المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم

المركز الوطني لتطوير المناهج
National Center for Curriculum Development

الفيزياء

الصف التاسع - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الأول

9

الفيزياء

الصف التاسع - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الأول

9

فريق التأليف

موسى عطا الله الطراونـة (رئيسًا)

أ.د. محمود إسماعيل الجاغـوب

د. حسين محمود الخطيب

د. ناظم إسماعيل أبو شاويش

ميمي محمد التكروري

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

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

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

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

قـرّرت وزارة التربيـة والتعليـم تدريـس هـذا الكتـاب في مـدارس المملكـة الأردنية الهاشـمية جميعهـا، بناءً عـلى قرار المجلـس الأعلى للمركـز الوطنـي لتطويـر المناهج في جلسـته رقـم (2022/4)، تاريـخ 2022/6/19 م، وقرار مجلـس التربية والتعليم رقـم (2022/46) تاريـخ 2022/7/6 م بـدءًا من العـام الـدراسي 2022 / 2023 م.

© HarperCollins Publishers Limited 2022.
- Prepared Originally in English for the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan
- Translated to Arabic, adapted, customised and published by the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan

ISBN: 978 - 9923 - 41 - 302 - 9

المملكة الأردنية الهاشمية
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(2022/4/1907)

375,001

الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج

فيزياء:الصف التاسع: كتاب الطالب (الفصل الدراسي الأول)/ المركز الوطني لتطوير المناهج.- عمان: المركز، 2022

(95) ص.

ر.إ.: 2022/4/1907

الواصفات: / تطوير المناهج/ / المقررات الدراسية / / مستويات التعليم/ / المناهج/

يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه ولا يعبّر هذا المصنف 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 Licensing Agency Ltd, Barnard's Inn, 86 Fetter Lane, London, EC4A 1EN.
British Library Cataloguing -in- Publication Data
A catalogue record for this publication is available from the Library.

الطبعة الأولى (التجريبية)

2022/1443هـ

قائمةُ المحتوياتِ

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدّمة

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

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

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

ويتألّف الكتاب من ثلاث وحدات دراسية، هي: القياسُ، والقوى والحركةُ، والشغلُ والآلاتُ البسيطةُ. وقد أُلحق به كتاب للأنشطة والتجارب العملية، يحتوي على التجارب والأنشطة جميعها الواردة في كتاب الطالب؛ ليساعده على تنفيذها بسهولة، بإشراف المعلّم، ومشاركة زملائه فيها، بما في ذلك رصد القراءات، وتحليلها، ثم مناقشتها، وصولًا إلى استنتاجات مبنية على أسس علمية سليمة. ويتضمّن أيضًا أسئلة تفكير؛ بهدف تعزيز فهم الطالب لموضوعات المادة، وتنمية التفكير الناقد لديه.

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

والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

الوَحدةُ 1

القياسُ
Measurement

أتأمّلُ الصورةَ

نستخدمُ القياسَ في كثيرٍ من مناحي الحياةِ؛ والعلومُ المختلفةُ مثلُ الفيزياءِ والكيمياءِ والهندسةِ والطبِّ قائمةٌ على عملياتِ القياسِ. فما الكمياتُ التي يمكنُ قياسُها؟ وما الأدواتُ المناسبةُ لقياسِها؟

الفكرةُ العامّةُ:

في حياتِنا اليوميةِ نحتاجُ إلى إجراءِ قياساتٍ مثلُ معرفةِ الوقتِ وارتفاعِ عِمارةٍ، ومن دونِ القياساتِ سنعتمدُ على الوصفِ؛ لكنَّ الوصفَ لا يُعطي فكرةً دقيقةً عنِ الطولِ والمِساحةِ مثلاً.

الدرسُ الأولُ: النظامُ الدوليُّ للوَحداتِ

International System of Units (SI)

الفكرةُ الرئيسةُ: إنَّ إيجادَ وَحداتِ قياسٍ موحَّدةٍ يساعدَ على تبادلِ المعلوماتِ بسهولةٍ، وإنَّ استخدامَ البادئاتِ يسهّلُ التعاملَ معَ الكمياتِ الصغيرةِ جدًّا والكبيرةِ جدًّا.

الدرسُ الثاني: القياسُ والأرقامُ المعنويةُ

Measurement and Significant Figures

الفكرةُ الرئيسةُ: تُسمَّى الأرقامُ التي تنتجُ من عمليةِ القياسِ الأرقامَ المعنويةَ، وللأرقامِ المعنويةِ قواعدُ يجبُ أخذُها في الحُسبانِ عندَ إجراءِ العملياتِ الحسابيةِ عليها.

الدرسُ الثالثُ: أخطاءُ القياسِ

Measurement Errors

الفكرةُ الرئيسةُ: لا تخلو أيُّ عمليةِ قياسٍ منَ الأخطاءِ، ودائمًا نحاولُ التقليلَ من تأثيرِها في عمليةِ القياسِ.

تجربةٌ استهلاليةٌ

أنظمةُ القياسِ والوَحداتُ

الموادُّ والأدواتُ: مِسطرةٌ خشبيةٌ، شريطٌ متريٌّ.

إرشاداتُ السلامةِ: الحَذرُ منَ الأطرافِ الحادّةِ للأدواتِ.

خطواتُ العملِ:

1 **أقيسُ** وأفرادُ مجموعتي طولَ غرفةِ الصفِّ، على أنْ يختارَ كلُّ فردٍ منَ المجموعةِ طريقةَ قياسٍ واحدةٍ منَ الطرائقِ الآتيةِ:

أ - أَعُدُّ البلاطَ منْ بدايةِ الغرفةِ إلى نهايتِها.

ب- أَستخدمُ قدمي في قياسِ طولِ الغرفةِ على أنْ أسيرَ منْ بدايةِ الغرفةِ إلى نهايتِها بخطواتٍ متراصّةٍ.

جـ -أَستخدمُ مِسطرةً خشبيةً.

د - أَستخدمُ شريطًا مِتريًّا.

2 **أُنظّمُ** نتائجَ القياسِ في الجدولِ الآتي:

رمزُ الطريقةِ	العددُ	وَحْدةُ القياسِ
أ		بلاطةٌ
ب		قدمٌ
جـ		سم (cm)
د		م (m)

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أقارنُ** نتيجتي بنتائجِ المجموعاتِ الأخرى بطريقةِ القياسِ نفسِها.
2. **أفسّرُ** سببَ الاختلافِ أو التقارُبِ في نتائجِ طريقةِ القياسِ الواحدةِ بينَ المجموعاتِ.
3. **تفكيرٌ ناقدٌ:** أيُّ الطرائقِ أفضلُ لقياسِ طولِ الغرفةِ؟

الدرس 1

النظامُ الدوليُّ للوحَداتِ
International System of Units (SI)

الفكرةُ الرئيسةُ:

إنَّ إيجادَ وَحداتِ قياسٍ موحَّدةٍ يساعدُ على تبادلِ المعلوماتِ بسهولةٍ، وإنَّ استخدامَ البادئاتِ يسهِّلُ التعاملَ معَ الكمياتِ الصغيرةِ جدًّا والكبيرةِ جدًّا.

نتاجاتُ التعلُّمِ:

- أميزُ المجالاتِ التي يبحثُ فيها علمُ الفيزياءِ.
- أصنِّفُ الكميّاتِ الفيزيائيةَ إلى كميّاتٍ أساسيّةٍ وكميّاتٍ مشتقةٍ.
- أجدُ وَحدةَ قياسِ الكمياتِ المشتقةِ بدلالةِ وحدةِ قياسِ الكمياتِ الأساسيةِ.
- أستخدمُ بادئاتِ النظامِ الدوليِّ للوَحداتِ، وأحوِّلُ فيما بينَها.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

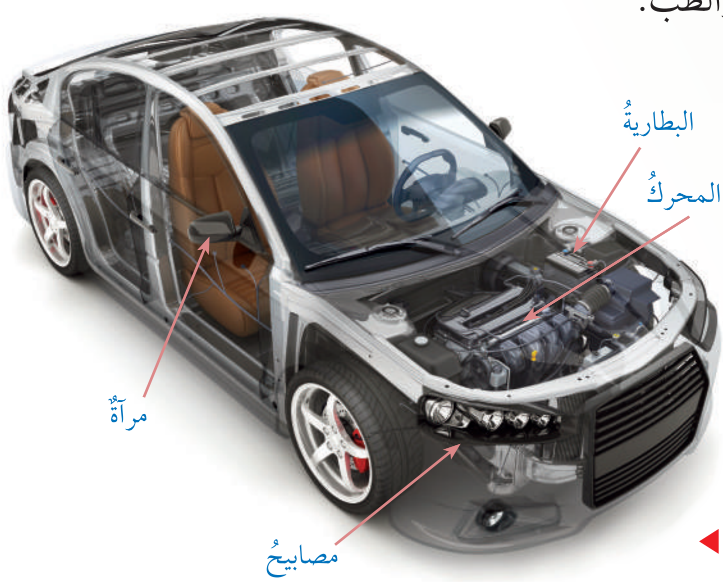
النظامُ الدوليُّ للوَحداتِ International System of Units
الوَحَداتُ الأساسيةُ Basic Units
الوَحداتُ المشتقةُ Derived Units
الكميّةُ الفيزيائيّةُ Physical Quantity
معاملُ التحويلِ Conversion Factor
بادِئاتُ النظامِ الدوليِّ للوَحداتِ Unit Prefixes

الفيزياءُ Physics

الفيزياءُ (علمُ الطبيعةِ)، لفظةٌ إغريقيّةٌ تعني معرفةَ الطبيعةِ، وتُعنى بدراسةِ الأنظمةِ بَدءًا منَ الجُسيماتِ المتناهيةِ في الصِّغرِ مثلُ الذَّرةِ إلى المجرّةِ التي تشكّلُ الكرةُ الأرضيّةُ جزءًا بسيطًا منها. يفسّرُ علمُ الفيزياءِ عملَ الكثيرِ منَ الأجهزةِ الكهربائيةِ، والسياراتِ، والطائراتِ، والمَركباتِ الفضائيةِ، والأجهزةِ الطبّيةِ، والخلايا الشمسيةِ، وغيرُها الكثيرُ، وللفيزياءِ مساهمةٌ واضحةٌ في وضعِ أساسياتِ مبادئِ عملِها.

ولعلمِ الفيزياءِ فروعٌ كثيرةٌ ذاتُ أهميّةٍ في عملِ أجزاءٍ مختلفةٍ منَ السيارةِ مثلاً، منها: علمُ الديناميكا الحراريةِ، حيثُ يعتمدُ عليهِ عملُ مُحرّكِ السيارةِ ومُبرِّدِها، وعلمُ الكهرمغناطيسيةِ يعتمدُ عليهِ عملُ البطاريةِ ومصابيحِ السيارةِ، أمّا ضوءُ المصابيحِ وعملُ المرايا فيقعُ ضمنَ علمِ البصرياتِ، أتأمّلُ الشكلَ (1).

ويتكاملُ علمُ الفيزياءِ معَ مجالاتِ العلومِ الأخرى كالكيمياءِ، والعلومِ الحياتيةِ، وعلومِ الأرضِ، والرياضياتِ، والهندسةِ، والطبِّ.



الشكل (1): تعتمدُ السيارةُ في عملِها على مجالاتِ الفيزياءِ المختلفةِ.

الكميّةُ الفيزيائيّةُ Physical Quantity

الكتلةُ والطولُ والكثافةُ وغيرُها كلٌّ منها **كميّةٌ فيزيائيةٌ Physical Quantity** توصَفُ بها الأجسامُ؛ بعضُها قابلٌ للقياسِ بشكلٍ مباشرٍ (الكتلةُ مثلًا) أو غيرِ مباشرٍ (مثلُ كثافةِ قطعةٍ فلزيّةٍ.) أُعبّرُ عنِ الكميّةِ الفيزيائيّةِ بقيمةٍ عدديّةٍ غالبًا تتبعُها وَحدةُ قياسٍ.

فيمكنُني وصفُ مبنًى بأنَّ ارتفاعَه يساوي (12 m)، أو زمنِ اختبارٍ (45 min)، أو كتلةِ حجرٍ (3 kg) وغيرُها الكثيرُ. وألاحظُ أنَّ مقاديرَ هذهِ الكميّاتِ قد أُتبِعتْ بوحَداتِ قياسٍ عُبِّرَ عنها برموزِها وهي (m، min، kg) على الترتيبِ.

النظامُ الدوليُّ للوحداتِ International System of Units

استخدمَ العربُ الباعَ والذراعَ لقياسِ الطولِ، في حينِ استخدمَ الرومانُ الميلَ والقدمَ. وفي القرنِ التاسعَ عشرَ تمَّ تبنّي النظامِ المتريِّ المعروفِ بنظامِ (mks) في أوروبا، حيثُ اعتمدَ وحَداتِ قياسِ المترِ (m) للمسافةِ، والكيلو غرامِ (kg) للكتلةِ، والثانيةِ (s) للزمنِ، ويوجَدُ نظامٌ آخرُ (cgs) للقياسِ يعتمدُ الغرامَ (g) للكتلةِ، والسنتيمترَ (cm) للمسافةِ و (s) الثانيةَ للزمنِ. ألاحظُ اختلافَ وحَداتِ القياسِ منْ بلدٍ إلى آخرَ، ومنْ زمنٍ إلى آخرَ أيضًا.

✓ **أتحقّقُ:** كيفَ أُعبِّرُ عنِ الكميّةِ الفيزيائيّةِ؟

أبحثُ:

المُدُّ والصاعُ. استخدمَ العربُ وحَداتِ قياسٍ كالمُدِّ والصاعِ لقياسِ الكتلةِ، مستعينًا بمصادرِ المعرفةِ المناسبةِ، أبحثُ عنْ وحَداتِ المُدِّ والصاعِ، وكمْ تساوي بوحَداتِ القياسِ الحديثةِ. وأُعِدُّ تقريرًا أعرضُه على زملائي/ زميلاتي.

الربطُ بالتاريخِ

تمكّنَ العالمُ العربيُّ المسلمُ الإدريسيُّ المولودُ عامَ 493 هـ (1099 م) منْ قياسِ محيطِ الأرضِ، فتوصّلَ إلى أنّهُ اثنانِ وعشرونَ ألفًا وتسعمائةُ ميلٍ، وهو ما يعادِلُ (36854 km) تقريبًا. هذهِ القيمةُ قريبةٌ منْ تلكَ التي توصّلَ إليها العلمُ الحديثُ باستخدامِ أجهزةٍ دقيقةٍ، حيثُ وجدَ أنَّ محيطَ الأرضِ عندَ خطِّ الاستواءِ يساوي (40075.017 km).

الجدولُ (1): الكميّاتُ الأساسيّةُ ووحَداتُ قياسِها في النظامِ الدوليِّ للوَحداتِ (SI).

الكميّةُ	وحَدةُ القياسِ	رمزُ وحّدةِ القياسِ
الطولُ	مترٌ (meter)	m
الكتلةُ	كيلوغرام (kilogram)	kg
الزمنُ	ثانيةٌ (second)	s
درجةُ الحرارةِ	كلفن (Kelvin)	K
التيارُ الكهربائيُّ	أمبير (Ampere)	A
كميّةُ المادّةِ	مول (mole)	mol
شِدّةُ الإضاءةِ	قنديلةٌ (candela)	cd

في عامِ 1960 اتّخذَ المؤتمرُ الدوليُّ الحادي عشرَ للأوزانِ والمقاييسِ الذي عُقدَ في باريس قرارًا باعتمادِ **النظامِ الدوليِّ للوحَداتِ (SI)**، وهذا الاختصارُ جاءَ منَ التسميةِ الفرنسيةِ (Système International d'Unites). حيثُ اتُّفِقَ على اعتمادِ سبعِ **كميّاتٍ أساسيةٍ (Basic Units)** ووحداتِ قياسِها المُبيَّنةِ في الجدولِ (1)، وسُمّيَتْ كميّاتٌ أساسيّةٌ؛ لأنَّهُ لا يمكنُ التعبيرُ عنها بدلالةِ كميّاتٍ أساسيّةٍ أخرى.

أمّا الكميّاتُ التي يمكنُ التعبيرُ عنها بدلالةِ الكميّاتِ الأساسيّةِ، فيُطلَقُ عليها اسمَ **كميّاتٍ مشتقّةٌ (Derived Units)**، والجدولُ (2) يبيّنُ أمثلةً منها معَ وحَداتِ قياسِها.

الجدولُ (2): بعضُ الكميّاتِ المشتقةِ ووحَداتُ قياسِها في النظامِ الدوليِّ للوحداتِ (SI).

الكميّةُ	معادلةُ تعريفِها	رمزُ الوحدةِ	اسمُ الوحدةِ
السرعةُ	$v = \frac{s}{t}$	m/s أو ms^{-1}	متر / ثانية
التَّسارُعُ	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	m/s^2 أو ms^{-2}	متر / ثانية^2
القوّةُ	$F = ma$	$N = kg.m.s^{-2}$	نيوتن (newton)
الشُّغلُ	$W = F\,d$	$J = kg.m^2.s^{-2}$	جول (joule)
الضغطُ	$P = \frac{F}{A}$	$Pa = kg.m^{-1}.s^{-2}$	باسكال (pascal)

أتحقّقُ: أيٌّ ممّا يأتي ليسَ منْ وحَداتِ النظامِ الدوليِّ (SI) الأساسيّةِ:

أ) m ب) A جـ) K د) J

قواعدُ التعاملِ معَ وحَداتِ القياسِ

عندَ التعاملِ معَ الوحَداتِ يجبُ أخْذُ الأمورِ الآتيةِ في الحُسبانِ:

1- الوحَداتُ المركّبةُ الناتجةُ عنْ حاصلِ ضربِ وَحْدتينِ أو أكثرَ تُكتبُ بالترتيبِ نفسِه التي تبدو عليهِ، فمثلاً (newton meter) تُكتبُ بالترتيبِ نفسِه(N m).

2- الوَحدةُ التي تُضربُ في نفسِها مرةً أو أكثرَ تُكتبُ باستخدامِ الأُسسِ المناسبةِ، فمثلًا ($m \times m \times m \equiv m^3$).

3- في حالِ قسمةِ الوحَداتِ يُفضَّلُ عدمُ استخدامِ إشارةِ الكسرِ، فمثلًا ($\frac{m}{s}$) تُكتبُ ($m\ s^{-1}$) أو (m/s).

4- وحَداتُ القياسِ في طرفي المعادلةِ يجبُ أنْ تكونَ متماثلةً، وهذا يُسمَّى التجانسَ، فمثلًا لإيجادِ مِساحةِ المستطيلِ (A)، التي يُعبَّرُ عنها بالعلاقةِ $A = l \times w$، حيثُ (l) طولُ المستطيلِ بوحدةِ المترِ، و (w) عرضُه بوحدةِ المترِ أيضًا، وبذلكَ فإنَّ الطرفَ الأيمنَ يُقاسُ بوحدةِ ($m \times m$)، وتمثّلُ مِساحةُ المستطيلِ ووحدةُ قياسِها في النظامِ الدوليِّ للوحَداتِ (m^2)، وبتعويضِ وحداتِ القياسِ في المعادلةِ أجدُ:

$$m^2 \equiv m \times m$$

$$m^2 \equiv m^2$$

وعلى هذا، فإنَّ المعادلةَ متجانسةٌ.

عندَ جمعِ كميّاتٍ فيزيائيةٍ أو طرحِها، فإنَّ وحَداتِ قياسِ تلكَ الكميّاتِ يجبُ أنْ تكونَ متماثلةً. فمثلًا يمكنُ جمعُ ($5\ m + 6\ m = 11\ m$)، ولكنْ لا يمكنُ جمعُ ($5\ m + 6\ kg$)؛ لأنَّ وحَداتِ القياسِ مختلفةٌ. وهذا ينطبقُ على طرحِ الكميّاتِ الفيزيائيّةِ أيضًا.

أُفكّر: ما فائدةُ استخدامِ النظامِ الدوليِّ للوحداتِ؟

المثال 1

أشتقُّ وحدةَ قياسِ حجمٍ متوازي المستطيلاتِ علمًا أنَّ حجمَه (V) يساوي حاصلَ ضربِ الطولِ (l) والعرضِ (w) والارتفاعِ (h)، حسبَ العلاقةِ $V = l \times w \times h$.

المعطياتُ: $V = l \times w \times h$

المطلوبُ: وحدةُ (V)؟

الحلُّ:

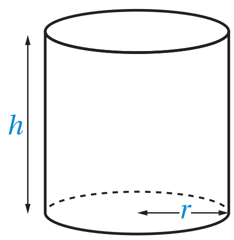
أعلمُ أنَّ وَحدةَ قياسِ كلٍّ منَ الطولِ والعرضِ والارتفاعِ هي (m)، وبتطبيقِ العلاقةِ:

$$V = l \times w \times h$$

فإنَّ وَحدةَ قياسِ حجمِ متوازي المستطيلاتِ هي:

$$\mathrm{m} \times \mathrm{m} \times \mathrm{m} \equiv \mathrm{m}^3$$

المثال 2



يُعبَّرُ عنْ حجمِ الأسطوانةِ بالعلاقةِ:

$$V = \pi r^2 h$$

حيثُ (r) نصفُ قطرِ الأسطوانةِ، و (h) ارتفاعُها.

أتحقّقُ منْ تجانسِ طرفي معادلةِ حسابِ حجمِ الأسطوانةِ، علمًا بأنَّ وحدةَ قياسِ الحجمِ هي (m^3).

المُعطياتُ: $V = \pi r^2 h$، وحدةُ الحجمِ (m^3)

المطلوبُ: التحقّقُ منْ تجانسِ طرفي المعادلةِ (V) و $(\pi r^2 h)$

الحلُّ:

أشتقُّ وَحدةَ قياسِ طرفِ المعادلةِ الأيمنِ، حيثُ (π) عددٌ ليسَ لهُ وَحدةٌ، ووَحدةُ قياسٍ (r^2) هي (m^2)، في حينِ وَحدةِ قياسِ ارتفاعِ الأسطوانةِ هي (m). وبالرجوعِ إلى معادلةِ حسابِ حجمِ الأسطوانةِ

$$V = \pi r^2 h$$

أجدُ أنَّ وَحدةَ قياسِ الطرفِ الأيمنِ هي $\mathrm{m}^2 \times \mathrm{m} \equiv \mathrm{m}^3$، وهي وحدةُ قياسِ الطرفِ الأيسرِ نفسُها (حجمُ الأسطوانةِ)، وعليهِ فإنَّ المعادلةَ متجانسةٌ.

بادِئاتُ النظامِ الدوليِّ للوحَداتِ Unit Prefixes

لتسهيلِ التعاملِ معَ الأرقامِ الكبيرةِ جدًّا أو الصغيرةِ جدًّا نستخدمُ **البادئاتِ**؛ وهي حروفٌ لاتينيةٌ تُكتبُ أمامَ وحدةِ القياسِ على أنْ تدلَّ كلُّ بادئةٍ منها على جزءٍ منْ قيمةِ الكميّةِ الفيزيائيّةِ، أو إحدى مضاعفاتِها منْ قوى العددِ (10). والجدولُ (3) يُظهِرُ بعضَ بادئاتِ الوحَداتِ المعتَمدةِ في النظامِ الدوليِّ للوحَداتِ. فمثلًا المسافةُ بينَ الشمسِ وأقربِ نجمٍ لها (40,000,000,000,000,000 m) تقريبًا، ولكنْ باستخدامِ البادئاتِ يُكتبُ (40 Pm).

✓ **أتحقّقُ:** ما أهميّةُ استخدامِ البادئاتِ؟

الطريقةُ العلميةُ لكتابةِ الأعدادِ
Scientific Notation for Writing Numbers

عندَ استخدامِ الطريقةِ العلميةِ يمكنُ كتابةُ أيِّ عددٍ على الصورةِ $A \times 10^n$، حيثُ $0 < |A| < 10$، و(n) عددٌ صحيحٌ موجبٌ أو سالبٌ، فمثلًا: الطولُ الموجيُّ للضوءِ الأحمرِ (700 nm)، ويُكتبُ (7.00×10^{-7} m) باستخدامِ الصورةِ العلميّةِ.

مُعامِلُ التحويلِ Conversion Factor

يمكنُ التحويلُ منْ وَحدةِ قياسٍ إلى أخرى باستخدامِ **معاملِ التحويلِ**. فعلى سبيلِ المثالِ أعلمُ أنَّ (1000 m) تكافئُ (1 km)، وأستطيعُ استخدامَ ذلكَ لتحويلِ (2 km) إلى وحدةِ المترِ على النحوِ الآتي:

$$2\ \text{km} = 2\ \text{km} \times \frac{1000\ \text{m}}{1\ \text{km}} = 2000\ \text{m}$$

ألاحظُ أنَّ وحدةَ (km) في البسطِ تُختَصرُ معَ وَحدةِ (km) في المقامِ. ويُسمَّى التعبيرُ $\frac{1000\ \text{m}}{1\ \text{km}}$ معاملَ تحويلٍ، ويعني أنَّ (1000 m) تكافئُ (1 km).

الجدولُ (3): بادئاتُ وحَداتِ القياسِ في النظامِ الدوليِّ للوحَداتِ (SI).

البادئةُ	الرمزُ	التعبيرُ الأسّيُّ	التعبيرُ العشريُّ	البادئةُ	الرمزُ	التعبيرُ الأسّيُّ	التعبيرُ العشريُّ
بيتا	P	10^{15}	1000000000000000	فمتو	f	10^{-15}	0.000000000000001
تيرا	T	10^{12}	1000000000000	بيكو	p	10^{-12}	0.000000000001
جيجا	G	10^{9}	1000000000	نانو	n	10^{-9}	0.000000001
ميجا	M	10^{6}	1000000	ميكرو	µ	10^{-6}	0.000001
كيلو	k	10^{3}	1000	ملي	m	10^{-3}	0.001

تمرين

أكتبُ الكميّاتِ الآتيةَ بالصورةِ العلميّةِ:

- 23.07×10^{2}
- 0.02587×10^{3}
- 0.00005×10^{-5}
- 547.25

المثال 3

يُقاسُ تردُّدُ الموجاتِ (مثلُ موجاتِ الراديو) باستخدامِ وَحدةِ (Hz) وتكافئُ (s^{-1}).
أكتبُ (500 GHz) بوَحدةِ (Hz) بالصورةِ العلميّةِ.

المُعطياتُ: $G = 10^{9}$

المطلوبُ: أكتبُ (500 GHz) بوَحدةِ (Hz).

الحلُّ:

$$500\ \text{GHz} = 500 \times 10^{9}\ \text{Hz} = 5 \times 10^{11}\ \text{Hz}$$

المثال 4

أكتبُ مقدارَ الطاقةِ $(5.26 \times 10^4\ J)$ باستخدامِ البادئةِ المناسبةِ.

المعطياتُ: $(5.26 \times 10^4\ J)$

المطلوبُ: أكتبُ $(5.26 \times 10^4\ J)$ باستخدامِ بادئةٍ مناسبةٍ.

الحلُّ:

(10^4) أقربُ إلى البادئةِ (k). وأستخدمُ قواعدَ الأسسِ التي تعلّمْتُها في الرياضياتِ

$$5.26 \times 10^4\ J = 5.26 \times 10 \times 10^3\ J = 5.26 \times 10\ kJ = 52.6\ kJ$$

المثال 5

كتلةُ قَطْرةِ زيتٍ تساوي (5.6 g)، أعبّرُ عنْ كتلةِ قطرةِ الزيتِ بوحدةِ (kg) وبالصورةِ العلميّةِ، علمًا أنّ (1 kg) يكافِئُ (1000 g).

المُعطياتُ: كتلةُ قطرةِ الزيتِ (5.6 g)، (1 kg) يكافِئُ (1000 g).

المطلوبُ: كتابةُ الكتلةِ بوَحدةِ (kg) وبالصورةِ العلميةِ.

الحلُّ:

$$5.6\ g = 5.6\ g \times \frac{1\ kg}{1000\ g} = 5.6 \times 10^{-3}\ kg$$

المثال 6

أجدُ (2 h) بوحدةِ (s).

حيثُ: $1\ min = 60\ s,\ 1\ h\ (hour) = 60\ min\ (minutes)$

المعطياتُ: $1\ min = 60\ s$، $1\ h = 60\ min$

المطلوبُ: (2 h) بوحدةِ (s).

الحلُّ:

أستخدمُ معاملاتِ التحويلِ المناسبةَ لتحويلِ الساعةِ إلى دقائقَ والدقيقةِ إلى ثوانٍ على النحوِ الآتي:

$$2\ h \times \frac{60\ min}{1\ h} \times \frac{60\ s}{1\ min} = 2 \times 60 \times 60\ s = 7200\ s$$

المثال 7

سيارةٌ تتحركُ بسرعةِ (54 km/h)، أجدُ سرعةَ السيارةِ بوحدةِ (m/s).

المعطياتُ: سرعةُ السيارةِ تساوي (54 km/h).

المطلوبُ: إيجادُ سرعةِ السيارةِ بوحدةِ (m/s).

الحلُّ:

أستخدمُ معاملاتِ التحويلِ المناسبةَ لتحويلِ الساعةِ إلى ثوانٍ و (km) إلى (m) على النحوِ الآتي:

$$54\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 54\,\frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1000\text{ m}}{1\text{ km}} \times \frac{1\text{ h}}{3600\text{ s}} = 54 \times \frac{10\text{ m}}{36\text{ s}} = 54 \times \frac{5\text{ m}}{18\text{ s}} = 15\text{ m/s}$$

تمرين

- أكتبُ (5.6 pm) بدلالةِ (m).
- أكتبُ (20 μA) بدلالةِ (mA).

مراجعةُ الدرسِ

1 . **الفكرةُ الرئيسةُ:** ما أهميّةُ استخدامِ وحداتِ قياسٍ موحَّدةٍ؟ وما أهميّةُ استخدامِ البادئاتِ العلميّةِ؟

2 . **التفكيرُ الناقدُ:** أكتبُ مجالًا منْ مجالاتِ استخدامِ علمِ الفيزياءِ في ما يأتي:

المِدفأةُ الكهربائيةُ، حركةُ لاعبِ القفزِ باستخدامِ الزانةِ، المِجهرُ الضوئيُّ.

3 . **أحلِّلُ:** السنةُ الضوئيّةُ هي المسافةُ التي يقطعُها الضوءُ في سنةٍ كاملةٍ، أجدُ مقدارَ السنةِ الضوئيّةِ بوحدةِ (m)، آخذًا في الحسبانِ أنَّ السنةَ الميلاديّةَ (365) يومًا شمسيًّا (24 h)، وأنَّ سرعةَ الضوءِ ($3 \times 10^{8}\ ms^{-1}$).

4 . **أستعملُ الأرقامَ:** أكتبُ الكميّاتِ الآتيةَ باستخدامِ بادئاتِ النظامِ الدوليِّ المناسبةِ:

أ . $1.2 \times 10^{-3}\ s$

ب . $4.5 \times 10^{-9}\ m$

جـ . $2.5 \times 10^{10}\ J$

5 . **أحلِّلُ:** أتحقّقُ منْ تجانسِ المعادلاتِ الآتيةِ منْ حيثُ وحَداتِ القياسِ:

حيثُ: a التسارعُ، Δx الإزاحةُ، v_1 السرعةُ الابتدائيّةُ، v_2 السرعةُ النهائيّةُ، t الزمنُ.

أ . $v_2 = v_1 + at$

ب . $v_2^{\,2} = v_1^{\,2} + 2a\Delta x$

جـ . $\Delta x = v_1 t + \frac{1}{2} a t^2$

6 . **أستعملُ الأرقامَ:** أكتبُ الكميّاتِ الآتيةَ باستخدامِ الصورةِ العلميّةِ:

أ . 12 TW

ب . 720 MJ

جـ . 3.8 μm

7 . **أحلِّلُ:** أستخرجُ منَ النصِّ الكمياتِ الفيزيائيّةَ ووحَداتِ قياسِها.

ذهبتْ سلمى من بيتِها في مدينةِ الزرقاءِ إلى مدينةِ جرش قاطعةً مسافةَ (60 km) في (70 min) لزيارةِ آثارِ جرشَ الجميلةِ، واشترتْ لترينِ منَ الماءِ ولترًا منَ العصيرِ، و (500 g) منَ المكسراتِ. وقد استمتعَتْ سلمى برحلتِها كثيرًا، وعادتْ تحكي لأختِها عنْ جمالِ مدينةِ جرش.

القياسُ والأرقامُ المعنويّةُ
Measurement and Significant Figures

▶ **الفكرةُ الرئيسةُ:**

تُسمّى الأرقامُ التي تنتجُ منْ عمليةِ القياسِ بالأرقامِ المعنويةِ، وللأرقامِ المعنويةِ قواعدُ يجبُ أخذُها في الحسبانِ عندَ إجراءِ العملياتِ الحسابيّةِ عليها.

▶ **نتاجاتُ التعلّمِ:**

- أوضّحُ المقصودَ بالقياسِ.
- أقيسُ كميّاتٍ أساسيّةً باستخدامِ أداةِ القياسِ المناسبةِ.
- أوضّحُ المقصودَ بالأرقامِ المعنويّةِ.
- أطبّقُ القواعدَ الخاصّةَ بالأرقامِ المعنويّةِ.

▶ **المفاهيمُ والمصطلحاتُ:**

القياسُ Measurement

الأرقامُ المعنويّةُ Significant Figures

أتحقّقُ: أحدّدُ عناصرَ القياسِ في ما يأتي: استخدمَ أحمدُ ساعةَ اليدِ في قياسِ الزمنِ منْ لحظةِ مغادرتِه المنزلَ إلى أنْ وصلَ إلى المدرسةِ، فوجدَ أنَّهُ (15 min).

