل الاحتياج الواسع والدائم لتخزين الطاقة الكهربائيّة، أسهمت البطّاريات بدور كبير في تخزين الطاقة؛ مثل بطّاريات الليثيوم المستعملة في السيارات الكهربائيّة؛ ولكنّها تحتاج إلى وقت طويل نسبيًّا لشحنها، والطاقة المختزنة فيها قليلة نسبيًّا، إضافة إلى كونها أقلّ أمانًا لاحتوائها على موادّ سامّة.

يلوح في الأفق أمل جديد عن طريق تطوير الباحثين موادّ بوليميرية جديدة في المواسعات الفائقة التخزين (Supercapacitors)؛ تُمكّنهم من تخزين طاقة كهربائيّة هائلة في تلك المواسعات، إضافة إلى كونها أكثر أمانًا، كما تتميّز بإمكانية شحنها خلال مدّة زمنية قصيرة جدًّا مقارنة مع بطّاريات الليثيوم.

ما العوامل التي تعتمد عليها الطاقة الكهربائيّة المختزنة في المواسع؟

الجهد الكهربائي والمواسعة
Electric Potential and Capacitance

أتأمَّل الصورة

- أوجه الطلبة إلى تأمل الصورة الواردة في بداية الوحدة، وأسألهم: ماذا تعرفون عن السيارات الكهربائية؟ هل تقتني أسرتك سيارة كهربائية؟ ما مزايا السيارات الكهربائية وما عيوبها؟
- ستتنوع الإجابات؛ قد يكون لدى بعض الطلبة خبرات شخصية عن أنواع السيارات الكهربائية، مدة الشحن، والمسافة التي تقطعها السيارة في الشحنة الواحدة.
- أوضح للطلبة أن من إيجابيات استخدام السيارات الكهربائية أنها غير ملوثة للبيئة (صديقة للبيئة).
- أوضح للطلبة عيوب بطاريات الليثيوم المستعملة في السيارات الكهربائية.
- أوجّه للطلبة السؤالين الآتيين:

– ما الهدف الذي يسعى العلماء إلى تحقيقه في مجال صناعة السيارات الكهربائية؟

إجابة محتملة: صناعة بطاريات أو أجهزة بديلة عن البطارية لديها القدرة على تخزين طاقة كهربائية هائلة، إضافة إلى إمكانية شحنها خلال مدة زمنية قصيرة.

– هل تمكن الباحثون من تحقيق هذا الهدف؟ ستتنوع الإجابات.

- أوضح للطلبة أن العلماء والباحثين يسعون دائمًا إلى الابتكار وتطوير مواد جديدة، وفي هذا المجال تمكن فريق من الباحثين من تطوير مواد تُستخدَم في صناعة ما يعرف بالمواسعات الفائقة.
- أوضح للطلبة أن المواسع جهاز يستخدم في تخزين الطاقة الكهربائية، وأبين لهم أنهم سيتعرفون في هذه الوحدة العوامل التي تعتمد عليها الطاقة المختزنة في المواسع، وكيف يمكن جعل المواسع يختزن قدرًا كبيرًا من الطاقة.

الفكرة العامة

- أذكّر الطلبة بما تعلموه عن طاقة الوضع؛ وذلك بتوجيه أسئلة عدة، مثل:

– ما المقصود بطاقة الوضع؟

إجابة محتملة: طاقة كامنة أو مختزنة في نظام.

– اذكر/ اذكري أشكالًا لطاقة الوضع.

إجابات محتملة: طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية، وطاقة الوضع المرونية، وطاقة الوضع الكهربائية.

- أوضح للطلبة بأنهم سيتعرفون خلال هذه الوحدة مفهومين فيزيائيين مرتبطين معًا، هما: الجهد الكهربائي، وطاقة الوضع الكهربائية، وأبيّن لهم أن دراسة هذه المفاهيم تساعدنا على تفسير مشاهدات كثيرة، إضافة إلى استخدامها في التطبيقات العملية؛ كما في المواسع الكهربائي.

مشروع الوحدة

- أخبر الطلبة أن مشروع الوحدة هو بناء دارة وميض بسيطة.
- أعرض أمام الطلبة الشكلين المقترحين للدارة المطلوب بناؤها، وأسألهم عن مكوناتها. قد يتمكن بعض الطلبة ممن لديهم اهتمام بالإلكترونيات وتركيب الدارات من تعرف مكونات الدارة (مقاومات، ومواسع، ومصباح Led، وترانزستور).
- أوجّه الطلبة إلى البحث في مصادر المعرفة المتاحة والموثوقة للاطلاع على المعلومات والصور والمقاطع المرئية (الفيديوهات) التي تلزمهم لبناء دارة Simple blinking led circuit.
- أوزع الطلبة إلى مجموعات، وأحدد مدة زمنية لتنفيذ المشروع، وأتابع معهم مراحل تنفيذه.
- أطلب إلى المجموعات عرض مشاريعهم؛ لاختبارها.

الفكرة العامّة:

دراسة الجهد الكهربائيّ وفرق الجهد وطاقة الوضع الكهربائيّة المختزنة؛ تساعدنا على فهم كثير من المشاهدات والظواهر، إضافة إلى تطبيقاتها العملية كما في المواسعات الكهربائيّة، التي تُستعمل في تخزين الطاقة الكهربائيّة في العديد من الأجهزة والأدوات.

الدرس الأول: الجهد الكهربائيّ لشحنة نقطية

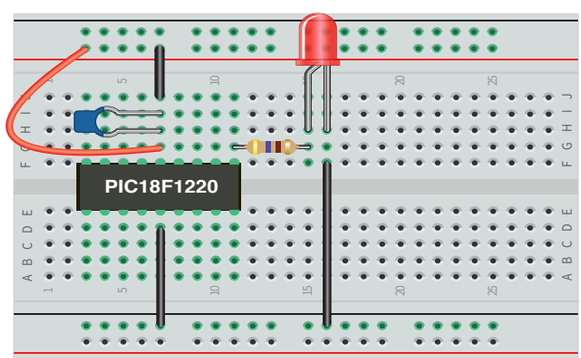
الفكرة الرئيسة: الجهد الكهربائيّ عند نقطة ما والناشئ عن شحنة نقطية؛ يعتمد على كلّ من مقدار تلك الشحنة وبُعد النقطة عنها، أمّا الشغل المبذول في نقل شحنة من نقطة إلى أُخرى في مجال كهربائيّ؛ فيعتمد على فرق الجهد الكهربائيّ بين النقطتين، ويُختزن على شكل طاقة وضع كهربائيّة.

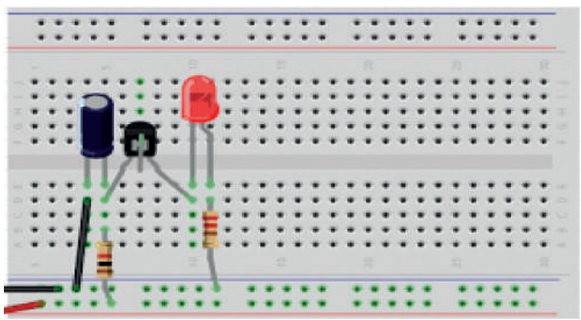
الدرس الثاني: الجهد الكهربائيّ لموصل مشحون

الفكرة الرئيسة: الجهد الكهربائيّ داخل الموصل الكروي المشحون ثابت، بينما يتغيّر خارج الموصل بتغيّر البُعد عن مركزه، ويُعدّ سطح الموصل الكروي سطح تساوي جهد.

الدرس الثالث: المواسعة الكهربائيّة

الفكرة الرئيسة: تختلف المواسعات الكهربائيّة في أشكالها ومواسعاتها وطرائق توصيلها معًا؛ وتكمن أهمّيتها في قدرتها على تخزين الطاقة الكهربائيّة، وتُستعمل في العديد من التطبيقات العملية.





تجربة استهلالية

العلاقة بين فرق الجهد الكهربائيّ والمجال الكهربائيّ

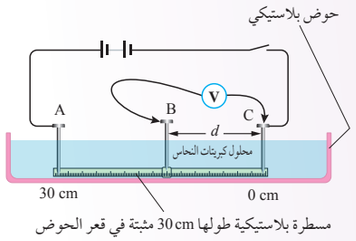
الموادّ والأدوات: مصدر طاقة (تيار مستمر DC)، فولتميتر، أسلاك توصيل، (3) لواقط فلزيّة، مسطرة بلاستيكية (30 cm)، حوض بلاستيكي، محلول كهرلي قليل التركيز (محلول كبريتات النحاس)، (3) مسامير.

إرشادات السلامة: الحذر في التعامل مع محلول كبريتات النحاس.

خطوات العمل:

بالتعاون مع أفراد مجموعتي؛ أُنفّذ الخطوات الآتية:

1. أُثبّت كلًّا من المسطرة البلاستيكية أسفل الحوض، ومسمارًا عند كل طرف من طرفَي المسطرة في النقطتين (A و C)، ثمّ أسكب محلول كبريتات النحاس بحذر في الحوض بحيث تبقى قاعدة المسمارين بارزة فوق المحلول كما في الشكل.
2. أصل أجزاء الدارة الكهربائيّة؛ بحيث أُثبّت طرف السلك المتّصل بالقطب الموجب للفولتميتر بقاعدة مسمار عند النقطة B قابل للحركة بين النقطتين (A و C).
3. **أتوقّع** كيف تتغيّر قراءة الفولتميتر كلّما تحرّك المسمار B نحو النقطة A بعد إغلاق الدارة.
4. **أُلاحظ:** أُغلقُ الدارة وأُحرّك رأس المسمار B أفقيًّا بخطّ مستقيم إلى نقطة تبعد (3 cm) عن النقطة C ($d = 3$ cm) وأُدوّن كلًّا من قراءة الفولتميتر والإزاحة d في الجدول.



5. أُكرّر الخطوة (4) مرات عدّة؛ بزيادة الإزاحة d مقدار (3 cm) في كل مرة ($d = 6, 9, \ldots 27$ cm)، وأُدوّن نتائجي في الجدول.

التحليل والاستنتاج:

1. **أرسمُ بيانيًّا** العلاقة بين الجهد الكهربائيّ (قراءة الفولتميتر) على محور y والإزاحة d على محور x؛ بحيث يكون الجهد بوحدة V (volt) والإزاحة بوحدة m (meter).
2. **أحسبُ** ميل الخط ($\frac{\Delta V}{\Delta d}$) بين النقطتين ($d = 9$ cm) و ($d = 21$ cm)؛ إذ يُمكن افتراض المجال بينهما منتظمًا، والعلاقة بين الجهد والإزاحة خطّية تقريبًا.
3. **أتنبّأ:** ما العلاقة بين ميل الخط ومقدار المجال الكهربائيّ؟
4. **أتوقّع** مصادر الخطأ المحتملة في التجربة.
5. **أُفسّر** اختيار مسطرة بلاستيكية وليس فلزّية.
6. **أُحلّل:** ما سبب استبعاد بداية الخط في الرسم البياني ونهايته؟

4 مصادر الخطأ: قراءة الفولتميتر (نتيجة عدم معايرته أو خطأ في طريقة القراءة)، قياس الإزاحة d.

5 لأن المسطرة البلاستيكية عازلة للكهرباء بعكس المسطرة الفلزية.

6 لأن الخط البياني ليس مستقيمًا في منطقتي البداية والنهاية، وميله غير ثابت، أي أن المجال لا يتغير بشكل خطّي مع المسافة في المنطقة القريبة من كلٍّ من المسمارين.

استراتيجية التقويم: التقويم المعتمد على الأداء. **أداة التقويم:** سُلَّم تقدير رقمي.

الرقم	مؤشر الأداء	التقدير			
		4	3	2	1
1	مراعاة تعليمات الأمان والسلامة العامة عند تنفيذ التجربة.				
2	التعاون مع أفراد المجموعة في تنفيذ خطوات التجربة.				
3	تنفيذ خطوات التجربة بدقة كما وردت في كتاب الأنشطة والتجارب.				
4	رسم العلاقة بين فرق الجهد والإزاحة على ورقة رسم بياني.				
5	التزام الوقت المحدد لتنفيذ التجربة.				
6	المحافظة على الأدوات المستخدمة في تنفيذ التجربة.				

تجربة استهلالية

الهدف: استقصاء العلاقة بين فرق الجهد الكهربائيّ والمجال الكهربائيّ عمليًّا.

زمن التنفيذ: 25 دقيقة.

إرشادات السلامة

الحذر في التعامل مع محلول كبريتات النحاس.

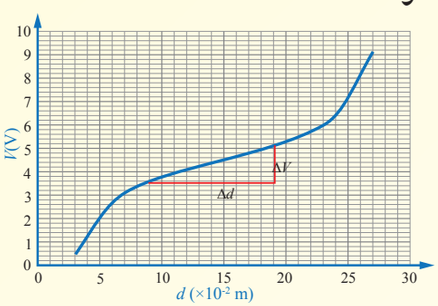
المهارات العلمية:

القياس، والملاحظة، والرسم، وتحليل البيانات وتفسيرها، والتنبؤ، وإجراء العمليات الحسابية.

الإجراءات والتوجيهات:

- أوجّه الطلبة إلى الاستعانة بكتاب الأنشطة والتجارب العملية عند إجراء التجربة، وقراءة خلفية التجربة العلمية.
- أنبّه الطلبة إلى التزام خطوات التجربة مرتبة مثلما وردت في كتاب الأنشطة والتجارب ، مع تأكيد ضرورة الحذر عند سكب محلول كبريتات النحاس في الحوض، وأن تكون المسطرة في قاع الحوض في وضع أفقي والمسامير مثبتة بالمسطرة في وضع عمودي.

النتائج المتوقعة:



من المتوقع أن تتوصل معظم المجموعات إلى النتيجة نفسها، وهي العلاقة الخطية بين فرق الجهد بين النقطتين B, C والبعد بينهما d عند قيم محددة لهذا البعد، مما يدل على أن المجال الكهربائي بين النقطتين منتظم.

التحليل والاستنتاج:

1 العلاقة بين فرق الجهد الكهربائي (قراءة الفولتميتر) والإزاحة d هي خط يبدأ منحنيًا ثم مستقيمًا ليعود منحنيًا، كما في الشكل:

2 ميل الخط المستقيم بين النقطتين ($d = 9$ cm $\rightarrow d = 21$ cm) يساوي: $\frac{\Delta V}{\Delta d} = \frac{V_2 - V_1}{d_2 - d_1} = \frac{5.2 - 3.5}{(19 - 9) \times 10^{-2}} = 17$

3 ميل الخط المستقيم يساوي المجال الكهربائي بين النقطتين؛ أي أن:

$$E = \frac{\Delta V}{\Delta d} = 17 \text{ N/C}$$

الدرس 1

الجهد الكهربائي لشحنة نقطية
Electric Potential of a Point Charge

1 تقديم الدرس

الفكرة الرئيسة:

- أوضح للطلبة أن الجهد الكهربائي هو أحد المفاهيم المرتبطة بالمجال الكهربائي، وتختلف قيمته باختلاف الموقع داخل المجال وقيمة المجال، فالجهد الكهربائي عند نقطة داخل مجال شحنة نقطية يعتمد على مقدار الشحنة وبُعد النقطة عنها.
- أوضح للطلبة أنه كما للجسم الموضوع في مجال الجاذبية الأرضية طاقة وضع ناشئة عن الجاذبية الأرضية، فإنه إذا وضعت شحنة في مجال كهربائي فإنها تكتسب طاقة وضع كهربائية، وعندما يُبذَل شغل لنقل الشحنة من نقطة إلى أخرى في المجال الكهربائي، فإن طاقة الوضع الكهربائية للشحنة تتغيّر.

الربط بالمعرفة السابقة:

- أذكّر الطلبة بمفهوم المجال الكهربائي، والفرق بين المجال المنتظم وغير المنتظم.
- أذكّر الطلبة بمفهوم القوة المحافظة وعلاقة الشغل الذي تبذله بطاقة الوضع.

2 التدريس

استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (1)، ثم أسألهم:

– ما مقدار القوة الخارجية اللازمة لرفع الجسم بسرعة ثابتة إلى ارتفاع ($\Delta y = h$) فوق سطح الأرض؟

$F = mg$

– ما العلاقة بين القوة الخارجية وقوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في الجسم؟

متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه.

– ما مقدار شغل القوة الخارجية المؤثرة في الجسم؟

$W = mgh$

– على ماذا يعتمد الشغل الذي تبذله القوة الخارجية؟

على وزن الجسم (mg) والارتفاع (h).

– ماذا يحدث للشغل الذي تبذله القوة الخارجية؟

يُختزَن في نظام (الجسم– الأرض) على شكل طاقة وضع ناشئة عن الجاذبية الأرضية.

بناء المفهوم:

الجهد الكهربائي لشحنة نقطية

- أوجّه انتباه الطلبة إلى دراسة الشكل (2) ومقارنته بالشكل (1)، ثمّ أسألهم:

– على ماذا يعتمد المجال الكهربائي الناشئ عن الشحنة (Q) عند نقطة؟

على مقدار الشحنة، وبعد النقطة عنها؛ إذ يتناسب المجال طرديًّا مع مقدار الشحنة، وعكسيًّا مع مربع البعد عنها.

– ما مقدار المجال الناشئ عن الشحنة عند اللانهاية (∞)؟ صفر.

ثمّ أوجه انتباه الطلبة إلى أنه اصطُلح على تسمية هذه النقطة باسم «النقطة المرجعية».

الفكرة الرئيسة:
الجهد الكهربائيّ عند نقطة ما والناشئ عن شحنة نقطية؛ يعتمد على كلّ من مقدار تلك الشحنة وبُعد النقطة عنها، أمّا الشغل المبذول في نقل شحنة من نقطة إلى أخرى في مجال كهربائيّ؛ فيعتمد على فرق الجهد الكهربائيّ بين النقطتين، ويُختزن على شكل طاقة وضع كهربائيّة.

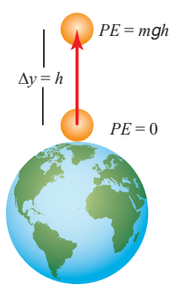
نتاجات التعلّم:
- أُعرّف الجهد الكهربائيّ بالكلمات وبمعادلة.
- أصف كمّيًّا الجهد الكهربائيّ عند نقطة في المجال الكهربائيّ لشحنة نقطية، أو مجموعة شحنات نقطية.
- أصف كمّيًّا فرق الجهد الكهربائيّ بين نقطتين في مجال كهربائيّ منتظم.
- أربطُ التغيّر في طاقة الوضع الكهربائيّة بالشغل الذي يبذله المجال في تحريك الشحنة من نقطة إلى أخرى، في المجال الكهربائيّ (المنتظم وغير المنتظم) رياضيًّا.

المفاهيم والمصطلحات:
جهد كهربائيّ Electric Potential
فرق الجهد الكهربائيّ Electric Potential Difference
طاقة الوضع الكهربائيّة Electric Potential Energy

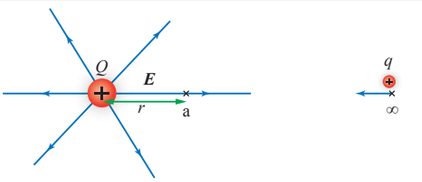
الجهد الكهربائيّ الناشيء عن شحنة نقطية
Electric Potential due to Point Charge

عند رفع جسم من سطح الأرض بسرعة ثابتة إلى ارتفاع $\Delta y = h$ فوق سطح الأرض، أُؤثّر بقوّة خارجية بعكس قوّة الجاذبية الأرضيّة، وشغل تلك القوّة يختزن في نظام (الجسم – الأرض) على شكل طاقة وضع ناشئة عن الجاذبيةالأرضيّة تعتمد على وزن الجسم والارتفاع (h)، أنظرُ إلى الشكل (1). بالمقابل هل يُبذل شغل لنقل شحنة كهربائية في مجال كهربائيّ؟ وهل يُختزن ذلك الشغل على شكل طاقة وضع كهربائية في نظام (المجال الكهربائيّ – الشحنة الكهربائيّة)؟

تعلمتُ في الوحدة السابقة أنّ شحنة كهربائيّة نقطية $+Q$ تولّد مجالًا كهربائيًّا حولها؛ يتناسب مقداره عكسيًّا مع مربّع البُعد عن تلك الشحنة، بحيث يُصبح صفرًا ($E = 0$) عند نقطة اللانهاية (∞) والتي اصطُلِح على تسميتها النقطة المرجعية. فإذا أردتُ نقل شحنة اختبار نقطية موجبة $+q$ من اللانهاية بسرعة ثابتة إلى نقطة ما مثل a تبعد مسافة r عن الشحنة النقطيّة $+Q$ كما



الشكل (1): شغل قوّة خارجية يُختزن على شكل طاقة وضع ناشئة عن الجاذبية الأرضيّة.



الشكل (2): نقل شحنة اختبار q من اللانهاية، إلى نقطة داخل المجال الكهربائيّ لشحنة نقطية Q.

في الشكل (2)؛ فإنّ ذلك يتطلّب بذل شغل W للتغلّب على قوّة التنافر الكهربائيّة بين الشحنتين، إذ يُختزن هذا الشغل على شكل **طاقة وضع كهربائيّة** **Electric Potential Energy (*PE*)** في نظام (مجال الشحنة Q – الشحنة q)، التي يُمكنني تعريفها بأنّها الشغل المبذول بوساطة قوّة خارجية؛ لنقل شحنة اختبار موجبة $+q$ بسرعة ثابتة من اللانهاية إلى نقطة في المجال الكهربائيّ للشحنة Q. وسنُشير في هذا الدرس إلى طاقة الوضع الكهربائيّة المختزنة في نظام (المجال الكهربائيّ – الشحنة q) بطاقة الوضع الكهربائيّة للشحنة q عند نقطة ما في مجال كهربائيّ.

ويُعطى الشغل W الذي تبذله القوّة الخارجية في نقل شحنة اختبار صغيرة موجبة $+q$ من اللانهاية إلى النقطة a بالعلاقة:

$$W = \frac{qQ}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

وبذلك؛ فإنّ الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنة الموجبة بسرعة ثابتة من اللانهاية إلى النقطة a في مجال الشحنة Q يُعطى بالعلاقة:

$$\frac{W}{q} = \frac{qQ}{4\pi\varepsilon_0 r}\frac{1}{q} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r}$$

وتُمثّل هذه العلاقة **الجهد الكهربائيّ** **Electric Potential (*V*)** عند نقطة ما، مثل a في المجال الكهربائيّ للشحنة Q، ويُعرّف بأنّه الشغل الذي تبذله قوّة خارجية لنقل وحدة الشحنة الموجبة بسرعة ثابتة من اللانهاية إلى تلك النقطة في المجال الكهربائيّ. ويُعبّر عنه رياضيًّا بالعلاقة (بافتراض الوسط هواء أو فراغ):

$$V = \frac{W}{q} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r} = k\frac{Q}{r}$$

حيث V: الجهد الكهربائيّ عند نقطة ما.

Q: مقدار الشحنة المولّدة للمجال الكهربائيّ.

r: بُعد النقطة عن الشحنة المولّدة للمجال.

k: ثابت التناسب.

أفكّر: إذا نُقِلت شحنة اختبار $+q$ بتسارع ثابت بوساطة قوّة خارجيّة من اللانهاية إلى نقطة في مجال كهربائيّ، فهل يساوي شغل القوّة الخارجية التغيّر في طاقة الوضع؟ أُوضّح اجابتي.

أفكّر:

- أستخدم **استراتيجية التفكير الناقد** للتوصل إلى الإجابة.
- أنبّه الطلبة إلى أنه للإجابة عن السؤال ينبغي التمييز بين الحركة بسرعة ثابتة والحركة بتسارع ثابت.

في الحالة الأولى تكون القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة تساوي صفرًا، وفي الحالة الثانية لا تساوي صفرًا.

- أوزع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة، ثمّ أطلب إلى أفراد كل مجموعة الإجابة عن سؤال (أفكر).
- أناقش الطلبة في إجاباتهم.

لا؛ لأنه إذا نقلت شحنة الاختبار بتسارع ثابت فإن محصلة القوتين الخارجية والكهربائية لا تساوي صفرًا، مما يؤدي إلى تغير في الطاقة الحركية للشحنة، وعليه فإن شغل القوة الخارجية لا يساوي التغير في طاقة الوضع الكهربائية للشحنة.

- أوضح للطلبة أنه بمقارنة الشكل (2) بالشكل (1)، فإنه يلزم بذل شغل على الشحنة (q) لنقلها بسرعة ثابتة من اللانهاية إلى النقطة (a)، وذلك للتغلب على قوة التنافر الكهربائية بين الشحنتين (Q، q)، ثمّ أسألهم:

– ماذا يحدث للشغل المبذول على الشحنة (q)؟

يُختزَن في نظام (المجال الكهربائي– الشحنة q) على شكل طاقة وضع كهربائية. ثمّ أطلب إلى الطلبة أن يعطوا تعريفًا لطاقة الوضع الكهربائية.

الشغل المبذول بوساطة قوّة خارجية؛ لنقل شحنة اختبار موجبة $+q$ بسرعة ثابتة من اللانهاية إلى نقطة في المجال الكهربائيّ للشحنة Q.

- أبيّن للطلبة أن طاقة الوضع الكهربائية لوحدة الشحنات، أو الشغل المبذول على وحدة الشحنات يمثّل ما يسمّى الجهد الكهربائيّ (V) عند نقطة، ويقاس بوحدة الفولت (V).

نشاط سريع

- أضع جسمًا على سطح الأرض، وأطلب إلى أحد الطلبة أن يقدّر طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية الأرضية بالنسبة إلى سطح الأرض. صفر.
- أرفع الجسم إلى ارتفاع (1 m) تقريبًا فوق سطح الأرض، ثمّ أطلب إلى أحد الطلبة أن يقدّر طاقة الوضع الجديدة الناشئة عن الجاذبية الأرضية. أسأل الطلبة: كيف اكتسب النظام طاقة وضع؟ لقد بُذل شغل على النظام عندما رُفع الجسم باتجاه معاكس لمجال الجاذبية الأرضية.
- أبيّن للطلبة أن هذا يماثل تحريك شحنة سالبة في مجال كهربائي باتجاه المجال أو تحريك شحنة موجبة باتجاه معاكس للمجال، فالشغل مطلوب لتحريك الشحنة في الحالتين كما هو مطلوب لرفع الجسم فوق سطح الأرض. بعد ذلك أطلب إلى الطلبة وصف ما يحدث إذا تركت الجسم حرًّا. يتسارع الجسم نحو سطح الأرض بفعل قوة الجاذبية الأرضية.
- أوضّح للطلبة أن هذه النتائج هي نفسها في المجال الكهربائي لو كان الجسم والأرض جُسيمَين لهما شحنتان مختلفتان.

◄ استخدام الصور والأشكال:

- أوجه الطلبة إلى دراسة الشكل (3). أوضّح لهم أن هذا الشكل يبيّن علاقة بيانية عكسيّة، ثم أسألهم:

– كم يبلغ الجهد الكهربائي في اللانهاية ($r \to \infty$)؟
صفرًا ($V\infty = 0$).

– متى يكون الجهد الكهربائي لنقطة في مجال شحنة نقطية موجبًا ومتى يكون سالبًا؟
يكون موجبًا عندما تكون الشحنة المولّدة للمجال موجبة، وسالبًا عندما تكون الشحنة المولّدة للمجال سالبة.

– كيف تتغيّر قيم الجهد في المنطقة المحيطة بالشحنة؟
قيمتها المطلقة تقل بالابتعاد عن الشحنة.

✓ أتحقّق:

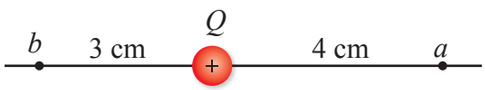
Q: مقدار الشحنة المولدة للمجال الكهربائي.
r: بعد النقطة عن الشحنة المولدة للمجال.
ε: السماحيّة الكهربائية للوسط.

مثال إضافي

شحنة كهربائيّة $Q = +0.08\ \mu C$ موضوعة في الهواء كما في الشكل، أحسب:

أ . الجهد الكهربائيّ عند كل من النقطتين (a, b).

ب. الفرق في الجهد الكهربائيّ بين النقطتين a و $b (Va - Vb)$



الحل:

أ . الجهد الكهربائيّ عند a (V_a):

$$V_a = k\frac{Q}{r_a} = 9 \times 10^9 \times \frac{0.08 \times 10^{-6}}{4 \times 10^{-2}}$$

$$= 1.8 \times 10^4\ V$$

الجهد الكهربائيّ عند b (V_b):

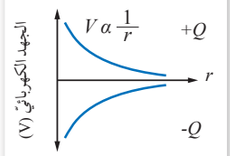
$$V_b = k\frac{Q}{r_a} = 9 \times 10^9 \times \frac{0.08 \times 10^{-6}}{3 \times 10^{-2}}$$

$$= 2.4 \times 10^4\ V$$

ب. الفرق في الجهد $(V_a - V_b)$:

$$Va - V_b = 1.8 \times 10^4 - 2.4 \times 10^4$$

$$= -6 \times 10^3\ V$$



الشكل (3): العلاقة بين الجهد الكهربائيّ عند نقطة، وبُعد النقطة عن الشحنة.

والجهد الكهربائيّ لنقطة يُعطى بالنسبة إلى نقطة مرجعية موجودة في اللانهاية جهدها يساوي صفرًا ($V_\infty = 0$). الجهد الكهربائيّ كمّية قياسية، ويُقاس بوحدة الفولت (volt) ويُرمز له بالرمز (V) حيث 1 V = 1 N.m/C؛ لذا يكون الجهد الكهربائيّ موجبًا عندما تكون الشحنة المولّدة للمجال موجبة، وسالبًا عندما تكون الشحنة المولّدة للمجال سالبة، ويُبيّن الشكل (3) التمثيل البياني للعلاقة بين الجهد الكهربائيّ عند نقطة وبُعد النقطة عن الشحنة في الحالتين: عندما تكون الشحنة موجبة وعندما تكون الشحنة سالبة.

✓ أتحقّق: ما العوامل التي يعتمد عليها الجهد الكهربائيّ عند نقطة ما، والناشئ عن شحنة نقطية؟

المثال 1

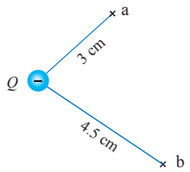
شحنة كهربائيّة $Q = -0.05\ \mu C$ موضوعة في الهواء كما في الشكل (4)، أحسبُ:

أ . الجهد الكهربائيّ عند النقطتين (a ,b).

ب . الفرق في الجهد الكهربائيّ بين النقطتين a و b $(V_a - V_b)$.

المعطيات: $Q = -0.05\ \mu C,\ r_a = 3\ cm,\ r_b = 4.5\ cm$

المطلوب: $V_a = ?,\ V_b = ?\ ,V_a - V_b = ?$



الشكل (4): الفرق في الجهد الكهربائيّ بين نقطتين.

الحلّ:

أ. الجهد الكهربائيّ عند a (V_a):

$$V_a = k\frac{Q}{r_a} = 9 \times 10^9\ \frac{-0.05 \times 10^{-6}}{3 \times 10^{-2}} = -1.5 \times 10^4\ V$$

الجهد الكهربائيّ عند b (V_b):

$$V_b = k\frac{Q}{r_b} = 9 \times 10^9\ \frac{-0.05 \times 10^{-6}}{4.5 \times 10^{-2}} = -1 \times 10^4\ V$$

ب . الفرق في الجهد $(V_a - V_b)$:

$$V_a - V_b = -1.5 \times 10^4 - (-1 \times 10^4) = -5 \times 10^3\ V$$

ماذا تعني الإشارة السالبة في مقدار الفرق في الجهد $(V_a - V_b)$؟

إجابة سؤال الشكل (1):

الإشارة السالبة تعني أن جهد النقطة a أقل من جهد النقطة b $(V_a < V_b)$.

أخطاء شائعة

يخلط بعض الطلبة أحيانًا بين مدلولات الرمزين (V) و (ΔV) من جهة والرمز (V) من جهة أخرى؛ لذا أبيّن للطلبة أن الرمز (V) يستخدم للجهد الكهربائي، في حين يستخدم الرمز (ΔV) لتغيّر الجهد الكهربائي، أو فرق الجهد الكهربائي، والذي يشار إليه أحيانًا بالفولتيّة Voltage، وأن كلًّا من (V) و (ΔV) يقاس بالفولت (V).

تمرين

شحنة كهربائيّة موضوعة في الهواء، والجهد الكهربائيّ الناشىء عنها عند نقطة (b) تبعد مسافة (0.08 m) عن تلك الشحنة يساوي (-4.5×10^3 V). أجيب عمّا يأتي:

أ . ما نوع الشحنة الكهربائيّة؟

ب. ما مقدار الشحنة الكهربائيّة؟ هل يقلّ الجهد أم يزداد عند النقطة (b) كلّما بعدت أكثر عن الشحنة؟

الجهد الكهربائيّ الناشىء عن عدّة شحنات نقطية

Electric Potential due to Point Charges

أفترض أنّ النقطة a تقع في مجال عدّة شحنات ($Q_1, Q_2, Q_3, \ldots$) وبما أنّ الجهد الكهربائيّ كمّية قياسية؛ فإنّ الجهد الكهربائيّ عند النقطة a يساوي المجموع الجبري للجهود الناشئة عن تلك الشحنات عند تلك النقطة:

$$V_a = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots.$$

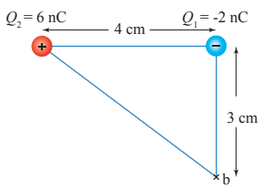
$$V_a = k\left(\frac{Q_1}{r_1} + \frac{Q_2}{r_2} + \frac{Q_3}{r_3} + \ldots.\right)$$

المثال 2

شحنتان موضوعتان في الهواء كما في الشكل (5). بناءً على البيانات المُبيّنة في الشكل، أحسبُ الجهد الكهربائيّ:

أ . عند النقطة (b).

ب . عند موقع الشحنة الأولى (الناشئ عن الشحنة الثانية).



الشكل (5): الجهد الكهربائيّ الناشئ عن شحنتين نقطيتين.

المعطيات: البيانات على الشكل.

المطلوب: $V_b = ?, V_1 = ?$

الحلّ: أ. جهد النقطة (b) الناشىء عن الشحنتين:

$$V_b = V_{b1} + V_{b2}, r_{b2} = \sqrt{(3^2 + 4^2)} = 5 \text{ cm}$$

$$V_b = k\left(\frac{Q_1}{r_{b1}} + \frac{Q_2}{r_{b2}}\right) = 9 \times 10^9 \left(\frac{-2 \times 10^{-9}}{3 \times 10^{-2}} + \frac{6 \times 10^{-9}}{5 \times 10^{-2}}\right) = 4.8 \times 10^2 \text{ V}$$

ب . الجهد عند موقع الشحنة الأولى (الناشئ عن الشحنة الثانية):

$$V_1 = k\frac{Q_2}{r_2} = 9 \times 10^9 \frac{6 \times 10^{-9}}{4 \times 10^{-2}} = 1.35 \times 10^3 \text{ V}$$

المناقشة:

- أوضّح للطلبة أن الجهد الكهربائي يمكن أن ينشأ عن شحنة نقطية واحدة أو عدّة شحنات نقطية، ثمّ أناقشهم في كيفية حساب الجهد الكهربائي عند نقطة a في مجال هذه الشحنات.
- أوجّه للطلبة الأسئلة الآتية:
  - ما النقطة المرجعية لقياس الجهد الكهربائي عند النقطة a؟ اللانهاية.
  - هل تُجمَع الجهود الكهربائية الناشئة عن الشحنات جمعًا قياسيًّا أم جمعًا متجهًا؟ ولماذا؟ جمعًا قياسيًّا؛ لأن الجهد الكهربائي كمية قياسية.
  - هل يمكن أن يكون الجهد الكلي في مجال الشحنات مساويًا الصفر؟ ومتى يكون ذلك؟ نعم؛ عندما تكون بعض الشحنات موجبة وبعضها الآخر سالبة (يكون هناك عدد كبير جدًّا من النقاط التي يكون جهدها مساويًا الصفر).
- أستمع لإجابات الطلبة ثم أناقشهم فيها.

تمرين

أ . نوع الشحنة سالبة؛ لأن الجهد الكهربائي الناشئ عنها سالب (-4.5×10^3 V).

ب.

$$V_b = k\frac{Q}{r_b}$$

$$-4.5 \times 10^3 = 9 \times 10^9 \frac{Q}{8 \times 10^{-2}}$$

$$Q = -4 \times 10^{-8} \text{ C}$$

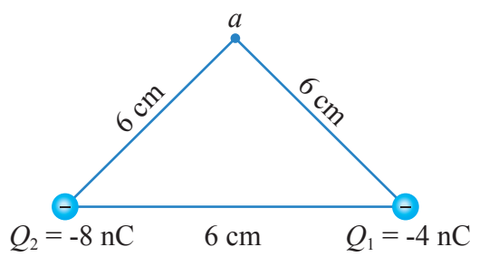
* يزداد الجهد الكهربائي بالابتعاد عن الشحنة السالبة.

مثال إضافي

شحنتان موضوعتان في الهواء كما في الشكل. بناءً على البيانات المثبّتة في الشكل، أحسب الجهد الكهربائيّ:

أ . عند النقطة (a).

ب. عند منتصف المسافة بين الشحنتين.



الحل:

أ. الجهد الكهربائي عند a (V_a):

$$V_a = k\left(\frac{Q_1}{r_{a1}} + \frac{Q_2}{r_{a2}}\right)$$

$$= 9 \times 10^9 \left(\frac{-4 \times 10^{-9}}{6 \times 10^{-2}} + \frac{-8 \times 10^{-9}}{6 \times 10^{-2}}\right)$$

$$= -1.8 \times 10^3 \text{ V}$$

ب. نفرض b عند منتصف المسافة بين الشحنتين:

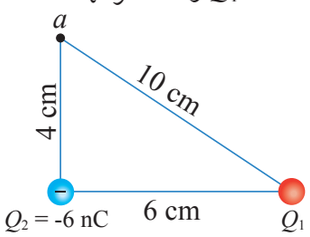
$$V_b = k\left(\frac{Q_1}{r_{d1}} + \frac{Q_2}{r_{d2}}\right)$$

$$= 9 \times 10^9 \left(\frac{-4 \times 10^{-9}}{3 \times 10^{-2}} + \frac{-8 \times 10^{-9}}{3 \times 10^{-2}}\right)$$

$$= -3.6 \times 10^3 \text{ V}$$

مثال إضافي

شحنتان موضوعتان في الهواء كما في الشكل. إذا علمت أن الجهد الكهربائيّ عند النقطة (a) يساوي صفرًا، فأجد مقدار الشحنة Q_1 وأحدد نوعها.



الحل:

$V_a = V_1 + V_2$

$0 = V_1 + V_2 \rightarrow V_1 = -V_2$

$k\frac{Q_1}{r_1} = -k\frac{Q_2}{r_2}$, $\frac{Q_1}{10} = -\frac{-6}{4}$

$Q_1 = +15$ nC

الشحنة موجبة.

تمرين

أ. نحسب الشحنة Q عن طريق الجهد الناشئ عنها عند b:

$V_b = k\frac{Q}{r_b}$

$360 = 9 \times 10^9 \frac{Q}{10 \times 10^{-2}}$

$Q = 4 \times 10^{-9}$ C $= 4$ nC

$2Q = 2 \times 4 = 8$ nC

مقادير الشحنات على الترتيب:

(4 nC, 8 nC, -4 nC).

