



الفيزياء

الصف العاشر - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الأول

10

فريق التأليف

د. موسى عطا الله الطراونة (رئيساً)

خلدون سليمان المصاروة

يعقوب أحمد طواهها

أ.د. محمود إسماعيل الجاغوب

موسى محمود جرادات

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

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



06-5376262 / 237



06-5376266



P.O.Box: 2088 Amman 11941



@nccdjour



feedback@nccd.gov.jo



www.nccd.gov.jo

قررت وزارة التربية والتعليم تدريس هذا الكتاب في مدارس المملكة الأردنية الهاشمية جميعها، بناءً على قرار المجلس الأعلى للمركز الوطني لتطوير المناهج في جلسته رقم (3/2020)، تاريخ 2/6/2020 م، وقرار مجلس التربية والتعليم رقم (43/2020)، تاريخ 18/6/2020 م بدءاً من العام الدراسي 2020 / 2021 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 - 254 - 1

المملكة الأردنية الهاشمية

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية:

(2022/3/1367)

375,001

الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج

الفيزياء: الصف العاشر: كتاب الطالب (الفصل الأول) / المركز الوطني لتطوير المناهج. - ط2؛ مزيدة ومنقحة. - عمان: المركز، 2022
(110) ص.

ر.إ.: 2022/3/1367

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

يتحمّل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مُصَنَّف، ولا يُعبّر هذا المُصَنَّف 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.

م 2020 هـ / 1441

م 2025 - 2021



الطبعة الأولى (التجريبية)

أعيدت طباعته

قائمة المحتويات

| الصفحة | الموضوع |
|--------|---|
| 5 | المقدمة |
| 7 | الوحدة الأولى: المتجهات |
| 9 | تجربة استهلالية: ناتج جمع قوتين عملياً |
| 10 | الدرس الأول: الكميات القياسية والكميات المتجهة |
| 22 | الدرس الثاني: جمع المتجهات وطرحها |
| 39 | الوحدة الثانية: الحركة |
| 41 | تجربة استهلالية: وصف الحركة باستخدام المدرج الهوائي |
| 42 | الدرس الأول: الحركة في بعدين واحد |
| 64 | الدرس الثاني: الحركة في بعدين |
| 79 | الوحدة الثالثة: القوى |
| 81 | تجربة استهلالية: القصور الذاتي |
| 82 | الدرس الأول: القانون الأول في الحركة لنيوتن |
| 90 | الدرس الثاني: القانون الثاني والقانون الثالث في الحركة لنيوتن |
| 107 | مسرد المصطلحات |
| 110 | قائمة المراجع |

المقدمة

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

يُعدُّ هذا الكتاب واحداً من سلسلة كتب المباحث العلمية التي تُعنى بتنمية المفاهيم العلمية، ومهارات التفكير وحل المشكلات، ودمج المفاهيم الحياتية والمفاهيم العابرة للمواد الدراسية، والإفادة من الخبرات الوطنية في عمليات الإعداد والتأليف وفق أفضل الطرائق المتَّبعة عالمياً؛ لضمان انسجامها مع القيم الوطنية الراسخة، وتلبيتها لاحتياجات أبنائنا الطلبة والمعلِّمين والمعلمات.

وقد روِّيَ في تأليفه تقديم المعلومة العلمية الدقيقة وفق منهجية تقوم على السلامة في العرض، والوضوح في التعبير، فضلاً عن الرابط بين الموضوعات المطروحة في المراحل الدراسية السابقة واللاحقة، واعتماد منهجية التدُّرُّج في عرض موضوعات المادة، واستهلال وحداتها بأسئلة تُظهر علاقة علم الفيزياء بالظواهر من حولنا؛ ما يُحفزُ الطلبة على الإفادة مما يتعلمونه بغرفة الصدف في تفسير مشاهدات يومية وظواهر طبيعية قد تحدث أمامهم، أو يشاهدونها في التلفاز، أو يسمعون عنها. وقد تضمنَت كل وحدة نشاطاً إثريائياً يعتمد منحى STEAM في التعليم الذي يستعمل لدمج العلوم والتكنولوجيا والهندسة والفن والعلوم الإنسانية والرياضيات في أنشطة الكتاب المتنوعة، وفي قضايا البحث.

ويتألَّف الكتاب من ثلاثة وحدات دراسية، هي: المَّتجهات، والحركة، والقوى. وقد أُلْحق به كتابٌ للأنشطة والتجارب العملية، يحتوي على جميع التجارب والأنشطة الواردة في كتاب الطالب؛ لمساعدة الطلبة على تفزيذها بسهولة، بإشراف المعلم / المعلِّمة، ومشاركة زملائهم فيها، بما في ذلك رصد القراءات، وتحليلها، ثم مناقشتها، وصولاً إلى استنتاجات مبنية على أسس علمية سلمية. وتضمنَ أيضاً أسئلة تحاكبي أسئلة الاختبارات الدولية؛ بغية تعزيز فهم الطلبة لموضوعات المادة، وتنمية التفكير الناقد لديهم.

ونحن إذ نقدّم هذه الطبعة من الكتاب، فإنّا نأمل أن يُسهم في تحقيق الأهداف والغايات النهائية المنشودة لبناء شخصيّة الطلبة، وتنمية اتجاهات حبّ التعلّم ومهارات التعلّم المستمرّ، فضلاً عن تحسين الكتاب بإضافة الجديد إلى محتواه، وإثراء أنشطته المتنوعة، والأخذ بلاحظات المعلّمين والمعلمات.

والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

الوحدة

1

المُتَجَهُاتُ

Vectors



أتَأْمَلُ الصُورَةَ

يكون اتجاه حركة الطائرات في أثناء هبوطها في الأحوال الاعتيادية موازياً لمدرج المطار، وأحياناً يواجه الطيار صعوباتٍ في أثناء عملية الهبوط في الأجواء العاصفة عندما يكون اتجاه الرياح عمودياً على اتجاه المدرج، فيلجأ حينئذ إلى توجيه مقدمة الطائرة على نحو منحرف عن اتجاه المدرج بعكس اتجاه هذه الرياح، كما هو مبين في الصورة. وهذا ما حدث مع طيار أردني؛ إذ تمكّن من الهبوط بأمان على الرغم من العاصفة القوية التي ضربت مطار هيثرو في لندن عام 2020 م، علماً أنه تعرّضَ على عشرين طائرةً للهبوط وقتئذ.

فما الهدف من توجيه الطيار مقدمة الطائرة نحو اتجاه المبين في الشكل؟ وما أثر ذلك في السلامة العامة؟

الفكرةُ العامةُ:

الكمياتُ الفيزيائيةُ عديدةٌ ومتعددةٌ، فبعضُها كمياتٌ مُتَّجِهَةٌ تتطَلَّبُ تحديدَ المقدارِ والاتجاهِ للتعبيرِ عنها على نحوٍ كاملٍ صحيحٍ، وبعضُها الآخرُ كمياتٌ قياسيةٌ تحدَّدُ بالمقدارِ فقطُ وليسَ لها اتجاهٌ، ويختلفُ التعاملُ معَ الكمياتِ المُتَّجِهَةِ، وإجراءِ العملياتِ الحسابيةِ عليها اختلافاً كبيراً عنِ الكمياتِ القياسيةِ.

الدرسُ الأولُ: الكمياتُ القياسيةُ والكمياتُ المُتَّجِهَةُ
الفكرةُ الرئيسةُ: للكمياتِ المُتَّجِهَةِ خصائصٌ تمتازُ بها عنِ الكمياتِ القياسيةِ.

الدرسُ الثاني: جمعُ المُتَّجِهَاتِ وطرحُها

الفكرةُ الرئيسةُ: جمعُ الكمياتِ المُتَّجِهَةِ أو طرحُها يكونُ إماً بيانيًّا، وإماً رياضيًّا عنْ طريقِ تحليلِ الكمياتِ المُتَّجِهَةِ إلى مركباتِها.

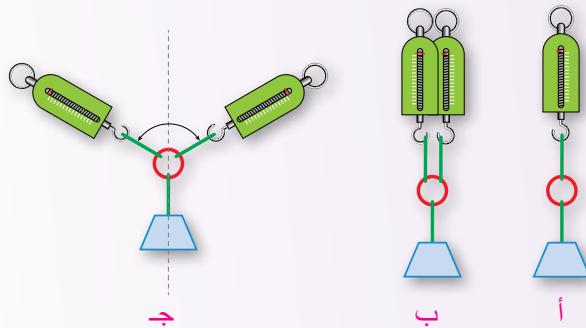


ناتج جمع قوتين عملياً

ادعى أن مجموع قوتين مقدار كلٌّ منهما 5 N تؤثران في جسم، هو $5\text{ N} + 5\text{ N} = 5\text{ N}$ ، في حين ادعى يمان أن مجموع القوتين $5\text{ N} + 5\text{ N} = 10\text{ N}$. أيهما تؤيد؟

المواد والأدوات: ثقل كتلته 500 g ، ميزانان نابضيان، ثلاثة خيوط متساوية في الطول، حلقة مهمالة الوزن تقريباً.

إرشادات السلامة: الحذر من سقوط الأجسام والأدوات على القدمين.



خطوات العمل:

بالتعاون مع أفراد مجروعي، أُنفِّذ الخطوات الآتية:

1 **أقيس:** أعلق الثقل بالميزان الأول، كما في الشكل (أ)، ثم أدون القراءة.

2 **أقيس:** أعلق الميزان الثاني بالحلقة، إضافة إلى الميزان الأول، كما في الشكل (ب)، ثم أدون قراءة كل من الميزانين.

3 **أقيس:** أزيح كلاً من الميزانين في الشكل (ب): أحدهما إلى اليمين، والآخر إلى اليسار، كما في الشكل (ج)، حتى تصبح قراءة كل ميزان متساوية لقراءة الميزان في الشكل (أ)، ثم أدون قراءتيهما في الجدول.

التحليل والاستنتاج:

- ما إذا تمثل قراءة الميزان الأول في الحالة (أ)؟
- كيف تغيرت قراءة كل من الميزانين في الحالتين (ب) و (ج)؟
- أفارن** مجموع قراءة الموزفين في الحالة (ب) والحالة (ج) بوزن الثقل.
- أصدر حكماً:** أحدد أيهما أثبت: ادعاء هيا أم ادعاء يمان، ماذا أستنتج؟

الكميات الفيزيائية Physical Quantities

نتعامل في حياتنا مع كمياتٍ فизيائيةٍ عديدةٍ؛ سواءً أكانت كمياتٍ أساسيةٍ (مثل: الزمن، درجة الحرارة، الكتلة، الطول)، أو كمياتٍ مشتقةٍ (مثل: القوّة، السرعة، التسارع)، ويعبرُ عن بعضِ تلكَ الكمياتِ بعددٍ ووحدةٍ مناسبٍ، فنقولُ مثلاً إنَّ كتلةَ الحقيقةِ kg 6، وسرعةَ الطائرةِ m/s 200. ولكنْ، هل كانَ وصفُ كلٌّ منَ الكميتينِ كافياً؟

يُوضّحُ الشكلُ (1) حالةَ الطقسِ المتوقعةَ في العاصمةِ عمانَ بحسبِ تنبؤاتِ دائرةِ الأرصادِ الجويةِ الأردنيةِ. ما الكمياتُ الفيزيائيةُ التي ظهرتُ في النشرةِ الجويةِ؟ هل اختلفَ وصفُ كلٍّ منها عن غيرِه؟

يلاحظُ وجودُ كمياتٍ فизيائيةٍ يكفي تحديدُ مقدارِها فقطً لوصفِها وصفاً كاملاً، وأخرى يلزمُ تحديدُ مقدارِها واتجاهِها معاً.

| في النهار | | محافظة العاصمة - عمان |
|------------------|-------------|-----------------------|
| الطقس | امطار خفيفة | |
| 9°C | 24 km/h | درجة الحرارة |
| | | سرعة الرياح |
| في المساء والليل | | |
| امطار خفيفة | | اتجاه الرياح |
| 4°C | 22 km/h | درجة الحرارة |
| | | سرعة الرياح |
| | | اتجاه الرياح |

الفكرةُ الرئيسيةُ:

للكمياتِ المتجهةٍ خصائصٌ تمتازُ بها عنِ الكمياتِ القياسيةِ.

نتائجُ التعلمُ:

- أوضحُ المقصود بالكمياتِ الفيزيائيةِ المتجهةِ، والقياسيةِ.
- استنتجُ خصائصَ المتجهاتِ بطرقٍ مختلفةٍ.
- أحسبُ الزاويةَ المحصورةَ بينَ متجهينٍ باستخدامِ تعريفِ الضربِ القياسيِ لمتجهينِ.
- أطبقُ خصائصَ المتجهاتِ علىِ كمياتِ فизيائيةٍ متجهةٍ.

المفاهيم والمصطلحان:

- .الكمياتُ المتجهةُ
- .الكمياتُ القياسيةُ
- تمثيلُ المتجهاتِ
- .Representation of Vectors
- .تساوي متجهين
- .الناتجُ المتجهي
- .الضربُ القياسيُ
- .الضربُ المتجهيُ

الشكلُ (1): حالةُ الطقسِ

في العاصمةِ عمانَ.

بوجهٍ عامًّ، تُقسَّمُ الكمياتُ الفيزيائيةُ إلى قسمينِ رئيسيينِ، هما:

أ. الكمياتُ القياسيةُ

هيَ الكمياتُ التي تُحدَّدُ فقطُ بالمقدارِ، ولا يوجدُ لها اتجاهٌ.
ففي الشكل (1)، يُكتفى بالقولِ إنَّ درجةَ حرارةَ الجوِ 9°C نهاراً.
وحيثَ يسألني أحدُ زملائي في الصفَّ عنْ مقدارِ كتلتي، فإنَّي أُجِيبُهُ مثلاً: 50 kg. ومنَ الأمثلةِ الأخرى علىَ **الكمياتِ القياسيةِ**
الحجمُ، والطاقةُ، والضغطُ.

ب. الكمياتُ المُتَجَهَّةُ

هيَ الكمياتُ التي تُحدَّدُ بالمقدارِ والاتجاهِ معًا. ففي ما يخصُّ
سرعةَ الرياحِ مثلاً في الشكل (1)، لا يُكتفى بالقولِ إنَّ مقدارَها
 24 km/h نهاراً، وإنَّما يجبُ تحديدُ اتجاهِها نحوَ الشرقِ لكيُّ يصبحَ
وصفُها كاملاً. وكذلكَ لاعبُ كرةِ القدم؛ فهوَ يركِّلُ الكرةَ بقدمِهِ
لتتنطلقَ بسرعةٍ كبيرةٍ وفي اتجاهٍ مُحدَّدٍ لكيُّ يسجِّلَ هدفاً في المرمى.
ومنَ الأمثلةِ الأخرى علىَ **الكمياتِ المُتَجَهَّةِ** **Vector quantities**: الإزاحةُ، والتسارُعُ، والقوَّةُ.

المثالُ ١

أصنِّفُ الكمياتِ الفيزيائيةَ في الجدولِ (1) الآتي إلى كمياتٍ مُتَجَهَّةٍ، وأخرى قياسيةٍ:

| تصنيفُ الكمياتِ الفيزيائيةِ | الجدولُ (1) |
|-----------------------------------|---|
| كميةٌ مُتَجَهَّةٌ / كميةٌ قياسيةٌ | الكميةُ الفيزيائيةُ |
| | الكتلةُ (4 kg) |
| | التسارُعُ (20 m/s^2 ، غرباً) |
| | الشغُلُ (200 J) |
| | القوَّةُ (N , شمالاً) |

الحلُّ:

- الكتلةُ: كميةٌ قياسيةٌ؛ لأنَّها حُدِّدتُ فقطُ بمقدارٍ.
- التسارُعُ: كميةٌ مُتَجَهَّةٌ؛ لأنَّها حُدِّدتُ بمقدارٍ واتجاهٍ.
- الشغُلُ: كميةٌ قياسيةٌ؛ لأنَّها حُدِّدتُ فقطُ بمقدارٍ.
- القوَّةُ: كميةٌ مُتَجَهَّةٌ؛ لأنَّها حُدِّدتُ بمقدارٍ واتجاهٍ.

- توجد طائق عدّة لتمييز الكمية المتجهة من الكميات القياسية، منها:
- وضع سهم فوق رمز الكمية المتجهة، مثل: \vec{F} لتمييز متجه القوة.
 - ويُعبر عن مقدار المتجه على النحو الآتي: $|F|$ أو F ، وسيستخدم الطلبة هذه الطريقة في دفاترهم، وكذلك على اللوح.
 - كتابه رمز الكمية المتجهة بالخط العامي (Bold)، مثل \mathbf{F} لتمييز متجه القوة، وبالخط العادي للدلالة على مقدار المتجه، مثل F ، وسنستخدم هذه الطريقة في كتابنا هذا.

أتحقق: أقارن بين الكميات المتجهة والكميات القياسية.

المثال 2

أجيب بـ (نعم) أو (لا)، معرضاً إجابتي بمثال على كل مما يأتي:

- تشير الإشارة السالبة أو الإشارة الموجبة إلى اتجاه الكمية المتجهة . هل يمكن أن تكون الكمية القياسية سالبة؟
- قد يكون للكمية المتجهة والكمية القياسية الوحدة نفسها.
- قد تتساوى كميتان متجهتان في المقدار، وتختلفان في الاتجاه.