القياسُ Measurement

القياسُ مهارةٌ لا يقتصرُ استخدامُها في مجالِ العلومِ فقطْ، بلْ يُستخدمُ القياسُ في مجالاتِ الحياةِ المختلفةِ؛ حيث إنَّ التعبيرَ عنِ الكميّاتِ بالأرقامِ، أكثرُ دقّةً منَ الاعتمادِ على الوصفِ النظريِّ. فوصفُ درجةِ حرارةِ الجسمِ بأنَّها «مرتفعةٌ» لا يكونُ دقيقًا إذا ما قورنَ بالوصفِ الرقميِّ بالقولِ إنَّ درجةَ حرارةِ الجسمِ (39 °C)، والطبيبُ لنْ يتمكّنَ منْ تشخيصِ حالةِ المريضِ على نحوٍ دقيقٍ قبلَ أنْ يطلبَ فحوصًا تتضمنُ إجراءَ قياساتٍ لدرجةِ الحرارةِ، ومعدلِ ضرباتِ القلبِ، وضغطِ الدمِ، وغيرِها.

يمكنُ تعريفُ **القياسِ Measurement** بأنَّهُ وسيلةٌ للتعبيرِ بالأرقامِ عنْ كميّةٍ فيزيائيّةٍ، عنْ طريقِ مقارنتِها بكميّةٍ معلومةٍ منَ النوعِ نفسِه تُسمَّى وَحدةَ القياسِ، مثلُ قياسِ طول قلمٍ بوحدةٍ(cm)، أو قياسِ درجةِ حرارةِ الغرفةِ بوحدةِ درجةِ سلسيوس (°C). وتتضمّنُ عمليةُ القياسِ ثلاثةَ عناصرَ رئيسةٍ هيَ: الكميّةُ الفيزيائيّةُ المرادُ قياسُها، وأداةُ القياسِ، ووحدةُ القياسِ. ويبيّنُ الشكلُ (2) أحدَ أشكالِ الموازينِ المستخدمَ في الحياةِ اليوميّةِ لقياسِ الكتلةِ.

الشكل (2): عناصرُ القياسِ.

أدواتُ القياسِ Measuring Tools

تتنوّعُ أدواتُ القياسِ في أشكالِها؛ لتُناسبَ الغرضَ الذي صُمِّمتْ منْ أجلِه، ومنَ الأمورِ الواجبِ أخذُها في الحسبانِ في عمليّةِ القياسِ: اختيارُ الأداةِ المناسبةِ، ومعرفةُ أصغرِ تدريجٍ يقرؤُه الجهازُ أو الأداةُ.

فمثلًا، الطولُ كميّةٌ فيزيائيّةٌ يمكنُ قياسُها بأدواتٍ مختلفةٍ، منها المِسطرةُ؛ وهي من أبسطِ أدواتِ القياسِ المُستخدَمةِ في الحياةِ اليوميّةِ. هذهِ الأداةُ عادةً تكونُ مدرَّجةً بالمليمترِ، وأصغرُ تدريجٍ يظهرُ على المِسطرةِ (1 mm). وقد تكونُ المسطرةُ مناسبةً لقياسِ طولِ قلمٍ أو كتابٍ، لكنْ لا يمكنُ أنْ تكونَ أداةً مناسبةً لقياسِ سُمْكِ ورقةٍ أو صفيحةٍ رقيقةٍ.

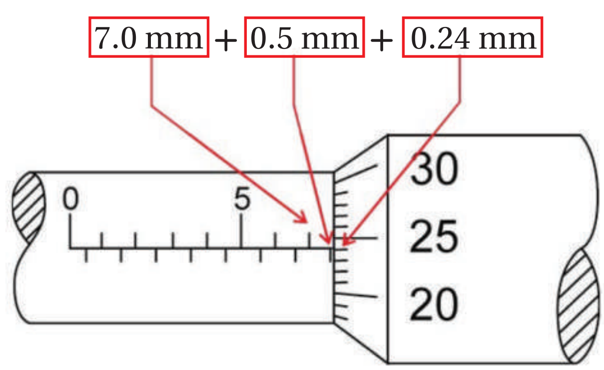
ويبيّنُ الشكلُ (3) أداةً تُسمَّى الميكروميتر، تصلُ دقّةُ القياسِ فيها إلى (0.01 mm)، ويمكنُ استخدامُها في قياسِ سُمكِ صفيحةٍ رقيقةٍ.

أتأمّلُ الشكلَ (4)، وأتعرّفُ كيفيّةَ تسجيلِ قراءةِ الميكروميتر مُتّبعًا الخطواتِ الآتيةَ:

- أسجّلُ قراءةَ المقياسِ الطوليِّ العلويِّ ويكونُ بالمليمتر (7.0mm).
- أسجّلُ قراءةَ المقياسِ الطوليِّ السفليِّ ويكونُ بأنصافِ المليمتر (0.5mm).
- أسجّلُ قراءةَ التدريجِ الدائريِّ بقراءةِ التدريجِ المنطبقِ على المقياسِ الطوليّ (24)، وضربِه في قيمةِ المنزلةِ التي يمثّلُها التدريجُ الدائريُّ وهي (0.01) فتكونُ القراءةُ (0.24 mm).
- أجمعُ القراءاتِ الثلاثَ فتمثّلُ قراءةَ الميكروميتر.

الشكل (3): قياسُ سُمْكِ صفيحةٍ باستخدامِ الميكروميتر.

أبحثُ: كانَ الناسُ قديمًا يستعملونَ الذراعَ والقدمَ لقياسِ الطولِ، وكانوا يعتمدونَ على مراقبتِهم للشمسِ والقمرِ في تقديرِ الوقتِ وحسابِ الزمنِ، وفيما بعدُ بدأتْ تظهرُ الأدواتُ التي تتفاوتُ في تعقيدِها من أدواتٍ بسيطةٍ، إلى أنظمةٍ معقّدةٍ تعتمدُ على التكنولوجيا. أبحثُ في مصادرِ المعرفةِ الموثوقةِ والمُتاحةِ ومنها شبكةُ الإنترنت، عن تطوّرِ أدواتِ القياسِ، وأُعِدُّ عرضًا تقديميًّا أعرضُه أمامَ زملائي/ زميلاتي.



الشكل (4): حسابُ قراءةِ الميكروميتر بوحدةِ (mm).

أتأمّلُ الأرقامَ المثبتةَ على الشكلِ، وأسجلُ قراءةَ الميكروميتر.

التجربةُ 1

أدواتُ القياسِ

الموادُّ والأدواتُ: مِسطرةٌ، شريطٌ متريٌّ، ميزانٌ رقميٌّ، ميكروميتر، كتابُ الفيزياءِ، قلمٌ، كرةٌ فلزيّةٌ، علبةٌ أسطوانيّةُ الشكلِ، صفيحةٌ فلزيّةٌ رقيقةٌ.

إرشاداتُ السلامةِ: الحَذرُ منْ سقوطِ الأجسامِ على القدمينِ، واتّباعُ التعليماتِ التي يذكرُها معلمي/ معلمتي للتعاملِ معَ الأجهزةِ والأدواتِ.

خطواتُ العملِ:

1- أرسمُ وأفرادُ مجموعتي جدولًا يتكوّنُ من ثلاثةِ أعمدةٍ، لأدوّنَ في الأولِ الكميّةَ المرادَ قياسُها، وفي الثاني أداةَ القياسِ التي سأستخدمُها، وفي الثالثِ القياسَ الذي سأحصلُ عليه.

الكميّةُ المرادُ قياسُها	الأداةُ المستخدَمةُ	القياسُ
طولُ غرفةِ الصفِّ		
عرضُ غرفةِ الصفِّ		
طولُ القلمِ		
كتلةُ الكرةِ الفلزيّةِ		
قطرُ الكرةِ الفلزيّةِ		
قطرُ علبةٍ أسطوانيّةٍ		
ارتفاعُ علبةٍ أسطوانيّةٍ		
سُمكُ صفيحةٍ فلزيّةٍ		

2- **أحلّلُ:** أتفحّصُ أدواتِ القياسِ التي يزوِّدُني بها معلمي/ معلمتي، وأختارُ لكلِّ كميّةٍ منَ الكميّاتِ الواردةِ في الجدولِ الأداةَ المناسبةَ لقياسِها.

3- **أقيسُ** الكميّاتِ المطلوبةَ، وأدوّنُ القياساتِ، معَ الأخذِ في الحسبانِ التعبيرَ عنِ القياسِ برقمٍ ووَحدةٍ.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أتواصلُ** معَ زملائي/ زميلاتي وأقارنُ القياساتِ التي حصلتُ عليها بالقياساتِ التي حصلوا عليها. هلْ كانتِ النتائجُ متقاربةً؟
2. **أستنتجُ:** لماذا قدْ تختلفُ نتيجةُ القياسِ منْ شخصٍ إلى آخرَ؟
3. **أستنتجُ:** ما أهميّةُ اختيارِ الأداةِ المناسبةِ في عمليةِ القياسِ؟

أفكّرُ: باستخدامِ الأدواتِ الآتيةِ: ورقةٌ بيضاءُ، قلمٌ، خيطُ صوفٍ، مِسطرةٌ، مِقصٌّ. أصمّمُ تجربةً، لقياسِ محيطِ قرصٍ دائريٍّ، موضّحًا الأمورَ التي سأعملُ بمقتضاها لزيادةِ دقّةِ القياسِ ما أمكنَ.

أتحقّقُ: أذكرُ أمرينِ يجبُ أخذُهُما في الحسبانِ عندَ اختيارِ أداةِ القياسِ.

الأرقامُ الدقيقةُ والأرقامُ المعنويةُ

Exact Numbers and Significant Figures

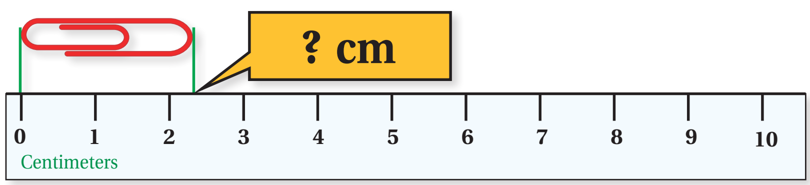
يستخدمُ الفيزيائيونَ الأرقامَ بطرائقَ مختلفةٍ. فقد تُستخدمُ الأرقامُ في عدِّ الأشياءِ، على نحوِ ما هو مُبيَّنٌ في الشكلِ (5)، حيثُ يظهرُ في الصورةِ (5) كتبٍ، وهذا الرقمُ دقيقٌ Exact Number لا مجالَ للشكِّ فيهِ، فلا يمكنُ لأحدٍ أنْ يقولَ إنَّ عددَ الكتبِ ربَّما يكونُ (5.45) أو (5.5) كتابٍ مثلًا. وقد تُستخدمُ الأرقامُ في التعبيرِ عنِ العلاقةِ بينَ وَحدتينِ من وَحداتِ القياسِ، فمثلًا منَ المعلومِ أنَّ المترَ (1m) يساوي (100 cm)، وأنَّ الساعةَ (1 hour) تساوي (60 min)، وفي هذهِ الحالةِ أيضًا، فإنَّ الأرقامَ المُستخدَمةَ تكونُ ذاتَ قيمةٍ دقيقةٍ؛ محدّدةٍ وثابتةٍ.

وتُستخدمُ الأرقام أيضًا في التعبيرِ عنْ نتائجِ القياساتِ، وفي عمليةِ القياسِ لا يمكنُ الحصولُ على نتيجةٍ مؤكّدةٍ تمامًا؛ فالقياسُ لا يعطي قيمةً محدّدةً تعبّرُ تمامًا عنِ القيمةِ الحقيقيّةِ. فمثلاً يبيّنُ الشكلُ (6) مِسطرةً مدرَّجةً بوحدةِ السنتيمتر؛ أيْ إنَّ أصغرَ تدريجٍ يظهرُ على المسطرةِ (1 cm)، فالمسطرةُ استُخدِمتْ لقياسِ طولِ مشبكِ ورقٍ، وعلى نحوِ ما يظهرُ في الشكلِ، فإنَّهُ منَ المؤكّدِ أنَّ طولَ المِشبكِ أكبرُ منْ (2 cm)، فإذا طُلِبَ إلى شخصينِ تسجيلُ طولِ المِشبكِ، فقدْ يُقدِّرُ أحدُهما أنَّهُ (2.3 cm)، في حينِ قد يُقدّرُ الآخرُ بأنَّهُ (2.4 cm). ومنَ المُلاحَظِ أنَّ نتيجةَ القياسِ تضمّنَتْ رقمًا مؤكّدًا قُرِئَ منْ تدريجِ المسطرةِ مباشرةً وهو (2 cm)، ورقمًا تقديريًّا مشكوكًا فيه وهو (0.3)، أو (0.4) اختُلِفَ في تقديرِه منْ شخصٍ إلى آخرَ.

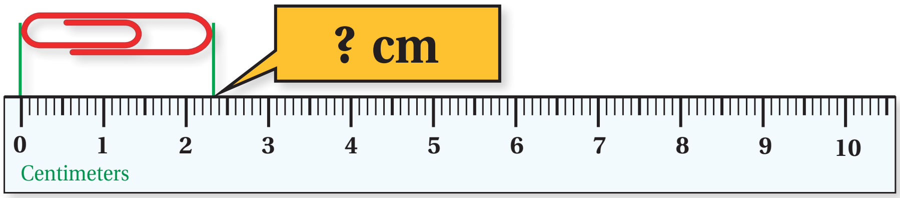
الشكل (5): يظهرُ في الصورةِ عددٌ دقيقٌ منَ الكتبِ وهو (5) كتبٍ.

الربطُ بالحياةِ

يستخدمُ العاملونَ في مجالِ الغذاءِ أدواتِ قياسٍ ذاتَ دقّةٍ عاليةٍ؛ لقياسِ كميّاتٍ تساعدُهم على التحقُّقِ منْ سلامةِ الغذاءِ، وضبطِ جودةِ المنتجاتِ الغذائيّةِ، مثلُ قياسِ درجةِ الحرارةِ، والوزنِ.



الشكل (6): قياسُ طولِ مشبكٍ باستخدامِ مسطرةٍ مدرجةٍ بالسنتيمتر.



الشكل (7): قياسُ طولِ مِشبكٍ باستخدامِ مسطرةٍ مُدرَّجةٍ بأجزاءِ السنتيمتر.

يُطلقُ على الأرقامِ المؤكدةِ التي تنتجُ عنْ عمليةِ القياسِ إضافةً إلى الرقمِ التقديريِّ، **الأرقامَ المعنويّةَ Significant Figures**. وهذا يعني أنَّ قياسَ طولِ مِشبكِ الورقِ باستخدامِ المسطرةِ المبينةِ في الشكلِ (6) يتضمّنُ رقمينِ معنويينِ.

يعتمدُ عددُ الأرقامِ المعنويّةِ في القياسِ على مقدارِ أصغرِ تدريجٍ يظهرُ على أداةِ القياسِ. فالمِسطرةُ المُبيَّنةُ في الشكلِ (7) مدرَّجةٌ بأجزاءِ السنتيمترِ (المليمترات)، لذا فإنَّ استخدامَها في قياسِ طولِ مِشْبكِ الورقِ نفسِه يُعطي قياسًا أكثرَ دقةً، فالمِسطرةُ تؤكّدُ رقمينِ هما (2.3 cm)، وتسمحُ بتقديرِ أجزاءِ المليمترِ، إذْ يمكنُ تقديرُ أنَّ طولَ المِشبكِ (2.33 cm) أو (2.34 cm)، وفي هذهِ الحالةِ فإنَّ القياسَ يتضمّنُ (3) أرقامٍ معنويّةٍ؛ رقمينِ مؤكَّدينِ، ورقمًا مشكوكًا فيه.

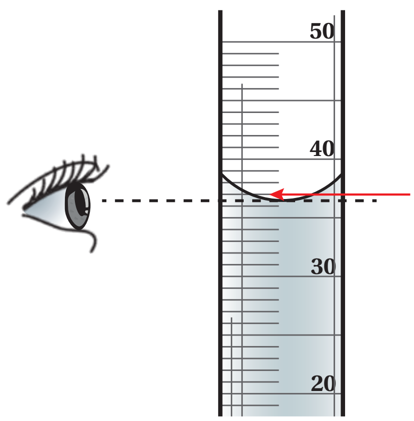
وبوجهٍ عامٍّ، يكونُ الرقمُ الأبعدُ إلى اليمينِ في نتيجةِ القياسِ مشكوكًا فيهِ، ولا يمكنُ تأكيدُه إلّا باستخدامِ أداةِ قياسٍ أخرى أكثرَ دقّةً. وكلّما زادَ عددُ الأرقامِ المعنويّةِ زادتْ دقّةُ القياسِ.

أفكّر: استخدمَتْ نورٌ مِسطرةً لقياسِ طولِ جسمٍ، وعبّرَتْ عنِ القياسِ بالمقدارِ (12.350 cm). فإذا كانَ أكبرُ تدريجٍ يظهرُ على المسطرةِ (30 cm) وأصغرُ تدريجٍ (1 mm)، فهلِ النتيجةُ مقبولةٌ علميًّا؟ أفسّرُ إجابتي.

قواعدُ التعاملِ معَ الأرقامِ المعنويّةِ

Rules for dealing with significant figures

تُعَدُّ جميعُ الأرقامِ غيرِ الصفريّةِ التي تظهرُ في القياسِ أرقامًا معنويّةً، أمّا الصفرُ فربّما يكونُ معنويًّا أو غيرَ معنويٍّ. فمثلاً يُبيّنُ الشكلُ (8) مقطعًا من مخبارٍ مدرَّجٍ بوحدةِ مللتر (mL)، فإذا كانَ ارتفاعُ الماءِ في المخبارِ ينطبقُ تمامًا عندَ التدريجِ (37)، فعندئذٍ يمكنُ التعبيرُ عنِ القياسِ بالصورةِ (37.0 mL)، وحينئذٍ يُعَدُّ الصفرُ رقمًا معنويًّا.



الشكل (8): قياسُ الحجمِ باستخدامِ المخبارِ المدرَّجِ.

أمّا الأصفارُ المُستخدَمةُ في تحديدِ موقعِ الفاصلةِ العشريةِ فلا تُعدُّ أرقامًا معنويّةً، كما في القياسِ (0.003) الذي يحتوي على رقمٍ معنويٍّ واحدٍ فقطْ.

ولتجنُّبِ الوقوعِ في الخطأِ في حالةِ الأصفارِ في نهايةِ الرقمِ الصحيحِ، يُكتبُ القياسُ بالصورةِ العلميّةِ، فمثلًا عندَ كتابةِ القياسِ (3000) بالصورةِ (3×10^3) سيبدو واضحًا أنَّ القياسَ يحتوي على رقمٍ معنويٍّ واحدٍ. أمّا إذا كُتبَ القياسُ على الصورةِ (3.0×10^3)، فسيكونُ فيهِ رقمانِ معنويّانِ، وهذا يدلُّ على أنَّ أداةَ القياسِ المُستخدَمةَ في الحالةِ الثانيةِ أكثرُ دقّةً.

والجدولُ الآتي يوضّحُ القواعدَ الواجبَ العملُ بمقتضاها عندَ تحديدِ عددِ الأرقامِ المعنويّةِ في القياسِ.

القاعدةُ	أمثلةٌ (عددُ الأرقامِ المعنويّةِ)
1) الأعدادُ غيرُ الصفريّةِ كلُّها تُعدُّ أرقامًا معنويّةً.	3.45 (3 أرقامٍ معنويّةٍ) 1.475 (4 أرقامٍ معنويّةٍ)
2) الأصفارُ الواقعةُ بينَ الأعدادِ غيرِ الصفريّةِ تُعدُّ أرقاماً معنويّةً.	205 (3 أرقامٍ معنويةٍ) 5.0308 (5 أرقامٍ معنويّةٍ)
3) الأصفارُ التي تُكتبُ في نهايةِ الرقمِ بعدَ الفاصلةِ العشريّةِ أرقامٌ معنويّةٌ.	14.0 (3 أرقامٍ معنويّةٍ) 2.500 (4 أرقامٍ معنويّةٍ)
4) الأصفارُ التي تُكتبُ إلى يسارِ أولِ عددٍ غيرِ صفريٍّ بعدَ الفاصلةِ العشريّةِ ليستْ أرقامًا معنويّةً.	0.02 (رقمٌ معنويٌّ) 0.0035 (رقمانِ معنويّانِ)
5) الأصفارُ في نهايةِ الرقمِ الصحيحِ دونَ وجودِ فاصلةٍ عشريّةٍ ليستْ أرقامًا معنويّةً.	3000 (رقمٌ معنويٌّ) 30700 (3 أرقامٍ معنويّةٍ)

الربطُ بالرياضياتِ

قد يختلفُ معنى الأصفارِ بينَ الرياضياتِ والفيزياءِ، فالأرقامُ (2.00)، (2.0) متساويةٌ رياضيًّا، أمّا في الفيزياءِ، فالقياسُ (2.0) يتكوّنُ منْ رقمٍ مؤكَّدٍ ورقمٍ مشكوكٍ فيهِ، أمّا القياسُ (2.00) فهو أكثرُ دقةً؛ لأنَّهُ يتكوّنُ منْ رقمينِ مؤكَّدينِ ورقمٍ مشكوكٍ فيهِ.

المثال 8

قاسَ طالبٌ طولَ قلمٍ مستخدمًا مسطرةً، وعبّرَ عنْ نتيجةِ القياسِ بأنَّهُ (10.35 cm). أجيبُ عنِ الأسئلةِ الآتيةِ:

أ . ما أصغرُ تدريجٍ يظهرُ على المسطرةِ التي استخدمَها الطالبُ؟

ب . ماعددُ الأرقامِ المعنويّةِ في القياسِ الذي كتبَهُ الطالبُ؟

المُعطياتُ: طولُ القلمِ = 10.35 cm

المطلوبُ: أصغرُ تدريجٍ = ؟ عددُ الأرقامِ المعنويّةِ = ؟

الحلُّ:

أ . يمكنُ معرفةُ أصغرِ تدريجٍ للمسطرةِ منْ آخرِ رقمٍ مؤكَّدٍ سجّلَه الطالبُ:

أرقامٌ مؤكَّدةٌ

رقمٌ تقديريٌّ

1 0 . 3 5

ألاحظُ أنَّ آخِرَ رقمٍ مؤكَّدٍ في القياسِ هو الرقمُ (3)، ويقعُ في منزلةِ (0.1)، أيْ أنَّ أصغرَ تدريجٍ للمسطرةِ هو (0.1 cm)، ويساوي (1 mm).

ب . عددُ الأرقامِ المعنويّةِ (4).

تمرين

أُحدّدُ عددَ الأرقامِ المعنويّةِ في كلٍّ منَ القياساتِ الآتيةِ:

أ . 202 mm

ب . 1.250 cm

جـ . 0.050 m L

د . 6.01×10^{-3} m

إجراءُ العمليّاتِ الحسابيّةِ باستخدامِ الأرقامِ المعنويّةِ

Significant Figures in Calculations

عندَ إجراءِ العمليّاتِ الحسابيّةِ باستخدامِ الأرقامِ المعنويّةِ، يجبُ العملُ بمقتضى القواعدِ الآتيةِ:

1. **الجمعُ والطرحُ**: أتّبعُ الخطواتِ المبيَّنةَ في المثالِ الآتي:

- أحدّدُ عددَ المنازلِ العشريّةِ (بعدَ الفاصلةِ) للكميّاتِ المطلوبِ جمعُها أو طرحُها:

$$\underbrace{1.\mathbf{367}}_{\text{3 أرقام}} + \underbrace{13.\mathbf{2}}_{\text{رقمٌ واحدٌ}} = \mathbf{14.567}$$

الناتجُ يُقرَّبُ إلى منزلةٍ عشريةٍ واحدةٍ بعدَ الفاصلةِ

- أحسُبُ ناتجَ عمليّةِ الجمعِ أو الطرحِ، وأُدوِّرُ الناتجَ على أنْ يكونَ عددُ المنازلِ العشريّةِ في الإجابةِ مساويًا لعددِ المنازلِ العشريّةِ التي يحتويها أقلُّ قياسٍ منَ المُعطياتِ.

- أعبّرُ عنِ النتيجةِ بالصورةِ الآتيةِ :

$$1.367 + 13.2 = \mathbf{14.567} = 14.6$$

الجوابُ (منزلةٌ عشريّةٌ واحدةٌ)

هذا الرقمُ أكبرُ منْ (5) ؛ لذلكَ يُضافُ واحدٌ إلى الرقمِ الذي يسبقُه.

أتحقّقُ: أحسبُ الناتجَ وأعبّرُ عنهُ بعددٍ مناسبٍ منَ الأرقامِ المعنويةِ:

$$34.8\ \text{cm} - 5.9\ \text{cm}$$

2. **الضربُ والقسمةُ**: أتّبعُ الخطواتِ المبيَّنةَ في المثالِ الآتي:

- أحدّدُ عددَ الأرقامِ المعنويّةِ في الكميّاتِ المعطاةِ.
- أحسُبُ ناتجَ عمليّةِ الضربِ أو القسمةِ، وأُدوِّرُ الناتجَ ليكونَ عددُ الأرقامِ المعنويّةِ فيهِ مساويًا لعددِ الأرقامِ في القياسِ الذي يشتملُ على العددِ الأقلِّ منَ الأرقامِ المعنويّةِ .

أصمّمُ باستخدامِ برنامجِ السكراتش (Scratch) عرضًا يوضّحُ قواعدَ التعاملِ معَ الأرقامِ المعنويّةِ، ثمَّ أعرضُه على زملائي/ زميلاتي.

$$\underbrace{4.6}_{\text{رقمانِ معنويانِ}} \times \underbrace{13.2}_{\text{3 أرقامٍ معنويّةٍ}} = \mathbf{60.72}$$

الناتجُ يُقرَّبُ إلى رقمينِ معنويينِ.

- أتّبعُ القاعدةَ التي تعلّمْتُها في الرياضياتِ لتدويرِ الأرقامِ.

$$4.6 \times 13.2 = \mathbf{60.72} = 61$$

هذا الرقمُ أكبرُ منْ (5) لذا؛ يُضافُ واحدٌ إلى الرقمِ الذي يسبقهُ.

أتحقّقُ: ما عددُ الأرقامِ المعنويّةِ التي يجبُ أنْ تحتويَها الإجابةُ عندَ ضربِ القياسينِ (23.6cm) ، (8.8cm)

3. إجراءُ العمليّاتِ الحسابيّةِ باستخدامِ الآلةِ الحاسبةِ:

عندَ إجراءِ العمليّاتِ الحسابيّةِ باستخدامِ الآلةِ الحاسبةِ، فإنَّ الإجابةَ قد لا تحتوي على العددِ الصحيحِ من الأرقامِ المعنويّةِ، لذا تُستخدمُ القواعدُ السابقةُ نفسُها في تدويرِ الإجابةِ إلى العددِ الصحيحِ من الأرقامِ المعنويّةِ، على نحوِ ما يتضحُ في المثالِ الآتي:

$$23.096 \times 90.300 = ??$$

5 أرقامٍ معنويّةٍ

5 أرقامٍ معنويّةٍ

عندَ استخدامِ الآلةِ الحاسبةِ فإنَّ الإجابةَ تساوي (2085.5688)، لذا يلزمُ تدويرُ الإجابةِ إلى (5) أرقامٍ معنويّةٍ، فتكونُ الإجابةُ النهائيّةُ (2085.6).

أفكّرُ: يبيّنُ الشكلُ عمليّةً حسابيّةً أُجريتْ باستخدامِ آلةٍ حاسبةٍ.

$$\begin{array}{rl} 100.0225 & \text{cm} \\ -10.7 & \text{cm} \\ \hline 89.3225 & \text{cm} \end{array}$$

أتّبعُ قواعدَ التعاملِ معَ الأرقامِ المعنويةِ لأعبّرَ عنِ الإجابةِ بالعددِ المناسبِ منِ الأرقامِ المعنويّةِ.

المثال 9

أجدُ ناتجَ الطرحِ، وأعبّرُ عنِ النتيجةِ بالعددِ المناسبِ منَ الأرقامِ المعنويّةِ وبالصيغةِ العلميّةِ :

$$2.38 \times 10^3\ \text{cm} - 19\ \text{cm}$$

المُعطياتُ: 2.38 (3 أرقامٍ معنويّةٍ) ، 19 (رقمانِ معنويّانِ).

المطلوبُ: إيجادُ ناتجِ الطرحِ معَ الأخذِ في الحسبانِ عددَ الأرقامِ المعنويّةِ.

الحلُّ:

الخطوةُ (1): كتابةُ العددينِ بالصيغةِ العلميّةِ على أنْ يكونَ لهما الأسُّ نفسُه.

$$2.38 \times 10^3\ \text{cm} - 0.019 \times 10^3\ \text{cm}$$

الخطوةُ (2): إيجادُ ناتجِ الطرحِ:

$$(2.38 - 0.019) \times 10^3 = 2.361 \times 10^3$$

الخطوةُ (3): تدويرُ الجوابِ إلى عددِ المنازلِ العشريّةِ الأقلِّ في الكميّاتِ المُعطاةِ (منزلتين)، والتعبيرُ عنِ الجوابِ بالصيغةِ العلميّةِ: $2.36 \times 10^3\ \text{cm}$

المثال 10

قاستْ طالبةٌ أبعادَ قطعةَ كرتونٍ، فكانَ طولُها (24.1 cm) وعرضُها (9.7 cm). أحسُبُ مِساحةَ القطعةِ مستخدمًا العددَ الصحيحَ منَ الأرقامِ المعنويّةِ.

المُعطياتُ: يُرمزُ إلى الطولِ بالرمزِ (l) والعرضِ بالرمزِ (w).

$$l = 24.1\ \text{cm}\ ,\ w = 9.7\ \text{cm}$$

المطلوبُ: إيجادُ المِساحةِ ويُرمزُ إليها بالرمزِ (A).

الحلُّ:

الخطوةُ (1): أحسُبُ المِساحةَ باستخدامِ العلاقةِ:

$$A = l \times w = 24.1 \times 9.7 = 233.77$$

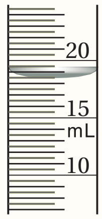
الخطوةُ (2): أكتبُ الإجابةَ بالصيغةِ العلميّةِ: 2.3377×10^2

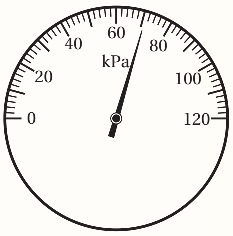
الخطوةُ (3): ألاحظُ أنَّ أقلَّ عددٍ منَ الأرقامِ المعنويةِ في الكميّاتِ المعطاةِ هو رقمانِ، فأدوّرُ الإجابةَ إلى رقمينِ معنويّينِ، وأعبّرُ عنِ النتيجةِ بالصورةِ الآتيةِ $2.3 \times 10^2\ \text{cm}^2$

مراجعةُ الدرسِ

1 . **الفكرةُ الرئيسةُ:** ما المقصودُ بكلٍّ منَ: القياسِ، الأرقامِ المعنويّةِ؟ وما أهميّةُ الأرقامِ المعنويّةِ؟

2 . **أطبّقُ:** أتأمّلُ أدواتِ القياسِ المبيَّنةِ في الشكلِ، وأحدّدُ الكميّةَ الفيزيائيّةَ المقاسة، وأعبّرُ عنِ القياسِ بعددٍ مناسبٍ منَ الأرقامِ المعنويّةِ.





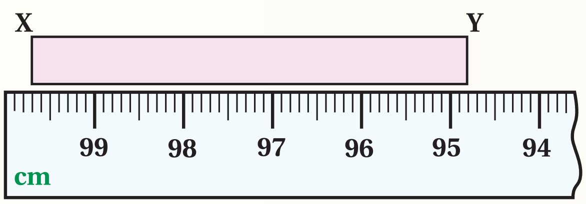
3 . **أحلّلُ:** يبيّنُ الشكلُ أداةَ قياسٍ تُسمَّى الوَرْنيّةَ، معتمدًا على الشكلِ، أجيبُ عنِ الأسئلةِ الآتيةِ:

أ . ما الكميّةُ التي استُخدمَتِ الأداةُ في قياسِها؟ وما وَحدةُ القياسِ؟

ب . ما عددُ الأرقامِ المعنويّةِ في القياسِ الظاهرِ على الشاشةِ؟ أيُّها مؤكَّدٌ، وأيُّها مشكوكٌ فيه؟

جـ. **أقترحُ** كميّةً فيزيائيّةً يمكنُ قياسُها باستخدامِ الجزءِ المشارِ إليهِ بالرمزِ (X) منَ الأداةِ .

4 . **تفكيرٌ ناقدٌ:** قاستْ طالبةٌ طولَ جسمٍ (XY) باستخدامِ قطعةٍ منْ مسطرةٍ مكسورةٍ، على نحوِ ما يبيّنُ الشكلُ، فهلْ يمكنُ معرفةُ طولِ المسطرةِ بالاعتمادِ على الشكلِ؟ أفسّرُ إجابتي.



أخطاءُ القياس
Measurement Errors

الفكرةُ الرئيسة:

لا تخلو أيُّ عمليةِ قياسٍ منَ الأخطاءِ، ولكنْ يمكنُ التقليلُ منْ تأثيرِها في عمليةِ القياسِ.

نتاجاتُ التعلّم:

- أُعدِّدُ مصادرَ الخطأِ في القياساتِ.
- أحسُبُ قيمةَ الخطأِ المطلقِ والخطأِ النسبيِّ.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

عدمُ اليقينِ	Uncertainty
خطأٌ عشوائيٌّ	Random error
خطأٌ منتظَمٌ	Systematic error
خطأٌ صفريٌّ	Zero error
خطأُ زاويةِ النظرِ	Parallax error
دِقّةٌ	Accuracy
ضبطٌ	Precision
الخطأُ المطلقُ	Absolute error
الخطأُ النسبيُّ	Relative error

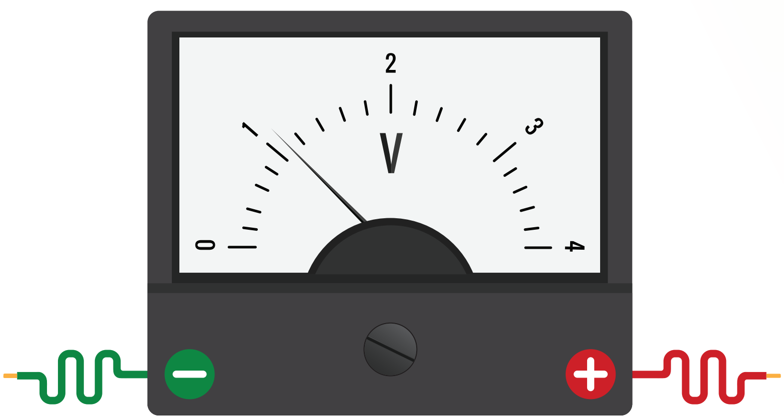
لا تخلو أيُّ عمليّةِ قياسٍ منَ الأخطاءِ، إذْ يوجدُ دائمًا **عدمُ يقينٍ Uncertainty** إلى درجةٍ ما في القياساتِ التي نحصلُ عليها، إذْ لا نستطيعُ أنْ نُؤكّدَ بأنَّ قياساتِنا دقيقةٌ تمامًا مهما بلغتْ دقّةُ الأدواتِ المُستخدَمةِ في عمليّةِ القياسِ. وهذا يعودُ إلى أسبابٍ عدّةٍ يمكنُ إجمالُها بما يُسمّى «الأخطاءَ التجريبيّةَ».