ب. الجهد عند النقطة b يساوي مجموع الجهود الناشئة عن الشحنات الثلاث:

$V_b = V_Q + V_{2Q} + V_{-Q}$

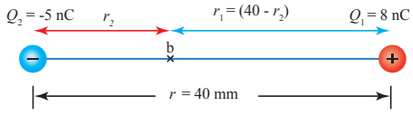
بما أن الشحنتين $(Q, -Q)$ تقعان على البعد نفسه من النقطة b، فإن مجموع الجهد الناشئ عنهما يساوي صفرًا، ويكون الجهد الكلي عند النقطة b مساويًا الجهد الناشئ عن الشحنة $(2Q)$ فقط. أي أن:

$V_b = V_{2Q} = 9 \times 10^9 \times \frac{8 \times 10^{-9}}{8 \times 10^{-2}}$

$= 900$ V

المثال 3

شحنتان موضوعتان في الهواء (-5 nC, 8 nC) والمسافة بينهما (40 mm). أجد بُعد نقطة عن الشحنة (-5 nC) تقع على الخطّ الواصل بين الشحنتين، بحيث يكون الجهد الكهربائيّ عندها يساوي صفرًا.



الشكل (6): جهد النقطة b بين الشحنتين يساوي صفرًا.

المعطيات: $Q_1 = 8$ nC, $Q_2 = -5$ nC, $r = 40$ mm, $V_b = 0$.

المطلوب: $r_2 = ?$

الحلّ:

أفترضُ نقطة مثل b تقع على بعد r_2 عن الشحنة الثانية، وعلى بعد r_1 عن الشحنة الأولى كما هو مُبيّن في الشكل (6)، والجهد الكهربائيّ عندها يساوي صفرًا. ومن ثمّ:

$V_b = V_1 + V_2$

$0 = V_1 + V_2 \Rightarrow V_1 = -V_2$

$k\frac{Q_1}{r_1} = -k\frac{Q_2}{r_2}$, $r_1 = 40 - r_2$

$\frac{8}{40 - r_2} = -\frac{-5}{r_2}$

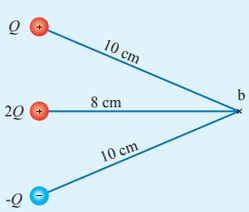
$8\,r_2 = 5(40 - r_2) \Rightarrow 13\,r_2 = 200 \Rightarrow r_2 = 15.4$ mm

تمرين

(3) شحنات كهربائيّة $(Q, 2Q, -Q)$ موضوعة في الهواء كما في الشكل، فإذا علمتُ أنّ الجهد الكهربائيّ الناشيء عن الشحنة Q عند النقطة b يساوي (360 V)؛ فأحسبُ:

أ. مقدار كلّ من الشحنات الكهربائيّة الثلاث.

ب. الجهد الكهربائيّ عند النقطة b.



أخطاء شائعة

يتعامل بعض الطلبة مع الجهد الكهربائي على أنه كمية متجهة، كما هو الحال للمجال الكهربائي؛ لذا أنبّه الطلبة إلى أن الجهد الكهربائي كمية قياسية، فهو يُجمع جمعًا جبريًّا وليس متجهًا.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: التحليل**

أخبر الطلبة أن تحليل السؤال إلى أبعاده الأساسية يسهّل فهمه، ومن ثم الوصول إلى الإجابة الصحيحة .

العلاقة بين الشغل والتغيّر في طاقة الوضع الكهربائيّة
Relation between Work and Electric Potential Energy

عند نقل شحنة اختبار q من نقطة إلى أخرى في مجال كهربائيّ، ما العلاقة التي تربط بين كلّ من الشغل المبذول بوساطة قوّة خارجية لنقل تلك الشحنة، وفرق الجهد الكهربائيّ بين النقطتين؟ وما علاقة كلّ منهما بالتغيّر في طاقة الوضع الكهربائيّة للشحنة q؟

نقل شحنة من اللانهاية إلى نقطة في مجال كهربائيّ
Transfer of a Charge from Infinity to a Point in the Electric Field

يؤدّي الشغل المبذول بوساطة قوّة خارجية؛ لنقل شحنة اختبار نقطية موجبة بسرعة ثابتة من اللانهاية، إلى نقطة ما في المجال الكهربائيّ، إلى تغيّر في طاقة الوضع الكهربائيّة للشحنة، ويرتبط هذا التغيّر مع شغل القوّة الخارجية بالعلاقة:

$$W = PE_f - PE_i(\infty)$$

وبما أنّ $PE_i(\infty) = 0$؛ فإنّ الجهد الكهربائيّ عند تلك النقطة يُعطى بالعلاقة الآتية:

$$V = \frac{W}{q} = \frac{PE_f}{q} = \frac{PE}{q}$$

لذا يُمكنني إعادة تعريف الجهد الكهربائيّ عند نقطة على النحو الآتي: طاقة الوضع الكهربائيّة لوحدة الشحنة عند تلك النقطة.

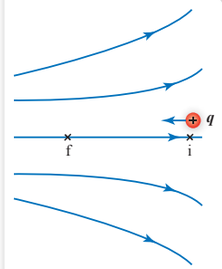
نقل شحنة من نقطة إلى أخرى في المجال الكهربائيّ
Transfer of a Charge from a Point to a Point in the Electric Field

عند نقل شحنة اختبار نقطية q بسرعة ثابتة من نقطة i إلى أخرى f كما في الشكل (7)؛ فإنّ الشغل المبذول بوساطة قوّة خارجية يساوي التغيّر في طاقة الوضع الكهربائيّة للشحنة، ويُعطى بالعلاقة الآتية:

$$W = \Delta PE = PE_f - PE_i$$

ومن ثمّ، فإنّ **فرق الجهد الكهربائيّ** Electric Potential Difference بين النقطتين (ΔV) يساوي التغيّر في طاقة الوضع الكهربائيّة للشحنة q عند انتقالها من نقطة إلى أخرى في المجال الكهربائيّ مقسومًا على الشحنة q، ويُعبّر عنه بصورة رياضية على النحو الآتي:

أُصمّم باستعمال برنامج السكراتش (Scratch) عرضًا يوضّح العلاقة بين الشغل المبذول بوساطة قوّة خارجية، والتغيّر في كلّ من طاقة الوضع الكهربائيّة والجهد الكهربائيّ مع أمثلة تطبيقية، ثم أُشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.



الشكل (7): نقل شحنة اختبار من نقطة إلى أخرى في المجال الكهربائيّ.

هل تقل طاقة الوضع الكهربائيّة للشحنة q عند نقلها من النقطة i إلى النقطة f؟

◄ استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (7)، ثم أسألهم: هل يلزم بذل شغل على الشحنة (q) لنقلها بسرعة ثابتة من النقطة (i) إلى النقطة (f)؟نعم، لماذا؟ للتغلب على القوة الكهربائية المؤثرة من المجال في الشحنة: $F = qE$ (واتجاهها نحو اليمين).
  - ماذا يحدث للشغل المبذول على الشحنة (q) لنقلها من النقطة (i) إلى النقطة (f)؟ يُختزن في النظام المكون من الشحنة والشحنة (الشحنات) المولدة للمجال على شكل طاقة وضع كهربائية، فتزداد طاقة الوضع الكهربائية للنظام.
  - هل النقطتان (i) و (f) متساويتان في الجهد؟ لا.
  - إذا لم تكونا كذلك فما فرق الجهد بينهما؟ التغيّر في طاقة الوضع الكهربائية لوحدة الشحنات والذي يساوي الشغل المبذول بواسطة قوة خارجية على وحدة الشحنات لنقلها بسرعة ثابتة بين النقطتين.
  - هل تبذل القوة الكهربائية شغلًا على الشحنة (q) أثناء انتقالها من النقطة (i) إلى النقطة (f)؟ نعم. وما علاقته بشغل القوة الخارجية؟ حسب مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركية)، فإن الشغل الكلي المبذول على الشحنة أثناء انتقالها بسرعة ثابتة يساوي صفرًا؛ لذا فإن شغل القوة الكهربائية يساوي سالب شغل القوة الخارجية.

◄ المناقشة:

- أذكّر الطلبة أنه لنقل شحنة اختبار بسرعة ثابتة من اللانهاية إلى نقطة في المجال الكهربائي، فإنه يلزم قوة خارجية لبذل شغل على الشحنة، وأن هذا الشغل يُغيّر من طاقة الوضع الكهربائية للشحنة.
- أناقش الطلبة في العلاقة بين الشغل المبذول على شحنة الاختبار والتغير في طاقة الوضع الكهربائية لها، وأنوّه بأن طاقة الوضع الكهربائية لشحنة الاختبار في اللانهاية تساوي صفرًا. ثمّ أوجّه لهم الأسئلة الآتية:
  - ما العلاقة بين شغل القوة الخارجية المبذول على شحنة الاختبار لنقلها بسرعة ثابتة من اللانهاية إلى نقطة في المجال ومقدار التغيّر في طاقة الوضع الكهربائية للشحنة؟ متساويان.
  - ما العلاقة بين شغل القوة الخارجية المبذول على شحنة الاختبار لنقلها بسرعة ثابتة من اللانهاية إلى نقطة في المجال وطاقة وضعها الكهربائية عند تلك النقطة؟ متساويان؛ لأن طاقة الوضع الكهربائية للشحنة في اللانهاية تساوي صفرًا.
  - بناء على تعريف الجهد الكهربائي عند نقطة في المجال، كيف يمكن تعريف الجهد بدلالة طاقة الوضع الكهربائية؟ طاقة الوضع الكهربائية لوحدة الشحنة عند تلك النقطة.

إجابة سؤال الشكل (7):

لا، تزداد؛ لأن القوة الخارجية تبذل شغلًا يُختزَن على شكل طاقة وضع كهربائية في النظام.

أوجّه الطلبة إلى عمل مقطع مرئي (فيلم) قصير باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضح العلاقة بين الشغل المبذول بوساطة قوّة خارجية، والتغيّر في كلّ من طاقة الوضع الكهربائيّة والجهد الكهربائيّ، مدعّمًا بالأمثلة التطبيقية والرسومات التوضيحية، ثم أنظّم عرضها أمامي وأمام الزملاء/ الزميلات في الصف.

أفكّر: أستخدم **استراتيجية التعلم التعاوني** للتفريق بين الجهد الكهربائي وطاقة الوضع الكهربائية.

- أكتب على السبورة مع التوضيح بالرسم السؤال الآتي: ما الفرق بين الجهد الكهربائي عند نقطة وطاقة الوضع الكهربائية لشحنة موضوعة عند تلك النقطة؟
- أوزع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة، ثمّ أوزع المهام والأدوار على أفراد كل مجموعة، وأطلب إليهم الإجابة عن السؤال خلال (5) دقائق.
- أتجوّل بين الطلبة أثناء أدائهم المهام المطلوبة للإجابة عن استفساراتهم، وللتأكد من أداء الجميع الأدوار المطلوبة إليهم.
- بعد انتهاء المهلة المحددة، أطلب إلى قائد كل مجموعة عرض ما توصلت إليه مجموعته أمام الصف.
- أنظم نقاشًا بين الطلبة للتوصل إلى الإجابة الصحيحة.

الجهد الكهربائي عند نقطة في مجال كهربائي لا يعتمد على الشحنة q الموضوعة عند تلك النقطة، وإنما يعتمد على المجال الكهربائي الموضوعة فيه تلك الشحنة، أما طاقة الوضع الكهربائية للشحنة الموضوعة عند تلك النقطة فتعتمد على كل من الشحنة والجهد الكهربائي عند تلك النقطة، والعلاقة التي تربط بينهما هي: $V = \frac{PE}{q}$.

المناقشة:

- أذكّر الطلبة بمفهوم القوة المحافظة، وأسألهم:
  - هل القوة الكهربائية قوّة محافظة؟ نعم، لماذا؟

لأن الشغل الذي تبذله على شحنة لنقلها بين نقطتين في المجال الكهربائي لا يعتمد على المسار الذي تسلكه الشحنة، وإذا أعيدت الشحنة إلى النقطة التي انطلقت منها (أي تحركت في مسار مغلق)، فإن الشغل الكلّي للقوة الكهربائية يساوي صفرًا.

  - ماذا يحدث لشحنة عندما توضع حرّة في مجال كهربائي؟

تتحرك بتأثير القوة الكهربائية فقط وباتجاهها.

  - ماذا يحدث لكل من طاقة الوضع الكهربائية والطاقة الحركية والطاقة الميكانيكية للشحنة؟

طاقة الوضع تقل، والطاقة الحركية تزداد، والطاقة الميكانيكية تبقى ثابتة.

ورقة العمل (1)

أوزع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة، ثم أزودهم بورقة العمل (1) الموجودة في الملحق، وأمنحهم وقتًا كافيًا للإجابة عليها، ومناقشة الإجابة ضمن المجموعة. ثم أكلف كل مجموعة بعرض إجاباتها، ومناقشتها مع الآخرين.

أفكّر: وُضِعت شحنة كهربائيّة عند نقطة في مجال كهربائيّ، أُفرّق بين الجهد الكهربائيّ وطاقة الوضع الكهربائية للشحنة الموضوعة عند تلك النقطة.

أبحثُ: للجهد الكهربائيّ تطبيقات كثيرة في المجالات المختلفة. مستعينًا بمصادر المعرفة الموثوقة والمتاحة ومنها شبكة الإنترنت، أبحثُ عن بعض تلك التطبيقات، وأعدّ عرضًا تقديميًّا أعرضه أمام طلبة الصف.

$$\Delta V = V_f - V_i = V_{if} = \frac{\Delta PE}{q}$$

حيث: V_i: الجهد الابتدائي عند النقطة التي نقلت منها الشحنة.

V_f: الجهد النهائي عند النقطة التي نقلت إليها الشحنة.

ومن ثمّ، فإنّ العلاقة التي تربط بين الشغل الذي تبذله قوّة خارجية، والتغيّر في طاقة الوضع وفرق الجهد عند نقل شحنة q من نقطة البداية i إلى نقطة النهاية f، تكون على الصورة الآتية:

$$W_{i\to f} = \Delta PE = PE_f - PE_i = q\Delta V = q(V_f - V_i)$$

أمّا شغل القوّة الكهربائيّة W^{elc} ؛ فإنّه يساوي سالب شغل القوّة الخارجية؛ أي إنّ:

$$W^{elc}_{i\to f} = -\Delta PE = -(PE_f - PE_i) = -q\Delta V = -q(V_f - V_i)$$

* نظام (المجال الكهربائيّ – الشحنة الكهربائيّة) نظام محافظ، والقوّة الكهربائيّة قوّة محافظة؛ فعندما تكون القوّة الكهربائيّة هي القوّة الوحيدة المؤثّرة في الشحنة؛ فإنّ مجموع الطاقة الميكانيكية للنظام ثابت. بمعنى: مجموع طاقة الوضع الكهربائيّة وطاقة الحركة يساوي مقدارًا ثابتًا، وهذا يعني أنّ المجموع الجبري للتغيّر في طاقة الحركة والتغيّر في طاقة الوضع الكهربائيّة يساوي صفرًا، ويُمكنني صياغة ذلك بالعلاقة:

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

فإذا تحرّكت شحنة نقطية (موجبة أو سالبة) تحت تأثير القوّة الكهربائيّة فقط وباتّجاهها؛ فإنّ ذلك يؤدي إلى نقصان طاقة الوضع الكهربائيّة المختزنة في الشحنة، مقابل زيادة مساوية في طاقتها الحركية.

أتحقّق: أصف العلاقة التي تربط بين الشغل الذي تبذله قوّة خارجية والتغيّر في طاقة الوضع الكهربائية، عند نقل بروتون بسرعةٍ ثابتةٍ من نقطة إلى أخرى بعكس اتجاه المجال. أيّ الجهدين أكبر، الجهد عند النقطة التي انتقل منها البروتون أم التي انتقل إليها؟

أتحقّق:

الشغل الذي تبذله قوة خارجية لنقل بروتون من نقطة i إلى أخرى f بعكس اتجاه المجال يساوي التغير في طاقة الوضع الكهربائية للبروتون (إذ تزداد طاقة وضع البروتون)؛ ومقدار الجهد عند النقطة التي انتقل إليها البروتون أكبر منه عند النقطة التي انتقل منها؛ إذ يزداد الجهد ($V_f > V_i$). ويُعطى شغل القوة الخارجية بالعلاقة:

$$W_{i\to f} = \Delta PE$$
$$= (PE_f - PE_i) = qV_{if} = q(V_f - V_i)$$

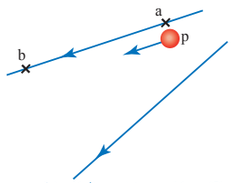
أبحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع مرئية (فيديوهات) تعليمية، أو عروض تقديمية عن تطبيقات الجهد الكهربائي، خاصة في مجالات: الطب والصناعة. ثمّ أشارك الطلبة في هذه المواد عن طريق صفحة المدرسة الإلكترونية، أو استخدام أحد التطبيقات المناسبة.

المثال 4

تحرّك بروتون من النقطة a إلى النقطة b باتجاه المجال الكهربائيّ كما في الشكل (8). إذا علمتُ أنّ فرق الجهد بين النقطتين ($V_b - V_a = -5$ V) وشحنة البروتون 1.6×10^{-19} C؛ فأحسبُ:

أ. شغل القوّة الكهربائيّة المبذول لتحريك البروتون من a إلى b.

ب. التغيّر في طاقة الوضع الكهربائيّة للبروتون.



الشكل (8): حركة بروتون في مجال كهربائيّ.

المعطيات: $q_p = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $V_b - V_a = V_{ab} = -5$ V

المطلوب: $W^{elc}_{a\to b} = ?$, $\Delta PE = ?$

الحلّ:

أ .

$$W^{elc}_{a\to b} = -qV_{ab} = (-1.6 \times 10^{-19}) \times -5 = 8 \times 10^{-19} \text{ J}$$

ب .

$$W^{elc}_{a\to b} = -\Delta PE \Rightarrow \Delta PE = -8 \times 10^{-19} \text{ J}$$

والإشارة السالبة تعني أنّ طاقة الوضع الكهربائيّة للبروتون، قلّت عند انتقاله من النقطة a إلى النقطة b.

المثال 5

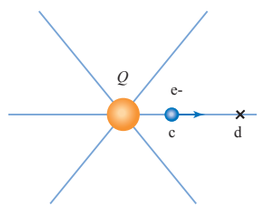
وُضِع إلكترون في وضع السكون عند النقطة c في المجال الكهربائيّ للشحنة Q؛ فتحرّك بفعل قوّة المجال الكهربائيّ للشحنة إلى النقطة d كما في الشكل (9) ليخسر من طاقة وضعه الكهربائيّة 3.2×10^{-18} J إذا علمتُ أنّ شحنة الإلكترون -1.6×10^{-19} C؛ فأُجيب عمّا يأتي:

أ . أُحدّد اتّجاه خطوط المجال الكهربائيّ.

ب . أحسبُ مقدار فرق الجهد بين النقطتين V_{cd}.

جـ . أيّهما أكبر، جهد النقطة c أم النقطة d؟

د . أحسبُ مقدار الشغل الذي بذلته القوّة الكهربائيّة في تحريك الإلكترون من النقطة c إلى النقطة d.



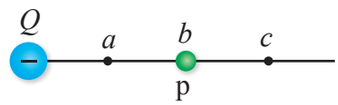
الشكل (9): إلكترون موضوع في مجال الشحنة Q.

المعطيات: $q_e = -1.6 \times 10^{-19}$ C, $\Delta PE = -3.2 \times 10^{-18}$ J

المطلوب: $V_{cd} = ?$, $W^{elc}_{c\to d} = ?$

مثال إضافي

شحنة نقطية ($Q = -4$ nC) موضوعة في الهواء. وضع عند النقطة b بروتون (p)، كما في الشكل. إذا علمت أن شحنة البروتون 1.6×10^{-19} C وأن النقطة (b) تبعد عن الشحنة مسافة (6 cm)، فأجيب عما يأتي:



أ . أحدّد بأي اتّجاه يتحرك البروتون.

ب. أحسب طاقة الوضع الكهربائية للبروتون عند النقطة b.

جـ. لأي النقطتين a أو c ينقل البروتون لزيادة طاقة وضعه الكهربائية؟

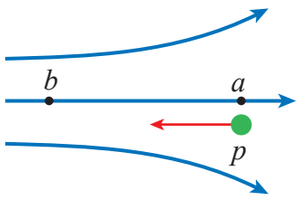
د . أرتّب النقاط (a, b, c) من الأعلى جهدًا إلى الأقل جهدًا.

الحل:

أ. تؤثر في البروتون قوة كهربائية يكون اتجاهها باتجاه المجال الكهربائي للشحنة (Q)، وبما أن الشحنة سالبة فإن المجال يكون باتجاه محور ($-x$)؛ لذا يتحرك البروتون باتجاه محور ($-x$).

مثال إضافي

يتحرك جسيم (P) مشحون في مجال كهربائي من النقطة a إلى النقطة b؛ فرق الجهد بينهما ($V_b - V_a = 10$ V) كما في الشكل. إذا علمت أن طاقة الوضع الكهربائية للجسيم نقصت بمقدار (6.4×10^{-18} J). فأجد:



أ . شحنة الجسيم (P).

ب. جهد النقطة a (V_a) إذا كان جهد النقطة b ($V_b = 4$ V).

جـ. شغل القوة الكهربائية المبذول لتحريك الجسيم من النقطة a إلى النقطة b.

الحل:

أ . شحنة الجسيم (P):

$$V_b - V_a = \frac{\Delta PE}{q} \rightarrow 10 = \frac{-6.4 \times 10^{-18}}{q},$$

$$q = -6.4 \times 10^{-19} \text{ C}$$

ب. جهد النقطة a (Va):

$$\Delta V = V_b - V_b, \; 10 = 4 - Va,$$

$$V_a = 4 - 10 = -6 \text{ V}$$

جـ. شغل القوة الكهربائية:

$$W^{elc}_{a\to b} = -\Delta PE$$

$$= -(-6.4 \times 10^{-18}) = 6.4 \times 10^{-18} \text{ J}$$

أو:

$$W^{elc}_{a\to b} = -q\Delta V$$

$$= -(-6.4 \times 10^{-19}) \times 10$$

$$= 6.4 \times 10^{-18} \text{ J}$$

ب. نحسب أولًا الجهد عند النقطة b:

$$V_b = k\frac{Q}{r_b} = 9 \times 10^9 \frac{-4 \times 10^{-9}}{6 \times 10^{-2}} = -600 \text{ V}$$

$$PE = q_P V_b = 1.6 \times 10^{-19} \times -600$$

$$= -9.6 \times 10^{-17} \text{ J}$$

جـ. إلى النقطة c؛ إذ تزداد طاقة الوضع الكهربائية للبروتون عند نقله باتجاه معاكس لاتجاه القوة الكهربائية، وبما أن القوة الكهربائية المؤثرة في البروتون باتجاه $(-x)$ فإنه لزيادة طاقة وضعه الكهربائية يُنقَل باتجاه $(+x)$، ويتم ذلك بفعل قوة خارجية.

د.

$$V_a < V_b < V_c$$

التعزيز:

- أذكّر الطلبة أن متجه المجال الكهربائي يشير دائمًا إلى اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة الاختبار الموجبة؛ لذا تتغير طاقة الوضع الكهربائية (PE) لشحنة عند انتقالها في المجال كما يظهر في الجدول الآتي:

اتجاه الانتقال	الشحنة الموجبة	الشحنة السالبة
باتجاه المجال	تفقد PE	تكسب PE
باتجاه معاكس للمجال	تكسب PE	تفقد PE

الربط بالعلوم الحياتية

أوجّه الطلبة للبحث في مصادر المعرفة الموثوقة عن خصائص أسماك الانقليس وأماكن تواجدها وأثر الصعقات التي تحدثها في الكائنات الحية الأخرى، والبحث أيضًا عن أنواع أخرى من الأسماك يمكنها إحداث صعقات كهربائية، مدعّمًا ذلك بالصور والمقاطع المرئية (الفيديوهات) التوضيحية، ومشاركته مع الطلبة.

الحلّ:

أ. بما أنّ شحنة الإلكترون سالبة؛ فإنّ حركته تكون بعكس اتّجاه المجال الكهربائيّ تحت تأثير القوّة الكهربائيّة. وبما أنّ الحركة من النقطة c إلى النقطة d بعكس اتّجاه المجال، أستنتجُ أنّ اتّجاه خطوط المجال نحو مركز الشحنة؛ ما يدلّ على أنّ الشحنة سالبة.

ب. $\Delta PE = qV_{cd}$

$$-3.2 \times 10^{-18} = -1.6 \times 10^{-19} \times V_{cd}$$

$$V_{cd} = 20 \text{ V}$$

جـ. بما أنّ $V_{cd} = V_d - V_c = 20$ فهذا يعني أنّ V_d أكبر من V_c إذ أنّ خط المجال يكون دائمًا باتّجاه تناقص الجهد.

د. $W^{elc}_{c\to d} = -qV_{cd} = -(-1.6 \times 10^{-19}) \times 20 = 3.2 \times 10^{-18}$ J

أو مباشرة من العلاقة: $W^{elc}_{c\to d} = -\Delta PE = -(-3.2 \times 10^{-18}) = 3.2 \times 10^{-18}$ J

الربط بالعلوم الحياتية

أسماك صاعقة تُنتج جهدًا كهربائيًّا يصل إلى 860 V

الأنقليس Eels أسماك تعيش في حوض الأمازون، عند ملامسة السطح السفلي لرأسها جسم الفريسة؛ فإنّه يتفاعل معها ويُنتج فرق جهد كهربائيّ يصل عند بعض الأنواع إلى 860 V على شكل صعقة كهربائيّة تُصيب الجهاز العصبي للفريسة بالشلل المؤقت، وهذه الميزة تستعملها تلك الأسماك وسيلة دفاع عن نفسها أيضًا.

أخطاء شائعة

يظن بعض الطلبة خطأً أن الجهد الكهربائي يقل بالابتعاد عن الشحنة وبصرف النظر عن نوعها؛ لذا أنبّه الطلبة إلى أن الجهد الكهربائي كمية قياسية، فهو يقل بالابتعاد عن الشحنة الموجبة، في حين أنه يزداد بالابتعاد عن الشحنة السالبة. (أي أن القيمة المطلقة للجهد تقل بالابتعاد عن الشحنة)، وهذا يتفق مع تباعد خطوط المجال بالابتعاد عن الشحنة.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **المهارات الحياتية: الحوار، والاتصال.**

أخبر الطلبة أن الحوار والاتصال من المفاهيم التي لها أهمية كبيرة في تبادل المعلومات بين أفراد المجموعة؛ سعيًا إلى بلوغ المعرفة العلمية إلى الطلبة كافة، وتوثيق مصادرها؛ إذ تعدّ عمليات بحث الطلبة في مصادر المعرفة المتاحة شكلًا من أشكال الاتصال بمصادر المعرفة، كما في موضوع الربط مع العلوم الحياتية.

فرق الجهد بين نقطتين في مجال كهربائيّ منتظم

Electric Potential Difference in a Uniform Electric Field

تعلمتُ سابقًا كيفية إيجاد فرق الجهد الكهربائيّ بين نقطتين في مجال كهربائيّ غير منتظم ناشئ عن شحنات نقطية، وأنّ المجال الكهربائيّ المنتظم ثابت مقدارًا واتّجاهًا عند النقاط جميعها. والآن، كيف يُمكنني إيجاد فرق الجهد الكهربائيّ بين نقطتين في مجال كهربائيّ منتظم؛ مثل المجال الكهربائيّ بين صفيحتين موصلتين متوازيتين مشحونتين، إحداهما شحنتها سالبة ($-Q$) والأُخرى شحنتها موجبة ($+Q$)، كما في الشكل (10)؟

عند وضع شحنة اختبار موجبة $+q$ عند نقطة ما مثل a في مجال كهربائيّ منتظم $\boldsymbol{E}$ كما في الشكل (10)، فإنّها تتأثر بقوّة كهربائيّة حسب العلاقة: $\boldsymbol{F} = q\boldsymbol{E}$، والشغل الذي تبذله القوّة الكهربائيّة لتحريك تلك الشحنة من النقطة a إلى النقطة b، يُعطى بالعلاقة:

$$W_{a\to b} = \boldsymbol{F}\cdot\boldsymbol{d}$$

حيث $\boldsymbol{d}$ الازاحة من النقطة a الى النقطة b. وبتعويض مقدار القوّة الكهربائيّة F فإنّ علاقة الشغل تؤول إلى:

$$W_{a\to b} = q\,\boldsymbol{E}\cdot\boldsymbol{d} = qEd\cos\theta$$

وكما تعلّمتُ سابقًا؛ يرتبط شغل القوّة الكهربائيّة بفرق الجهد الكهربائيّ بالعلاقة:

$$W_{a\to b} = -qV_{ab} = -q(V_b - V_a)$$

أستنتجُ من مساواة المعادلتين السابقين للشغل أنّ:

$$V_{ab} = (V_b - V_a) = -\boldsymbol{E}\cdot\boldsymbol{d}$$

أي إنّ: $$V_{ab} = (V_b - V_a) = -Ed\cos\theta$$

حيث E: مقدار المجال الكهربائيّ المنتظم.

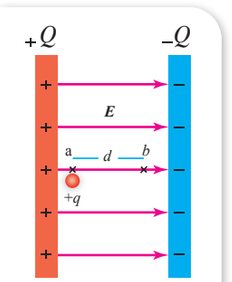
d: مقدار الإزاحة من النقطة a إلى النقطة b ($d_{a\to b}$).

θ: الزاوية بين اتّجاه المجال $\boldsymbol{E}$ وإتجاه الإزاحة $\boldsymbol{d}$ ($0^\circ < \theta < 180^\circ$).

$(V_b - V_a)$: فرق الجهد بين النقطتين a و b.

تربط هذه العلاقة بين مقدار المجال الكهربائيّ المنتظم وفرق الجهد؛ بحيث يُمكنني حساب مقدار المجال الكهربائيّ المنتظم بين صفيحتين البُعد بينهما d وفرق الجهد بينهما ΔV على النحو الآتي:

$$E = \frac{\Delta V}{d}$$



الشكل (10): مجال كهربائيّ منتظم بين صفيحتين موصلتين متوازيتين مشحونتين.

ما إشارة مقدار فرق الجهد V_{ab}؟

أفكّر ما وجه الشبه بين الشغل المبذول بوساطة القوّة الكهربائيّة لنقل شحنة كهربائيّة من نقطة إلى أخرى في مجال كهربائيّ باتجاه عموديّ على المجال، وبين الشغل المبذول بوساطة قوّة الجاذبية الأرضيّة عند نقل ثقل ما أفقيًّا من موقع إلى آخر على سطح الأرض؟

استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (10)، ثم أسألهم:

– بماذا يختلف المجال الكهربائي المنتظم عن المجال الكهربائي غير المنتظم الناشئ عن الشحنات النقطية؟

في أنه ثابت المقدار والاتجاه عند نقاطه كافة.

– ماذا يحدث لشحنة الاختبار الموجبة إذا وضعت عند النقطة a بين الصفيحتين؟

تتأثر بالقوة الكهربائية فتتحرك باتجاهها.

– هل يختلف مقدار أو اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة الاختبار إذا وضعت عند النقطة b؟

لا؛ لأن القوة الكهربائية التي تؤثر في شحنة تكون ثابتة المقدار والاتجاه بصرف النظر عن النقطة التي توضع عندها بين الصفيحتين (لأن المجال الكهربائي ثابت).

– على ماذا يعتمد شغل القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة الاختبار عند انتقالها من النقطة a إلى النقطة b؟

على مقدار كل من: القوة الكهربائية، والإزاحة d.

– هل تبذل القوة الكهربائية شغلًا على شحنة الاختبار إذا نقلت باتجاه عمودي على خطوط المجال؟

لا؛ لأن القوة الكهربائية تكون في هذه الحالة عمودية على الإزاحة.

– على ماذا يعتمد فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في المجال المنتظم؟

على مقدار المجال، ومقدار الإزاحة بين النقطتين، والزاوية بين اتجاه المجال واتجاه الإزاحة.

أفكّر: الشغل في الحالتين يساوي صفرًا؛ لأن الزاوية ما بين اتجاه المجال الكهربائي والإزاحة تساوي 90° ومن ثمّ $W = qEd\cos 90^\circ = 0$. كذلك الحال بالنسبة للزاوية بين اتجاه قوة الجاذبية (mg) العمودية والإزاحة الأفقية التي يتحركها الثقل تساوي 90° ومن ثمّ $W = (mg)d\cos 90^\circ = 0$.

إجابة سؤال الشكل (1):

إشارة مقدار فرق الجهد V_{ab} سالبة؛ حسب العلاقة:

$$V_{ab} = -Ed_{a\to b}\cos\theta$$
$$= -Ed_{a\to b}\cos 0 = -Ed_{a\to b}$$

معلومة إضافية

حسب تعريف فرق الجهد بين نقطتين، فإن فرق الجهد يُحسَب من قانون الشغل، فالعلاقة: $\Delta V = -\frac{W}{q}$ هي علاقة عامة تستخدم في حال كان المجال الكهربائي منتظمًا أو غير منتظم، إلا أن القوة الكهربائية للمجال المنتظم تكون ثابتة؛ لذا نستخدم قانون شغل القوة الثابتة لحساب فرق الجهد، أي أن العلاقة: $\Delta V = Ed$ هي علاقة خاصة تستخدم فقط للمجال المنتظم.

إضاءة للمُعلّم / للمعلّمة

الإلكترون فولت (eV).

للكميات المجهرية، تستخدم وحدة الإلكترون فولت (eV) لقياس الطاقة (الشغل)، وهي الطاقة التي تكتسبها (أو تفقدها) الشحنة الأساسية (إلكترون أو بروتون) عندما تتحرّك عبر فرق جهد كهربائي مقداره (1 V). وبما أن: 1 V = 1 J/C، وأن الشحنة الأساسية تساوي (1.6×10^{-19} C) فإن الإلكترون فولت يرتبط بالجول على النحو الآتي:

$$1\ \text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\ \text{C} \times 1\ \text{V}$$
$$= 1.6 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

وهذا يعني أن الإلكترون عندما يتحرّك عبر فرق جهد مقداره (10 V) فإنه يكتسب أو يفقد طاقة مقدارها (10 eV)، وعندما يتحرّك عبر فرق جهد مقداره (50 V) فإنه يكتسب أو يفقد طاقة مقدارها (50 eV)، ...، وهكذا. وبالمثل، فإن الأيونات التي تحمل شحنة تساوي مثلي شحنة الإلكترون، إذا تحركت عبر فرق جهد مقداره (100 V)، فإنها تكسب أو تفقد طاقة مقدارها (200 eV). هذه العلاقات البسيطة بين فرق الجهد وشحنات الجسيمات تجعل الإلكترون فولت وحدة طاقة بسيطة وسهلة الاستخدام في الظروف المشابهة.

أتحقّق:

E: مقدار المجال الكهربائي المنتظم.

d: مقدار الإزاحة بين النقطتين.

θ: الزاوية بين اتجاه المجال واتجاه الإزاحة.

أخطاء شائعة

يستخدم بعض الطلبة العلاقة الخاصة بحساب فرق الجهد في المجال الكهربائي المنتظم ($\Delta V = Ed$) لحساب الجهد الكهربائي عند نقطة في مجال الشحنة النقطية؛ إذ يحسب المجال E من العلاقة:

$$E = k\frac{Q}{r^2}$$

ثمّ يطبق على العلاقة ($\Delta V = Ed$)، وهذا غير صحيح؛ لأن مجال الشحنة النقطية غير منتظم، والعلاقة السابقة فقط صحيحة عندما يكون المجال الكهربائي منتظمًا.

إذ يتغيّر فرق الجهد ΔV بانتظام مع تغيّر الإزاحة d، وقد سبق وأستعملتُ هذه العلاقة عند إجرائي التجربة الاستهلالية حول العلاقة بين الجهد والمجال.

أتحقّق: ما العوامل التي يعتمد عليها فرق الجهد بين نقطتين في مجال كهربائيّ منتظم؟

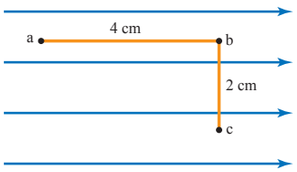
المثال 6

مجال كهربائيّ منتظم مقداره 2×10^4 V/m تقع داخله (3) نقاط:

(a, b, c) كما في الشكل (11)، أحسبُ:

أ. فرق الجهد الكهربائيّ V_{bc}، V_{ab}.

ب. الشغل المبذول من قِبَل القوّة الكهربائيّة؛ لنقل شحنة موجبة مقدارها 3×10^{-9} C من النقطة (a) إلى النقطة (b).



الشكل (11): (3) نقاط في مجال منتظم.

المعطيات: $d_{b\to c} = 2$ cm, $d_{a\to b} = 4$ cm, $q = 3 \times 10^{-9}$ C, $E = 2 \times 10^4$ V/m

المطلوب: $V_{bc} = ?$, $V_{ab} = ?$, $W_{a\to b} = ?$

الحلّ:

أ.

$$V_{ab} = -Ed_{a\to b}\cos\theta = -(2 \times 10^4)(0.04)\cos 0^\circ = -800\ \text{V}$$

$$V_{bc} = -Ed_{b\to c}\cos\theta = -(2 \times 10^4)(0.02)\cos 90^\circ = 0$$

وهذا يعني أنّ: $V_b = V_c$

ب.

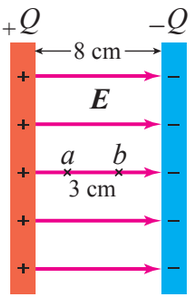
$$W_{a\to b} = -qV_{ab} = -3 \times 10^{-9} \times -800 = 2.4 \times 10^{-6}\ \text{J}$$

مثال إضافي

صفيحتان موصلتان متوازيتان مشحونتان بشحنتين مختلفتين ($+Q$, $-Q$) والبعد بينهما (8 cm) كما في الشكل. إذا علمت أن فرق الجهد بين النقطتين a و b ($V_{ab} = -60$ V)، فأحسب:

أ. مقدار المجال الكهربائي E.

ب. فرق الجهد الكهربائيّ بين الصفيحتين.



الحل:

أ. مقدار المجال الكهربائي E:

$$V_{ab} = -\text{Ed}_{a\to b}\cos\theta$$

$$-60 = -E \times 0.03 \cos 0^\circ,$$

$$E = 2000\ \text{N/C}$$

ب. فرق الجهد الكهربائيّ بين الصفيحتين:

$$\Delta V = (V_{+Q} - V_{-Q}) = -Ed_{-Q\to+Q}\cos\theta$$

$$= -2000 \times 0.08 \cos 180^\circ = 160\ \text{V}$$

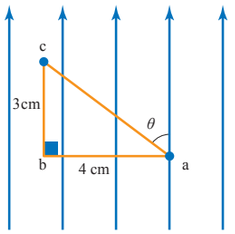
المثال 7

يُمثّل الشكل (12) مجالًا كهربائيًّا منتظمًا تقع داخله (3) نقاط (a,b,c). إذا علمتُ أنّ فرق الجهد الكهربائيّ بين b و c (V_{bc} = -600 V)؛ فأحسبُ:

أ. مقدار المجال الكهربائيّ.

ب. فرق الجهد الكهربائيّ ($V_c - V_a$).

جـ. هل تبذل القوّة الكهربائيّة شغلًا لنقل شحنة ما من النقطة a إلى النقطة b؟



الشكل (12): (3) نقاط في مجال منتظم.

المعطيات: $d_{a\to b}$ = 4 cm, $d_{b\to c}$ = 3 cm, V_{bc} = -600 V

المطلوب: E = ?, $(V_c - V_a)$ = ?