الحل:

- نعم، درجة الحرارة قد تكون سالبة، وهي كمية قياسية. والإشارة السالبة هنا لا تعني اتجاهها.
- نعم، فطول المسار الفعلي بين نقطي البداية والنهاية كمية قياسية، لكن الإزاحة (الخط المستقيم من نقطة البداية إلى نقطة النهاية) كمية متجهة، ووحدة قياس كل من هاتين الكميتين هي نفسها (المتر في النظام الدولي).
- نعم، فالكميات المتجهة قد تتساوى في المقدار وتختلف في الاتجاه. فمثلاً، ثوبي في الجسم قوّتان متساويتان في المقدار؛ أحدهما باتجاه الشرق، والأخرى باتجاه الشمال. وقد تكون هذه الكميات مختلفة في المقدار ومتماثلة في الاتجاه.

للمراجعة

في أثناء جلوسي في غرفة الصفي سقط قلم باتجاه سطح الأرض. أحد كميتين قياسيتين وكميتين متجهتين لها صلة بذلك.

تمثيل المتجهات بيانياً Representation of Vectors: Graphical Method

إنَّ التعامل مع الكميَّات القياسيَّة وإجراء العمليَّات الحسابيَّة عليها أسهلٌ من التعامل مع الكميَّات المتجهة. فمثلاً، من السهل المقارنة بين كميَّتين قياسيَّتين، خلافاً للمقارنة بين كميَّتين متجهتين؛ لأنَّ لكلٍّ منهما مقداراً واتجاهًا. لذا نلجأ أحياناً إلى تمثيل الكميَّات المتجهة (Representation of vector quantities) مُمثلًا بيانياً؛ ما يُسهل التعامل معها. يمكن أيضًا استخدام التمثيل البياني في إيجاد محصلة كميَّات متجهة عدَّة، وإجراء عمليَّات الجمع والطرح عليها.

للكميَّة المتجهة مقدارٌ يُحدِّد بعده ووحدة قياسِها، ولها اتجاهٌ أيضًا. ولتمثيلها بيانياً، نختار مستوىً إحداثيًّا مثل ($x-y$)-نقطة إسنادٍ مثل نقطة الأصل $(0,0)$ ، ثمَّ نرسم سهماً بحيث يقع ذيله (نقطة بدايته) عند نقطة الأصل، وذلك على النحو الآتي:

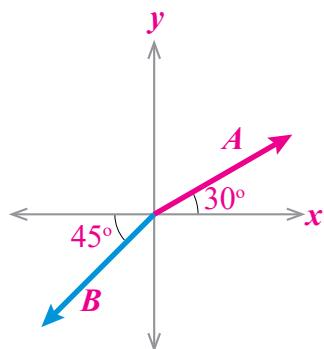
- طول السهم يُمثِّل مقدار المتجه، ويُحدِّد باستخدام مقياس رسم مناسب.
- اتجاه السهم يُحدِّد نسبةً إلى اتجاهٍ مرجعٍ؛ إما جغرافياً باستخدام الجهات الأربع (شمال، جنوب، شرق، غرب)، وإما باستخدام الزاوية θ التي يصنِّفها المتجه مع محورٍ مرجعيٍّ، مثل المحور الأفقي. وبذلك يمكنني التعبير عن المتجه (A) الموضح في الشكل (2) بأنه يصنع زاوية مقدارها (30°) مع محور السينات الموجب ($+x$)، في حين أنَّ المتجه (B) يصنع زاوية مقدارها (45°) مع محور السينات السالب ($-x$).

المثال 3

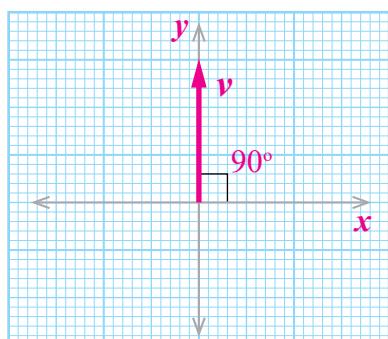
يتَّحَرك جسم بسرعةٍ مقدارُها $v = 3 \text{ m/s}$ باتجاه محور الصادات الموجب (نحو الشمال). أمثل متجهَ السرعة بيانياً.

الحلُّ:

- أختار مقياس رسم مناسباً، مثل $(1\text{cm} : 1 \text{ m/s})$ ؛ أي أنَّ كلَّ 1cm على الورقة (خمسة مربعاتٍ صغيرة) يمثِّل 1 m/s ، فيكون طول السهم: $3 \text{ cm} = (3 \text{ m/s}) \times (1\text{cm}/(1 \text{ m/s}))$.
- أرسم سهماً طوله 3 cm ، وله نقطةٌ بدايةً (تُسمى ذيل المتجه) عند نقطة الأصل $(0,0)$ ، ونقطةٌ نهايةً (تُسمى رأس المتجه) بحيث يكون على امتداد محور الصادات الموجب ($+x$)، أي أنَّه يصنع زاوية 90° مع محور السينات الموجب.

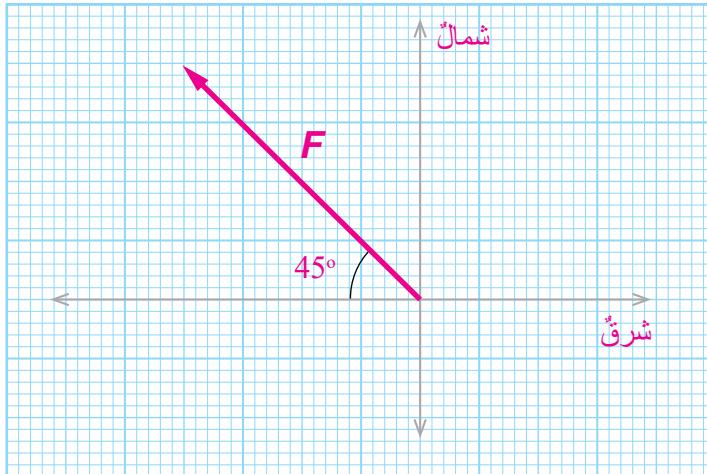


الشكل (2): رسم لمتجهَي A و B على المستوى $x-y$.



الشكل (3): رسم لمتجه السرعة v .

ثُوِّرْ قُوَّةً F مقدارُها 60 N في جسمٍ باتجاهٍ يَصْنُع زاويةً مقدارُها 45° شمالَ الغربِ. أَمْلِ مُتَجَهَّةَ القُوَّةِ F بِيَانِيًّا.



الشكل (4): رسمٌ لمُتَجَهَّةِ القُوَّةِ F .

الحلُّ:

- أَخْتَارُ مَقِيسَ رَسِيمٍ مناسِبًا، مثَلَّ ($1\text{ cm} : 10\text{ N}$), فَيَكُونُ طُولُ السُّهْمِ:

$$60\text{ N} \times (1\text{ cm} / 10\text{ N}) = 6\text{ cm}$$

عَلَمَا أَن كُلَّ خَمْسَةِ مَرْبُعَاتِ صَغِيرَةٍ عَلَى الرَّسِيمِ تَعَادِلُ 1 سَمٍ، (وَهَذَا فِي بَقِيَةِ الْأَمْثَالِ)

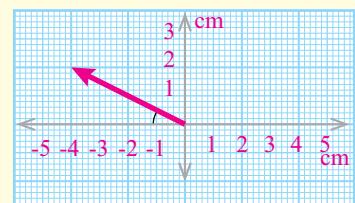
- أَرْسَمْ سُهْمًا طُولُهُ 6 cm ، بِحِيثُ يَصْنُعُ زاويةً 45° شمالَ الغربِ، كَمَا فِي الشَّكْلِ (4).

لَفْلَهُ
تسيرُ سيارةً بسرعةٍ 7 km/h مقدارُها 80 km/h ، في اتجاهٍ يَصْنُعُ زاويةً مقدارُها 37° جنوبَ الشرقِ. أَمْلِ مُتَجَهَّةَ السُّرْعَةِ بِيَانِيًّا.

أَتَحَقَّقُ: كَيْفَ يُمْكِنُ تحديُّدُ كُلِّ مِنْ طُولِ السُّهْمِ وَاتِّجَاهِهِ عَنْ تَمْثِيلِ المُتَجَهِّةِ بِيَانِيًّا؟

* مَلْحوظَةٌ: إِذَا كَانَ المُتَجَهُ يَصْنُعُ زَوْايَةً θ (45° مثَلًا) شَمَالَ الغَرْبِ، فَهَذَا يَعْنِي وجْبِ الْبَدْءِ مِنَ الغَرْبِ، وَقَطْعَ زَوْايَةً 45° باتِّجَاهِ الشَّمَالِ، أَمَّا إِذَا كَانَتِ الزَّاوِيَةُ غَرْبَ الشَّمَالِ فَيَجْبُ الْبَدْءُ مِنَ الشَّمَالِ باتِّجَاهِ الغَرْبِ، وَهَذَا.

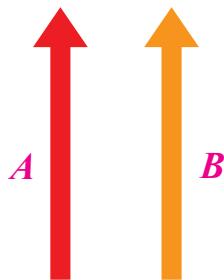
أَفْخَرُ: استَخدَمَ أَحْمَدُ مَقِيسَ الرَّسِيمِ ($1\text{ cm} : 20\text{ m}$) لَرْسِيمِ مُتَجَهٍ يُمْلِئُ بُعدَ الْمَسْجِدِ عَنْ مَنْزِلِهِ، كَمَا فِي الشَّكْلِ (5). أَحْدَدْ بُعدَ الْمَسْجِدِ عَنْ مَنْزِلِ أَحْمَدَ، مُبَيِّنًا الاتِّجَاهَ.



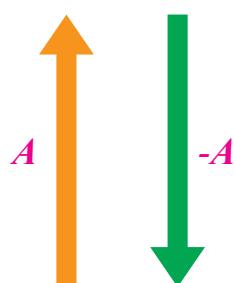
الشكل (5): مُتَجَهٌ يُمْلِئُ بُعدَ الْمَسْجِدِ عَنْ مَنْزِلِ أَحْمَدَ.

خواص المتجهات Properties of Vectors

تمتاز المتجهات بخواص عدّة تميّزها من الكميات القياسية، وهذه بعضها:



الشكل (6): تساوي المتجهين A و B .



الشكل (7): المتجه A و سالب هذا المتجه $(-A)$.

أفخر: لماذا يكون اتجاه التسارع a دائمًا في نفس اتجاه القوة المحصلة $\sum F$ ؟

تساوي متجهين Equality of Two Vectors

يتساوى متجهان عندما يكون لهما المقدار والاتجاه نفسهما، كما في الشكل (6)، إضافة إلى أنهما من النوع نفسه. اعتماداً على هذه الخصيصة، فإنه يمكن نقل المتجه من مكان إلى آخر شرط المحافظة على ثبات كل من مقداره واتجاهه.

سالب (معكوس) المتجه Negative of a Vector

هو متجه له مقدار المتجه الأصلي نفسه، ولكنه يعاكسه في الاتجاه، ويُبين الشكل (7) أن المتجه A ، والمتجه $-A$ يتساويان في المقدار ويعاكسان في الاتجاه.

ضرب المتجه في كمية قياسية Multiplication of a Vector by a Scalar

يمكن ضرب متجه ما (مثلاً C) في كمية قياسية (مثل n) للحصول على متجه جديد (nC) مقداره nC ، حيث n عدد حقيقي. أما اتجاهه فيعتمد على إشارة n ; فإذا كانت هذه الإشارة موجبة فإن المتجه nC يكون في الاتجاه نفسه للمتجه C ، وفي حال كانت إشارة n سالبة فإن المتجه nC يكون عكس اتجاه المتجه C .

من الأمثلة الفيزيائية على ضرب المتجه في كمية قياسية القانون الثاني لنيوتون الذي سندرسه لاحقاً؛ إذ إن متجه القوة المحصلة $\sum F$ هو حاصل ضرب الكتلة m في متجه التسارع a بحسب العلاقة الآتية:

$$\sum F = ma$$

تحقق: ما المقصود بكل مما يأتي:

- تساوي متجهين؟
- ضرب متجه في عدد سالب؟

المثال 5

تتحرّك عربة بسرعة متجهةٍ v مقدارُها 40 m/s في اتجاه الشرق. أمثلُ بيانياً:

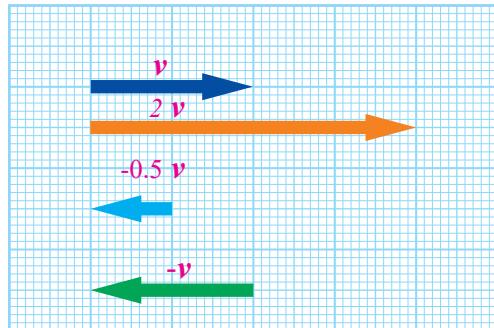
أ. متجهة السرعة v

ب. المتجهة $2v$

ج. المتجهة $-0.5v$

د. سالب المتجهة v

الشكل (8): خصائص المتجهات.



الحلُّ:

- أ. اختار مقياس الرسم $(1\text{cm}:10 \text{ m/s})$ ، ثم أرسم سهماً طوله 4 cm ليُمثّل المتجهة v باتجاه الشرق، كما في الشكل (8).
- ب. أرسم سهماً طوله 8 cm ليُمثّل المتجهة $(2v)$ ، ومقداره 80 m/s باتجاه الشرق.
- ج. أرسم سهماً طوله 2 cm ليُمثّل المتجهة $(-0.5v)$ ، ومقداره 20 m/s باتجاه الغرب.
- د. أرسم سهماً طوله 4 cm ليُمثّل المتجهة $(-v)$ ، ومقداره 40 m/s باتجاه الغرب.

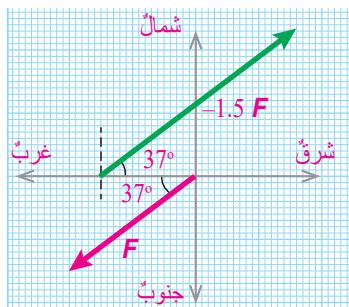
المثال 6

ثوَّير قوَّة F مقدارُها 250 N في جسم باتجاه يصنع زاويةً مقدارُها 37° جنوبَ الغرب. أمثلُ بيانياً:

أ. متجهة القوَّة F .

ب. المتجهة $(-1.5F)$.

الشكل (9): تمثيل ناتج ضرب كمية متوجهة بكمية قياسية.



الحلُّ:

- أ. اختار مقياس الرسم $(1\text{cm}: 50 \text{ N})$ ، ثم أرسم سهماً طوله 5 cm ليُمثّل المتجهة F ، كما في الشكل (9).
- ب. أرسم سهماً طوله 7.5 cm ليُمثّل المتجهة $(-1.5F)$ ، ومقداره 375 N ، واتجاهه معاكِس لاتجاه F ؛ أي بزاوية مقدارُها 37° شمالَ الشرق (أو بزاوية مقدارُها 53° شرقَ الشمال)، كما في الشكل.

تمرين

تسيرُ سيارةً بتسارعٍ ثابتٍ مقداره 3 m/s^2 في اتجاه يصنع زاويةً مقدارُها 30° شرقَ الشمال. أمثلُ بيانياً:

أ. سالب متجهِ التسارع. ب. ضرب متجهِ التسارع في العدد (2).

ضرب المتجهات Vectors Product

تعرّفنا سابقاً أنَّ كميةٍ متجهةً تنتُجُ من حاصل ضرب كميةٍ قياسية في كميةٍ متجهةٍ، ولكنَّا نحتاج أحياناً في علم الفيزياء إلى ضرب كميةٍ متجهةٍ في كميةٍ أخرى متجهةٍ، فهل سيكون الناتج كميةٍ متجهةً أمْ كميةٍ قياسية؟

يوجَدُ نوعانِ من ضرب متجهين بعضهما في بعضٍ، هما: الضرب القياسي، والضرب المتجهي.

أ. الضرب القياسي (النقطي) Scalar (Dot) Product

يُعرَفُ الضرب القياسي **Scalar product** لمتجهين (مثل: A و B) بينهما زاوية θ ، كما في الشكل (10)، على النحو الآتي:

$$A \cdot B = AB \cos \theta$$

حيث:

A : مقدار المتجه A

B : مقدار المتجه B

θ : الزاوية الصغرى بين المتجهين: A و B ؛ أي $(0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ)$

حينَ ينطلق المتجهانِ من النقطة نفسها، كما في الشكل (10).

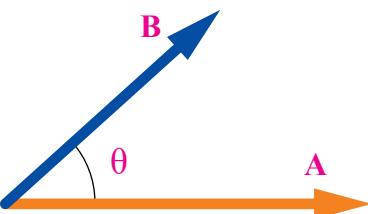
أمّا الناتج من عملية الضرب القياسي فيكون كميةٍ قياسيةً لها مقدارٌ فقط، وهو مقدارٌ يتغيّر بتغيير مقدار الزاوية θ بين المتجهين.

من التطبيقات الفيزيائية على الضرب القياسي الشغل W ، وهو حاصلٌ على الضرب القياسي لمتجه القوة F في متجه الإزاحة d :

$$W = F \cdot d = Fd \cos \theta$$

الشكل (10): متجهان
بينهما زاوية θ .

أقارنُ بين ناتج كلٍّ من: $B \cdot A$ ، و $A \cdot B$.



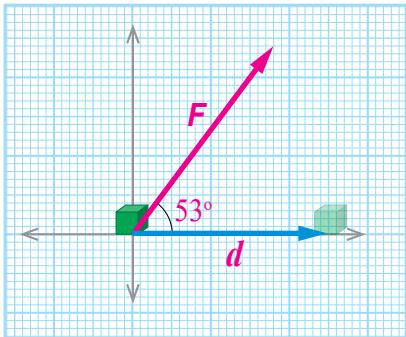
المثال 7

أثَرَتْ قُوَّةٌ F مقدارُها 120 N في جسمٍ، فحرَّكتُه إِزاحَةً d مقدارُها 5 m في اتجاهِ الشَّرق. إذا علِمْتَ أنَّ الشُّغل W الذي تُنْجِزُه القُوَّةُ F يُعطى بِالعلاقة: $W = F \cdot d$ ، وأنَّ الزَّاويةَ بين اتجاهِ F واتجاهِ d (53°)، فلُجِيبُ عَمَّا يَأْتِي:

أ . أَمْتَلُ المُتَجَهِيْنَ F وَ d بِيَانِيًّا.