الأخطاءُ التجريبيّةُ Experimental Errors

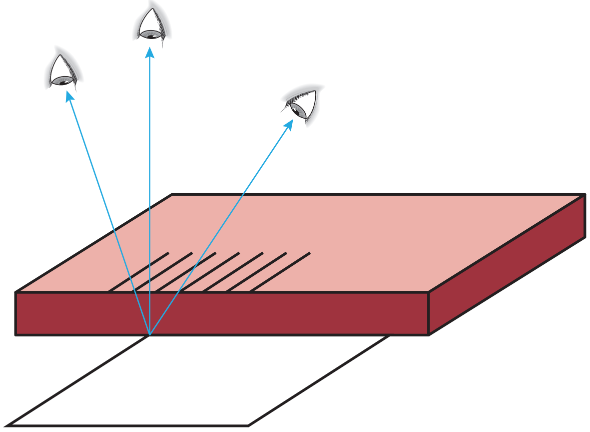
يشيرُ الخطأُ التجريبيُّ إلى الفرقِ بينَ القيمةِ المقاسةِ والقيمةِ الحقيقيةِ (الصحيحةِ) للكميّةِ الفيزيائيةِ. والأخطاءُ التجريبيةُ بوجهٍ عامٍّ تُقسمُ إلى عشوائيةٍ ومنتظمةٍ.

الأخطاءُ العشوائيّةُ Random Errors

وهي الأخطاءُ التي لا تأخذُ نمطًا محدّدًا عندَ تكرارِ عمليةِ القياسِ تحتَ الظروفِ نفسِها، إذْ تكونُ بعضُ القيمِ (القياساتِ) أكبرَ منَ القيمةِ الحقيقيّةِ، وبعضُها الآخرُ أقلَّ، ولا يتكرّرُ مقدارُ الخطأِ نفسُه بتكرارِ التجربةِ (المحاولةِ). ومنْ مصادرِ الأخطاءِ العشوائيّةِ، التذبذباتُ (التقلّباتُ) Fluctuations في قراءاتِ أدواتِ القياسِ؛ مثلُ التذبذباتِ في قراءاتِ الأميترِ الرقميِّ عندَ استخدامِه في قياسِ التيارِ الكهربائيِّ في دارةٍ كهربائيّةٍ. وقدْ تنجمُ الأخطاءُ العشوائيّةُ



الشكل (9): عدمُ انطباقِ المؤشرِ على أحدِ تدريجاتِ المقياسِ.



الشكل (10): النظرُ إلى المقياسِ من زوايا مختلفةٍ يؤدي إلى خطأِ زاويةِ النظرِ.

عـنْ عوامـلَ تتعلّـقُ بالبيئـةِ المحيطـةِ؛ مثـلُ التباينِ فـي درجـةِ حرارةِ المختبـرِ في أثناءِ إجـراءِ التجربةِ، أو الناجمةِ عن تكرارِ القياسـاتِ منَ الشـخصِ الذي يقـومُ بعمليّةِ القيـاسِ، إذْ عندَما يُعيدُ الشـخصُ قياسَ كميّـةٍ فيزيائيّـةٍ مـا مـرّاتٍ عـدّةً، فإنَّـه فـي كلِّ مـرّةٍ يحصـلُ غالبًا على قيـاسٍ مختلـفٍ قليـلًا عنِ الـذي يسـبقُه، مهما بلغـتْ دقّـةُ الأداةِ التي يسـتخدمُها. وتنجـمُ الأخطـاءُ العشـوائيّةُ أيضًـا عـنْ تقديرِ قـراءةِ أداةِ القيـاسِ، ولاسـيَّما في أدواتِ القيـاسِ المُدرَّجةِ، إذْ لا ينطبقُ المؤشـرُ أحيانًـا على أحـدِ تدريجـاتِ المقياسِ علـى نحوِ ما يظهرُ في الشـكلِ (9)، مـا يضطرُنـا إلـى تقديـرِ قـراءةِ المقياسِ. ومـنْ مصـادرِ الأخطاءِ العشـوائيّةِ أيضًا، ما يُسـمَّى بخطـأِ **زاويةِ النظـرِ Parallax error**، عندَ أخـذِ القـراءاتِ المختلفـةِ مـنْ جهتينِ متناظرتيـنِ، على نحـوِ ما يظهرُ فـي الشـكلِ (10)، إذْ يعتمـدُ القياسُ الذي نحصـلُ عليهِ علـى الزاويةِ التـي ننظـرُ منهـا إلى التقـاءِ قاعـدةِ المسـطرةِ معَ حافـةِ الورقـةِ المرادِ قيـاسُ عرضِها.

والأخطـاءُ العشـوائيّةُ تلازمُ أيَّ عمليّـةِ قياسٍ، لكنْ يمكـنُ التقليلُ مـن تأثيـرِ هـذهِ الأخطـاءِ عـنْ طريـقِ تكـرارِ القياسـاتِ مـرّاتٍ عـدّةً، وأخـذِ الوسـطِ الحسـابيِّ لهذهِ القياسـاتِ.

أُفكّر: يُستخدمُ جهازُ الفولتميتر في قياسِ فرقِ الجهدِ الكهربائيِّ. فأحيانًا تثبّتُ الشركةُ الصانعةُ للجهازِ مرآةً صغيرةً خلفَ إبرةِ القياسِ التي نستخدمُها في قراءةِ فـرقِ الجهـدِ. فمـا الهدفُ مـنَ استخدامِ المرآةِ؟

جـ ب أ

الشكل (11):
أ . مقياسٌ رقميٌّ.
ب. مقياسٌ ذو تدريج تناظريٍّ.
جـ. مسطرةٌ طرفُها تالفٌ.

الأخطاءُ المنتَظَمةُ Systematic Errors

هي الأخطاءُ التي تؤثرُ في القياساتِ جميعِها بالمقدارِ نفسِه وباتجاهٍ واحدٍ، على أنْ تكونَ هذهِ القياساتُ أكبرَ منَ القيمةِ الحقيقيّةِ أو أصغرَ منها، لذا فهي أكثرُ قابليّةً للتنبُّؤِ منَ الأخطاءِ العشوائيّةِ. ومنْ مصادرِ الأخطاءِ المنتظمةِ، ما يُعرفُ **بالخطأِ الصفريِّ Zero Error**، الذي ينجمُ عنْ عدمِ معايرةِ أدواتِ القياسِ الرقميّةِ، أو ذاتِ التدريجِ التناظريِّ على الصفرِ قبلَ استخدامِها، على نحوِ ما يظهرُ في الشكلِ (11/ أ، ب) على الترتيبِ، أو استخدامِ مسطرةٍ طرفُها تالفٌ مثلًا، على نحوِ ما يظهرُ في الشكلِ (11/ جـ)، ما لم تُستخدمُ هذهِ المسطرةُ في إجراءِ قياساتٍ بينَ جزأينِ لا يشتملانِ على الصفرِ. وقد ينشأُ الخطأُ المنتَظَمُ أيضًا عندَما لا تُضبطُ المُتغيّراتُ جميعُها التي تؤثّرُ في نتائجِ تجربةٍ ما، مثلُ قياسِ المجالِ المغناطيسيِّ الناشئِ عن مغناطيسٍ دونَ الأخذِ في الحسبانِ المجالَ المغناطيسيَّ الناشئَ عنِ الأرضِ. ويمكنُ أنْ يكونَ خطأُ زاويةِ النظرِ منْ مصادرِ الأخطاءِ المنتَظَمةِ عندَما تُؤخذُ القراءاتُ جميعُها منَ الموقعِ نفسِه.

يُشارُ إلى أنَّ تكرارَ القياساتِ لا يقلّلُ منْ تأثيرِ الأخطاءِ المنتَظَمةِ كما هو الحالُ للأخطاءِ العشوائيّةِ، لكنْ يمكنُ التقليلُ منَ الأخطاءِ المُنتَظَمةِ من خلالِ الضبطِ الدقيقِ للإجراءاتِ المُتَّبَعَةِ.

✓ **أتحقّقُ**: ما أنواعُ الأخطاءِ التجريبيةِ؟

أُفكّرُ: بتكرارِ القياساتِ وأخذِ الوسطِ الحسابيِّ يقلُّ تأثيرُ الأخطاءِ العشوائيّةِ، لكنْ لا يقلُّ تأثيرُ الأخطاءِ المنتَظمةِ في نتائجِ القياساتِ. فبِمَ أُفسّرُ ذلكَ؟

المثال 11

أُحدّدُ نوعَ الخطأِ في كلٍّ ممّا يأتي مبيّنًا السببَ.

1. في تجربةٍ لقياسِ تسارعِ الجاذبيةِ الأرضيةِ لم يُؤخذْ في الحسبانِ مقاومةُ الهواءِ.
2. عملَ خالدٌ مخلوطًا حراريًا في إناءٍ غيرِ معزولٍ.
3. استخدمَتْ منى مِسطرتَها الخشبيّةَ الجديدةَ في قياسِ طولِ قلمِ الرصاصِ.
4. كانَ أحمدُ يأخذُ قراءةَ ميزانِ الحرارةِ الزئبقيِّ المثبّتِ عموديًّا في إناءِ التسخينِ كلَّ خمسِ دقائقَ وهو جالسٌ في مكانِه.

الحلُّ:

1. منتَظمٌ؛ لأنَّ مقاومةَ الهواءِ تُعيقُ دائمًا حركةَ الأجسامِ، فهي تؤثرُ باتجاهٍ واحدٍ في نتائجِ التجربةِ.
2. منتَظمٌ؛ لأنَّ الإناءَ غيرَ المعزولِ يتبادلُ الحرارةَ معَ المحيطِ الخارجيِّ، فتتأثّرُ درجةُ حرارةِ المخلوطِ النهائيّةِ بالمحيطِ الخارجيِّ زيادةً أو نقصانًا (تبعًا لدرجةِ حرارةِ المخلوطِ مقارنةً بدرجةِ حرارةِ المحيطِ)، أيْ باتجاهٍ واحدٍ.
3. عشوائيٌّ؛ لأنَّ القياسَ الذي تحصلُ عليهِ يمكنُ أن يكونَ أكبرَ أو أصغرَ منَ الطولِ الحقيقيِّ للقلمِ. (يمكنُ أن تقعَ منى في خطأٍ منتَظمٍ، إضافةً إلى الخطأِ العشوائيِّ، إذا لم تضبطْ مثلًا أحدَ طرفي القلمِ على صفرِ المسطرةِ).
4. يقعُ أحمدُ في خطأٍ عشوائيٍّ إذا كانَ مستوى نظرِه منطبقًا دائمًا معَ مستوى الزئبقِ في ميزانِ الحرارةِ، ويقعُ في خطأٍ منتَظمٍ إذا كان مستوى نظرِه يصنعُ زاويةً معَ مستوى الزئبقِ في ميزانِ الحرارةِ، وكانتْ زاويةُ النظرِ ثابتةً.

تمرين

طلبتِ المعلمةُ من كلٍّ منْ سارةَ وسلمى استخدامَ مسطرتِها في قياسِ طولِ كتابِ الفيزياءِ أربعَ مراتٍ متتاليةٍ، فحصلتْ كلٌّ منهما على القياساتِ الآتيةِ: سارة: 27.2, 27.5, 27.4, 27.5

سلمى: 28.3, 27.9, 27.8, 28.1

أَذكرُ نوعَ الخطأِ التجريبيِّ الذي وقعتْ فيهِ كلٌّ من سارةَ وسلمى، وأُبيّنُ السببَ (علمًا أنَّ طولَ كتابِ الفيزياءِ يساوي 28.0 cm).

الدقّةُ والضبطُ Accuracy and Precision

تصفُ دقّةُ القياسِ مدى اقترابِ القيمةِ المقاسة منَ القيمةِ الحقيقيّةِ للكميّةِ الفيزيائيّةِ. والقيمُ الحقيقيّةُ للكميّاتِ الفيزيائيّةِ لا يمكنُ معرفتُها تمامًا بسببِ أخطاءِ القياسِ، لكنْ توجَدُ قيمٌ مقبولةٌ متعارَفٌ عليها وهي مُعتمَدةٌ بوصفِها قيمًا حقيقيّةً تحتَ ظروفٍ معيَّنةٍ. فمثلًا، متوسطُ تسارعِ الجاذبيّةِ الأرضيّةِ (g) بالقربِ من سطحِ الأرضِ يساوي ($9.81\ m/s^2$)، وهذهِ القيمةُ مقبولةٌ ومعتمَدةٌ لتسارعِ الجاذبيّةِ الأرضيّةِ تحتَ الظروفِ نفسِها. فإذا صَمّمتُ تجربةً لقياسِ تسارعِ الجاذبيّةِ الأرضيّةِ وحَصَلْتُ على قيمةٍ قريبةٍ منَ القيمةِ المقبولةِ، مثلًا (9.80) في ظروفٍ مشابهةٍ، فإنَّ هذهِ القيمةَ تُعَدُّ دقيقةً Accurate.

أمّا الضبطُ Precision، فهو يُظهِرُ مدى التوافقِ (الاتساقِ) بينَ القياساتِ عندَ تكرارِها تحتَ الظروفِ نفسِها. فعندَما أُكرِّرُ قياسَ عرضِ كتابِ الفيزياءِ ثلاثَ مرّاتٍ مثلًا، وأحصلُ على القياساتِ (20.9 cm, 21.1 cm, 21.2 cm)، فإنَّ هذهِ القياساتِ تُعَدُّ مضبوطةً؛ لأنَّها متقاربةٌ فيما بينَها، فالفرقُ بينَ أكبرِ قياسٍ (21.2) وأصغرِ قياسٍ (20.9) يساوي (0.3 cm)، وهو مقدارٌ صغيرٌ بالنسبةِ إلى طولِ الكتابِ، وهذا يدلُّ على أنَّ القياساتِ متقاربةٌ، وبوجهٍ عامٍّ، كلّما قلَّ الفرقُ بينَ أكبرِ قياسٍ وأصغرِ قياسٍ كانَ القياسُ أكثرَ ضبطًا. ولنفترضْ أنَّ القيمةَ المقبولةَ لعرضِ الكتابِ تساوي (21.0 cm)، فإنَّ هذهِ القياساتِ تتّسمُ أيضًا بالدقّةِ لقربِها منَ القيمةِ المقبولةِ. لكنْ قد تكونُ القياساتُ دقيقةً وغيرَ مضبوطةٍ (قليلةَ الضبطِ)، أو مضبوطةً وغيرَ دقيقةٍ. والشكلُ (12) يلخصُ بعضَ هذهِ الحالاتِ، حيثُ تمثّلُ البقعةُ الحمراءُ (مركزُ الهدفِ) القيمةَ المقبولةَ.

يعتمدُ ضبطُ القياساتِ اعتمادًا رئيسًا على دقّةِ أدواتِ القياسِ المُستخدَمةِ، فمثلًا، بمقارنةِ المسطرةِ بالورنيّةِ أو الميكروميتر، نجدُ أنَّ الميكروميتر أكبرُهنَّ ضبطًا، لأنَّهُ يقيسُ لأقربِ (0.01 mm)، تليهِ الوَرْنيةُ، إذْ تقيسُ لأقربِ (0.1 mm)، في حينِ أنَّ المِسطرةَ تقيسُ


أ


ب


جـ

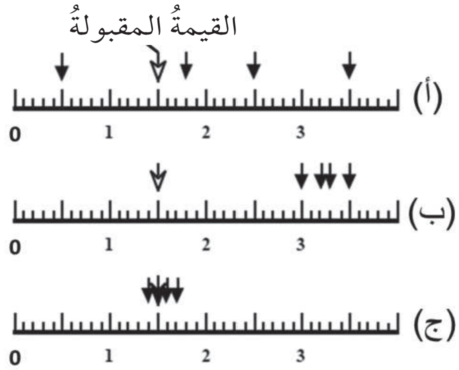
الشكل (12):
أ . قياساتٌ دقيقةٌ ومضبوطةٌ.
ب. قياساتٌ مضبوطةٌ وغيرُ دقيقةٍ.
جـ. قياساتٌ غيرُ دقيقةٍ وغيرُ مضبوطةٍ.

لأقربِ (1mm)، فكلّما زادَ عددُ المنازلِ العشريّةِ التي تقرؤُها الأداةُ زادَ ضبطُ القياسِ، وقلَّ في المقابلِ ما يُسمَّى بعدمِ اليقينِ (الشكِّ). وأنَّ الشخصَ الذي يتّبعُ المنهجَ العلميَّ في القياسِ أو التجريبِ يحصلُ على قياساتٍ أكثرَ دقّةً منَ الشخصِ الأقلِّ التزامًا بهذا المنهجِ.

أتحقّقُ: ما المقصودُ بدقّةِ القياسِ؟

المثال 12

يبيّنُ الشكلُ قياساتٍ لقُطرِ حلقةٍ فلزيّةٍ قامَ بها ثلاثةُ طلاب (أ، ب، جـ)، حيثُ كرّرَ كلٌّ منهم القياسَ أربعَ مرّاتٍ متتاليةٍ، وهي مُمثَّلةٌ بالأسهمِ. أَصفُ قياساتِ الطلابِ الثلاثةِ من حيثُ الدقّةُ والضبطُ، علمًا بأنَّ القيمةَ المقبولةَ لقُطرِ الحلقةِ يساوي (1.5 cm).



المُعطياتُ: القياساتُ الظاهرةُ في الشكلِ، القيمةُ المقبولةُ لقُطرِ الحلقةِ الفلزيّةِ = 1.5 cm

المطلوبُ: وصفُ القياساتِ من حيثُ الدقّةُ والضبطُ.

الحلُّ:

أُلاحظُ منَ الشكلِ أنَّ قياساتِ الطالبِ (أ): (0.5, 1.8, 2.5, 3.5) cm على الترتيبِ، وهي بعيدةٌ عنِ القيمةِ المقبولةِ باستثناءِ القياسِ (1.8 cm)، لذا فهي غيرُ دقيقةٍ. وهي متباعدةٌ أيضًا بعضُها عنْ بعضٍ (غيرُ متّسقةٍ)، لذا فهي غيرُ مضبوطةٍ. أمّا قياساتُ الطالبِ (ب): (3.0, 3.2, 3.3, 3.5) cm على الترتيبِ، فهي بعيدةٌ عنِ القيمةِ المقبولةِ، لذا فهي غيرُ دقيقةٍ، ولكنَّها متقاربةٌ بعضُها من بعضٍ (متّسقةٌ)، لذا فهي مضبوطةٌ.

في حينِ أنَّ قياساتِ الطالبِ (جـ): (1.4, 1.5, 1.6, 1.7) على الترتيبِ، فهي قريبةٌ منَ القيمةِ المقبولةِ، ومتّسقةٌ فيما بينَها، لذا فهي دقيقةٌ ومضبوطةٌ.

الخطأُ المطلقُ والخطأُ النسبيُّ Absolute Error and Relative Error

يُعرّفُ **الخطأُ المطلقُ Absolute Error** بأنَّهُ: الفرقُ المطلقُ بينَ القيمةِ المقاسة والقيمةِ الحقيقيّةِ (المقبولةِ). أيْ إنَّ:

الخطأَ المطلقَ = |القيمةَ المقاسة− القيمةِ المقبولةِ|

ويُلاحَظُ منَ المعادلةِ السابقةِ أنَّهُ كلّما كانَ الفرقُ بينَ القيمةِ المقاسةِ والقيمةِ المقبولةِ صغيرًا كانَ الخطأُ المطلقُ صغيرًا، ولمّا كانتْ دقّةُ القياسِ ترتبطُ بمدى اقترابِ القيمةِ المقاسةِ منَ القيمةِ المقبولةِ، فإنَّهُ كلّما قلَّ الفرقُ بينَ القيمة المقاسة والقيمة المقبولة زادتْ دقّةُ القياسِ، أيْ كلّما قلَّ الخطأُ زادتْ دقّةُ القياسِ.

أمّا **الخطأُ النسبيُّ Relative Error** فهو: النسبةُ بينَ الخطأِ المطلقِ والقيمةِ الحقيقيّةِ (المقبولةِ). أيْ إنَّ:

$$\text{الخطأَ النسبيَّ} = \frac{\text{الخطأَ المطلقَ}}{\text{القيمةِ المقبولةِ}}$$

وللحصولِ على نسبةٍ مئويةٍ للخطأِ نضربُ المعادلةَ السابقةَ في: 100%، ويُطلقُ على الناتجِ اسمَ **الخطأِ النسبيِّ المئويِّ Percentage Error**. أيْ إنَّ:

$$\text{الخطأَ النسبيَّ المئويَّ} = \frac{\text{الخطأَ المطلقَ}}{\text{القيمةِ المقبولةِ}} \times 100\% = \text{الخطأَ النسبيَّ} \times 100\%$$

ولحسابِ الخطأِ المطلقِ أو الخطأِ النسبيِّ لأيِّ عمليةِ قياسٍ فإنَّهُ يجبُ معرفةُ القيمةِ المقبولةِ، أمّا إذا كانتِ القيمةُ المقبولةُ غيرَ معروفةٍ، فلا بدَّ من تكرارِ القياساتِ، ثمَّ حسابِ **المتوسطِ الحسابيِّ Mean** لهذهِ القياساتِ. ويُحسَبُ المتوسطُ الحسابيُّ بجمعِ القياساتِ جميعِها، ثمَّ قسمةِ الناتجِ على عددِ هذهِ القياساتِ، أيْ إنَّ:

$$\text{المتوسطَ الحسابيَّ} = \frac{\text{مجموعَ القياساتِ}}{\text{عددِ القياساتِ}}$$

ويكونُ المتوسطُ الحسابيُّ في هذهِ الحالةِ ممثِّلًا للقيمةِ المقبولةِ. وإذا كانتْ قياساتُنا مضبوطةً، أيْ كانتِ الأدواتُ المستخدمةُ دقيقةً (عددُ المنازلِ العشريّةِ التي تعطيها هذهِ الأدواتُ كبيرٌ نسبيًّا)، وكانتِ الإجراءاتُ المُتَّبعةُ في القياسِ منضبطةً، كانَ المتوسطُ الحسابيُّ قريبًا جدًّا منَ القيمةِ المقبولةِ، فنعُدُّه مساويًا لها، أيْ إنَّ:

القيمةَ المقبولةَ = المتوسطَ الحسابيَّ

✔ **أتحقّقُ:** ما المقصودُ بالخطأِ النسبيِّ؟

المثال 12

أرادَ عليٌّ أنْ يتأكدَ من أنَّ حجمَ كميّةِ ماءِ الشربِ الموجودةِ في إحدى العبوّاتِ البلاستيكيةِ تساوي (200 ml)، على نحوِ ما هو مكتوبٌ عليها. فاستخدمَ المخبارَ المدرّجَ، وأفرغَ محتوياتِ العبوّةِ في المخبارِ مباشرةً دونَ الأخذِ في الحسبانِ ضيقَ فوهّتِه، ما أدّى إلى انسكابِ كميّةٍ بسيطةٍ منَ الماءِ خارجَ المخبارِ، فكانَ حجمُ الماءِ الذي قاسَه عليٌّ (190 ml). أُجيبُ عمّا يأتي:

1. أَحسُبُ كلًّا منَ: الخطأِ المطلَقِ، الخطأِ النسبيِّ، الخطأِ النسبيِّ المئويِّ في قياسِ عليٍّ.
2. أُبيّنُ نوعَ الخطأِ الذي وقعَ فيهِ عليٌّ عندَما سكبَ الماءَ في المخبارِ.

المُعطياتُ: القيمةُ المقبولةُ لحجمِ الماءِ = 200 ml، القيمةُ المقاسةُ = 190 ml

المطلوبُ: الخطأُ المطلقُ، الخطأُ النسبيُّ، الخطأُ النسبيُّ المئويُّ، نوعُ الخطأِ.

الحلُّ:

1. الخطأُ المطلقُ = | القيمة المقاسة − القيمة المقبولة |

$= | 200 - 190 | = 10\ \text{ml}$

$\text{الخطأُ النسبيُّ} = \frac{\text{الخطأُ المطلقُ}}{\text{القيمةِ المقبولةِ}} = \frac{10}{200} = 0.05$

الخطأُ النسبيُّ المئويُّ = الخطأُ النسبيُّ × 100%

$= 0.05 \times 100\% = 5\%$

2. نوعُ الخطأِ الذي وقعَ فيهِ عليٌّ كانَ منتظمًا، لأنَّه لو أعادَ قياسَ حجمِ الماءِ مرّةً بعدَ مرّةٍ، لحصلَ دائمًا على قياسٍ أقلَّ منَ القيمةِ المقبولةِ (200 ml)؛ لأنَّ كميّةً منَ الماءِ قد فُقِدتْ في أثناءِ إفراغِ محتوى العبوّةِ في المخبارِ المدرّجِ.

تمرين

في تجربةٍ قامتْ بها بيانُ لقياسِ المقاومةِ الكهربائيّةِ لسلكٍ فلزيٍّ، توصّلتْ عمليًّا إلى أنَّ مقاومةَ السلكِ تساوي (0.6) أوم بخطأٍ نسبيٍّ مئويٍّ مقدارُه (4%). أَحسُبُ كلًّا منَ الخطأِ المطلقِ في قياسِ المقاومةِ والقيمةِ المقبولةِ لمقاومةِ السلكِ.

التجربةُ 2

قياسُ قُطرِ سلكٍ فلزّيٍّ

الموادُّ والأدواتُ: سلكٌ فلزّيٌّ، ميكروميتر.

إرشاداتُ السلامةِ: الحَذَرُ منْ سقوطِ الميكروميتر على القدمينِ، ومن خَدْشِ طرفِ السلكِ اليدينِ، أو ثَقْبِ الملابسَ.

خطواتُ العملِ:

بالتعاونِ معَ أفرادِ مجموعتي، أُنفِّذُ الخطواتِ الآتيةَ:

1. أُعايِرُ الميكروميترَ على الصفرِ، وذلكَ بتدويرِ المقياسِ الدائريِّ حتى ينطبقَ فَكّا الميكروميترِ، ثمَّ أستخدمُ برغي المعايرةِ للتأكدِ من انطباقِ صفرِ التدريجِ الدائريِّ على صفرِ التدريجِ الطوليِّ.
2. أدوِّرُ المقياسَ الدائريَّ ليبتعدَ أحدُ فكّي الميكروميترِ عنِ الآخرِ مسافةً تسمحُ بإدخالِ السلكِ بينَ الفكّينِ بسهولةٍ.
3. أُدخلُ طرفَ السلكِ بينَ فكّي الميكروميترِ، ثمَّ أُدوّرُ المقياسَ الدائريَّ ببطءٍ ليُطبقَ الفكّانِ على السلكِ، على نحوِ ما يظهرُ في الشكلِ.
4. أدوّنُ قراءةَ الميكروميترِ في جدولٍ، على نحوِ ما هو موضَّحٌ في الشكلِ المجاورِ.
5. أكرّرُ الخطوتينِ (2، 3) مرّاتٍ عدّةً، وأدوّنُ قراءةَ الميكروميترِ في كلِّ مرّةٍ في الجدولِ:

التحليلُ والاستنتاجُ

1. **أحسُبُ** المتوسطَ الحسابيَّ للقياساتِ الخمسةِ المدرجةِ في الجدولِ.
2. **أحسُبُ** الخطأَ النسبيَّ والخطأَ النسبيَّ المئويَّ لكلٍّ منَ القياساتِ السابقةِ، وأدوّنُها في الجدولِ.
3. **أقارنُ** بينَ القيمةِ المقبولةِ التي حصلْتُ عليها لقُطرِ السلكِ والقيمِ التي حصلَ عليها زملائي في المجموعاتِ الأخرى.
4. **أحلّلُ:** هلْ حصلَتْ جميعُ المجموعاتِ على القيمةِ المقبولةِ نفسِها لقُطرِ السلكِ؟ أُوضّحُ سببَ وجودِ أيِّ اختلافٍ بينَها.
5. **أحلّلُ:** أُحدّدُ مصادرَ الأخطاءِ المُحتَملةِ في التجربةِ، وأُبيّنُ تأثيرَ كلٍّ منها في النتائجِ.
6. **أتوقّعُ:** لو استخدمْتُ الوَرْنيةَ بدلًا منَ الميكروميترِ في قياسِ قطرِ السلكِ، فهلْ تتغيّرُ مصادرُ الأخطاءِ في التجربةِ؟ أُوضّحُ إجابتي.

رقمُ المحاولةِ	القياسُ	الخطأُ المطلقُ	الخطأُ النسبيُّ المئويُّ
1			
2			
3			
4			
5			

مراجعةُ الدرسِ

1. **الفكرةُ الرئيسةُ:** أُوضّحُ المقصودَ بخطأِ القياسِ، وأُوضّحُ علاقتَهُ بدقّةِ القياسِ.

2. **أُقارنُ** بينَ كلٍّ ممّا يأتي:

أ . الخطأُ العشوائيُّ والخطأُ المنتَظَمُ ب. دقّةُ القياسِ وضبطُ القياسِ

جـ. الخطأُ المطلقُ والخطأُ النسبيُّ د . القيمةُ الحقيقيّةُ والقيمةُ المقبولةُ

3. **أُحلّلُ:** استخدمَتْ سُعادُ الميزانَ الإلكترونيَّ لقياسِ كتلةِ أسطوانةٍ فلزيّةٍ بتكرارِ القياسِ أربعَ مرّاتٍ، فحصلَتْ على القياساتِ الآتيةِ: (194, 197, 196, 193) g.

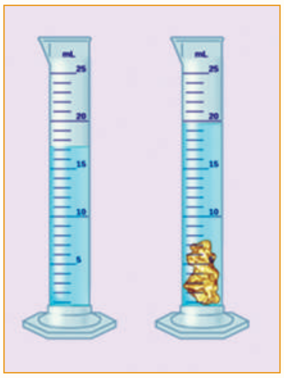
أ. أَحسُبُ المتوسطَ الحسابيَّ لقياساتِ سُعادَ.

ب. إذا كانتِ القيمةُ المقبولةُ لكتلةِ الأسطوانةِ تساوي (200 g)، أُبيّنُ مصادرَ الأخطاءِ في قياساتِ سُعادَ.

4. **أَحسُبُ:** طلبَ المعلمُ من خالدٍ استخدامَ الشريطِ المتريِّ في قياسِ طولِ غرفةِ الصفِّ، فوجدَه يساوي (8.4 m).

إذا كانتِ القيمةُ المقبولةُ لطولِ الغرفةِ يساوي (8.0 m)، أجدُ ما يأتي:

أ. الخطأُ المطلقُ ب. الخطأُ النسبيُّ جـ. الخطأُ النسبيُّ المئويُّ



5. **أَتوقّعُ:** في تجربةٍ لقياسِ كثافةِ قطعةٍ من الصخرِ، استخدمَتْ شذى المخبارَ المدرَّجَ في قياسِ حجمِ القطعةِ، حيثُ وضعَتْ كميّةً منَ الماءِ في المخبارِ، ثمَّ أسقطَتْ قطعةَ الصخرِ فيه على نحوِ ما يظهرُ في الشكلِ. اعتمادًا على الشكلِ:

أ . أَحسُبُ حجمَ قطعةِ الصخرِ.

ب. إذا كرّرَتْ شذى قياسَ حجمِ قطعةِ الصخرِ باستخدامِ المخبارِ المدرّجِ. أُحدّدُ الخطأَ (الأخطاءَ) التي يمكنُ أن تقعَ فيها شذى، وأُصنِّفُها إلى منتَظَمةٍ وعشوائيّةٍ.