الحلّ:

أ.

$$V_{bc} = -Ed_{b\to c}\cos 0°$$

$$-600 = -E \times 0.03 \times 1$$

$$E = \frac{600}{0.03} = 2 \times 10^4 \text{ V/m}$$

ب . حسب فيثاغورس:

$$d_{a\to c} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ cm}$$

يُمكنني إيجاد V_{ac} عن طريق إحدى المسارين:

عن طريق المسار a→c :

$$V_{ac} = -Ed_{a\to c}\cos\theta$$

$$= -(2 \times 10^4) \times 0.05 \times \frac{3}{5} = -600 \text{ V}$$

أو عن طريق المسار a→b→c :

$$V_{ac} = V_{ab} + V_{bc} = 0 + 600 = -600 \text{ V}$$

أستنتجُ من ذلك، أنّ فرق الجهد الكهربائيّ بين نقطتين في مجال كهربائيّ منتظم لا يتغيّر بتغيّر المسار بين النقطتين؛ لأنّ القوّة الكهربائيّة قوّة محافظة شغلها لا يعتمد على المسار.

جـ . لا؛ لأنّ جهد النقطة (a) يساوي جهد النقطة (b) (V_{ab} = 0) ومن ثمّ: $W_{a\to b} = -qV_{ab} = 0$

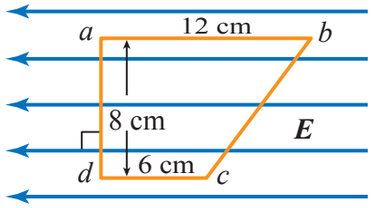
معلومة إضافية

يمكن عمل مقارنة بين فرق الجهد الكهربائي وفرق الجهد الناشئ عن الجاذبية الأرضية. أشرح للطلبة أن جهد الجاذبية Gravitational Potential هو طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية لكل وحدة كتلة، أما الجهد الكهربائي فهو طاقة الوضع الكهربائية لكل وحدة شحنة. ثم أطلب إلى الطلبة تخيّل حمل كتاب إلى الطابق الثاني من مبنى المدرسة، فيكون التغيّر في طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية للكتاب هو mgh. ومن ثمّ، فإن التغيّر في جهد الجاذبية (فرق جهد الجاذبية) هو: $\frac{mgh}{m}$ ، أو gh.

أشير إلى أن جهد الجاذبية هذا مستقل عن كتلة الكتاب؛ فهو يعتمد فقط على المجال الجاذبي والتغير في الارتفاع. وبالمثل في المجال الكهربائي المنتظم، يعتمد فرق الجهد الكهربي فقط على المجال وعلى التغيير في الموقع، كما يتضح من معادلة فرق الجهد في المجال الكهربائي المنتظم ($\Delta V = Ed$).

مثال إضافي

يمثل الشكل مجالًا كهربائيًّا منتظمًا مقداره ($E = 4 \times 10^3$ V/m) تقع داخله (4) نقاط (a,b,c,d). أجيب عما يأتي:



أ . أي النقاط (a,b,c,d) هي الأعلى جهدًا؟

ب. أحسب فرق الجهد الكهربائي V_{bc}.

جـ. الشغل المبذول من القوة الكهربائية على إلكترون لنقله من النقطة a إلى النقطة b. علمًا أن شحنة الإلكترون ($q_e = -1.6 \times 10^{-19}$ C).

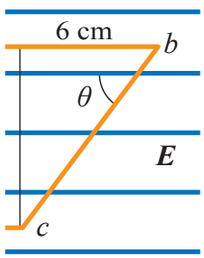
الحل:

أ . النقطة b؛ إذ إن الجهد الكهربائي يتناقص مع اتجاه المجال.

ب. فرق الجهد الكهربائي V_{bc}:

$$V_{bc} = V_c - V_b = -Ed_{b\to c}\cos\theta$$

حيث θ: الزاوية بين $d_{b\to c}$ واتجاه المجال كما يظهر في الشكل المجاور:



$$\cos\theta = \frac{0.06}{d_{b\to c}}$$

$$V_{bc} = -4 \times 10^3 {}_{db\to c}\,\frac{0.06}{d_{b\to c}}$$

$$= -240 \text{ V}$$

والإشارة السالبة تعني أن $V_b > V_c$.

جـ.

$$W^{elc}{}_{a\to b} = -q_e V_{ab} = q_e Ed_{a\to b}\cos\theta$$

$$= (-1.6 \times 10^{-19}) \times 4 \times 10^3 \times 0.12 \cos 180°$$

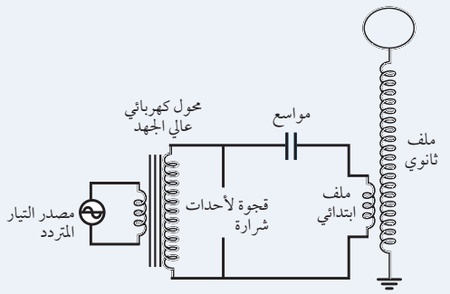
$$= 7.68 \times 10^{-17} \text{ J}$$

الربط بالحياة

أوجّه الطلبة للبحث في مصادر المعرفة الموثوقة عن أهمية ملف تسلا في مجال الصناعات الحديثة، وتطبيقاته العملية، وأنوّه لهم باستعراض بعض من التصميمات المختلفة لملف تسلا، مدعمين ذلك بالصور والمقاطع المرئية (الفيديوهات) التوضيحية، ومشاركته مع الزملاء/ الزميلات في الصف.

إضاءة للمُعلِّم / للمعلِّمة

ملف تسلا: محول رنيني عالي الجهد، يتكون في أحد أشكاله من الأجزاء الرئيسة الموضحة في الشكل الآتي:



يستمد المحول الكهربائي فرق جهد (120 V) أو (240 V) من مصدر للتيار المتردد، ويحوّله إلى أكثر من (10^4 V)، إذ تُستخدَم الطاقة الناتجة لشحن المواسع، وعندما يصل فرق الجهد بين طرفي المواسع إلى حد معين (يكفي لإحداث شرارة عبر الفجوة)، فإن المواسع يبدأ تفريغ كامل طاقته، فتنطلق شرارة كهربائية عبر الفجوة تؤيّن الهواء، فيصبح أكثر قدرة على التوصيل، فتكمل الفجوة دارة قصر كهربائية تتكون من المواسع والملف الابتدائي والفجوة.

تحدث عملية شحن المواسع وإطلاق الشرارة بسرعة كبيرة، وتتكرر هذه العملية بتردد يتراوح من (120 Hz) إلى أكثر من (1000 Hz)، وينتج من ذلك أن يتولد حول الملف الثانوي مجال مغناطيسي حثي ينشأ عنه فرق جهد كهربائي عالٍ يتراوح من (50 kV)، عندما يكون عدد لفات الملف الثانوي قليلًا، إلى عدة ملايين من الفولتات، عندما يكون عدد لفات الملف الثانوي كبيرًا، وبتيار كهربائي منخفض المقدار عالي التردد.

الربط بالحياة

ملفّ تسلا Tesla Coil

ملفّ تسلا جهاز اخترعه العالم الكرواتي نيكولا تسلا عام 1891 م، يولّد الملفّ جهدًا كهربائيًّا عاليًا جدًّا يُمكن أن يصل إلى مليون فولت، ويُمكن عن طريقه نقل الطاقة الكهربائيّة لاسلكيًّا (مثل إضاءة مصباح فلورسنت قريب منه كما في الشكل (13/ أ)). يعمل ملفّ تسلا على تخزين الطاقة الكهربائيّة على شكل طاقة وضع كهربائيّة، تُطلق في صورة شرارة تُشبه البرق.

يُستعمل ملفّ تسلا بوصفه ملفّ اشتعال في آلات الاحتراق الداخلي كالسيّارات، ولا يزال يُستعمل بشكل أو بآخر في بعض الأجهزة والأنظمة؛ فالراديو والتلفاز يستعملان نوعًا مصغّرًا من ملفّات تسلا، كما يُمكن استعماله في توليد الأشعة السينية والأنوار الفسفورية، بالإضافة إلى استعماله في العروض التعليمية وفي مجال الترفيه لإنشاء البرق الاصطناعي كما في الشكل (13/ ب). لكنّه يُشكّل خطورة على الأجهزة الكهربائيّة القريبة منه؛ لذا يجب أخذ احتياطات الأمن والسلامة.

الشكل (13):
(أ) إضاءة مصابيح الفلورسنت عن بعد.
(ب) عروض ترفيهية.

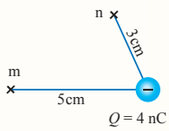
القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **المهارات الحياتية: الابتكار.**

أخبر الطلبة أن الابتكار هو نتاج تفاعل الفرد مع خبراته، ومن خلال تفكيره بطرق جديدة بعيدًا عن التفكير الروتيني، بحيث يكون قادرًا على تطوير فكرة أو تصميم بطريقة أفضل وأيسر، لإنتاج شيء جديد خارج عن المألوف. كما في الجهاز الذي اخترعه العالم تسلا، الذي كان له دور كبير في تطوير الصناعات الحديثة.

مراجعة الدرس

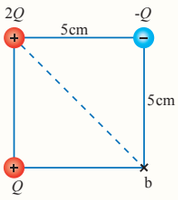
1. **الفكرة الرئيسة:** أُوضّح المقصود بكلّ من المفاهيم الآتية: جهد نقطة في مجال كهربائيّ، فرق الجهد بين نقطتين في مجال كهربائيّ.
2. **أُحلّل:** ماذا نعني بقولنا الجهد الكهربائيّ عند نقطة 5 فولت؟
3. **التفكير الناقد:** نقطتان لهما الجهد الكهربائيّ نفسه. هل هذا يعني أنّه لا أحتاج إلى بذل شغل لنقل شحنة من إحدى النقطتين إلى الأُخرى؟ أُوضّح إجابتي.
4. **أستعملُ المتغيّرات:** شحنة كهربائيّة سالبة مقدارها (4 nC) موضوعة في الهواء، والنقطة m تبعد عنها (5 cm) والنقطة n تبعد عنها (3 cm) كما في الشكل. أحسبُ:



أ. فرق الجهد بين النقطتين ($V_m - V_n$).

ب. الشغل الذي تبذله القوّة الكهربائيّة لنقل بروتون من النقطة m إلى النقطة n؟

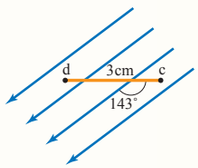
5. **أستعملُ المتغيّرات:** (3) شحنات نقطية موضوعة في الهواء، وموزّعة على رؤوس مربّع طول ضلعه (5 cm) كما في الشكل. إذا علمتُ أنّ الجهد الكهربائيّ عند النقطة b يساوي (400 V)؛ فأحسبُ:



أ. مقدار الشحنة Q.

ب. التغيّر في طاقة الوضع الكهربائيّة لإلكترون عند نقله من اللانهاية إلى النقطة b.

6. **أستعملُ المتغيّرات:** قطرة زيت مشحونة اكتسبت طاقة وضع كهربائيّة مقدارها 1.6×10^{-16} J خلال تحرّكها مسافة (3 cm) في مجال كهربائيّ منتظم مقداره 2×10^4 V/m، أحسبُ شحنة قطرة الزيت.
7. **أستعملُ المتغيّرات:** نقطتان c و d في مجال كهربائيّ منتظم مقداره 3×10^3 V/m كما في الشكل، أحسبُ:



أ. فرق الجهد الكهربائيّ V_{cd}.

ب. الشغل المبذول بوساطة قوّة خارجية لنقل بروتون من النقطة d إلى النقطة c بسرعة ثابتة، علمًا بأنّ شحنة البروتون 1.6×10^{-19} C

3 التقويم

إجابات أسئلة مراجعة الدرس

1 جهد نقطة في مجال كهربائي: الشغل الذي تبذله قوّة خارجية لنقل وحدة الشحنة الموجبة بسرعة ثابتة، من اللانهاية إلى تلك النقطة في المجال الكهربائي.

فرق الجهد بين نقطتين في مجال كهربائي: التغيّر في طاقة الوضع الكهربائية للشحنة q؛ عند انتقالها من نقطة إلى أخرى في المجال الكهربائي مقسومًا على الشحنة q.

2 الشغل الذي تبذله قوّة خارجية لنقل وحدة الشحنة الموجبة بسرعة ثابتة، من اللانهاية إلى تلك النقطة يساوي 5 J.

3 بما أن النقطتين متساويتان في الجهد فإن فرق الجهد بينهما يساوي صفرًا ($\Delta V = 0$)، وبتطبيق العلاقة $W = q\Delta V = 0$ فإن الشغل يساوي صفرًا؛ أي لا أحتاج لبذل شغل.

4 أ.

$$V_m - V_n = k\left(\frac{Q}{r_m} - \frac{Q}{r_n}\right)$$

$$V_m - V_n = 9 \times 10^9 \left(\frac{-4 \times 10^{-9}}{5 \times 10^{-2}} - \frac{-4 \times 10^{-9}}{3 \times 10^{-2}}\right)$$

$$= 9 \times \left(\frac{-1200 + 2000}{15}\right)$$

$$= 480 \text{ V}$$

ب.

$$W_{m \to n} = -q(V_n - V_m)$$

$$= -1.6 \times 10^{-19} \times (-480)$$

$$= 7.68 \times 10^{-17} \text{ J}$$

5 أ. المسافة بين الشحنة $2Q$ والنقطة b (r_{2Q}):

$$r_{2Q} = \sqrt{5^2 + 5^2} = \sqrt{50} \text{ cm}$$

$$V_b = V_Q + V_{2Q} + V_{-Q}$$

$$400 = 9 \times 10^9 \left(\frac{Q}{5 \times 10^{-2}} + \frac{2Q}{\sqrt{50 \times 10^{-2}}} + \frac{-Q}{5 \times 10^{-2}}\right)$$

$$= 9 \times 10^9 \left(\frac{2Q}{\sqrt{50} \times 10^{-2}}\right)$$

$$Q = 1.57 \times 10^{-9} \text{ C}$$

ب.

$$\Delta PE = q(V_b - V_\infty)$$

$$= -1.6 \times 10^{-19} (400 - 0)$$

$$= -6.4 \times 10^{-17} \text{ J}$$

6

$$E = \frac{\Delta V}{d}$$

$$2 \times 10^4 = \frac{\Delta V}{3 \times 10^{-2}} \Rightarrow \Delta V = 600 \text{ V}$$

$$\Delta PE = q\Delta V$$

$$1.6 \times 10^{-16} = q \times 600$$

$$q = 2.7 \times 10^{-19} \text{ C}$$

7 أ.

$$V_{cd} = V_d - V_c = -Ed_{c \to d} \cos\theta$$

$$= -(3 \times 10^3)(3 \times 10^{-2}) \cos 37°$$

$$= -72 \text{ V}$$

ب.

$$V_{dc} = -V_{cd} = 72 \text{ V}$$

$$W_{d \to c} = qV_{dc} = 1.6 \times 10^{-19} (72)$$

$$= 1.15 \times 10^{-17} \text{ J}$$

الدرس 2

الجهد الكهربائي لموصل مشحون
Electric Potential of a Charged Conductor

1 تقديم الدرس

◄ الفكرة الرئيسة:

- أوضح للطلبة أن للموصل الكروي المشحون جهدًا كهربائيًّا يعتمد على موقع النقطة التي يحسب الجهد عندها؛ فالجهد داخل الموصل مقداره ثابت، أما الجهد خارجه فيتغير مقداره بتغير البعد عن مركز الموصل.

◄ الربط بالمعرفة السابقة:

- أذكّر الطلبة بما تعلموه عن المجال الكهربائي لموصل كروي مشحون، فأرسم شكلًا يوضح موصلًا كرويًّا مشحونًا بشحنة موجبة موزعة على سطحه بانتظام، وأسأل:

– ماذا يسمى الحيّز المحيط بالموصل؟ مجال كهربائي.

– كيف يُحسَب المجال الكهربائي عند نقطة خارج الكرة؟ باستخدام العلاقة الخاصة بحساب المجال الكهربائي الناتج من شحنة نقطية.

– ما مقدار المجال داخل الكرة؟ صفر.

- أخبر الطلبة أنهم سيتعلمون وصف وحساب الجهد الكهربائي للموصل الكروي المشحون بطريقة مشابهة لما تعلموه عن حساب الجهد الكهربائي للشحنة النقطية.

2 التدريس

◄ استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (14)، ثم أسألهم:

– هل شكل الموصل منتظم أم غير منتظم؟ غير منتظم.

– أين تستقر الشحنات الفائضة التي اكتسبها الموصل؟ على سطح الموصل بحيث تكون قوى التنافر بينها أقل ما يمكن.

– هل تتوزع الشحنات على سطح الموصل بانتظام؟ لا.

– في أي المناطق تكون الكثافة السطحية للشحنة أكبر؟ عند الرأس المدبب.

– بماذا يختلف الموصل في الشكل (15) عن الشكل (14)؟ في الشكل (15) الموصل كروي ذو شكل منتظم، أما الموصل الأول فشكله غير منتظم.

– كيف تتوزع الشحنة على سطح الكرة؟ بانتظام

◄ الفكرة الرئيسة:

الجهد الكهربائيّ داخل موصل كروي مشحون يكون ثابتًا، بينما يتغيّر خارج الموصل بتغيّر البعد عن مركزه، ويُعدّ سطح الموصل الكروي سطح تساوي جهد.

◄ نتاجات التعلّم:

- أصف الجهد الكهربائيّ داخل موصل كروي مشحون وخارجه، وأُعبّر عنه بعلاقات رياضية.
- أصف سطوح تساوي الجهد الكهربائيّ المحيطة بموصل كروي.
- أحسبُ الجهد الكهربائيّ داخل موصل كروي مشحون وخارجه.

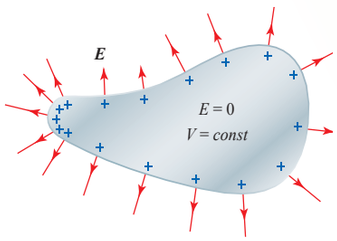
◄ المفاهيم والمصطلحات:

سطح تساوي الجهد
Equipotential Surface

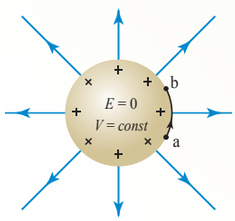
الجهد الكهربائيّ لموصل كروي مشحون
Electric Potential of a Charged Spherical Conductor

عندما يكتسب موصل معزول شحنة كهربائيّة فائضة؛ فإنّ الشحنات تتباعد عن بعضها وتستقر على السطح الخارجي للموصل؛ بحيث تكون قوى التنافر بينها أقلّ ما يكون، ويختلف توزيع الشحنات حسب شكل الموصل، فإذا كان الموصل غير منتظم الشكل كما في الشكل (14)؛ فإنّ الكثافة السطحية للشحنة تكون أكبر عند الرؤوس المدببة؛ حيث تتقارب الشحنات وكذلك خطوط المجال الكهربائيّ، وإذا كان الموصل منتظم الشكل مثل الموصل الكروي في الشكل (15)؛ فإنّ الكثافة السطحية للشحنة تكون ثابتة؛ إذ تتوزّع الشحنات بانتظام وكذلك خطوط المجال الكهربائيّ.

وسندرس في هذا الدرس الجهد الكهربائيّ خارج موصل كروي، وعلى سطحه، وفي داخله على النحو الآتي:



الشكل (14): توزيع الشحنات وخطوط المجال الكهربائيّ لموصل مشحون غير منتظم الشكل.



الشكل (15): توزيع الشحنات وخطوط المجال الكهربائيّ لموصل كروي مشحون.

– ما مقدار المجال الكهربائي داخل الموصلين الموضحين في كلا الشكلين؟ صفر.

– في أي الحالتين يكون الجهد داخل الموصل ثابتًا؟ في الحالتين.

◄ المناقشة:

- أستمع لإجابات الطلبة، ثم أوضح لهم الفرق بين توزيع الشحنات على سطح الموصل غير منتظم الشكل، عن الموصل الكروي.
- أذكّر الطلبة بأن المجال داخل الموصل يساوي محصلة متجهات المجال الناتجة من الشحنات كافة المستقرة على سطحه، ويساوي صفرًا. أما الجهد الكهربائي داخل الموصل المشحون فلا يساوي صفرًا، ويكون مقداره ثابتًا. وأخبرهم أنهم سيتعلمون حساب الجهد الكهربائي داخل الموصل الكروي المشحون وخارجه.

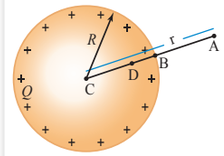
الجهد الكهربائيّ خارج موصل كروي مشحون
Electric Potential Outside a Charged Spherical Conductor

تعلمتُ سابقًا وعن طريق قانون غاوس، أنّ المجال الكهربائيّ خارج موصل كروي مشحون بشحنة Q، يُماثل تمامًا المجال الكهربائيّ الناشيء عن شحنة نقطية مساوية لشحنة الموصل وموضوعة في مركزه. وكذلك الحال عند حساب الجهد الكهربائيّ الناشيء عن موصل كروي مشحون بشحنة Q؛ فإنّنا نُعدّ الشحنة كأنّها مجمّعة في مركز الموصل.

وعليه، فإنّ جهد أيّ نقطة (مثل A) تبعد مسافة $(r > R)$ عن مركز موصل كروي مشحون بشحنة Q كما في الشكل (16) يُعطى بالعلاقة:

$$V = k\frac{Q}{r}$$

حيث r: بُعد النقطة عن مركز الموصل الكروي وتقع خارجه.



الشكل (16): الجهد الكهربائيّ لموصل كروي مشحون.
أُقارن بين الجهد الكهربائيّ للنقاط (D, B, A).

الجهد الكهربائيّ على سطح موصل كروي مشحون
Electric Potential at the Surface of a Charged Spherical Conductor

بما أنّ الشحنات مستقرّة على سطح الموصل كما في الشكلين (14 - 15)، ما يعني أنّ القوّة المحصّلة المؤثّرة في كلّ شحنة تساوي صفرًا، وبما أنّ خطوط المجال الكهربائيّ خارج الموصل تكون عمودية على سطح الموصل؛ فإنّ المجال الكهربائيّ لا يبذل شغلًا عند نقل شحنة من نقطة مثل a إلى أُخرى مثل b على سطح الموصل في الشكل (15). وعليه، فإنّ فرق الجهد بين أي نقطتين على سطح الموصل يساوي صفرًا، ما يعني أنّ النقاط جميعها على سطح الموصل لها الجهد نفسه. وبتطبيق العلاقة:

$$V = k\frac{Q}{r}$$

على أيّ نقطة على سطح الموصل الكروي $(r = R)$؛ فإنّ الجهد الكهربائيّ يُعطى بالعلاقة:

$$V = k\frac{Q}{R}$$

حيث V: جهد نقطة على سطح الموصل (يُساوي جهد الموصل).
Q: شحنة الموصل الكروي.
R: نصف قطر الموصل.

أفكّرُ: عند نقل شحنة بين نقطتين على سطح موصل كروي مشحون؛ فإنّ التغيّر في طاقة الوضع الكهربائيّة لتلك الشحنة يساوي صفرًا. أُفسّر ذلك.

إضاءة للمُعلِّم / للمعلِّمة

يعطى فرق الجهد بين نقطتين في مجال كهربائي بالعلاقة:

$$\Delta V = -\int_A^B E.\,ds$$

بتطبيق هذه العلاقة على نقطتين (A) و (B) تقعان على سطح موصل مشحون، وبما أن خطوط المجال الكهربائي تكون عمودية على سطح الموصل فإن المجال (E) يكون دائمًا عموديًّا على الإزاحة (ds)، ومن ثمّ فإن:

$$V_B - V_A = -\int_A^B E.\,ds = 0$$

أي أن $(V_B - V_A = 0)$، وهذا يعني أن النقاط كافة على سطح الموصل متساوية في الجهد.

معلومة إضافية

عند الرؤوس المدببة، إذ تكون الكثافة السطحية للشحنة كبيرة، يتولد في الحيز المحيط بالرأس المدبب مجال كهربائي كبير قد يؤدي إلى تأيين الهواء في تلك المنطقة؛ فيصبح الهواء موصلًا، وينتقل خلاله تيار تفريغ كهربائي يظهر على شكل شرارة.

◄ استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى تأمل خطوط المجال الكهربائي في الشكلين (14,15)، وأسأل: ما مقدار الزاوية التي تصنعها خطوط المجال مع سطح الموصل؟ 90^o
- أوضح لهم بأن الخطوط عمودية على سطح الموصل؛ لذا عند الانتقال على سطح الموصل من نقطة (a) إلى نقطة (b) فإن الزاوية بين اتجاه الإزاحة والمجال تساوي 90^o، ومن ثمّ فإن المجال الكهربائي لا يبذل شغلًا عند نقل شحنة بين نقطتين على سطح الموصل، وعليه فإن فرق الجهد بين أي نقطتين على سطح الموصل يساوي صفرًا؛ لذا فإن سطح الموصل المشحون هو سطح تساوي جهد.

أفكّرُ: سطح الموصل هو سطح تساوي جهد؛ لذلك فإن فرق الجهد (ΔV) بين أي نقطتين على سطحه يساوي صفرًا. وباستخدام العلاقة $\Delta PE = q\,\Delta V$ نجد أن التغير في طاقة الوضع الكهربائية للشحنة يساوي صفرًا.

◄ المناقشة:

- أناقش الطلبة في التشابه بين حساب المجال الكهربائي خارج موصل كروي مشحون، وحساب المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة نقطية مساوية لشحنة الموصل، وكذلك الأمر بالنسبة إلى حساب الجهد الكهربائي.
- أذكّر الطلبة بأن الجهد كمية قياسية؛ لذا عند استخدام العلاقة الخاصة بحساب الجهد، فإن شحنة الموصل (Q) تعوّض مع الإشارة.

◄ استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (16)، ثم أسألهم:
  - أين تقع النقاط (A)، (B)، (D) بالنسبة إلى الموصل؟
    (A) خارجه، (B) على سطحه، و (D) داخله.
  - أقارن بين الجهد الكهربائي للنقاط الثلاث.

$V_B = V_D > V_A$

- أسأل الطلبة: كيف يُحسب الجهد عند هذه النقاط؟
  أستمع لإجاباتهم، وأبيّن لهم أنه عند حساب الجهد خارج الموصل نتعامل مع شحنة الموصل وكأنها مجمعة في مركزه.

إجابة سؤال الشكل (16):

$V_B = V_D > V_A$

المناقشة:

- أوجّه للطلبة الأسئلة الآتية:

– عند شحن موصل كروي، أين تستقر الشحنات؟ وماذا يترتب على ذلك؟

تستقر الشحنات على سطح الموصل، ما يجعل المجال الكهربائي داخله يساوي صفرًا.

– إذا كان المجال داخل الموصل يساوي صفرًا، فما الشغل المبذول لنقل شحنة نقطية بين أي نقطتين داخل الموصل أو من نقطة داخله إلى نقطة على سطحه؟

الشغل يساوي صفرًا ($W = 0$).

– ما العلاقة الرياضية التي تربط الشغل بفرق الجهد؟

العلاقة هي: ($W = q\Delta V$).

– بناء على العلاقة التي تربط شغل القوة الخارجية بفرق الجهد، إذا كان الشغل يساوي صفرًا، فماذا نستنتج عن فرق الجهد؟

نستنتج أن فرق الجهد ($\Delta V = 0$)، وهذا يعني أن النقاط كافة داخل الموصل جهدها ثابت ويساوي الجهد على سطح الموصل.

- أوضح للطلبة أنه عند حساب الجهد للنقاط التي تحقق ($r \le R$) فإننا نعوض في المعادلة بالمقدار (R) نصف قطر الموصل.

الربط بالتكنولوجيا الطبية

- أكلف بعض الطلبة بالبحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة، وجمع معلومات عن جهاز تخطيط القلب، وإعداد عرض تقديمي يتضمن صورًا للجهاز ورسومات بيانية توضح العلاقة بين فرق الجهد الكهربائي والزمن لنبضات قلب طبيعية، وأخرى لنبضات غير طبيعية، ثم أعرض أمام الطلبة ما توصل إليه زملاؤهم/ زميلاتهن.

✓ **أتحقّق:** يبقى الجهد ثابتًا من مركز الموصل حتى سطحه، ثم يبدأ بالتناقص تدريجيًّا مع زيادة المسافة حتى يؤول إلى الصفر في اللانهاية.

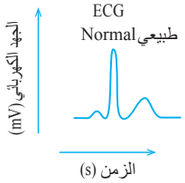
أخطاء شائعة

يظن بعض الطلبة أن الجهد داخل الكرة المشحونة يساوي صفرًا؛ لأن المجال داخلها صفر، وهذا غير صحيح، فعندما يكون المجال في منطقة ما صفرًا، فإن فرق الجهد بين نقطتين في تلك المنطقة يساوي صفرًا؛ أي يكون الجهد ثابتًا.

الربط بالتكنولوجيا الطبية

يصدر من القلب نبضات كهربائيّة صغيرة يُمكن الكشف عنها عن طريق جهاز التخطيط الكهربائيّ للقلب Electrocardiogram (ECG)، ويوضّح الشكل الأقطاب الكهربائيّة الموضوعة على جسم المريض لقياس فروق الجهد في تخطيط القلب؛ إذ يتغيّر فرق الجهد مع الزمن بين كل نقطتين.

ECG Test



الجهد الكهربائيّ داخل موصل كروي مشحون

Electric Potential Inside a Charged Spherical Conductor

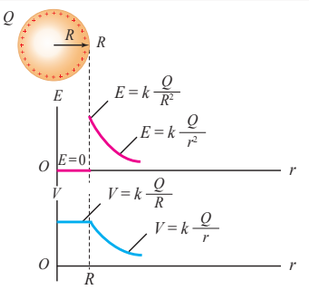
إنّ استقرار الشحنات على السطح الخارجي للموصل الكروي، يجعل المجال الكهربائيّ داخله يساوي صفرًا ($E = 0$)، وهذا يعني أنّ الشغل الذي يبذله المجال لنقل شحنة نقطية بين أيّ نقطتين داخل الموصل مثل (C، D) في الشكل (16)، أو من نقطة داخل الموصل مثل (D) إلى نقطة على سطحه (B) أو العكس يساوي صفرًا. وبما أنّ الشغل يُعطى بالعلاقة: $W = q\Delta V$؛ فإنّ فرق الجهد بين أيّ من تلك النقاط (مثل C، وD، وB) يساوي صفرًا، بمعنى أنّ جهد أيّ نقطة داخل الموصل أو على سطحه ($r \le R$) ثابت، ويُعطى بالعلاقة:

$$V = k\frac{Q}{R}$$

درستُ سابقًا كيف يتغيّر المجال الكهربائيّ بتغيّر بُعد النقطة عن مركز موصل كروي مشحون ومعزول؛ كما في الشكل (17/ أ). فهل يتغيّر الجهد الكهربائيّ بالكيفية نفسها؟

يُبيّن الشكل (17/ ب) كيف يتغيّر الجهد الكهربائيّ بتغيّر بُعد النقطة عن مركز الموصل؛ إذ يبقى الجهد ثابتًا من مركز الموصل حتى سطحه، ثم يبدأ بالتناقص تدريجيًّا مع زيادة المسافة.

✓ **أتحقّق:** أصف تغيّرات الجهد الكهربائيّ الناشئ عن موصل كروي مشحون بشحنة موجبة، في أثناء الانتقال من مركز الموصل إلى اللانهاية.



الشكل (17): العلاقة بين كل من:
أ . المجال الكهربائيّ والبُعد عن مركز الموصل المشحون.
ب . الجهد الكهربائيّ والبُعد عن مركز الموصل المشحون.
ما أوجه التشابه وأوجه الإختلاف بين الشكلين (17/ أ) و(17/ ب)؟

إجابة سؤال الشكل (1):

أ . أوجه التشابه: كلٌّ من المجال الكهربائي والجهد الكهربائي يقل بالتدريج كلما ابتعدنا عن سطح الموصل المشحون بشحنة موجبة ولكن بنسب مختلفة قليلًا، إلى أن يصبح مقدار كل منهما يساوي صفرًا في اللانهاية.

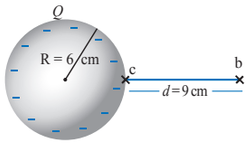
ب. أوجه الاختلاف: المجال الكهربائي داخل الموصل يساوي صفرًا، أما الجهد الكهربائي عند أي نقطة داخل الموصل فيساوي الجهد عند سطحه ويساوي مقدارًا ثابتًا. يتناسب الجهد خارج الموصل عكسيًّا مع المسافة (r)، أما مقدار المجال الكهربائي فيتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة (r^2).

توظيف التكنولوجيا

أبحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع مرئية (فيديوهات) توضح مبدأ عمل جهاز تخطيط القلب، ثم أشارك الطلبة هذه المعلومات.

المثال 8

كرة من الألمنيوم نصف قطرها (6 cm)، موضوعة في الهواء ومشحونة بشحنة (Q = -12 μC). كما في الشكل (18). أجد الجهد الكهربائيّ عند كلّ من النقطتين (b,c).



الشكل (18): الجهد الناشئ عن كرة مشحونة من الألمنيوم.

المعطيات: $R = 6\ \text{cm}, Q = -12\ \mu\text{C}, d = 9\ \text{cm}$

المطلوب: $V_c = ?\ ,\ V_b = ?$

الحلّ:

بُعد النقطة b عن مركز الموصل:

$$r = R + d = 6 + 9 = 15\ \text{cm}$$

$$V_b = k\frac{Q}{r} = 9 \times 10^9 \frac{-12 \times 10^{-6}}{15 \times 10^{-2}} = -7.2 \times 10^5\ \text{V}$$

$$V_c = k\frac{Q}{R} = 9 \times 10^9 \frac{-12 \times 10^{-6}}{6 \times 10^{-2}} = -1.8 \times 10^6\ \text{V}$$

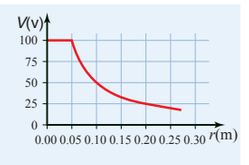
المثال 9

يُمثّل الرسم البياني في الشكل (19) العلاقة بين الجهد الكهربائيّ والبُعد عن مركز موصل كروي مشحون. معتمدًا على الشكل أجد:

أ. نصف قطر الموصل.

ب. الجهد الكهربائيّ عند نقطة تبعد (20 cm) عن مركز الموصل.

جـ. شحنة الموصل.



الشكل (19): العلاقة بين جهد موصل كروي مشحون والبُعد عن مركزه.

الحلّ:

أ. نصف قطر الموصل: $R = 0.05\ \text{m}$

ب. $V_{0.2} = 25\ \text{V}$

جـ. من الشكل، جهد الموصل ($V_{sph} = 100\ \text{V}$)

وبتطبيق المعادلة:

$$V_{sph} = k\frac{Q}{R}$$

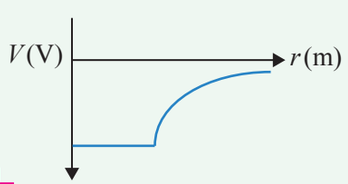
$$100 = 9 \times 10^9 \frac{Q}{0.05} \Rightarrow Q = 5.5 \times 10^{-10} = 0.55\ \text{nC}$$

التعزيز:

- أستخدم **استراتيجية فكر، انتق زميلًا، شارك**، فأوزع الطلبة إلى مجموعات.
- أبيّن للطلبة أن الرسومات البيانية المعطاة في الشكل (17) لموصل مشحون بشحنة موجبة، ثم أسألهم: هل يتغير المجال والجهد بالكيفية نفسها لموصل مشحون بشحنة سالبة؟
- أمنح الطلبة وقتًا كافيًا للتفكير، والتعبير عن إجاباتهم برسومات بيانية. ثم أطلب إلى كل طالبين/ طالبتين مشاركة بعضهما في الأفكار، ثم أناقش إجاباتهم وأتوصل معهم إلى أن:

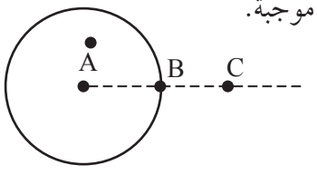
– الرسم البياني لمقدار المجال الكهربائي للشحنة السالبة لا يختلف عنه للشحنة الموجبة.

– قيم الجهد للشحنة السالبة تكون سالبة؛ لذا فإن الرسم البياني للجهد كما في الشكل المجاور.



مثال إضافي

يبين الشكل المجاور كرة موصلة موضوعة في الهواء ومشحونة بشحنة موجبة.



أ. أرتب النقاط (A, B, C)، وفقًا لمقدار المجال الكهربائي عندها تنازليًّا.

ب. أرتب الجهد الكهربائي للنقاط نفسها تنازليًّا.

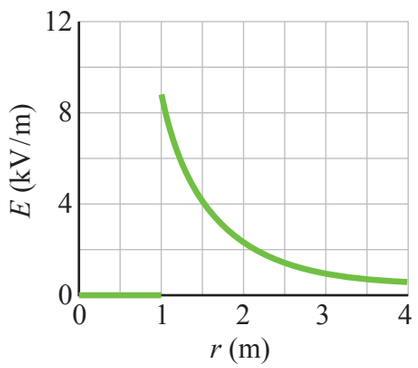
جـ. أعيد حل السؤال مفترضًا أن الكرة مشحونة بشحنة سالبة.

الحل:

الشحنة موجبة	$E_B > E_C > E_A$
	$V_A = V_B > V_C$
الشحنة سالبة	$E_B > E_C > E_A$
	$V_C > V_B = V_A$

مثال إضافي

يبيّن الرسم البياني المجاور العلاقة بين المجال الكهربائي، والبعد عن مركز موصل كروي مشحون. أعتمد على البيانات المثبتة على الشكل؛ لأحسب الجهد الكهربائي عند نقطة تقع على سطح الموصل.



الحل:

من الشكل أجد نصف قطر الموصل (1m)، والمجال عند سطح الموصل (9×10^3 V/m)، وباستخدام العلاقة:

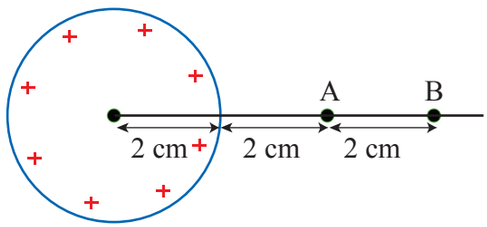
$$E = k\frac{Q}{R^2} = k\frac{Q}{R} \times \frac{1}{R}$$

نتوصل إلى أن:

$$E = \frac{V}{R} \rightarrow V = 9 \times 10^3\ \text{V}$$

مثال إضافي

يبين الشكل المجاور موصلًا كرويًّا مشحونًا ومعزولًا وموضوعًا في الهواء. أعتمد على البيانات المثبتة على الشكل لأحسب شحنة الموصل، إذا علمت أن فرق الجهد ($V_A - V_B = 9 \times 10^5$ V).



الحل:

أستخدم العلاقة $V = k\frac{Q}{r}$ لإيجاد جهد النقطتين:

$$V_A = k\frac{Q}{4 \times 10^{-2}}$$

$$V_B = k\frac{Q}{6 \times 10^{-2}}$$

أعوّض بجهد النقطتين في العلاقة:

$$V_A - V_B = 9 \times 10^5$$

$$k\frac{Q}{4 \times 10^{-2}} - k\frac{Q}{6 \times 10^{-2}} = 9 \times 10^5$$

$$\frac{9 \times 10^9}{2 \times 10^{-2}} Q\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\right) = 9 \times 10^5$$

$$\frac{1}{6} Q = 2 \times 10^{-6} \rightarrow Q = 12 \times 10^{-6} \text{ C}$$

تمرين

جهد الكرة V:

$$V = k\frac{Q}{R}$$

الجهد عند مسافة تبعد $4R$ عن مركز الكرة V':

$$V' = k\frac{Q}{4R} = \frac{1}{4}\left(k\frac{Q}{R}\right) = \frac{1}{4}V$$

ورقة العمل (2)

ورقة العمل (2): أوزع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة، ثم أزودهم بورقة العمل (2) الموجودة في الملحق، وأمنحهم وقتًا كافيًا للإجابة عليها، ومناقشة الإجابة ضمن المجموعة. ثم أكلف كل مجموعة بعرض إجاباتها، ومناقشتها مع الآخرين.