ب . هُلْ يُعَدُ الشُّغلُ W كَمِيَّةً مُتَجَهَّةً؟ أَوْ ضَيَّعَ ذَلِكَ.

ج . أَجِدُ مقدارَ الشُّغلِ الَّذِي أَنْجَرَتْهُ القُوَّةُ.



المعطيات: $F = 120 \text{ N}$, $d = 5 \text{ m}$, $\theta = 53^\circ$

المطلوب: $W = ?$

الشكل (11): تمثيل المتجهين F و d ببيانياً.

الحلُّ:

أ . مقياس الرسم (1 cm: 20 N) للفوَّة، و (1 cm: 1 m) للإِزاحة، وتمثيل المتجهين مُبيَّنٌ في الشكل (11).

ب . لا، لا يُعَدُ الشُّغلُ W كَمِيَّةً مُتَجَهَّةً، فهو كَمِيَّةٌ قياسية؛ لأنَّه ناتجٌ من الضرب القياسي لمتجهي القوَّة والإِزاحة.

ج . يُمْكِنُ إيجادُ مقدارِ الشُّغلِ الَّذِي أَنْجَرَتْهُ القُوَّةُ باسْتِخْدَامِ العَلَاقَةِ الآتِيَّةِ:

$$\begin{aligned} W &= F \cdot d = F d \cos \theta \\ &= 120 \times 5 \times \cos 53^\circ, \quad \cos 53^\circ = 0.6 \\ &= 360 \text{ J} \end{aligned}$$

ب. الضرب المتجهي (التقاطعي) Vector (Cross) Product

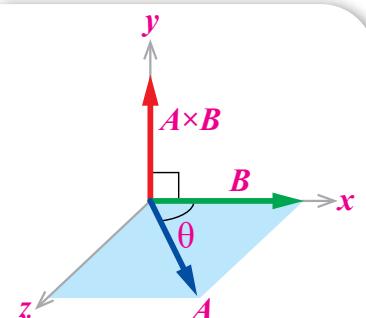
ناتجُ الضرب المتجهي Vector product لِمُتَجَهِيْنَ (B و A) ناتجُ الضرب المتجهي Vector product لِمُتَجَهِيْنَ (مثل: B و A) بينَهُما زاوِيَّةً θ يُكتَبُ في صورَة $(A \times B)$ ، ويكونُ كَمِيَّةً مُتَجَهَّةً لها مقدارٌ واتجاهٌ، ويكونُ الاتجاه دائمًا متعامداً مع كُلِّ من اتجاهِ المتجهين: A و B ، كما في الشكل (12)، ويعطى مقدارُه على النحوِ الآتِي:

$$|A \times B| = A B \sin \theta$$

حيث:

$|A \times B|$: مقدارُ ناتجِ الضرب المتجهي لِلمتجهين: A و B

A : مقدارُ المتجه A



الشكل (12): الضرب المتجهي لِلمتجهين: A و B

B : مقدار المُتَّجِهِ.

θ : الزاوية الصغرى بين المُتَّجِهِين: A و B ; أي $(0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ)$

حين ينطلق المُتَّجِهان من النقطة نفسها.

لتحديد اتجاه ناتج الضرب المُتَّجِهي ($A \times B$), تُستخدم قاعدة كف اليد اليمنى، كما في الشكل (13); إذ يشير اتجاه الإبهام إلى اتجاه المُتَّجِه الأول A , وتشير الأصابع إلى اتجاه المُتَّجِه الثاني B , فينتج من ضربهما المُتَّجِهي ($A \times B$) مُتَّجِه عمودي على الكف، وخارج منها.

بوجه عام، يكون المُتَّجِه الناتج ($A \times B$) دائمًا عمودياً على المستوى الذي يحوي المُتَّجِهين: (A) و (B) , كما هو مبين في الشكل (13).

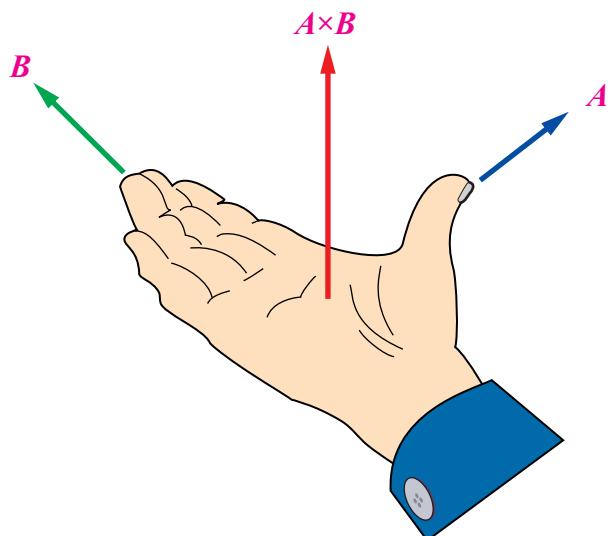
من التطبيقات الفيزيائية على الضرب المُتَّجِهي القوة المغناطيسية F المؤثرة في شحنة كهربائية q متحركة بسرعة v في مجال مغناطيسي B , وهي تعطى بالعلاقة: $F = q(v \times B)$, وكذلك عزم القوة τ , حيث:

F : القوة المؤثرة.

r : متجه الموضع.

أتحقق: ما الفرق بين الضرب المُتَّجِهي والضرب القياسي؟ ✓

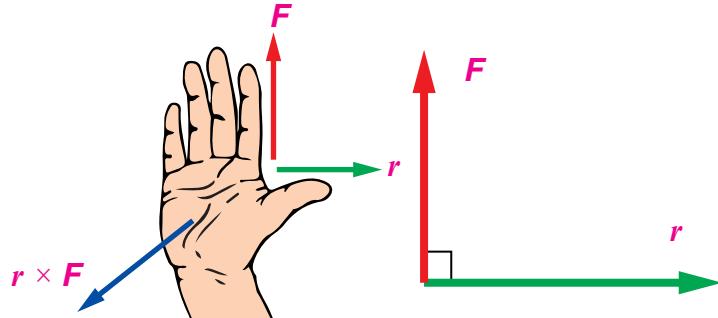
الشكل (13): تطبيق قاعدة كف اليد اليمنى لتحديد اتجاه $A \times B$.



في الشكل (14)، إذا كان $F = 250 \text{ N}$ ، و $r = 0.4 \text{ m}$ ، فأجِبْ عَمّا يَأْتِي:

أ. أَجِدْ مُقدار عزم الْفُوَّة $(r \times F)$ ، واتجاهه.

ب. إذا تغيَّرَت الزاوية بين r و F لتصبح 45° ، فما مُقدار $r \times F$ ، واتجاهه؟



الشكل (14): تطبيق قاعدة كف اليد اليمنى.

الحلُّ:

أ. مُقدار عزم الْفُوَّة $(r \times F)$:

$$\begin{aligned} |r \times F| &= r \times F \times \sin \theta \\ &= 0.4 \times 250 \times \sin 90^\circ, \sin 90^\circ = 1 \\ &= 100 \text{ N.m} \end{aligned}$$

بحسب قاعدة كف اليد اليمنى، يشير الإبهام إلى اتجاه r ، وتشير الأصابع إلى اتجاه F ؛ لذا يكون اتجاه عزم الْفُوَّة خارجاً من الورقة (باتجاه محور z^+).

ب. مُقدار F :

$$\begin{aligned} |r \times F| &= r \times F \times \sin \theta \\ &= 0.4 \times 250 \times \sin 45^\circ, \sin 45^\circ = 0.7 \\ &= 70 \text{ N.m} \end{aligned}$$

اتجاه $F \times r$ يكون خارجاً من الورقة (باتجاه محور z^+)، كما في الفرع (أ).

لَمْرَأَةُ

مُتَجَهَانِ: A و B ، مُقدار كُلِّ مِنْهُمَا 20 u (الرَّمْز u يعني وحدةً unit).

أَجِدْ مُقدار الزاوية بين المتجهين في الحالتين الآتتين:

أ. $A \cdot B = 320 \text{ u}$.

ب. $|A \times B| = 200 \text{ u}$

مراجعة الدرس

1. الفكرهُ الرئيسيهُ: أذكر اختلافاً واحداً وتشابهاً واحداً بين:

- أ . الكمية المتجهة والكمية القياسية.
- ب . المتجه وسالب المتجه.
- ج . الضرب القياسي والضرب المتجهي.

2. أصنف الكمييات الآتية إلى متجهة، وقياسية:

- زمن الحصة الصافية.
- قوة الجاذبية الأرضية.
- درجة حرارة المريض.
- كتلة الحقيقة المدرسية.
- المقاومة الكهربائية.

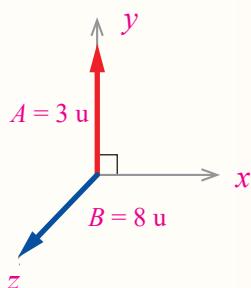
3. أمثل بيانياً الكميتين المتجهتين الآتيين:

- أ . قوة مغناطيسية مقدارها 0.25 N في اتجاه يصنع زاوية 37° مقدارها 37° مع محور x .
- ب . تسارع ثابت مقداره 4 m/s^2 في اتجاه يصنع زاوية 30° مقدارها 30° شمال الغرب.

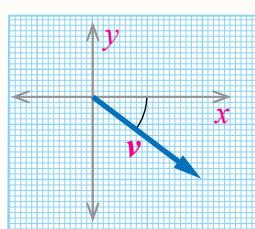
4. ما مقدار الزاوية بين الكميتين المتجهتين \mathbf{F} و \mathbf{L} في الحالتين الآتيتين:

- أ . $\mathbf{F} \times \mathbf{L} = 0$
- ب . $\mathbf{F} \cdot \mathbf{L} = 0$ بافتراض أن $(\mathbf{F} \neq 0 \text{ و } \mathbf{L} \neq 0)$.

5. أستخدم الأرقام: أحسب اعتماداً على العلاقة الآتية للتدفق المغناطيسي $\Phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A}$:
أحسب مقدار التدفق المغناطيسي Φ عندما تكون $B = 0.1 \text{ Tesla}$ ، $A = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ ، ومقدار الزاوية بين المتجهين \mathbf{A} و \mathbf{B} تساوي 45° .



6. أستخدم الأرقام: أحسب اعتماداً على البيانات في الشكل المجاور، أحسب مقدار ناتج الضرب المتجهي $(\mathbf{B} \times \mathbf{A})$ ، محدداً الاتجاه (الرمز u يعني وحدة unit).



7. أستخدم الأرقام: أحسب سرعة تسير بسرعة ثابتة 7 cm/s في اتجاه محدد. مثلت سرعة السيارة بيانياً برسم سهم طوله 5 cm على النحو المبين في الشكل المجاور. أحسب مقدار سرعة السيارة، محدداً اتجاهها بالنسبة لمحور السينات الموجب.

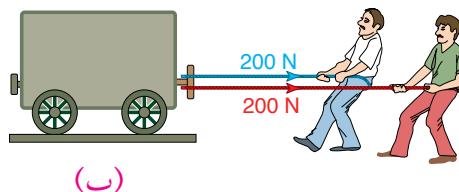
8. أستخدم الأرقام: أحسب مقدار الزاوية بين المتجهين \mathbf{F} و \mathbf{r} ، التي يتساوى عندها مقدار الضرب القياسي ومقدار الضرب المتجهي للمتجهين، أي إن $|\mathbf{r} \cdot \mathbf{F}| = r \cdot |\mathbf{F}|$.

جمع المتجهات Addition of Vectors

تعرّفت في الدرس السابق أنَّ الكمياتِ الفيزيائية تكونُ كمياتٍ مُتجهةً تُحدَّد بالمدارِ والاتجاهِ معًا، أوْ كمياتٍ قياسيةٍ تُحدَّد فقطً بالمدارِ، وأنَّ عمليةً ضربِ الكمياتِ المُتجهة تختلفُ عنْ عملية ضربِ الكمياتِ القياسية. ولكنْ هل تختلفُ عملياتُ جمعِ الكمياتِ المُتجهة وطرحِها عنها في الكمياتِ القياسية؟

إذا أمضيتُ أمسِ أربعَ ساعاتٍ في الدراسةِ، وساعتينِ في ممارسةِ الرياضةِ، وساعةً في العملِ التطوعيِّ، فإنَّ مجموعَ ما استغرقتهُ في الدراسةِ والرياضةِ والعملِ التطوعيِّ 7 ساعاتٍ. وإذا كانت درجةُ حرارةِ الجوِّ اليوم 20°C ، ودرجةُ حرارةِ الجوِّ المتوقعةُ غدًا 24°C ، فإنَّ درجةَ الحرارةِ غدًا ستترتفعُ 4°C بحسبِ قولِ الراصدِ الجويِّ.

هذهِ بعضُ الأمثلة على جمعِ الكمياتِ القياسيةِ وطرحِها (الزمنُ، درجةُ الحرارة)، وقد جُمعَتْ وطُرِحتْ بطريقةٍ جبريةٍ شرطَ أنْ تكونَ منَ النوعِ نفسهِ، وأنْ يكونَ لها الوحداتُ نفسها، ويكونَ ناتجُ الجمعِ كميةً قياسيةً أيضًا. أمّا عندَ جمعِ الكمياتِ المُتجهة (Addition of vector quantities) فيجبُ مراعاةً الاتجاهِ والمقدارِ. فمثلاً، إذا جُمعتِ القوَّتانِ اللتانِ يؤثِّرُ بهما الرجالُ لسحبِ العربةِ في الشكل (15/أ) جبriًا ($400\text{ N} = 200 + 200$) فإنَّ الإجابةَ تكونُ غيرَ صحيحةٍ، أمّا إذا أثَّرَ الرجالُ في الاتجاهِ نفسهِ، وبالقوَّةِ نفسها، كما في الشكل (15/ب) فإنَّ مجموعَ القوَّتينِ 400 N في اتجاهِ إحدى القوَّتينِ يكونُ صحيحةً.



الشكل (15): أ. قوَّتانِ في اتجاهينِ مختلفينِ. ب. قوَّتانِ في الاتجاهِ نفسهِ.

الفكرةُ الرئيسيةُ:

جمعِ الكمياتِ المُتجهةِ أوْ طرحِها يكونُ إماً بيانيًّا، وإماً رياضيًّا عنْ طريقِ تحليلِ الكمياتِ المُتجهةِ إلى مُركباتِها.

نتائجُ التعلمِ:

- أُطبِّقُ خصائصَ المُتجهاتِ على كمياتِ فيزيائيةٍ مُتجهةً.
- أستنتِجُ خصائصَ المُتجهاتِ بطرقَ مختلفةٍ.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

جمعِ الكمياتِ المُتجهةِ

Addition of vector quantities

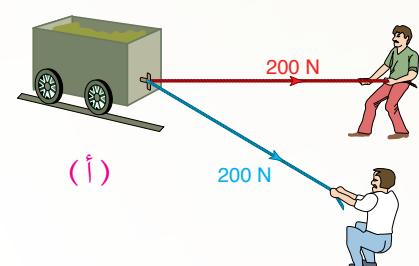
مُتجهُ المحصلةِ Resultant Vector

الطريقةُ البيانيةُ Graphical Method

تحليلُ المُتجهاتِ إلى مُركباتِها

Resolving Vectors into Components

الطريقةُ التحليليةُ Analytical Method



ماذا يتوقع أن يكون ناتج جمع القوتين إذا أثر كل رجل بالقوة نفسها، ولكن في اتجاهين متعاكسين؟

نستنتج مما سبق أن ناتج جمع متجهين (مثل: A و B) هو متجه جديد ($A + B$) يختلف مقداره واتجاهه باختلاف المقدار والاتجاه لكل من المتجهين، وأن ما ينطبق على جمع متجهين ينطبق على جمع متجهات عددة.

بوجه عام، يسمى المتجه الناتج من الجمع المتجهي لمتجهين أو أكثر (مثل: A و B و C) **متجهة المحصلة** Resultant vector، ويرمز إليه بالرمز $R = A + B + C$ ؛ على أن تكون المتجهات من النوع نفسه. فمثلاً، إذا جمعنا متجهات للسرعة فإن متجهة المحصلة يكون متجهة سرعة، وكذلك متجهات التسارع والقوة وغيرها.

أتحقق: ما المقصود بـمتجه المحصلة؟ ✓

المثال ٩

مزلاج كتلته $m_1 = 70 \text{ kg}$ ، وضع فوقه صندوق حجم 1 m^3 ، وكتلته $m_2 = 80 \text{ kg}$. سحب المزلاج بقوة مقدارها $a = 2 \text{ m/s}^2$ باتجاه الشرق، وأترت فيه قوة أخرى $F_2 = 100 \text{ N}$ باتجاه الغرب، فتحرك بتسارع مقداره $F_1 = 400 \text{ N}$ باتجاه الشرق:

أ. أحذ الكمييات القياسية التي يمكن جمعها معاً، ثم أجذ ناتج الجمع.

ب. أحذ الكمييات المتجهة التي يمكن جمعها معاً، ثم أعيّن عن ناتج الجمع (المحصلة) بالرموز.

الحل:

أ. الكمييات القياسية، هي: كتلة المزلاج، وحجم الصندوق، وكتلة الصندوق. أما الكمياء التي يمكن جمعها معاً فيجب أن تكون من النوع نفسه، وهي: $m_1 = 70 \text{ kg}$ ، و $m_2 = 80 \text{ kg}$ ، وناتج جمعهما: $80 + 70 = 150 \text{ kg}$ ، وهو كمية قياسية.