6. **أُحلّلُ:** طلبَ معلمُ الفيزياءِ من ثلاثةِ طلابٍ (فارس، مؤمن، أدهم) قياسَ الزمنِ الدوريِّ لبندولٍ بسيطٍ في أثناءِ اهتزازِه، بقياسِ زمنِ خمسِ دوراتٍ متتاليةٍ، ثمَّ قسمةِ الناتجِ على (5)، على أنْ يبدأَ الطلابُ القياسَ معًا منَ اللحظةِ نفسِها، والجدولُ المجاورُ يبيّنُ الأزمانَ الدوريّةَ التي قاسَها الطلابُ الثلاثةُ في أربعِ محاولاتٍ متتاليةٍ. إذا كانتِ القيمةُ المقبولةُ للزمنِ الدوريِّ للبندولِ تساوي (1.20 s)، أُبيّنُ أيُّ الطلابِ كانتْ قياساتُه:

أ . أكبرَ دقّةً ب. أكثرَ ضبطًا

جـ. تدلُّ على أنَّهُ وقعَ في خطأٍ منتظمٍ د. غيرَ دقيقةٍ وغيرَ مضبوطةٍ

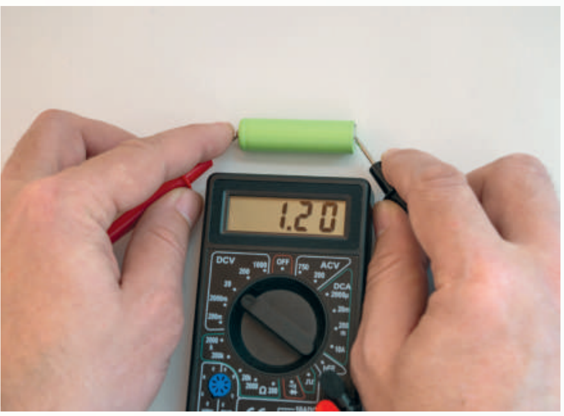
رقمُ المحاولةِ	الزمنُ الدوريُّ (s)		
	فارس	مؤمن	أدهم
1	1.25	1.38	1.32
2	1.14	1.44	1.10
3	1.21	1.36	1.48
4	1.20	1.42	0.95

الإثراءُ والتوسّعُ

الفيزياءُ والتكنولوجيا

عدمُ اليقينِ Uncertainty

في كلِّ عمليـةِ قيـاسٍ تُجـرى، يوجـدُ دائمًا بعضٌ منْ عدمِ اليقينِ في القياساتِ التي نحصلُ عليها، حتـى وإنِ استُخدِمتْ أدواتُ قيـاسٍ رقميّـةٍ وحصلْنا منها على قراءاتٍ ثابتةٍ. فمثلًا، يُقرأُ مقياسُ فرقِ الجهدِ الكهربائيِّ في الشكلِ المجاورِ (23.2) فولت، ما يدلُّ على أنَّ الدارةَ الكهربائيةَ داخلَ مقياسِ فرقِ الجهدِ تُقرِّبُ القياساتِ إلى أقربِ (0.1) فولت، أيْ منزلةٍ عشريّةٍ واحدةٍ، وهي تمثّلُ ما يُسمّى «دقّةَ المقياسِ» Resolution، وهذا يعني وفقًا لنظامِ تدويرِ الأعدادِ، أنَّ فرقَ الجهدِ الكهربائيِّ الفعليِّ (V) يمكنُ أنْ يأخذَ أيَّ قيمةٍ تقعُ ضمنَ الفترةِ ($23.15 \le V < 23.25$)، أيْ أكبرَ منَ القراءةِ الظاهرةِ على المقياسِ بمقدارِ (0.05) فولت كحدٍّ أقصى، أو أقلَّ منها بمقدارِ (0.05) فولت كحدٍّ أدنى، وهذهِ القيمةُ تساوي نصفَ دقّةِ المقياسِ، (0.1) فولت. لذا وحتى تكونَ معلوماتُنا عنْ قراءةِ المقياسِ أكثرَ دقّةً، فإنَّ القراءةَ السابقةَ تُكتبُ على الصورةِ: ($V = 23.20 \pm 0.05$) فولت. ويُطلقُ على القيمةِ (± 0.05)، زائدَ أو ناقصَ نصفِ دقّةِ الجهازِ، اسمَ: عدمِ اليقينِ.



وإذا كانَ المقياسُ يُقرِّبُ إلى منزلتينِ عشريتينِ، كمقياسِ فرقِ الجهدِ الموضّحِ في الشكلِ المجاورِ، فإنَّ دقّةَ المقياسِ تساوي (0.01) فولت، وبذا يكونُ عدمُ اليقينِ في قراءةِ المقياسِ (± 0.005) فولت، لذا يكونُ التعبيرُ الدقيقُ عن قراءةِ المقياسِ على الصورةِ: ($V = 1.200 \pm 0.005$) فولت.

وهذا يعني أنَّ عدمَ اليقينِ يقلُّ معَ زيادةِ دقّةِ المقياسِ، أيْ زيادةِ عددِ المنازلِ العشريّةِ التي يقرؤُها المقياسُ.

أبحثُ مستعينًا بمصادرِ المعرفةِ المناسبةِ، أبحثُ عن علاقةِ عدمِ اليقينِ بأخطاءِ القياسِ، وكيفَ نحسبُ عدمَ اليقينِ عندَ تكرارِ القياساتِ. ثمَّ أكتبُ تقريرًا عنْ ذلكَ، وأقرؤُه أمامَ الطلبةِ في غرفةِ الصفِّ.

1. أَضعُ دائرةً حولَ رمزِ الإجابةِ الصحيحةِ لكلِّ جملةٍ ممّا يأتي:

1. تُقاسُ الكتلةُ في النظامِ الدوليِّ للوحَداتِ (SI) بوحدةِ:

أ . kg ب . A

جـ. km د . mol

2. وحدةُ قياسِ درجةِ الحرارةِ في النظامِ الدوليِّ للوحداتِ (SI) هي:

أ . درجةُ سلسيوس. ب . درجةٌ مئويةٌ.

جـ. درجةُ فهرنهايت. د . كلفن.

3. أكتبُ كتلةُ الإلكترون (9.1×10^{-31} kg) بوحدةِ µg على النحوِ:

أ . 9.1×10^{-36} µg

ب . 91.0×10^{-22} µg

جـ. 9.1×10^{-22} µg

د . 9.1×10^{-25} µg

4. تُعرَّفُ كميّةُ التحرّكِ بأنَّها حاصلُ ضربِ كتلةِ الجسمِ في سرعتِه، فما وحدةُ قياسِ كميّةِ التحرّكِ في النظامِ الدوليِّ للوحداتِ (SI)؟

أ . $kg.ms^{-2}$

ب . $kg.ms^{-1}$

جـ. $kg.m^{-1}s^{-2}$

د . $kg.m^{-1}s^{-1}$

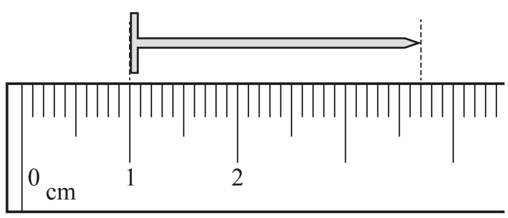
5. عددُ الأرقامِ المعنويّةِ في القياسِ (00.030740) يساوي:

أ . 8 أرقامٍ ب . 6 أرقامٍ جـ. 5 أرقامٍ د . 4 أرقامٍ

6. عندَ إجراءِ ناتجِ جمعِ القياساتِ الآتيةِ(890.019 + 890.1234 + 890.88788) والعملِ بمقتضى قواعدِ الأرقامِ المعنويّةِ، فإنَّ عددَ المنازلِ العشريّةِ في الجوابِ النهائيِّ يجبُ أنْ يكونَ:

أ . 6 ب . 5 جـ. 4 د . 3

7. يبيّنُ الشكلُ جزءًا من مسطرةٍ استُخدمتْ في قياسِ طولِ مسمارٍ. طولُ المسمارِ بوحدةِ (cm) يساوي:



أ . 2.70 ب. 3.70

جـ. 3.7 د. 2.700

8. من خصائصِ الأخطاءِ العشوائيّةِ في القياسِ أنَّها:

أ . تؤثّرُ في القياساتِ جميعِها بالمقدارِ نفسِه.

ب . يمكنُ التقليلُ منها بتكرارِ القياساتِ مرّاتٍ عدّةً.

جـ. عندَ تكرارِ القياساتِ فإنَّ مقدارَ الخطأِ نفسِه يتكرّرُ في كلِّ مرّةٍ.

د . تأخذُ نمطًا محدَّدًا عندَ تكرارِ عمليةِ القياسِ تحتَ الظروفِ نفسِها.

9. أيُّ مجموعاتِ القياساتِ الآتيةِ هي الأكثرُ ضبطًا؟

أ . 8.5, 9.5, 10.5, 11.5

ب . 9.0, 10.0, 11.0, 12.0

جـ. 10.0, 10.5, 11.0, 11.5

د . 10.4, 10.5, 10.6, 10.7

2. **أستعملُ الأرقامَ:** سرعةُ الضوءِ في الفراغِ 300000 km/s تقريبًا، أكتبُ سرعةَ الضوءِ في الفراغِ باستخدامِ وحداتِ النظامِ الدوليِّ للوحداتِ، ثمَّ أكتبُها باستخدامِ البادئةِ المناسبةِ.

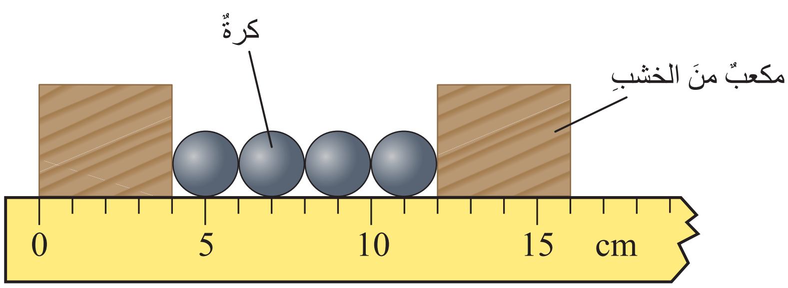
3. **أحلّلُ:** أذكرُ مجالينِ من مجالاتِ الفيزياءِ يشتركانِ فيهما معَ:

أ . الكيمياءِ ب .الأحياءِ

4. **أحلّلُ:** الكميةُ A تُقاسُ بوحدةِ الكيلوغرام، في حينِ تُقاسُ الكميةُ B بوحدةِ المترِ، فأيٌّ ممّا يأتي قد يكونُ لهُ معنًى فيزيائيٌّ (قد توجدُ أكثرُ من إجابةٍ):

أ . $A + B$ ب . A/B جـ. $A \times B$ د . $A - B$

5. **أحسُبُ:** يبيّنُ الشكلُ أربعَ كراتٍ فولاذيّةٍ وضِعتْ على مسطرةٍ بينَ مكعبينِ منَ الخشبِ، فما نصفُ قُطرِ الكرةِ الواحدةِ؟



مراجعةُ الوحدةِ

6. **أحلّلُ:** استُخدِمتِ الساعةُ المبيَّنةُ في الشكلِ في حسابِ الزمنِ الذي تستغرقُه متسابقةٌ لقطعِ دورةٍ كاملةٍ في سباقٍ للجري. معتمِدًا على الشكلِ، أحسُبُ الزمنَ.

نهايةُ الدورةِ

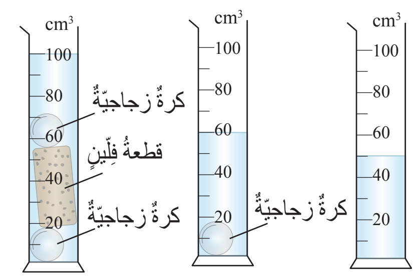
بدايةُ الدورةِ

7. **تفكيرٌ ناقدٌ:** صمَّمتْ طالبةٌ التجربةَ المُبيَّنةَ في الشكلِ لقياسِ حجمِ قطعةٍ منَ الفلّينِ. مستعينًا بالشكلِ أجيبُ عمّا يأتي:

أ . أكتبُ خطواتٍ متسلسلةً توضحُ الإجراءاتِ التي اتَّبَعتْها الطالبةُ في التجربةِ لمعرفةِ حجمِ القطعةِ.

ب . ما مقدارُ حجمِ قطعةِ الفلّينِ؟ أعبِّرُ عنِ الإجابةِ بعددٍ مناسبٍ منَ الأرقامِ المعنويّةِ.

جـ . ما سببُ استخدامِ الكُرتينِ ؟ لماذا لم تضعِ الطالبةُ قطعةَ الفلّينِ في الماءِ مباشرةً؟



الشكلُ (1) الشكلُ (2) الشكلُ (3)

8. **تفكيرٌ ناقدٌ:** استخدمَ خالدٌ القدَمةَ ذاتَ الوَرْنيّةِ في قياسِ سُمْكِ كتابِ الفيزياءِ، فوجدَه يساوي (6.4 mm)، في حينِ استخدمَ عمرُ الميكروميترَ في قياسِ سُمْكِ الكتابِ نفسِه، فوجدَه يساوي (8.34 mm)، فإذا علمْتُ أنَّ القيمةَ المقبولةَ لسُمْكِ كتابِ الفيزياءِ تساوي (6.2 mm)، أُجيبُ عمّا يأتي ، مُبرّرًا إجابتي:

أ . أيُّ أداتي القياسِ أكثرُ دقّةً في القياسِ؟

ب . أيُّ القياسينِ أكثرُ ضبطًا؟

جـ. أيُّ القياسينِ أكثرُ دقّةً؟

د . أيُّ الطالبينِ تعتقدُ أنَّه وقعَ في خطأٍ منتَظمٍ؟

9. **أُحلّلُ:** في تجربةٍ لقياسِ تسارُعِ الجاذبيّةِ الأرضيّةِ، حصلَتْ مجموعتانِ منَ الطلابِ على القياساتِ المبيَّنةِ في الجدولِ المجاورِ، حيثُ كرّرتِ المجموعةُ الأولى التجربةَ ثلاثَ مرّاتٍ، والمجموعةُ الثانيةُ خمسَ مرّاتٍ:

أ . أحسُبُ القيمةَ المقبولةَ لتسارُعِ الجاذبيّةِ للمجموعتينِ.

ب . أيُّ القيمتينِ المحسوبتينِ في (أ) أكثرُ دقّةً؟ أُبرّرُ إجابتي.

جـ. هلْ وقعَ أيٌّ منَ المجموعتينِ في خطأٍ منتَظمٍ؟ أُبرّرُ إجابتي.

رقمُ المحاولةِ	المجموعةُ الأولى	المجموعةُ الثانيةُ
1	9.83	9.85
2	9.72	9.81
3	9.76	9.77
4		9.88
5		9.74

الوَحدةُ 2

القوى والحركةُ

Forces and Motion

أتأمّلُ الصورةَ

يحاولُ المظلّيونَ بناءَ تشكيلاتٍ معينةٍ في أثناءِ تحليقِهم في الهواءِ. ولضمانِ سلامتِهم، يتلقَّونَ تدريباتٍ مكثَّفةً تُمكِّنُهم منَ التعاملِ معَ عواملَ مثلُ: القوى المؤثّرةُ في أجسامِهم، والقدرةُ على الطيرانِ بأمانٍ معَ مجموعةِ أشخاصٍ آخرينَ، والوقتُ المناسبُ لفتحِ مِظلّةِ الهبوطِ؛ لاستخدامِها في الهبوطِ على الأرضِ بأمانٍ. فما القوى التي تؤثّرُ في جسمِ المِظليِّ؟ وكيفَ تؤثّرُ في حركتِهِ؟

الفكرةُ العامّة:

يتأثّرُ الجسمُ بقوًى متنوّعةٍ نتيجةَ تفاعُلِه معَ أجسامٍ أخرى في الوسطِ المحيطِ بِهِ، وتعتمدُ الحالةُ الحركيّةُ للجسمِ على القوةِ المحصّلةِ المؤثّرةِ فيهِ.

الدرسُ الأولُ: قوانينُ نيوتنَ في الحركةِ

Newton's Laws of Motion

الفكرةُ الرئيسةُ: تربطُ قوانينُ نيوتنَ بينَ القوى المؤثّرةِ في الجسمِ والأثرِ الناتجِ عنها. وبتطبيقِها، يمكنُ وصفُ تأثيراتُ القوى في الأجسامِ.

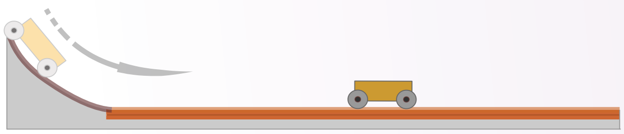
الدرسُ الثاني: تطبيقاتٌ على القوى

Applications of Forces

الفكرةُ الرئيسةُ: تُستخدمُ القوى في الحياةِ اليوميّةِ في تطبيقاتٍ كثيرةٍ، وتؤثّرُ في الأجسامِ بطرائقَ مختلفةٍ؛ فقدْ تُحرّكُ الأجسامَ الساكنةَ، وقدْ تُغيّرُ حالتَها الحركيّةَ، وقد تغيّرُ أشكالَ الأجسامِ أيضًا.

تجربةٌ استهلاليّةٌ

القوةُ والحركةُ



الموادُّ والأدواتُ: لوحُ خشبٍ أملسُ، لوحُ كرتونٍ أملسُ، رملٌ، سيارةٌ صغيرةٌ، قلمٌ، مسطرةٌ، مجموعةٌ منَ الكتبِ.

إرشاداتُ السلامةِ: الحذرُ من سقوطِ الأجسامِ على القدمينِ، والتخلصُ منَ الرملِ بطريقةٍ مناسبةٍ.

خطواتُ العملِ:

1. **أصنعُ** بالتعاونِ معَ أفرادِ مجموعتي مستوىً مائلًا على أرضِ الغرفةِ، مستعينًا بالكتبِ واللوحِ الخشبيِّ.
2. **أُجرّبُ**: أضعُ السيارةَ عندَ أعلى المستوى، ثمَّ أتركُها لتنزلقَ، وتُكملُ حركتَها على أرضيّةِ الغرفةِ، وأرسمُ علامةً عندَ الموقعِ الذي توقّفتْ عندَه السيارةُ.
3. **أَقيسُ** المسافةَ الأفقيّةَ التي قطعَتْها السيارةُ، وأدوّنُ النتيجةَ آخذًا في الحسبانِ قواعدَ الأرقامِ المعنويّةِ.
4. أكرّرُ الخطوتينِ (2، 3) مرتينِ إضافيّتينِ، وأحسُبُ الوسطَ الحسابيَّ للمسافةِ.
5. **أُجرّبُ**: أضعُ لوحَ الكرتونِ على أرضيّةِ الغرفةِ عندَ نهايةِ المستوى المائلِ؛ كي تتحركَ السيارةُ عليهِ، وأثبّتُه باستخدامِ اللاصقِ، وأكرّرُ الخطواتِ السابقةَ. (يمكنُ تجربةُ موادَّ مختلفةٍ مثلُ قطعةٍ منَ القُماشِ أو الصوفِ، وغيرِهما)
6. **أجرّبُ**: أغطّي لوحَ الكرتونِ بطبقةٍ منَ الرملِ، وأكرّرُ الخطواتِ السابقةَ.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أمثّلُ** النتائجَ التي حصلْتُ عليها (طبيعةُ السطحِ على المحورِ الأفقيِّ، متوسطُ المسافةِ التي قطعَتْها السيارةُ على المحورِ الرأسيِّ) برسمِ مخطّطِ أعمدةٍ (Column Chart) مستعينًا ببرمجيّةِ إكسل.
2. **أحلّلُ** الرسمَ البيانيَّ وألخّصُ النتيجةَ التي توصّلْتُ إليها.
3. **أستنتجُ**: ما مصادرُ الخطأِ في التجربةِ؟ وكيفَ يمكنُ التقليلُ منها؟
4. **أفسّرُ**: ما سببُ توقُّفِ السيارةِ عنِ الحركةِ؟
5. **أتوقّعُ**: لو أجريتُ التَّجربةَ على سطحِ جليدٍ أملسَ، فما النتيجةُ التي سأحصلُ عليها؟
6. **أتوقّعُ**: هلْ ستتوقّفُ السيارةُ عنِ الحركةِ لو تحرّكَتْ على سطحٍ طويلٍ وأملسَ تمامًا؟ أُعطي دليلًا يدعمُ صحّةَ توقُّعي.

الدرسُ 1

قوانينُ نيوتن في الحركةِ
Newton's Laws of Motion

◄ **الفكرةُ الرئيسةُ:**

تربطُ قوانينُ نيوتن بينَ القوى المؤثّرةِ في الجسمِ والأثرِ الناتجِ عنها. وبتطبيقِها، يمكنُ وصفُ تأثيراتِ القوى في الأجسامِ.

◄ **نتاجاتُ التعلُّمِ:**

- أصفُ الحالةَ الحركيّةَ للأجسامِ عندَما تكونُ القوةُ المحصّلةُ المؤثّرةُ فيها صفرًا.
- أوضّحُ الفرقَ بينَ السرعةِ الثابتةِ والتسارُعِ الثابتِ.
- أطبّقُ القانونَ الثانيَ لنيوتن في حلِّ مسائلَ حسابيّةٍ في الحركةِ في بُعدٍ واحدٍ.
- أفسّرُ وجودَ القوى في الطبيعةِ على شكلِ أزواجٍ.

◄ **المفاهيمُ والمصطلحاتُ:**

القوّةُ Force

قوى التلامسِ Contact Forces

قوى التأثيرِ عن بُعْدٍ Action-at-a-distance forces

مفهومُ القوّةِ Concept of Force

أنظرُ حولي فأرى أجسامًا ساكنةً وأخرى متحرّكةً، وأراقبُ الأجسامَ مدّةً منَ الزمنِ، فأجدُ أنَّ الجسمَ الساكنَ قد يتحرّكُ، والجسمَ المتحرّكَ قد يتغيّرُ مقدارُ سرعتِه أو اتجاهُ حركتِه أو كلاهما معًا؛ والسببُ في ذلكَ هو تأثيرُ القوى المختلفةِ في الأجسامِ. فمثلًا، القوى المؤثّرةُ في الطائرةِ عندَ إقلاعِها تختلفُ عن القوى المؤثّرةِ في الطائرةِ التي تقفُ على مدرجِ المطارِ. أتأمّلُ الشكلَ (1).

تُعرَّفُ **القوّةُ Force** بأنَّها تأثيرٌ يؤدّي إلى تغييرٍ في حالةِ الجسمِ الحركيّةِ. فمثلًا عندَما أدفعُ جسمًا أو أسحبُه فقد أحرّكُه إنْ كانَ ساكنًا، وقد أوقِفُه إنْ كانَ متحرّكًا. وكذلك عندَما أرفعُ جسمًا ثمَّ أتركُه فإنَّ الأرضَ تؤثّرُ فيهِ بقوّةٍ.

✓ **أتحقّقُ:** ما المقصودُ بالقوةِ؟

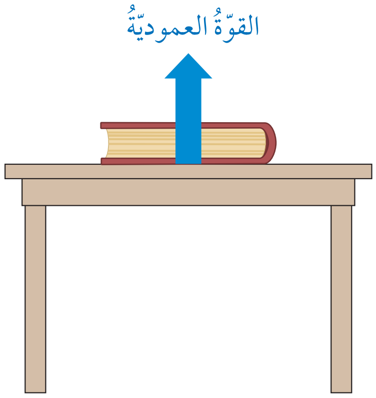
الشكلُ (1): تغيرُ الحالةُ الحركيّةُ للطائرةِ منَ السكونِ إلى الحركةِ بسببِ تغيّرِ القوى المؤثّرةِ فيها.

تصنيفُ القوى Classification of Forces

درستُ في صفوفٍ سابقةٍ أنواعًا مختلفةً منَ القوى مثلُ قوّةِ الجاذبيّةِ، وقوّةِ الشدِّ، وقوّةِ الاحتكاكِ، والقوّةِ الكهربائيّةِ. ويمكنُ تصنيفُ القوى جميعُها ضمنَ فئتينِ، هما: قوى التلامسِ، وقوى التأثيرِ عنْ بُعْد.

قوى التلامسِ Contact Forces

قوًى تتطلبُ تلامسًا مباشرًا بينَ الأجسامِ، فمثلًا، عندَما يركلُ لاعبٌ كرةً بقدمِه، فإنَّ القوّةَ التي يؤثّرُ بها اللاعبُ في الكرةِ هي قوّةُ تلامسٍ؛ لأنَّ التأثيرَ في الكرةِ يتطلبُ تلامسًا مباشرًا بينَ القدمِ والكرةِ. ومنَ الأمثلةِ على قوى التلامسِ، القوةُ العموديّةُ؛ وهي قوّةٌ تنشأُ بينَ الجسمِ والسطحِ الذي يوضعُ عليهِ، وتكونُ دائمًا عموديّةً على سطحِ التلامُسِ، ويبيّنُ الشكلُ (2) القوّةَ العموديّةَ المؤثّرةَ في كتابٍ موضوعٍ على سطحِ طاولةٍ أفقيٍّ.



الشكل (2): يتأثّرُ الكتابُ بقوّةٍ عموديّةٍ، وهي قوّةُ تلامسٍ تنشأُ بينَ سطحِ الكتابِ وسطحِ الطاولةِ.

أذكرُ اسمَ قوّةٍ أخرى تؤثّرُ في الكتابِ، وأعبّرُ عنها برسمِ سهمٍ مناسبٍ يعبّرُ عن مقدارِها واتجاهِها.

قوى التأثيرِ عن بُعْد Action-at-a-Distance Forces

قوًى تنشأُ بينَ الأجسامِ دونَ الحاجةِ إلى وجودِ تلامسٍ مباشرٍ بينَها، مثلُ قوّةِ الجاذبيّةِ؛ فالجسمُ الموضوعُ على ارتفاعٍ ما عنْ سطحِ الأرضِ يتأثّرُ بقوّةِ الجاذبيّةِ على الرغمِ منْ عدمِ وجودِ تلامسٍ بينَه وبينَ الأرضِ، وعندَ تركِه حرًّا يسقطُ نحوَ الأرضِ بتأثيرِ هذهِ القوةِ. وكذلكَ تُعدُّ القوّةُ المغناطيسيّةُ، والقوّةُ الكهربائيّةُ قوى تأثيرٍ عنْ بُعْد. أتأمّلُ الشكلَ (3).

أتحقّقُ: أُصنّفُ القوى الآتيةَ إلى قوى تلامسٍ وقوى تأثيرٍ عن بُعْدٍ:

1. قوّةُ شدِّ الحبلِ لجسمٍ.
2. القوّةُ الكهربائيّةُ المؤثّرةُ في شحنةٍ.
2. قوّةُ جذبِ المغناطيسِ لمسمارٍ منَ الحديدِ.

الشكل (3): يؤثّرُ البالونُ المشحونُ في قصاصاتِ الورقِ الموجودةِ على الأرضِ بقوّةِ جذبٍ، على الرغمِ من عدمِ وجودِ تلامسٍ مباشرٍ بينَهما، فتنجذبُ نحوَهُ.

التأثيراتُ الناتجةُ عنِ القوى Effects of Forces

تؤثّرُ القوى في الأجسامِ بطرائقَ مختلفةٍ. ويمكنُ فهمُ الأثرِ الناتجِ عنِ القوى، ووصفُ الحالةِ الحركيّةِ للأجسامِ بتطبيقِ قوانينِ نيوتن.

القانونُ الأولُ لِنيوتنَ في الحركةِ Newton's First law of Motion

يبيّنُ الشكلُ (4/ أ) قرصًا أملسَ موضوعًا على سطحٍ أفقيٍّ خشنٍ، يتأثّرُ القرصُ بقوّتينِ؛ هما: القوّةُ العموديّةُ (F_N) واتجاهُها إلى الأعلى، والوزنُ (F_g) واتجاهُه إلى الأسفلِ. ولمّا كانَ القرصُ يستقرُّ ساكنًا، فإنَّ محصّلةَ هاتينِ القوّتينِ تساوي صفرًا.

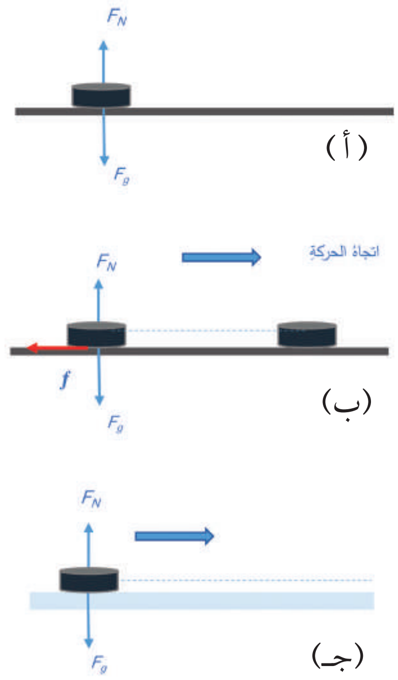
عندَما تدفعُ اليدُ القرصَ نحوَ اليمينِ، يكتسبُ القرصُ طاقةً حركيّةً، ولمّا كانتِ اليدُ تنفصلُ عنِ القرصِ مباشرةً بعدَ دفعِه في الاتجاهِ الأفقيِّ، فإن القرصَ بالاتجاهِ الأفقيِّ يتأثرُ فقطْ بقوةِ الاحتكاكِ (f)، أتأمّلُ الشكلَ (4/ ب). ونظرًا إلى أنَّ قوةَ الاحتكاكِ بعكسِ اتجاهِ الحركةِ، فإنَّها ستعملُ على إبطاءِ سرعةِ القرصِ تدريجيًّا إلى أنْ يتوقّفَ.

أما الشكلُ (4/ جـ) فيوضّحُ القرصَ نفسَه، لكنّ الحركةَ على سطحٍ أملسَ. وفي هذهِ الحالةِ تكونُ القوةُ المحصّلةُ بالاتجاهِ الأفقيِّ صفرًا، لذا يستمرُّ القرصُ بالحركةِ في خطٍّ مستقيمٍ وبسرعةٍ ثابتةٍ دونَ توقّفٍ.

نستنتجُ ممّا سبقَ الأمرينِ الآتيينِ:

- القوّةُ المحصّلةُ المؤثّرةُ في الجسمِ الساكنِ ، وكذلكَ الجسمِ المتحرّكِ بسرعةٍ ثابتةٍ في خطٍّ مستقيمٍ، تساوي صفرًا.
- الجسمُ عاجزٌ عن تغييرِ حالتِه الحركيّةِ من تلقاءِ نفسِه؛ فالجسمُ الساكنُ لا يمكنُ أنْ يتحرّكَ إلا إذا أثّرتْ فيهِ قوّةٌ محصّلةٌ، والجسمُ المتحركُ بسرعةٍ ثابتةٍ في خطٍّ مستقيمٍ لا يمكنُ أن يغيّرَ من مقدارِ سرعتِه أو اتجاهِها إلا إذا أثّرتْ فيهِ قوةٌ محصّلةٌ.

ويُمكنُ تعميمُ النتيجةِ التي توصّلْنا إليها بصيغةٍ عبّرَ عنها العالمُ نيوتن بما يُعرفُ **بالقانونِ الأولِ لنيوتن** **Newton's First law** وينصُّ على أنَّ: «الجسمَ يحافظُ على حالتِه الحركيّةِ من حيثُ السكونُ، أو الحركةُ في خطٍّ مستقيمٍ وبسرعةٍ ثابتةٍ، ما لم تؤثّرْ فيهِ قوّةٌ خارجيّةٌ محصّلةٌ تُغيّرُ حالتَه الحركيّةَ».



الشكل (4):
(أ) القرصُ ساكنٌ والقوّةُ المحصّلةُ تساوي صفرًا.
(ب) القرصُ يتحرّكُ بسرعةٍ متناقصةٍ، والقوّةُ المحصّلةُ لا تساوي صفرًا وبعكسِ اتجاهِ الحركةِ.
(جـ) القرصُ يتحرّكُ بسرعةٍ ثابتةٍ، والقوةُ المحصّلةُ تساوي صفرًا.

أتحقّقُ: ما المقصودُ بالقولِ إنَّ الجسمَ عاجزٌ عنْ تغييرِ حالتِه الحركيّةِ؟

السرعةُ الثابتةُ Constant Velocity

عندَما يتحركُ الجسمُ في خطٍّ مستقيم بسرعةٍ ثابتةٍ؛ فإنَّه يقطعُ إزاحاتٍ متساويةً في أزمنةٍ متساويةٍ، وتُوصفُ سرعتُه بأنَّها مُنتظَمةٌ. ويبيّنُ الشكلُ (5/ أ) مثالًا على الحركةِ بسرعةٍ منتظمةٍ، فالجسمُ يتحركُ بخطٍّ مستقيم نحوَ اليمينِ باتجاهِ محورِ ($+x$)، بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارُها (10 m/s)، وهذا يعني أنَّ الجسمَ يقطعُ إزاحةً مقدارُها (10 m) في كلِّ ثانيةٍ من زمنِ الحركةِ. وتُحسبُ السرعةُ الثابتةُ بقسمةِ الإزاحةِ المقطوعةِ (Δx) خلالَ مدّةٍ زمنيّةٍ (Δt) على الزمنِ اللازمِ لحدوثِ تلكَ الإزاحةِ:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$$

حيثُ: (x_f) الموقعُ النهائيُّ، (x_i) الموقعُ الابتدائيُّ.

التسارعُ الثابتُ Constant Acceleration

لوصفِ حركةِ الأجسامِ عندَما تتحركُ بسرعةٍ متغيرةٍ، يستخدمُ العلماءُ مفهومَ التسارُعِ. ويبيّنُ الشكلُ (5/ ب) سيارةً تتحركُ بخطٍ مستقيمٍ، وعندَ رصدِ حركةِ السيارةِ مدةً منَ الزمنِ، لوحظَ أنَّ السرعةَ تزدادُ بمقدارِ (10 m/s) في كلِّ ثانيةٍ من زمنِ الحركةِ، ما يعني أنَّ السرعةَ تزدادُ بانتظامٍ، لذا تُوصفُ السيارةُ بأنَّها تتحركُ بتسارعٍ ثابتٍ يُرمز إليهِ بالرمزِ (a)، ويُحسبُ بقسمةِ التغيّرِ في السرعةِ على المدةِ الزمنيةِ التي حدث خلالَها هذا التغيّرُ:

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

حيثُ: (v_f) السرعةُ النهائيّةُ، (v_i) السرعةُ الابتدائيّةُ.

يُقاسُ التسارعُ بوحدةِ (m/s^2)، والسرعةُ والتسارعُ كميّاتٌ متّجهةٌ؛ أيْ إنَّ لكلٍّ منها مقدارًا واتّجاهًا.

أتحقّقُ: عندَما يتحرّكُ جسمٌ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارُها (10m/s)، فما الإزاحةُ التي يقطعُها في (5s)؟

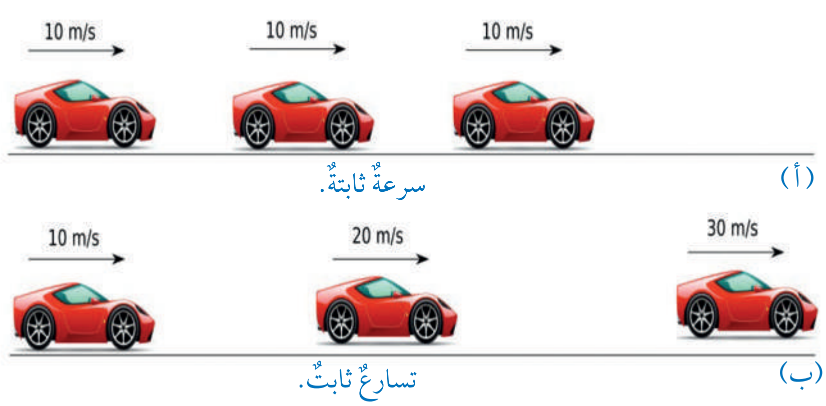
أفكّر أوضّحُ الفرقَ بينَ الحركةِ بسرعةٍ ثابتةٍ والحركةِ بتسارعٍ ثابتٍ.