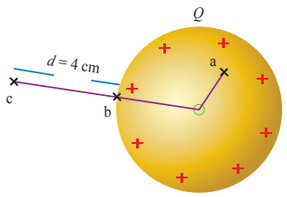
المثال 10

موصل كروي من النحاس نصف قطره (4 cm) مشحون ومعزول، موضوع في الهواء كما في الشكل (20)، إذا علمتُ أنّ جهد النقطة a يساوي (2000 V)؛ فأحسبُ:

أ. جهد الموصل الكروي.

ب. شحنة الموصل.

جـ. الشغل الذي تبذله القوّة الكهربائيّة لنقل شحنة (-8 nC) من النقطة c إلى النقطة b.



الشكل (20): الجهد الناشئ عن موصل كروي مشحون.

المعطيات:

$V_a = 2000$ V, $d_c = 4$ cm, $q = -8$ nC, $R = 4$ cm

المطلوب:

$V_{sph} = ?$, $Q = ?$, $W_{c \rightarrow b} = ?$

الحلّ:

أ. جهد الموصل:

$$V_{sph} = V_b = V_a = 2000 \text{ V}$$

ب. شحنة الموصل:

$$V_b = k\frac{Q}{R}$$

$$2000 = 9 \times 10^9 \frac{Q}{4 \times 10^{-2}} \Rightarrow Q = 8.9 \times 10^{-9} \text{ C}$$

جـ.

$$V_c = k\frac{Q}{r} = 9 \times 10^9 \frac{8.9 \times 10^{-9}}{8 \times 10^{-2}} = 1000 \text{ V}$$

$$r = d + R = 4 + 4 = 8 \text{ cm}$$

$$W_{c \rightarrow b} = -q(V_b - V_c) = -(-8 \times 10^{-9})(2000 - 1000) = 8 \times 10^{-6} \text{ J}$$

تمرين

كرة موصلة ومشحونة نصف قطرها R وجهدها V، أجد بدلالة V جهد نقطة تبعد مسافة $4R$ عن مركزها.

معلومة إضافية

أفترض أن شحنة اختبار انتقلت من سطح موصل كروي مشحون ومعزول إلى مركزه، بمجرد أن تصبح الشحنة داخل الموصل فإنها لا تتأثر بقوة كهربائية (المجال يساوي صفرًا)؛ لذا لا يلزم بذل شغل عليها. وبما أن الشغل ($W = q\Delta V$) فهذا يعني أن فرق الجهد بين أي نقطتين داخل الموصل يساوي صفرًا.

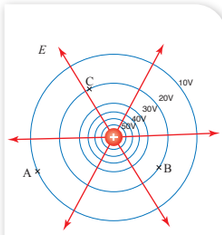
القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: التحليل.**

أخبر الطلبة أن التحليل من مهارات التفكير التي تقود إلى الوصول إلى المعرفة، وألفت نظرهم إلى أن تحليل الرسومات البيانية يؤدي إلى استكشاف العلاقات بين المفاهيم والكميات المختلفة (مثل العلاقة بين مفهومي المجال والجهد).

سطوح تساوي الجهد Equipotential Surfaces

تعلمتُ سابقًا أنّ الجهد الكهربائيّ كمّية قياسية، مقداره عند نقطة تبعد مسافة r عن شحنة نقطية هو نفسه في الاتّجاهات جميعها، وهذا يعني أنّ كلّ النقاط الواقعة على سطح كرة متّحدة المركز مع الشحنة النقطيّة لها قيمة الجهد نفسه، ويُعرف هذا السطح باسم **سطح تساوي الجهد Equipotential Surface** وهو السطح الذي يكون الجهد الكهربائيّ عند نقاطه جميعها متساويًا. تُمثّل سطوح تساوي الجهد في (3) أبعاد على شكل سطوح كروية متّحدة المركز مع الشحنة، أمّا في بُعدين فتُمثّل على شكل دوائر متّحدة المركز مع الشحنة النقطيّة تُسمّى خطوط تساوي الجهد كما في الشكل (21).



الشكل (21): خطوط المجال الكهربائيّ وسطوح تساوي الجهد الكهربائيّ الناشئة عن شحنة نقطية.

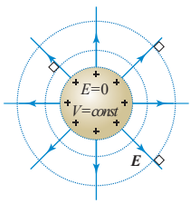
ما مقدار الجهد الكهربائيّ لكل نقطة من النقاط (A,B,C).

تكون سطوح تساوي الجهد الناشئة عن الموصل الكروي المشحون كروية الشكل، تُحيط بالموصل وتتّحد معه في المركز، كما في الشكل (22)؛ ويُعدّ سطح الموصل سطح تساوي جهد.

يُمثّل كل سطح تساوي جهد مقدارًا محدّدًا من الجهد الكهربائيّ كما هو مُبيّن في الشكل (21). ويكون فرق الجهد بين أيّ نقطتين على سطح تساوي الجهد يساوي صفرًا. ولا يلزم بذل شغل لنقل شحنة من نقطة إلى أخرى على سطح تساوي الجهد نفسه.

كما أنّ لخطوط المجال الكهربائيّ خصائص معينة؛ فإن لسطوح تساوي الجهد كذلك خصائص يمكن ملاحظتها من الشكلين (21 - 22)، وهي:

- سطوح تساوي الجهد التي يكون الفرق في الجهد بينها متساويًا؛ تتقارب كلّما اقتربنا من الشحنة؛ لأنّ المجال الكهربائيّ يزداد مقداره وتتقارب خطوطه في أثناء الاقتراب من الشحنة، كذلك تتباعد سطوح تساوي الجهد كلّما ابتعدنا عن الشحنة.
- لا تتقاطع؛ لأنها لو تقاطعت عند نقطة ما لوجدنا أكثر من قيمة للجهد الكهربائيّ عند تلك النقطة وهذا غير ممكن.
- تتعامد سطوح تساوي الجهد مع خطوط المجال الكهربائيّ.



الشكل (22): الجهد الكهربائيّ لموصل كروي مشحون وسطوح تساوي الجهد حوله.

✓ **أتحقّق:** أُوضّح المقصود بسطح تساوي الجهد. ما العلاقة بين سطوح تساوي الجهد وخطوط المجال الكهربائيّ؟

بناء المفهوم:

سطوح تساوي الجهد وخصائصها

- أوضح للطلبة مفهوم سطوح تساوي الجهد.
- أبيّن للطلبة أن لسطوح تساوي الجهد خصائص، وأستعين بالشكلين (21) و(22) لتوضيح هذه الخصائص.
- أبيّن للطلبة أن سطوح تساوي الجهد تكون دائمًا متعامدة مع خطوط المجال، وبذلك يمكن رسم خطوط المجال بناء على سطوح تساوي الجهد.

✓ **أتحقّق:** سطح تساوي الجهد: السطح الذي يكون الجهد الكهربائي عند نقاطه جميعها متساويًا.

العلاقة بين سطوح تساوي الجهد وخطوط المجال الكهربائي:

- تتعامد سطوح تساوي الجهد مع خطوط المجال الكهربائي.
- تتقارب سطوح تساوي الجهد في المنطقة التي يكون فيها مقدار المجال كبيرًا.

المناقشة:

- أستخدم استراتيجية التفكير الناقد.
- أذكّر الطلبة بأن الشحنة النقطية تولّد حولها مجالًا يمكن التعبير عنه بخطوط المجال الموضحة في الشكل (21).
- أذكّر الطلبة بالعلاقة الرياضية المستخدمة لحساب الجهد الكهربائي الناشئ عن شحنة نقطية ($V = k\frac{Q}{R}$)، ثم أسأل:

– إذا كان الجهد الكهربائي عند نقطة (A) تقع على يمين شحنة نقطية يساوي (10V)، فهل توجد نقطة أو نقاط أخرى يتخذ الجهد عندها القيمة نفسها؟ نعم، يكون للجهد المقدار نفسه عند جميع النقاط التي تقع على البعد نفسه من الشحنة.

– ما الشكل الهندسي الذي يمرّ في هذه النقاط جميعها؟ شكل دائري عند تمثيله في بُعدين، وسطح كروي عند تمثيله في ثلاثة أبعاد.

استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى تأمل الشكل (21)، ثم أسألهم:

– ماذا تمثل الدوائر باللون الأزرق؟ كل دائرة تعبر عن سطح كروي ثلاثي الأبعاد يسمى سطح تساوي الجهد؛ يكون مقدار الجهد متساويًا عند النقاط جميعها الواقعة عليه.

– كيف أتوصل من الشكل إلى مقدار الجهد عند هذه النقاط (A, B, C)؟ بمعرفة السطح الذي تقع عليه كل نقطة، وقراءة مقدار الجهد المكتوب على السطح (الخط).

– هل الفرق في الجهد بين كل سطح والذي يليه ثابت؟ نعم.

– هل البعد بين كل سطح والذي يليه ثابت؟ لا.

– أين تتقارب السطوح وأين تتباعد؟ تتقارب كلما اقتربنا من الشحنة، وتتباعد بزيادة البعد عن الشحنة.

– لماذا تتقارب سطوح تساوي الجهد كلما اقتربنا من الشحنة؟ لأن المجال الكهربائي يزداد مقداره وتتقارب خطوطه عند الاقتراب من الشحنة.

- أوجّه الطلبة إلى تأمل الشكل (22)، وأطلب إليهم وصف سطوح تساوي الجهد لموصل كروي مشحون، وملاحظة التشابه بينها وبين سطوح تساوي الجهد للشحنة النقطية.

إجابة سؤال الشكل (21):

$V_A = 10\ V,\ V_B = V_c = 20\ V$

التجربة 2

رسم خطوط تساوي الجهد عمليًّا

الهدف

- رسم خطوط تساوي الجهد الكهربائي في بُعدين، والناشئة عن أشكال مختلفة من الموصلات.
- رسم خطوط المجال الكهربائي بناء على خطوط تساوي الجهد.

زمن التنفيذ: 40 دقيقة.

إرشادات السلامة: الحذر في التعامل مع التوصيلات الكهربائية، أو تطبيق فرق جهد كبير.

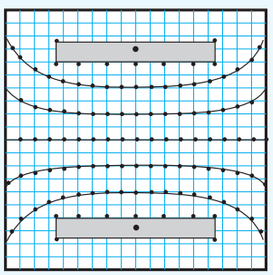
المهارات العلمية: الملاحظة، والتنبّؤ، والتفسير.

الإجراءات والتوجيهات:

- أتأكد أن التوصيلات صحيحة قبل إغلاق الدارة.
- أبدأ بوضع المجس على الصفيحة السالبة، وأتأكد أن قراءة الفولتميتر في هذه الحالة تساوي صفرًا، ثم أبدأ بتحريك المجس نحو الصفيحة الموجبة.

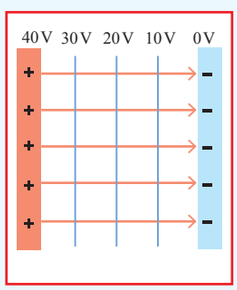
النتائج المتوقعة:

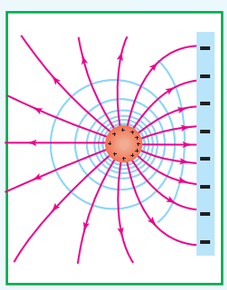
- أطلب إلى الطلبة الرجوع إلى كتاب التمارين والأنشطة وتدوين البيانات، من المتوقع الحصول على رسم يشبه الشكل المجاور.



التحليل والاستنتاج:

1. عند وضع المجس على الصفيحة السالبة فإن قراءة الفولتميتر تساوي صفرًا؛ لأن قراءة الفولتميتر تمثل فرق الجهد بين نقطتين على الصفيحة نفسها.
2. خطوط تساوي الجهد بين الصفيحتين هي خطوط مستقيمة ومتوازية والمسافات بينهما متساوية؛ لأن المجال بين الصفيحتين منتظم. أما خطوط تساوي الجهد بين الصفيحة والكرة فمنحنية، والمسافات بينها غير متساوية؛ لأن المجال غير منتظم. وتكون متقاربة بالقرب من الكرة، ويقل انحناؤها كلما اقتربنا من الصفيحة.
3. خطوط المجال الكهربائي تكون متعامدة مع خطوط تساوي الجهد، فتكون مستقيمة ومتوازية بين الصفيحتين، أما بين الكرة والصفيحة فتكون منحنية.





التجربة 1

رسم خطوط تساوي الجهد عمليًّا

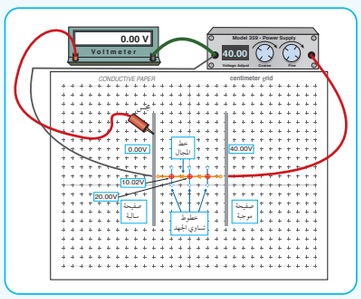
الموادّ والأدوات: لوح رسم خرائط المجال الكهربائيّ، ورق رسم بياني، قلم رصاص، فولتميتر رقمي، مصدر طاقة (تيّار مستمرّ DC) رقمي، كرتان فلزّيتان صغيرتان، صفيحتان فلزّيتان، أسلاك توصيل، مجسّ.

إرشادات السلامة: الحذر في التعامل مع التوصيلات الكهربائيّة أو تطبيق جهد كبير.

خطوات العمل:

بالتعاون مع أفراد مجموعتي؛ أنفّذ الخطوات الآتية:

1. أصل الأدوات كما في الشكل من دون غلق الدارة الكهربائيّة إلّا بعد التأكّد منها من قِبَل المعلم/ المعلمة.
2. **أقيس:** أثبّت مصدر الجهد على جهد معين (40 V)، وأتأكّد من أنّ قراءة الفولتميتر تساوي صفرًا عند اتصال المجسّ بقطبه الموجب كما في الشكل، ثمّ أُحرّك المجسّ المتّصل بالقطب الموجب للفولتميتر مبتعدًا عن الصفيحة السالبة حتى يقرأ الفولتميتر جهدًا محدّدًا (10 V مثلًا)، وأُحدّد موقع تلك النقطة باستعمال ورقة الرسم البياني.
3. أرسم: أُحدّد مواقع (4) نقاط أخرى مساوية لجهد النقطة السابقة، ثم أرسم الخط المارّ بالنقاط الخمس والذي يُمثّل خطًّا من خطوط تساوي الجهد.
4. أكرّر الخطوتين (2 - 3) عدّة مرّات؛ باستعمال قراءات أخرى للفولتميتر (20 V, 30 V).
5. أكرّر الخطوات (2 - 4)؛ باستعمال كرة فلزّية بدلًا من إحدى الصفيحتين.

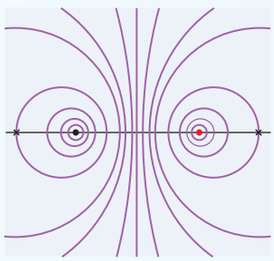


التحليل والاستنتاج:

1. **أتوقّع** قراءة الفولتميتر عند وضع المجسّ على الصفيحة السالبة، ثم أتأكّد من ذلك عمليًّا.
2. **أفسّر:** أصف خطوط تساوي الجهد التي رسمتها، مفسّرًا إجابتي.
3. أرسمُ خطوط المجال الكهربائيّ بناءً على خطوط تساوي الجهد.
4. **أحسبُ** مقدار المجال الكهربائيّ بين الصفيحتين؛ باستعمال فرق الجهد والمسافة بينهما.
5. **أتنبّأ** بشكل خطوط تساوي الجهد؛ عند استعمال كرتين فلزّيتين صغيرتين بدلًا من الصفيحتين.

وللتعرّف أكثر إلى سطوح تساوي الجهد، أتعاون مع أفراد مجموعتي على تنفيذ التجربة الآتية:

4. أستخدم العلاقة: $E = \frac{\Delta V}{\Delta d}$ لحساب المجال الكهربائي بين الصفيحتين حيث ΔV قراءة الفولتميتر بين الصفيحتين (أو أي خطَّي تساوي جهد) وΔd المسافة بين الصفيحتين (أو بين خطَّي تساوي الجهد المختارَين).
5. خطوط تساوي الجهد عند استخدام كرتين فلزيتين صغيرتين تكون خطوطًا منحنية كما في الشكل تقريبًا.



استراتيجية التقويم: التقويم المعتمد على الأداء — **أداة التقويم:** سلم تقدير رقمي

الرقم	معيار الأداء	1	2	3
1	تنفيذ خطوات التجربة بدقة.			
2	رسم خطوط تساوي الجهد بين صفيحتين.			
3	رسم خطوط تساوي الجهد بين صفيحة وكرة فلزية.			
4	رسم خطوط المجال بناء على سطوح تساوي الجهد.			

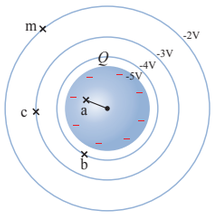
المثال 11

بناءً على الشكل (23) الذي يُمثّل سطوح تساوي الجهد لموصل كروي مشحون بشحنة سالبة، أحسبُ:

أ . فرق الجهد (V_{bc}) و (V_{ba}).

ب. الشغل الذي تبذله القوّة الخارجية؛ لنقل إلكترون بسرعة ثابتة من النقطة m إلى النقطة c.

جـ. شحنة الموصل، علمًا بأنّ نصف قطره 9 cm .



الشكل (23): سطوح تساوي الجهد حول موصل كروي مشحون.

المعطيات: البيانات على الشكل.

المطلوب: $(V_{bc}) = ?, (V_{ba}) = ?, W_{m\to c}, Q = ?$

الحلّ:

أ.

$$V_{ba} = V_a - V_b = -5 - (-4) = -1\ V$$
$$V_{bc} = V_c - V_b = (-3) - (-4) = 1\ V$$

ب.

$$W_{m\to c} = qV_{mc} = q(V_c - V_m)$$
$$W_{m\to c} = -1.6 \times 10^{-19} \times (-3-(-2))$$
$$W_{m\to c} = 1.6 \times 10^{-19}\ J$$

جـ. جهد الموصل يساوي (5 V –)، ولإيجاد شحنته أُطبّق العلاقة الآتية:

$$V = k\frac{Q}{R}$$
$$-5 = 9 \times 10^{9}\ \frac{Q}{9 \times 10^{-2}}$$
$$Q = -5 \times 10^{-11}\ C = -50\ pC$$

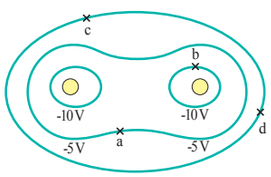
المثال 12

يُبيّن الشكل (24). سطوح تساوي الجهد لشحنتين نقطيتين متساويتين في المقدار. أجيب عمّا يأتي:

أ. ما إشارة كل من الشحنتين؟

ب. أحسبُ فرق الجهد V_{ab}.

جـ. هل يلزم شغل لنقل بروتون من النقطة c إلى النقطة d؟ أُوضّح ذلك.

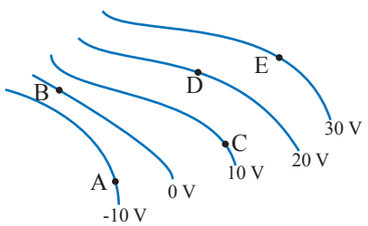


الشكل (24): سطوح تساوي الجهد لشحنتين نقطيتين.

الحلّ:

مثال إضافي

يبين الشكل المجاور مقطعًا من سطوح تساوي الجهد لتوزيع من الشحنات. اعتمادًا على الشكل أجيب عن الأسئلة الآتية:



أ . أي النقاط المثبتة على الشكل هي الأكبر في مقدار المجال الكهربائي؟

ب. أرسم سهمًا يدل على اتجاه المجال الكهربائي عند النقطة (C).

جـ. أحسب فرق الجهد ($V_c - V_A$).

الحل:

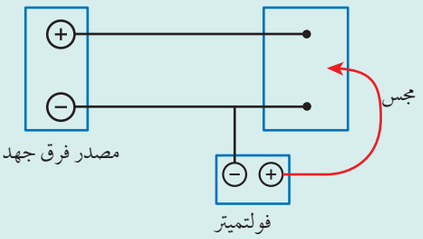
أ . النقطة (B)؛ لأن سطوح تساوي الجهد أكثر تقاربًا في تلك المنطقة.

ب. يكون السهم عموديًّا على سطح تساوي الجهد عند تلك النقطة وباتجاه السطح الأقل جهدًا.

جـ. $V_c - V_A = 10 - (-10) = 20V$

طريقة أُخرى للتدريس — رسم خطوط تساوي الجهد عمليًّا

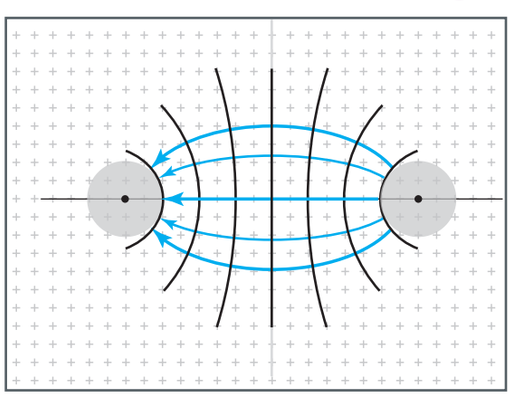
- أساعد الطلبة ذوي المستويات المختلفة على فهم كيفية توصيل أدوات الدارة المبينة في التجربة (1)، فأعرض أمامهم رسمًا تخطيطيًّا للتجربة كما في الشكل الآتي:



- أوضح لهم أن المجس يتصل بالقطب الموجب للفولتميتر، أما القطب السالب للفولتميتر فيتصل بالصفيحة السالبة؛ لذا فإن الفولتميتر يقرأ فرق الجهد بين موقع وجود المجس والصفيحة السالبة، وعند البدء بالتجربة بوضع المجس عند الصفيحة السالبة فتكون قراءته صفرًا؛ لأن فرق الجهد بين نقطتين على الصفيحة نفسها يساوي صفرًا.

نشاط سريع

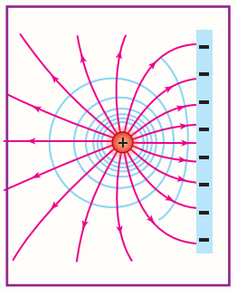
- أستخدم **استراتيجية التعلم التعاوني**، فأوزع الطلبة إلى مجموعات.
- أزود الطلبة برسومات تخطيطية لخطوط تساوي الجهد، مثلًا لشحنتين متشابهتين.
- أطلب إليهم رسم خطوط المجال بناء على خطوط تساوي الجهد.
- أوجّه الطلبة أثناء تنفيذ المهمة إلى أن خطوط المجال ترسم عمودية على خطوط تساوي الجهد.
- أعرض النتائج التي توصلت إليها المجموعات. (من المتوقع الحصول على رسم تخطيطي كما في الشكل).



3 التقويم

إجابات أسئلة مراجعة الدرس

1 شحنة الموصل، نصف قطره، وسماحية الهواء.



2 سطوح تساوي الجهد متعامدة مع خطوط المجال الكهربائي كما في الشكل المجاور.

3 أ. لأنها لو تقاطعت عند نقطة ما، لوجدنا أكثر من قيمة للجهد الكهربائي عند تلك النقطة، وهذا غير ممكن.

ب. خطوط المجال الكهربائي خارج سطح الموصل تكون عمودية على سطح الموصل؛ لذا يكون اتجاه المجال عموديًّا على اتجاه الإزاحة عند نقل الشحنة في مسار يقع على سطح الموصل؛ وعليه فإن الشغل المبذول يساوي صفرًا حسب العلاقة:

$$W = qEd \cos 90^\circ = 0$$

4 أ. جهد النقطة (p)؛ $(V_P = 0)$ وكذلك جهد جميع النقاط الواقعة على السطح نفسه يساوي صفرًا.

ب. $V_{ac} = V_c - V_a = 2 - 4 = -2\text{V}$

$V_{bd} = V_d - V_b = -4 - (-6) = 2\text{ V}$

جـ. $W_{d\to a} = qV_{da} = 5 \times 10^{-9}(4 - (-4))$

$= 4 \times 10^{-8}\text{ J}$

5 أ. $V = k\frac{Q}{R}$

$6 \times 10^2 = 9 \times 10^9 \frac{4 \times 10^{-9}}{R}$

$R = 6 \times 10^{-2}\text{ m}$

ب. $V_p = k\frac{Q}{r_p} = 9 \times 10^9 \frac{4 \times 10^{-9}}{9 \times 10^{-2}} = 400\text{ V}$

6 أ. الجهد الكهربائي عن نقطة تبعد 4 cm عن مركز الكرة يساوي 50 V ويساوي جهد الكرة.

ب. شحنة الكرة:

$$V = k\frac{Q}{R}$$

$$50 = 9 \times 10^9 \frac{Q}{5 \times 10^{-2}} \Rightarrow Q = 2.8 \times 10^{-10}\text{ C}$$

جـ. الشغل المبذول لنقل الشحنة من مركز الكرة إلى سطحها يساوي صفرًا، والشغل المبذول لنقل الشحنة من سطح الموصل إلى تلك النقطة:

$$W_{surf\to point} = -q(V_{point} - V_{surf})$$

$$= -qkQ\left(\frac{1}{8 \times 10^{-2}} - \frac{1}{5 \times 10^{-2}}\right)$$

$$= -6 \times 10^{-6} \times 9 \times 10^9 \times 2.8 \times 10^{-8}\left(\frac{1}{8} - \frac{1}{5}\right)$$

$$= 1.13 \times 10^{-4}\text{ J}$$

أ. الشحنتان سالبتان؛ لأنّ سطح تساوي الجهد المحيط بكل شحنة جهده سالب (-10 V)، كما أنّ شكل سطوح تساوي الجهد يدل على أنّ الشحنتين من النوع نفسه.

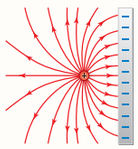
ب. $V_a = -5\text{ V}, V_b = -10\text{ V}$

$$V_{ab} = V_b - V_a = -10 - (-5) = -5\text{ V}$$

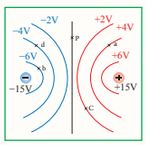
جـ. لا يلزم شغل؛ لأنّ كلّ من النقطتين c و d تقعان على سطح تساوي الجهد نفسه. ومن ثمّ، فإنّ جهد كل منهما متساوٍ، وفرق الجهد بينهما يساوي صفرًا $V_{cd} = 0$، والشغل حسب العلاقة $W_{c\to d} = qV_{cd} = 0$.

مراجعة الدرس

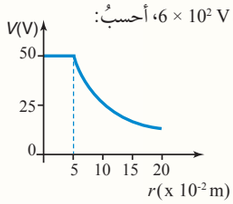
1. **الفكرة الرئيسة:** ما العوامل التي يعتمد عليها الجهد الكهربائيّ لموصل كروي مشحون ومعزول موضوع في الهواء.
2. **أستنتجُ:** يُمثّل الشكل خطوط المجال الكهربائيّ بين شحنة نقطية وصفيحة مشحونة، أرسم سطوح تساوي الجهد الكهربائيّ.



3. **أُفسّر** كلًّا ممّا يأتي:
   أ. سطوح تساوي الجهد لا تتقاطع.
   ب. الشغل المبذول لنقل شحنة اختبار من نقطة إلى أخرى على سطح الموصل يساوي صفرًا.
4. **أُحلّل:** يُمثّل الشكل سطوح تساوي الجهد لشحنتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في النوع، أُجيب عمّا يأتي:



   أ. أيّ النقاط جهدها يساوي صفرًا.
   ب. ما مقدار فرق الجهد V_{ac}, V_{bd}؟
   جـ. أحسبُ الشغل الذي تبذله القوّة الخارجية لنقل شحنة (5 nC) من النقطة d إلى النقطة a.
5. **أستعملُ المتغيّرات:** موصل كروي مشحون بشحنة (+4 nC) وجهده 6×10^2 V، أحسبُ:



   أ. نصف قطر الموصل.
   ب. جهد نقطة (p) تبعد (9 cm) عن سطح الموصل.
6. **أُحلّل:** كرة من النحاس مشحونة بشحنة موجبة، مُثّلت العلاقة بين الجهد الكهربائيّ والبُعد عن مركز الكرة كما في الشكل، أحسبُ:
   أ. الجهد الكهربائيّ عند نقطة تبعد (4 cm) عن مركز الكرة.
   ب. شحنة الكرة.
   جـ. الشغل الذي تبذله القوّة الكهربائيّة لنقل شحنة (6 μC) من مركز الكرة إلى نقطة تبعد (8 cm) عن مركز الكرة.

الدرس 3

المواسعة الكهربائيّة
Electrical Capacitance

الفكرة الرئيسة:
تختلف المواسعات الكهربائيّة في أشكالها ومقادير مواسعاتها وطرائق توصيلها معًا؛ وتكمن أهمّيتها في قدرتها على تخزين الطاقة الكهربائية، وتُستعمل في الكثير من التطبيقات العملية.

نتاجات التعلّم:
- أُعرّف المواسعة الكهربائيّة لموصل رياضيًّا وبالكلمات.
- أرسمُ رسمًا بيانيًّا يُمثّل العلاقة بين تغيّرات الجهد الكهربائيّ بين صفيحتَي مواسع وشحنته.
- أُوظّف الرسم البياني للعلاقة بين الجهد الكهربائيّ بين صفيحتَي مواسع وشحنته في حساب الطاقة المختزنة في المواسع.
- أحسبُ المواسعة الكهربائيّة المكافئة لمجموعة مواسعات متّصلة على التوالي أو على التوازي.
- أحسبُ كمّيـة الشحنـة على كلّ مواسع وفرق جهده.

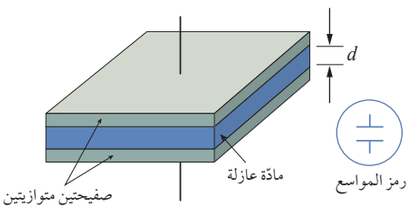
المفاهيم والمصطلحات:

المواسع	Capacitor
المواسع ذو الصفيحتين المتوازيتين	Parallel-Plate Capacitor
الفاراد	Farad
المواسعة	Capacitance
المواسعة المكافئة	Equivalent Capacitance

المواسع الكهربائيّ Electric Capacitor

في ظل الاستعمال الواسع لمصادر الطاقة المتجدّدة بوصفها بديلًا عن الطاقة التقليدية، برزت الحاجة إلى تخزين الطاقة الكهربائيّة لاستعمالها عند الحاجة. وقد شكّلت بطّاريات الليثيوم قبل سنوات طفرة في تطوير آلية تخزين الطاقة الكهربائيّة على شكل طاقة كيميائية، سواء أكانت في وسائل النقل الكهربائيّة أم الأجهزة الإلكترونية المختلفة. إلّا أنّ البطّارية ليست الأداة الوحيدة لتخزين الطاقة؛ **فالمواسع Capacitor** جهاز يُستعمل لتخزين الطاقة الكهربائيّة كذلك، ولكلّ من المواسع والبطّارية استعمالاته الخاصّة، إلّا أنّ المواسع يتميّز عن البطارية بإمكانية شحنه وتفريغه بشكل أسرع.

معظم المواسعات المستعملة في التطبيقات العملية، تتكوّن من صفيحتين موصلتين متوازيتين تفصلهما طبقة من مادّة عازلة، ويُسمّى **المواسع ذا الصفيحتين المتوازيتين Parallel Plate Capacitor**، ويُرمز له بخطّين متوازيين كما في الشكل (25)، وشكل الصفيحتين يُمكن أن يكون مربّعًا أو مستطيلًا أو دائريًّا، أو على شكل أسطوانة حسب الاستعمال. أمّا المادّة العازلة فتتكوّن من مادّة مناسبة مثل البوليستر أو المايكا أو الهواء في بعض الحالات.



الشكل (25): مواسع ذو صفيحتين متوازيتين ورمزه.

بناء المفهوم:

المواسع

- أوضح للطلبة أن المواسع جهاز يستخدم في الدارات الكهربائية، لتخزين الطاقة الكهربائية، وأوضح الفرق بين المواسع والبطارية من حيث: سرعة الشحن، والتفريغ.
- أوضح للطلبة المكونات الأساسية للمواسع ذي الصفيحتين المتوازيتين، وأبين لهم أن شكل الصفيحتين ليس بالضرورة أن يكون مستطيلًا، فالمواسع المكون من موصلين ذي شكل دائري يسمى مواسعًا ذا صفيحتين متوازيتين.

معلومة إضافية

من الأشكال الأخرى للمواسعات المواسع الكروي، ويتكون من كرتين متحدتين في المركز تفصل بينهما طبقة من مادة عازلة.

الدرس 3

المواسعة الكهربائية
Electrical Capacitance

1 تقديم الدرس

الفكرة الرئيسة:
- أعرض أمام الطلبة مواسعًا؛ ليتعرّفوه.
- أوضح للطلبة أن موضوع الدرس عن جهاز يسمى المواسع، وهو جهاز له القدرة على تخزين الطاقة الكهربائية، ويستخدم في كثير من التطبيقات العملية.

الربط بالمعرفة السابقة:
- أذكّر الطلبة بما تعلموه في صفوف سابقة عن البطارية، وأسألهم:
  - ما المصدر الذي يُمِدُّ الدارة بالطاقة في الدارة الكهربائية؟ البطارية.
  - ما تحولات الطاقة التي تحدث داخل البطارية؟ من طاقة كيميائية إلى طاقة كهربائية.
- أدير حوارًا بين الطلبة عن استخدامات البطاريات في التطبيقات العملية، وعن أنواعها؛ فبعضها يمكن إعادة شحنه، وبعضها غير قابل لإعادة الشحن.
- أخبر الطلبة أن البطارية ليست الأداة الوحيدة المستخدمة لتخزين الطاقة، فالمواسع أيضًا يُستخدَم لتخزين الطاقة، ولكل منهما مزايا واستخدامات.

2 التدريس

استخدام الصور والأشكال:
- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل (25)، وأخبرهم أنه يوضح المكونات الأساسية للمواسع ذي الصفيحتين المتوازيتين، ثم أسألهم:
  - مم يتكون المواسع؟ من صفيحتين موصلتين متوازيتين تفصل بينهما طبقة من مادة عازلة.
  - ما المواد العازلة التي تستخدم للفصل بين الصفيحتين؟ الهواء، والورق، والبوليستر، والمايكا.
  - ما الرمز المستخدم للمواسع ذي الصفيحتين المتوازيتين؟ يرمز إلى المواسع بخطين متوازيين.

◄ استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى تأمل الشكلين (26) و(27) وتعرف أنواع مختلفة من المواسعات تستخدم في التطبيقات العملية.
- أوجّه الطلبة إلى تأمل دارة شحن المواسع المبينة في الشكل (28) وأوضح مكوناتها، وأناقش معهم كيف تتم عملية شحن المواسع.
- أوضح للطلبة أن عملية شحن المواسع تتوقف عندما يتساوى فرق الجهد بين صفيحتيه مع فرق جهد البطارية، وأن الشغل الذي تبذله البطارية في شحن المواسع يُختزن فيه على شكل طاقة وضع كهربائية.

نشاط سريع

- أحضر مواسعًا من لوحة حاسوب قديمة، أو أي جهاز كهربائي قديم، وأعرضه أمام الطلبة. أنزع الغلاف الخارجي للمواسع؛ ليتسنى للطلبة تعرف أجزائه. ويمكنني عرض صور توضح مكونات المواسع.

✓ **أتحقّق:** تستمر عملية الشحن حتى يصبح فرق الجهد بين صفيحتي المواسع مساويًا لجهد البطارية، ويُختزن الشغل الذي تبذله البطارية في شحن المواسع على شكل طاقة وضع كهربائية.

معلومة إضافية

عندما تنتهي عملية شحن المواسع، تصل الشحنة على صفيحته إلى قيمتها النهائية. وتكون الشحنة على كل من الصفيحتين متساوية في المقدار، ويستخدم الرمز (Q) ليدل على شحنة المواسع، وتكون مساوية للقيمة المطلقة للشحنة على أي من صفيحتيه، كما يستخدم الرمز (V) ليدل على جهد المواسع الذي يساوي فرق الجهد بين صفيحتيه.

توظيف التكنولوجيا

أبحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة المتاحة عن برامج محاكاة لكيفية شحن المواسع. أشارك الطلبة في هذه المواد التعليمية عن طريق صفحة المدرسة الإلكترونية، أو أي وسيلة أخرى للتواصل مع الطلبة.

الشكل (26): أنواع مختلفة من المواسعات.

الشكل (27): لوحة حاسوب تحتوي على أنواع مختلفة من المواسعات.

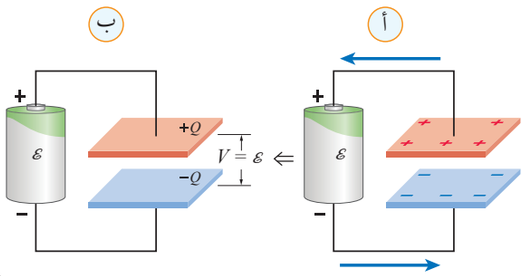
توجد أنواع مختلفة من المواسعات كما في الشكل (26)، تختلف في أشكالها وأحجامها حسب استعمال كلّ منها. ومعظم الأجهزة الإلكترونية تحتوي على مواسعات كما في لوحة الحاسوب المبينة في الشكل (27).

تخزين الشحنات Storage of Charges

عند وصل مواسع ذي صفيحتين متوازيتين مع بطّارية؛ فإنّ البطّارية تنقل الإلكترونات عبر الدارة الكهربائيّة من إحدى الصفيحتين إلى الصفيحة الأخرى، وبذلك تتراكم شحنة سالبة على الصفيحة الموصولة مع القطب السالب، بينما تُشحن الصفيحة الموصولة مع القطب الموجب بشحنة موجبة كما في الشكل (28/ أ)؛ إذ يزداد فرق الجهد بين صفيحتَي المواسع بزيادة تراكم الشحنات على الصفيحتين، وتستمر عملية الشحن حتى يُصبح فرق الجهد بين صفيحتَي المواسع V مساويًا لجهد البطارية ($\mathcal{E}$) كما في الشكل (28/ ب).

بما أنّ القوّة الكهربائيّة قوّة محافظة؛ فإنّ الشغل الذي تبذله البطارية لنقل الشحنات يُختزن في المواسع على شكل طاقة وضع كهربائيّة.

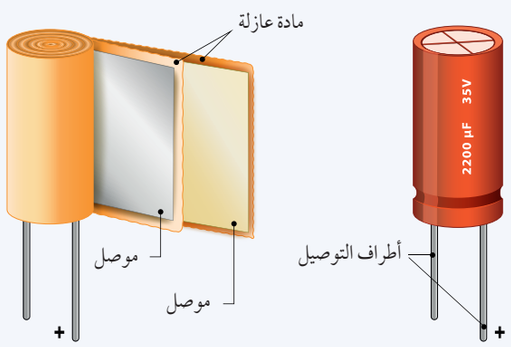
✓ **أتحقّق:** إلى متى تستمر عملية شحن المواسع عند وصل صفيحتيه ببطّارية؟ ما شكل الطاقة المختزنة فيه؟



الشكل (28): شحن المواسع.
أ . في أثناء عملية الشحن.
ب . بعد الانتهاء من عملية الشحن.

إضاءة للمُعلِّم / للمعلِّمة

تصمَّم المواسعات بأشكال مختلفة، مثل المواسع المبين في الشكل التالي:



يتكون المواسع من شريطين موصلين من الألمنيوم ملفوفين على شكل أسطوانة، ويفصل بينهما شريط من مادة عازلة مثل الورق.