ب. الكمياء المتجهة، هي: القوة الأولى F_1 ، والقوة الثانية F_2 ، والتسارع a . أما الكمياء التي يمكن جمعها معاً فيجب أن تكون من النوع نفسه، وهي: $F_1 = 400 \text{ N}$ ، و $F_2 = 100 \text{ N}$ ، ومحصلتهما: $R = F_1 + F_2$ ، وهي كمية متجهة.

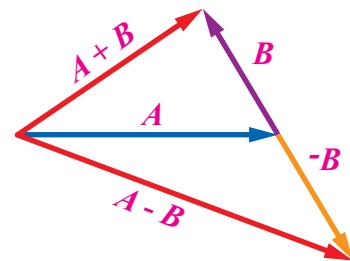
طرح المتجهات Subtraction of Vectors

إنَّ عملية طرح المتجهات تُشبه عملية جمعها. والإشارة السالبة تعني معكوس المتجه المراد طرحه. فمثلاً، عند طرح المتجه B من المتجه A (أي: $A - B$) فإنَّ المتجه A يُجمع مع معكوس المتجه الثاني $(-B)$ ، كما في الشكل (16)، ويُكتَب بالصورة الآتية:

$$A - B = A + (-B)$$

أي أنَّ طرح المتجه يُكافئ جمع سالب ذلك المتجه.

تحقق: ما المقصود بطرح المتجه؟ ✓



الشكل (16): جمع المتجهات وطرحها.

محصلة متجهات عددة Resultant of Many Vectors

لإيجاد محصلة متجهين أو أكثر، سواءً أكانت في بعد واحد مثل محور x أو محور y ، أم في بعدين مثل مستوى ($x-y$)، فإننا نستخدم إحدى الطرقتين الآتتين:

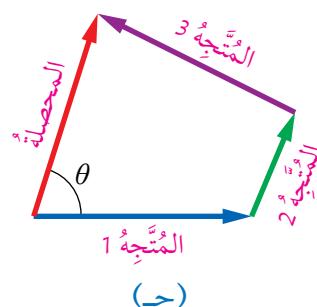
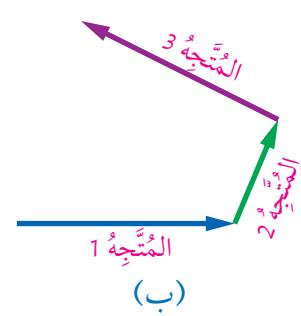
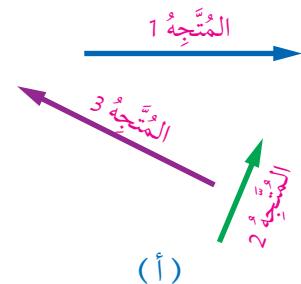
أ. الطريقة البيانية (الرسم) Graphical Method

هي طريقة تتلخص في تمثيل المتجهات المراد جمعها بأسهم، ثم تركيب تلك الأسهم بطريقة متوازي الأضلاع، أو بطريقة المضلعل (الذيل على الرأس)، وستتناول في هذا الدرس طريقة المضلعل.

طريقة المضلعل (الذيل على الرأس): **Polygon (head-to-tail) Method**. تُستخدم هذه الطريقة لإيجاد محصلة العديد من المتجهات بيانياً. فمثلاً، لإيجاد محصلة المتجهات الموضحة في الشكل (17/أ) نتبع الخطوات الآتية:

1. اختيار مقاييس رسم مناسب، ورسم أسمهم تمثل المتجهات التي يراد إيجاد محصلتها (جمعها).

2. رسم المتجه الأول، ثم رسم المتجه الثاني، بحيث يقع ذيله عند رأس المتجه الأول، وهكذا الحال لبقية المتجهات حتى آخر متجه، كما في الشكل (17/ب)، مع المحافظة على طول السهم واتجاهه عند نقله.



الشكل (17): محصلة متجهات عددة بطريقة المضلعل.

أَفْخَرُ: هل يُمْكِن إيجاد الزاوية θ بطريقة رياضية من دون استخدام المنقلة في المثال 10؟ أوضح ذلك.

3. رسم سهم من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الأخير؛ ليُمثل طول مقدار المحصلة، مع مراعاة مقياس الرسم، ويُمثل اتجاهه (من الذيل إلى الرأس) اتجاه المحصلة (قياس الزاوية θ بين اتجاه المحصلة ومحور x) كما في الشكل (17/ج).

أَتَحَقَّقُ: أوضح المقصود بطريقة المُضْلَع لإيجاد محصلة متجهات عدّة بيانياً.

المثال 10

ثُوَّبَرُ ثلَاثُ قوىٍ في جسمٍ: القوَّةُ الأولى F_1 مقدارُها N 30، والقوَّةُ الثانية F_2 مقدارُها N 50، والقوَّةُ الثالثة F_3 مقدارُها N 70 واتجاه كلٍّ منها مبيَّنٌ في الشكل (18/أ). أجد مقدارَ محصلة القوى المؤثرة في الجسم واتجاهها بيانياً.

المعطيات: $F_3 = 70 \text{ N}$ ، $F_2 = 50 \text{ N}$ ، $F_1 = 30 \text{ N}$ ، الشكل (18/أ)
المطلوب: $R = ?$

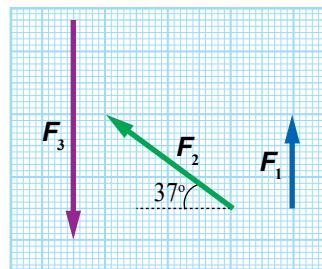
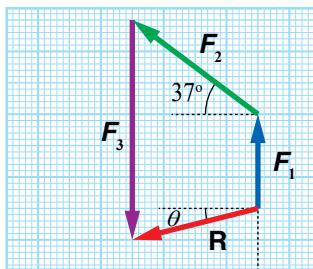
الحلُّ:

أ . في الشكل (18/أ)، مقياس الرسم هو 1 cm: 10 N، وبذلك يكون طول المتجه F_1 : 3 cm، وطول المتجه F_2 : 5 cm، وطول المتجه F_3 : 7 cm.

ب. أرسم السهم الذي يُمثل متجه القوَّة F_1 ، كما في الشكل (18/ب)، ثم أرسم السهم الذي يُمثل متجه القوَّة F_2 ، بحيث يقع ذيله على رأس سهم F_1 ، ثم أرسم السهم الذي يُمثل متجه القوَّة F_3 ، بحيث يقع ذيله على رأس سهم F_2 . بعد ذلك أرسم سهماً من ذيل المتجه الأول F_1 إلى رأس المتجه الثالث (الأخير)؛ ليُمثل طوله مقدارَ المحصلة، ويُمثل اتجاهه اتجاهَ المحصلة.

ج. أقيس -بالمسطرة- طول متجه المحصلة R من الشكل (4.1 cm). وبحسب مقياس الرسم 1 cm: 10 N، فإنَّ مقدارَ المحصلة: $R = 4.1 \times 10 = 41 \text{ N}$

د . أقيس -بالمنقلة- الزاوية θ بين متجهِيَّ المحصلة ومحور x - ($\theta = 14^\circ$)؛ لتمثيل اتجاهَ المحصلة.



الشكل (18): أ. تمثيل متجهات القوى بأسهم. ب . محصلة متجهات القوى بالرسم.

التجربة ١



إيجاد محصلة قوتين بصورة عملية

المواد والأدوات: طاولة القوى، مجموعتان من الأثقال تتكون كل منها من ثلاثة أثقال متساوية في الكتلة، ميزان إلكتروني (حساس)، ثلاثة حوامل أثقال متماثلة.

إرشادات السلامة: الحذر من سقوط الأجسام والأدوات على القدمين.

أصوغ فرضيتي حول العلاقة بين محصلة قوتين بالقوة الثالثة المؤثرة في جسم متزن تحت تأثير ثلاثة قوى.

أختبر فرضيتي:

بالتعاون مع أفراد مجموعتي، أنفذ الخطوات الآتية:

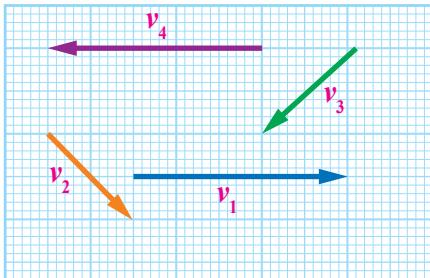
1. أضع طاولة القوى على سطح مستو، وأستعمل الميزان لقياس كتلة حامل الأثقال، ثم أدون النتيجة.

2. أضع ثقلا على كل حامل، ثم أضبط خيط أحد الحوامل على تدريج الصفر 0° ، وخيطاً لحامل آخر على تدريج 120° ، وأحرك خيط الحامل المتبقى حتى ينطبق مركز الحلقه على مركز طاولة القوى، ثم أدون التدريج الذي انطبق عليه الخيط.

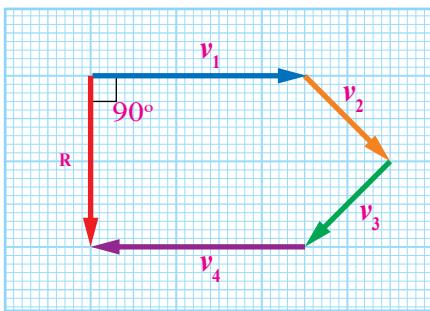
3. أكرر الخطوة الثانية باستخدام ثلاثة أثقال أخرى متساوية. هل تغيرت النتائج؟

للمراجعة

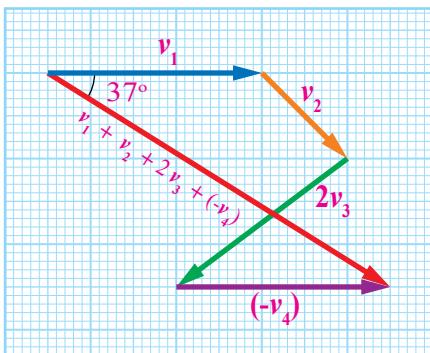
شحنة كهربائية تؤثر فيها ثلاثة قوى كهربائية على النحو الآتي: $N = 200$ في اتجاه الجنوب، $N = 300$ في اتجاه يصنع زاوية مقدارها 53° شمال الغرب، $N = 500$ في اتجاه الغرب. أجد مقدار محصلة القوى الكهربائية المؤثرة في الشحنة واتجاهها بيانيا.



الشكل (19): متجهات السرعة.



الشكل (20): محصلة السرعة.



الشكل (21): مجموع المتجهات.

مُثُلٌ أربعة متجهات للسرعة (v_1, v_2, v_3, v_4) بالرسم، كما في الشكل (19)، وذلك باستخدام مقياس الرسم (1 cm: 5 m/s).

أ. مقدار متجه محصلة السرعة، واتجاهه.

$$v_1 + v_2 + 2v_3 - v_4$$

الحل:

أ. بتطبيق طريقة المُضلع، كما في الشكل (20)، فإن طول سهم المحصلة R هو 4 cm. ووفقاً لمقياس الرسم (1 cm: 5 m/s)، فإن مقدار المحصلة: $R = 4 \times 5 = 20 \text{ m/s}$ ، واتجاهها نحو الجنوب.

ب. بتطبيق طريقة المُضلع، كما في الشكل (21)، فإن طول السهم الناتج من جمع ($v_1 + v_2 + 2v_3 - v_4$) هو 10 cm. ووفقاً لمقياس الرسم (1 cm: 5 m/s)، فإن مقدار متجه المحصلة: $R = 10 \times 5 = 50 \text{ m/s}$ ، وباستخدام المنقلة نجد أن اتجاهها يميل بزاوية θ مقدارها 37° أسفل محور x .

ب. الطريقة التحليلية Analytical Method

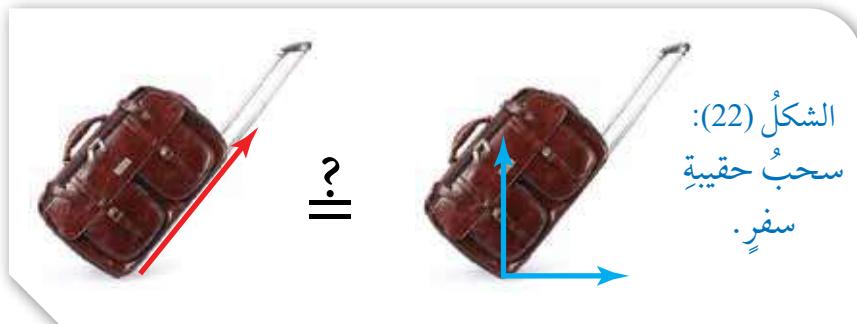
أتحقق: لماذا يُعد إيجاد محصلة متجهات عدّة بالطريقة التحليلية أكثر دقةً من إيجادها بالطريقة البيانية؟

إن استخدام الطريقة البيانية في إيجاد محصلة متجهات عدّة عملية سهلة، لكنها قد تفتقر إلى الدقة. لقد لاحظت وجود اختلافات بسيطة بين نتائج زملائي / زميلاتي عند استخدامي إياها، ويعزى ذلك إلى أخطاء في عمليات القياس (قياس الأطوال والزوايا)؛ لذا سأعرّف طريقة رياضية أكثر دقةً، هي تحليل المتجهات إلى مركباتها.

تحليل المتجهات إلى مركباتها

Resolving Vectors into Components

عند سحب حقيبة سفر بطريقتين، كما في الشكل (22)، هل يتساوى تأثير كلٍّ منهما في الحقيقة؟



بعد أن تعرّفنا عملية جمع متجهين أو أكثر لإيجاد متجه واحد جديد (متجه المحصلة)، سنقوم بعملية عكسية؛ أي تحليل المتجه الواحد والاستعاضة عنه بمتجهين متعامدين (على محوري x و y لا مثلاً) يسميان مركبتي المتجه، وتكون محاصلتهما المتجهة نفسه، ويتحدا في نقطة البداية.

يُطلق على هذه العملية اسم تحليل المتجه إلى مركبته. فمثلاً، يمكن تحليل المتجه A الواقع في الربع الأول من مستوى $x-y$ ، كما في الشكل (23)، إلى مركبتيْن، هما:

- المركبة الأفقية A_x : تمثل مسقط المتجه A على محور x .
- المركبة العمودية A_y : تمثل مسقط المتجه A على محور y .

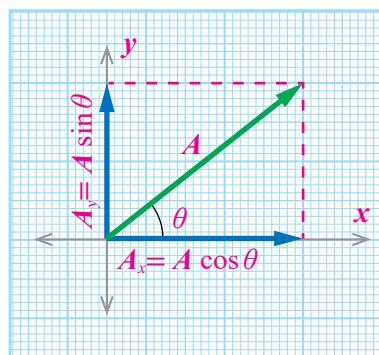
يكون المجموع المتجهي للمركبتيْن مساوياً للمتجه A ; أي أن:

$$A_x + A_y = A$$

$$\cos \theta = \frac{A_x}{A} \rightarrow A_x = A \cos \theta \quad \text{وبتطبيق النسب المثلثية، فإن:}$$

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

في الشكل (23)،لاحظ أنَّ المركبة A_x في اتجاه المحور السينيّ الموجب ($+x$)، والمركبة A_y في اتجاه المحور الصادي الموجب ($+y$)، لذلك تكون إشارة كلٍّ من المركبتيْن موجبة.



الشكل (23): تحليل المتجه إلى مركبته.

$$\text{أثبت أن: } A_x^2 + A_y^2 = A^2$$

ولمّا كانت المركبة (A_x, A_y) تشكّلان ضلعين في مثلث قائم الزاوية، والمتجه A يُمثل وتر المثلث، فإنَّ مقدار المتجه A :

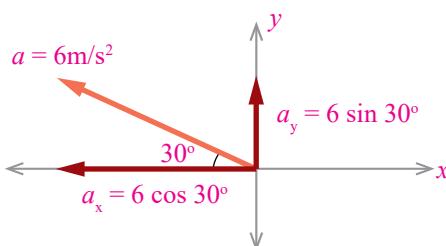
$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} \quad \text{بحسب نظرية فيثاغورس}$$

أمّا الزاوية θ بين المتجه A ومحور x فيمكن حسابها من العلاقة الآتية:

$$\tan \theta = \frac{A_y}{A_x} \rightarrow \theta = \tan^{-1} \frac{A_y}{A_x}$$

أفخر: ما علاقة صورة لاعب كرة السلة -في بداية الوحدة- بتحليل المتجهات؟

تحقق: ما المقصود بتحليل المتجه؟ ✓



الشكل (24): المركبة الأفقية، والمركبة العمودية للتسارع.

المثال 12

تحرّك مركبة بتسارع ثابت مقداره $a = 6 \text{ m/s}^2$ ، واتجاهه كما هو مبيّن في الشكل (24). أجد مقدار المركبتين الأفقية والعمودية للتسارع، ثمّ أحيد اتجاه كلٍّ منها.

المعطيات: $a = 6 \text{ m/s}^2$ ، الشكل (24).

المطلوب: $a_y = ?$ ، $a_x = ?$.

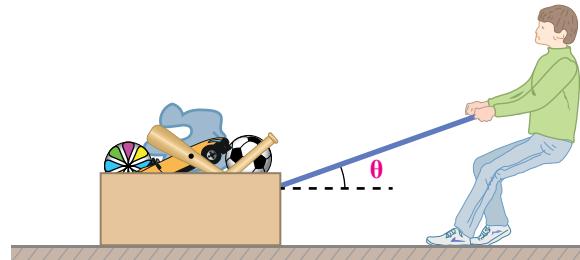
الحلُّ:

$$a_x = -a \cos 30^\circ = -6 \times \cos 30^\circ = -5.2 \text{ m/s}^2 \quad \text{المركبة الأفقية:}$$

$$a_y = a \sin \theta = 6 \times \sin 30^\circ = 3 \text{ m/s}^2 \quad \text{المركبة العمودية:}$$

الاحظ أنَّ المركبة الأفقية للتسارع a_x ضربت بإشارة سالب؛ لأنَّها باتجاه المحور (x) ، في حين أنَّ المركبة العمودية a_y موجبة؛ لأنَّها باتجاه المحور (y) .