تمرين

يبيّنُ الجدولُ الآتي التغيُّرَ في الموقعِ لجسمينِ (A,B) خلالَ مدّةٍ منَ الزمنِ.

الزمنُ (s)	موقعُ (A) (m)	موقعُ (B) (m)
0	0	0
5	6	3
10	12	7
15	18	19

أُحدّدُ لكلِّ جسمٍ ، هل يتحرّكُ بسرعةٍ ثابتةٍ أم متغيّرةٍ؟ موضّحًا كيفَ توصّلْتُ إلى الإجابةِ.



الشكل (5):
(أ) السيارةُ تتحركُ بسرعةٍ ثابتةٍ.
(ب) السيارةُ تتحركُ بتسارعٍ ثابتٍ.

أتأمّلُ الشكلَ، وأُحدّدُ في أيِّ الحالتينِ تكونُ القوّةُ المحصّلةُ المؤثّرةُ في السيارةِ صفرًا؟

المثال 1

يبدأُ قطارٌ حركتَه منَ السكونِ بتسارعٍ ثابتٍ في خطٍّ مستقيمٍ باتجاهِ محورِ $(+x)$، فتزدادُ سرعتُه لتصبحَ $(20\ m/s)$ بعدَ مرورِ $(16\ s)$، أحسُبُ تسارُعَ القطارِ.

المُعطياتُ: $(v_i = 0\ m/s), (v_f = 20\ m/s), (t = 16\ s)$

المطلوبُ: $(a = ?)$

الحلُّ:

لحسابِ التسارعِ أستخدمُ العلاقةَ:

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

$$a = \frac{20 - 0}{16} = 1.25\ m/s^2$$

ألاحظُ أنَّ الحركةَ باتجاهِ محورِ $(+x)$ وإشارةَ التسارعِ موجبةٌ، أيْ إنَّ اتجاهِ التسارعِ باتجاهِ الحركةِ نفسِه، لذا فإنَّ القطارَ يتسارعُ.

المثال 2

سيارةُ سباقٍ تتحركُ بخطٍّ مستقيمٍ باتجاهِ محورِ $(+x)$، تتناقصُ سرعتُها من $(45\ m/s)$ إلى $(0\ m/s)$ خلالَ $(3\ s)$. أحسُبُ تسارُعَ السيارةِ.

المُعطياتُ: $(v_i = 45\ m/s), (v_f = 0\ m/s), (t = 3\ s)$

المطلوبُ: $(a = ?)$

الحلُّ:

لحسابِ التسارُعِ أستخدمُ العلاقةَ:

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

$$a = \frac{0 - 45}{3} = -15\ m/s^2$$

أُلاحظُ أنَّ الحركةَ باتجاهِ محورِ $(+x)$ وإشارةَ التسارعِ سالبةٌ، أيْ إنَّ اتجاهَ التسارعِ بعكسِ اتجاهِ الحركةِ، فتناقصَتْ سرعةُ السيارةِ من $(45\ m/s)$ إلى صفرٍ، لذا توصفُ السيارةُ بأنَّها تتباطأُ.

تمرين

تقطعُ سيارةٌ $(20\ km)$ خلالَ $(30\ min)$. أحسُبُ سرعةَ السيارةِ بوحدةِ (km/h).

القانونُ الثاني لنيوتن في الحركةِ Newton's Second law of Motion

تعلّمْتُ منَ القانونِ الأولِ لنيوتن أنَّ تغييرَ سرعةِ الجسمِ يتطلّبُ قوّةً محصّلةً، وعندَما تتغيرُ السرعةُ، فإنَّ الجسمَ يتحركُ بتسارعٍ. أمّا القانونُ الثاني لنيوتن فيوضّحُ العلاقةَ بينَ التسارعِ والقوّةِ المحصّلةِ المسبِّبةِ لهُ. ستقتصرُ دراستُنا على تطبيقِ القانونِ الثاني لنيوتن على أجسامٍ تتحركُ بخطٍّ مستقيمٍ، ولا تتغيّرُ كتلتُها في أثناءِ الحركةِ (كتلةُ الجسمِ ثابتةٌ)، وبذلكَ يمكنُ صياغةُ القانونِ الثاني لنيوتن **Newton's Second law** على النحوِ الآتي:

«يتناسبُ تسارعُ الجسمِ طرديًّا معَ القوةِ المحصّلةِ المؤثرةِ فيهِ».

ونعبّرُ عنهُ رياضيًّا بالعلاقةِ الآتيةِ:

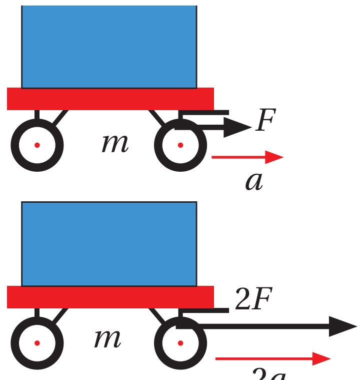
$$\sum F = ma$$

حيثُ: $(\sum F)$ القوّةُ المحصّلةُ المؤثّرةُ في الجسمِ، وتُقاسُ بوحدةِ النيوتن (N).

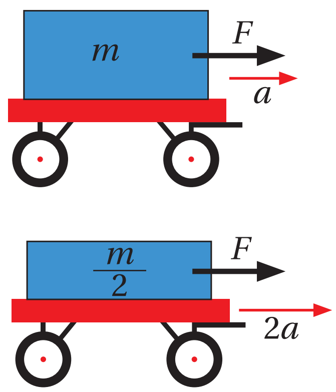
(m) كتلةُ الجسمِ، وتُقاسُ بوحدةِ (kg).

(a) تسارعُ الجسمِ، ويُقاسُ بوحدةِ (m/s^2).

ففي الشكلِ (6/ أ)، يمثّلُ الرمزُ (F) القوّةَ المحصّلةَ المؤثّرةَ في العربةِ بالاتجاهِ الأفقيِّ، وعندَما يتضاعفُ مقدارُ القوّةِ ليصبحَ $(2F)$، فإنَّ تسارعَ العربةِ سوفَ يتضاعفُ. وبكتابةِ العلاقةِ بالصورةِ $(a = \frac{F}{m})$ يتضحُ أنَّ التسارعَ يتناسبُ عكسيًّا معَ الكتلةِ بثبوتِ القوّةِ المحصّلةِ. أتأمّلُ الشكلَ (6/ ب) الذي يوضّحُ أنَّ استبدالَ جسمٍ كتلتُهُ $(\frac{m}{2})$ بالجسمِ الذي كتلتُه (m) يؤدّي إلى زيادةِ التسارعِ إلى الضعفِ، بثبوتِ القوّةِ المحصّلةِ.



(أ)



(ب)

الشكل (6):
(أ) يتناسبُ التسارعُ طرديًّا معَ القوّةِ المحصّلةِ بثبوتِ الكتلةِ.
(ب) يتناسبُ التسارعُ عكسيًّا معَ الكتلةِ بثبوتِ القوّةِ المحصّلةِ.

المثال 3

أحسبُ القوّةَ المحصّلةَ اللازمةَ كي يكتسبَ جسمٌ كتلتُهُ (5 kg) تسارُعًا ثابتًا مقدارُه $(2\ m/s^2)$.

المُعطياتُ: $(m = 5kg)$, $(a = 2\ m/s^2)$

المطلوبُ: $(\sum F = ?)$

الحلُّ:

لحسابِ القوّةِ المحصّلةِ أستخدمُ العلاقةَ:

$$\sum F = ma$$

$$\sum F = 5 \times 2 = 10\ N$$

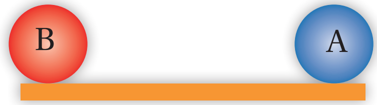
القانونُ الثالثُ لنيوتن Newton's Third law

يمكنُ التعبيرُ عنِ **القانونِ الثالثِ لنيوتن** **Newton's Third Law** بالصيغةِ الآتيةِ: «إذا تفاعلَ جسمانِ (A، B) فإنَّ القوةَ التي يؤثّرُ بها الجسمُ (A) في الجسمِ (B) تساوي في المقدارِ وتعاكسُ في الاتجاهِ القوّةَ التي يؤثّرُ بها الجسمُ (B) في الجسمِ (A)».

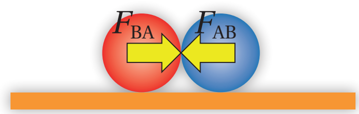
فمثلًا يبيّنُ الشكلُ (2/ أ) كرتينِ (A، B) تتحركانِ باتجاهينِ متعاكسينِ، لحظةَ تصادمِ الكرتينِ، تؤثّرُ الكرةُ (A) في الكرةِ (B) بقوةِ دفعٍ (F_{AB})، وكذلكَ تؤثّرُ الكرةُ (B) في الكرةِ (A) بقوةِ دفعٍ مساويةٍ في المقدارِ ومعاكسةٍ في الاتجاهِ (F_{BA})، أتأمّلُ الشكلَ (2/ ب). تُسمَّى إحدى القوّتينِ الفعلَ، وتُسمَّى القوةُ الأخرى ردَّ الفعلِ، وهما قوّتانِ متساويتانِ في المقدارِ، ومتعاكستانِ في الاتجاهِ ($F_{AB} = -F_{BA}$)، ومن النوعِ نفسِه، تنشأانِ في اللحظةِ نفسِها، وتؤثّرانِ في جسمينِ مختلفينِ، ويُسمّيانِ زوجًا؛ الفعلَ وردَّ الفعلِ.

يُقدّمُ لنا قانونُ نيوتن الثالثُ تفسيرًا لمشاهداتٍ يوميّةٍ، مثلُ المشي. ويبيّنُ الشكلُ (8) زوجَ القوى المؤثّرُ في كلٍّ منَ الأرضِ والقدمِ عندَ المشي. فعندَما تلامسُ القدمُ الأرضَ ينشأُ زوجٌ منَ القوى المتبادَلةِ بينَ الأرضِ والقدمِ؛ فتؤثّرُ القدمُ في الأرضِ بقوّةٍ إلى الخلفِ، وبالمقابلِ تؤثّرُ الأرضُ في القدمِ بقوّةٍ مساويةٍ في المقدارِ ومعاكسةٍ في الاتجاهِ فتدفعُها إلى الأمامِ.

أتحقّقُ: أذكرُ الشروطَ التي يجبُ أنْ تتحقّقَ في قوّتي الفعلِ وردِّ الفعلِ.



(أ)



(ب)

الشكل (7):
(أ) كرتانِ تتحرّكانِ باتجاهينِ متعاكسينِ.
(ب) لحظةَ التصادمِ تؤثّرُ كلُّ كرةٍ في الأخرى بقوّةِ دفعٍ، وتكونُ القوّتانِ متساويتينِ ومتعاكستينِ.

أفكّرُ: في أثناءِ سقوطِ كرةٍ نحوَ الأرضِ، تؤثّرُ الأرضُ في الكرةِ بقوةِ جذبٍ نحوَ الأسفلِ وهي الوزنُ. فإذا عدَدْنا أنَّ الوزنَ هو قوةُ فعلٍ، فما ردُّ الفعلِ لهذهِ القوة ؟

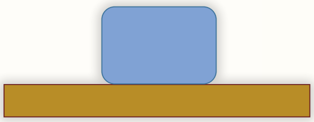
الشكل (8): في أثناءِ المشي، تدفعُ القدمُ الأرضَ إلى الخلفِ فتدفعُ الأرضُ القدمَ إلى الأمامِ.

مراجعةُ الدرسِ

1. **الفكرةُ الرئيسةُ:** أصفُ الحالةَ الحركيّةَ للجسمِ عندَما تكونُ القوّةُ المحصّلةُ المؤثّرةُ فيهِ صفرًا، وعندَما تؤثّرُ فيهِ قوّةٌ محصّلةٌ.

2. **أحسُبُ** متوسطَ سرعةِ فتاةٍ تركضُ بخطٍّ مستقيمٍ، فتقطعُ (400 m) في زمنٍ قدرُه (1 min) و (20 s).

3. يبيّنُ الشكلُ صندوقًا ساكنًا موضوعًا على سطحِ طاولةٍ أفقيٍّ:



أ . أرسمُ أسهمًا تُعبّرُ عنِ القوّتينِ المؤثّرتينِ في الصندوقِ، وأذكرُ اسمَ كلِّ قوّةٍ.

ب . **أصنّفُ** هاتينِ القوّتينِ (تلامسٌ أم تأثيرٌ عنْ بُعْد)؟

جـ . **تفكيرٌ ناقدٌ:** هلْ يمكنُ أنْ نعُدَّ هاتينِ القوّتينِ قوى فعلٍ وردِّ فعلٍ؟ أفسّرُ إجابتي.

4. **أحسُبُ** تسارعَ سيارةٍ كتلتُها (1200 kg) عندَما تكونُ القوّةُ المحصّلةُ المؤثّرةُ فيها بالاتجاهِ الأفقيِّ (6000 N).

5. **أحلّلُ:** قامتْ مجموعةٌ منَ الطلابِ بدراسةِ تغيُّرِ تسارعِ جسمٍ نتيجةً لتغيُّرِ القوّةِ المحصّلةِ المؤثّرةِ فيه. والجدولُ الآتي يبيّنُ النتائجَ التجريبيّةَ للتسارعِ الذي اكتسبَه الجسمُ عندَما تغيّرتِ القوةُ المحصّلةُ المؤثّرةُ فيه:

القوّةُ (N)	7	14	21	28	35
التسارُعُ (m/s^2)	1.4	2.7	4.3	5.5	??

أ . أمثّلُ النتائجَ التجريبيّةَ بيانيًّا، حيثُ التسارعُ على المحورِ الأفقيِّ والقوّةُ المحصّلةُ على المحورِ الرأسيِّ.

ب. أرسمُ أفضلَ خطٍّ مستقيمٍ يمثّلُ النتائجَ التجريبيّةَ، وأحسُبُ مَيلَه.

ما الكميّةُ الفيزيائيّةُ التي يمثّلُها المَيلُ؟

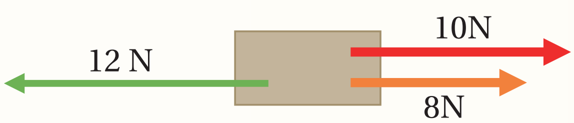
جـ. هلْ يمكنُ القولُ بأنَّ تسارعَ الجسمِ يتناسبُ طرديًّا معَ القوّةِ المحصّلةِ؟ أُعطي دليلاً يدعمُ صحّةَ إجابتي.

د . أحسُبُ تسارُعَ الجسمِ عندَما يكونُ مقدارُ القوّةِ المحصّلةِ ($35N$)؟

6. **أستخدمُ المتغيّراتِ:** يتأثّرُ جسمٌ كتلتُهُ (8 kg) بثلاثِ قوًى مقاديرُها واتجاهاتُها على نحوِ ما يبيّنُ الشكلُ المجاورُ.

أ . أحسُبُ مقدارَ القوّةِ المحصّلةِ المؤثرةِ في الجسمِ، وأحدّدُ اتجاهَها.

ب. أحسُبُ تسارعَ الجسمِ، وأحدّدُ اتجاهَه.



الدرس 2

تطبيقاتُ على القوى
Applications of Forces

الفكرةُ الرئيسةُ:

تُستَخدمُ القوى في الحياةِ اليوميّةِ في تطبيقاتٍ كثيرةٍ، وتؤثّرُ في الأجسامِ بطرائقَ مختلفةٍ؛ فقد تُحرّكُ الأجسامَ الساكنةَ، وقد تغيّرُ سرعةَ الأجسامِ المتحرّكةِ، وقد تغيّرُ أشكالَ الأجسامِ أيضًا .

نتاجاتُ التعلّمِ:

- أستنتجُ أثرَ مقاومةِ الهواءِ في حركةِ الأجسامِ.
- أوضّحُ أهميّةَ مقاومةِ الهواءِ في حركةِ مِظلاتِ الهبوطِ.
- أصفُ الأثرَ الناتجَ عنِ القوةِ عندَما تؤثّرُ في نابضٍ ضمنَ حدودِ المرونةِ.
- أستخدمُ مفاهيمَ القوّةِ والحركةِ في تفسيرِ مواقفَ حياتيّةٍ وتطبيقاتٍ عمليّةٍ.

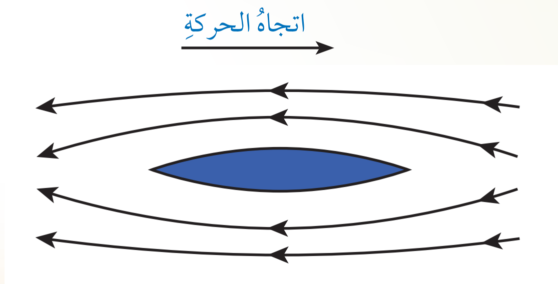
المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

مقاومةُ الهواءِ	Air Resistance
حدُّ المرونةِ	Elastic limit

مقاومةُ الهواءِ Air Resistance

تتأثّرُ الأجسامُ المتحركةُ عبرَ الهواءِ بقوّةٍ تُعيقُ حركتَها تُسمّى **مقاومةَ الهواءِ Air resistance**، وهي شكلٌ من أشكالِ قوى الاحتكاكِ، تؤثّرُ في الجسمِ بعكسِ اتجاهِ حركتِه، وتؤدّي إلى إبطاءِ حركتِه.

وتؤثّرُ مقاومةُ الهواءِ في حركةِ المَركباتِ كالسياراتِ والدراجاتِ، وتُسهمُ في زيادةِ قوى الاحتكاكِ المُعيقةِ لحركتِها. وتعتمدُ مقاومةُ الهواءِ على عواملَ عدّةٍ منها شكلُ الجسمِ؛ فالشكلُ الانسيابيُّ يسمحُ بمرورِ الهواءِ بسهولةٍ حولَ الجسمِ، فتقلُّ مقاومةُ الهواءِ المؤثّرةُ فيهِ. أتأمّلُ الشكلَ (9).



الشكلُ (9): الشكلُ الانسيابيُّ يقلّلُ منْ مقاومةِ الهواءِ.

الربطُ بالتكنولوجيا

في العامِ 1997 حقّقتْ هذهِ السيارةُ رقمًا قياسيًّا في السرعةِ يصلُ إلى (1228 km/h) وهي تقريبًا تساوي سرعةَ الصوتِ في الهواءِ. وقد رُوعيَ في تصميمِها تقليلُ مقاومةِ الهواءِ ما أمكنَ، وفي الوقتِ نفسِه زيادةُ قوةِ مُحرِّكِها.

التجربةُ 1

مقاومةُ الهواءِ

الموادُّ والأدواتُ: ورقٌ أبيضُ (2)، قطعةُ نقودٍ.

إرشاداتُ السلامةِ: أحذرُ من رمي كرةِ الورقِ وقطعةِ النقودِ باتجاهِ أعينِ زملائي/ زميلاتي.

خطواتُ العملِ:

1– **أُجرّبُ:** أُسقِطُ الورقةَ البيضاءَ وقطعةَ النقودِ منَ الارتفاعِ نفسِه وفي اللحظةِ نفسِها. فهلْ يصلُ الجسمانِ إلى سطحِ الأرضِ في اللحظةِ نفسِها؟ أدوّنُ ملاحظاتي.

2– **أجرّبُ:** أُكوِّنُ كرةً صغيرةً من إحدى الورقتينِ، وأُسقِطُ الورقةَ المسطَّحةَ وكرةَ الورقِ من الارتفاعِ نفسِه، فهلْ يصلُ الجسمانِ إلى الأرضِ في اللحظةِ نفسِها؟ أدوّنُ ملاحظاتي.

3– **أجرّبُ:** بالتعاونِ معَ أفرادِ مجموعتي، أُسقِطُ قطعةَ النقودِ وكرةَ الورقِ من الارتفاعِ نفسِه، فهل تصلُ الأجسامُ إلى سطحِ الأرضِ في اللحظةِ نفسِها؟ أدوّنُ ملاحظاتي.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1 . **أستنتجُ:** ما الفرقُ بينَ حركةِ قطعةِ النقودِ والورقةِ في الخطوةِ (1)؟

2 . **أُحلّلُ:** في الخطوةِ (2)، كيفَ أثّرَ التغيُّرُ في شكلِ الورقةِ في حركتِها؟

3 . **أتوقّعُ:** ما القوّةُ (أو القوى) المؤثِّرةُ في الأجسامِ في أثناءِ سقوطِها؟

4 . **أستنتجُ:** ما مصادرُ الخطأِ في التجربةِ؟ وكيفَ يمكنُ التقليلُ منها؟

أثرُ مقاومةِ الهواءِ في الأجسامِ الساقطةِ

Effect of Air Resistance on Falling Objects

تؤثّرُ مقاومةُ الهواءِ في الأجسامِ ومنها الساقطةُ نحوَ الأرضِ، على نحوِ ما لاحظتُ في التجربةِ السابقةِ. ويكونُ تأثيرُها كبيرًا في الأجسامِ الخفيفةِ، مثلُ الورقةِ. أمّا الأجسامُ الثقيلةُ، مثلُ قطعةِ النقودِ؛ فإنَّ مقاومةَ الهواءِ لحركتِها تكونُ قليلةً مقارنةً بوزنِها، لذا يمكنُ إهمالُها. وهذا يفسرُ سرعةَ وصولِ قطعةِ النقودِ إلى الأرضِ، في حينِ تستغرقُ الورقةُ الساقطةُ منَ الارتفاعِ نفسِه زمنًا أطولَ.

تزدادُ مقاومةُ الهواءِ بزيادةِ سرعةِ الجسمِ، وتزدادُ أيضًا بزيادةِ مِساحةِ السطحِ المُعرَّضِ للهواءِ؛ فالورقةُ المُسطَّحةُ تتأثّرُ بقوّةِ مقاومةٍ أكبرَ من كرةِ الورقِ؛ لأنَّ مِساحةَ سطحِ الورقةِ المُسطَّحةِ أكبرُ من مِساحةِ سطحِ كرةِ الورقِ. وقد استُخدِمتْ هذهِ الفكرةُ في تصميمِ مِظلاتِ الهبوطِ.

يتأثّرُ المِظلّيُّ في أثناءِ هبوطِه بقوّتينِ هما: وزنُه للأسفلِ، ومقاومةُ الهواءِ للأعلى، أتأمّلُ الشكلَ (10). وعندَ فتحِ المِظلةِ فإنَّ مِساحةَ سطحِها الكبيرةَ تعملُ على زيادةِ مقاومةِ الهواءِ ما يؤدّي إلى إبطاءِ المِظليِّ، وتُمكِّنُه منَ الهبوطِ بسرعةٍ مناسبةٍ.

أتحقّقُ: عندَ سقوطِ ورقةٍ وقطعةِ نقودٍ منَ الارتفاعِ نفسِه، فأيُّ الجسمينِ يصلُ إلى الأرضِ أولًا؟ كيفَ أفسّرُ ذلك؟

الربطُ بعلومِ الفضاءِ

عندَ سقوطِ مطرقةٍ وريشةٍ في اللحظةِ نفسِها ومنَ الارتفاعِ نفسِه عن سطحِ الأرضِ، فإنَّ المِطرقةَ تصلُ إلى سطحِ الأرضِ قبلَ الريشةِ، لأنَّ الريشةَ تتأثرُ بمقاومةِ الهواءِ، في حينِ يكونُ تأثيرُ مقاومةِ الهواءِ على المطرقةِ مهملًا. وفي عامِ 1971م أجرى رائدُ الفضاءِ ديفيد سكوت التجربةَ نفسَها على سطحِ القمرِ، حيثُ لا يوجدُ هواءٌ. فأسقطَ سكوت مطرقةً كتلتُها (1.32 kg) وريشةً كتلتُها (50 g) منَ الارتفاعِ نفسِه وفي اللحظةِ نفسِها، فوصلتَا إلى السطحِ في اللحظةِ نفسِها، فأثبتَ أنَّ الأجسامَ جميعَها تكتسبُ التسارعَ نفسَه، بغيابِ مقاومةِ الهواءِ.

الشكل (10): تُصمَّمُ المِظلّةُ بمِساحةِ سطحٍ كبيرةٍ لتعملَ على زيادةِ مقاومةِ الهواءِ.

أبحثُ: عرفَ العالمُ الهبوطَ المِظليَّ من خلالِ الجيوشِ، وتُعدُّ رياضةُ الهبوطِ المِظليِّ منَ الرياضاتِ التي تتطلبُ جرأةً وشجاعةً. فهلْ يمكنُ لأيِّ شخصٍ القفزُ منَ المِظلّةِ؟ وما المعاييرُ الأساسيّةُ الواجبُ اتّباعُها لضمانِ سلامةِ المِظليِّ؟ وكيفَ يتحكّمُ المظليُّ في سرعةِ هبوطِه؟ أبحثُ في مصادرِ المعرفةِ الموثوقةِ والمتاحةِ ومنها شبكةُ الإنترنت عنِ الهبوطِ المِظليِّ، وأُعِدُّ عرضًا تقديميًّا أعرضُه أمامَ زملائي/ زميلاتي.

كيفَ تؤثّرُ القوى في شكلِ الجسمِ؟

Effects of Force on the Shape of an Object

عنـدَ الضغـطِ على كـرةٍ مطاطيّةٍ مثـلَ المبيَّنةِ في الشـكلِ (11)، فإنَّ القـوى المؤثّـرةَ فيها تؤدّي إلـى تغيُّرٍ في شـكلِها، ثمَّ تعودُ إلى شـكلِها الأصليِّ عنـدَ زوالِ القـوّةِ، ويُوصـفُ سـلوكُ الجسـمِ في هـذهِ الحالةِ بأنَّـهُ مـرِنٌ. فالمرونـةُ خاصيّـةٌ تصـفُ مقـدرةَ الجسـمِ علـى اسـترجاعِ شـكلِهِ الأصلـيِّ بعـدَ زوالِ القـوّةِ الخارجيّةِ المؤثّـرةِ فيه.

وتنطبـقُ خاصيّـةُ المرونةِ علـى النوابـضِ أيضًا، فعندَ شـدِّ النابضِ أو ضغطِـه يتغيّـرُ طولُـه، وعنـدَ زوالِ القـوّةِ المؤثّـرةِ يسـتعيدُ النابـضُ طولَـه الأصليَّ، ويمكنُ فهـمُ هذا السـلوكِ بدراسـةِ أثرِ قوّةِ الشـدِّ في نابـضٍ معلَّـقٍ رأسـيًّا على نحوِ مـا يظهرُ في الشـكلِ (12). عنـدَ تعليقِ ثِقـلٍ فـي طـرفِ النابـضِ، يؤثّـرُ الثِّقـلُ فـي النابـضِ بقوّةِ شـدٍّ فـيزدادُ طولُـه، وعنـدَ إزالـةِ الثِّقَلِ يعـودُ النابـضُ إلى طولِـه الأصليِّ.

ويبيّـنُ الجـدولُ الآتي نتائـجَ تجربـةٍ أُجريتْ على نابضٍ لدراسـةِ العلاقـةِ بينَ مقدارِ القـوّةِ المؤثّرةِ فيهِ والاسـتطالةِ الحادثةِ لـهُ. وبتأمُّلِ الأرقـامِ ألاحـظُ أنَّ الاسـتطالةَ الحادثـةَ للنابـضِ تتناسـبُ طرديًّا معَ القـوةِ المُسـبِّبةِ لها.

الشكل (11): تسبّبُ القوى تغيُّرًا مؤقتًا في شكلِ الجسمِ.

أتحقّقُ: أصفُ العلاقةَ بينَ القوةِ الخارجيةِ المؤثّرةِ في النابضِ والتغيُّرِ في طولِه.

الشكل (12): دراسةُ العلاقةِ بينَ قوّةِ الشدِّ والاستطالةِ تجريبيًّا.

أُمثّلُ النتائجَ الواردةَ في الجدولِ بيانيًّا، القوةُ على محورِ (x). والاستطالةُ على محورِ (y).

القوّةُ (N)	طولُ النابضِ (cm)	الفرقُ في الطولِ (cm)	الاستطالةُ (cm)
0	15.2	0	0
1	16.8	16.8−15.2	1.6
2	18.5	18.5−15.2	3.3
3	19.9	19.9−15.2	4.7
4	21.6	21.6−15.2	6.4

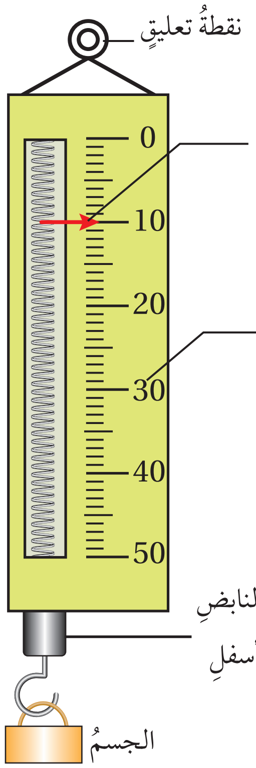
إلا أنَّ التجاربَ أثبتَتْ أنَّ هذهِ العلاقةَ بينَ القوّةِ والاستطالةِ صحيحةٌ، ما دامَ أنَّ القوّةَ المؤثّرةَ في النابضِ لم تتجاوزْ قيمةً معينةً تُسمَّى حدَّ المرونةِ Elastic Limit؛ فضمنَ حدِّ المرونةِ يستعيدُ النابضُ شكلَهُ الأصليَّ بعدَ زوالِ القوّةِ، أمّا إذا تجاوزتِ القوّةُ المؤثّرةُ حدَّ المرونةِ، فإنَّها تُحدِثُ تشوّهًا دائمًا في النابضِ، و لا يتمكّنُ عندئذٍ من استعادةِ شكلِه الأصليِّ بعدَ زوالِ القوّةِ.

وتُستخدمُ النوابضُ في الحياةِ اليوميّةِ في كثيرٍ منَ التطبيقاتِ، فتدخلُ في صناعةِ ألعابِ الأطفالِ والأدواتِ الرياضيّةِ والسياراتِ. وتُستخدمُ أيضًا في صناعةِ أجهزةِ قياسِ الوزنِ، مثلُ المبيَّنِ في الشكلِ (13).

أفكّر: أكتبُ فقرةً أوضّحُ فيها مبدأَ عملِ الميزانِ النابضيِّ المُبيَّنِ في الشكلِ (13).

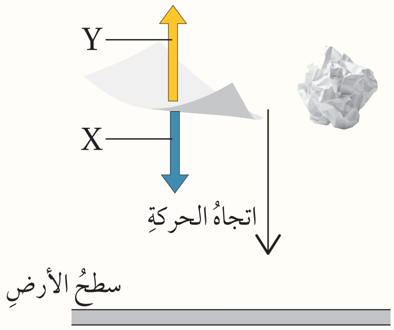
أعدُّ فيلمًا قصيرًا باستعمالِ برنامجِ صانعِ الأفلامِ (movie maker) يوضّحُ كيفَ تؤثّرُ القوى في أشكالِ الأجسامِ، وأحرصُ على أنْ يتضمّنَ الفيلمُ صورًا لأجسامٍ مرنةٍ تستعيدُ شكلَها الأصليَّ بعدَ زوالِ القوّةِ.

الشكل (13): الميزانِ النابضيِّ.



مراجعةُ الدرسِ

1. **الفكرةُ الرئيسةُ:** ما الأثرُ الناتجُ عنِ القوى الآتيةِ: قوّةُ مقاومةِ الهواءِ المؤثِّرةُ في ورقةِ شجرٍ تسقطُ نحوَ الأرضِ، قوّةُ شدٍّ نحوَ الأسفلِ تؤثّرُ في نابضٍ معلّقٍ.



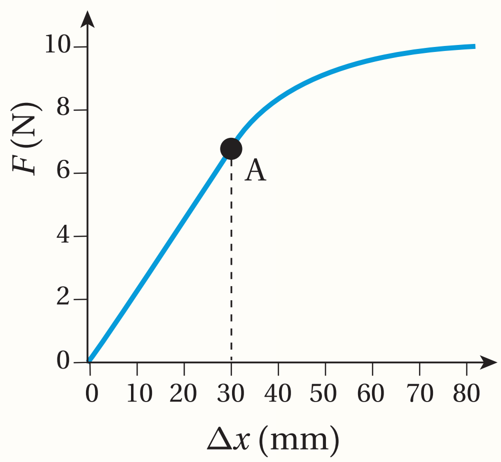
2. يُبيّنُ الشكلُ ورقةً بيضاءَ وكرةً شُكّلَتْ من ورقةٍ مماثِلةٍ لها، معتمدًا على البياناتِ المُثبَتةِ على الشكلِ، أُجيبُ عنِ الأسئلةِ الآتيةِ:

أ. أكتبُ اسمي القوّتينِ المشارِ إليهما بالرمزينِ (X ، Y).

ب. **أستنتجُ:** أيُّ القوّتينِ (X ، Y) تؤثِّرُ في كرةِ الورقِ بالمقدارِ والاتجاهِ نفسِه؟

جـ. **أقارنُ** بينَ تسارعِ كرةِ الورقِ والورقةِ عندَ سقوطِهما نحوَ الأرضِ منَ الارتفاعِ نفسِه، مفسّرًا إجابتي.

3. أجرتْ مجموعةٌ منَ الطلبةِ تجربةً لدراسةِ العلاقةِ بينَ قوّةِ الشدِّ المؤثِّرةِ في نابضٍ والاستطالةِ الحادثةِ لهُ، ويُبيّنُ الشكلُ المجاورُ التمثيلَ البيانيَّ للنتائجِ التي حصلوا عليها.



أ. **أستنتجُ:** ما الكميّةُ التي مثّلَها الطلبةُ على محورِ (x)، وما وحدةُ قياسِها؟

ب. **أحلّلُ:** رسمَ الطلبةُ على المنحنى نقطةً وأشاروا إليها بالرمزِ (A)، فماذا تمثّلُ هذهِ النقطةُ؟

جـ. **أُصدِرُ حكمًا:** يرغبُ الطلبةُ في إعادةِ التجربةِ، فهلْ يُمكِنُهم استخدامُ النابضِ نفسِه؟ أفسّرُ إجابتي.