المواسعة الكهربائيّة Electrical Capacitance

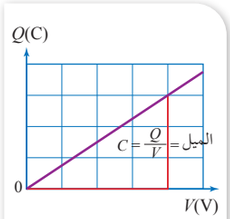
في أثناء شحن المواسع تزداد شحنته كما يزداد فرق الجهد بين صفيحتيه (جهد المواسع)، وعند تمثيل العلاقة بين جهد المواسع وشحنته بيانيًّا؛ بحيث يُمثّل محور $y+$ شحنة المواسع، بينما يُمثّل المحور $x+$ جهد المواسع، نجد أنّها علاقة خطّية تُمثّل بخطّ مستقيم يمرّ بنقطة الأصل كما في الشكل (29) وميل الخطّ المستقيم يساوي مقدارًا ثابتًا يُمثّل المواسعة الكهربائيّة ويُرمز لها بالرمز C:

$$C = \frac{Q}{V} = \text{الميل}$$

حيث Q: شحنة المواسع عند أيّ لحظة.

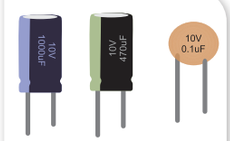
V : جهد المواسع عند تلك اللحظة.

لذا تُعرّف **المواسعة الكهربائيّة Electrical Capacitance** بأنّها الشحنة الكهربائيّة المختزنة لوحدة فرق الجهد الكهربائيّ.



الشكل (29): التمثيل البياني للعلاقة بين شحنة المواسع وجهده.

تُقاس المواسعة بوحدة الفاراد F (1 F = 1 C/V)، ويُعرّف **الفاراد Farad** بأنّه مواسعة مواسع يختزن شحنة كهربائيّة (1C) عند تطبيق فرق جهد (1V) بين صفيحتيه. والفاراد وحدة كبيرة نسبيًّا، ومعظم قِيَم المواسعات المستعملة في الدارات الإلكترونية صغيرة جدًّا؛ لذا تُستعمل البادئات (μ, n, p). أمّا المواسعات الفائقة التخزين فتصل مواسعاتها إلى مئات الآلاف من الفاراد، فعربات التلفريك – كما في صورة بداية الوحدة – تُستعمل فيها مواسعات فائقة، تُشحن خلال ثوانٍ عند مرورها بمحطات الكهرباء، وكذلك الحال في الحافلات الكهربائيّة المتّصلة بشبكة الكهرباء.



الشكل (30): مواسعات مختلفة الجهد والمواسعة.

أُقارن بين المواسعة وأقصى جهد يُطبّق بأمان لكلّ من المواسعات الثلاثة.

قد أتساءل: هل يوجد حدّ معيّن لمقدار فرق الجهد الكهربائيّ الذي يُمكن تطبيقه بين صفيحتي المواسع؟ إنّ أقصى فرق جهد آمن يمكن تطبيقه على المواسع عادة ما يكون مكتوب عليه، أنظرُ إلى الشكل (30)، فإذا تجاوز الجهد القيمة المحدّدة للمواسع؛ فإنّ ذلك يؤدّي إلى تلفه.

✓ **أتحقّق:** ما المقصود بالمواسعة الكهربائيّة؟ وكيف تتناسب شحنة المواسع مع فرق الجهد بين طرفيه؟

121

إجابة سؤال الشكل (30):

- المواسعات من اليمين إلى اليسار بالترتيب: 0.1 μF، 470 μF، 1000 μF
- أكبر جهد يمكن تطبيقه بأمان لكل من المواسعات الثلاثة: 10 V

إضاءة للمُعلّم / للمعلّمة

عند شحن المواسع ينشأ بين صفيحتيه مجال كهربائي يزداد بزيادة الشحنة المختزنة على صفيحتيه. وتؤدي زيادة المجال عن قيمة معينة إلى تلف المادة العازلة الفاصلة بين صفيحتي المواسع؛ إذ تصبح موصلة، فيحدث تفريغ للشحنات الكهربائية عبرها؛ لذا يوجد حدّ أعلى لفرق الجهد الذي يمكن تطبيقه بين طرفي المواسع.

نشاط سريع

- أستخدم **استراتيجية أكواب إشارة المرور**، فأوزع الطلبة في مجموعات، وأعرض أمامهم جدولًا يبيّن التغير في الشحنة والجهد لمواسع في أثناء عملية الشحن:

الجهد (V)	الشحنة (pC)
0.1	0.25
0.2	0.50
0.3	0.75
0.4	1
0.5	1.25

- أزود الطلبة بورق رسم بياني، وأطلب إليهم تنفيذ المهام الآتية:
  - تمثيل البيانات المعطاة في الجدول؛ بحيث يمثل المحور ($y+$) شحنة المواسع والمحور ($x+$) جهد المواسع.
  - وصف العلاقة بين المتغيرين.
  - حساب ميل الخط المستقيم.
- أتجول بين المجموعات، وأقدم المساعدة والدعم لمن يحتاج إليهما.
- أناقش الطلبة في النتائج التي توصلوا إليها، إذ من المتوقع أن يتوصلوا إلى أن: العلاقة بين الشحنة وفرق الجهد خطية نمثّلها بخط مستقيم يمر في نقطة الأصل، ميله يساوي (2.5×10^{-12} C/V).

◄ بناء المفهوم:

المواسعة ووحدة قياسها

- أوضح للطلبة مفهوم المواسعة الكهربائية، وأعبر عنها بعلاقة رياضية، وأكتب تعريفًا لوحدة قياس المواسعة؛ الفاراد.
- أوضح للطلبة أن المواسعات المستخدمة في التطبيقات العملية تتراوح قيمها من قيم صغيرة جدًّا إلى مئات الآلاف من الفاراد.

◄ استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى تأمل الشكل (30) والإجابة عن السؤال المثبت عليه، ثم أبيّن لهم الإجابة الصحيحة.

✓ **أتحقّق:** المواسعة الكهربائية: هي الشحنة الكهربائية المختزنة لوحدة فرق الجهد الكهربائي.

كلما ازداد فرق الجهد بين طرفي المواسع تزداد شحنته بالنسبة نفسها، بحيث تبقى مواسعته ثابتة.

التجربة 2

قياس مواسعة مواسع عمليًّا

الهدف: قياس مواسعة مواسع.

زمن التنفيذ: 40 دقيقة.

إرشادات السلامة: أوجّه الطلبة إلى قراءة فرق الجهد المكتوب على المواسع، وأنبههم إلى مراعاة عدم تطبيق فرق جهد أعلى من المكتوب عليه، وعدم لمس طرفي المواسع بعد شحنه.

المهارات العلمية: الملاحظة، والقياس، والمقارنة.

الإجراءات والتوجيهات:

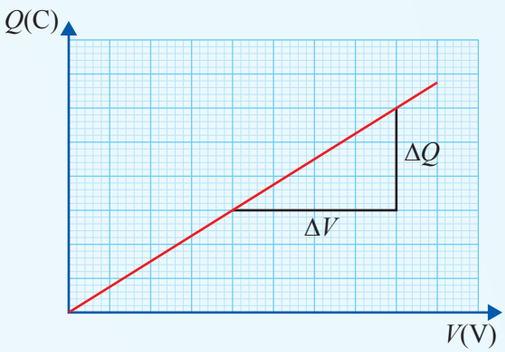
- أتأكد من معايرة الأجهزة قبل البدء بالتجربة، ومن أن التوصيلات صحيحة قبل إغلاق الدارة.
- أوجّه الطلبة إلى الرجوع إلى كتاب التمارين والأنشطة لتدوين النتائج.
- لتمثيل العلاقة بين جهد المواسع وشحنته، أوجّه الطلبة إلى رسم خط مستقيم يمرّ بمعظم النقاط.

النتائج المتوقعة:

- من المتوقع أن يتوصل الطلبة إلى علاقة خطية بين شحنة المواسع وجهده، وأن يكون ميل الخط المستقيم مساويًا لمقدار مواسعة المواسع المكتوبة عليه.

التحليل والاستنتاج:

1. العلاقة بين جهد المواسع وشحنته، كما في الشكل الآتي:



2. ميل الخط المستقيم = مواسعة المواسع (C):

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta V} = \frac{(Q_2 - Q_1)}{(V_2 - V_1)}$$

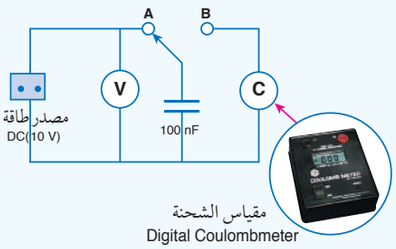
3. يفترض أن تكون النتائج متقاربة، وإن حصل اختلاف في النتائج فإن مصدر الخطأ غالبًا ما يعود إلى عدم معايرة كل من جهاز الفولتميتر وجهاز مقياس الشحنة معايرة صحيحة أو إلى عدم دقة أخذ قراءات تلك الأجهزة.

ولقياس مواسعة مواسع بصورة عملية، يُمكنني تنفيذ التجربة الآتية:

التجربة 2

قياس مواسعة مواسع عمليًّا

الموادّ والأدوات:
مصدر طاقة (تيّار مستمرّ DC)، فولتميتر، مجزّئ جهد، مواسع، مقياس الشحنة (Coulomb Meter) يقيس لغاية (2000 nC)، أسلاك توصيل.



مقياس الشحنة
Digital Coulombmeter

إرشادات السلامة: الحذر من تطبيق جهد أعلى من الجهد المكتوب على المواسع، ومن لمس طرفي المواسع بعد شحنه.

خطوات العمل:

بالتعاون مع أفراد مجموعتي؛ أُنفّذ الخطوات الآتية:

1. أُعاير كلًّا من الفولتميتر ومقياس الشحنة، ثم أصل أجزاء الدارة الكهربائيّة كما في الشكل؛ باستعمال جهد محدّد (مثلًا 0.5 V) مع إبقاء الطرف الحر للمواسع غير متّصل بأيّ طرف.
2. **أقيس:** أصل الطرف الحر للمواسع مع الطرف A حتى يُشحن المواسع، ثم أُدوّن قراءة الفولتميتر في الجدول، التي تُمثّل فرق الجهد بين طرفي المواسع.
3. **أقيس:** أفصل الطرف الحر للمواسع مع الطرف A، ثم أصله مع الطرف B مدة زمنية كافية لتفريغ شحنة المواسع خلال مقياس الشحنة، ثمّ أُدوّن قراءته في الجدول، وهي تُمثّل مقدار الشحنة المختزنة في المواسع.
4. أستعملُ مصدر الطاقة لتغيير قراءة الفولتميتر لعدّة قيَم (1 V, 1.5 V, 2 V, 2.5 V, 3 V)، وأكرّر الخطوتين الثانية والثالثة عند كل قراءة، وأُدوّن نتائجي في الجدول.

التحليل والاستنتاج:

1. **أرسمُ بيانيًّا** العلاقة بين جهد المواسع (قراءة الفولتميتر) بوحدة (V) على محور $x+$ وشحنته (مقياس الشحنة) بوحدة (C) على محور $y+$، ثمّ أرسمُ أفضل خطّ مستقيم يمرّ بمعظم النقاط.
2. **أحسبُ** ميل الخطّ المستقيم ($\frac{\Delta Q}{\Delta V}$). ما الكمّية الفيزيائية التي يُمثّلها الميل؟
3. **أقارن** النتيجة التي حصلت عليها للمواسعة مع مقدار المواسعة المكتوب على المواسع. ما سبب الاختلاف إن وُجد؟

استراتيجية التقويم: الملاحظة **أداة التقويم:** سلم تقدير رقمي

الرقم	معيار الأداء	3	2	1
1	مراعاة تعليمات الأمن والسلامة.			
2	تمثيل العلاقة بين شحنة المواسع وجهده برسم بياني مقبول.			
3	الحصول على قيمة للمواسعة قريبة من المكتوبة على المواسع.			
4	تحديد مصادر الخطأ المحتملة في التجربة.			

معلومة إضافية

بعد شحن المواسع وفصله عن البطارية ثم وصله مع مقياس الشحنة، تتحرك الشحنات عبر الدارة، ويمر فيها تيار كهربائي لمدة وجيزة يؤدي إلى تفريغ الشحنة الكهربائية المختزنة في المواسع عبر المقياس.

المثال 13

أحسبُ مواسعة مواسع يختزن شحنة مقدارها (6 μC) عندما يُطبّق عليه جهد مقداره (5 V).

المعطيات: $Q = 6\ \mu C,\ V = 5\ V$

المطلوب: $C = ?$

الحلّ: أُطبّق العلاقة:

$$C = \frac{Q}{V}$$

$$= \frac{6 \times 10^{-6}}{5} = 1.2 \times 10^{-6}\ F = 1.2\ \mu F$$

المثال 14

بناءً على البيانات المثبّتة على المواسع المُبيّن في الشكل (31)، أُجيب عمّا يأتي:

أ . أُحدّد القيمة العظمى للشحنة التي يُمكن تخزينها بأمان في المواسع.

ب. هل يُمكن تطبيق جهد مقداره (600 V) بين طرفَي المواسع؟ أُوضّح إجابتي.

الشكل (31): مواسع كهربائيّ.

المعطيات: من الشكل $C = 22\ \mu F,\ V = 450\ V$

المطلوب: $Q = ?$

الحلّ:

أ . أُطبّق العلاقة:

$$C = \frac{Q}{V}$$

$$Q = CV = (22 \times 10^{-6}) \times 450 = 9.9 \times 10^{-3}\ C$$

ب . لا؛ لأنّ أقصى جهد يتحمّله المواسع (450 V) حسب ما كُتب عليه. ومن ثمّ، إذا طُبّق عليه جهد أعلى من ذلك يتلف.

تمرين

أجد جهد مواسع مواسعته (1.2 μF) يختزن شحنة مقدارها (10 μC).

تمرين

$$C = \frac{Q}{V}$$

$$V = \frac{Q}{C} = \frac{10 \times 10^{-6}}{1.2 \times 10^{-6}} = 8.3\ V$$

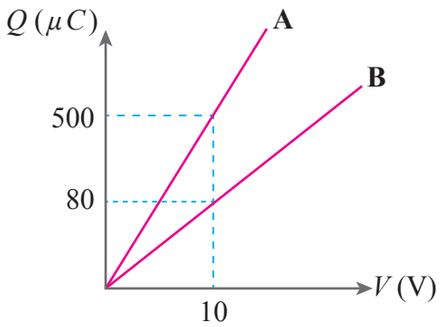
القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: التحليل.**

أخبر الطلبة أن التحليل من مهارات التفكير التي تقود الفرد للوصول إلى المعرفة واستكشاف العلاقات بين المفاهيم والكميات المختلفة. ألفت انتباه الطلبة بأنهم يطبقون مهارة التحليل عند دراسة الرسم البياني لمنحنى (الشحنة – الجهد) والتوصل منه إلى المواسعة.

مثال إضافي

يبين الشكل المجاور التمثيل البياني للعلاقة بين الجهد والشحنة لمواسعين (A, B). أحسب مواسعة كل منهما.



الحل:

باستخدام العلاقة $\left(C = \frac{Q}{V}\right)$ فإن مواسعة كل منهما تساوي ميل الخط المستقيم:

$$C_A = \frac{500}{10} = 50\ \mu F$$

$$C_B = \frac{80}{10} = 8\ \mu F$$

مثال إضافي

مواسع مشحون، شحنته (Q) وجهده (3 V)، زُوِّد بشحنة إضافية مقدارها (0.6 nC) فتغير جهده إلى (9 V)، أحسب:

1 . الشحنة (Q).

2 . مواسعة المواسع.

الحل:

1 . باستخدام العلاقة $\left(C = \frac{Q}{V}\right)$ وبما أن مواسعة المواسع ثابتة فإن:

$$C = \frac{Q}{3} = \frac{Q + 0.6}{9}$$

بحل المعادلة أجد (Q):

$$9Q = 3(Q + 0.6) \rightarrow 2Q = 0.6 \rightarrow Q = 0.3\ nC$$

2 . المواسعة:

$$C = \frac{0.3}{3} = 0.1\ nF$$

المناقشة:

- أستخدم استراتيجية (فكر، انتق زميلًا، شارك)، فأوزع الطلبة إلى مجموعات رباعية، وأوجّه لهم السؤال الوارد في بند (أفكر): هل تؤدي زيادة جهد المواسع أو شحنته الكهربائية إلى زيادة مواسعته؟ أفسر إجابتي.
- أتيح لهم وقتا كافيًا للإجابة، ثم أطلب إلى كل طالبين/ طالبتين التشارك في الأفكار، ثم عرضها على أفراد المجموعات.
- أوضح الإجابة الصحيحة، وأذكّر الطلبة بالرسم البياني للعلاقة بين شحنة المواسع وجهده؛ فالمنحنى خط مستقيم ميله ثابت (يساوي المواسعة)، وكلما ازداد جهد المواسع تزداد شحنته بالنسبة نفسها بحيث تبقى مواسعته ثابتة؛ أي أن مواسعة المواسع لا تعتمد على شحنته أو جهده.
- أحث الطلبة على إبداء آرائهم عن العوامل التي يرون أن مواسعة المواسع تعتمد عليها. أتقبل الإجابات، وأخبر الطلبة أنه يمكن استنتاج العوامل التي تعتمد عليها مواسعة المواسع ذي الصفيحتين المتوازيتين باشتقاق معادلة رياضية تبين هذه العوامل.

استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى تأمل الشكل (32)، ثم أوجّه لهم الأسئلة الآتية:

- ما شكل المواسع المبين في الشكل؟ مواسع ذو صفيحتين متوازيتين.
- ماذا يمثل الرمزان (A) و (d)؟ الرمز (A) مساحة كل من صفيحتيه، والرمز (d) البعد بينهما.
- ماذا ينشأ في الحيز بين صفيحتي المواسع عند وصله مع بطارية؟ عند وصل المواسع مع مصدر فرق جهد، يختزن شحنة كهربائية فينشأ بين الصفيحتين مجال كهربائي منتظم.
- كيف أحسب المجال بين صفيحتي المواسع؟ من قانون غاوس، فإن المجال يحسب باستخدام العلاقة: $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$
- إذا كانت الكثافة السطحية للشحنة تعطى بالعلاقة $(\sigma = \frac{Q}{A})$، فكيف أعبر عن المجال الكهربائي بين صفيحتي المواسع بدلالة الشحنة؟ $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{Q}{\varepsilon_0 A}$
- كيف أعبر عن فرق الجهد بين صفيحتي المواسع بدلالة المجال؟ $V = Ed = \frac{Q}{\varepsilon_0 A} d$

مواسعة مواسع ذي صفيحتين متوازيتين
Capacitance of Parallel-Plate Capacitor

يُبيّن الشكل (32) مواسعًا ذا صفيحتين متوازيتين، مساحة كلّ منهما A وتفصلهما مسافة d والوسط الفاصل بينهما فراغ (أو هواء). عند تطبيق فرق جهد V بين صفيحتَي المواسع بوساطة بطّارية؛ فإنّ المواسع يختزن شحنة كهربائيّة Q فينشأ بين الصفيحتين المشحونتين مجال كهربائيّ منتظم $\boldsymbol{E}$ مقداره (حسب قانون غاوس):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

ولكنّ الكثافة السطحية للشحنة σ تُعطى بالعلاقة: $\sigma = \frac{Q}{A}$

ومن ثمّ، فإنّ:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{Q}{\varepsilon_0 A}$$

وبما أنّ فرق الجهد بين طرفَي المواسع V يُعطى بالعلاقة: $V = Ed$

فإنّه يُمكنني التعبير عن مواسعة المواسع على النحو الآتي:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{Ed} = \frac{Q}{\frac{Q}{\varepsilon_0 A} d} = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

تُشير المعادلة السابقة إلى أنّ مواسعة المواسع ذي الصفيحتين المتوازيتين تعتمد على:

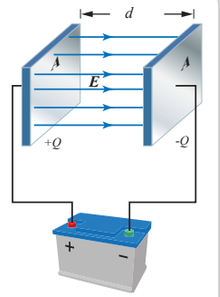
A: مساحة كلّ من صفيحتَي المواسع والعلاقة طردية.

d: المسافة بين الصفيحتين والعلاقة عكسية.

ε_0: السماحية الكهربائيّة للفراغ أو الهواء بين صفيحتَي المواسع.

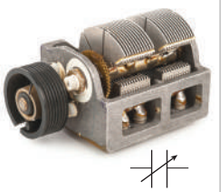
وستقتصر دراستنا على المواسع الذي تكون المادّة العازلة بين صفيحتيه الفراغ أو الهواء. توجد مواسعات متغيّرة المواسعة تحتوي على عدّة صفائح فلزّية قابلة للدوران حول محور. ومن ثمّ، يُمكنني التحكّم بمواسعة المواسع عن طريق تغيير عدد الصفائح أو مساحتها أو المسافة بينها، ويُرمز له في الدوائر الكهربائيّة بخطّين متوازيين عليهما سهم، أنظرُ إلى الشكل (33).

✓ **أتحقّق:** ما الطرائق التي يُمكنني بوساطتها زيادة مواسعة المواسع ذي الصفيحتين المتوازيتين؟



الشكل (32): شحن مواسع ذي صفيحتين متوازيتين.

أفكّر هل تؤدّي زيادة جهد المواسع أو شحنته الكهربائيّة إلى زيادة مواسعته؟ أُفسّر إجابتي.



الشكل (33): مواسع متغيّر المواسعة.

- أذكّر الطلبة بتعريف المواسعة $C = \frac{Q}{V}$ وأعوّض في العلاقة التي توصلت إليها لجهد المواسع، وأتوصل إلى العلاقة $C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$.

أفكّر: زيادة جهد المواسع أو شحنته لا تؤدي إلى زيادة مواسعته؛ لأنه كلما ازداد جهد المواسع تزداد شحنته بالنسبة نفسها، بحيث تبقى مواسعته ثابتة.

✓ **أتحقّق:** زيادة مساحة كلّ من صفيحتي المواسع، تقليل المسافة بين الصفيحتين، زيادة قيمة السماحية الكهربائية للوسط الفاصل بين صفيحتي المواسع.

معلومة إضافية

تزداد المواسعة الكهربائية للمواسع عند وضع طبقة من مادة عازلة مثل البلاستيك أو الزجاج أو أي مادة أخرى سماحيتها الكهربائية أكبر من السماحية الكهربائية للهواء.

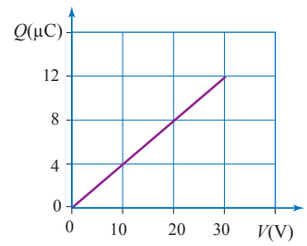
المثال 15

يُمثّل الرسم البياني في الشكل (34) العلاقة بين شحنة مواسع ذي صفيحتين متوازيتين وجهده، في أثناء عملية الشحن عند وصله مع بطّارية جهدها (40 V)، مستعينًا بالشكل أحسبُ:

أ . مواسعة المواسع.

ب. شحنة المواسع عندما يكون جهد المواسع (18 V).

جـ. شحنة المواسع بعد اكتمال عملية الشحن.



الشكل (34): التمثيل البياني للعلاقة بين شحنة المواسع وجهده.

المطلوب:

$C = ?, \quad Q = ?$

الحلّ:

أ . ميل الخط المستقيم يساوي مواسعة المواسع، أي إنّ:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{12 \times 10^{-6}}{30} = 4 \times 10^{-7}\ \text{F} = 0.4\ \mu\text{F}$$

ب. شحنة المواسع عندما يكون جهده (18 V):

$$Q = CV = (4 \times 10^{-7}) \times 18 = 7.2 \times 10^{-6}\ \text{C} = 7.2\ \mu\text{C}$$

جـ. تكتمل عملية شحن المواسع؛ عندما يُصبح جهده مساويًا لجهد البطّارية (40 V)، عندئذ تُختزن في المواسع قيمة عظمى للشحنة تساوي:

$$Q = CV = (4 \times 10^{-7}) \times 40 = 1.6 \times 10^{-5}\ \text{C} = 16\ \mu\text{C}$$

الربط بالحاسوب

استعمال المواسعات في لوحة مفاتيح الحاسوب

يوضع مواسع ذو صفيحتين متوازيتين أسفل كل حرف في لوحة مفاتيح الحاسوب؛ بحيث تُثبّت إحدى صفيحتَي كل مواسع بمفتاح والصفيحة الأخرى تكون ثابتة، وعند الضغط على المفتاح يقلّ البُعد بين الصفيحتين فتزداد مواسعة المواسع؛ وهذا يجعل الدارات الإلكترونية الخارجية تتعرّف إلى المفتاح الذي جرى الضغط عليه.

أخطاء شائعة

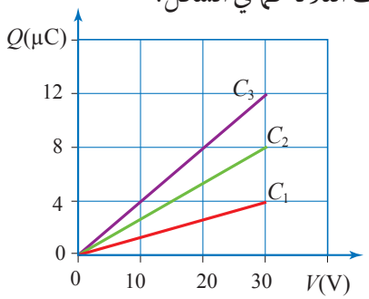
يظن بعض الطلبة خطأً أن مواسعة المواسع غير المشحون تساوي صفرًا؛ لأن شحنته تساوي صفرًا، إلا أن المواسعة مفهوم يعبر عن مقدرة المواسع على تخزين الشحنة، وهي كمية ثابتة للمواسع بثبات العوامل التي تعتمد عليها المواسعة (السماحية الكهربائية للمادة بين صفيحتيه، ومساحة صفيحتيه، والمسافة بينهما).

الربط بالحاسوب

- أوجه الطلبة إلى قراءة فقرة (الربط بالحاسوب)، وأوضح لهم أن المواسع المستخدم في هذه الدارة مواسعته متغيرة. ولأن طبقة المادة العازلة مرنة؛ فهي قابلة للانضغاط؛ لذا عند الضغط على المفتاح تنضغط المادة، فيقل البعد بين الصفيحتين؛ بسبب تغير سمك المادة العازلة، وبذلك تزداد المواسعة.

مثال إضافي

ثلاث مواسعات مختلفة في المواسعة، شُحنت باستخدام البطارية نفسها، ومُثّلت العلاقة بين فرق الجهد والشحنة للمواسعات الثلاثة كما في الشكل.



بالاعتماد على البيانات المعطاة في الشكل، أجيب عن السؤالين الآتيين:

أ . أحسب مواسعة كل من المواسعات الثلاثة.

ب. أكمل الفراغات في الجدول بما هو مناسب:

رمز المواسع	C_1	C_2	C_3
مساحة كل من الصفيحتين.	A		A
البعد بين الصفيحتين.	d	d	

الحل:

أ. المواسعة = ميل الخط المستقيم، وأحسبها للمواسعات الثلاثة كما يأتي:

$$C_1 = \frac{4}{30} = 0.13\ \mu\text{F}, \quad C_2 = \frac{8}{30} = 0.27\mu\text{F}, \quad C_3 = \frac{12}{30} = 0.4\ \mu\text{F}$$

ب.

رمز المواسع	C_1	C_2	C_3
مساحة كل من الصفيحتين.	A	$2A$	A
البعد بين الصفيحتين.	d	d	$\frac{d}{3}$

طريقة أُخرى للتدريس — مفهوم المواسعة

- أستخدم **استراتيجية التفكير الناقد**. لمساعدة الطلبة ذوي المستويات المختلفة على تصور مفهوم المواسعة، أعرض أمامهم قارورتي ماء مختلفتين في الحجم، وأسألهم:
  - أي القارورتين تستوعب كمية أكبر من الماء؟ الأكبر حجمًا.
  - ما وجه التشابه بين مفهوم حجم القارورة ومواسعة المواسع؟ ستتنوع الإجابات.
  - أستمع لإجاباتهم، وأوضح لهم أن سعة القارورة (حجمها) يعتمد على أبعادها الهندسية، وهو ثابت للقارورة الواحدة. كذلك «سعة المواسع» أو مواسعته تعتمد على أبعاده الهندسية.

مثال إضافي

مواسع مواسعته (4 pF)، وصل مع بطارية جهدها (50 V) حتى شحن تمامًا ثم فصل عن البطارية:

أ . أحسب الشحنة النهائية على المواسع.

ب. بعد فصل المواسع عن البطارية، إذا تضاعفت المسافة بين صفيحيته، فماذا يحدث لكل من: مواسعته، وشحنته، وفرق الجهد بين صفيحيته.

الحل:

أ . أستخدم العلاقة:

$$C = \frac{Q}{V} \rightarrow Q = CV = 4 \times 50 = 200\ \mu F$$

ب. بالرجوع إلى العلاقة ($C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$)، عند مضاعفة المسافة بين صفيحتي المواسع فإن مواسعته تقل إلى النصف. ولأن المواسع فصل عن البطارية فإن شحنته تبقى ثابتة.

وبالرجوع إلى العلاقة ($C = \frac{Q}{V}$) فإن العلاقة بين المواسعة والجهد عكسية (بثبات الشحنة) وبما أن المواسعة قلّت إلى النصف، فإن الجهد يزداد إلى مثلَيْ ما كان عليه.

تمرين

أ . مساحة كل من الصفيحتين تحسب من العلاقة:

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

$$0.04 \times 10^{-9} = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times A}{2.5 \times 10^{-3}}$$

$$A = 0.011\ m^2$$

ب. شحنة المواسع تحسب من العلاقة:

$$Q = CV = (0.04 \times 10^{-9})(100) = 4\ nC$$

المثال 16

مواسع ذو صفيحتين متوازيتين، البُعد بينهما (2 mm) ومساحة كل من صفيحته ($8 \times 10^{-4}\ m^2$)، يتّصل ببطّارية جهدها (50 V) أحسبُ:

أ . مواسعة المواسع.

ب. جهد المواسع (V') عندما يختزن شحنة (Q') مقدارها (100 pC).

جـ. إذا تضاعفت المسافة بين الصفيحتين مع بقاء البطّارية موصولة بالمواسع، فأحسبُ كلّ من شحنة المواسع (Q'') ومواسعته (C').

المعطيات: $d = 2\ mm,\ A = 8 \times 10^{-4}\ m^2,\ Q' = 100\ pC,\ V = 50\ V$

المطلوب: $C = ?,\ V' = ?,\ Q'' = ?,\ C' = ?$

الحلّ:

أ .

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d} = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 8 \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-3}} = 3.54 \times 10^{-12}\ F = 3.54\ pF$$

ب. عندما تتغيّر شحنة المواسع (Q') تبقى مواسعته ثابتة (C) ولكنّ جهده يتغيّر (V'):

$$C = \frac{Q'}{V'}$$

$$3.54 \times 10^{-12} = \frac{100 \times 10^{-12}}{V'} \Rightarrow V' = 28.2\ V$$

جـ. عندما مضاعفة المسافة بين صفيحتَي المواسع ($d' = 4\ mm$) تتغيّر مواسعة المواسع (C') وتتغير شحنته (Q'') بينما يبقى جهده ثابتًا ويساوي جهد البطّارية ($V = 50\ V$).

$$C' = \frac{\varepsilon_0 A}{d'} = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 8 \times 10^{-4}}{2(2 \times 10^{-3})} = 1.77 \times 10^{-12}\ F = 1.77\ pF$$

$$Q'' = C'V = (1.77 \times 10^{-12})(50) = 8.85 \times 10^{-11}\ C = 88.5\ pC$$

تمرين

مواسع ذو صفيحتين متوازيتين مواسعته (0.04 nF) والمسافة بين صفيحته (0.25 cm)، شُحن حتى أصبح جهده (100 V)، أحسبُ:

أ . مساحة كلّ من صفيحتّي المواسع.

ب. شحنة المواسع.

التعزيز:

- أستخدم **استراتيجية التعلم التعاوني** لتلخيص أثر نقصان المسافة بين صفيحتي مواسع على كل من: مواسعته، وجهده، وشحنته.
- أوجّه للمجموعات السؤالين الآتيين:

– مواسع شُحن ثم فُصل عن البطارية، إذا قلت المسافة بين صفيحتيه إلى النصف، فماذا يحدث لكل من: مواسعته، جهده، وشحنته؟

– مواسع وُصل مع بطارية حتى شُحن تمامًا، إذا قلّت المسافة بين صفيحتيه إلى النصف مع بقائه متصلًا مع البطارية، فماذا يحدث لكل من: مواسعته، وجهده، وشحنته؟

- أطلب إلى المجموعات تلخيص الإجابة عن السؤالين ضمن جدول مناسب.

الحالة	المواسعة	الشحنة	فرق الجهد
المواسع غير متصل ببطارية	تتضاعف	ثابتة	يقل إلى النصف
المواسع متصل ببطارية	تتضاعف	تتضاعف	ثابت

مواسعة موصل كروي معزول
Capacitance of an Isolated Spherical Conductor

على الرغم من أنّ المواسع ذا الصفيحتين المتوازيتين، هو الأكثر استعمالًا وانتشارًا من الناحية العملية بوصفه نظامًا لتخزين الشحنة، إلّا أنّ للموصل الكروي المعزول قدرة على تخزين الشحنات أيضًا وهذا يعني أنّ له مواسعة.

يوضّح الشكل (35) موصل كروي نصف قطره R معزول ومشحون بشحنة موجبة ($+Q$) تتوزّع بانتظام على سطحه نتيجة قوى التنافر؛ لذا يُمكنني التعامل مع ذلك الموصل الكروي على أنّه شحنة نقطية في مركزه، وجهده يُعطى بالعلاقة:

$$V = k\frac{Q}{R}$$

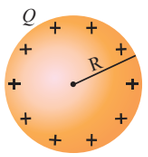
وبما أنّ مواسعة الموصل تُعطى بالعلاقة:

$$C = \frac{Q}{V}$$

فإنّ مواسعة الموصل الكروي تُعطى بالعلاقة:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{k\frac{Q}{R}} = \frac{1}{k}R$$

تُظهر المعادلة الأخيرة أنّ مواسعة موصل كروي معزول، تتناسب طرديًّا مع نصف قطره، فكلّما ازداد نصف قطره ازدادت مواسعته.



الشكل (35): موصل كروي مشحون بشحنة موجبة.

المثال 17

أحسبُ مواسعة الكرة الأرضية بافتراضها كروية الشكل؛ علمًا بأنّ نصف قطرها (6371 km) تقريبًا.

المعطيات: $R = 6371\ \text{km}$

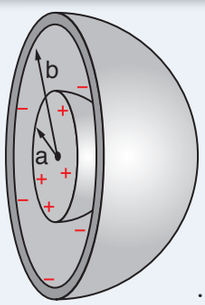
المطلوب: $C = ?$

الحلّ:

$$C = \frac{1}{k}R = \frac{1}{9\times10^{9}}(6.371\times10^{6}) = 708\ \mu\text{F}$$

إضاءة للمُعلّم / للمعلّمة

يتكون المواسع الكروي من كرتين متّحدتين في المركز، كما يبين الشكل المجاور، وتحسب مواسعته باستخدام العلاقة:



$$C = \frac{ab}{k(b-a)}$$

حيث (a) و (b) نصفا قطري الكرتين الداخلية والخارجية.

يمكن عدّ الموصل الكروي المشحون والمعزول حالة خاصة لمواسع كروي؛ باعتبار أن نصف قطر كرته الخارجية كبير جدًّا يؤول إلى اللانهاية ($b \to \infty$)؛ فتكتب العلاقة السابقة بالصورة:

$$C = \lim_{b\to\infty}\frac{ab}{k(b-a)} = \frac{ab}{kb} = \frac{a}{k}$$

المناقشة:

- أذكّر الطلبة بالموصل الكروي المشحون؛ فأرسم شكلًا لموصل كروي تتوزع الشحنة الموجبة على سطحه بانتظام، كما في الشكل (35)، وأوضح للطلبة أن الموصل في هذه الحالة يمثل نظامًا يختزن شحنة كهربائية، وهذا يعني أن له مواسعة.
- أذكر الطلبة بالعلاقة المستخدمة لحساب جهد موصل كروي مشحون، وأتوصل معهم بخطوات رياضية متسلسلة إلى علاقة رياضية لحساب مواسعة موصل كروي مشحون.
- أوضح بالاعتماد على المعادلة ($C = \frac{1}{k}R$) أن مواسعة الموصل الكروي تتناسب طرديًّا مع نصف قطره.

طريقة أُخرى للتدريس — مفهوم المواسعة

- أستخدم **استراتيجة أكواب إشارة المرور**.
- أوزع الطلبة في مجموعات غير متجانسة ليساعد بعضهم بعضًا على التعلم. أكلف الطلبة باشتقاق العلاقة الآتية لحساب مواسعة الموصل الكروي:

$$C = \frac{1}{k}R$$

باتباع الخطوات الآتية:

- كتابة علاقة لحساب جهد الموصل الكروي المشحون.
- كتابة علاقة لحساب المواسعة بدلالة الشحنة والجهد.
- تعويض علاقة جهد الموصل في علاقة المواسعة.
- اختصار الشحنة، والتعبير عن النتيجة النهائية بعلاقة رياضية لحساب المواسعة.

مثال إضافي

أحسب نصف قطر كرة موصلة، مواسعتها ($\frac{1}{9}$ nF)

الحل:

أستخدم العلاقة:

$$C = \frac{1}{k}R$$

$$\frac{1}{9}\times10^{-9} = \frac{R}{9\times10^{9}} \rightarrow R = 1\ \text{m}$$

المناقشة:

- أذكّر الطلبة بأن شحن المواسع يتطلب وصله ببطارية. وأذكّرهم بوظيفة المواسع وهي تخزين الطاقة، ثم أسألهم:

– ما نوع الطاقة المختزنة في المواسع المشحون؟

طاقة وضع كهربائية.

– ما مصدر الطاقة المختزنة في المواسع؟

مصدر الطاقة هو الشغل الذي تبذله البطارية على المواسع أثناء شحنه؛ إذ تبذل البطارية شغلًا عندما تنقل الشحنات من إحدى صفيحتي المواسع إلى الصفيحة الأخرى.

– كيف أحسب الطاقة المختزنة في المواسع المشحون؟

أستمع لإجاباتهم، وأوضح لهم أن الشغل الذي تبذله البطارية لشحن المواسع يساوي الطاقة المختزنة فيه.

استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى تأمل الشكل (36)، وأسألهم:

– ماذا يمثل الرسم البياني؟ العلاقة بين جهد المواسع والشحنة المختزنة فيه.

– ماذا تمثل مساحة المستطيل الذي أبعاده (ΔQ) و (V_1)؟

تمثل المساحة $(V_1\ \Delta Q)$ جزءًا من الشغل الذي تبذله البطارية لزيادة الشحنة على المواسع بمقدار (ΔQ) عند متوسط جهد مقداره (V_1).

– كيف نفسّر زيادة مساحة المستطيل لتصبح $(V_2\ \Delta Q)$؟

كلما زادت شحنة المواسع يزداد جهده، وهذا يتطلب بذل شغل أكبر من البطارية.

– كيف أحسب الشغل الكلي الذي تبذله البطارية لشحن المواسع؟ بحساب المساحة الكلية تحت المنحنى والتي يمثلها المثلث.

أفكّر:

مواسعته: تبقى ثابتة.

جهده: يقل تدريجيًّا حتى ينعدم.

شحنته: تقل تدريجيًّا حتى تنعدم.

الطاقة الكهربائية المختزنة فيه: تقل بالتدريج حتى تنعدم، وتتحول إلى طاقة ضوئية وحرارية في المصباح.

الطاقة المختزنة في المواسع Energy Stored in a Capacitor

يُعدّ المواسع المشحون مخزنًا للطاقة على شكل طاقة وضع كهربائيّة، تُستعمل مصدرًا للطاقة في كثير من الأجهزة. كيف يُمكنني حساب مقدار تلك الطاقة؟

عند وصل طرفَي بطّارية مع صفيحتَي مواسع؛ فإنّ البطّارية تبذل شغلًا لنقل الشحنات من إحدى الصفيحتين إلى الأُخرى، إذ يزداد جهد المواسع بزيادة الشحنات عليه.