يسحب عامل صندوق العاية بقوة مقدارها $N 100$ في اتجاه يصنع زاوية θ مقدارها 30° مع محور x كما في الشكل (25). أجد مقدار كل من المركبتين الأفقية والعمودية للقوة، محدداً اتجاههما.



الشكل (25): عامل يسحب الصندوق بقوة.

المعطيات: $\theta = 30^\circ$ ، $F = 100 \text{ N}$

المطلوب: $F_y = ?$ ، $F_x = ?$

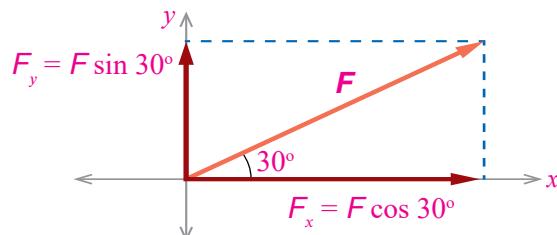
الحل:

المركبة الأفقية للقوة $: F_x$

. $F_x = F \cos \theta = 100 \times \cos 30^\circ = 100 \times 0.87 = 87 \text{ N}$ ، كما في الشكل (26).

المركبة العمودية للقوة $: F_y$

. $F_y = F \sin \theta = 100 \times \sin 30^\circ = 100 \times 0.5 = 50 \text{ N}$



الشكل (26): المركبة الأفقية، والمركبة العمودية للمتجه F .

ماذا يحدث لمركبتي القوة الأفقية والعمودية إذا قللت الزاوية θ عن 30° ؟

للمراجعة

أطلق قذيفة بسرعة v ، وكانت المركبة الأفقية للسرعة (20 m/s) والمركبة العمودية لها (40 m/s) . أجد مقدار السرعة v ، واتجاهها.

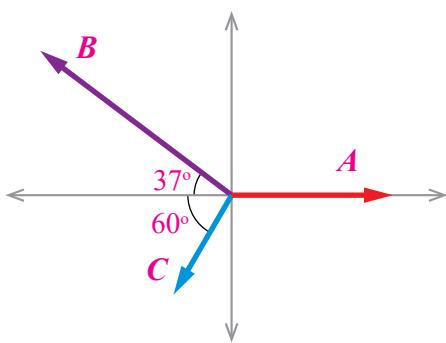
محصلة المتجهات بالطريقة التحليلية Resultant by Analytical Method

لإيجاد المقدار والاتجاه لمحصلة متجهين أو أكثر بالطريقة التحليلية (Analytical method)، أتبع الخطوات الآتية:

- أرسم المتجهات، بحيث يبدأ كل متجه بنقطة الأصل $(0,0)$.
- أحلل كل متجه إلى مركبته، مراعياً أن تلتقي نقطة البداية (الذيل) لجميع المتجهات عند نقطة الأصل $(0,0)$.
- أجد مجموع المركبات على محور $x (R_x)$ ومجموع المركبات على محور $y (R_y)$.
- أجد مقدار المحصلة R باستخدام العلاقة الآتية:
$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$
- أحدد اتجاه المحصلة R .

تحقق: أحدد اتجاه المحصلة عندما يتساوى مجموع المركبات على محور x مع مجموع المركبات على محور y . 

أفكّر: إذا كان مجموع المركبات على محور $y (R_y)$ لمجموعة من المتجهات صفرًا، فهل يعني ذلك بالضرورة أن جميع تلك المتجهات تقع فقط على محور x ? أفترض إجابتي.

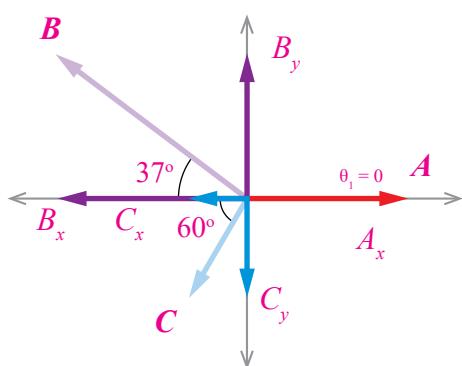


الشكل (27): محصلة متجهات عدّة.

ثلاثة متجهات (A, B, C) قيمها: $(3u, 5u, 2u)$ على الترتيب، كما في الشكل (27). أجد مقدار المحصلة واتجاهها بالطريقة التحليلية.

الحلُّ:

- أحلل كل متجه إلى مركبته: المركبة الأفقيّة على محور x ، والمركبة العموديّة على محور y ، كما في الشكل (28)، على النحو الآتي:



الشكل (28): تحليل المتجهات إلى مركباتها.

$$A_x = A \cos \theta_1 = 3 \cos 0^\circ = 3 \times 1 = 3u$$

$$A_y = A \sin \theta_1 = 3 \sin 0^\circ = 3 \times 0 = 0$$

$$B_x = -B \cos 37^\circ = -5 \cos 37^\circ = -5 \times 0.8 = -4u$$

$$B_y = B \sin 37^\circ = 5 \sin 37^\circ = 5 \times 0.6 = 3u$$

$$C_x = -C \cos 60^\circ = -2 \cos 60^\circ = -2 \times 0.5 = -1u$$

$$C_y = -C \sin 60^\circ = -2 \sin 60^\circ = -2 \times 0.87 = -1.74u$$

- أجد مجموع المركبات على محور x :

$$R_x = A_x + B_x + C_x$$

$$R_x = 3 - 4 - 1 = -2u \quad \text{في اتجاه محور } x$$

- أجد مجموع المركبات على محور y :

$$R_y = A_y + B_y + C_y$$

$$R_y = 0 + 3 - 1.74 = 1.26u \quad \text{في اتجاه محور } y$$

- أجد مقدار المحصلة R باستخدام العلاقة الآتية:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

$$R = \sqrt{(-2)^2 + 1.26^2} = 2.36u$$

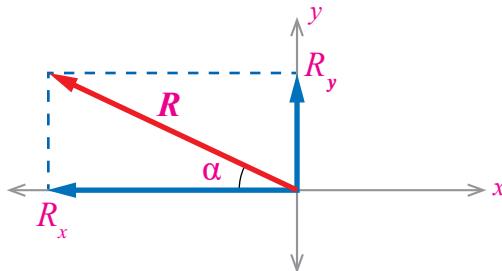
- أُحدِّد اتجاه المحصلة، أي الزاوية α بين اتجاه المحصلة R ومحور x ، كما في الشكل (29)، وذلك

باستخدام المعادلة الآتية:

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

$$\alpha = \tan^{-1} \left| \frac{1.26}{-2} \right| = 32^\circ$$

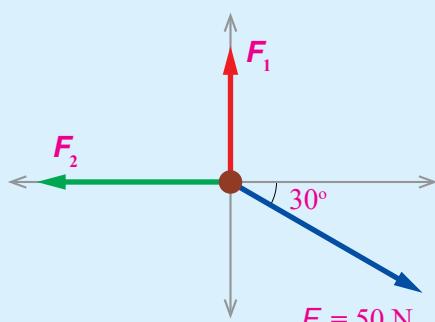
الاحظ أنَّ زاوية حادة وظلها موجب، لذلك استُخدمت القيمة المطلقة للقيمة $\frac{R_y}{R_x}$.



الشكل (29): تحديد مقدار المحصلة، واتجاهها.

بعد دراستي وحدة المتجهات تعرَّفت سبب توجيه الطيار الطائرة إلى اليسار بزاوية معينة (عكس اتجاه الرياح) في بند: **أتَمَل الصورة؟** وهو جعل اتجاه محصلة سرعتي الرياح والطائرة في أثناء هبوطها نحو المدرج؛ حفاظاً على سلامَة المسافرين وطاقم الطائرة، وتجنبًا لحدوث أي أضرارٍ في جسم الطائرة. ولو افترضنا أنَّ الطيار هبط بالطائرة باتجاه المدرج لأنحرفت الطائرة نحو اليمين، وخرجت عن المسار المحدَّد لها على المدرج.

لَمْلَمَنْ



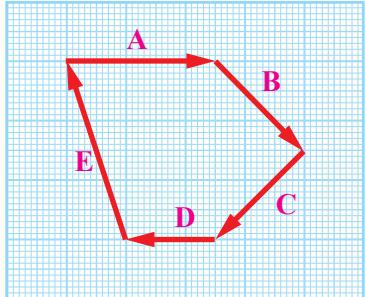
- أَجِد مقدار المحصلة واتجاهها في المثال السابق بيانياً، ثم أقارن النتائج. ماذا أستنتج؟

- تؤثِّر ثلاثة قوى في نقطة مادية كما في الشكل (30). إذا كانت محصلة هذه القوى صفرًا، فما مقدار كل من المؤثتين الأولى والثانية؟

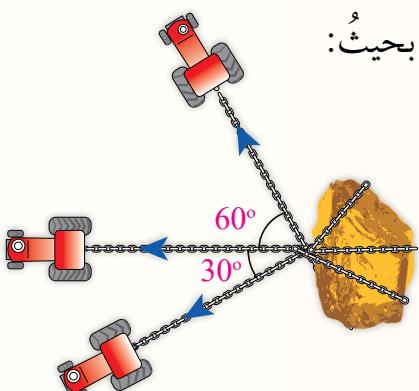
الشكل (30): ثلاثة قوى تؤثِّر في نقطة مادية.

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسية: أقارن بين كلّ ممّا يأتي:
 - أ. جمع المتجهات وتحليلها.
 - ب. جمع المتجهات ومحصلتها.
 - ج. جمع المتجهات وطروحها.
 - د. الطريقة التحليلية والطريقة البيانية في جمع المتجهات.
2. **استخدم الأرقام:** أحلّ قوة (\mathbf{F}) مقدار مركبتها ($F_x = 6\text{ N}$ ، $F_y = -8\text{ N}$). أحسب مقدار القوة وأحدّد اتجاهها.



3. **أحلّ:** اعتماداً على الشكل المجاور:
 - أ. ما محصلة المتجهات المبينة في الرسم؟
 - ب. أجد بيانياً محصلة المتجهين: A و B .
 - ج. أثبت بالرسم أن: $A + B + C = -D + (-E)$.
4. **أقارن:** قوّاتان متساويتان في المقدار، ما أكبر قيمة لمحصلتهما؟ ما أقل قيمة لمحصلتهما؟



5. **استنتج** مقدار الزاوية التي تطلق بها كرة القدم بسرعة متجهة، بحيث:
 - أ. تساوي المركبة العمودية للسرعة صفر؟
 - ب. تساوي المركبة الأفقية للسرعة متجهة السرعة؟
6. **استخدم الأرقام:** أحلّ ثلاثة جرارات تحاول سحب صخرة كبيرة. إذا أثّر كل منها بقوة سحب مقدارها 4000 N في الاتجاهات المبينة في الشكل المجاور:
 - أ. أحسب مقدار محصلة القوى التي تؤثّر بها الجرارات في الصخرة.
 - ب. في أي اتجاه ستحرّك الصخرة؟

الإثراء والتوسيع

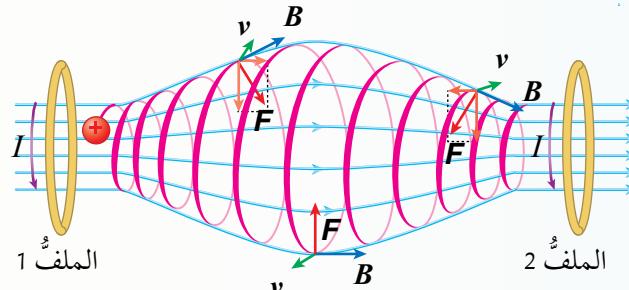
الفيزياء والتكنولوجيا

الوعاء المغناطيسي

للمادة في الطبيعة ثلاثة حالات، هي: الصلبة، والسائلة، والغازية. توجد للمادة أيضاً حالة رابعة تسمى البلازم، وهي تحوي عدداً كبيراً جداً من الجسيمات المشحونة كهربائياً؛ لذا تتأثر هذه الجسيمات بالقوىين: الكهربائية، والمغناطيسية.

تمتاز البلازم بدرجة حرارتها العالية جداً التي قد تزيد على 11000°C ، بحيث لا يمكن احتواوها في وعاء مادي؟ لأنها تعمل على صهره، فكيف تمكن العلماء من الاحتفاظ بتلك الجسيمات؟

الوعاء (القارورة) المغناطيسي Magnetic Bottle:



تقنية يُستخدم فيها ملفان كهربائيان لتوليد مجال مغناطيسي متغير المقدار والاتجاه؛ لاحتواء جسيمات مشحونة كهربائياً، ذات طاقة عالية جداً، مثل البلازم. وبحسب الشكل المجاور، فإن الملفين الكهربائيين والمجال المغناطيسي الناتج منهما تشبه جميعها شكل القارورة، فكيف يمكن احتواء مادة البلازم باستخدام هذه التقنية؟

تناولنا في الدرس الأول بعض التطبيقات على الضرب المتجهي للكميات المتجهة، ومنها القوة المغناطيسية \mathbf{F} التي تؤثر في شحنة كهربائية q تتحرك بسرعة v في مجال مغناطيسي \mathbf{B} ، ونعطي بالعلاقة: $(\mathbf{v} \times \mathbf{B})q = \mathbf{F}$ ؛ حيث يكون اتجاه القوة متعاملاً مع كل من سرعة الشحنة والمجال المغناطيسي. وهذه القوة المغناطيسية تؤثر بمركبتيها في الجسيمات المشحونة بحيث تقيها متحرّكة بين الملفين -ذهاباً، وإياباً- حركة تذبذبية من دون مغادرتها منطقة المجال المغناطيسي.

أبحث مستعيناً بمصادر المعرفة المناسبة، أبحث عن تطبيقات أخرى

للمتجهات، ثم أكتب تقريراً عن ذلك، وأقرؤه أمام الطلبة في غرفة الصف.

1. أضْعِ دائِرَةً حَوْلَ رُمْزِ الإجَابَةِ الصَّحِيحةِ لِكُلِّ جَملَةٍ مَّا يَأْتِي:

1. الْكَمِيَّةُ الْمُتَجَهَّةُ مِنَ الْكَمِيَّاتِ الْفِيَزِيَّيَّةِ الْآتِيَّةِ، هِيَ:

- أ . عَدُدُ الْمَسَافِرِينَ فِي الطَّائِرَةِ.
- ب . الْمَدَدُ الْزَّمِنِيُّ لِإِقْلَاعِ الطَّائِرَةِ.
- ج . تَسَارُعُ الطَّائِرَةِ فِي اِنْتِهَاءِ إِقْلَاعِهَا.
- د . حَجْمُ وَقْدِ الطَّائِرَةِ.

2. عَنْدَ جَمْعِ الْقَوْتَيْنِ الْمُتَعَامِدَيْنِ: $N 30$ و $N 20$ جَمِيعًا مُتَجَهِّهَا، فَإِنَّ

قِيمَةَ الْقُوَّةِ الْمُحَصَّلَةِ، هِيَ:

- أ . 10 N
- ب . 20 N
- ج . 50 N
- د . 36 N

3. نَاتِجُ الضَّرِبِ الْمُتَجَهِّي $|A| \times |B|$ فِي الشَّكْلِ الْمُجاَوِرِ، هُوَ:

- أ . $AB \sin 90^\circ$
- ب . $AB \sin 30^\circ$
- ج . $AB \cos 30^\circ$
- د . $AB \cos 90^\circ$

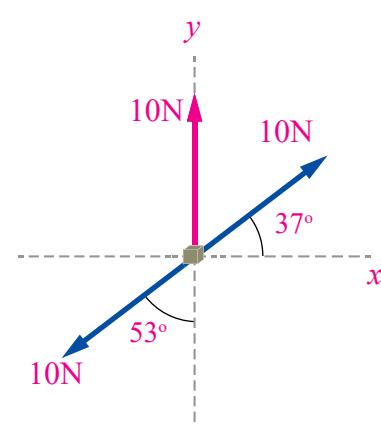
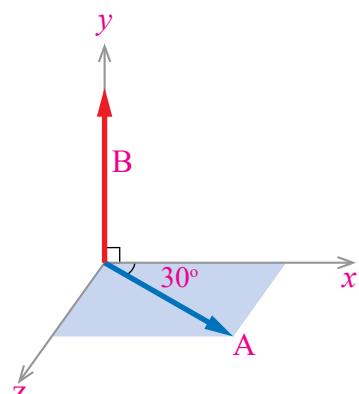
4. الْعَلَاقَةُ بَيْنَ مُتَجَهَّيِ التَّسَارُعِ a_1 ، a_2 بِنَاءً عَلَى الْعَلَاقَةِ ($a_1 - a_2 = 0$)،

هِيَ:

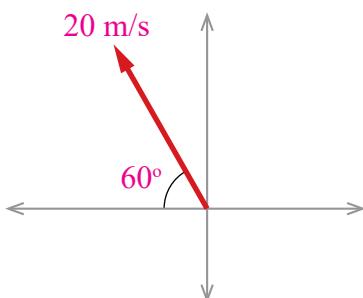
- أ . الْمُتَجَهَانِ a_1 ، a_2 مُتَسَاوِيَانِ فِي الْمَقْدَارِ، وَمُتَعَاكِسَانِ فِي الْاتِجَاهِ.
- ب . الْمُتَجَهَانِ a_1 ، a_2 مُتَسَاوِيَانِ فِي الْمَقْدَارِ، وَفِي الْاتِجَاهِ نَفْسِهِ.
- ج . الْمُتَجَهَانِ a_1 ، a_2 مُخْتَلِفَانِ فِي الْمَقْدَارِ، وَفِي الْاتِجَاهِ نَفْسِهِ.
- د . الْمُتَجَهَانِ a_1 ، a_2 مُخْتَلِفَانِ فِي الْمَقْدَارِ، وَمُتَعَاكِسَانِ فِي الْاتِجَاهِ.