4. **تفكيرٌ ناقدٌ:** تُستخدمُ النوابضُ في صناعةِ السياراتِ، فما أهميّةُ النوابضِ التي تتّصلُ بعجلاتِ السيارةِ المُبيّنةِ في الشكلِ؟

الإثراءُ والتوسّعُ

الفيزياءُ والحياةُ

تكونُ المسطرةُ في حالةِ اتزانٍ عندّما ترتكزُ عندَ منتصفِها على طرفِ الإصبعِ، وعندِ إضافةِ ثِقَلٍ إلى المِسطرةِ تتّزنُ عندَ نقطةٍ أخرى تكونُ أقربَ إلى طرفِ المِسطرةِ الذي وضِعَ عندَه الثِّقَلُ. وتمثّلُ نقطةُ اتزانِ الجسمِ ما يُعرفُ بمركزِ الكتلةِ Center of Mass، وهي النقطةُ التي يبدو وكأنَّ كتلةَ الجسمِ تتركّزُ عندَها. ويمكنُ تحديدُ موقعِ مركزِ الكتلةِ عمليًّا، أو باستخدامِ معادلاتٍ رياضيّةٍ.

لِمَرْكَزِ الكتلةِ دورٌ مهمٌّ في استقرارِ الأجسامِ، فمثلًا مركَزُ الكتلةِ للإنسانِ البالغِ في حالةِ المشي يكونُ تقريبًا عندَ منتصفِ الجسمِ، وأمّا ما يتعلّقُ بالأطفالِ فيكونُ أعلى من منتصفِ الجسمِ، وتُمثِّلُ الدائرةُ المحيطةُ بالقدمينِ القاعدةَ التي يرتكزُ عليها الجسمُ، وما دامَ أنَّ مركزَ الكتلةِ يقعُ ضمنَ هذهِ الدائرةِ، فإنَّ الجسمَ يكونُ مستقرًّا. أمّا إذا انحرفَ مركزُ الثِّقلِ عنِ القاعدةِ أو خرجَ عنها، فإنَّ الجسمَ يصبحُ مُعرَّضًا للسقوطِ أو الانقلابِ.

يمارسُ بعضُ الأشخاصِ سلوكًا خاطئًا في أثناءِ جلوسِهم على الكرسيِّ بتحريكِه إلى الخلفِ وإلى الأمامِ، فيصبحُ الكرسيُّ مُعرَّضًا للانقلابِ.

يمارسُ بعضُ الأشخاصِ سلوكًا خاطئًا في أثناءِ جلوسِهم على الكرسيِّ بتحريكِه إلى الخلفِ وإلى الأمامِ، فيصبحُ الكرسيُّ مُعرَّضًا للانقلابِ.

أبحثُ مستعينًا بمصادرِ المعرفةِ المناسبةِ، أبحثُ عن تطبيقاتٍ عمليّةٍ على أهميّةِ مركَزِ الكتلةِ وأثرِه في استقرارِ الأجسامِ، ثمَّ أكتبُ تقريرًا وأعرضُه على زملائي/ زميلاتي.

مراجعةُ الوحدةِ

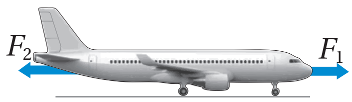
1. أضعُ دائرةً حولَ رمزِ الإجابةِ الصحيحةِ لكلِّ جملةٍ ممّا يأتي:

1. بحسبِ القانونِ الثاني لنيوتن، فإنَّ مقدارَ تسارعِ الجسمِ:

أ .لا يتغيّرُ بتغيُّرِ القوةِ المحصّلةِ المؤثّرةِ فيهِ. ب . لا يتغيّرُ بتغيُّرِ كتلةِ الجسمِ.

جـ.يقلُّ بزيادةِ كتلةِ الجسمِ معَ ثباتِ القوّةِ المحصّلةِ. د . يقلُّ بزيادةِ القوّةِ المحصّلةِ المؤثِّرةِ فيهِ.

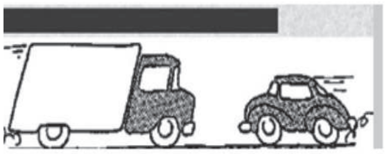
2. يبيّنُ الشكلُ طائرةً تتحركُ على مدرجِ المطارِ قبلَ إقلاعِها، فإذا كانتِ القوّةُ المحصّلةُ للقوّتينِ المُبَيَّنَتينِ على الشكلِ تساوي صفرًا، فإنَّ سرعةَ الطائرةِ:



أ .تزدادُ بانتظامٍ. ب . تتناقصُ بانتظامٍ.

جـ. صفرٌ. د . ثابتةٌ.

3. تتحرّكُ سيارةٌ وشاحنةٌ باتجاهينِ متعاكسينِ، على نحوِ ما هو مُبيَّنٌ في الشكلِ. فأيُّهما تتأثّرُ لحظةَ تصادُمِهما، بقوّةٍ أكبرَ؟



أ .الشاحنةُ؛ لأنَّ الجسمَ الأكبرَ كتلةً يتأثّرُ بقوّةٍ أكبرَ.

ب .السيارةُ؛ لأنَّ الجسمَ الأقلَّ كتلةً يتأثّرُ بقوّةٍ أكبرَ.

جـ. كلتاهُما تتأثّرُ بمقدارِ القوّةِ نفسِه.

د . يعتمدُ مقدارُ القوّةِ على مقدارِ السرعةِ، فالجسمُ الأسرعُ سيتأثّرُ بقوّةٍ أكبرَ.

4. يبيّنُ الشكلُ أنبوبًا مفرّغًا منَ الهواءِ يحتوي على ورقةِ شجرٍ وكرةٍ زجاجيّةٍ وقطعةِ نقودٍ. فأيُّ الجُملِ الآتيةِ تصفُ الحالةَ الحركيّةَ للأجسامِ؟

أ .تبقى الأجسامُ الثلاثةُ معلّقةً في الأنبوبِ.

ب . تسقطُ الأجسامُ وتصلُ إلى أسفلِ الأنبوبِ في اللحظةِ نفسِها.

جـ. تصلُ قطعةُ النقودِ وورقةُ الشجرِ إلى أسفلِ الأنبوبِ معًا، ثمَّ الكرةُ الزجاجيّةُ.

د . تصلُ قطعةُ النقودِ والكرةُ إلى أسفلِ الأنبوبِ معًا، ثمَّ ورقةُ الشجرِ .

5. تؤثّرُ قوّةٌ محصّلةٌ (F) في الجسمِ (m_1) فتحرّكُه بتسارعٍ ثابتٍ، إذا أثّرتْ قوّةٌ محصّلةٌ $(2F)$ في الجسمِ (m_2) فتحرَّكَ بالتسارعِ نفسِه، فإنَّ العلاقةَ التي تربطُ كتلةَ الجسمينِ بعضِهما ببعضٍ، هي:

أ . $m_1 = m_2$ ب . $m_1 = 2m_2$

جـ. $m_1 = 4m_2$ د . $m_1 = \frac{m_2}{2}$

2. أحلّلُ: يبيّنُ الشكلُ المجاورُ مصباحًا معلّقًا في سقفِ الغرفةِ:

أ . ما الحالةُ الحركيّةُ للمصباحِ؟

ب . تؤثّرُ في المصباحِ قوّةُ الجاذبيّةِ الأرضيّةِ (الوزن)، فلماذا لا يسقطُ المصباحُ نحوَ الأرضِ ؟

جـ. ما مقدارُ القوّةِ المحصّلةِ المؤثِّرةِ في المصباحِ؟

د . أصفُ الحالةَ الحركيّةَ للمصباحِ لو انقطعَ السلكُ. موضّحًا القوى المؤثّرةَ فيهِ خلالَ حركتِه.

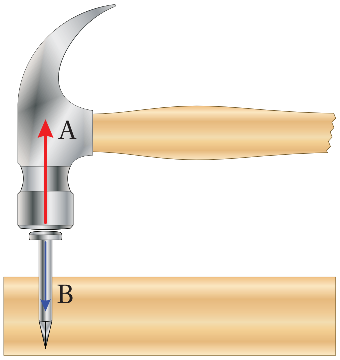
مراجعةُ الوحدةِ

3. **أستخدمُ المتغيّراتِ:** أثّرتْ قوّةٌ محصّلةٌ مقدارُها $(50\ N)$ في جسمٍ كتلتُه $(10\ kg)$ فحرَّكتْهُ منَ السكونِ بتسارعٍ ثابتٍ.أحسُبُ:

أ . تسارعَ الجسمِ.

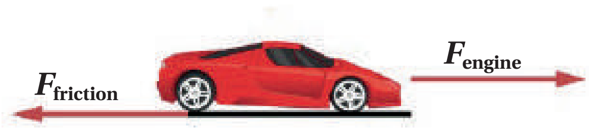
ب . سرعةَ الجسمِ بعدَ مرورِ $(10\ s)$ منْ بَدْءِ الحركةِ.

4. **أحسُبُ:** تتحرّكُ سيارةُ سباقٍ بتسارعٍ ثابتٍ فتزدادُ سرعتُها من $(100\ km/h)$ إلى $(150\ km/h)$ خلالَ $(5\ s)$. أحسبُ تسارعَ السيارةِ بوحدةِ (m/s^2).



5. **أصفُ** زوجَ القوى $(A ، B)$ المُتبادَلَ بينَ المِطرقةِ والمسمارِ، مستعينًا بالشكلِ المجاورِ.

6. **أستخدمُ المتغيّراتِ:** سيارةٌ تتحركُ على طريقٍ أفقيٍّ، ويبيّنُ الشكلُ القوى المؤثِّرةُ فيها بالاتجاهِ الأفقيِّ وهي (F_{engine}) قوّةُ المحرّكِ، و $(F_{friction})$ قوى الاحتكاكِ الناتجةُ عنِ الطريقِ ومقاومةِ الهواءِ. علمًا أنَّ كتلةَ السيارةِ والسائقِ $(1400\ kg)$.



أ . عندَما تتحركُ السيارةُ بسرعةٍ ثابتةٍ، وإذا كانَ مقدارُ $(F_{engine} = 2000N)$، فما مقدارُ كلٍّ من: قوةِ الاحتكاكِ $(F_{friction})$ والقوّةِ المحصّلةِ المؤثِّرةِ في السيارةِ؟

ب . أحسُبُ تسارعَ السيارةِ إذا زادتْ قوّةُ المحرّكِ لتصبحَ $(3000\ N)$، بافتراضِ أنَّ $(F_{friction})$ المؤثِّرةَ فيها لم تتغيّرْ.

7. **التفكيرُ الناقدُ:** يبيّنُ الشكلُ المراحلَ التي يمرُّ بها المظليُّ في أثناءِ هبوطِه نحوَ الأرضِ، بدءًا منْ لحظةِ سقوطِه منَ الطائرةِ وقبلَ أنْ يفتحَ المظلةَ. خلالَ المرحلتينِ (1 ،2) يتحرّكُ المظليُّ بسرعةٍ متزايدةٍ، والأسهمُ المثبتةُ على الشكلِ تمثّلُ القوى المؤثّرةَ فيهِ، حيثُ يُعبّرُ طولُ السهمِ عن مقدارِ القوّةِ. معتمدًا على الشكلِ، أجيبُ عنِ الأسئلةِ الآتيةِ:

أ . أيُّ القوّتينِ يتغيّرُ مقدارُها، وأيُّهما يبقى ثابتًا؟

ب . أصفُ حركةَ المظليِّ خلالَ المرحلتينِ (1 ،2) مستخدمًا مفاهيمَ القوّةِ المحصّلةِ والتسارعِ.

جـ . ما محصّلةُ القوى المؤثّرةِ في المظليِّ عندَما يصلُ إلى المرحلةِ (3)؟

د . عندَما يصلُ المظليُّ إلى المرحلةِ (3)، ما الحالةُ الحركيّةُ لهُ بعدَ ذلكَ؟

الوَحدةُ 3

الشُّغلُ والآلاتُ البسيطةُ

Work and Simple Machines

أتأمّلُ الصورةَ

نستخدمُ في حياتِنا كثيرًا منَ الآلاتِ التي تساعدُنا على إنجازِ أعمالِنا اليوميّةِ، منها البسيطةُ ومنها المركَّبةُ. ويعتمدُ مبدأُ عملِ الآلاتِ على كميّاتٍ فيزيائيةٍ لها معانٍ محدّدةٌ، فما الكميّاتُ التي نحتاجُ إليها لفهمِ مبدأِ عملِ الآلةِ وزيادةِ كفاءتِها ؟ وكيفُ نقارنُ بينَ الآلاتِ المختلفةِ ؟

الفكرةُ العامّةُ:

يستخدمُ الإنسانُ الآلاتِ كي تساعدَه على إنجازِ الشُّغلِ، وبفهمِ العَلاقةِ بينَ الشغلِ والطاقةِ تمكّنَ المختصونَ في مجالِ صناعةِ الآلاتِ من زيادةِ فائدتِها وكفاءتِها.

الدرسُ الأولُ: الشُّغلُ والقُدرةُ

Work and Power

الفكرةُ الرئيسةُ: عندَما تؤثّرُ قوّةٌ في جسمٍ وتحرِّكُه فإنَّها تبذلُ عليهِ شغلًا، وتعبِّرُ القدرةُ عنِ الشغلِ المبذولِ في وحدةِ الزمنِ. ويَظهرُ الشغلُ المبذولُ على شكلِ تغيُّرٍ في الطاقةِ الحركيّةِ للجسمِ.

الدرسُ الثاني: الآلاتُ البسيطةُ

Simple Machines

الفكرةُ الرئيسةُ: تتعدّدُ استخداماتُنا للآلاتِ البسيطةِ، فهي تساعدُنا على إنجازِ أعمالِنا بسهولةٍ ويسرٍ.

تجربةٌ استهلاليّةٌ

أحسُبُ الشُّغْلَ والقُدْرةَ

الموادُّ والأدواتُ: ميزانٌ، مِسطرةٌ، ساعةُ توقيتٍ.

إرشاداتُ السلامةِ: أصعدُ الدرجَ بحذرٍ، وأتجنّبُ صعودَ درجتينِ معًا.

خطواتُ العملِ:

1. **أقيسُ**: أقفُ على الميزانِ وأطلبُ إلى زميلي/ زميلتي أنْ يقيسَ كتلتي (m)، ثمَّ أحسُبُ وزني باستخدامِ العَلاقةِ ($F_g = m\,g$).
2. **أقيسُ** ارتفاعَ الدرجةِ الواحدةِ باستخدامِ المِسطرةِ، وأعُدُّ الدرجاتِ، ثمَّ أحسبُ ارتفاعَ الدرجِ.
3. **أجرّبُ**: أصعدُ الدرجَ وأطلبُ إلى زميلي قياسَ الزمنِ الذي استغرقْتُهُ في الصعودِ.
4. أُكرّرُ الخطوتينِ (3، 2) مرتينِ إضافيّتينِ، مراعيًا على أنْ أصعدَ الدرجَ بالسرعةِ نفسِها، وأحسبُ الوسطَ الحسابيَّ للزمنِ.
5. **أحسُبُ** الشُّغلَ (W) الذي بذلْتُه في أثناءِ صعودِ الدرجِ بإيجادِ ناتجِ ضربِ مقدارِ القوّةِ (F_g) في مقدارِ الإزاحةِ (ارتفاعُ الدرجِ).
6. **أحسُبُ** ناتجَ قسمةِ الشُّغلِ (W) على الزمنِ (t) ويمثّلُ قدرتي على صعودِ الدرجِ.
7. **أجرّبُ** صعودَ الدرجِ بسرعةٍ أكبرَ، وأُكرّرُ الخطواتِ السابقةَ.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أحلّلُ**: عندَما أصعدُ الدرجَ نفسَه بسرعةٍ أكبرَ، هلْ يتغيّرُ الشغلُ الذي أبذلُه؟ أفسّرُ إجابتي.
2. **أحلّلُ**: هلْ تتغيّرُ قُدرتي على صعودِ الدرجِ عندَما أركضُ بسرعةٍ أكبرَ؟ أوضّحُ إجابتي.
3. **أقارنُ** قُدرتي بقدرةِ زملائي/ زميلاتي.
4. **أفسّرُ**: سببَ الاختلافِ في القدرةِ على صعودِ الدرجِ نفسِه بينَ زملائي/ زميلاتي.
5. **أستنتجُ**: ما مصادرُ الخطأِ في التَّجربةِ؟ وكيفَ يمكنُ التقليلُ منها؟

الشُّغلُ والقدْرةُ
Work and Power

الفكرةُ الرئيسةُ:

عندَما تؤثّرُ قوّةٌ في جسم وتحرّكه فإنّها تبذلُ عليهِ شغلًا، وتُعبِّرُ القدرةُ عنِ الشغلِ المبذولِ في وحدةِ الزمنِ. ويَظهرُ الشغلُ المبذولُ على شكلِ تغيُّرٍ في الطاقةِ الحركيّةِ للجسمِ .

نتاجاتُ التعلّم:

- أستنتجُ أنَّ الشغلَ يساوي ناتجَ ضربِ مقدارِ القوّةِ في المسافةِ التي يتحرّكُها الجسمُ باتجاهٍ يوازي القوّةَ.
- أُعرِّفُ القُدرةَ بأنّها الشغلُ المبذولُ في وحدةِ الزمنِ.
- أصفُ العَلاقةَ بينَ الشغلِ والطاقةِ الحركيّةِ.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

الشُّغْلُ	Work
القُدْرةُ	Power
الطاقةُ الحركيّةُ	Kinetic Energy

الشُّغلُ Work

يستخدمُ الناسُ مفهومَ الشغلِ ليدلَّ على مهامَّ مختلفةٍ يقومونَ بها، وقد يختلفُ المعنى من شخصٍ إلى آخرَ، لكنَّ علماءَ الفيزياءِ يستعملونَ كلمةَ الشغلِ بمعنًى محدَّدٍ. ويبيّنُ الشكلُ (1)، أمثلةً على أنشطةٍ من الحياةِ اليوميّةِ، فأيُّها يتضمّنُ بذلَ شغلٍ بالمفهومِ العلميِّ؟

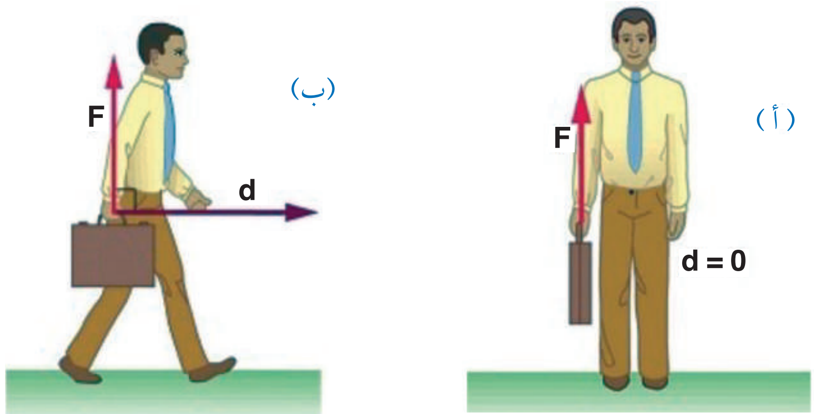
عندَما تؤثرُ قوةٌ في جسمٍ، ويتحركُ الجسمُ في أثناءِ تأثيرِ القوةِ باتجاهٍ لا يتعامدُ معَ اتجاهِها، فإنَّ القوةَ تبذلُ شغلًا على الجسمِ. وعندَما تكونُ القوةُ ثابتةً في المقدارِ والاتجاهِ، وتكونُ الحركةُ باتجاهِ تلكَ القوةِ، فإنَّ **الشغلَ Work** المبذولَ يُعبَّرُ عنهُ بالعلاقةِ الآتيةِ:

$$W_F = F\,d$$

حيثُ (F): القوةُ المؤثّرةُ، و (d) الإزاحةُ باتجاهِ القوّةِ.

والشغلُ كميّةٌ قياسيّةٌ، يُقاسُ في النظامِ العالميِّ للوَحداتِ بوَحدةِ الجولِ ورمزُها (J).

الشكل (1): يستخدمُ الناسُ مفهومَ الشغلِ ليدلَّ على مهامَّ مختلفةٍ يؤدّونَها.



الشكل (2): يؤثّرُ الشخصُ بقوّةٍ رأسيّةٍ في الحقيبةِ، ولا تَبذلُ القوّةُ شغلًا لأنَّ:
(أ) الشخصَ يقفُ ساكنًا؛ فالإزاحةُ تساوي صفرًا.
(ب) الشخصَ يتحركُ أفقيًّا باتجاهٍ عموديٍّ على القوّةِ.

يبيّنُ الشكلُ (2)، حالتينِ لا تَبذلُ فيهما قوّةٌ مؤثّرةٌ في الجسمِ شغلًا بالمفهومِ الفيزيائيِّ، فالشخصُ الذي يحملُ الحقيبةَ يؤثّرُ فيها بقوّةٍ عموديةٍ (F)، ويقفُ ساكنًا، لا تبذلُ هذهِ القوةُ شغلاً؛ لأنَّهُ لا يوجدُ إزاحةٌ $(d = 0)$، الشكلُ (2/ أ). وكذلكَ عندَما يتحركُ الشخصُ أفقيًّا، وهو يحملُ حقيبةً، على نحوِ ما هو مبيَّنٌ في الشكلِ (2/ ب)، فإنَّ القوةَ العموديّةَ المؤثّرةَ في الحقيبةِ لا تبذلُ شغلاً عليها؛ إذ لا توجدُ إزاحةٌ باتجاهِ القوةِ، الشكلُ (2/ ب).

أتحقّقُ: أذكرُ شرطينِ يجبُ توافرُهما كي تَبذلَ القوّةُ شغلًا على الجسمِ.

أفكّر: هلْ تبذلُ قوّةُ وزنِ الحقيبةِ شغلًا في أثناءِ حركةِ الشخصِ المبيَّنِ في الشكلِ (2/ ب)؟ أفسّرُ إجابتي.

المثال 1

تؤثّرُ فتاةٌ بقوةٍ أفقيّةٍ مقدارُها (60 N) في صندوقٍ، فتدفعُهُ على سطحٍ أفقيٍّ مسافةَ (5m). أحسُبُ الشغلَ الذي بذَلَتْهُ قوّةُ الدفعِ.

المُعطياتُ: $(F = 60\text{ N}), (d = 5\text{ m})$

المطلوبُ: $(W_F = ?)$

الحل:

أستخدمُ العلاقةَ:

$$W_F = F\,d$$

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

المثال 2

يرفعُ أحمدُ صندوقًا وزنُه (40 N) إلى ارتفاعٍ (1.5 m) بسرعةٍ ثابتةٍ، ثمَّ يمشي بهِ مسافةَ (2 m) عبرَ الغرفةِ بسرعةٍ ثابتةٍ، فما الشغلُ الذي يبذلُه أحمدُ على الصندوقِ في أثناءِ:

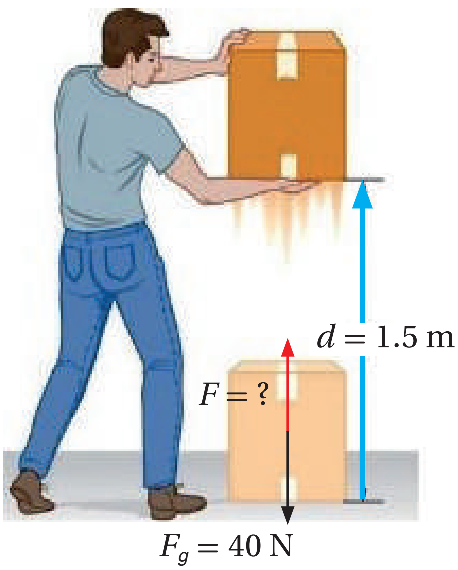
أ . رفعِه إلى الأعلى.

ب. المشيِ أفقيًّا عبرَ الغرفةِ.

المُعطياتُ: $(F_g = 40\text{ N})$, $(a = 0)$, $(d_1 = 1.5\text{ m})$,$(d_2 = 2\text{ m})$

المطلوبُ: $(W_F = ?)$

الحلُّ:



أ . لحسابِ الشغلِ الذي يبذلُه أحمدُ في أثناءِ رفعِ الصندوقِ، يتطلّبُ أولًا معرفةَ مقدارِ قوّةِ الرفعِ؛ وذلكَ بتطبيقِ القانونِ الثاني لنيوتن.

$\sum F = ma$

ولمّا كانتِ الحركةُ بسرعةٍ ثابتةٍ $(a = 0)$، فإذنْ:

$\sum F = 0$

$F - F_g = 0$

$F = F_g = 40\text{ N}$

أُلاحظُ أنَّ قوّةَ الرفعِ تساوي الوزنَ؛ لأنَّ الحركةَ بسرعةٍ ثابتةٍ. ولحسابِ الشغلِ أستخدمُ العَلاقةَ:

$W_F = F\,d = 40 \times 1.5 = 60\text{ J}$

ب. في أثناءِ المشيِ تكونُ القوّةُ التي يؤثّرُ بها أحمدُ عموديّةً على اتجاهِ الإزاحةِ؛ فلا تَبذلُ القوّةُ شغلًا؛ $W_F = 0$.

تمرين

1. أحسبُ الإزاحةَ التي يقطعُها جسمٌ عندمَا تؤثّرُ فيهِ قوّةٌ مقدارُها (6 N) فتحرّكُه باتجاهِها، وتبذلُ شغلًا مقدارُه (300 J).
2. أحسبُ مقدارَ القوّةِ التي تؤثّرُ في جسمٍ، عندمَا يتحركُ الجسمُ باتجاهِها مسافةَ (2 m)، فتبذلُ عليهِ شغلًا مقدارُه (800 J).

القُدرةُ Power

عندَما أصعدُ درجًا تَبذلُ عضلاتُ الساقينِ شُغلًا؛ لرفعِ جسمي إلى الأعلى، والتغلُّبِ على قوةِ الجاذبيّةِ الأرضيّةِ. فإذا صعِدتُ الدرجَ نفسَه بسرعةٍ ثابتةٍ أكبرَ، فإنَّني أبذلُ الشغلَ نفسَه بزمنٍ أقلَّ؛ أيْ إنَّ قُدرتي على صعودِ الدرجِ تزدادُ.

تُعرَّفُ القُدرةُ Power بأنَّها المعدّلُ الزمنيُّ لبذلِ الشغلِ، وتُحسبُ بقسمةِ الشغلِ المبذولِ (W) على الزمنِ اللازمِ لِبَذْلِهِ (t) ويُعبَّرُ عنها بالعَلاقةِ الآتيةِ:

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

والقدرةُ كميّةٌ قياسيّةٌ، تُقاسُ بوحدةِ (J/s) وتُعرَفُ بالواط (Watt)، ويُرمزُ إليها بالرمزِ (W).

يُستخدمُ مفهومُ القدرةِ في المقارنةِ بينَ الآلاتِ؛ حيثُ تزدادُ قدرةُ الآلةِ كلَّما زادَ الشغلُ الذي تبذلُه خلالَ زمنٍ معيَّنٍ، أو عندَما تبذلُ الآلةُ الشغلَ نفسَه في زمنٍ أقلَّ.

✓ **أتحقّقُ:** كيفَ تتغيّرُ القدرةُ عندَ بذلِ الشغلِ نفسِه في زمنٍ أقلَّ؟

أبحثُ:

منَ الوَحداتِ المُستخدمةِ في قياسِ القدرةِ وحدةٌ تُسمّى الحصانَ الميكانيكيَّ.

فما المقصودُ بالحصانِ الميكانيكيِّ؟ وكمْ يكافئُ بالواط؟ وما أصلُ التسميةِ والاستخدامِ لهذهِ الوحدةِ؟

أبحثُ عن إجاباتٍ لهذهِ الأسئلةِ، وأُعدُّ تقريرًا أعرضُه على زملائي/ زميلاتي.

الربطُ بالرياضةِ

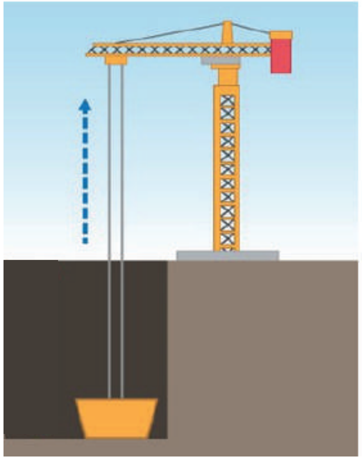
رفعُ الأثقالِ

رياضةٌ يبذلُ فيها الجسمُ شغلًا في أثناءِ رفعِ الثِّقَلِ؛ حيثُ يؤثّرُ رافعُ الأثقالِ بقوّةٍ رأسيّةٍ إلى الأعلى، فيتحرّكُ الثقلُ باتجاهِ القوّةِ.

ولكيْ يتمكّنَ رافعُ الأثقالِ من رفعِ ثِقَلٍ كتلتُه (120 kg) فإنَّهُ يؤثرُ بقوّةٍ تساوي تقريبًا (1200 N)، فإذا رفعَ الثِّقَلَ إلى ارتفاعِ (2 m)، فإنَّهُ يبذلُ شغلًا مقدارُه (2400 J). أمّا قدرتُه، فتعتمدُ على الزمنِ المُستغْرَقِ في رفعِ الثقلِ، فمثلًا إذا استغرقَ (6 s)، فإنَّ قدرتَه تقريبًا ($\frac{2400}{6}$ =400W).

المثال 3

رافعتانِ (أ، ب) استُخدِمَتا في رفعِ جسمٍ كتلتُه (120 kg) إلى ارتفاعِ (15 m) بسرعةٍ ثابتةٍ، والزمنُ اللازمُ لرفعِ الجسمِ باستخدامِ الرافعةِ الأولى (30 s)، والرافعةِ الثانيةِ (9 s). فإذا علمتُ أنَّ تسارعَ السقوطِ الحرِّ ($10 m/s^2$)، أحسبُ قدرةَ كلِّ رافعةٍ.



المُعطياتُ:

$(m = 120\ \text{kg}), (h = 15\ \text{m}), (t_1 = 30\ \text{s}), (t_2 = 9\ \text{s}), (g = 10\ \text{m/s}^2)$

المطلوبُ: $(P_1 = ?), (P_2 = ?)$

الحلُّ:

لرفعِ الجسمِ بسرعةٍ ثابتةٍ يتطلبُ التأثيرُ فيهِ بقوّةٍ تساوي وزنَه، ويُحسبُ الوزنُ منَ العَلاقةِ:

$$F_g = mg = 120 \times 10 = 1200\ \text{N}$$

يُحسبُ الشغلُ اللازمُ بذلُه على الجسمِ لرفعِه، باستخدامِ العَلاقةِ:

$$W_F = F\,d = 1200 \times 15 = 18000\ \text{J}$$

ألاحظُ أنَّ الرافعتينِ تبذلانِ الشغلَ نفسَه، وأحسبُ قدرةَ كلِّ رافعةٍ باستخدامِ العَلاقةِ:

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

قدرةُ الرافعةِ الأولى:

$$P_1 = \frac{W}{t} = \frac{18000}{30} = 600\ \text{W}$$

قدرةُ الرافعةِ الثانيةِ:

$$P_2 = \frac{W}{t} = \frac{18000}{9} = 2000\ \text{W}$$

ألاحظُ أنَّ قدرةَ الرافعةِ الثانيةِ أكبرُ من قدرةِ الرافعةِ الأولى، لذا فاستخدامُ الرافعةِ الثانيةِ أفضلُ منَ استخدامِ الرافعةِ الأولى؛ لأنَّها تُنجزُ الشغلَ نفسَه في زمنٍ أقلَّ.

تمرين

1. **أحسبُ:** تَرفعُ رافعةٌ جسمًا وزنُه (600 N) إلى ارتفاعِ (5m)، فيستغرقُ ذلكَ (1 min). فما قدرةُ الرافعةِ؟

الشُّغلُ والطاقةُ Work and Energy

درستُ في صفوفٍ سابقةٍ أنَّ للطاقةِ أشكالًا مختلفةً، منها الطاقةُ الحركيّةُ، وطاقةُ الوضعِ الناشئةُ عنِ الجاذبيّةِ الأرضيّةِ، والطاقةُ الحراريةُ... وغيرُها. وفي هذا الدرسِ سأدرسُ العَلاقةَ بينَ الشغلِ والطاقةِ الحركيّةِ.

الطاقةُ الحركيّةُ Kinetic Energy

تمتلكُ الأجسامُ المتحركةُ مثلُ السيارةِ والكرةِ الساقطةِ نحوَ الأرضِ، طاقةً حركيّةً Kinetic Energy، يعتمدُ مقدارُها على كلٍّ منْ كتلةِ الجسمِ (m) وسرعتِه (v)، ويُعبَّرُ عنها بالعَلاقةِ الآتيةِ:

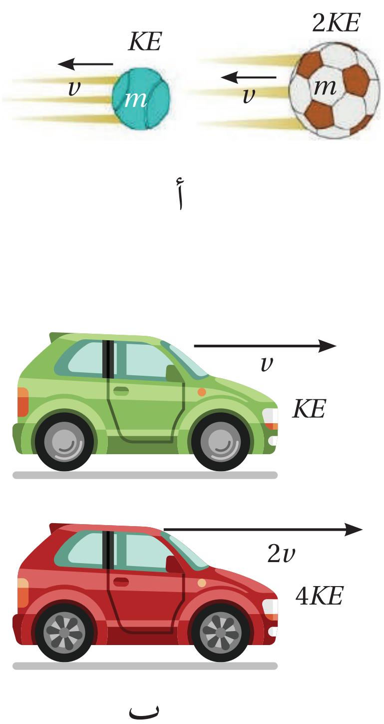
$$KE = \frac{1}{2} mv^2$$

حيثُ: (KE) الطاقةُ الحركيّةُ للجسمِ، وهي كميّةٌ قياسيّةٌ، تُقاس بوَحدةِ قياسِ الشغلِ نفسِها وهيَ الجولُ (J).

تُبيّنُ هذهِ العلاقةُ أنَّ الطاقةَ الحركيّةَ تتناسبُ طرديًّا معَ الكتلةِ؛ وهذا يعني أنَّ جسمًا كتلتُه $(2m)$ يمتلكُ ضِعْفي الطاقةِ الحركيّةِ التي يمتلكُها جسمٌ كتلتُه (m) عندَما يتحركُ الجسمانِ بالسرعةِ نفسِها. أتأمّلُ الشكلَ (3/ أ).