يُمثّل الرسم البياني في الشكل (36) تلك العلاقة (جهد المواسع – الشحنة المختزنة فيه) إذ التناسب طردي والعلاقة خطّية على شكل خط مستقيم ميله يساوي:

$$\frac{\Delta V}{\Delta Q} = \frac{1}{C}$$

عند زيادة شحنة المواسع مقدار ΔQ عند متوسّط جهد مقداره V_1 في الشكل (36)؛ فإنّ ذلك يتطلّب شغلًا يساوي مساحة المستطيل: $V_1\ \Delta Q$، وكلّما ازدادت شحنة المواسع تزداد مساحة المستطيل $V_2 \Delta Q$ نتيجة لزيادة الجهد، وهذا يتطلّب بذل شغل أكبر. والمساحة الكلية تحت المنحنى (المساحة المغلقة بين الخط المستقيم والمحور الأفقي) التي تُمثّل مساحة المثلث تساوي الشغل الكلي W المبذول في شحن المواسع إلى شحنة Q وجهد V؛ أي إنّ:

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

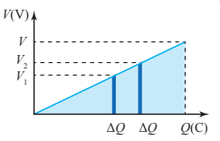
وهذا الشغل المبذول في شحن المواسع يساوي طاقة الوضع الكهربائيّة المختزنة في المواسع:

$$PE = \frac{1}{2}\ QV$$

وبما أنّ $Q = CV$ فإنّ:

$$PE = \frac{1}{2}\ CV^2 = \frac{1}{2}\ \frac{Q^2}{C}$$

وإذا فُصِلت البطّارية عن المواسع – بعد شحنه – ووُصِل طرفا المواسع بجهاز كهربائيّ ضمن دارة كهربائيّة؛ فإنّ الطاقة الكهربائيّة المختزنة في المواسع تتحوّل إلى شكل آخر من الطاقة، إذ تنتقل الإلكترونات من صفيحة



الشكل (36): الطاقة المختزنة في المواسع.

أفكّر: عند وصل طرفي مواسع مشحون ومعزول بمصباح، ماذا يحدث لكل من الكميات الآتية للمواسع: مواسعته، جهده، شحنته، الطاقة الكهربائيّة المختزنة فيه؟

أبحثُ: من أهم مميّزات المواسع، أنّ شحنه وتفريغه يحدثان خلال فترات زمنية يُمكن التحكم بها عن طريق تغيير خصائص المواسع ومقاومة دارة الشحن أو التفريغ، ما يجعله مفيدًا في الدوائر الكهربائيّة المعتمدة على الوقت، مثل مسّاحات زجاج السيارات. مستعينًا بمصادر المعرفة الموثوقة والمُتاحة ومنها شبكة الإنترنت، أبحثُ عن استعمالات المواسع في هذا المجال، وأُعدّ عرضًا تقديميًّا أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصفّ.

بناء المفهوم:

الطاقة المختزنة في المواسع

- أتأكد من فهم الطلبة للعلاقة بين مفهومي الشغل والطاقة، وأبيّن لهم أن:

– الشغل المبذول في شحن المواسع يساوي طاقة الوضع المختزنة فيه، وتُحسَب من المساحة تحت منحنى (الجهد– الشحنة).

– الطاقة المختزنة في المواسع يمكن حسابها بدلالة كل من الشحنة والجهد، أو المواسعة والجهد، أو الشحنة والمواسعة.

- أوضح للطلبة أن الطاقة المختزنة في المواسع تتحول إلى شكل آخر من أشكال الطاقة عند وصل المواسع مع جهاز كهربائي.

أوجّه الطلبة إلى قراءة فقرة (أبحث)، وأطلب إليهم البحث في مصادر المعرفة الموثوقة عن كيفية تحكم المواسع المستخدم في دارة ماسحات زجاج السيارة في المدة الزمنية بين كل مسحتين متتاليتين.

المواسع السالبة إلى الصفيحة الموجبة على شكل تيّار كهربائيّ في الدارة؛ يتلاشى بالتدريج خلال مدّة زمنية قصيرة لتصبح شحنة المواسع النهائية صفرًا، وتُسمى هذه العملية تفريغ المواسع Discharging a Capacitor.

✓ **أتحقّق:** ما العوامل التي تعتمد عليها الطاقة الكهربائيّة المختزنة في المواسع؟

المثال 18

مواسع ذو صفيحتين متوازيتين مواسعته ($10\ \mu F$) وُصِل مع بطّارية جهدها ($2\ V$) أحسبُ:

أ . الطاقة الكهربائيّة المختزنة في المواسع.

ب. شحنة المواسع.

المعطيات: $V = 2\ V\ ,\ C = 10\ \mu F$

المطلوب: $PE = ?,\ Q = ?$

الحلّ:

أ .

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

$$PE = \frac{1}{2} \times (10 \times 10^{-6})(2)^2 = 2 \times 10^{-5}\ J$$

ب.

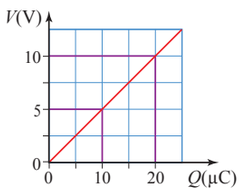
$$Q = CV = (10 \times 10^{-6})(2) = 2 \times 10^{-5}\ C$$

المثال 19

يُمثّل الرسم البياني في الشكل (37) العلاقة بين جهد المواسع والشحنة الكهربائيّة المختزنة فيه، بناءً عليه أحسبُ:

أ. مواسعة المواسع.

ب. الطاقة الكهربائيّة المختزنة في المواسع عندما يصبح جهده ($10\ V$).



الشكل (37): العلاقة بين جهد المواسع وشحنته.

المطلوب: $PE = ?,\ C = ?$

الحلّ:

أ . ميل الخط المستقيم يساوي $\frac{1}{C}$؛ أي إنّ:

$$\frac{V}{Q} = \frac{1}{C}$$

$$\frac{5}{10 \times 10^{-6}} = \frac{1}{C} \Rightarrow C = 2 \times 10^{-6}\ F$$

ب.

$$PE = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times (2 \times 10^{-6})\ (10)^2 = 10^{-4}\ J$$

✓ **أتحقَّق:**

تعتمد الطاقة المختزنة على: شحنة المواسع، ومواسعته، وجهده.

التعزيز:

- أستخدم **استراتيجة بطاقة الخروج**.
- أزوّد الطلبة ببطاقة أرسم عليها منحنيين، على المنحنى الأول أمثّل الشحنة على محور ($+y$) والجهد على محور ($+x$)، وأعكسهما في المنحنى الثاني. وأكتب الأسئلة الآتية:
  - ماذا يمثل ميل الخط المستقيم في كل منحنى؟
  - ماذا تمثل المساحة تحت المنحنى في كل منهما؟
  - أجمع البطاقات، وأناقش الإجابات في الحصة القادمة.

مثال إضافي

مواسع مواسعته ($2 \times 10^{-13}F$)، شحن حتى أصبحت الطاقة المختزنة فيه ($4 \times 10^{-11}\ J$) أحسب:

أ . فرق الجهد بين طرفيه.

ب. الطاقة المختزنة في المواسع عند إنقاص البعد بين صفيحتيه إلى النصف مع بقائه متصلًا بالبطارية.

الحل:

أ . أحسب فرق الجهد من العلاقة:

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

$$4 \times 10^{-11} = \frac{1}{2} \times 2 \times 10^{-13}\ V^2$$

$$4 \times 10^2 = V^2 \rightarrow V = 20\ V$$

ب. المواسع متصل مع البطارية فيبقى جهده ثابتًا، وبنقصان المسافة بين صفيحتيه إلى النصف، تتضاعف مواسعته، ومن العلاقة ($PE = \frac{1}{2} CV^2$) فإن الطاقة المختزنة فيه تتضاعف فتصبح: ($8 \times 10^{-11}\ J$).

مثال إضافي

مواسع مساحة كل من صفيحتيه ($1 \times 10^{-2} m^2$) والبعد بينهما ($4.424 \times 10^{-3}\ m$). شحن المواسع فكانت الطاقة المختزنة فيه ($1 \times 10^{-3}\ J$). أحسب الكثافة السطحية للشحنة على كل من صفيحتيه.

الحل:

أحسب مواسعة المواسع:

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d} = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 1 \times 10^{-2}}{4.425 \times 10^{-3}}$$

$$= 2 \times 10^{-11}\ F$$

أحسب الشحنة باستخدام العلاقة:

$$PE = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \rightarrow 1 \times 10^{-3} = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{2 \times 10^{-11}}$$

$$Q^2 = 4 \times 10^{-14} \rightarrow Q = 2 \times 10^{-7}\ C$$

أحسب الكثافة السطحية للشحنة:

$$\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{2 \times 10^{-7}}{1 \times 10^{-2}} = 2 \times 10^{-5}\ C/m^2$$

◄ المناقشة:

- أوجّه للطلبة السؤال الوارد في مقدمة الدرس، وأستمع لإجاباتهم.
- أوضح للطلبة أنه للحصول على مواسعة محددة يمكن وصل مواسعين أو أكثر بطرق عدة، منها: التوصيل على التوازي، والتوصيل على التوالي.
- أوضح للطلبة المقصود بالمواسعة المكافئة.

◄ استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى تأمل الشكل (38)؛ الذي يبين طريقة التوصيل على التوازي، وأسألهم:

– كيف توصل المواسعات مع البطارية بطريقة التوازي؟

تتصل صفيحتا كل مواسع مع قطبي البطارية، فتُشحن الصفائح المتصلة مع القطب الموجب بشحنة موجبة، وتُشحن الصفائح المتصلة مع القطب السالب بشحنة سالبة.

– ما العلاقة بين فرق الجهد لكل مواسع وجهد البطارية؟

يكون فرق الجهد لكل مواسع مساويًا لجهد البطارية.

– إذا كانت المواسعات مختلفة في المواسعة فهل تكون متساوية في الشحنة؟ لماذا؟

لا. من العلاقة ($Q = CV$) بتساوي الجهد، فإن الشحنة تتناسب طرديًّا مع المواسعة؛ أي أن المواسع ذا المواسعة الأكبر يختزن شحنة أكبر.

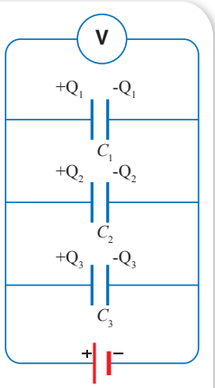
◄ بناء المفهوم:

المواسعة المكافئة لمواسعات تتصل على التوازي

- أوضح للطلبة أن للمواسع المكافئ لمواسعات عدة تتصل على التوازي فرق الجهد نفسه لأي من هذه المواسعات ويساوي جهد البطارية، وأن شحنته تساوي مجموع شحناتها.
- أتوصل بمشاركة الطلبة إلى علاقة رياضية لحساب المواسعة المكافئة لمواسعات تتصل على التوازي.

أطلب إلى بعض الطلبة البحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن تطبيقات عملية للمواسعات، وإعداد مقطع مرئي (فيلم) قصير يتضمن شرحًا مبسطًا لهذه التطبيقات، وعرضها أمام زملائهم/ زميلاتهن.

أعدُّ فيلمًا قصيرًا باستعمال برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضّح التطبيقات العملية للمواسعات واستعمالاتها في العديد من الأجهزة والدارات الكهربائيّة، مثل أجهزة الحاسوب والراديو والتلفاز، والأجهزة الطبية وأجهزة تكبير الصوت ووحدة الإضاءة (الفلاش) في الكاميرا وغيرها؛ لأداء مهام معيّنة مثل تخزين الطاقة وحماية الدارات الكهربائيّة من طفرات الجهد (ضبط الجهد) وتضخيم الإشارة، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.



الشكل (38): التوصيل على التوازي.

توصيل المواسعات Combining Capacitors

أفترضُ أنّ جهازًا إلكترونيًّا يتطلّب مواسع قيمة مواسعته (2 μF) ولا يوجد إلّا مواسعان اثنان؛ مواسعة الأول (6 μF) والثاني (3 μF). كيف يُمكنني وصل هذين المواسعين للحصول على المواسعة المطلوبة؟ توصل المواسعات معًا بعدّة طرائق منها طريقتان بسيطتان وشائعتان، هما التوصيل على التوالي والتوصيل على التوازي أو الجمع بينهما، ويُطلق على المواسعة الكلية لمجموعة مواسعات تتّصل معًا في دارة كهربائيّة **المواسعة المكافئة** Equivalent Capacitance.

التوصيل على التوازي Parallel Combination

يُبيّن الشكل (38) 3 مواسعات (C_1, C_2, C_3) تتّصل على التوازي مع بطّارية، إذ تتّصل صفيحتا كلّ مواسع مع قطبَي البطارية نفسها؛ أي إنّ الصفائح المتصلة مع القطب الموجب للبطارية تُشحن بشحنة موجبة، والصفائح المتصلة مع القطب السالب تُشحن بشحنة سالبة، بحيث يكون فرق الجهد بين صفيحتَي كلّ مواسع متساويًا ويساوي جهد البطارية V (قراءة الفولتميتر).

وبما أنّ $Q = CV$ فإنّ الشحنة المختزنة في كل مواسع:

$$Q_1 = C_1V, \quad Q_2 = C_2V, \quad Q_3 = C_3V$$

والشحنة الكلّية المختزنة في المواسعات الثلاثة Q تساوي مجموع شحنة تلك المواسعات:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

وبما أنّ $Q = CV$ فإنّ:

$$CV = C_1V + C_2V + C_3V$$

وبالقسمة على V نحصل على:

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

حيث C: المواسعة المكافئة للمواسعات الثلاثة المتصلة على التوازي.

وبشكل عام، فإنّ المواسعة المكافئة C لمجموعة مواسعات تتّصل معًا على التوازي تساوي المجموع الجبري لقِيَم تلك المواسعات، أي إنّ:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots$$

◄ التعزيز:

- أستخدم **استراتيجية (اثن ومرّر)**. فأكتب السؤال الآتي: هل توجد حالة تكون فيها المواسعات المتصلة على التوازي متساوية في الشحنة وفي الجهد؟
- أطلب إلى الطلبة الإجابة، وثني الورقة وتمريرها إلى زملائهم/ زميلاتهن إلى أن أُصدر أمرًا بالتوقف.
- أطلب إلى أحد الطلبة قراءة ما كتب في الورقة أمام الجميع، ثم أناقش إجاباتهم، وأتوصل معهم إلى الإجابة الآتية:

تحسب شحنة المواسع من العلاقة ($Q = CV$)، وفي التوصيل على التوازي تكون المواسعات متساوية في الجهد، فإذا كانت متساوية في المواسعة، تكون متساوية في الشحنة أيضًا.

المثال 20

مواسعان، مواسعة الأول (5 μF) والثاني (10 μF) وُصِلا على التوازي مع بطّارية جهدها (30 V)، أحسبُ:

أ . المواسعة المكافئة.

ب. شحنة كلّ من المواسعين الأول والثاني.

المعطيات: $V = 30\ \text{V},\ C_1 = 5\ \mu\text{F},\ C_2 = 10\ \mu\text{F}$

المطلوب: $Q_1 = ?,\ Q_2 = ?,\ C = ?$

الحلّ:

أ . $C = C_1 + C_2 = (5 + 10) = 15\ \mu\text{F} = 15 \times 10^{-6}\ \text{F}$

ب. جهد كل من المواسعين يساوي جهد البطارية V وبالتالي:

$$Q_1 = C_1 V = (5\times10^{-6})(30) = 1.5 \times 10^{-4}\ \text{C}$$

$$Q_2 = C_2 V = (10\times10^{-6})(30) = 3 \times 10^{-4}\ \text{C}$$

التوصيل على التوالي Series Combination

يُبيّن الشكل (39) 3 مواسعات (C_1, C_2, C_3) تتّصل معًا على التوالي مع بطّارية، إنّ صفيحة المواسع الثالث الموصولة مع القطب السالب للبطّارية تُشحن بشحنة سالبة ($-Q$)، بينما تُشحن صفيحة المواسع الأول الموصولة مع القطب الموجب للبطّارية بشحنة موجبة ($+Q$)، أمّا بقية الصفائح بينهما فتُشحن بالحث؛ بحيث تشحن الصفيحة اليسرى للمواسع C_3 بشحنة موجبة $+Q$ والصفيحة اليمنى للمواسع C_2 بشحنة سالبة $-Q$ وهكذا لبقية الصفائح، بمعنى أنّ شحنة المواسعات متساوية وتساوي شحنة المواسعة المكافئة. أمّا المجموع الجبري لجهود المواسعات الثلاثة فيساوي جهد البطّارية V:

$$V = V_1 + V_2 + V_2$$

وبما أنّ: $C = \frac{Q}{V}$ فإنّ المعادلة تؤول إلى:

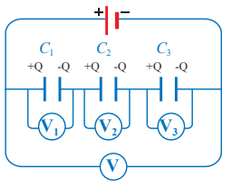
$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

وبالقسمة على Q نحصل على:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

حيث C: المواسعة المكافئة للمواسعات الثلاثة المتّصلة على التوالي.

وبشكل عامّ؛ فإنّ المواسعة المكافئة C لمجموعة مواسعات تتّصل معًا على التوالي تُعطى بالعلاقة: $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots$

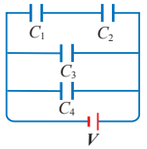


الشكل (39): التوصيل على التوالي.

✓ **أتحقّق:** تتّصل مجموعة مواسعات مع بطّارية كما في الشكل، بناءً عليه أُحدّد:

أ. مواسعًا جهده يساوي جهد البطارية.

ب. مواسعين شحنتيهما متساويتين.



استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى تأمل الشكل (39) الذي يبيّن طريقة التوصيل على التوالي، ثم أسألهم:

– كيف توصل المواسعات مع البطارية بطريقة التوالي؟ تتصل إحدى صفيحتي كل مواسع مع إحدى صفيحتي المواسع الذي يليه، وتتصل الصفيحتان اللتان على أطراف مجموعة المواسعات مع قطبي البطارية.

– كيف تكتسب المواسعات المتصلة على التوالي شحنتها؟

تُشحن الصفيحة المتصلة بالقطب السالب للبطارية بشحنة سالبة، وتُشحن الصفيحة المتصلة بالقطب الموجب للبطارية بشحنة موجبة، أما باقي الصفائح فتُشحن بالحث.

– هل المواسعات متساوية في الشحنة؟ نعم.

– إذا كانت المواسعات مختلفة في المواسعة فهل تكون متساوية في فرق الجهد؟ لماذا؟

لا. وفقًا للعلاقة ($C = \frac{Q}{V}$)، بتساوي الشحنة، فإن الجهد يتناسب عكسيًّا مع المواسعة؛ أي أن المواسع ذا المواسعة الأكبر له جهد أقل.

مثال إضافي

وُصِل مواسعان مع بطارية جهدها (30 V) على التوازي. مواسعة المواسع الأول ($C_1 = 3\ \mu\text{F}$) والثاني مواسعته (C_2). إذا كانت الشحنة المختزنة في المواسع المكافئ ($120 \times 10^{-6}\ \text{C}$)، فما مقدار المواسعة المجهولة؟

الحل:

أحسب شحنة المواسع الأول:

$$Q_1 = C_1 V = 3 \times 10^{-6} \times 30 = 90 \times 10^{-6}\text{C}$$

أحسب شحنة المواسع الثاني:

$$Q_2 = Q - Q_1 = 120 \times 10^{-6} - 90 \times 10^{-6}$$
$$= 30 \times 10^{-6}\ \text{C}$$

المواسعان يتصلان على التوازي، فهما متساويان في الجهد؛ أي أن جهد المواسع الثاني ($V_2 = 30\ \text{V}$)، أحسب المواسعة:

$$C_2 = \frac{Q}{V} = \frac{30 \times 10^{-6}}{30} = 1 \times 10^{-6}\ \text{F}$$

بناء المفهوم:

المواسعة المكافئة لمواسعات تتصل على التوالي

- أوضح للطلبة أن للمواسع المكافئ لمواسعات تتصل على التوالي الشحنة نفسها لأي منها، وجهده يساوي مجموع جهود هذه المواسعات (جهد البطارية).
- أتوصل بمشاركة الطلبة إلى علاقة رياضية لحساب المواسعة المكافئة لمواسعات تتصل على التوالي.

معلومة إضافية

المواسعة المكافئة لمجموعة من المواسعات المتصلة معًا على التوازي تكون أكبر من أكبر مواسعة في المجموعة. والمواسعة المكافئة لمواسعات متصلة معًا على التوالي تكون أصغر من أصغر مواسعة في المجموعة.

✓ **أتحقّق:**

أ . مواسعًا جهده يساوي جهد البطارية: C_3، C_4

ب. مواسعين شحنتاهما متساويتان: C_1، C_2

التجربة 2

المواسعة المكافئة لعدة مواسعات تتصل على التوالي، أو التوازي

الهدف: قياس المواسعة المكافئة عمليًّا.

زمن التنفيذ: 40 دقيقة.

إرشادات السلامة: أوجّه الطلبة إلى قراءة فرق الجهد المكتوب على المواسعات؛ والتزام عدم تطبيق فرق جهد أكبر من المكتوب عليها.

المهارات العلمية: الملاحظة، والقياس، والمقارنة.

الإجراءات والتوجيهات:

- أتأكد من معايرة جهاز الفولتميتر، ويفضل استخدام فولتمير رقمي ذي دقة عالية.
- أوجّه الطلبة إلى الرجوع إلى كتاب التمارين وتدوين القراءات.

النتائج المتوقعة:

من المتوقع الحصول على عينة بيانات كما في الجدولين الآتيين:

التوصيل على التوازي		
$C(\mu F)$	$V_{measured}$ (V)	$Q(\mu C) = CV$
$C_1 = 3$	$V_1 = 9V$	$Q_1 = 27$
$C_2 = 3$	$V_2 = 9V$	$Q_2 = 27$
$C_3 = 3$	$V_3 = 9V$	$Q_3 = 27$
	$V_{tot} = 9V$	$Q_{tot} = 81\mu C$
$C_{measured} = \frac{Q_{tot}}{V_{tot}} = \frac{81}{9} = 9\ \mu F$		
$C_{predicted} = C_1 + C_2 + C_3 = 9\ \mu F$		

التوصيل على التوالي		
$C(\mu F)$	$V_{measured}$ (V)	$Q(\mu C) = CV$
$C_1 = 3$	$V_1 = 3$	$Q_1 = 9$
$C_2 = 3$	$V_2 = 3$	$Q_2 = 9$
$C_3 = 3$	$V_3 = 3$	$Q_3 = 9$
	$V_{tot} = 9V$	$Q_{tot} = 9\mu C$
$C_{measured} = \frac{Q_{tot}}{V_{tot}} = \frac{9}{9} = 1\ \mu F$		
$C_{predicted} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \rightarrow C_{predicted} = 1\ \mu F$		

التحليل والاستنتاج:

1. أحسب شحنة كل مواسع باستخدام العلاقة $Q = CV$، ولأن المواسعات المستخدمة في التجربة متساوية في المواسعة، تكون متساوية في الشحنة.
2. أستخدم النتائج في جداول البيانات السابقة لإجراء المقارنة ومن المتوقع ملاحظة ما يلي:

- من حيث الشحنة: الشحنة الكلية المختزنة في المواسعات في التوصيل على التوازي أكبر من الشحنة الكلية المختزنة في المواسعات نفسها عند توصيلها على التوالي.
- من حيث الجهد: في التوصيل على التوازي يكون جهد كل مواسع مساويًا لجهد المصدر. وفي التوصيل على التوالي يتوزع جهد المصدر على المواسعات.

3. من المتوقع أن تكون المواسعة المكافئة المقيسة عمليًّا تساوي المحسوبة نظريًّا.
4. عدم معايرة الفولتميتر؛ لذا يجب معايرة الجهاز بدقة قبل استخدامه، دقة جهاز الفولتميتر وطريقة أخذ القراءات؛ لذا يفضل استخدام فولتميتر رقمي ذي دقة عالية.

استراتيجية التقويم: الملاحظة. **أداة التقويم:** سُلَّم تقدير.

الرقم	معيار الأداء	الوصف			
		مقبول	جيد	جيد جدًّا	ممتاز
1	**قياس** جهد المواسعات.				
2	**المقارنة** بين التوصيل على التوالي وعلى التوازي من حيث: الشحنة، والجهد.				
3	التوصل إلى أن المواسعة المكافئة المحسوبة عمليًّا تساوي المواسعة المتوقعة نظريًّا.				

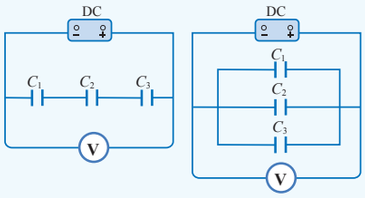
ولإيجاد المواسعة المكافئة لعدّة مواسعات تتّصل معًا على التوالي أو على التوازي بطريقة عملية، يُمكنني إجراء التجربة الآتية:

التجربة 3

المواسعة المكافئة لعدّة مواسعات تتّصل على التوالي، أو التوازي

الموادّ والأدوات:

(3) مواسعات متماثلة وجهدها صغير (مثلًا: 3μF, 10V)، مصدر طاقة (تيّار مستمرّ DC)، فولتميتر، أسلاك توصيل، لواقط فلزّية.



إرشادات السلامة: الحذر من رفع جهد المصدر إلى جهد عالٍ، ما يؤدّي إلى تلف المواسعات إضافة إلى خطورته.

خطوات العمل:

بالتعاون مع أفراد مجموعتي؛ أُنفّذ الخطوات الآتية:

1. أتأكّد من أنّ المواسعات غير مشحونة ($V = 0$)؛ عن طريق توصيل سلك سميك بين طرفَي المواسع.
2. أصل المواسعات الثلاثة على التوازي كما في الدارة المبيّنة في الشكل، ثم أُغلق الدارة.
3. **أقيس:** أرفع جهد مصدر الطاقة حتى تُصبح قراءة الفولتميتر (جهد البطارية) أقل من الجهد المكتوب على المواسع (10 V مثلًا)، ثم أفصل الفولتميتر وأستعملُه لقياس جهد كلّ مواسع من المواسعات الثلاثة، وأُدوّن نتائجي في الجدول.
4. أفصل الدارة وأُفرّغ المواسعات من شحنتها، ثم أُعيد توصيلها على التوالي كما في الشكل وأُغلق الدارة.
5. أُكرّر الخطوة (3)، وأُدوّن نتائجي في الجدول.

التحليل والاستنتاج:

1. **أحسبُ** شحنة كلّ مواسع باستعمال العلاقة: $C = \frac{Q}{V}$
2. **أقارن** - عن طريق النتائج العملية - بين المواسعات في حالة التوصيل على التوازي والتوصيل على التوالي من حيث الشحنة والجهد. هل تتّفق النتائج العملية مع ما تعلّمتُه نظريًّا؟
3. **أحسبُ** المواسعة المكافئة المقيسة والمواسعة المكافئة المتوقّعة، وأُقارن بينهما.
4. **أتوقّع** مصادر الخطأ المحتملة في التجربة. كيف يُمكنني تجنّبها؟

المثال 21

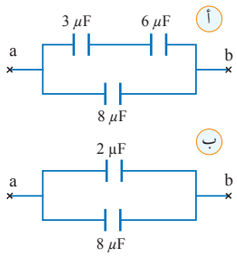
يُمثّل الشكل (40/ أ) جزءًا من دارة كهربائيّة يحتوي على (3) مواسعات، أحسبُ المواسعة المكافئة للمواسعات الثلاثة.

المطلوب: $C = ?$

الحلّ: المواسعان ($3\ \mu F$, $6\ \mu F$) على التوالي ومواسعتهما المكافئة $C_{3,6}$:

$$\frac{1}{C_{3,6}} = \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_6}$$

$$\frac{1}{C_{3,6}} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{6+3}{18} = \frac{1}{2} \Rightarrow C_{3,6} = 2\ \mu F$$



الشكل (40): المواسعة المكافئة.

لذا يُمكنني استبدال مواسع مواسعته $2\ \mu F$ بالمواسعين ($3\ \mu F$, $6\ \mu F$) بحيث يوصل على التوازي مع المواسع ($8\ \mu F$) كما في الشكل (40/ ب)، ومواسعتهما المكافئة C: $C = C_{3,6} + C_8 = 2 + 8 = 10\ \mu F$

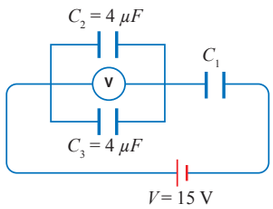
المثال 22

يُبيّن الشكل (41) 3 مواسعات تتّصل مع بطّارية جهدها (15 V)، إذا كانت قراءة الفولتميتر (10 V)؛ فأحسبُ:

أ. جهد المواسع C_1.

ب. الطاقة الكهربائيّة المختزنة في المواسع C_2.

جـ. مواسعة المواسع C_1.



الشكل (41): المواسعة المكافئة.

المعطيات: $V = 15$ V, $V_2 = V_3 = 10$ V

المطلوب: $V_1 = ?$, $C_1 = ?$, $PE_2 = ?$

الحلّ:

أ. قراءة الفولتميتر $V_2 = V_3 = V_{23} = 10$ V

جهد المواسع C_1 (V_1): $V = V_1 + V_{23}$

$15 = V_1 + 10 \Rightarrow V_1 = 5$ V

ب. الطاقة المختزنة في المواسع الثاني:

$$PE_2 = \frac{1}{2} C_2 V_2^2 = \frac{1}{2} \times (4 \times 10^{-6})(10)^2 = 2 \times 10^{-4}\ J$$

جـ. أحسبُ أولًا شحنة المواسع C_1:

$Q_{23} = C_{23}\ V_{23}$

لكن $C_{23} = C_2 + C_3 = 4 + 4 = 8\ \mu F$ ... توازي

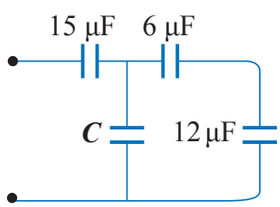
$Q_{23} = (8 \times 10^{-6})(10) = 8 \times 10^{-5}\ C = Q_1$

أحسبُ مواسعة المواسع C_1:

$$C_1 = \frac{Q_1}{V_1} = \frac{8 \times 10^{-5}}{5} = 1.6 \times 10^{-5}\ F = 16\ \mu F$$

مثال إضافي

في الشكل المجاور إذا كانت المواسعة المكافئة لمجموعة المواسعات ($6\ \mu F$)، فأحسب المواسعة المجهولة (C).



الحل:

المواسعان ($6\ \mu F$, $12\ \mu F$) يتصلان على التوالي، أحسب المكافئ لهما وأرمز إليه بالرمز (C_1):

$$\frac{1}{C_1} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} = \frac{1}{4} \rightarrow C_1 = 4\ \mu F$$

المواسعان (C_1) و (C) على التوازي، وأرمز لمكافئهما بالرمز (C_2)، الذي يتصل مع المواسع ($15\ \mu F$) على التوالي:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{15} + \frac{1}{C_2} \rightarrow \frac{1}{C_2} = \frac{1}{6} - \frac{1}{15} \rightarrow C_2 = 10\ \mu F$$

أحسب المواسعة (C):

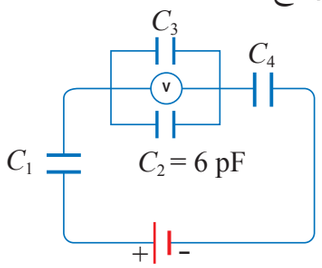
$$C_2 = C + C_1 \rightarrow C = 10 - 4 = 6\ \mu F$$

مثال إضافي

بالاعتماد على البيانات المثبتة على الشكل، وإذا علمت أن شحنة المواسع (C_1) تساوي (5×10^{-9} C) وشحنة المواسع (C_3) تساوي (3×10^{-9} C)، فأحسب:

أ . شحنة المواسع (C_4).

ب. مواسعة المواسع (C_3).



الحل:

أ.

$$Q_4 = Q_1 = 5 \times 10^{-9}\ C$$

ب.

$$Q_{23} = Q_1 = 5 \times 10^{-9}\ C$$

$$Q_{23} = Q_2 + Q_3$$

$$Q_2 = (5 - 3) \times 10^{-9} = 2 \times 10^{-9}\ C$$

$$V_2 = \frac{2 \times 10^{-9}}{6 \times 10^{-12}} \rightarrow V_2 = \frac{1}{3} \times 10^3\ V = V_3$$

$$C_3 = \frac{Q_3}{V_3} = \frac{3 \times 10^{-9}}{\frac{1}{3} \times 10^3} = 9 \times 10^{-12}\ F$$

معلومة إضافية

تحسب المواسعة المكافئة لمجموعة من المواسعات المتساوية في المواسعة؛ ومواسعة كل منها (C)، وعددها (n)، باستخدام العلاقتين الآتيتين:

- في التوصيل على التوازي: $C_{parallel} = nC$
- في التوصيل على التوالي: $C_{seires} = \frac{C}{n}$

ورقة العمل (3)

أوزع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة، ثم أزودهم بورقة العمل (3) الموجودة في الملحق، وأمنحهم وقتًا كافيًا للإجابة عليها، ومناقشة الإجابة ضمن المجموعة. ثم أكلف كل مجموعة بعرض إجاباتها، ومناقشتها مع الآخرين.

تمرين

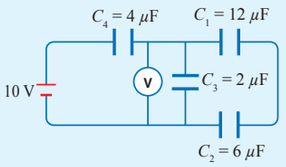
تتّصل (4) مواسعات مع بطّارية جهدها (10 V) كما في الشكل، أحسبُ:

أ. المواسعة المكافئة.

ب. شحنة المواسع الرابع.

جـ. قراءة الفولتميتر.

د. الطاقة الكهربائيّة المختزنة في المواسع الثالث.



الربط بالطب

جهاز الصدمة الكهربائية للقلب
Automated External Defibrillator (AED)

يحدث أحيانًا توقّف مفاجئ للقلب، ويتوقّف عن النبض بشكل غير متوقّع، وإذا لم يُعالج في غضون دقائق؛ فإنّه يؤدّي غالبًا إلى الموت.

وجهاز الصدمة الكهربائية للقلب (AED) جهاز يُستعمل لمساعدة الأشخاص الذين يعانون من توقّف القلب المفاجئ، أنظرُ إلى الشكل المجاور وهو جهاز طبي متطوّر خفيف الوزن ومحمول وسهل الاستعمال، يُمكنه تحليل نبضات القلب، وإذا اكتشف نبضًا غير طبيعي للقلب؛ فإنّه يعمل على مساعدة القلب وإعادة تنظيم ضرباته الطبيعية عن طريق صدمة كهربائيّة عبر الصدر إلى القلب؛ إذ يطلب برنامج الجهاز من المستعمل الضغط على زر لإصدار صدمة كهربائيّة. وفي بعض الأجهزة المتطوّرة يجري ذلك تلقائيًّا من دون تدخّل المستعمل.

يُمكن استعمال الجهاز بسهولة؛ إذ تتوافر تعليمات الاستعمال الصوتية والمرئية كافّة على الشاشة. ويجري توفير هذه الأجهزة في الأماكن العامة مثل القاعات الرياضية.

يتركّب الجهاز من عدّة أجزاء رئيسة منها مواسع كهربائيّ مواسعته (32 μF)؛ وهو الجزء المسؤول عن تأمين الشحنات الكهربائيّة اللازمة لحدوث الصدمة؛ عن طريق تفريغ الشحنات بشكل لحظي، ويجري شحنه باستعمال بطّارية مشحونة وجاهزة للاستعمال.

جهاز الصدمة الكهربائية للقلب (AED).

تمرين

أ.
$$\frac{1}{C_{1,2}} = \frac{1}{12} + \frac{1}{6} = \frac{2+1}{12}$$
$$= \frac{3}{12} \Rightarrow C_{1,2} = 4\ \mu F$$
$$C_{1,2,3} = C_{1,2} + C_3 = 4 + 2 = 6\ \mu F$$
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{1,2,3}} + \frac{1}{C_4} = \frac{1}{6} + \frac{1}{4}$$
$$= \frac{2+3}{12} \Rightarrow C = 2.4\ \mu F$$

ب. الشحنة المكافئة Q تساوي شحنة المواسع المكافئ للمواسعات (1,2,3) $Q_{1,2,3}$ وتساوي شحنة المواسع الرابع Q_4 لأنهما يتصلان معًا على التوالي:

$$Q_4 = Q = CV = 2.4 \times 10^{-6} \times 10$$
$$= 2.4 \times 10^{-5}\ C$$

جـ. جهد المواسع $C_{1,2,3}$ يساوي قراءة الفولتميتر:

$$V_{1,2,3} = \frac{Q_{1,2,3}}{C_{1,2,3}} = \frac{2.4 \times 10^{-5}}{6 \times 10^{-6}} = 4\ V = V_3$$

د.
$$PE_3 = \frac{1}{2} C_3 V_3^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times 10^{-6} \times 4^2$$
$$= 1.6 \times 10^{-5}\ J$$

الربط بالطب

- أستخدم **استراتيجية الطاولة المستديرة**، فأوزع الطلبة في مجموعات غير متجانسة ليساعد بعضهم بعضًا.
- أكتب الأسئلة الآتية:

– عرّف/ عرّفي جهاز الصدمة الطبي.

جهاز يستخدم لمساعدة الأشخاص الذين يعانون من توقف القلب المفاجئ.

– اذكر/ اذكري ثلاث مزايا للجهاز.

خفيف الوزن، وسهل الاستعمال، ومحمول.

– كيف يعمل الجهاز على إعادة تنظيم ضربات القلب؟

يحلل نبضات القلب، وإذا اكتشف نبضًا غير طبيعي، فإنه يساعد القلب ويعيد تنظيم ضرباته، عن طريق صدمة كهربائية عبر الصدر إلى القلب.

– ما وظيفة المواسع في جهاز الصدمة الطبي؟

تأمين الشحنات الكهربائية اللازمة لحدوث الصدمة؛ عن طريق تفريغ الشحنات تفريغًا لحظيًّا.

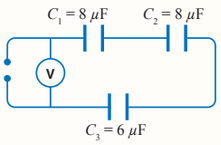
– ما الأماكن التي يتوافر فيها هذا الجهاز؟

الأماكن العامة، مثل القاعات الرياضية.

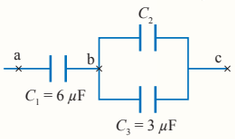
- أطلب إلى المجموعات الإجابة عن الأسئلة من خلال قراءتهم الفقرة في كتاب الطالب.
- أحدد مدة زمنية لإنجاز المهمة.
- أعرض ما توصلت إليه المجموعات، وذلك بمناقشة الإجابات مناقشة جماعية.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أُوضّح المقصود بكلّ من المفاهيم والمصطلحات الآتية: المواسع الكهربائيّ، المواسعة الكهربائيّة، المواسعة المكافئة.
2. **أُحلّل:** مواسع ذو صفيحتين متوازيتين، كيف يُمكنني زيادة مواسعته إلى (4) أضعاف؟
3. **أُحلّل:** ماذا نعني بقولنا مواسعة مواسع (5 F)؟
4. **أحسبُ** الطاقة الكلّيّة المختزنة في (3) مواسعات مواسعة كل منها ($30\ \mu F$) تتّصل على التوازي مع بطّارية جهدها (12 V).
5. **أحلّ مشكلات:** في أثناء عمل مهندس في صيانة الحواسيب، لزمه مواسع مواسعته (5 nF) وليس لديه سوى مواسعين مواسعة كل منهما (10 nF). ما طريقة التوصيل الأنسب للمواسعين للحصول على المواسعة المطلوبة؟ أُوضّح إجابتي.
6. **أستعملُ المتغيّرات:** مواسع ذو صفيحتين متوازيتين مساحة كلّ من صفيحتيه ($2 \times 10^{-3}\ m^2$) والبُعد بينهما (0.1 cm)، مشحون بشحنة مقدارها (6 nC) ومفصول عن مصدر الطاقة (البطارية)، أحسبُ:
   أ . مواسعة المواسع.
   ب. جهد المواسع.
   جـ. إذا أصبحت مساحة كلّ من الصفيحتين نصف قيمتها الابتدائية، ماذا يحدث لكلّ من: مواسعة المواسع وجهده، والطاقة الكهربائيّة المختزنة فيه.
7. **أستعملُ المتغيّرات:** تتّصل (3) مواسعات مع مصدر طاقة كما في الشكل المجاور. إذا علمتُ أنّ شحنة المواسع C_3 تساوي 3×10^{-5} C فأحسبُ:



   أ . المواسعة المكافئة.
   ب. قراءة الفولتميتر.
8. **التفكير الناقد:** يُمثّل الشكل المجاور جزءًا من دارة كهربائيّة تحتوي على (3) مواسعات. إذا علمتُ أنّ فرق الجهد بين النقطتين a وc يساوي (20 V)، وبين النقطتين b و c يساوي (12 V)، فأحسبُ:



   أ . شحنة المواسع C_1.
   ب. مواسعة المواسع C_2.
   جـ. الطاقة الكلّيّة المختزنة في المواسعات الثلاثة.