5. مَقْدَارُ الْقُوَّةِ الْمُحَصَّلَةِ وَاتِّجَاهُهَا فِي الشَّكْلِ الْمُجاَوِرِ، هَمَّا:

- أ . 30 N بِاتِّجَاهِ مَحَورِ $y+$
- ب . 30 N بِاتِّجَاهِ مَحَورِ $y-$
- ج . 10 N بِاتِّجَاهِ مَحَورِ $y+$
- د . 0 N



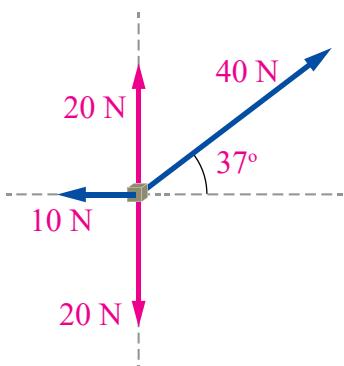
6. صوَّبَت سعادُ كرةً سلَّةً بسرعةٍ مقدارُها 20 m/s في الاتجاه المُبيَّن في الشكِّل المجاور. أيُّ الآتية تُمثِّل المركبة الأفقيَّة للسرعة:



- أ . $-20 \cos 60^\circ$
- ب . $20 \cos 60^\circ$
- ج . $20 \sin 30^\circ$
- د . $20 \cos 30^\circ$

2. **استنتج:** ركل لاعب كرَّة قدمٍ كتلتها 0.4 kg لتنطلق بسرعة 30 m/s في اتجاه يُصنَع زاويةً مقدارُها 37° مع سطح الأرض الأفقي، وتؤثِّر فيها قوَّة الجاذبية الأرضية بتسارُعٍ في اتجاه محور (y -) مقداره 10 m/s^2 . استغرقتَ الكرة مدةً زمنيَّةً مقدارُها 6 s لتعود إلى مستوى سطح الأرض:

- أ . أُحدِّدُ الكميات المُتَجَهَّة والكميات القياسيَّة.
- ب . أُمثِّلُ الكميات المُتَجَهَّة بيانياً.
- ج . هل يُمكِّن إيجاد محصلة تلك الكميات المُتَجَهَّة؟ أُفِير إجابتي.



3. **استخدم الأرقام:** حلِّ ثُؤُر قوى عَدَّة في جسم، كما في الشكِّل المجاور، أُحدِّد مقدارَ محصلةَ القوى المؤثِّرة في الجسم بالطريقة التحليلية، وأُحدِّد اتجاهَها بالنسبة لمحور x .

4. **استخدم الأرقام:** أحسبُ مُتَجَهَان: الأول $F = 8 \text{ N}$ في اتجاه محور (y)-، والثاني $r = 5 \text{ m}$ في اتجاه محور (x)+. أُجدُّ:

- أ . $3F$.
- ب . $-0.5r$
- ج . $|r \times F|$
- د . $|r \times r|$
- ه . $F \cdot r$

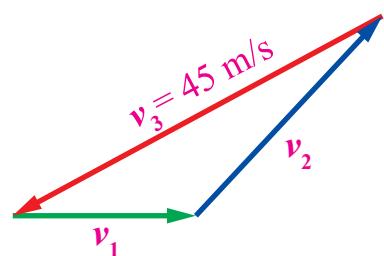
5. **استخدم الأرقام:** انطَقَت نورٌ من منزلها سيراً على الأقدام، وقطعتْ مسافة 400 m باتجاه الغرب، ثمَّ اتجهَت شمالاً، وقطعتْ مسافة 200 m لتصلَّ منزل صديقتها. إذا أرادَت نور العودةَ مباشرةً إلى منزلها بخطٍ مستقيم، فكم متراً يجب أن تسير؟ في أيِّ اتجاهٍ يتَعَيَّنُ عليها السير حتى تصلَّ منها؟

6. ثلاثة متجهات للسرعة تشكل مثلثاً مغلقاً، كما في الشكل المجاور.

أجد:

$$v_1 + v_2 .$$

ب. محصلة المتجهات الثلاثة.



7. **استخدم الأرقام:** أحسب صوب سارة كررة تنس أفقياً نحو جدار عمودي،

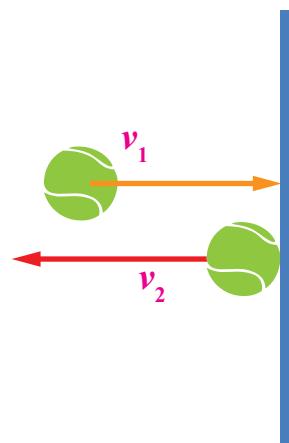
فاصطدمت به بسرعة أفقية v_1 مقدارها 10 m/s باتجاه الشرق، كما في الشكل المجاور، ثم ارتدت عندها أفقياً نحو الغرب بسرعة v_2 مقدارها

$$\Delta v = v_2 - v_1 \quad (\Delta v = 7 \text{ m/s}).$$

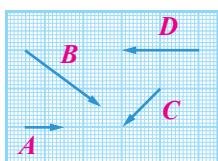
8. **استنتج:** ما مقدار الزاوية بين المتجهين: A و B في الحالتين الآتيتين:

$$|A \times B| = A B \quad ?$$

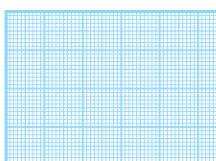
$$?A \cdot B = A B$$



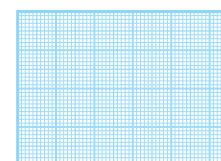
9. استخدم الطريقة البيانية في حساب ناتج جمع المتجهات وطرحها، كما هو مبين في الشكل الآتي:



المتجهات: A ، و B ، و C ، و D
حيث يمثل كل خمس مربعات صغيرة في الرسم وحدة واحدة (1u).



المحصلة R

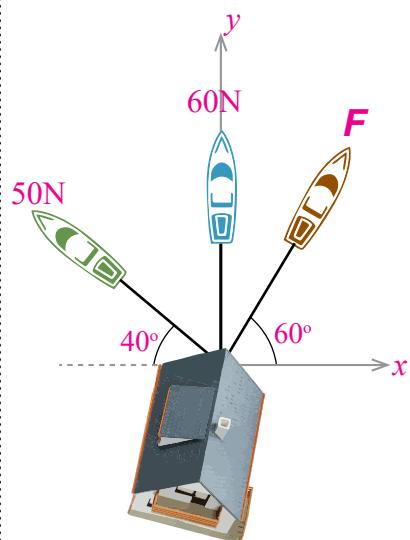


ناتج جمع:
 $2A + B - C + 1.5D$

10. **استخدم الأرقام:** حلل ثلاثة قوارب، كل منها يؤثر بقوة في منزل عائم على الماء لسبيه، كما في الشكل المجاور. إذا تحرك المنزل باتجاه محور (+y)، فأجد:

$$\text{أ. مقدار القوة } F.$$

ب. مقدار محصلة القوى الثلاث، محدداً اتجاهها.



الوحدة

2

الحركة

M o t i o n



أتأمل الصورة

يرتب اللاعب كرات البلياردو على شكل مثلث، ثم يبدأ اللعب مستعيناً عصا خاصةً بضرب الكرة البيضاء نحو هذا التجمع، فتحرك كرات البلياردو في اتجاهات متعددة، غير أن كل كرة تحرك وحدها على خط مستقيم. فهل يمكن وصف حركة كل كرة بأنها منتظمة؟

الفكرة العامة:

لدراسة حركة أيّ جسم، سواءً أكان قريباً حولنا أم بعيداً في الفضاء، يتَعَيَّن علينا أن نصف مكان وجوده الآن، والمكان الذي وُجِدَ فيه قديماً، وأين سيكون بعد زمان.

الدرس الأول: الحركة في بُعد واحد

الفكرة الرئيسية: الحركة في بُعد واحد تعني أنَّ الجسم يتحرَّك على خطٍّ مستقيم، في اتجاهٍ واحد، أو في اتجاهين متعاكسيْن.

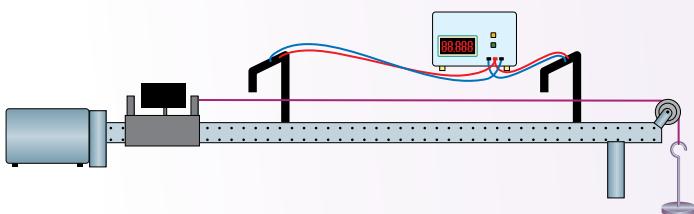
الدرس الثاني: الحركة في بُعدَيْن

الفكرة الرئيسية: الحركة في بُعدَيْن تعني أنَّ لسرعة الجسم مركبَيْن متعامدَيْن من دون اعتماد إحداهُما على الآخر.

تجربة استهلاكه

وصف الحركة باستخدام المدرج الهوائي

المواد والأدوات: مدرج هوائي وملحقاته (بابتيان ضوئيتان، بكرة، خيط، عداد زمني رقمي)، كتلتان: (50 g) و (100 g).



الحذر من سقوط الأجسام والأدوات على القدمين.

خطوات العمل:

- 1 أجهز المدرج الهوائي، وأثبته بشكل أفقى، ثم أصل البوابتين بالعداد الزمني الرقمي على نحو صحيح.
- 2 أثبتت البكرة فوق طرف المدرج، ثم أضع العربة على الطرف البعيد، وأربطها بخيط، ثم أمررها فوق البكرة.
- 3 أثبتت البوابتين الضوئيتين فوق المدرج، بحيث تكون إحداهما عند موقع بداية الحركة والأخرى عند موقع نهايتها.
- 4 أربط الطرف الحر للخيط في الكتلة (50 g).
- 5 أشغّل مضخة الهواء، وأترك الكتلة لتحرك من نقطة البداية.
- 6 **الاحظ** حركة العربة، والإزاحة التي تقطعها، وأنظر قراءة العداد الزمني الرقمي.
- 7 أقيس المسافة بين البوابتين الضوئيتين على طول المدرج، ثم أدون نتائج القياس في الجدول.
- 8 أكرر التجربة باستخدام الكتلة الأخرى (100 g)، ثم أدون النتائج في الجدول.

| الحالات (الشكل) | الإزاحة Δx (m) | زمن الحركة Δt (s) | السرعة المتوسطة \bar{v} (m/s) |
|------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| الكتلة الأولى (50 g) | | | |
| الكتلة الثانية (100 g) | | | |

التحليل والاستنتاج:

1. أجد الزمان الكلي لحركة العربة في حال استخدام كل كتلة.
2. أجد ناتج قسمة إزاحة العربة على زمن الحركة في كل من الحالتين (الناتج هو السرعة المتوسطة).
3. أقارن النتائج عند اختلاف الكتلة المعلقة.
4. **التفكير الناقد:** إذا كانت سرعة العربة الابتدائية صفرًا، فهل يمكن معرفة سرعتها النهائية بناءً على سرعتها المتوسطة؟

الحركة Motion

تحرّك الأجسام بطرائق مختلفة؛ فالكرة مثلاً تحرّك على سطح الأرض في خط مستقيم عند ركلها بصورةٍ أفقية، في حين أنها تحرّك في مسارٍ منحنٍ عند ركلها بزاوية نحو الأعلى.

يوجّد للحركة أشكالاً متعددة، تصنّف ضمن ثلاثة مجالات رئيسية، هي: الحركة في بُعد واحد، والحركة في بُعدين، والحركة في ثلاثة أبعاد. وسندرس في هذه الوحدة موضوع الحركة في بُعد واحد، وموضوع الحركة في بُعدين. توصّف حركة كرٌ ما على سطح الأرض في خط مستقيم بأنّها حركة في بُعد واحد، سواءً استمرّت الحركة في اتجاه واحد أو في اتجاهين متعاكسيْن.

الموقع والإزاحة Position and Displacement

عند تحديد موقع (Position) جسم يُراد وصفُ حالته الحركية، فإنّنا نعتمد على أجسامٍ أخرى قربه، أو نعتمدُ نظاماً إحداثياً متعامداً ونقطة إسناد (Reference point) مُحدّدةٍ يُنسب إليها موقع هذا الجسم. ويطلق على نظام الإحداثيات ونقطة الإسناد اسم الإطار المرجعي للحركة. سنبدأ بدراسة الحركة في بُعد واحد. فمثلاً، قد يتحرّك الجسم في خطٍ مستقيم على محور (x) في اتجاه واحد، أو في اتجاهين متعاكسيْن، أنظر الشكل (1) الذي يوضّح حركة كرٌ في بُعد واحد على محور (x).



الشكل (1): مفهوماً الإزاحة والمسافة.

الفكرة الرئيسية:

الحركة في بُعد واحد تعني أنَّ الجسم يتحرّك على خطٍ مستقيم، في اتجاه واحد، أو في اتجاهين متعاكسيْن.

اتجاه التعلم:

- أُمثل المُتغيّرات المُتعلقة بوصف الحركة برسوم بيانية.
- أفسّر رسوماً بيانيةً تعلق بوصف الحركة.
- أوضح معادلات الحركة في الميكانيكا، وأستخدمها في حل المسائل.
- أستقصي أهمية التطبيقات الحياتية للحركة في بُعد واحد.

المفاهيم والمصطلحات:

- الموقع Position.
- نقطة الإسناد Reference Point.
- الإزاحة Displacement.
- المسافة Distance.
- الحركة المتظمة Uniform Motion.
- السرعة القياسية Speed.
- السرعة المتجهة Velocity.
- السرعة المتجهة المتوسطة Average Velocity.
- السرعة المتجهة اللحظية Instantaneous Velocity.
- التسارع Acceleration.
- تسارع السقوط الحرّ Free Fall Acceleration.

نُعبر عن موقع الكرة بالنسبة إلى نقطة الإسناد ($x = 0$)، كما يأتي:
إذا كان موقع الكرة على يمين نقطة الإسناد، فإن (x) تكون موجبة، في حين
أنها تكون سالبة إذا كان موقع الكرة على يسار تلك النقطة.

لوصف حركة الكرة، يجب أولاً تعرّف مفهوم الإزاحة Displacement (Δx)، وهي الفرق بين متجه موقع الكرة النهائي (x_2) ومتوجه موقعها الابتدائي (x_1)، وذلك باستخدام العلاقة:

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

في المرحلة الأولى من الحركة انتقلت الكرة من الموقع $x_1 = 2\text{m}$
إلى الموقع $x_2 = 5\text{ m}$; لذا تكون إزاحة الكرة:

$$(\Delta x)_1 = 5 - 2 = 3\text{m}$$

ومن الملاحظ أن إشارة الإزاحة موجبة؛ ما يعني أن الكرة تحركت
في اتجاه محور (x) الموجب.
أمّا إزاحة الكرة في المرحلة الثانية من الحركة، فهي:
 $(\Delta x)_2 = -4 - 5 = -9\text{ m}$

والإشارة السالبة تعني أن الكرة تحركت في اتجاه محور (x) السالب.
يمكن حساب الإزاحة الكلية للكرة مباشرة بإيجاد الفرق بين
موقعي الكرة الابتدائي والنهائي كما يأتي:

$$\Delta x = -4 - (+2) = -6\text{ m}$$

وهذا يمثل حاصل جمع الإزاحتين لمرحلة الحركة الأولى
والحركة الثانية:

$$\Delta x = (+3) + (-9) = -6\text{ m}$$

يمكن أيضاً وصف حركة الكرة باستخدام مفهوم المسافة Distance، وهي كمية قياسية قيمتها تساوي طول المسار الفعلي الذي اتبّعه الجسم، ويرمز إليها بالرمز (S). يتبيّن من الشكل (1) أن المسافة الكلية التي قطعتها الكرة (S) هي المسافة المقطوعة في المرحلة الأولى ($S_1 = 3\text{m}$ ، مضافاً إليها المسافة المقطوعة في المرحلة الثانية ($S_2 = 9\text{ m}$ ، وهي:

$$S = S_1 + S_2 = 3 + 9 = 12\text{ m}$$

✓ **أتحقق:** فيم تختلف المسافة التي قطعتها الكرة عن الإزاحة التي
أحدثتها في هذه الحركة؟ أيهما أكبر: المسافة أم مقدار الإزاحة؟

السرعة المتوسطة

السرعة القياسية المتوسطة Average Speed

يمكن وصف الحركة باستخدام مفهوم السرعة القياسية المتوسطة **Average speed** (٤)، التي تُحسب بقسمة طول المسار الفعلي الذي

يقطعه الجسم (S) على الزمن الكلي للحركة (Δt):

$$\bar{v}_s = \frac{S}{\Delta t}$$

تقاس السرعة بوحدة (m/s) بحسب النظام الدولي لوحدات القياس. ولأن المسافة كمية لا اتجاه لها فإن السرعة القياسية أيضاً ليس لها اتجاه. فمثلاً، الطائرة التي تصل إلى دولة قطر من عمان في ثلاث ساعات وربع الساعة، وتقطع مسافة (2600 km)، وتغير مقدار سرعتها واتجاه طيرانها مرات عددة، في هذه الأثناء، يمكن حساب سرعة الطائرة القياسية المتوسطة بقسمة المسافة التي قطعتها على زمن الطيران، فيكون الناتج

.(800 km/h)

السرعة المتجهة المتوسطة Average Velocity

تعتمد السرعة المتجهة المتوسطة **Average velocity** للجسم على إزاحته، وعلى الزمن اللازم لحدوث تلك الإزاحة، ويرمز إلى هذه السرعة بالرمز (٤)، وتُحسب بقسمة الإزاحة الكلية للجسم على الزمن الكلي اللازم لقطع الإزاحة:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

يذكر أن السرعة المتوسطة تُحسب خلال مدة زمنية (Δt)، سواء أكانت هذه السرعة قياسية أم متجهة.