كذلكَ فإنَّ الطاقةَ الحركيّةَ تتناسبُ طرديًّا معَ مربعِ السرعةِ؛ وهذا يعني أنَّ جسمًا سرعتُه $(2\,v)$ يمتلكُ أربعةَ أضعافِ الطاقةِ الحركيّةِ التي يمتلكُها جسمٌ يتحرّكُ بسرعةِ (v)، عندَما يكونُ للجسمينِ الكتلةُ نفسُها. أتأمّلُ الشكلَ (3/ ب).

✓ **أتحقّقُ:** أذكرُ العواملَ التي يعتمدُ عليها مقدارُ الطاقةِ الحركيّةِ لجسمٍ، وأحدّدُ طبيعةَ التناسُبِ معَ كلِّ عاملٍ.



الشكل (2): تتناسبُ الطاقةُ الحركيّةُ طرديًّا معَ:
(أ) الكتلةِ.
(ب) مربعِ السرعةِ.

أفكّرُ: سيارتانِ الأولى كتلتُها (m) وتتحرّكُ بسرعةِ (30 km/h)، والثانيةُ كتلتُها $(\frac{m}{2})$ وتتحرّكُ بسرعةِ (60 km/h). أقارنُ بينَ الطاقةِ الحركيّةِ للسيارتينِ، موضِّحًا كيفَ توصّلْتُ للإجابةِ.

المثال 4

تركضُ فتاةٌ كتلتُها (60 kg) بسرعةِ (5 m/s)، أحسبُ الطاقةَ الحركيّةَ للفتاةِ.

المُعطياتُ: $(v = 5\ \text{m/s}), (m = 60\ \text{kg})$

المطلوبُ: $(KE) = ?$

الحلُّ:

تُحسبُ الطاقةُ الحركيّةُ باستخدامِ العلاقةِ :

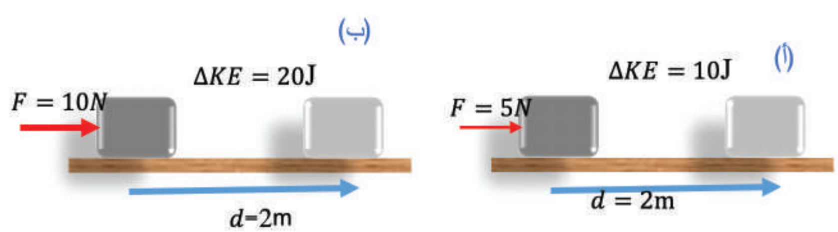
$$KE = \frac{1}{2}\, \text{m}\, v^2$$

$$KE = \frac{1}{2} \times 60 \times (5)^2 = \frac{1}{2} \times 60 \times 25 = 750\ \text{J}$$

الشغلُ والطاقةُ الحركيّةُ Work and kinetic Energy

عندَما تؤثّرُ قوّةٌ في جسمٍ ساكنٍ وتحرّكهُ باتجاهِها فإنّها تبذلُ عليهِ شغلًا، ولمّا كانَ الجسمُ المتحرّكُ يمتلكُ طاقةً حركيّةً، فإنَّ القوّةَ أكسبتِ الجسمَ طاقةً عندَما بذلَتْ عليهِ شغلًا، لذا يُعدُّ الشغلُ وسيلةً لإكسابِ الجسمِ طاقةً حركيّةً.

وللتوصّلِ إلى العلاقةِ بينَ الشغلِ والطاقةِ الحركيةِ، أتأمّلُ الشكلَ (4/أ)، الذي يبيّنُ صندوقًا تؤثّرُ فيهِ قوّةٌ (F) فتحرّكُه إزاحةً (d) على سطحٍ أفقيٍّ أملسَ، فتكسبُه طاقةً حركيّةً، ونظرًا إلى أنَّ الجسمَ كانَ ساكنًا، فإنَّ طاقتَه الحركيّةَ تزدادُ، وبذلكَ فإنَّ (ΔKE) تمثّلُ التغيُّرَ في



الشكل (4): العَلاقةُ بينَ الشغلِ والطاقةِ.
(أ) القوّةُ تُكسِبُ الجسمَ طاقةً حركيّةً تساوي الشغلَ المبذولَ عليه.
(ب) عندَ مضاعفةِ القوةِ (وثباتِ المسافةِ) يتضاعفُ مقدارُ الشغلِ المبذولِ على الجسمِ، فتتضاعفُ طاقتُه الحركيّةُ.

الطاقةِ الحركيّةِ للجسمِ. وفي هذهِ الحالةِ فإنَّ الشغلَ المبذولَ على الجسمِ يساوي التغيُّرَ في طاقتِه الحركيّةِ.

ولمّا كانَ الشغلُ ($W_F = Fd$) يتناسبُ طرديًّا معَ كلٍّ منَ القوّةِ المؤثِّرةِ والإزاحةِ، فهذا يعني أنَّ زيادةَ أيٍّ منهُما يؤدّي إلى زيادةِ الشغلِ المبذولِ على الجسمِ، فيزدادُ التغيُّرُ في طاقتِه الحركيّةِ. أتأمّلُ الشكلَ (4/ ب) وألاحظُ أنَّ ثباتَ المسافةِ التي يتحرّكُها الجسمُ، ومضاعفةَ مقدارِ القوّةِ المؤثِّرةِ فيهِ يضاعِفُ مقدارَ الشغلِ المبذولِ عليهِ، فيتضاعفُ مقدارُ التغيُّرِ في طاقتِه الحركيّةِ.

الشغلُ السالبُ Negative Work

في الحياةِ اليوميّةِ ألاحظُ أنَّ الأجسامَ المتحرّكةَ، مثلُ كرةِ القدمِ، تتوقّفُ عنِ الحركةِ بعدَ قطعِها مسافةً معيّنةً على سطحٍ خشنٍ. فما سببُ ذلكَ؟ أتأمّلُ الشكلَ (5).

عندَما يضربُ اللاعبُ الكرةَ فإنَّه يُكسبُها طاقةً حركيّةً، وفي أثناءِ حركتِها على السطحِ الخشنِ تؤثرُ فيها قوّةُ الاحتكاكِ، ويكونُ اتجاهُها عكسَ اتجاهِ الحركةِ.

وفي هذهِ الحالةِ، تَبذلُ قوّةُ الاحتكاكِ على الكرةِ شغلًا سالبًا يؤدّي إلى تناقصِ طاقتِها الحركيّةِ، وتحويلِها إلى طاقةٍ حراريّةٍ.

الربطُ بالرياضياتِ

يُستخدمُ الحرفُ اليونانيُّ (Δ) ويُقرأُ (دلتا)، للتعبيرِ عنِ التغيُّرِ في مقدارِ كميّةٍ معيّنةٍ، فمثلًا عندَ رصدِ الطاقةِ الحركيّةِ لجسمٍ مدةً منَ الزمنِ، فإنَّ الرمزَ (ΔKE) يعبِّرُ عنِ الفرقِ بينَ الطاقةِ الحركيّةِ النهائيّةِ والطاقةِ الحركيّةِ الابتدائيّةِ للجسمِ خلالَ تلكَ المدّةِ.

الشكل (5): تتأثّرُ الكرةُ بقوةِ احتكاكٍ اتجاهُها عكسُ اتجاهِ الحركةِ، فتبذلُ القوّةُ في هذهِ الحالةِ شغلًا سالبًا.

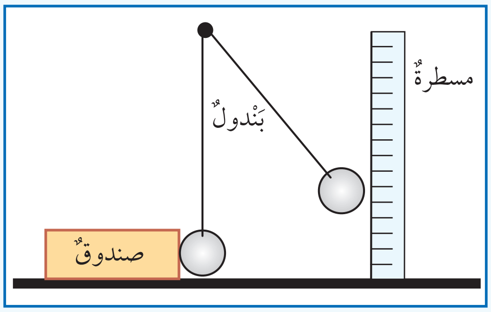
التجربة 1

العلاقةُ بينَ الشُّغلِ والطاقةِ

الموادُّ والأدواتُ: كرةٌ فلزيّةٌ ذاتُ حلقةٍ ، خيطٌ منَ النايلونِ ، مِسطرةٌ، حاملٌ، صندوقٌ صغيرٌ منَ الكرتونِ.

إرشاداتُ السلامةِ: أقفُ في مكانٍ مناسبٍ لا يعترضُ مسارَ حركةِ البَندول.

خطواتُ العملِ:



1- **أعملُ نموذجَ** البَندولِ، وأُعلِّقُه بالحاملِ.

2- أضعُ البَندولَ على الطاولةِ، وأضبطُ طولَ خيطِه على ألّا يلامسَ طرفُ الكرةِ سطحَ الطاولةِ.

3- أضعُ الصندوقَ على الطاولةِ، على أنْ تلامسَ الكرةُ المعلَّقةُ الصندوقَ، ألاحظُ الشكلَ المجاورَ.

4- **أُجرّبُ:** أسحبُ الكرةَ جانبًا، وأقيسُ ارتفاعَها بالمسطرةِ، ثمَّ أُفلتُها.

5- **أُلاحظُ** حركةَ الصندوقِ، وأدوّنُ المسافةَ التي يقطعُها على سطحِ الطاولةِ، وأُكرّرُ التجربةَ مرّتينِ إضافيَّتينِ.

6- **أضبطُ المتغيّراتِ:** أُعيدُ الصندوقَ إلى مكانِه، وأُكرّرُ التجربةَ بسحبِ الكرةِ إلى ارتفاعاتٍ مختلفةٍ.

التحليلُ والاستنتاجُ

1 . **أصفُ:** تختزنُ الكرةُ عندَ سحبِها إلى الأعلى طاقةَ وضعٍ ناشئةً عنِ الجاذبيّةِ الأرضيّةِ، فماذا يحدثُ لهذهِ الطاقةِ عندَ إفلاتِها ؟

2 . **أستنتجُ:** ما العَلاقةُ بينَ زيادةِ ارتفاعِ الكرةِ، والمسافةِ التي يقطعُها الصندوقُ ؟

3 . **أحلِّلُ:** مستخدمًا مفاهيمَ الطاقةِ والشغلِ، أوضّحُ ما يحدثُ لحظةَ تلامُسِ الكرةِ مع الصندوقَ .

4 . **أتوقّعُ :** ما أثرُ استخدامِ كرةٍ ذاتِ كتلةٍ أكبرَ في المسافةِ التي يقطعُها الصندوقُ؟ أصمِّمُ تجربةً لأختبرَ صحّةَ توقُّعي، محدِّدًا العواملَ التي سأضبطُها.

مراجعةُ الدرسِ

1. **الفكرةُ الرئيسةُ:** ما الأثرُ الناتجُ عنْ بذلِ الشُّغلِ في الجسمِ؟ وما أهميّةُ حسابِ المعدَّلِ الزمنيِّ لبذلِ الشغلِ؟

2. **أستخدمُ المتغيّراتِ:** معتمدًا على البياناتِ الواردةِ في الجدولِ أدناهُ، أستخدمُ العلاقاتِ الخاصةَ بحساب الشغل والقدرةِ، وأملأُ الفراغاتِ بما هو مناسبٌ.

القوّةُ (F)	الإزاحةُ (d)	الشُّغلُ (W_F)	الزمنُ (t)	القُدرةُ (P)
5×10^4	10		50	
600	5			300
150		6000	40	

3. **أحسبُ:**

أ. الطاقةَ الحركيّةَ لكرةِ تنسٍ كتلتُها $(0.06\ kg)$، وسرعتُها $(50\ m/s)$.

ب. سرعةَ طائرٍ كتلتُه $(200\ g)$، وطاقتُه الحركيّةُ $(3.6\ J)$.

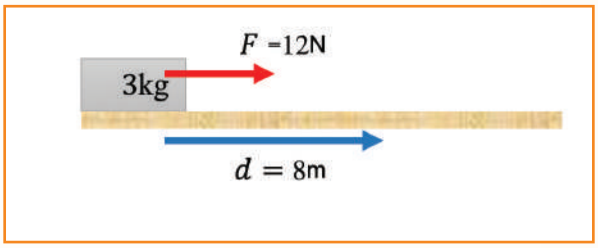
4. **التفكيرُ الناقدُ:** في أثناءِ تنفيذِ نشاطٍ لحسابِ القدرةِ على صعودِ الدرجِ، استخدمَتْ طالبةٌ ساعةَ توقيتٍ لحسابِ الزمنِ اللازمِ كي تصعدَ زميلتُها الدرجَ. فتأخّرَتِ الطالبةُ في تشغيلِ الساعةِ، فكيفَ سيؤثّرُ ذلكَ في حسابِ القدرةِ؟

5. **أحلّلُ:** جسمٌ كتلتُه $(3\ kg)$ موضوعٌ على سطحٍ أفقيٍّ أملسَ، أثّرتْ فيهِ قوّةٌ ثابتةٌ مقدارُها $(12\ N)$ مدّةَ $(2s)$، فحرّكَتْه منَ السكونِ على السطحِ الأفقيِّ مسافةَ $(8\ m)$. أحسبُ:

أ. الشغلَ الذي بذَلَتْهُ القوّةُ.

ب. قدرةَ قوّةِ السحبِ.

جـ. التغيُّرَ في الطاقةِ الحركيّةِ للجسمِ.



الدرسُ 2

الآلاتُ البسيطةُ
Simple Machines

الفكرةُ الرئيسةُ:

تتعدّدُ استخداماتُنا للآلاتِ البسيطةِ، فهي تساعدُنا على إنجازِ أعمالِنا بسهولةٍ ويسرٍ.

نتاجاتُ التعلّمِ:

- أستقصي الآلاتِ البسيطةَ في بيئتي واستخداماتِها.
- أُحدّدُ الفائدةَ الآليّةَ والكفاءةَ الميكانيكيّةَ لبعضِ الآلاتِ البسيطةِ.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

الآلةُ البسيطةُ	Simple Machine
المستوى المائلُ	Inclined Plane
الرافعةُ	Lever
البكرةُ	Pulley
الدولابُ والجِذعُ	Wheel and Axle
كفاءةُ الآلةِ	Efficiency of Machine

نستخدمُ في حياتِنا كثيرًا منَ الآلاتِ التي تساعدُنا على إنجازِ أعمالِنا اليوميّةِ، منها البسيطةُ، مثلُ: المِقصِّ، والمِلقطِ، ومنها المُركبةُ، مثلُ: الدرّاجةِ، والسيارةِ، إذْ إنَّها تحتوي في مكوّناتِها على كثيرٍ منَ الآلاتِ البسيطةِ. والآلاتُ، سواءٌ أكانتْ تعملُ بمحركاتٍ أم بأشخاصٍ، فهي تُسهّلُ علينا إنجازَ أعمالِنا المختلفةِ. وسأتعرّفُ في هذا الدرسِ أنواعَ الآلاتِ البسيطةِ والآليّةِ التي تساعدُنا على إنجازِ أعمالِنا.

الآلةُ البسيطةُ Simple Machine

الآلةُ البسيطةُ هي أداةٌ تساعدُنا على إنجازِ الشغلِ بسهولةٍ. وذلكَ بتغييرِ مقدارِ القوةِ المؤثّرةِ في جسمٍ أو اتجاهِها أو كليهما، أو مقدارِ المسافةِ التي يتحرّكُها الجسمُ تحتَ تأثيرِ القوةِ (الإزاحةِ). ولذا تُصنَّفُ الآلاتُ البسيطةُ بناءً على ذلكَ إلى ستةِ أنواعٍ رئيسةٍ، ملخَّصةٍ في الشكلِ (6).

والآلةُ البسيطةُ لا تقلّلُ منَ الشغلِ المبذولِ، وإنما تُسهِّلُ إنجازَهُ.

✓ **أتحقّقُ:** ما أنواعُ الآلاتِ البسيطةِ؟


الدولابُ/ والجِذعُ


الرافعةُ


البرغيُّ


البكرةُ


الوتدُ


المستوى المائلُ

الشكلُ (6): أنواعُ الآلاتِ البسيطةِ.

المستوى المائلُ Inclined Plane

المستوى المائلُ هو سطحٌ يكونُ أحدُ طرفيهِ أعلى منَ الآخرِ ، أتأمّلُ الشكلَ (7)، وهو من أبسطِ أنواعِ الآلاتِ البسيطةِ. ويعملُ المستوى المائلُ على تقليلِ القوةِ اللازمةِ لإنجازِ الشغلِ نفسِه المطلوبِ إنجازُه دونَ استخدامِ المستوى المائلِ، ففي الشكلِ (8)، وعلى افتراضِ أنَّ وزنَ البرميلِ ($F_g = 1200$ N)، فإنَّ القوةَ (F) اللازمةَ لرفعِ البرميلِ رأسيًّا بسرعةٍ ثابتةٍ دونَ استخدامِ المستوى المائلِ تساوي وزنَ البرميلِ (F_g)، على نحوِ ما تعلّمْتُ في الدرسِ السابقِ، ويكونُ الشغلُ اللازمُ لرفعِ البرميلِ رأسيًّا مسافةَ (1 m):

$$W_d = F\,d = 1200 \times 1 = 1200\ \text{J}$$

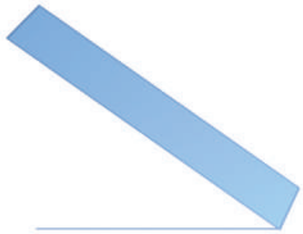
وهذا الشغلُ يساوي الشغلَ (W_l) الذي يجبُ أن يبذلَهُ الشخصُ على البرميلِ لرفعِهِ على المستوى المائلِ، الذي طولُه يساوي (3 m)، عندَما يكونُ أملسَ، أيْ إنَّ:

$$W_l = W_d = 1200\ \text{J}$$

$$F_l \times 3 = 1200\ ,\ \ F_l = \frac{1200}{3} = 400\ \text{N}$$

وهذا يعني أنَّ المستوى المائلَ قلّلَ القوّةَ اللازمةَ لرفعِ البرميلِ إلى الثلثِ، لكنَّه بالمقابلِ زادَ المسافةَ التي تؤثّرُ فيها القوةُ إلى ثلاثةِ أمثالِ المسافةِ الرأسيّةِ. أيْ وكأنَّ المستوى المائلَ قلّلَ القوّةَ ثلاثَ مرّاتٍ، وهذا ما يُطلقُ عليهِ اسمَ الفائدةِ الآليّةِ، والمستوى المائلُ الأملسُ يُعبَّرُ عنهُ بالعلاقةِ:

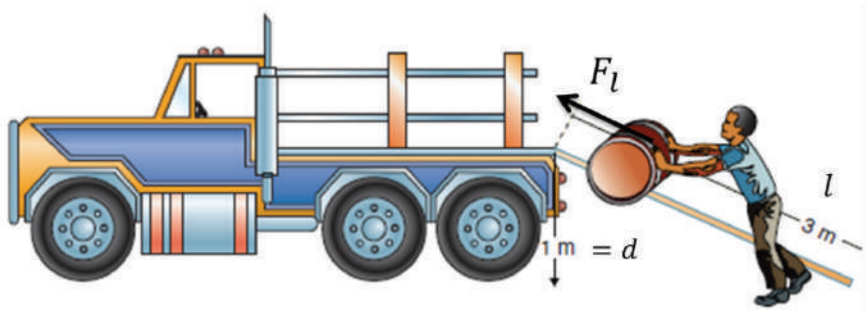
$$\text{الفائدةُ الآليّةُ} = \frac{\text{طولُ السطحِ المائلِ}}{\text{ارتفاعِه}} = \frac{l}{d}$$



الشكل (7): المستوى المائلُ.

الربطُ بالهندسةِ

تُصمَّمُ الطرقُ الجبليّةُ بشكلٍ متعرّجٍ؛ وذلكَ لزيادةِ المسافةِ التي تقطعُها السياراتُ للوصولِ إلى أعالي الجبالِ، وتقليلِ القوةِ اللازمةِ للدفعِ إلى الأعلى، فتزدادُ الفائدةُ الآليّةُ.



الشكل (8): رجلٌ يدفعُ برميلًا على مستوًى مائلٍ.

ويُطلقُ على (F_g) بوجهٍ عامٍّ اسمَ المقاومةِ (load)، و (F_l) اسمَ القوةِ (force)، لذا تكونُ الفائدةُ الآليةُ لأيِّ آلةٍ بسيطةٍ:

$$\text{الفائدةُ الآليةُ} = \frac{\text{المقاومةَ}}{\text{القوةِ}}$$

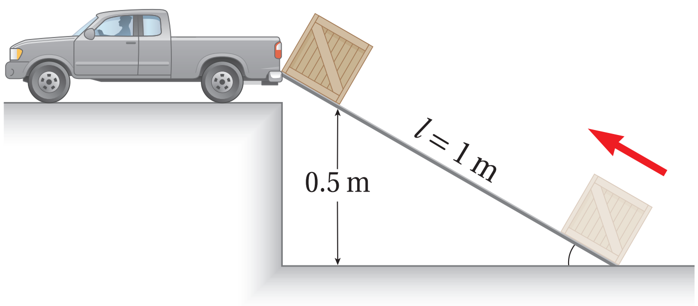
أُلاحظُ أنَّ الفائدةَ الآليّةَ تزدادُ بنقصانِ القوةِ المؤثِّرة، وهذا يتحقّقُ للمستوى المائلِ بزيادةِ طولِه.

أُفكّر: هـلْ يمكـنُ أنْ تقـلَّ الفائدةُ الآليّةُ للمسـتوى المائـلِ عنْ (1)؟

المثال 5

يُرادُ رفعُ صندوقٍ وزنُه 800 N على سيارةِ شحنٍ عن طريقِ مستوًى مائلٍ أملسَ طولُه 1 m، كما في الشكلِ. أحسُبُ:

1. الفائدةَ الآليّةَ للمستوى المائلِ.
2. مقدارَ القوةِ (F_l).



المُعطياتُ: $l = 1$ m ، $h = 0.5$ m

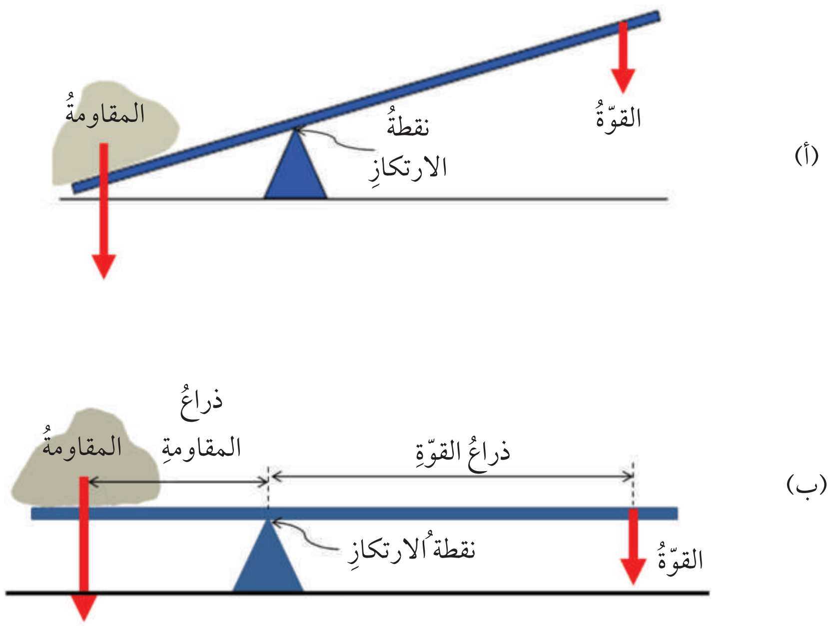
المقاومةُ: $F_g = 800$ N

المطلوبُ: الفائدةُ الآليّةُ ، F_l.

الحلُّ:

1. الفائدةُ الآليّةُ $= \frac{l}{h} = \frac{1}{0.5} = 2$

2. الفائدةُ الآليّةُ $= \frac{\text{المقاومةَ}}{\text{القوةِ}}$ ، $2 = \frac{800}{F}$ ، $F_l = 400$ N



الشكل (9): العتلةُ.

الرافعةُ Lever

تتكوّنُ الرافعةُ في أبسطِ أشكالِها من ساقٍ صُلبةٍ قابلةٍ للدورانِ حولَ نقطةٍ ثابتةٍ (محورٍ ثابتٍ)، وهذهِ النقطةُ الثابتةُ تُسمَّى نقطةَ الارتكازِ. والشكلُ (9/ أ) يوضّحُ أحدَ أشكالِ الروافعِ، التي تُعرفُ بالعَتلةِ، وتُستخدمُ في تحريكِ الأجسامِ الثقيلةِ بأقلِّ قوةٍ ممكنةٍ. وتقومُ فكرةُ عملِ الرافعةِ على التأثيرِ بقوةٍ عندَ أحدِ طرفي الساقِ، فتدورُ الساقُ حولَ نقطةِ الارتكازِ، ويرتفعُ الثِّقَلُ عندَ الطرفِ الآخرِ للساقِ، فيكونُ الشغلُ الذي تبذلُه القوةُ على أحدِ طرفي الساقِ مساويًا للشغلِ الذي يبذلُه الطرفُ الآخرُ للساقِ على المقاومةِ، على افتراضِ أنَّ الطاقةَ محفوظةٌ. وعندَما تكونُ الرافعةُ في حالةِ اتّزانٍ حولَ نقطةِ الارتكازِ كما في الشكلِ (9/ ب) فإنَّ:

القوةَ × ذراعِ القوةِ = المقاومةَ × ذراعِ المقاومةِ

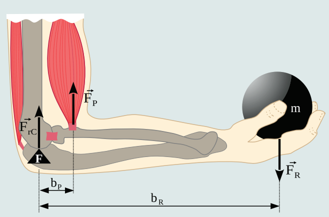
$$F_1 d_1 = F_2 d_2$$

حيثُ:

ذراعُ المقاومةِ (d_1): المسافةُ بينَ نقطةِ تأثيرِ المقاومةِ ونقطةِ الارتكازِ.

الربطُ بالعلومِ الحياتيةِ

تُسمَّى العضلةُ التي تسمحُ لكَ برفعِ ذراعِكَ العضلةَ ذاتَ الرأسينِ bicep. وعندَما تستخدمُ يدَكَ لرفعِ ثِقلٍ ما، فإنَّ العضلةَ ذاتَ الرأسينِ تنقبضُ، ويتمُّ سحبُ ساعدِكَ نحوَ كتفِكَ، أيْ إنَّ عظْمةَ الساعدِ تعملُ عملَ رافعةٍ ترتكزُ على مَفْصِلِ المَرْفِقِ، أتأمّلُ الشكلَ.



الربطُ بالتاريخ

أولُ مَن أشارَ إلى مبدأِ الرافعةِ العالمُ اليونانيُّ الشهيرُ أرخميدس في القرنِ الثالثِ قبلَ الميلادِ. حيثُ قالَ مقولتَه المشهورةَ حولَ هذا المبدأ: «أعطني مكانًا أقفُ فيه، وسأحرّكُ العالمَ»

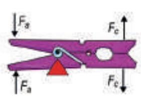
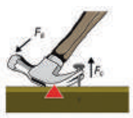
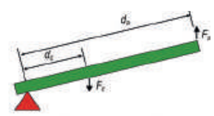
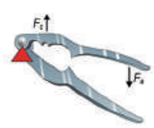
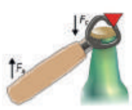
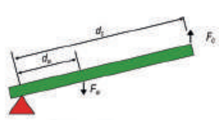
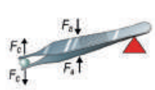
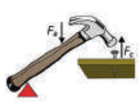
ذراعُ القوّةِ (d_2): المسافةُ بينَ نقطةِ تأثيرِ القوّةِ ونقطةِ الارتكازِ. ويُطلقُ على العَلاقةِ السابقةِ اسمَ: قانونِ الرافعةِ، وتكونُ الفائدةُ الآليّةُ للرافعةِ:

$$\text{الفائدةُ الآليّةُ} = \frac{\text{المقاومةُ}}{\text{القوةُ}} = \frac{\text{ذراعُ القوةِ}}{\text{ذراعُ المقاومةِ}} = \frac{d_2}{d_1}$$

ألاحظُ أنَّهُ كلّما قلَّ طولُ ذراعِ المقاومةِ بالنسبةِ إلى طولِ ذراعِ القوةِ زادتِ الفائدةُ الآليةُ للرافعةِ، وهذا يعني أنَّنا نحتاجُ إلى قوةٍ صغيرةٍ للتغلُّبِ على مقاومةٍ كبيرةٍ.

وتتعدّدُ أشكالُ الروافعِ واستخداماتُها تبعًا للمواقعِ النسبيّةِ لنقطةِ الارتكازِ، ونقطةِ تأثيرِ القوةِ، ونقطةِ تأثيرِ المقاومةِ، وهي تقعُ في ثلاثِ مجموعاتٍ يمكنُ تلخيصُها في الجدولِ (1).

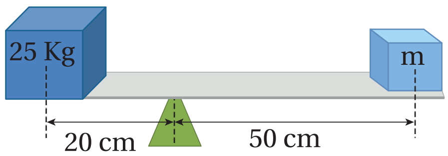
الجدولُ (1): أشكالُ الروافعِ.

المجموعة	الوصفُ	الشكلُ	أمثلةٌ عليها			
الأولى	نقطةُ الارتكازِ تقعُ بينَ القوةِ والمقاومةِ.					تُغيّرُ مقدارَ القوةِ واتجاهَها.
الثانيةُ	المقاومةُ تقعُ بينَ القوةِ ونقطةِ الارتكازِ.					تُضاعفُ مقدارَ القوةِ، وتُحافظُ على اتجاهِها.
الثالثةُ	القوةُ تقعُ بينَ المقاومةِ ونقطةِ الارتكازِ.					تُقلِّلُ من مقدارِ القوةِ، وتُحافظُ على اتجاهِها.

المثال 6

في الشكلِ لوحٌ خشبيٌّ استخدامَ رافعةٍ، ووضِعَ عليهِ جسمانِ فاتّزَنا أفقيًّا على البُعْدينِ الموضَّحين، أحسبُ:

1. كتلةَ الجسمِ (س).
2. الفائدةَ الآليّةَ للوحِ الخشبيِّ.



المُعطياتُ: $m_1 = 25$ Kg ، $d_1 = 20$ cm ، $d_2 = 50$ cm

المطلوبُ: m_2

الحلُّ:

1. كلٌ منَ الجسمينِ يؤثّرُ بقوّةٍ في الرافعةِ تساوي وزنَه F_g، أيْ إنَّ:

$F_1 = m_1 g$ ، $F_2 = m_2 g$

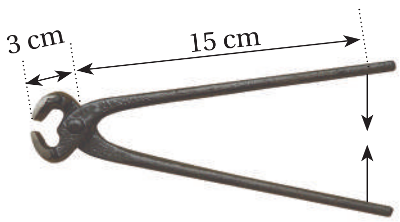
حيث: g تَسارعُ السقوطِ الحرِّ

$$F_1 d_1 = F_2 d_2$$
$$m_1 g d_1 = m_2 g d_2$$
$$m_2 g \times 50 = 25 \times g \times 20 \quad , \quad m_2 = 10\ kg$$

2. الفائدةُ الآليةُ = $\dfrac{d_2}{d_1} = \dfrac{50}{20} = 2.5$

المثال 7

يبيّنُ الشكلُ قطّاعةَ أسلاكٍ، معتمدًا على البياناتِ المُثبَتةِ على الشكلِ، أُجيبُ عمّا يأتي:



1. أُحدّدُ إلى أيِّ مجموعةٍ تنتمي هذهِ القطّاعةُ بوصفِها تعملُ عملَ رافعةٍ.
2. أحسبُ الفائدةَ الآليّةَ لهذهِ الرافعةِ.

المُعطياتُ: الشكلُ، $d_1 = 3$ cm ، $d_2 = 15$ cm

المطلوبُ: تحديدُ المجموعةِ التي تنتمي إليها القطّاعةُ، وحسابُ فائدتِها الآليةِ

الحلُّ:

نظرًا إلى أنَّ نقطةَ الارتكازِ تقعُ بينَ القوّةِ والمقاومةِ، فهي تنتمي إلى المجموعةِ الأولى.

$$\text{الفائدةُ الآليةُ} = \frac{\text{ذراعُ القوةِ}}{\text{ذراعُ المقاومةِ}} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{15}{3} = 5$$

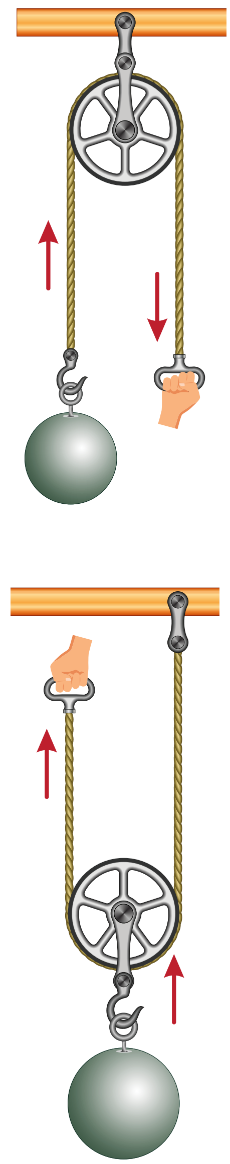
تمرين

في لعبةِ «السي سو» جلسَ طفلٌ وزنُه 300 N على أحدِ طرفي اللعبةِ وعلى بُعْدِ 1.8 m من نقطةِ الارتكازِ. أُحدّدُ على أيِّ بُعدٍ من نقطةِ الارتكازِ يجبُ أن يجلسَ طفلٌ آخرُ وزنُه 450 N على الطرفِ الآخرِ منَ اللعبةِ، على أن يكونَ يكونَ الطفلانِ في حالةِ اتزانٍ.