3 التقويم

إجابات أسئلة مراجعة الدرس

1 المواسع: جهاز يستعمل لتخزين الطاقة الكهربائية.
المواسعة الكهربائية: الشحنة الكهربائية المختزنة لوحدة فرق الجهد الكهربائي.
المواسعة المكافئة: المواسعة الكلّية لمجموعة مواسعات تتّصل معًا في دارة كهربائية.

2 بإحدى الطرق الآتية:
- زيادة مساحة كل من صفيحتيه إلى (4) أضعاف.
- زيادة السماحية الكهربائية للوسط بين صفيحتيه إلى (4) أضعاف ما كانت عليه.
- تقليل المسافة بين صفيحتيه إلى $(\frac{1}{4})$ ما كانت عليه.

3 مواسعة مواسع يختزن شحنة (5 C) عند تطبيق فرق جهد (1 V) بين صفيحتيه.

4
$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 30 + 30 + 30 = 90\ \mu F$$
$$PE = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times 90 \times 10^{-6} \times (12)^2$$
$$= 6.48 \times 10^{-3}\ J$$

5 التوصيل على التوالي؛ لأن المواسعة المطلوبة أصغر من مواسعة كل من المواسعين:
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{2}{10} \Rightarrow C = 5\ \mu F$$

6 أ.
$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$
$$C = \frac{(8.85 \times 10^{-12}) \times (2 \times 10^{-3})}{1 \times 10^{-3}}$$
$$= 1.77 \times 10^{-11}\ F$$

ب.
$$V = \frac{Q}{C} = \frac{6 \times 10^{-9}}{1.77 \times 10^{-11}} = 339\ V$$

جـ. المواسع مشحون ومفصول عن البطارية؛ فتكون شحنته ثابتة:
- المواسعة: تقل إلى النصف؛ من العلاقة $(C = \frac{\varepsilon_0 A}{d})$.
- جهد المواسع: يزداد إلى الضعفين؛ من العلاقة $(V = \frac{Q}{C})$.
- الطاقة المختزنة: تزداد إلى الضعفين؛ من المعادلة $(PE = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C})$ العلاقة بين المواسعة والطاقة عكسية بثبات الشحنة.

7 أ.
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{8} + \frac{1}{8} + \frac{1}{6} = \frac{10}{24}$$
$$C = 2.4\ \mu F$$

ب. في التوصيل على التوالي، تكون الشحنة متساوية:
$$Q_3 = 3 \times 10^{-5}\ C = Q_2 = Q_1 = Q$$
$$V = \frac{Q}{C} = \frac{3 \times 10^{-5}}{2.4 \times 10^{-6}} = 12.5\ V$$

8 أ.
$$V_{ac} = V_{ab} + V_{bc}$$
$$20 = V_{ab} + 12 \Rightarrow V_{ab} = 8\ V = V_1$$
$$Q_1 = C_1 V_1 = (6 \times 10^{-6})(8) = 48\ \mu C$$

ب
$$Q_{2,3} = Q_1 = 48\ \mu C \Rightarrow V_{2,3} = V_{bc} = 12\ V$$
$$C_{2,3} = \frac{Q_{2,3}}{V_{2,3}} = \frac{48 \times 10^{-6}}{12} = 4 \times 10^{-6}\ F$$
$$C_{2,3} = C_2 + C_3 \rightarrow C_2 = 1 \mu F$$

جـ.
$$PE = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} \times (4.8 \times 10^{-5}) \times 20 = 4.8 \times 10^{-4}\ J$$

المواسع الفائق

الهدف: تعرف المواسعات الفائقة.

الإجراءات والتوجيهات:

- أوجّه الطلبة إلى قراءة فقرة (الإثراء والتوسع).
- أناقش الطلبة في أهم مزايا هذا النوع من المواسعات، وذلك بمقارنتها بالبطاريات العادية.
- أسأل الطلبة عن سلبيات هذا النوع من المواسعات.
- أوزع الطلبة في مجموعات، وأطلب إليهم البحث عن تطبيقات المواسعات الفائقة واستخداماتها المستقبلية، وإعداد تقرير مدعّمًا بالصور.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

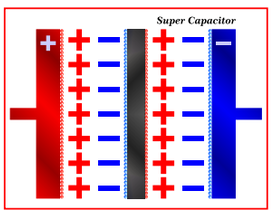
*** المهارات الحياتية: الابتكار**

أخبر الطلبة أن الابتكار يتجاوز كل ما هو تقليدي، وأنه توجد وسائل غير عادية للوصول إلى المنتج النهائي، وتعد المواسعات الفائقة وما شهدته من تطور مثالًا على الابتكار.

المواسع الفائق Supercapacitor

المواسعات الفائقة Supercapacitors أو Ultracapacitors كلّها تسميات لنمط واحد من المواسعات، وهي أحدث التطويرات التكنولوجيّة في مجال تخزين الطاقة. فما المواسعات الفائقة؟ وما مميّزاتها؟

المواسعات العادية غالبًا ما تُقاس بوحدة (الميكرو أو النانو أو البيكو) فاراد كما تعلّمتُ؛ لأنّ الفاراد كبير جدًّا، وعملية تطوير المواسعات بدأت منذ عشرات السنين لتخزين طاقة أكبر عن طريق المواسعات الفائقة، التي تُدعى أحيانًا المواسعات ذات الطبقة المضاعفة Double layer capacitors (DLC) كونها الأكثر انتشارًا، أنظرُ إلى الشكل المجاور. وهي مواسعات ذات مواسعة عالية جدًّا تصل إلى مئات الآلاف من الفاراد وبحجم مماثل للمواسعات العادية، ولكنّ جهدها قليل يتراوح بين (2.5 - 2.75 V) مقارنة مع جهود المواسعات العادية كما في الشكل، ولكن يُمكن توصيل عدّة مواسعات على التوالي للحصول على جهد أكبر.



عند المقارنة بين المواسعات الفائقة والبطّاريات المستعملة حاليًّا مثل بطّارية الليثيوم؛ فإنّ المواسعات الفائقة تتميّز عن البطّاريات بما يأتي:

مواسع عادي

مواسع فائق المواسعة

- زمن الشحن والتفريغ قليل جدًّا؛ فمثلًا الزمن اللازم لشحن هاتف خلوي دقيقة تقريبًا، بينما الهاتف الخلوي الذي تُستعمل فيه بطّارية يحتاج إلى عدّة ساعات.
- عدد دورات الشحن والتفريغ التي يُمكن إجراؤها قد تصل إلى مليون دورة، بينما لا تصل في البطارية إلى أكثر من (1000) دورة.
- آمنة ولا تحتوي على موادّ سامّة في تركيبها، وتكلفتها الماديّة قليلة.
- قدرتها على تحمّل تغيّر درجات الحرارة (80°C) – (-50°C).

إلّا أنّ البطّاريات تتميّز عن المواسعات الفائقة بكبر الجهد الكهربائيّ المخزّن، بالمقارنة مع الجهد القليل في المواسعات الفائقة، كذلك نسبة التفريغ الذاتي في البطّاريات أقل بكثير منها في المواسعات الفائقة.

أبحث مستعينًا بمصادر المعرفة الموثوقة والمُتاحة ومنها شبكة الانترنت، أبحث عن معلومات إضافية عن المواسعات الفائقة وتطبيقاتها المستقبلية، ثم أكتبُ تقريرًا مدعمًا بالصور عن ذلك، وأقرؤه أمام المعلم/ المعلمة والطلبة في الصف وأناقشه معهم.

أبحث

- أوزع الطلبة إلى مجموعات، ثم أوجّههم إلى استخدام مصادر المعرفة الموثوقة والمتاحة، ومنها الإنترنت للبحث عن المواسعات الفائقة، وأزوّدهم بالكلمات المفتاحية (Ultracapacitors, Supercapacitors)، ثم أطلب إليهم البحث عن مواصفاتها ومكوناتها، وأهميتها في المستقبل، وكذلك مدى التقدم الحاصل في هذا المجال، والمستقبل الذي ينتظرها بوصفها بديلًا عن البطاريات القابلة لإعادة الشحن.
- أطلب إلى كل مجموعة إعداد تقرير بما توصلوا إليه، وعرضه أمام الزملاء/ الزميلات في الصف، وأدير نقاشًا بين المجموعات.

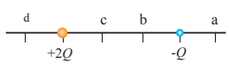
1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكلّ جملة ممّا يأتي:

1. الوحدة التي تُقاس بها مواسعة مواسع هي:

أ . فولت. كولوم. ب. فولت / كولوم.

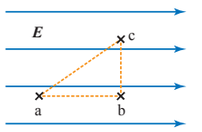
جـ. كولوم / م^2. د. كولوم / فولت.

2. النقطة التي يُمكن أن يكون الجهد عندها يساوي صفرًا على الخطّ الواصل بين الشحنتين في الشكل، هي:



أ. a ب. b جـ. c د. d

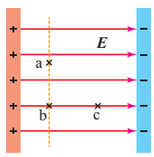
3. تزداد طاقة الوضع الكهربائيّة لبروتون في مجال كهربائيّ كما في الشكل، عند انتقاله:



أ . من النقطة c إلى النقطة b. ب. من النقطة b إلى النقطة c.

جـ. من النقطة a إلى النقطة c. د. من النقطة c إلى النقطة a.

4. (3) نقاط في مجال كهربائيّ منتظم كما في الشكل، أيّ المقارنات الآتية صحيحة بين جهد تلك النقاط:



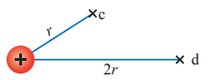
أ . $V_a = V_b = V_c$ ب. $V_a > V_b = V_c$

جـ. $V_a = V_b > V_c$ د . $V_a = V_b < V_c$

5. الجهد الكهربائيّ عند نقطة تقع على سطح موصل كروي مشحون ومعزول نصف قطره R يساوي (400 V). ما مقدار الجهد الكهربائيّ عند نقطة تبعد مسافة $\frac{R}{2}$ عن مركزه؟

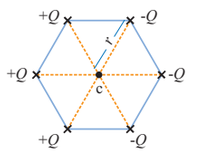
أ. 200 V ب. 400 V جـ. 800 V د. 0 V

6. النسبة بين جهد النقطة c إلى جهد النقطة d ($V_c : V_d$) في الشكل تساوي:



أ. (1:2) ب. (2:1) جـ. (1:4) د. (4:1)

7. (6) شحنات على رؤوس شكل سداسي منتظم كما في الشكل، إذا أُزيلت شحنة سالبة $-Q$ من إحدى رؤوس الشكل؛ فإنّ جهد النقطة c في مركز الشكل يساوي:



أ . $V = k\frac{5Q}{r}$ ب . $V = k\frac{-Q}{r}$

جـ. $V = k\frac{+Q}{r}$ د . $V = 0$

1

1) (د). كولوم/ فولت

2) (ب). b

3) (د). من النقطة C إلى النقطة a

4) (جـ). $V_a = V_b > V_c$

5) (ب). 400 V

6) (ب). (2:1)

$$Vc = \frac{kQ}{r}$$

$$Vd = \frac{kQ}{2r} \quad kQ/2r$$

$$\frac{Vc}{Vd} = \frac{2}{1}$$

7) (جـ). $V = k\frac{+Q}{r}$

8) (ب). (b,c)

9) (جـ). $2\ C$

المواسعان العلويان يتصلان على التوالي، فتكون مواسعة المواسع المكافئ لهما

$$C_1 = \frac{C}{2}$$

وكذلك المواسعان السفليان يتصلان على التوالي ومواسعة المواسع المكافئ لهما

$$C_2 = \frac{C}{2}$$

C_1

المواسعات C_1 و C_2 و C_3 على التوازي

$$C_{eq} = \frac{C}{2} + \frac{C}{2} + C = 2C$$

10) (جـ). تزداد إلى (4) أضعاف.

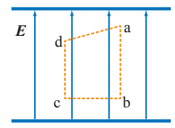
11) (د). $Q_2 = Q_1$

12) (جـ). $4C$

13) (جـ). (مقلوب مواسعة المواسع، الطاقة المختزنة في المواسع).

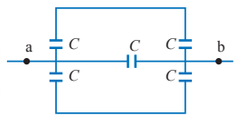
8. يُبيّن الشكل (4) نقاط على رؤوس شبه منحرف في مجال كهربائيّ منتظم، النقطتان اللتان يكون فرق الجهد بينهما يساوي صفرًا هما:

أ. (a,b) ب. (b,c) جـ. (c,d) د. (d,a)



9. مقدار المواسعة المكافئة لمجموعة المواسعات بين النقطتين (a ,b) في الشكل يساوي:

أ. $\frac{C}{2}$ ب. C جـ. $2\ C$ د. $5\ C$

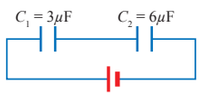


10. ما التغيّر الذي يحدث للطاقة المختزنة في مواسع عند مضاعفة جهده؟

أ . تزداد إلى الضعف. ب. تقلّ إلى النصف.

جـ. تزداد إلى (4) أضعاف. د. تقلّ إلى الربع.

11. مواسعان يتّصلان مع بطّارية كما في الشكل، عند المقارنة بين المواسعين؛ أيّ العبارات الآتية صحيحة؟



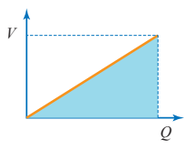
أ . $V_2 = 2V_1$ ب. $V_2 = V_1$

جـ. $Q_2 = 2Q_1$ د . $Q_2 = Q_1$

12. مواسع ذو صفيحتين متوازيين مواسعته C، إذا ازدادت مساحة كلّ من صفيحتيه إلى مثلّي ما كانت عليه، وقلّت المسافة بينهما إلى النصف؛ فإنّ مواسعته تُصبح:

أ. $\frac{C}{2}$ ب. $\frac{C}{4}$ جـ. $4C$ د. C

13. يُمثّل الشكل العلاقة البيانية بين شحنة مواسع وجهده، أيّ ممّا يأتي يُمثّل: (ميل الخط، المساحة الكلّية تحت الخط) على الترتيب:



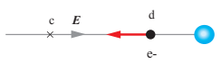
أ. (مواسعة المواسع، الطاقة المختزنة في المواسع).

ب. (الطاقة المختزنة في المواسع، مواسعة المواسع).

جـ. (مقلوب مواسعة المواسع، الطاقة المختزنة في المواسع).

د. (مواسعة المواسع، مقلوب الطاقة المختزنة في المواسع).

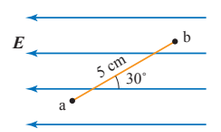
2 . **أستعملُ المتغيّرات:** شحنة نقطية مقدارها ($-2\ \mu C$) والنقطتان (c, d) تقعان في مجال تلك الشحنة وتُبعدان مسافة (4 cm, 10 cm) على الترتيب عن مركز الشحنة، مستعينًا بالشكل أحسبُ:



أ . جهد كل من النقطتين c و d.

ب. الشغل الذي تبذله القوّة الكهربائيّة لنقل إلكترون من النقطة d إلى النقطة c.

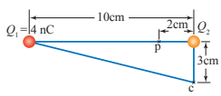
3 . **أستعملُ المتغيّرات:** مجال كهربائيّ منتظم مقداره $3 \times 10^4\ N/C$ كما في الشكل، مستعينًا بالشكل أحسبُ:



أ . فرق الجهد بين النقطتين V_{ab}.

ب. التغيّر في طاقة الوضع الكهربائيّة عند انتقال شحنة مقدارها (-6 pC) من النقطة a إلى النقطة b.

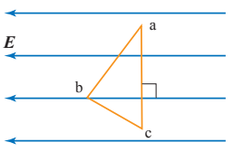
4 . **أستعملُ المتغيّرات:** شحنتان نقطيتان (Q_1, Q_2) كما في الشكل. إذا علمتُ أنّ جهد النقطة p الواقعة على الخط الواصل بين الشحنتين يساوي صفرًا، فمستعينًا بالشكل أُجيب عما يأتي:



أ . ما نوع الشحنة Q_2؟ وما مقدارها؟

ب. أحسبُ جهد النقطة c.

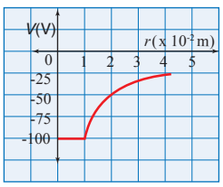
5 . **التفكير الناقد:** (3) نقاط (a, b, c) في مجال كهربائيّ منتظم كما في الشكل، إذا بذلت القوّة الكهربائيّة شغلًا مقداره (100 J) لنقل بروتون من النقطة a إلى النقطة b، فأحسب:



أ . التغيّر في طاقة الوضع الكهربائيّة عند انتقال البروتون من النقطة a إلى النقطة c.

ب. الشغل الذي تبذله القوّة الكهربائيّة لنقل البروتون من النقطة c إلى النقطة b.

6 . **أحلّل:** يُمثّل الرسم البياني في الشكل، العلاقة بين الجهد الكهربائيّ والبُعد عن مركز موصل كروي مشحون بشحنة سالبة، مستعينًا بالشكل أحسبُ:



أ . جهد الموصل ونصف قطره.

ب. الشغل المبذول من قِبَل القوّة الكهربائيّة لنقل شحنة (+6 nC) من نقطة تبعد (4 cm) إلى نقطة أخرى تبعد (2 cm) عن مركز الموصل.

2 أ .

$$V_c = k\frac{Q}{r_c} = 9\times10^9 \times \frac{-2\times10^{-6}}{10\times10^{-2}}$$
$$= -1.8\times10^5\ V$$
$$V_d = k\frac{Q}{r_d} = 9\times10^9 \times \frac{-2\times10^{-6}}{4\times10^{-2}}$$
$$= -4.5\times10^5\ V$$

ب.

$$W_{d\to c} = -q(V_c - V_d)$$
$$= -(-1.6\times10^{-19}) \times (-1.8\times10^5 - (-4.5\times10^5))$$
$$= 4.32\times10^{-14}\ J$$

3 أ .

$$V_{ab} = -Ed_{a\to b}\cos\theta$$
$$= -(3\times10^4)(5\times10^{-2})\cos150° = 1305\ V$$

ب.

$$\Delta PE = qV_{ab} = (-6\times10^{-12})(1305)$$
$$= -7.83\times10^{-9}$$

4 أ . الشحنة Q_2 سالبة ومقدارها:

$$V_1 + V_2 = 0 \Rightarrow V_1 = -V_2$$
$$k\frac{Q_1}{r_1} = -k\frac{Q_2}{r_2}$$
$$\frac{4}{8} = -\frac{Q_2}{2} \Rightarrow Q_2 = -1.0\ nC = -10^{-9}\ C$$

ب.

$$r_c = \sqrt{(3^2+10^2)} = 10.4\ cm$$
$$V_c = V_1 + V_2$$
$$V_c = 9\times10^9\left(\frac{4\times10^{-9}}{10.4\times10^{-2}} + \frac{-10^{-9}}{3\times10^{-2}}\right) = 46\ V$$

5 أ . بما أن الخط الواصل بين a و c عمودي على خطوط المجال؛ فهذا يعني أنه سطح تساوي جهد، ومن ثمّ: $V_{ac} = 0$، ومنها:

$$\Delta PE = qV_{ac} = 0$$

ب.

$$W_{a\to b} = -qV_{ab} = 100\ J$$

وبما أن (Va = Vc)، فإن (Vab = Vcb)

$$W_{c\to b} = -qV_{cb} = 100\ J$$

6 أ. جهد الموصل: $V_{sph} = -100\ V$

نصف قطره: $r = 1\times10^{-2}\ m$

ب.

$$W_{4\to2} = -q(V_2 - V_4)$$
$$= -(6\times10^{-9})\left(-50 - (-25)\right) = 1.5\times10^{-7}\ J$$

7 $V_{sph} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r}$

لكن:

$$\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{4\pi R^2} \Rightarrow Q = 4\pi R^2 \sigma$$

وبتعويض Q في المعادلة السابقة:

$$V_{sph} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{4\pi R^2\sigma}{R} = \frac{\sigma R}{\varepsilon_0}$$

8 أ.

$$Q = CV = (180 \times 10^{-6})(200)$$
$$= 3.6\times10^{-2}\ \text{C}$$

ب.

$$PE = \frac{1}{2}CV^2$$
$$= \frac{1}{2} \times 180 \times 10^{-6} \times (200)^2$$
$$= 3.6\ \text{J}$$

9 المواسع C يليه المواسع B ثم المواسع A؛ لأن ميل الخط $\frac{\Delta Q}{\Delta V}$ يساوي $\frac{1}{C}$ وبما ميل الخط C هو الأقل فإن مواسعته هي الأكبر.

10 أ.

$$Q = CV = (150 \times 10^{-6})(250)$$
$$= 3.75 \times 10^{-2}\ \text{C}$$

ب.

$$V' = 150\ \text{V}$$
$$PE = \frac{1}{2}C(V')^2$$
$$= \frac{1}{2} \times (150 \times 10^{-6}) \times (150)^2$$
$$= 1.69\ \text{J}$$

11 أ.

$$\frac{1}{C_{1,2}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$
$$= \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{3}{6} \Rightarrow C_{1,2} = 2.00\ \mu\text{F}$$

$$\frac{1}{C_{3,4}} = \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}$$
$$= \frac{1}{2} + \frac{1}{4} = \frac{3}{4} \Rightarrow C_{3,4} = 1.33\ \mu\text{F}$$

$$C = C_{1,2} + C_{3,4} = 2 + 1.33 = 3.33\ \mu\text{F}$$

ب.

$$PE = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2} \times (3.33 \times 10^{-6}) \times (12)^2$$
$$= 2.397 \times 10^{-4}\ \text{J}$$

7. التفكير الناقد: أُثبتُ أنّ الجهد الكهربائيّ على سطح موصل كروي موضوع في الهواء نصف قطره R والكثافة السطحية لشحنته σ، يُعطى بالعلاقة:

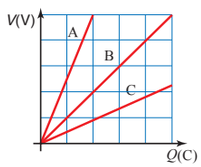
$$V = \frac{\sigma R}{\varepsilon_0}$$

8. أستعملُ المتغيّرات: يُستعمل مواسع مواسعته (180 μF) في وحدة إضاءة (فلاش) الكاميرا كما في الشكل لتخزين الطاقة الكهربائيّة؛ لتُفرّغ من المواسع خلال جزء من الثانية على شكل طاقة ضوئية في أثناء التقاط الصورة. إذا شُحِن المواسع حتى أصبح جهده (200 V) بوساطة بطارية؛ فأحسبُ:

أ. شحنة المواسع الكلية.

ب. الطاقة الكهربائيّة المختزنة في المواسع.

9. التفكير الناقد: رُسِمت العلاقة البيانية بين الشحنة والجهد لـ (3) مواسعات (A, B, C) كما في الشكل. أيّ المواسعات مواسعته أكبر؟ أُفسّر إجابتي.

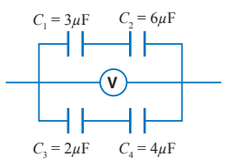


10. أستعملُ المتغيّرات: مواسع ضمن لوحة إلكترونية كما في الشكل، مستعينًا بالبيانات المثبّتة عليه أحسبُ:

أ. أكبر شحنة يُمكنني تخزينها بأمان في المواسع.

ب. الطاقة الكهربائيّة التي تُختزن في المواسع عند وصله ببطارية جهدها (150 V).

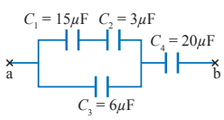
11. أستعملُ المتغيّرات: يُمثّل الشكل جزءًا من دارة كهربائيّة. إذا علمتُ أنّ قراءة الفولتميتر (12 V)؛ فأحسبُ:



أ. المواسعة المكافئة.

ب. الطاقة الكلية المختزنة في المواسعات.

12. أستعملُ المتغيّرات: تتّصل (4) مواسعات معًا في جزء من دارة كهربائيّة كما في الشكل. إذا علمتُ أنّ شحنة المواسع C_4 تساوي (30 μC)؛ فأحسبُ فرق الجهد بين النقطتين a و b.



12

$$V_{ab} = \frac{Q}{C}$$

$$Q = Q_4 = Q_{1,2,3} = 30 \times 10^{-6}\ \text{C}$$

$$\frac{1}{C_{1,2}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{15} + \frac{1}{3} = \frac{6}{15} \Rightarrow C_{(1,2)} = 2.5\ \mu\text{F}$$

$$C_{(1,2),3} = C_{(1,2)} + C_3 = 2.5 + 6 = 8.5\ \mu\text{F}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{(1,2),3}} + \frac{1}{C_4} = \frac{1}{8.5} + \frac{1}{20} \Rightarrow C = 5.96\ \mu\text{F}$$

$$= 5.96 \times 10^{-6}\ \text{F}$$

$$V_{ab} = \frac{Q}{C} = \frac{30 \times 10^{-6}}{5.96 \times 10^{-6}} = 5\ \text{V}$$

ملحق أوراق العمل

ورقة العمل (1)

الوحدة الأولى: الشغل والطاقة

الدرس الأول: الشغل والقدرة

شغل قوّة متغيّرة

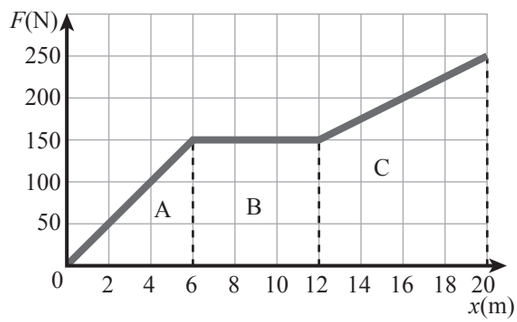
1. أكتب (**صواب**) أمام العبارة الصحيحة، أو **أصحّح** الخطأ إذا كانت العبارة غير صحيحة في ما يأتي:

أ..... تُستخدَم العلاقة ($W = Fd$) لحساب شغل قوة متغيّرة عندما تؤثّر في اتجاه الإزاحة نفسه.

ب..... شغل القوة المتغيّرة موجب دائمًا.

جـ..... يقاس الشغل بوحدة الجول حسب النظام الدولي للوحدات.

2. أثّرت قوّة محصلة متغيّرة في صندوق؛ فحرّكته إزاحة مقدارها (20 m)، كما هو موضح في الشكل أدناه. أحسب مقدار ما يأتي:



أ . الشغل الذي بذلته القوة المحصلة المتغيّرة عند حركة الجسم من الموقع (12 m) إلى الموقع (20 m).

.....

.....

.....

.....

ب. الشغل الكلّي الذي بذلته القوة المحصلة المتغيّرة على الصندوق خلال الإزاحة كاملة.

.....

.....

.....

.....

.....

إجابة ورقة العمل (1)

الوحدة الأولى: الشغل والطاقة

الدرس الأول: الشغل والقدرة

شغل قوّة متغيّرة

السؤال الأول:

أ. تُستخدَم العلاقة ($W = Fd$) لحساب شغل قوة ثابتة عندما تؤثّر في اتجاه الإزاحة نفسه.

ب. شغل القوة المتغيّرة قد يكون موجبًا وقد يكون سالبًا، وقد يساوي صفرًا.

جـ. صواب.

السؤال الثاني:

أ . الشغل المبذول يساوي مساحة شبه المنحرف (C).

$$W_{12-20} = \frac{1}{2} \times [(150 - 0) + (250 - 0)] \times (20 - 12)$$

$$= \frac{1}{2} \times (400) \times 8 = 1600 \text{ J}$$

ب. الشغل الكلّي المبذول يساوي مجموع المساحات (A) و(B) و(C).

$$W_{Total} = W_{0-6} + W_{6-12} + W_{12-20}$$

$$= A + B + C$$

$$= \frac{1}{2} \times (6 - 0) \times 150 + (12 - 6) \times (150) + 1600$$

$$= 450 + 900 + 1600$$

$$= 2950 \text{ J}$$

ورقة العمل (2)

الوحدة الأولى: الشغل والطاقة **الدرس الثاني**: الطاقة الميكانيكية

حفظ الطاقة الميكانيكية

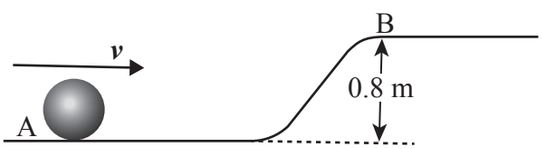
1. أكتب (**صواب**) أمام العبارة الصحيحة، أو **أصحّح** الخطأ إذا كانت العبارة غير صحيحة في ما يأتي:

أ..... تكون الطاقة الميكانيكية لجسم يسقط سقوطًا حرًّا ثابتة عند إهمال مقاومة الهواء.

ب..... من خصائص القوى المحافظة أنّ شغلها المبذول على جسم لتحريكه بين موقعين، يعتمد على المسار الذي يسلكه الجسم بينهما.

جـ..... تزداد طاقة وضع جسم عندما تعيق قوّة محافظة حركته.

2. تتحرك كرة كتلتها (0.5 kg) بسرعة مقدارها (10 m/s) نحو اليمين على سطح أفقي أملس في نهايته مستوى مائل أملس ارتفاعه (0.8 m)، كما هو موضّح في الشكل. أحسب مقدار ما يأتي:



أ. الطاقة الميكانيكية للكرة عند أعلى المستوى المائل.

.....

.....

.....

ب. سرعة الكرة عند أعلى المستوى المائل (B).

.....

.....

.....

.....

جـ. الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية على الكرة في أثناء صعودها على المستوى المائل.

.....

.....

.....

إجابة ورقة العمل (2)

الوحدة الأولى: الشغل والطاقة **الدرس الثاني**: الطاقة الميكانيكية

حفظ الطاقة الميكانيكية

السؤال الأول:

أ . صواب

ب. من خصائص القوى المحافظة أنّ شغلها المبذول على جسم لتحريكه بين موقعين، لا يعتمد على المسار الذي يسلكه الجسم بينهما.

جـ. صواب

السؤال الثاني:

أ . الطاقة الميكانيكية محفوظة؛ لأنّ السطح الأفقي والمستوى المائل أملسان. وباختيار السطح الأفقي مستوى إسناد لطاقة الوضع أجد أنّ:

$$ME_B = ME_A = KE_A + PE_A$$

$$= \frac{1}{2} mv_A^2 + 0 = \frac{1}{2} \times 0.5 \times (10)^2$$

$$= 25 \text{ J}$$

ب. الطاقة الميكانيكية محفوظة؛ لأنّ السطح الأفقي والمستوى المائل أملسان. وباختيار السطح الأفقي مستوى إسناد لطاقة الوضع أجد أنّ:

$$ME_B = KE_B + PE_B$$

$$25 = KE_B + mg\Delta y = KE_B + 0.5 \times 10 \times 0.8$$

$$KE_B = 25 - 4 = 21$$

$$\frac{1}{2} mv_B^2 = 21$$

$$v_B^2 = \frac{42}{0.5} = 84$$

$$v_B = 9.2 \text{ m/s}$$

جـ. الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية:

$$W_g = - \Delta PE = -mg\Delta y$$

$$= -0.5 \times 10 \times 0.8 = -4 \text{ J}$$

ورقة العمل (1)

الوحدة الثانية: المجال الكهربائي **الدرس الأول:** قانون كولوم

طرائق الشحن الكهربائي:

1. أكتب (**صواب**) أمام العبارة الصحيحة، أو **أصحّح** الخطأ إذا كانت العبارة غير صحيحة في ما يأتي:

أ..... تنتج عملية الشحن الكهربائي للأجسام من انتزاع إلكترونات من هذه الأجسام فقط.

ب..... عند دلك جسمين عازلين ببعضهما، فإن الجسمين يشحنان بسبب انتقال الإلكترونات من أحدهما إلى الآخر.

جـ..... عند ملامسة موصل متعادل لموصل مشحون بشحنة موجبة، فإن البروتونات تنتقل من المشحون إلى المتعادل، فيصبح الجسمان مشحونين.

د..... تسمى شحنة الإلكترون (-1.6×10^{-19} C) الشحنة الأساسية، لأنها أقل كمية من الشحنة يمكن أن توجد على انفراد.

2. أكمل الجدول الآتي باختيار المواد المناسبة (موصلة/ عازلة) التي تناسب كل طريقة شحن، مع التبرير.

الطريقة	المادة	تبرير الإجابة
الدلك	موصلة/ عازلة	.....
التوصيل	موصلة/ عازلة	.....
الحثّ	موصلة/ عازلة	.....

3. **أفسّر** ما يحدث لقاصّات الورق المتعادلة عندما تقترب منها مسطرة بلاستيكية مشحونة بشحنة سالبة، وكيف تنجذب القصاصات إلى المسطرة.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

إجابة ورقة العمل (1)

الوحدة الثانية: المجال الكهربائي **الدرس الأول:** قانون كولوم

طرائق الشحن الكهربائي

السؤال الأول:

أ . تنتج عملية الشحن الكهربائي للأجسام من انتزاع إلكترونات من هذه الأجسام (لتصبح موجبة)، أو إضافة إلكترونات إليها (لتصبح سالبة).

ب .صواب.

جـ. عند ملامسة موصل متعادل لموصل مشحون بشحنة موجبة، فإن الإلكترونات تنتقل من المتعادل إلى المشحون بشحنة موجبة، فيصبح الجسمان مشحونين بشحنة موجبة.

د . صواب.

السؤال الثاني:

الطريقة	المادة	تبرير الإجابة
الدلك	عازلة	لأن المواد الموصلة عند دلكها وشحنها تفقد شحنتها لأنها موصلة، فشحنها بالدلك يتطلب عزلها جيدًا.
التوصيل	موصلة	لأن الشحنة تنتقل خلال الموصل بسهولة عند تلامس الجسمين ولا تنتقل خلال العازل.
الحثّ	موصلة	لأن الشحن بالحث يتطلب انتقال الشحنة خلال الجسم المراد شحنه بين طرفيه، وهذا لا يحدث بسهولة في الأجسام العازلة.

السؤال الثالث:

عند تقريب المسطرة المشحونة بشحنة سالبة (مؤثر) من القصاصات المتعادلة، فإن الشحنات السالبة (الإلكترونات) على سطح القصاصة تتنافر وتتحرك مبتعدة عن المسطرة، في حين لا تتحرك الشحنات الموجبة على سطح القصاصة، وهذا الفصل لنوعي الشحنة على القصاصة يسمى استقطابًا كهربائيًّا. ينتج من ذلك أن يصبح سطح القصاصة المقابل للمسطرة موجب الشحنة؛ ما يجعلها تنجذب نحو المسطرة السالبة الشحنة.

ورقة العمل (2)

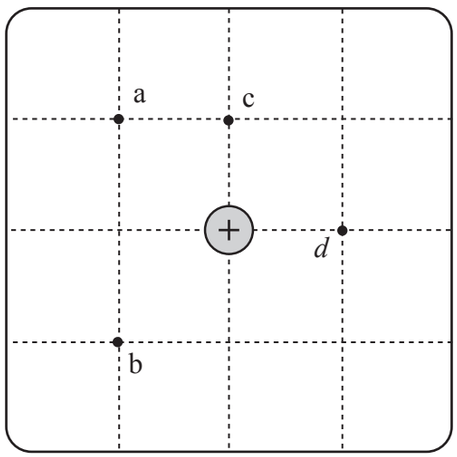
الوحدة الثانية: المجال الكهربائي

الدرس الثاني: المجال الكهربائي للشحنات النقطية

المجال الكهربائي للشحنات النقطية

1. أرسم سهمًا عند كل من النقاط (a,b,c,d) في الشكل الآتي؛ يمثل اتجاه المجال الكهربائي عند كل نقطة.

ثم أحدّد النقاط التي يتساوى عندها مقدار المجال، إذا علمت أن الشكل مقسم إلى مربعات متماثلة.



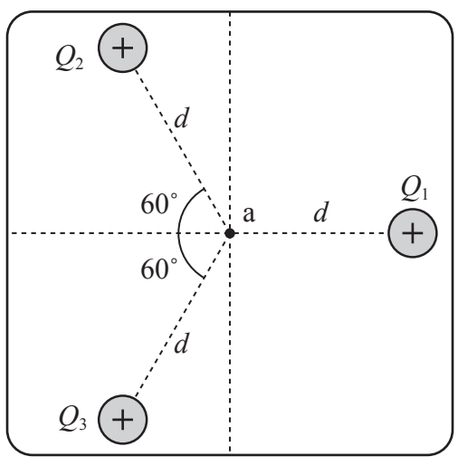
.....

.....

.....

.....

2. في الشكل المجاور ثلاث شحنات متساوية وتبعد عن النقطة (a) المسافة نفسها. أجد المجال المحصل عند النقطة (a).



.....

.....

.....

.....

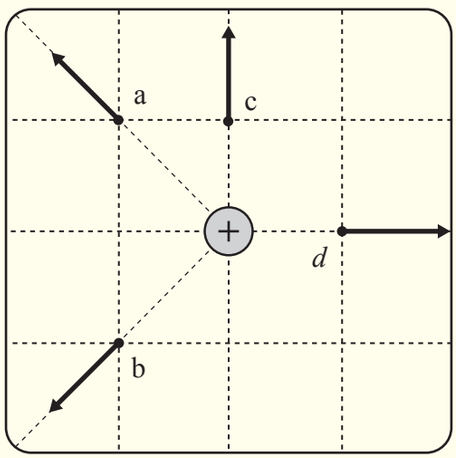
إجابة ورقة العمل (2)

الوحدة الثانية: المجال الكهربائي

الدرس الثاني: المجال الكهربائي للشحنات النقطية

المجال الكهربائي للشحنات النقطية

السؤال الأول:



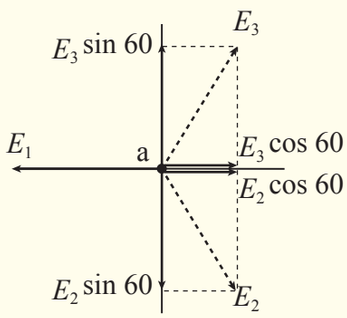
الرسم المجاور يبين اتجاهات المجال عند النقاط المختلفة.

- مقدار المجال عند النقطة (a) يساوي مقدار المجال عند النقطة (b).
- مقدار المجال عند النقطة (c) يساوي مقدار المجال عند النقطة (d).