أتحقق: أقارن بين السرعة القياسية المتوسطة والسرعة المتجهة المتوسطة من حيث وحدة القياس، الاتجاه، رمز كل منها.

المثال ١

قطع فراس بدرجته مسافة (645 m) في مدة زمنية مقدارها (86 s). أجد سرعته القياسية المتوسطة.

المعطيات: (Δt = 86 s), (S = 645 m).

المطلوب: ($\bar{v} = ?$).

الحل:

$$\bar{v}_s = \frac{S}{\Delta t} = \frac{645}{86} = 7.5 \text{ m/s}$$

السرعة المتجهة الحالية Instantaneous Velocity



الشكل (2): السرعة الحالية.

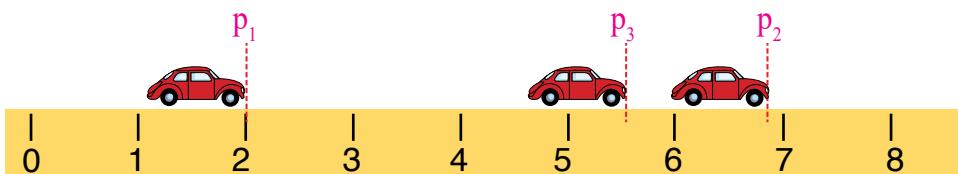
إن قراءة عدد السرعة في السيارة عند لحظة معينة تمثل السرعة القياسية الحالية Instantaneous speed، كما في الشكل (2). وعند تحديد اتجاه هذه السرعة، فإنها تسمى السرعة المتجهة الحالية Instantaneous velocity، ويُرمز إليها بالرمز v . فمثلاً، إذا كان اتجاه حركة السيارة المُبيَّن عدداً سرعتها في الشكل (2) نحو الشمال، فإن سرعتها المتجهة الحالية هي 90 km/h شمالاً.

وإذا كانت السرعة المتجهة (أو القياسية) الحالية ثابتة، فإنها تساوي السرعة المتجهة (أو القياسية) المتوسطة دائماً. وعندما يتحرك الجسم بسرعة قياسية ثابتة توصف حركته بأنها منتظمة. نشير إلى أن كلمة (سرعة) تعني السرعة المتجهة أينما وردت في هذا الكتاب.

تحقق: ما الشرط الواجب توافرُه في الحركة في بُعد واحد لكنه تتساوى السرعة المتجهة المتوسطة مع السرعة الحالية؟

المثال 2

وضعت لعبة سيارة على محور (x)، على بُعد (2 m) من نقطة الأصل في الاتجاه الموجب، ثم حركت في الاتجاه الموجب فأصبحت على بُعد (6.8 m) على المحور نفسه، ثم حركت في الاتجاه السالب فأصبحت على بُعد (5.6 m)، كما في الشكل (3). إذا علمت أن الزمن الكلي للحركة هو (15 s)، فاجد:



الشكل (3): حركة لعبة السيارة.

أ . المسافة الكلية التي قطعتها لعبة السيارة.

ب . الإزاحة الكلية لعبه السيارة.

ج . السرعة القياسية المتوسطة لعبه السيارة.

د . السرعة المتجهة المتوسطة لعبه السيارة.

المعطيات: $(\Delta t = 15 \text{ s})$ ، $x_3 = 5.6 \text{ m}$ ، $x_2 = 6.8 \text{ m}$ ، $x_1 = 2.0 \text{ m}$

المطلوب: $S = ?$ ، $\Delta x = ?$ ، $\bar{v}_s = ?$ ، $\bar{v} = ?$

الحل:

أ. المسافة الكلية التي قطعتها لعبة السيارة تساوي مجموع المسافتين: S_1 و S_2 :

المسافة الأولى:

$$S_1 = 6.8 - 2.0 = 4.8 \text{ m}$$

المسافة الثانية:

$$S_2 = |5.6 - 6.8| = 1.2 \text{ m}$$

المسافة الكلية:

$$S = S_1 + S_2 = 4.8 + 1.2 = 6.0 \text{ m}$$

ب. الإزاحة الكلية للعبة السيارة تساوي الفرق بين متجهي المواقع: الابتدائي، والنهائي:

$$\Delta x = x_3 - x_1 = 5.6 - 2.0 = 3.6 \text{ m}$$

من الملاحظ أن إشارة الإزاحة موجبة؛ لأن إزاحة الجسم الكلية في اتجاه محور (x) الموجب.

ج. السرعة القياسية المتوسطة للعبة السيارة:

$$\bar{v}_s = \frac{S}{\Delta t} = \frac{6}{15} = 0.4 \text{ m/s}$$

د. السرعة المتجهة المتوسطة للعبة السيارة:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{3.6}{15} = 0.24 \text{ m/s}$$

يلاحظ أن السرعة المتجهة المتوسطة موجبة؛ ما يعني أنها في اتجاه محور (x) الموجب، وأنه لا يوجد اتجاه للسرعة القياسية المتوسطة.

التسارُعُ الثابتُ Constant Acceleration

لتوسيع مفهوم التسارُع Acceleration، أتَّعمُ النَّظرَ في الجدول (1)، الذي يُبيِّنُ السُّرعَاتِ المُتَجَهَّةَ الْلحظِيَّةَ (٧) لسيارَتَيْنِ تتحرَّكَانِ في اتجاهِ محورِ (x) الموجِبِ في الأوقاتِ الزُّمنِيَّةِ المُحدَّدةِ.

يُلاحظُ أنَّ سرعةَ السيارةِ الأولى ثابتةُ المقدارِ عندَ القيمةِ (4.0 m/s)، وكذلك اتجاهُها؛ ما يعني أنَّها لا تتسرُّعُ، أمَّا سرعةُ السيارةِ الثانية فمُتغيِّرةُ المقدارِ، بحيثُ تزدادُ (2 m/s) في أثناءِ كُلِّ ثانيةٍ منْ زمانِ الحركةِ؛ ما يعني أنَّها تتسرُّعُ.

يُذَكَّرُ أنَّ التسارُعَ المُتوسِّطَ Average acceleration كميةٌ مُتَجَهَّةٌ تعطى بناحِيَّةِ التغييرِ في السرعةِ الْلحظِيَّةِ (Δv) على المدَّةِ الزُّمنِيَّةِ اللازمَةِ لإِحْدَاثِ التغييرِ في السرعةِ:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

إنَّ اتجاهَ التسارُعِ المُتوسِّطِ يكونُ دائِمًا في نفسِ اتجاهِ التغييرِ في السرعةِ الْلحظِيَّةِ (Δv ، ويُقاسُ هذا التسارُعُ بوحدةٍ m/s²، أمَّا التسارُعُ الْلحظِيُّ (a) فيُعرَفُ عندَ لحظةٍ زُمنِيَّةٍ مُحدَّدةٍ. وسيقتصرُ الحديثُ هنا على التسارُعِ الثابتِ؛ حيثُ يتساوِي التسارُعُ المُتوسِّطُ والتسارُعُ الْلحظِيُّ ($\bar{a} = a$).

افْخَرْ: عندما تزداد سرعة السيارة بمقدار (2 m/s) في كل ثانية يكون التسارُع ثابتاً. كيف يكون تسارُع السيارة غير ثابت؟



أُسْتَخدُمُ بِرَنَامِجِ الْجَداولِ الإِلْكْتَرُوْنِيَّةِ (Microsoft Excel) لِتَمْثِيلِ الْبَيَانَاتِ فِي الْجَدَولِ (1) بِمُخْطَطٍ بِيَانِيٍّ خَطِيٍّ.

السرعَةُ الثابتَةُ، والسرعَةُ المُتَغَيِّرَةُ.

الجدول (1)

| | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------------|
| $t_5=4$ | $t_4=3$ | $t_3=2$ | $t_2=1$ | $t_1=0$ | الزمنُ (s): |
| $v_5=4.0$ | $v_4=4.0$ | $v_3=4.0$ | $v_2=4.0$ | $v_1=4.0$ | سرعَةُ السيارةِ الأولى (m/s): |
| $v_5=8.0$ | $v_4=6.0$ | $v_3=4.0$ | $v_2=2.0$ | $v_1=0$ | سرعَةُ السيارةِ الثانية (m/s): |

المثال ٣

بناءً على قيم الزمن والسرعة الواردة في الجدول (١)، أجد التسارع المتوسط لكلٍ من السياراتتين خلال المدة الزمنية من $(t_1 = 1\text{ s})$ إلى $(t_2 = 2\text{ s})$.
المعطيات: الجدول.

المطلوب: $\bar{a} = ?$

التسارع المتوسط للسيارة الثانية:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_3 - v_2}{t_3 - t_2}$$

$$\bar{a} = \frac{4.0 - 2.0}{2 - 1} = \frac{2.0}{1} = 2 \text{ m/s}^2$$

الحل: التسارع المتوسط للسيارة الأولى:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_3 - v_2}{t_3 - t_2}$$

$$\bar{a} = \frac{4.0 - 4.0}{2 - 1} = \frac{0}{1} = 0 \text{ m/s}^2$$

يلاحظ أنَّ التسارع المتوسط للسيارة الأولى صفر؛ لأنَّ سرعتها اللحظية لم تغير، وأنَّ السيارة الثانية تتحرك بتسارع متوسط ثابت المقدار والاتجاه (2 m/s^2) في اتجاه محور (x) الموجب؛ لذا تتغير سرعتها المتجهة اللحظية باستمرار.

أتحقق: أجد التسارع المتوسط لكلٍ من السياراتتين في أثناء مدد زمنية أخرى؛ من: $(t_1 = 0 \text{ s})$ إلى $(t_4 = 3 \text{ s})$ مثلاً.

المثال ٤

تحرك قطار نحو الشرق في اتجاه محور ($+x$) بسرعة مُتغيِّرة المقدار، وقد رُصِدَت سرعته الابتدائية عند اللحظة $(t = 2 \text{ s})$ ، فكانت (12 m/s) ، ثم رُصِدَت سرعته النهائية عند اللحظة $(t = 38 \text{ s})$ ، فكانت (30 m/s) . أجد مقدار التسارع المتوسط الذي تحرك به القطار خلال هذه المدة، ثم أحدِّد اتجاه هذا التسارع.

المعطيات: $t_2 = 38 \text{ s}$ ، $t_1 = 2 \text{ s}$ ، $v_2 = 30 \text{ m/s}$ ، $v_1 = 12 \text{ m/s}$

المطلوب: $\bar{a} = ?$ ، اتجاه التسارع

الحلُّ:

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

$$\bar{a} = \frac{30 - 12}{38 - 2} = \frac{18}{36} = 0.5 \text{ m/s}^2$$

يُلاحظُ أنَّ التغيير في السرعة المُتَجَهَّةُ اللحظية (Δv) موجبٌ؛ أيٌ في اتجاهِ الشرق؛ لذا يكونُ اتجاهُ التسارُع المُتوسِطِ نحوَ الشرق ($+x$)، ويُوضَعُ ذلك منْ إشارةِ التسارُع المُتوسِطِ الموجبة.

المثالُ 5

انطلقَ سامرٌ بزلاجيَّه بسرعةٍ ابتدائيةٍ (2.4 m/s) باتجاهِ الشرق، وبعدَ مدةٍ زمنيةٍ مقدارُها (3.0 s) توقفَ الزلاجيَّ عنِ الحركة. أَجِدُ مقدارَ التسارُع المُتوسِطِ للزلاجيَّ، مُحدِّداً اتجاهَه.

المعطياتُ: $\Delta t = 3.0 \text{ s}$ ، $v_2 = 0 \text{ m/s}$ ، $v_1 = 2.4 \text{ m/s}$

المطلوبُ: $\bar{a} = ?$ ، اتجاهُ التسارُعِ.

الحلُّ:

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

$$\bar{a} = \frac{0.0 - 2.4}{3.0} = \frac{-2.4}{3.0} = -0.8 \text{ m/s}^2$$

يُلاحظُ أنَّ إشارةَ التسارُع المُتوسِطِ سالبةٌ؛ ما يعني أنَّ اتجاهَه نحوَ الغربِ؛ أيٌ أنَّ اتجاهَ التسارُعِ بعكسِ اتجاهِ السرعةِ، وفي مثلِ هذهِ الحالةِ تكونُ الحركةُ بطيئةً.

بالنظر إلى المثالين السابقين، نجد أنَّ تسارُع الأجسام يكون في حالتين، هما:

الحالة الأولى: تكون الأجسام متتسارعةً عندما تتشابه إشارة التسارع مع إشارة السرعة؛ فتكون الإشارات موجبة (+, +)، كما في المثال (4)؛ إذ تحرَّك القطار بسرعةٍ وتسارعٍ باتجاه +x، أو سالبٍ (-, -)؛ فيكون كلٌ من السرعة والتسارع باتجاه +x.

الحالة الثانية: تكون الأجسام متباطئةً عندما تختلف إشارة التسارع عن إشارة السرعة؛ فتكون إحداها موجبة والأخرى سالبة (-, +)، كما في المثال (5)؛ إذ تحرَّكت الزلاءة ببطءٍ.

المثال 6

تحرَّك كرٌّ أرضيٌّ في اتجاه الشرق مع محور (+x) بسرعة (40 m/s). وفي أثناء مدة زمنية مقدارها ($\Delta t = 0.05$ s) ارتدت الكرٌّ نحو الغرب مع محور (-x) بسرعة (40 m/s)، كما في الشكل (4). أجد مقدار تسارع الكرة في أثناء هذه المدة، محدداً اتجاهه.

المعطيات: ($\Delta t = 0.8$ s) ، ($v_2 = -40$ m/s) ، ($v_1 = +40$ m/s).

المطلوب: ($\bar{a} = ?$).

الحلُّ:

سرعة الكرة الابتدائية موجبة، وسرعتها النهائية سالبة:

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

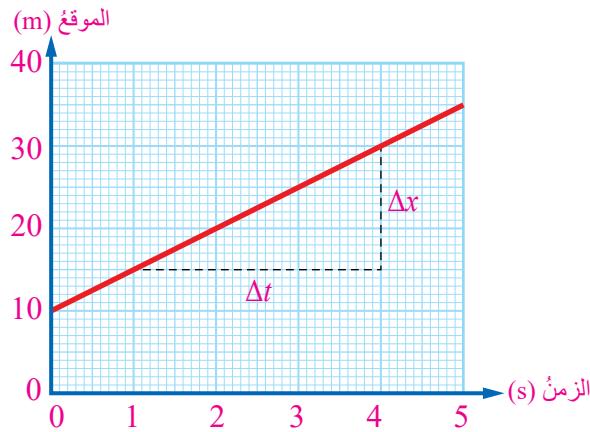
الشكل (4): ارتداد الكرة بعد تصادمها مع المضرب.

$$\bar{a} = \frac{-40 - 40}{0.05} = \frac{-80}{0.05} = -1600 \text{ m/s}^2$$

يلاحظ أنَّ تسارع الكرة سالبٌ؛ ما يعني أنه في اتجاه محور (-x).

أتحقق: بدأ طائرةُ السير على مدرج المطار من وضع السكون، بحركةٍ أفقيةٍ في خطٍ مستقيم، فأصبحت سرعتها (80 m/s) بعد مرور مدة زمنية مقدارها ($t = 32$ s). أجد مقدار التسارع المتوسط للطائرة في أثناء تلك المدة، ثم أحدد اتجاهه.

الشكل (5): منحنى الموضع - الزمن.



تمثيل الحركة بيانياً

منحنى الموضع-الزمن Position-Time Graph

عند تمثيل الحركة بيانياً، بحيث يُحدّد محور (x) لتدريج الزمن، ومحور (y) لتدريج الموضع، فإن هذه العلاقة البيانية تصف التغيير في موقع الجسم بالنسبة إلى الزمن، انظر الشكل (5). وبالرجوع إلى منحنى هذه العلاقة يمكن معرفة الموضع الذي يوجد فيه الجسم المتحرك نسبيةً إلى نقطة الإسناط في أي لحظة زمنية، وتمثل نقطة الإسناط عادةً عند $(0,0)$ على الرسم.

يتبيّن من الشكل (5) أنَّ الجسم يقع على بعد (15 m) من نقطة الإسناط عند اللحظة $(s = 1\text{ s})$ ، وأنَّه قد غير موقعه، فأصبح على بعد (30 m) عند اللحظة $(s = 4\text{ s})$ ؛ لذا، فإنَّ إزاحته في أثناء المدة الزمنية (Δt) :

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 30 - 15 = 15 \text{ m}$$

حيث:

$$\Delta t = 4 - 1 = 3 \text{ s}$$

درست في مبحث الرياضيات أنَّ ميل الخط المستقيم يعطى بالعلاقة الآتية:

$$slope = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

اعتماداً على الشكل (5)، يمكن حساب ميل الخط المستقيم الذي

يصلُّ بينَ الموقِعِ الابتدائيِّ للجُسم ($x_1 = 15 \text{ m}$) عندَ الزَّمن ($t = 1\text{s}$) وموقعِه النَّهائيِّ ($x_2 = 30 \text{ m}$) عندَ الزَّمن ($t = 4\text{s}$) كما يأْتِي:

$$\text{slope} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{30 - 15}{4 - 1} = \frac{15 \text{ m}}{3 \text{ s}} = 5 \text{ m/s}$$

يُلَاحِظُ أَنَّ وحدةَ الميل هي (m/s) ، وَأَنَّ هذِهِ الوحدةَ هيَ وحدةُ السرعةِ نفْسُهَا. ولِمَا كَانَ المقامُ فِي المعادلةِ المذكورةِ آنفًا هوَ المدَّةُ الزَّمنيةُ التِّي حَدَثَ فِي أَثْنَائِهَا التَّغْيُيرُ فِي الموقِعِ، فَإِنَّ ميلَ الخطِّ المستقيمِ فِي منحنى الموقِعِ - الزَّمنِ يُمثِّلُ السرعةَ المُتَّجِهةَ المتوسطَةَ (\bar{v}) .