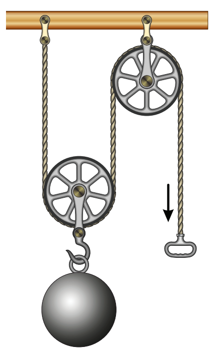
البكرةُ pulley

تتكوّنُ البكرةُ من قرصٍ دائريٍّ قابلٍ للدورانِ حولَ محورٍ، يلتفُّ حولّها حبلٌ خلالَ مجرًى خاصٍّ. تُعلَّقُ المقاومةُ بإحدى نهايتي الحبلِ، وتؤثِّرُ قوّةُ الشدِّ في نهايتِه الأخرى. والبكرةُ نوعانِ، ثابتةٌ ومتحركةٌ، حيث تعملُ البكرةُ الثابتةُ على تغييرِ اتجاهِ القوّةِ دونَ تغييرِ مقدارِها، كما في الشكلِ (10/ أ)، وتكونُ فائدتُها الآليّةُ (1)؛ لأنَّ قوّةَ الشدِّ اللازمةِ لرفعِ الثقلِ تكونُ مساويةً لوزنِه (أيْ أنَّ القوةَ تساوي المقاومةَ)، في حينِ تعملُ المتحركةُ على تنصيفِ مقدارِ القوّةِ دونَ تغييرِ اتّجاهِها، كما في الشكلِ (10/ ب)، وتكونُ فائدتُها الآليّةُ (2)؛ لأنَّ وزنَ الثقلِ يتوزّعُ على طرفي الحبلِ بالتساوي، الطرفِ المُثبتِ والطرفِ الحرِّ، لذا يكفي التأثيرُ بقوةِ شدٍّ في الطرفِ الحرِّ للحبلِ تساوي نصفَ وزنِ الثقلِ لسحبِه إلى أعلى أو خفضِه إلى أسفلَ. وتُستخدَمُ البكرةُ في رفعِ الأثقالِ أو خفضِها.

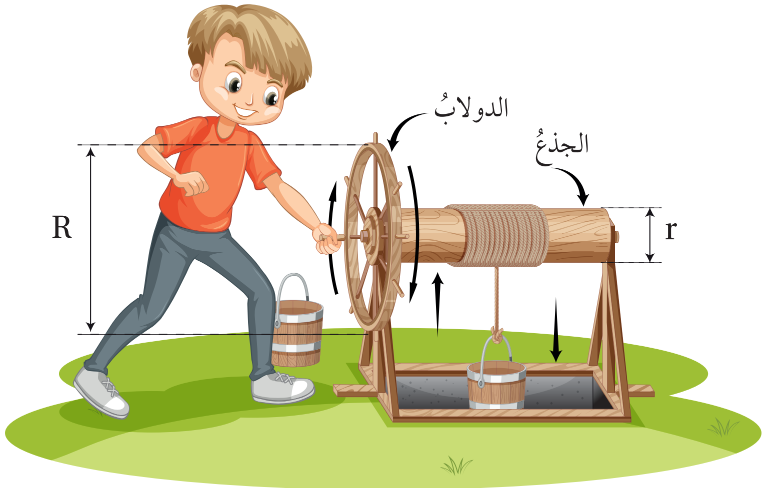
ولتسهيلِ العملِ باستخدامِ البكرةِ المتحركةِ بحيثُ تصبحُ قوةُ الشدِّ إلى أسفلَ بدلًا منَ الأعلى، يُوصَلُ بالبكرةِ المتحركةِ بكرةٌ أخرى ثابتةٌ، كما في الشكلِ (11/ أ)، وتكونُ الفائدةُ الآليةُ للمجموعةِ (2)، إذْ إنَّ البكرةَ الثابتةَ لا تُغيّرُ منَ الفائدةِ الآليّةِ، بلْ تُسهِّلُ العملَ فقطْ. ويُستخدمُ عادةً في رفعِ الأجسامِ الثقيلةِ نظامٌ منَ البكراتِ الثابتةِ والمتحركةِ يُثبَّتُ على روافعَ ضخمةٍ، كما في الشكلِ (11/ ب).



الشكل (10):
أ . بكرةٌ ثابتةٌ
ب. بكرةٌ متحركةٌ



الشكل (11):
أ . نظامٌ يتكوّنُ من بكرةٍ ثابتةٍ وأخرى متحركةٍ.
ب. نظامٌ يتكوّنُ من مجموعةٍ منَ البكراتِ الثابتةِ والمتحركةِ.



الشكل (12):
الدولابُ والجذعُ

الدولابُ والجِذْعُ Wheel and Axle

الدولابُ والجِذعُ نوعٌ آخرُ منَ الآلاتِ البسيطةِ يتألّفُ من دولابٍ قطرُه كبيرٌ نسبيًّا (R) مثبتٍ على محورٍ أصغرَ قطرًا (r) يُسمَّى الجذعُ، كما في الشكلِ (12). أمّا فائدتُه الآليةُ فهي: النسبةُ بينَ قطرِ الدولابِ إلى قطرِ الجِذعِ. وتتعدّدُ استخداماتُ الدولابِ والجِذعِ في حياتِنا اليوميّةِ، وفي الشكلِ (13) بعْضٌ منها.

الشكل (13): بعضُ استخداماتِ الدولابِ والجذعِ في حياتِنا.

كفاءةُ الآلةِ Efficiency of Machine

تعملُ الآلاتُ عمومًا على نقلِ الطاقةِ أو تحويلِها، فلا توجدُ آلةٌ تُنتِجُ الطاقةَ من تلقاءِ نفسِها، وقد لاحظتُ أنَّ الآلةَ البسيطةَ تعملُ عندَ التأثيرِ فيها بقوةٍ، أيْ يُبذلُ عليها شغلٌ، فتَبذلُ الآلةُ شغلًا على الجسمِ، أيْ يَنتجُ عنها شغلٌ، وهو الشغلُ المفيدُ الذي نحصلُ عليهِ منَ الآلةِ. وتُقاسُ كفاءةُ الآلةِ بنسبةِ الشغلِ الناتجِ منها إلى الشغلِ المبذولِ عليها، أيْ إنَّ:

$$\text{كفاءةَ الآلةِ} = \frac{\text{الشغلَ الناتجَ}}{\text{الشغلِ المبذولِ}} \times 100\%$$

وتصلُ كفاءةُ الآلةِ إلى 100% في الوضعِ المثاليِّ، عندَما يكونُ الشغلُ الناتجُ منَ الآلةِ مساويًا للشغلِ المبذولِ عليها، وهو ما حُسِبَت الفائدةُ الآليةُ للآلاتِ البسيطةِ بناءً عليهِ، ولكنْ في الواقعِ العمليِّ لا توجَدُ آلةٌ بسيطةٌ أو مركّبةٌ كفاءتُها100%، وذلك بسببِ ضياعِ جزءٍ منَ الطاقةِ نتيجةَ الاحتكاكِ. والشكلُ (14) يوضّحُ تحوّلاتِ الطاقةِ في الآلةِ البسيطةِ.

الشكل (13): تحوّلاتُ الطاقةِ في الآلةِ البسيطةِ.

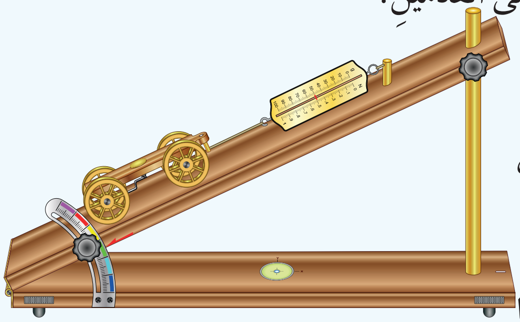
التجربةُ 2

الكفاءةُ الميكانيكيّةُ للمستوى المائلِ

الموادُّ والأدواتُ: مستوًى مائلٌ أملسُ، عربةٌ ميكانيكيّةٌ، ميزانٌ نابضيٌّ، مِسطرةٌ متريّةٌ، ورقٌ أبيضُ (A4)، قلمٌ.

إرشاداتُ السلامةِ: الحذرُ من سقوطِ الأجسامِ والأدواتِ على القدمينِ.

خطواتُ العملِ:



1. أَضعُ المستوى المائلَ على سطحٍ أفقيٍّ، ثمَّ أُثبّتُه على زاويةٍ معيّنةٍ كما في الشكلِ.
2. أضعُ العربةَ الميكانيكيّةَ في أسفلِ المستوى، وأثبّتُ بها الطرفَ السفليَّ للميزانِ النابضيِّ، ثمَّ أسحبُ الميزانَ بلطفٍ منَ الطرفِ الآخرِ إلى أعلى المستوى وباتجاهٍ موازٍ لهُ، على أنْ تتحركَ العربةُ بسرعةٍ ثابتةٍ.
3. **أقيسُ:** أُسجّلُ قراءةَ الميزانِ النابضيِّ في أثناءِ حركةِ العربةِ على المستوى المائلِ، وأدوِّنُها في الجدولِ الآتي:

الطريقةُ	قراءةُ الميزانِ	المسافةُ	الشُّغْلُ
استخدامُ المستوى المائلِ			
الرفعُ رأسيًّا			

4. **أَقيسُ** المسافةَ التي تَحرّكَتْها العربةُ على المستوى المائلِ، وأدوِّنُها في الجدولِ.
5. **أَقيسُ** وزنَ العربةِ باستخدامِ الميزانِ النابضيِّ، وأدوِّنُه في الجدولِ. ثمَّ أقيسُ ارتفاعَ المستوى المائلِ (من المستوى الذي وضِعَتْ فيهِ العربةُ إلى المستوى الذي وصلَتْ إليهِ)، وأدوِّنُه في الجدولِ.
9. أكرّرُ الخطوةَ السابقةَ مرتينِ إلى ثلاثِ مرّاتٍ، وأدوّنُ النتائجَ في كلِّ مرّةٍ في الجدولِ السّابقِ.

التحليلُ والاستنتاجُ

1. **أَحسُبُ** الفائدةَ الآليّةَ للمستوى المائلِ بقسمةِ طولِ السطحِ على ارتفاعِه.
2. **أَحسبُ** الفائدةَ الآليّةَ للمستوى المائلِ بقسمةِ قراءةِ الميزانِ في الوضعِ الرأسيِّ على قراءتِه عندَ استخدامِ المستوى المائلِ.
3. **أُقارنُ** بينَ قيمِ الفائدةِ الآليّةِ للمستوى المائلِ المحسوبةِ في الخطوتينِ (1، 2). وأُفسّرُ أيَّ اختلافٍ بينَهُما.
4. **أحسبُ** الشغلَ المبذولَ على العربةِ الميكانيكيّةِ في الحالتينِ: عندَ سحبِها على المستوى المائلِ، وعندَ رفعِها رأسيًّا، باستخدامِ العلاقةِ الآتيةِ: الشغلُ = قراءةَ الميزانِ × المسافةِ ، وأدوّنُ النتيجتينِ في الجدولِ السابقِ.
5. **أَحسبُ** الكفاءةَ الميكانيكيّةَ للمستوى المائلِ باستخدامِ العَلاقةِ الآتيةِ:

$$\text{كفاءةُ الآلةِ} = \frac{\text{الشغلَ الناتجَ}}{\text{الشغلِ المبذولِ}} \times 100\%$$

، حيثُ إنَّ الشغلَ الناتجَ: هو الشغلُ في حالةِ الرفعِ رأسيًّا، في حينِ أنَّ الشغلَ المبذولَ: هو الشغلُ في حالةِ استخدامِ المستوى المائلِ.

6. **أُحلّلُ**: اعتمادًا على النتائجِ التي تمَّ التوصّلُ إليها في الخطوتينِ (3، 5)، أفسّرُ عدمَ وصولِ كفاءةِ المستوى المائلِ إلى 100%.
7. **أتوقّعُ** مصادرَ الخطأِ المُحتَمَلةَ في التجربةِ.

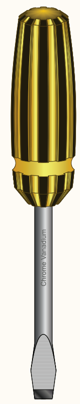
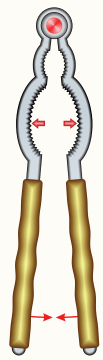
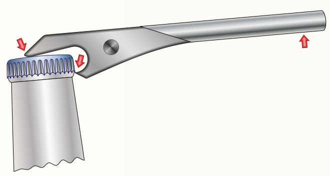
مراجعةُ الدرسِ

1. **الفكرةُ الرئيسةُ:** أُوضّحُ المقصودَ بالآلةِ البسيطةِ، وأذكرُ أنواعَها.

2. **أَصفُ** موضّحًا بالرسمِ عملَ الرافعةِ، مبيّنًا أشكالَها المختلفةَ.

3. **أُقارنُ** بينَ روافعِ المجموعةِ الثانيةِ والثالثةِ، منْ حيثُ: موقعُ نقطةِ الارتكازِ، قيمةُ الفائدةِ الآليّةِ.

4. **أُصنِّفُ** الآلاتِ البسيطةَ الآتيةَ إلى أنواعِها الرئيسةِ:

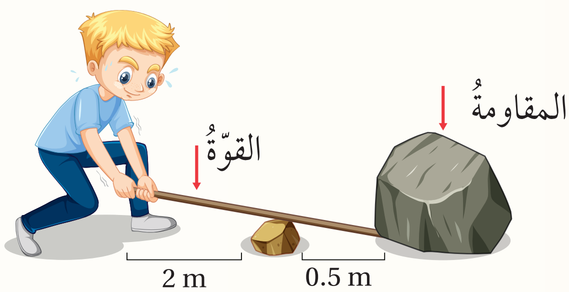





5. **أَستخدمُ المتغيّراتِ:** دُفِعَ جسمٌ وزنُه (500 N) إلى أعلى مستوًى مائلٍ بقوةٍ مقدارُها (250 N)، أحسبُ:

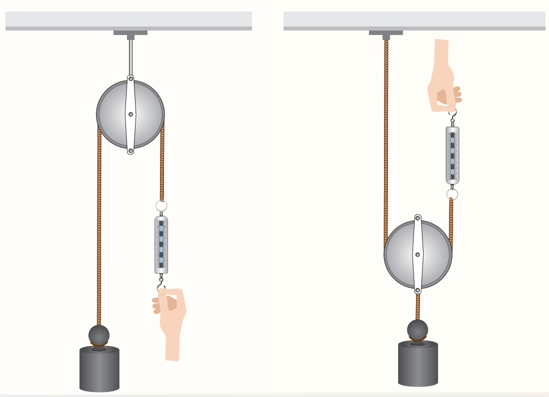
أ . الفائدةَ الآليّةَ للمستوى المائلِ.

ب. طولَ المستوى إذا كانَ ارتفاعُه (4 m).

6. **أَحسبُ:** يمثّلُ الشكلُ ولدًا يحاولُ رفعَ صخرةٍ وزنُها (1000 N) باستخدامِ عتلةٍ. أَحسبُ القوّةَ التي يجبُ أنْ يؤثّرَ بها الولدُ لرفعِ الصخرةِ.



7. **أُطبّقُ:** إذا كانَ وزنُ الثّقلِ في الشكلينِ (20 N)، فأجدُ قراءةَ كلٍّ منَ الميزانينِ النابضيّينِ.



الإثراءُ والتوسّعُ

الفيزياءُ والحياةُ

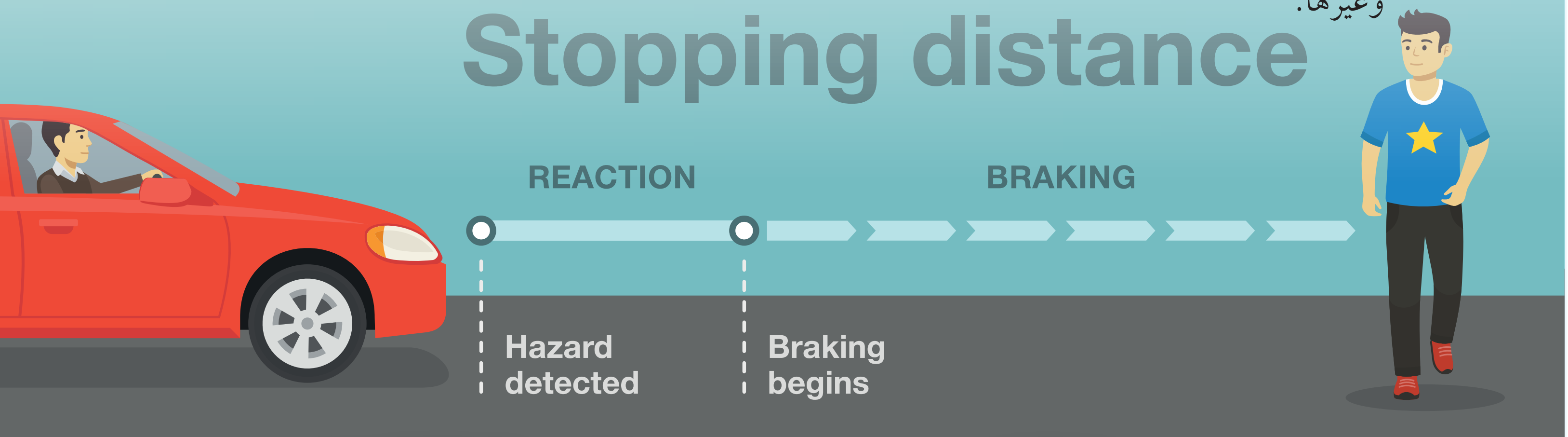
القيادةُ الآمنةُ

يسعى العاملونَ في مجالِ صناعةِ السياراتِ إلى تزويدِ المَركباتِ بوسائلَ تكنولوجيةٍ حديثةٍ تجعلُها أكثرَ أمانًا، لكنَّ الأمرَ لا يتعلّقُ بالسيارةِ فقطْ، فكثيرٌ منْ حوادثِ السيرِ تعودُ إلى أخطاءٍ بشريّةٍ لعلَّ أهمَّها عدمُ التقيُّدِ بالحدِّ الأعلى للسرعةِ.

فعندَما يشاهدُ السائقُ أمرًا يتطلّبُ إيقافَ السيارةِ، يُرسِلُ الدماغُ إشارةً إلى القدمِ بالضغطِ على الكوابحِ (الفراملِ)، وعمليةُ التفكيرِ هذهِ تستغرقُ زمنًا يُسمّى زمنَ ردِّ الفعلِ، تكونُ السيارةُ خلالَه قد قطعتْ مسافةً تُسمَّى مسافةَ ردِّ الفعلِ.

وعندَما يضغطُ السائقُ على الكوابحِ يزدادُ مقدارُ قوّةِ الاحتكاكِ المؤثّرةِ في السيارةِ، ونظرًا إلى أنَّها تؤثّرُ عكسَ اتجاهِ حركةِ السيارةِ، فإنَّها تبذلُ شغلًا سالبًا على السيارةِ يؤدّي إلى تناقصِ طاقتِها الحركيّةِ إلى أنْ تتوقّفَ، وخلالَ ذلكَ تكونُ قد قطعتْ مسافةً تُسمّى مسافةَ الكبحِ (الفرملةِ)، وكلّما كانتِ الطاقةُ الحركيّةُ للسيارةِ أكبرَ، فإنَّها ستقطعُ مسافةً أكبرَ قبلَ أنْ تتوقّفَ.

مسافةُ التوقُّفِ هي المسافةُ الكليّةُ التي تقطعُها السيارةُ قبلَ أنْ تتوقّفَ، وتساوي مجموعَ مسافتي ردِّ الفعلِ والكبحِ (والفرملة)، ومنَ العواملِ التي تزيدُ مسافةَ التوقُّفِ التحدّثُ بالهاتفِ في أثناءِ القيادةِ، وقيادةُ مَركبةٍ إطاراتُها قديمةٌ... وغيرُها.



أبحثُ أتعاونُ وأفرادُ مجموعتي على تنفيذِ إحدى المهامِّ الآتيةِ:

- أبحثُ في العواملِ المؤثّرةِ في مقدارِ زمنِ ردِّ الفعلِ، وكيفَ تتغيّرُ مسافةُ ردِّ الفعلِ بزيادةِ سرعةِ السيارةِ.
- أصمّمُ عرضًا أستعرضُ فيهِ التقنياتِ الحديثةَ المُستخدمةَ في السياراتِ لجعلِها أكثرَ أمانًا.
- أصمّمُ تجربةً لدراسةِ أحدِ العواملِ المؤثّرةِ في مسافةِ الكبحِ (الفرملةِ)، مثلُ: خشونةِ الطريقِ، أو حالةِ إطاراتِ السيارةِ.

مراجعةُ الوحدةِ

1. أَضعُ دائرةً حولَ رمزِ الإجابةِ الصحيحةِ لكلِّ جملةٍ ممّا يأتي:

1. يكونُ الشغلُ المبذولُ (1 J)، عندَما تؤثّرُ قوّةٌ مقدارُها (0.1 N) فتحرّكُ الجسمَ باتجاهِها مسافةً:

أ . (0.01 m)   ب . (0.1 m)

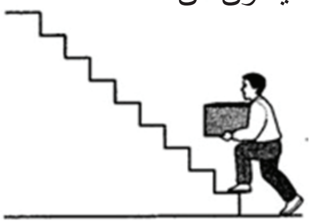
جـ. (1 m)   د . (10 m)

2. جسمانِ (A,B) يتحركانِ بالسرعةِ نفسِها، كتلةُ الجسمِ (B) ثلاثةُ أضعافِ كتلةِ الجسمِ (A)، إذا كانتِ الطاقةُ الحركيّةُ للجسمِ (A) تساوي (KE)، فإنَّ الطاقةَ الحركيّةَ للجسمِ (B) تساوي:

أ . $\frac{1}{3}KE$ ب . KE

جـ. $3\,KE$ د . $9KE$

3. يبيّنُ الشكلُ طالبًا كتلتُه (30 kg)، ويحملُ صندوقًا كتلتُه (1.0 kg). ويصعدُ درجًا يتكوّنُ من (20) درجةً، ارتفاعُ الدرجةِ الواحدةِ (20 cm). فالشغلُ الذي يبذلُه يساوي:



أ . 400 J   ب . 620 J

جـ. 1200 J   د . 1240 J

4. أيٌّ ممّا يأتي ليسَ من أغراضِ الآلةِ البسيطةِ؟

أ . تغييرُ مقدارِ القوةِ   ب . تغييرُ اتجاهِ القوةِ

جـ. إنتاجُ الطاقةِ   د . نقلُ الطاقةِ

5. أيُّ الآلاتِ البسيطةِ الآتيةِ تُغيّرُ اتجاهَ القوةِ؟

أ . مِلقطُ الفحمِ   ب . كسّارةُ البندقِ

جـ. البكرةُ الثابتةُ   د . البكرةُ المتحركةُ

6. آلةٌ بسيطةٌ فائدتُها الآليّةُ أقلُّ منْ (1)، هيَ:

أ . البكرةُ الثابتةُ   ب . المِلقطُ

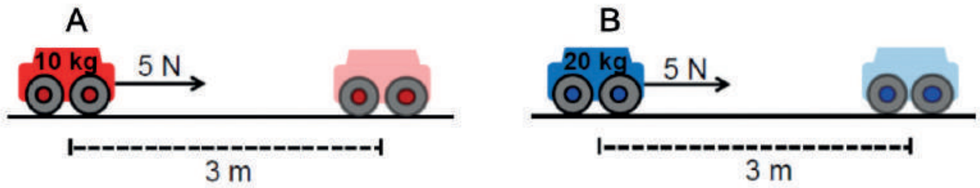
جـ. المستوى المائلُ   د . الدولابُ والجِذْعُ

2. **التفكيرُ الناقدُ:** يصعدُ شخصٌ كتلتُه (70 kg) وطفلٌ كتلتُه (35 kg) الدرجَ معًا (في المدّةِ الزمنيةِ نفسِها)، فلماذا تكونُ قدرةُ الرجلِ ضعفَ قدرةِ الطفلِ؟

3. **أحسبُ** الشغلَ الذي تبذلُه آلةٌ قدرتُها (75 KW) خلالَ (20 s).

4. **أستخدمُ المتغيّراتِ:** شاحنةٌ كتلتُها (6000 kg) تتحركُ على طريقٍ أفقيٍّ بسرعةِ (15 m/s)، وسيارةٌ كتلتُها (2000 kg) تتحركُ على الطريقِ نفسِه بسرعةِ (30 m/s). أقارنُ بينَ طاقتَيْهما الحركيّةِ.

5. **أحلّلُ:** يبيّنُ الشكلُ عربتينِ كتلتاهُما $(m_A = 10\ kg)$ ، $(m_B = 20\ kg)$. والعربتانِ موضوعتانِ على سطحٍ أملسَ، أثّرتْ فيهما قوّتانِ متساويتانِ مقدارُ كلٍّ منهُما (5N) فتحرّكتا منَ السكونِ إلى جهةِ اليمينِ مسافةَ (3m).

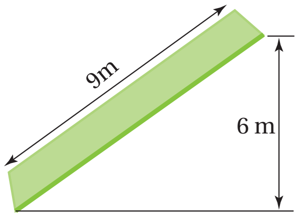


أ . أفسّرُ ما يأتي: الشغلُ المبذولُ على السيارتينِ متساوٍ.

ب . هلْ تكتسبُ السيارتانِ المقدارَ نفسَه منَ الطاقةِ الحركيّةِ ؟ أفسّرُ إجابتي.

جـ . أتوقّعُ: أيُّ السيارتينِ سرعتُها أكبرُ بعدَ قطعِ مسافةِ (3m)؟ أُعطي دليلًا يدعمُ صحّةَ إجابتي.

6. **أَستخدمُ المتغيّراتِ:** في الشكلِ المجاورِ مستوًى مائلٌ طولُه (9)، وارتفاعُه (6).أَجدُ:

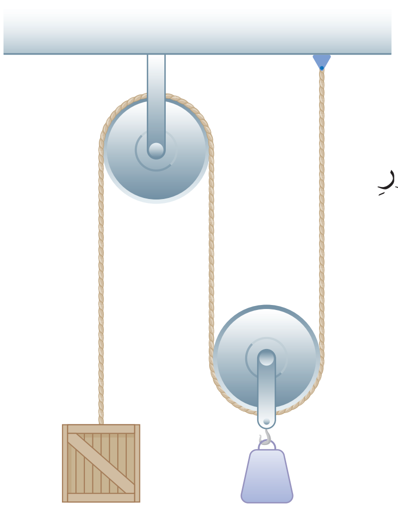


أ . الفائدةَ الآليّةَ للمستوى.

ب . القوّةَ اللازمةَ لرفعِ جسمٍ وزنُه (300 N) من أسفلِ المستوى إلى أعلاهُ.

7. **أُفسّرُ:** عدمَ وصولِ كفاءةِ الآلةِ البسيطةِ إلى 100%.

8. **أُحلّلُ:** أُحدّدُ كلًّا منَ القوّةِ، والمقاومةِ، ونقطةِ الارتكازِ لكلٍّ منَ الروافعِ الآتيةِ، ثمَّ أصنّفُها إلى مجموعاتِها الثلاثِ.



9. **التفكيرُ الناقدُ:** إذا كانَ وزنُ الثِّقلِ المعلَّقِ بالبكرةِ المتحركةِ في الشكلِ المجاورِ يساوي (30 N)، فأجدُ وزنَ الصندوقِ، علمًا بأنَّ النظامَ في حالةِ اتزانٍ.

مسردُ المصطلحاتِ

- **الأرقامُ المعنويّةُ (Significant Figures):** الأرقامُ المؤكّدةُ التي تنتجُ عنْ عمليّةِ القياسِ إضافةً إلى الرقمِ التقديريِّ.

- **الآلةُ البسيطةُ (Simple Machine):** أداةٌ تساعدُنا على إنجازِ الشُّغلِ بسهولةٍ.

- **بادِئاتُ الوحداتِ (Unit Prefixes):** إحدى قوى الأساسِ (10)، وترمزُ إلى أجزاءِ الوحداتِ أو مضاعفاتِها.

- **البَكرةُ (pulley)** قرصٌ دائريٌّ قابلٌ للدورانِ حولَ محورٍ، يلتفُّ حولَها حبلٌ خلالَ مجرًى خاصٍّ.

- **التسارعُ الثابتُ (Constant Acceleration):** الحركةُ بخطٍّ مستقيمٍ بسرعةٍ متغيّرةٍ، على أنْ يكونَ التغيّرُ في السرعةِ بالمقدارِ نفسِه في كلِّ ثانيةٍ.

- **الخطأُ التجريبيُّ (Experimental Error):** الفرقُ بينَ القيمةِ المقيسةِ والقيمةِ الحقيقيّةِ (الصحيحةِ) للكميّةِ الفيزيائيّةِ.

- **الأخطاءُ العشوائيّةُ (Random Errors):** الأخطاءُ التي لا تأخذُ نمطًا محدّدًا عندَ تكرارِ عمليّةِ القياسِ تحتَ الظروفِ نفسِها، إذْ تكونُ بعضُ القيمِ (القياساتِ) أكبرَ منَ القيمةِ الحقيقيّةِ وبعضُها الآخرُ أقلَّ.

- **الخطأُ المُطلقُ (Absolute Error):** الفرقُ المطلقُ بينَ القيمةِ المقيسةِ والقيمةِ الحقيقيّةِ (المقبولةِ).

- **الخطأُ النسبيُّ (Relative Error):** النسبةُ بينَ الخطأِ المطلقِ والقيمةِ الحقيقيّةِ (المقبولةِ).

- **الأخطاءُ المنتَظمةُ (Systematic Errors):** الأخطاءُ التي تؤثّرُ في القياساتِ جميعِها بالمقدارِ نفسِه وباتجاهٍ واحدٍ، على أنْ تكونَ هذهِ القياساتُ أكبرَ منَ القيمةِ الحقيقيّةِ أو أصغرَ منها.

- **دقّةُ القياسِ (Accuracy):** مدى اقترابِ القيمةِ المقيسةِ منَ القيمةِ الحقيقيّةِ للكميّةِ الفيزيائيّةِ.

- **الدولابُ والجِذعُ (Wheel and Axle):** دولابٌ قُطْرُه كبيرٌ نسبيًّا مثبتٌ على محورٍ أصغرَ قطرًا يُسمّى الجِذعَ.

- **الرافعةُ (Lever):** ساقٌ صُلْبةٌ قابلةٌ للدورانِ حولَ نقطةٍ ثابتةٍ (محورٍ ثابتٍ).

- **الضبطُ (Precision):** مدى التوافقِ (الاتّساقِ) بينَ القياساتِ عندَ تكرارِها تحتَ الظروفِ نفسِها.

- **السرعةُ الثابتةُ (Constant Velocity):** الحركةُ بخطٍّ مستقيمٍ، على أنْ يقطعَ الجسمُ إزاحاتٍ متساويةً في أزمنةٍ متساويةٍ.

- **الشُّغلُ (Work):** كميّةٌ فيزيائيّةٌ تساوي ناتجَ ضربِ القوّةِ في الإزاحةِ التي يتحرّكُها الجسمُ باتّجاهِ تلكَ القوةِ.

- **القُدرةُ (Power):** المعدّلُ الزمنيُّ لبذلِ الشغلِ، وتُحسبُ بقسمةِ الشغلِ المبذولِ على الزمنِ اللازمِ لبذلِه.

- **قوى التأثيرِ عنْ بُعدٍ (Action-at-a-Distance Forces):** قوًى تنشأُ بينَ الأجسامِ دونَ الحاجةِ إلى وجودِ تلامسٍ مباشرٍ بينَها.

- **قوى التلامسِ (Contact Forces):** قوًى تتطلّبُ تلامسًا مباشرًا بينَ الأجسامِ.

- **القانونُ الأولُ لنيوتن (Newton's First law):** الجسمُ يظلُّ على حالتِه الحركيّةِ منْ حيثُ السكونُ أو الحركةُ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا واتجاهًا، ما لم تؤثّرْ فيهِ قوّةٌ خارجيّةٌ محصّلةٌ تُغيّرُ حالتَهُ الحركيّةَ.

- **القانونُ الثالثُ لنيوتن (Newton's Third law):** إذا تفاعلَ جسمانِ فإنَّ القوةَ التي يؤثّرُ بها الجسمُ الأولُ في الجسمِ الثاني تساوي في المقدارِ وتُعاكسُ في الاتجاهِ القوةَ التي يؤثّرُ بها الجسمُ الثاني في الجسمِ الأولِ.

- **القانونُ الثاني لنيوتن (Newton's Second law):** تتناسبُ القوّةُ المحصِّلةُ المؤثّرةُ في الجسمِ طرديًّا معَ تسارُعِ الجسمِ.

- **القوّةُ (Force):** تأثيرٌ يؤدّي إلى تغييرٍ في الحالةِ الحركيّةِ للجسمِ.
- **القيـاسُ (Measurement):** وسيلةٌ للتعبيرِ بالأرقـامِ عنْ كميـةٍ فيزيائيةٍ، عن طريـقِ مقارنتِها بكميّةٍ معلومـةٍ منَ النوعِ نفسِـه تُسـمّى وحـدةَ القياسِ.
- **كفاءةُ الآلةِ (Efficiency of Machine):** نسبةُ الشغلِ الناتجِ منها إلى الشغلِ المبذولِ عليها.
- **الكميّـةُ الفيزيائيّـةُ (Physical Quantity):** كلُّ جـزءٍ مـنَ الطبيعـةِ يمكـنُ تحديـدُ كميّتِـه بالقيـاسِ أو بالحسـابِ، يُعبَّـرُ عنهـا بقيمـةٍ عدديّـةٍ مُرفَقـةٍ عـادةً بوحـدةِ قياسٍ.
- **النظـامُ الدولـيُّ للوحـداتِ (International System of Units):** نظـامُ الوحـداتِ الدوليّـةِ الذي طُوِّرَ وأَوصـى بـهِ المؤتمـرُ العامُّ لـلأوزانِ والمقاييسِ عـامَ 1971م.
- **الوحـداتُ الأساسـيّةُ (Basic Units):** وحـداتٌ يمكـنُ أنْ يُشـتَقَّ منهـا سـائرُ الوحـداتِ، وهـي سـبعُ وحـداتٍ تُسـتخدَمُ فـي قيـاسِ الكميّـاتِ.
- **الوحداتُ المُشتقَّةُ (Derived Units):** وحداتٌ مشتقّةٌ منَ الوحداتِ الأساسيّةِ.

قائمةُ المراجعِ (References)

1. Malcom Bradley and Susan Gardner, **Cambridge Igcse Physics**, Harper Collins Publishers Limited 2014.

2. Michael Smyth, Lynn Pharaoh, Richard Grimmer, Chris Bishop and Carol Davenport, **Cambridge International AS& A Level Physics**, Harper Collins Publishers Limited 2020.

3. Raymond A. Serway, Jerry S. Faughn. **Physics**, Holt, Rinehart and Winston, 2006.

Collins