السؤال الثاني:

المجال الناتج من الشحنة (Q_1) يكون باتجاه المحور ($-x$):

$$E_1 = k\frac{Q_1}{d^2}$$



المجال الناتج من الشحنة (Q_2) له مركبتان: الأولى أفقية، والثانية عمودية:

$$E_{2x} = k\frac{Q_2}{d^2}\cos 60 = 0.5(k\frac{Q_2}{d^2}), \ldots\ldots\ldots\ldots (+x)$$

$$E_{2y} = k\frac{Q_2}{d^2}\sin 60 = 0.87(k\frac{Q_2}{d^2}), \ldots\ldots\ldots\ldots (-y)$$

المجال الناتج من الشحنة (Q_3) له مركبتان: الأولى أفقية، والثانية عمودية:

$$E_{3x} = k\frac{Q_3}{d^2}\cos 60 = 0.5(k\frac{Q_3}{d^2}) \ldots\ldots\ldots\ldots (+x)$$

$$E_{3y} = k\frac{Q_3}{d^2}\sin 60 = 0.87(k\frac{Q_3}{d^2}) \ldots\ldots\ldots\ldots (+y)$$

المحصلة الأفقية للمجالات الثلاثة تساوي:

$$E_x = E_{2x} + E_{3x} - E_1 = 0.5(k\frac{Q_2}{d^2}) + 0.5(k\frac{Q_2}{d^2}) - k\frac{Q_1}{d^2} = 0$$

المحصلة العمودية للمجالات الثلاثة تساوي:

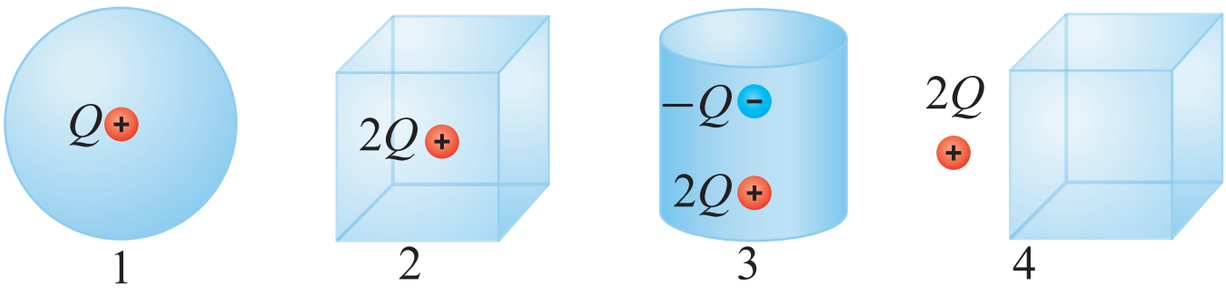
$$E_y = E_{3y} - E_{2y} = 0.87(k\frac{Q_2}{d^2}) - 0.87(k\frac{Q_2}{d^2}) = 0$$

ورقة العمل (3)

الوحدة الثانية: المجال الكهربائي **الدرس الثالث**: المجال الكهربائي لتوزيع متصل من الشحنات النقطية

قانون غاوس

1 يوضح الشكل مجموعة من السطوح الافتراضية (1, 2, 3, 4) يحتوي بعضها على شحنات كهربائية. أستعين بالشكل لأجيب عن الأسئلة التي تليه:



1. أي السطوح يكون التدفق الكهربائي الكلي عبره أكبر ما يمكن؟
2. أي السطوح يكون التدفق الكهربائي الكلي عبره يساوي صفرًا؟
3. أحدّد سطحين يكون التدفق الكهربائي الكلي عبرهما متساويًا.
4. أي السطوح تكون خطوط المجال الكهربائي عمودية عند نقاطه جميعها؟

2 إذا كان التدفق الكهربائي الكلي عبر سطح غاوس يساوي صفرًا، فماذا يعني ذلك؟

3 سطح غاوس كروي يحيط بشحنة نقطية تقع في مركزه. أصف ما يحدث للتدفق الكهربائي الكلي الذي يخترق السطح في الحالات الآتية:

1. إذا أصبحت الشحنة مثلَيْ ما كانت عليه.
2. إذا أصبح طول نصف قطر سطح غاوس الكروي مثلَيْ ما كان عليه.
3. إذا نُقِلت الشحنة من مركز السطح الكروي إلى نقطة أخرى داخل السطح.
4. إذا استُبدِل سطح غاوس الكروي بسطح آخر غير منتظم الشكل مع بقاء الشحنة داخله.

إجابة ورقة العمل (3)

الوحدة الثانية: المجال الكهربائي **الدرس الثالث:** المجال الكهربائي لتوزيع متصل من الشحنات النقطية

قانون غاوس

السؤال الأول:

1. 2 لأن الشحنة بداخله هي أكبر الشحنات.
2. 4 لأن الشحنة تقع خارج السطح.
3. 1, 3 لأن الشحنة الكلية داخلهما متساوية.
4. 1 لأن السطح كروي وخطوط المجال ناتجة من المركز وتمتد على استقامة أنصاف أقطار الكرة.

السؤال الثاني:

إما أن سطح غاوس لا يحتوي داخله على شحنات كهربائية، أو أن يكون المجموع الجبري للشحنات داخله يساوي صفرًا.

السؤال الثالث:

1. يصبح التدفق الكهربائي الكلي مثلَيْ ما كان عليه.
2. لا يتغير التدفق الكهربائي الكلي.
3. لا يتغير التدفق الكهربائي الكلي.
4. لا يتغير التدفق الكهربائي الكلي.

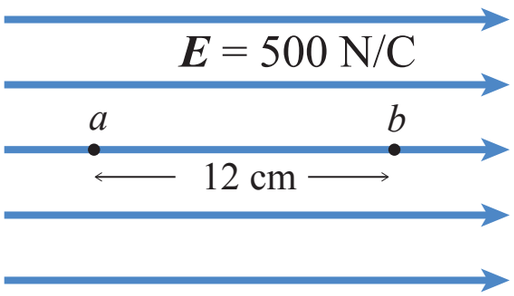
ورقة العمل (1)

الوحدة الثالثة: الجهد الكهربائي

الدرس الأول: الجهد الكهربائي لشحنة نقطية

النظام المحافظ

إذا علمت أن جهد النقطة a (V_a) في الشكل المجاور يساوي (100 V)، وجهد النقطة b (V_b) يساوي (40 V). فأجيب عن الأسئلة الآتية:



1. إذا وضع جسيم مشحون كتلته (30 mg) وشحنته (6 μC) عند النقطة a، فأحسب طاقة الوضع الكهربائية للجسيم.

2. إذا ترك الجسيم لينطلق من السكون بفعل القوة الكهربائية نحو النقطة b، فأحسب سرعة وصوله إلى النقطة b، ثم أحسب طاقته الحركية. (أهمل قوة الجاذبية الأرضية).

3. أحسب طاقة الوضع الكهربائية للجسيم عند النقطة b.

4. أحسب التغير في طاقة الوضع الكهربائية للجسيم عند انتقاله من النقطة a إلى النقطة b.

5. أحسب التغير في الطاقة الحركية للجسيم عند انتقاله من النقطة a إلى النقطة b.

6. أقارن النتيجة التي حصلت عليها في سؤال (4) مع تلك التي في سؤال (5). ماذا أستنتج من ذلك؟

7. أحسب شغل القوة الكهربائية المبذول على الجسيم عند انتقاله من النقطة a إلى النقطة b.

8. أقارن النتيجة التي حصلت عليها في سؤال (4) مع تلك التي في سؤال (7). ماذا أستنتج من ذلك؟

إجابة ورقة العمل (1)

الوحدة الثالثة: الجهد الكهربائي **الدرس الثاني:** الجهد الكهربائي لشحنة نقطية

النظام المحافظ

1. $PE_a = qV_a = 6 \times 10^{-6} \times 100 = 6 \times 10^{-4}$ J

2. نحسب أولًا تسارع الجسيم:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m} = \frac{6 \times 10^{-6} \times 500}{30 \times 10^{-6}} = 100 \text{ m/s}^2$$

$$v_b^2 = v_a^2 + 2ad$$

$$= 0 + 2 \times 100 \times 12 \times 10^{-2} = 24 \text{ , } v_b = 4.9 \text{ m/s}$$

$$KE_b = \frac{1}{2} mv_b^2 = \frac{1}{2} \times 30 \times 10^{-6} \times 24 = 3.6 \times 10^{-4} \text{ J}$$

3. $PE_b = qV_b = 6 \times 10^{-6} \times 40 = 2.4 \times 10^{-4}$ J

4. $\Delta PE = PE_b - PE_a$

$$= 2.4 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-4} = -3.6 \times 10^{-4} \text{ J}$$

5. $\Delta KE = KE_b - KE_a$

$$= 3.6 \times 10^{-4} - 0 = 3.6 \times 10^{-4} \text{ J}$$

6. $\Delta KE = -\Delta PE$

أي أن:

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

وهذا يدل على أن نظام (المجال الكهربائي – الشحنة) نظام محافظ.

7. $W = Fd \cos\theta = qEd \cos\theta$

$$= 6 \times 10^{-6} \times 500 \times 12 \times 10^{-2} \cos 0 = 3.6 \times 10^{-4} \text{ J}$$

8. $W = -\Delta PE$

هذا يعني أن الشغل الذي تبذله القوة الكهربائية على الشحنة يؤدي إلى نقص في طاقة وضعها الكهربائية بمقدار الشغل المبذول.

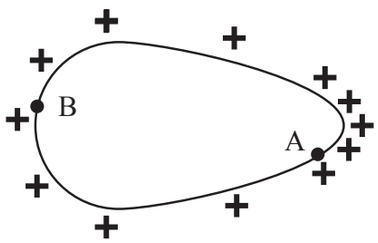
ورقة العمل (2)

الوحدة الثالثة: الجهد الكهربائي والمواسعة **الدرس الثاني**: الجهد الكهربائي لموصل مشحون

الجهد والمجال

أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1. موصل مشحون ومعزول كالمبيّن في الشكل المجاورعند المقارنة بين النقطتين (A) و (B) من حيث الكثافة السطحية للشحنة (σ)، والجهد (V)، والمجال (E)، نجد أن النقطتين متساويتان في مقدار:



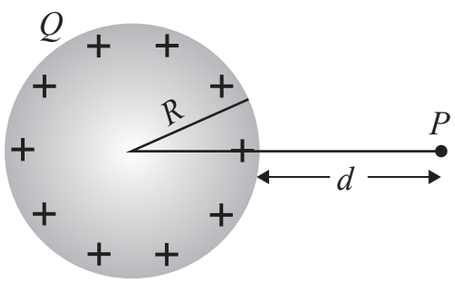
أ. V ، E ، σ ب. σ، V فقط

جـ. V ، E فقط د. V فقط

2. كرة موصلة طول نصف قطرها (R) وشحنتها (Q)، المجال الكهربائي والجهد الكهربائي عند مركزها:

رمز الإجابة	المجال الكهربائي	الجهد الكهربائي
أ.	$\frac{kQ}{R_2}$	$\frac{kQ}{R}$
ب.	$\frac{kQ}{R_2}$	0
جـ.	0	$\frac{kQ}{R}$
د.	0	0

3. موصل كروي طول نصف قطره ($R = 15$ cm) وشحنته ($Q = 3.0 \times 10^{-8}$ C). إذا علمت أن الجهد الكهربائي عند النقطة (P) يقل بمقدار (500 V) عن الجهد عند مركز الكرة، فإن بعد النقطة عن سطح الكرة (d) يساوي:



أ. 5.8×10^{-2} m

ب. 5.95×10^{-2} m

جـ. 2.07×10^{-2} m

د. 3.9×10^{-2} m

إجابة ورقة العمل (2)

الوحدة الثالثة: الجهد الكهربائي والمواسعة **الدرس الثاني**: الجهد الكهربائي لموصل مشحون

الجهد والمجال

رقم السؤال	1	2	3
رمز الإجابة	د	جـ	أ

3 . أحسب الجهد عند مركز الكرة:

$$V = \frac{kQ}{R}$$

$$V = \frac{9 \times 10^{9} \times 3 \times 10^{-8}}{15 \times 10^{-2}} = 1800 \text{ V}$$

أحسب الجهد عند النقطة:

$$V = 1800 - 500 = 1300 \text{ V}$$

أحسب المسافة باستخدام العلاقة:

$$V = \frac{kQ}{r}$$

$$1300 = \frac{9 \times 10^{9} \times 3 \times 10^{-8}}{(15 \times 10^{-2} + d)}$$

$$d = 5.8 \times 10^{-2} \text{ m}$$

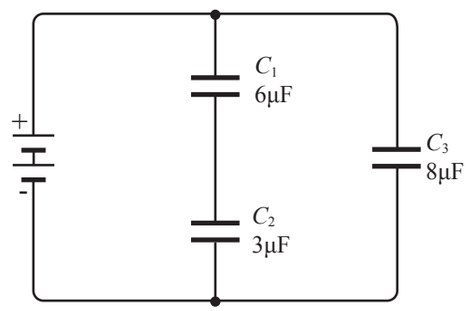
ورقة العمل (3)

الوحدة الثالثة: الجهد الكهربائي والمواسعة **الدرس الثالث**: المواسعة الكهربائية

توصيل المواسعات

اعتمادًا على البيانات المثبتة على الشكل، وإذا علمت أن الطاقة المختزنة في المواسع (C_3) تساوي (576 µJ) فأجيب عما يأتي:

1. أملأ الفراغات في الجدول بما هو مناسب:



رمز المواسع	المواسعة (µF)	الشحنة (µC)	فرق الجهد (V)	الطاقة (µJ)
C_1	6			
C_2	3			
C_3	8			576

2. أستعين بالبيانات الواردة في الجدول بعد إكماله، وأحسب:

أ . فرق جهد البطارية.

.....

.....

ب. الشحنة الكلية في الدارة.

.....

.....

جـ. الطاقة الكلية المختزنة في مجموعة المواسعات.

.....

.....

.....

.....

إجابة ورقة العمل (2)

الوحدة الثالثة: الجهد الكهربائي والمواسعة **الدرس الثالث:** المواسعة الكهربائية

توصيل المواسعات

1.

رمز المواسع	المواسعة (μF)	الشحنة (μC)	فرق الجهد (V)	الطاقة (μJ)
C_1	6	24	4	48
C_2	3	24	8	96
C_3	8	96	12	576

2. أ. فرق جهد البطارية يساوي جهد المواسع (C_3):

$$V = 12 \text{ V}$$

ب. الشحنة الكلية:

$$Q_{tot} = Q_{1.2} + Q_3 = 24 + 96 = 120 \text{ μC}$$

جـ. الطاقة الكلية المختزنة في مجموعة المواسعات:

$$PE = PE_1 + PE_2 + PE_3 = 48 + 96 + 567 = 720 \text{ μJ}$$

ويمكن أيضًا حساب الطاقة بحساب الطاقة المختزنة في المواسع المكافئ:

$$PE = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} \times 120 \times 12 = 720 \text{ μJ}$$

ملحق إجابات

كتاب الأنشطة والتجارب العملية

الوحدة الأولى:

تجربة إثرائية: بناء أفعوانية.

الهدف:

- تصميم ناجح ومبتكر لنماذج أفعوانيات تحرّكها قوّة الجاذبية، ضمن معايير وشروط معيّنة.
- مناقشة تأثيرات قوى الجاذبية والاحتكاك في حركة عربات الأفعوانية في سياق تصاميمهم.
- استعمال مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكية لشرح تصاميم أفعوانياتهم.
- بناء نموذج أفعوانية ناجح ومبتكر، يتضمّن الإثارة ويراعي اشتراطات الأمان والسلامة.
- جمع البيانات المتعلّقة بحركة الكرات في نموذج الأفعوانية، وتنظيمها.

زمن التنفيذ: 35 دقيقة

إرشادات السلامة: أوجّه الطلبة إلى:

- لبس النظّارة الواقية، وارتداء القفّازين ومريول المختبر.
- الحذر عند استعمال الكرات، وجمع أيّ كرات تسقط على الأرض؛ لأنّ الانزلاق عليها خطير.

المهارات العلمية:

الملاحظة، والقياس، والمقارنة، والاستنتاج، وتحليل البيانات وتفسيرها، والتصميم، وإصدار الأحكام.

الإجراءات والتوجيهات:

أطلب إلى الطلبة الاطلاع على الخلفية النظرية للتجربة في كتاب الأنشطة والتجارب العملية، وعدم البدء ببناء نموذج الأفعوانية إلا بعد موافقة المعلّم/ المعلّمة عليه.

النتائج المتوقعة:

ستختلف التصاميم، والتصميم الناجح يكون فيه ارتفاع التلّ الأول هو الأكبر، وتكمل الكرة مسارها بنجاح ولا تخرج عن مسارها. كلّما كانت المنعطفات شديدة الانحدار زادت صعوبة التحكّم في الكرة.

إجابة خطوات العمل/ الجزء الأول:

1. **إجابة محتملة:** مواد البناء المتوفرة أو المفضلة، وميزانية البناء، وتدابير الأمان والسلامة للمستخدمين. ومراعاة القوانين الأساسية في الفيزياء لضمان نجاح عمل الأفعوانية، مثل: تأثيرات الانحدار في مسار حركة الأفعوانية، والسرعة، وقوى الاحتكاك، وأكبر تسارع يتحمله الإنسان.
2. **إجابة محتملة:** التحول المستمر بين طاقة الوضع والطاقة الحركية. ولقوة الاحتكاك دور مهم في إبطاء سرعة عربات الأفعوانية، وللتسارع دور في الإثارة التي يعيشها راكبو عربات الأفعوانية.
3. **إجابة محتملة:**
   - أن يكون ارتفاع التل الأول هو أعلى موقع في مسار حركة عربات الأفعوانية.
   - تتحرك عربات الأفعوانية بصورة أسرع عند قيعان التلال وأبطأ عند قمم التلال في مسارها.
   - تحوّل قوة الاحتكاك الحركي الطاقة الحركية للعربات إلى طاقة حرارية؛ لذا يجب تقليل قوة الاحتكاك قدر الإمكان.
   - إذا كانت عربات الأفعوانية لا تتحرك بسرعة كافية في الجزء العلوي من حلقة دائرية في مسار حركتها، فسوف تسقط عن المسار.

التحليل والاستنتاج:

1. تختلف الإجابات بحسب ارتفاع التل الأول لكل نموذج.
2. تختلف الإجابات بحسب ارتفاع التل الأول لكل نموذج. تكون سرعات الكرات الثلاث متساوية؛ لأنها تعتمد على ارتفاع الجسم الرأسي عن سطح الأرض ولا تعتمد على كتلة الجسم في غياب قوة الاحتكاك.
3. تكونان متساويتين عند إهمال قوة الاحتكاك؛ إذ إن الطاقة الميكانيكية عند أقصى ارتفاع هي طاقة وضع وتكون عظمى، والطاقة الميكانيكية عند أخفض موقع هي طاقة حركية وتكون عظمى.
4. لأن للكرات طاقة حركية تمكّنها من بذل شغل على الكوب

وتحريكه، وتزداد المسافة التي يتحركها الكوب بزيادة الارتفاع الذي يتم إفلات الكرات منه (زيادة ارتفاع التل الأول).

5 بإهمال قوى الاحتكاك تكون سرعات الكرات متساوية عند نهاية مسارها الأفقي؛ لأن السرعة عند أخفض موقع تعتمد على الارتفاع الرأسي عن مستوى الإسناد.

6 **إجابة محتملة:** يعتمد النقاش على ما إذا كان بإمكانهم تحديد القيود والمحددات الفيزيائية وشرح مشكلات بعبارات فيزيائية، مثل: ليس للكرات طاقة وضع ناشئة عن الجاذبية الأرضية كافية؛ لأن ارتفاع التل الأول ليس كبيرًا بما يكفي، أو أن قوة الاحتكاك بين الكرات والمسار كبيرة جدًّا، أو أن الأفعوانية غير مستقرّة وغير مثبتة جيدًا.

7 تختلف الإجابات بحسب البيانات المرصودة الخاصة بكل أفعوانية.

8 **إجابة محتملة:** بزيادة الارتفاع الرأسي للتل الأول الذي تنطلق منه عربات الأفعوانية (نقطة بداية مسار الحركة) بالنسبة إلى مستوى الإسناد؛ فكلّما زاد الارتفاع زادت سرعة العربات في نهاية مسارها الأفقي، مع مراعاة شروط الأمان والسلامة بالنسبة لحدود السرعة التي يتحملها الركّاب.

9 **إجابة محتملة:** أكثرها إثارة التي تراعي وجود منعطفات متنوعة، وتحولات مفاجئة بين طاقة الوضع والطاقة الحركية، وارتفاع التل الأول فيها كبير لتزويد العربات بسرعات كبيرة. أما الأمان فهو مراعاة عدم سقوط الكرات عن مسارها، كما يجب أن تراعي ألا تكون القوة المؤثرة في الراكب/ الراكبة عند المنعطفات أكبر بكثير من وزنه/ وزنها؛ لكيلا يفقد الراكب وعيه/ الراكبة وعيها.

10 ستختلف الإجابات بحسب النماذج التي عملها الطلبة؛ ويرتبط الإبداع في التصميم بشكل نموذج الأفعوانية، وجمال التصميم، واحتوائه على منعطفات مختلفة، ومسارات حلقية وأخرى لولبية، وغيرها. ويرتبط الأداء بإكمال العربات (الكرات) مسار حركتها كاملًا، أما شروط السلامة والأمان فترتبط بعدم سقوط العربات عن مسار حركتها، أو توقفها قبل وصولها نهاية المسار، أو عدم تثبيت الركّاب جيدًا بالعربات، وتراعي في تصميمها الأطوال المختلفة للركّاب.

11 ستختلف الإجابات بحسب النماذج، ولكن يجب ألا نركز على وجود الإثارة في التصميم على حساب شروط الأمان والسلامة، كذلك ألا تطغى شروط الأمان والسلامة على الإثارة، فيفقد النموذج عنصر الإثارة للركاب، وهو عنصر مهم. أي يجب الموازنة بين الإثارة في التصميم وشروط الأمان والسلامة.

12 **إجابة محتملة:** الدقة في العمل، العمل الجماعي، اختبار نموذج أي تصميم يساعد على تعرّف أي مشكلة تواجه التطبيق العملي له واكتشافها، ومن ثمّ يمكن إعادة تصميم النموذج أو إدخال تعديلات عليه في ضوء التغذية الراجعة وقبل طرح المنتج أو إنشائه وتعريض حياة الأشخاص للخطر،....

13 تختلف الإجابات بحسب مواصفات نموذج الأفعوانية. **إجابة محتملة:** زيادة ارتفاع التل الأول في المسار؛ للحصول على سرعة أكبر للعربات (الكرات)، أو تقليل ارتفاع التل الأول لتقليل سرعة حركة العربات، زيادة عدد المنعطفات المختلفة أو تقليلها، عمل مسارات لولبية، عمل حلقات رأسية؛ للحصول على الإثارة، تقليل قوة الاحتكاك في المسار؛ لتقليل الطاقة الضائعة للتغلب على قوة الاحتكاك،....

14 **إجابة محتملة:** سوف يفشل النموذج، تعريض حياة الأشخاص مستخدمي المنتج للخطر، الحصول على نتائج غير مخطط لها ولا يمكن التعامل معها،....

15 لقد تمكّنت في هذا الاستقصاء من محاكاة عمل المهندسين الميكانيكيين، وذلك بتصميم نموذج أفعوانية، ثم بنائه، ثم اختباره وفق معايير محدّدة، ثم تقييم التصميم، وتعديله بحسب نتائج الاستقصاء.

16 **إجابة محتملة:** العصف الذهني، النمذجة، المحاكاة، الاختبار، التحليل، إعادة التصميم، التحسين.

إجابات أسئلة التفكير

1. الشغل يساوي صفرًا بصرف النظر عن عدد الدورات؛ لأن اتجاه القوة المركزية المؤثرة في الكرة (قوة الشد) عمودي على اتجاه إزاحة الكرة.

2.

أ. أحسب شغل القوة المحصلة كما يأتي: $W_F = Fd\cos\theta$

$= 20 \times 5 \times \cos 0^\circ$

$= 100$ J

ب. $KE_i = \frac{1}{2} mv_i^2 = \frac{1}{2} \times 3 \times (2)^2 = 6$ J

جـ. بما أن القوة المحصلة المؤثرة في الزلاجة تساوي (20 N) فإن التغير في طاقتها الحركية يساوي شغل هذه القوة بحسب مبرهنة (الشغل – الطاقة الحركية).

$W_F = \Delta KE = 100$ J

د. $\Delta KE = KE_f - KE_i$

$KE_f = \Delta KE - KE_i$

$\frac{1}{2} mv_f^2 = 100 - 6 = 94$

$v_f^2 = \frac{2 \times 94}{3} = 62.67$

$v_f = 7.9$ m/s

وتكون السرعة النهائية للزلاجة في اتجاه اليمين في اتجاه القوة المحصلة نفسه، وفي اتجاه الحركة الابتدائي نفسه.

هـ. شغل القوة العمودية وشغل الوزن كل منهما يساوي صفرًا؛ لأن القوتين متعامدتان مع اتجاه الحركة.

3.

أ. الطاقة الميكانيكية للعربة محفوظة لعدم وجود قوى غير محافظة تبذل شغلًا؛ لذا فإن:

$ME_A = ME_B$

$KE_A + PE_A = KE_B + PE_B$

$0 + mgy_A = \frac{1}{2} mv_B^2 + mgy_B$

$0 + 2 \times 10^2 \times 10 \times 80 = \frac{1}{2} \times 2 \times 10^2 \times v_B^2 + 2 \times 10^2 \times 10 \times 20$

$1.6 \times 10^5 = 1 \times 10^2 \times v_B^2 + 4 \times 10^4$

$v_B^2 = \frac{1.6 \times 10^5 - 4 \times 10^4}{1 \times 10^2} = 1.2 \times 10^3$

$v_B = 34.6$ m/s

ب. $ME_A = ME_B = ME_C$

$= KE_A + PE_A$

$= 0 + mgy_A = 2 \times 10^2 \times 10 \times 80$

$= 1.6 \times 10^5$ J

جـ. الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية على الأفعوانية يساوي سالب التغير في طاقة وضعها الناشئة عن الجاذبية.

$W_{g(A-C)} = -\Delta PE = -(PE_C - PE_A) = PE_A - PE_C$

$= mgy_A - mgy_C = mg(y_A - y_C)$

$= 2 \times 10^2 \times 10 \times (80 - 60)$

$= 4 \times 10^4$ J

4. أ. $W_f = f_k d \cos 180^\circ$

$= -2 \times 10^3 \times 2.25 \times 10^2$

$= -4.5 \times 10^5$ J

ب. توجد قوى غير محافظة مؤثرة في السيارة، والطريق أفقي (لا يوجد تغير في طاقة الوضع).

سوف أستخدم الرمز (F) ليدل على قوة محرك السيارة.

$W_{nc} = \Delta ME$

$W_F + W_f = \Delta ME$

$W_F = \Delta KE + \Delta PE - W_f$

$W_F = \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2) + 0 - (-4.5 \times 10^5)$

$= \frac{1}{2} \times 1.5 \times 10^3 \times (625 - 0) + 4.5 \times 10^5$

$= 9.2 \times 10^5$ J

أو أحسب التسارع باستخدام معادلات الحركة بتسارع ثابت.

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

$(25)^2 = (0)^2 + 2a \times 2.25 \times 10^2$

$a = 1.39$ m/s^2

بتطبيق القانون الثاني لنيوتن في الحركة؛ لحساب مقدار القوة التي يؤثر بها المحرك (F).

$\sum F = ma$

$F - f_k = ma$

$F = f_k + ma = 2 \times 10^3 + 1.5 \times 10^3 \times 1.39 = 4.085 \times 10^3$ N

ثم أحسب شغل قوة المحرك.

$W_F = F\Delta x \cos 0^\circ$

$= 4.085 \times 10^3 \times 2.25 \times 10^2 \times 1$

$= 9.2 \times 10^5$ J

جـ. أحسب الزمن المستغرق: $v_f = v_i + at$

$25 = 0 + 1.39 \times t$

$\Delta t = t = 17.99$ s ≈ 18 s

ثم أحسب القدرة المتوسطة للمحرك.

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

$= \frac{9.2 \times 10^5}{17.99}$

$= 5.114 \times 10^4$ watt ≈ 68.6 hp

الوحدة الثانية:

تجربة إثرائية: اكتشاف الإلكترون.

الهدف:

- استقصاء خصائص الأشعة المهبطية (حزمة الإلكترونات)، وهي: لها كتلة وتمتلك طاقة حركية، تسير في خطوط مستقيمة، مشحونة بشحنة سالبة.
- استعمال أنابيب الأشعة المهبطية للتحكم في مسار الإلكترونات خلال المجال الكهربائي المنتظم، لاستقصاء العلاقة بين مقدار المجال والإزاحة الرأسية للجسيمات.

زمن التنفيذ: 35 دقيقة

إرشادات السلامة: الحذر عند التعامل مع مصدر الطاقة الكهربائية عالي الجهد وما يتصل به من أسلاك وأدوات؛ إذ إنّ الجهد المرتفع يحدث تفريغًا كهربائيًّا وصعقة.

المهارات العلمية: الملاحظة، وتحليل البيانات، والاستنتاج، والتفسير، وإصدار الأحكام، والتواصل.

الإجراءات والتوجيهات:

- لاستقصاء خصائص الأشعة المهبطية يجب استخدام مجموعة من الأنابيب؛ إذ يوجد أنبوب محدد لكل من هذه الخصائص، جميعها منخفضة الضغط حتى تتمكن الإلكترونات من الحركة دون ضياع كثير من الطاقة بفعل التصادم مع ذرات الهواء.
- الملف الحثي المستخدم يرفع الجهد إلى قيمة كبيرة مع المحافظة على التيار مستمرًا، وذلك باستخدام وصلة تشبه تلك المستخدمة في الجرس الكهربائي التي تُحدِث انقطاعات متتالية في التيار الكهربائي.
- يوصل القطب الموجب للملف الحثي مع المصعد في كل من أنابيب الأشعة المهبطية، ويوصل القطب السالب للملف مع المهبط.

النتائج المتوقعة:

- عند استعمال الأنبوب الذي يحتوي على قطعة فلزّية على شكل صليب، نلاحظ تكوّن ظل على نهاية الأنبوب شكله يشبه شكل القطعة الفلزيّة (صليب).
- عند تقريب أحد قطبي المغناطيس من مسار الأشعّة المهبطية، نلاحظ انحراف الأشعة المهبطية عن مسارها المستقيم واتخاذها اتجاهًا مختلفًا.
- عند استعمال الأنبوب الذي يحتوي على دولاب قابل للدوران، نلاحظ دوران الدولاب عند سقوط الأشعة المهبطية عليه.
- عند استعمال الأنبوب الذي يحتوي على صفيحتين تشكّلان مجالًا كهربائيًّا منتظمًا، نلاحظ أن الأشعة المهبطية تنحرف عن مسارها المستقيم وتغير اتجاهها.

التحليل والاستنتاج:

1. تكوّن الظل على نهاية الأنبوب يشبه في شكله شكل القطعة الفلزيّة، يثبت أن الأشعة المهبطية تسير في خطوط مستقيمة.
2. انحراف الأشعة المهبطية عن مسارها المستقيم واتخاذها اتجاهًا مختلفًا، يثبت أن الأشعة المهبطية تحمل شحنات كهربائية تتأثر بالمجال المغناطيسي عندما تكون متحركة.
4. دوران الدولاب عند سقوط الأشعة المهبطية عليه، يثبت أن دقائق الأشعة المهبطية تمتلك طاقة حركية ولها كتلة.
4. انحراف الأشعة المهبطية عن مسارها المستقيم وتغيير اتجاهها، يثبت أنها تحمل شحنة كهربائية سالبة تنحرف بعكس اتجاه خطوط المجال الكهربائي المنتظم.

إجابات أسئلة التفكير

السؤال الأول:

ب: ينشأ أمام الشاشة مجال كهربائي يعمل على إحداث استقطاب لدقائق الغبار العالقة في الهواء؛ فينجذب طرفها المخالف في شحنته نحو الشاشة.

السؤال الثاني:

د: سائق السيارة B سيكون في مأمن؛ لأنّ هيكل سيارته موصل للكهرباء، فيحدث تفريغ الشحنات من الصاعقة إلى جسم السيّارة الفلّزي، ثم إلى الأرض من دون أن يتأثّر سائقها، أما في جسم السائق الآخر فقد يحدث تفريغ فيه؛ فالعجلات العازلة لا تمنع تفريغ الشحنة.

الوحدة الثالثة:

تجربة إثرائية: استقصاء العوامل المؤثرة في مواسعة المواسع ذي الصفيحتين المتوازيتين.

الهدف:

- استقصاء العلاقة بين مواسعة المواسع والمسافة بين صفيحتيه عمليًّا، بثبوت مساحة كل من صفيحتيه وسماحية الوسط بينهما.
- تصميم تجربة لدراسة أثر تغيير كلّ من مساحة صفيحتي المواسع ونوع المادة العازلة بينهما في مواسعة المواسع.

زمن التنفيذ: 53 دقيقة

إرشادات السلامة:

- أوجّه الطلبة إلى ضرورة الرجوع إلى المعلم/ المعلمة للتأكد من تركيب الأدوات تركيبًا صحيحًا قبل البدء بالتجربة.

المهارات العلمية: الملاحظة، والقياس، والاستنتاج، وتحليل البيانات وتفسيرها.

الإجراءات والتوجيهات:

- أطلب إلى الطلبة الاطلاع على الخلفية النظرية للتجربة في كتاب الأنشطة والتجارب العملية.

أوضح للطلبة الطريقة الصحيحة لاستخدام الورنية، كما يمكن استخدام ورنية رقمية.

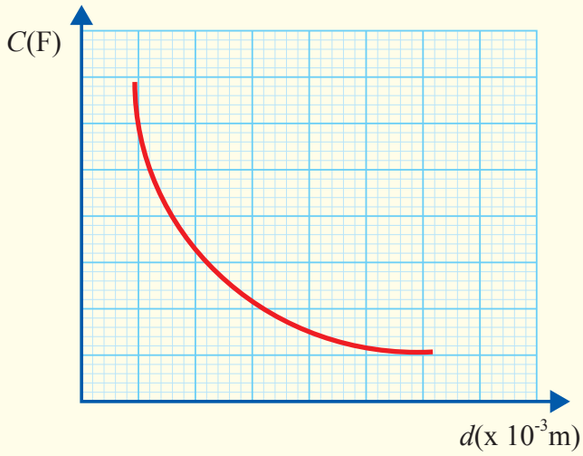
- أوجّه الطلبة إلى تدوين النتائج في كتاب التمارين والأنشطة.
- أوجّه الطلبة أنه لدراسة العلاقة بين مساحة الصفائح والمواسعة، نكرر التجربة أكثر من مرة بتغيير مساحة الصفيحتين، مع مراعاة أن تكون المسافة بين الصفيحتين ثابتة في المحاولات جميعها، والوسط بين الصفيحتين هو الهواء.

النتائج المتوقعة:

من المتوقع أن يتوصل الطلبة إلى أن العلاقة بين مواسعة المواسع والبعد بين صفيحتيه عكسية.

التحليل والاستنتاج:

1 العلاقة بين مواسعة المواسع والمسافة بين صفيحتيه ممثلة بيانيًّا في الشكل.



2 يبيّن المنحنى أن مواسعة المواسع تتناقص كلما ازدادت المسافة بين لوحية ولكن ليس بشكل خطي، وإنما على شكل منحنى كما في الشكل.

3

- كلما ازدادت مساحة كل من صفيحتي المواسع تزداد مواسعته.
- كلما زادت سماحية المادة العازلة تزداد مواسعة المواسع. وأي مادة عازلة غير الهواء سماحيتها أكبر من سماحية الهواء. ويمكن إثبات ذلك عمليًّا في المختبر باستخدام الأدوات نفسها.

4 مقدار الخطأ في قراءة كل من الورنية ومقياس المواسعة يعتمد على دقة الجهاز الأداة المستخدمة، فمثلًا دقة الورنية غالبًا تكون (0.02 mm) أو (0.05 mm) حسب تدريجها.

إجابات أسئلة التفكير

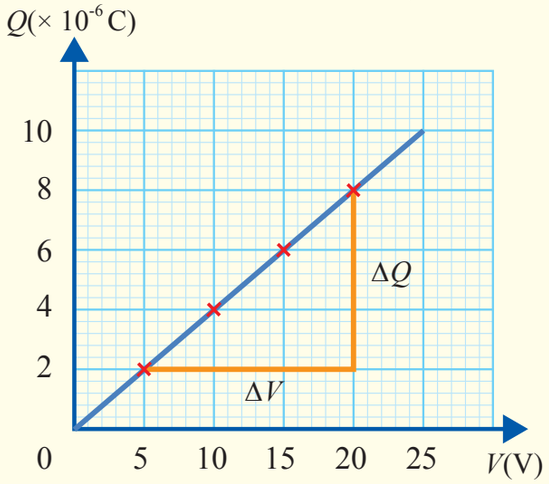
1. ب. مواسعان على التوالي والمواسع الثالث على التوازي مع المواسع المكافئ للمواسعين الأوليّين.
2. د. لا؛ لأنّ طاقة الوضع الكهربائية عند نقطة ما، تعتمد على الشحنة الموضوعة عند تلك النقطة، في حين أن الجهد الكهربائي ليس كذلك.

3. أ. بما أن مواسعة المواسع ثابتة؛ فإن استخدام أي زوج من قيم الشحنة والجهد في الجدول مثل (15 V, 6 C) يفترض الحصول على قيمة المواسعة نفسها؛ حيث نقطة البداية (0,0):

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{6 \times 10^{-6}}{15} = 4 \times 10^{-7}\ \text{F}$$

أحيانًا قد لا تكون النتائج العملية صحيحة بصورة كاملة؛ لظروف معينة أو أخطاء في القياس، وفي هذه الحالة يفضل رسم العلاقة بين جهد المواسع وشحنته، وميل الخط المستقيم يساوي مواسعة المواسع كما في الفرع (ب).

ب. العلاقة بين جهد المواسع وشحنته ممثلة بيانيًّا كما في الشكل.
وميل الخط المستقيم يساوي:



$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta V} = \frac{(8 - 2) \times 10^{-6}}{20\text{-}5} = 4 \times 10^{-7}\ \text{F}$$

جـ.

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

$$10^{-5} = \frac{1}{2} (4 \times 10^{-7}) V^2 \Rightarrow V = \sqrt{50} = 7.1\ \text{V}$$

د. الإجابة (4): زيادة المسافة بين صفيحتي المواسع.

4. الإجابة (جـ): V_{AB}
5. لأنه يحتوي على مواسعات بداخله، وعند إطفاء الجهاز أو فصله عن مصدر الطاقة تبقى الشحنات الكهربائية (الطاقة الكهربائية) مختزنة فيها، فإذا لامستها مباشرة بعد إطفاء الجهاز تتفرغ شحنتها عن طريق جسمي مما يشكل خطورة عليّ.

6. الإجابة (أ): $Q = -q$

7. الإجابة (ب): $2qV$

قائمة المراجع

أولًا: المراجع العربية

الفريق الوطني للتقويم، وزارة التربية والتعليم الأردنية (2004). استراتيجيات التقويم وأدواته (الإطار النظري). عمان، وزارة التربية والتعليم الأردنية.

ثانيًا: المراجع الأجنبية

1. Adams, S. (2013). **Advanced Physics**. (2nd edition).USA: Oxford University Press.
2. Bradley, M. & Gardner, S. (2014). **Cambridge Igcse Physics**. London: Harper Collins Publishers Limited.
3. Chadha, G. (2015). **A Level Physics a for OCR**. A Level Physics a for OCR.
4. Giancoli, D. C. (2014). **Physics: Principles with Applications**. (7th edition). Pearson Education, Inc.
5. Halliday, D., Resnick , R. & Walker, J. (2018). **Fundamentals of Physics.** (11th edition). John Wiley & Sons, Inc.
6. Hewitt, P. G. (2015). **Conceptual Physics.** (14th edition). Pearson Education, Inc.
7. Muncaster, R. (2014). **A Level Physics**. (4th edition). Oxford University Press.
8. Serway , R. A. & Jewett, J. W. (2014). **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics**. (9th edition). Cengage Learning.
9. Serway , R. A. & Faughn, J. S. (2017). **Physics**: **TEACHER EDITION.** Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company.
10. Serway , R. A. &, Vuille, C. (2017). **College Physics**. (11th edition). Cengage Learning.
11. Smyth, M., Pharaoh, L., Grimmer, R., Bishop, C. & Davenport, C. (2020). Cambridge **International AS & A Level Physics.** London: Harper Collins Publishers Limited.
12. Tipler, P. A. & Mosca, G. (2007). **Physics for Scientists and Engineers**. (6th edition). W. H. Freeman.
13. Young , H. D. & Freedman, R. A. (2015). **University Physics with Modern Physics**. (14th edition). Pearson Education, Inc.

Collins