تجدرُ الإشارةُ إِلَى أَنَّ منحنى الموقِعِ - الزَّمنِ يَكُونُ خطًّا مستقيمًا عندَ الحركةِ بسرعَةٍ ثابتَةٍ؛ حيثُ التَّسارُعُ يساوي صَفَرًا، وَلَا يَكُونُ المنحنى مستقيمًا عندَ الحركةِ بسرعَةٍ مُتَغَيِّرَةٍ؛ حيثُ التَّسارُعُ لَا يساوي صَفَرًا.

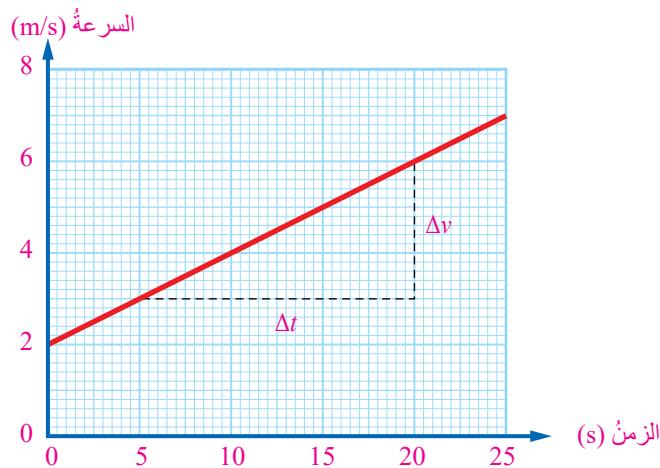
أَتَحَقَّقُ: أَصِفْ شَكْلَ منحنى الموقِعِ - الزَّمنِ لِجُسمٍ يَتَحَرَّكُ بسرعَةٍ ثابتَةٍ؛ مقدارًا، واتجاهًا.

منحنى السرعةِ - الزَّمن Velocity-Time Graph

عندَ تمثيلِ الحركةِ ببيانِيًّا، بحِيثُ يُحدَّدُ محورُ (x) لتدريجِ الزَّمنِ، ومحورُ (v) لتدريجِ السرعةِ، ثُمَّ تمثيلِ العلاقةِ بينَ السرعةِ والزَّمنِ بيانِيًّا، فَإِنَّ هذِهِ العلاقةَ تصفُ التَّغْيُيرَ فِي سرعةِ الجُسمِ بالنِّسبةِ إِلَى الزَّمنِ، كَما في الشَّكْلِ (6)، وَتُمْكِنُنَا مِنْ معرفَةِ سرعةِ الجُسمِ عندَ أيِّ لحظَةٍ زَمنِيَّةٍ، فضلاً عنْ حسابِ تَسارُعِ الجُسمِ مِنْ تحليلِ الرَّسِيمِ البيانيِّ. بناءً عَلَى تعريفِ التَّسارُعِ المتوسطِ، فَإِنَّ:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

الشكل (6): منحنى السرعة - الزمن.
ما مقدار سرعة الجسم عند الثانية (5 s)؟



بالرجوع إلى مفهوم الميل في الرياضيات نجد أنَّ مقدار التسارُع يساوي الميل. ولأنَّ الميل في الشكل (6) موجب؛ فإنَّ التسارُع يكون موجباً أيضاً، وتشابه إشارات السرعة والتسارُع (+, +)؛ لذا يتسارع الجسم في الاتجاه الموجب.

يتبيَّن منَ الشكل (6) أنَّ التسارُع يساوي الميل:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{6 - 3}{20 - 5} = \frac{3}{15} = 0.2 \text{ m/s}^2$$

يلاحظُ أنَّ منحنى السرعة - الزمن خطٌّ مستقيم، فيكونُ الميل في هذهِ الحالة ثابتاً، وكذلك التسارُع، ويكونُ $\bar{a} = a$.

أتحققُ: كيف أحدِّد ما إذا كانَ الجسمُ يتسارع أمْ يتباطأ منْ منحنى (السرعة - الزمن)؟ ✓

يُستفادُ أيضاً منَ منحنى السرعة - الزمن في معرفة إزاحةِ الجسم، وذلك بإنجاد المساحة تحت المنحنى؛ إذ تساوي هذه المساحة حاصل ضربِ السرعة (وحدة قياسها m/s) في المدةِ الزمنية (وحدة قياسها s)، فيُمثِّل حاصل الضربِ الإزاحة (وحدة قياسها $\frac{m}{s} \times s = m$)؛ أي أنَّ الإزاحة تساوي عددياً المساحة المحصورة تحت المنحنى.

في تجربة لدراسة حركة عربة صغيرة في المختبر، كانت النتائج كما في الجدول الآتي:

| الزمن (s): | السرعة (m/s): |
|------------|---------------|
| 25 | 3.0 |
| 20 | 3.0 |
| 15 | 2.5 |
| 10 | 2.0 |
| 5 | 1.5 |
| 0 | 1.0 |

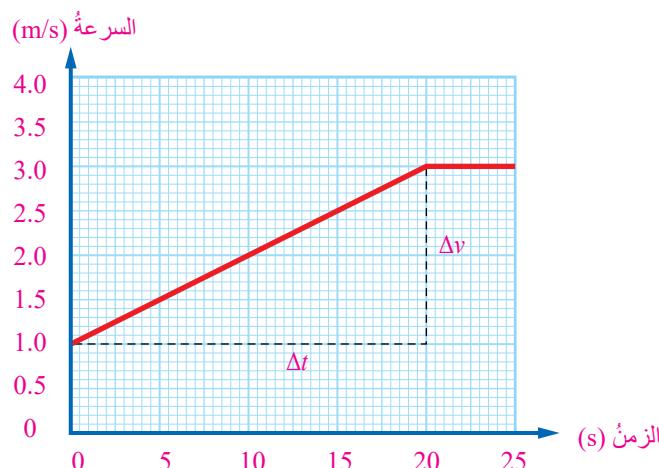
أمثل القيم التي في الجدول بيانيًا، ثم استنتج من المنحنى تسارع العربة في أثناء المدة الزمنية من (0 s) إلى (20 s).

المعطيات: قراءاتُ الزَّمْنِ، قراءاتُ السرعة.

المطلوب: رسم منحنى العلاقة بين السرعة والزَّمْنِ، إيجاد التسارع المتوسط.

الحل :

رسم الشكل (7) لتمثيل العلاقة بيانيًّا.

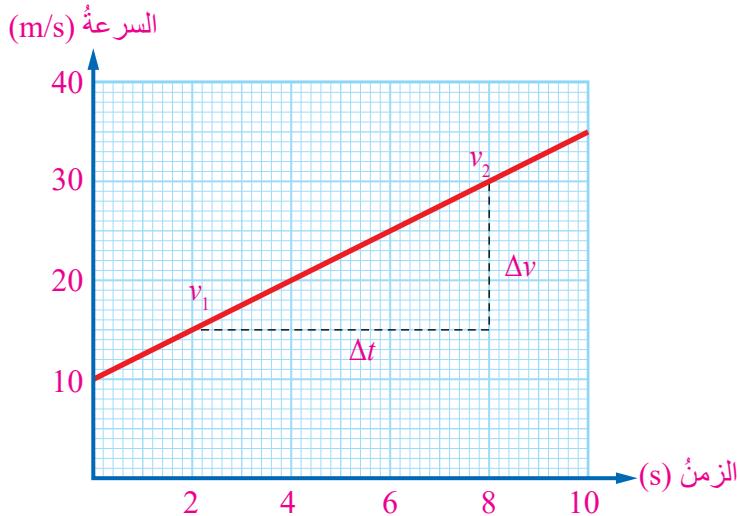


الشكل (7): منحنى السرعة - الزَّمْنِ.

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{3.0 - 1.0}{20 - 0} = \frac{2}{20} = 0.1 \text{ m/s}^2$$

لِمَدِينَةِ

أَجِدُ المساحة المحصورة بين المنحنى والمحور الأفقي (محور الزَّمْنِ) بين اللحظتين (t = 0 s, t = 25 s) في المثال السابق. ماذا تمثل المساحة التي حسبتها؟



الشكل (8) : التسارُع يساوي الميل.

معادلات الحركة Equations of Motion

تعرَّفْتُ وصفَ الحركةِ في بُعدٍ واحدٍ باستخدام مفهوم الإزاحةِ والسرعةِ، والتسارُعِ، ثُمَّ وصفَها بيانيًّا، وكيفَ أفسِرُ الأشكالَ البيانيةَ المُتعلِّقةَ بمتغيراتِ الحركةِ.

لوصفِ الحركةِ على نحوٍ أكثرَ سهولةً، تُستخدمُ ثلاثُ معادلاتٍ رياضيةٍ تساعدُ على وصفِ الحركةِ المنتظمةِ للأجسامِ في خطٍ مستقيمٍ.

• المعادلة الأولى

ملحوظة: موضوع الاشتقاءِ الرياضي لمعادلاتِ الحركةِ من موضوعاتِ المطالعةِ الذاتيةِ.

يُمثلُ الشكل (8) منحنى السرعةِ - الزمنِ الذي يمكنُ إيجادُ ميلِه، ثُمَّ حسابُ التسارُع الثابتِ (a) باستخدامِ العلاقةِ الآتية:

$$a = \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

حيثُ تُمثِّلُ $\Delta t = t_2 - t_1$ المدةُ الزمنيةُ التي حدثَ خلالَها التغييرُ في السرعةِ. ولكنْ، عندما يكونُ زمانُ البدايةِ ($t_1 = 0$)، فإنَّ: $(\Delta t = t_2 - 0 = t)$ ، عندئذٍ يمكنُ كتابةُ العلاقةِ بالصورةِ الآتيةِ:

$$v_2 - v_1 = at$$

$$v_2 = v_1 + at \quad \dots \dots \dots \quad \textcircled{1}$$

• المعادلة الثانية

يمكن معرفة السرعة المتجهة المتوسطة (\bar{v}) في حالة التسارع الثابت، بإيجاد المتوسط الحسابي للسرعة الابتدائية والسرعة النهائية:

$$\bar{v} = \frac{v_2 + v_1}{2}$$

تُعطى السرعة المتجهة المتوسطة بدلالة الإزاحة الكلية للجسم من العلاقة الآتية:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{t}$$

حيث تمثل $x_2 - x_1 = \Delta x$ الإزاحة التي حدثت للجسم.

بالمساواة بين العلاقتين السابقتين، تنتهي العلاقة الآتية:

$$\Delta x = \frac{1}{2} (v_2 + v_1) t$$

بتعميض قيمة السرعة النهائية (v_2) من المعادلة الأولى، تنتهي العلاقة الآتية:

$$\Delta x = v_1 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad \dots \quad (2)$$

• المعادلة الثالثة

بناءً على العلاقة الخاصة بالسرعة المتجهة المتوسطة، فإنَّ:

$$\frac{\Delta x}{t} = \frac{v_2 + v_1}{2}$$

وبناءً على المعادلة الأولى في الحركة، فإنَّ:

$$v_2 - v_1 = at$$

بتعميض قيمة (t) من إحدى العلاقتين في الأخرى، فإنَّ:

$$(v_2 - v_1)(v_2 + v_1) = 2a\Delta x$$

$$v_2^2 = v_1^2 + 2a\Delta x \quad \dots \quad (3)$$

ولكن، عندما يكون موقع البداية ($0 = x_1$)، فإنَّ:
 $(\Delta x = x_2 - 0 = x)$

عندئذٍ يمكن كتابة المعادلات السابقة بدلالة (x).

أفْكِر: في الحركة بتسارع ثابت، حيث يكون التغير في السرعة منتظمًا، تساوى السرعة المتوسطة مع المتوسط الحسابي للسرعتين الابتدائية والنهائية ($\bar{v} = \frac{1}{2}(v_1 + v_2)$). لماذا لا يكون ذلك صحيحاً عندما تتغير السرعة على نحو غير منتظم؟

أتحقق: متى يمكنني استخدام معادلات الحركة الثلاث السابقة؟

انطلقت نسرين بدرجتها الهوائية من وضع السكون بسرعةً أفقيةً في خط مستقيم، بتسارعٍ ثابتٍ مقداره (5 m/s²). أجد:

- أ . السرعة النهاية بعد مرور زمن مقداره (6.4 s).
- ب . الإزاحة الكلية التي قطعتها الدرجة.

المعطيات: ($t = 6.4 \text{ s}$ ، $a = 5 \text{ m/s}^2$ ، $v_1 = 0 \text{ m/s}$).

المطلوب: ($\Delta x = ?$)، ($v_2 = ?$).

الحل:

أ . لإيجاد السرعة النهاية، تُستخدم المعادلة الأولى:

$$v_2 = v_1 + at$$

$$v_2 = 0 + 5 \times 6.4 = 32 \text{ m/s}$$

ب . لإيجاد الإزاحة الكلية التي قطعتها الدرجة، تُستخدم المعادلة الثانية:

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

$$\Delta x = 0 + \frac{1}{2} \times 5 \times (6.4)^2 = 102.4 \text{ m}$$

سار قطار بسرعةً أفقيةً مقدارها (20 m/s) في خط مستقيم، ثم نقصَّت سرعتُه في أثناء إزاحةً مقدارها (128 m)، فأصبحَت (4 m/s). أَجِدْ تسارُعَ القطار.

المعطيات: $(\Delta x = 128 \text{ m})$, $(v_2 = 4 \text{ m/s})$, $(v_1 = 20 \text{ m/s})$.

المطلوب: $(a = ?)$.

الحل:

لإيجاد تسارُعِ القطارِ من دونِ معرفةِ الزمِنِ، تُستخدمُ المعادلةُ الثالثةُ:

$$v_2^2 = v_1^2 + 2a\Delta x$$

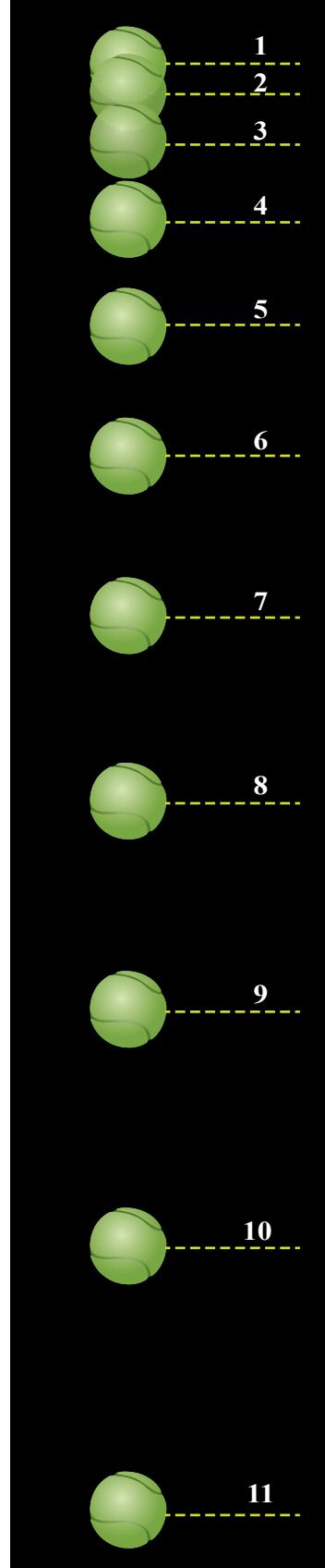
$$(4)^2 = (20)^2 + 2a \times 128$$

$$a = \frac{16 - 400}{2 \times 128} = -1.5 \text{ m/s}^2$$

تمرين

في المثال السابق، أَجِدْ المدَّةَ الزمنيةَ التي قطعَ فيها القطارُ الإزاحةَ المذكورةَ.

السقوطُ الحُرُّ Free Fall



الشكلُ (9): حركةُ السقوطِ الحُرُّ.

إنَّ الأجسامَ الموجودةَ في مجالِ الجاذبيةِ الأرضيةِ تتأثَّرُ بقُوَّةِ جذبِ الأرضِ لها (الوزنُ)؛ فعندَ رفعِ جسمٍ مثلاً ثمَّ تركِه ليتحرَّك بحرَّيةٍ فإنَّه يسقطُ إلى الأسفلِ (نحوَ مركزِ الأرضِ)، وعندَ رميِّ جسمٍ إلى الأعلى فإنَّ سرعتَه تتناقصُ حتَّى يتوقفَ عنِ الحركةِ عندَ ارتفاعٍ معينٍ، ثمَّ يعودُ إلى الأسفلِ.

يُعرَفُ السقوطُ الحُرُّ Free fall بأنَّ حركةَ الأجسامِ إلى الأعلى، أو إلى الأسفلِ، تحتَ تأثيرِ وزنِها فقط، وذلكَ بإهمالِ القوى الأخرى مثلِ مقاومةِ الهواءِ.

يُبيِّنُ الشكلُ (9) كرةً في حالةِ سقوطِ حُرٌّ عندما تُلْتَقَطُ لها مجموعةٌ متتاليةٌ من الصورِ، ويفصلُ بينَ كُلَّ صورتينِ متتاليتينِ مُدُّ زمانٍ متساويةٌ. الاحِظُ أنَّ الكرةَ تقطعُ إزاحاتٍ متزايدةً في أزمانٍ متساويةٍ نتيجةً لتسارُعِها نحوَ الأسفلِ.

يُعدُّ السقوطُ الحُرُّ أحدَ أهمِّ التطبيقاتِ على الحركةِ في بُعدِ واحدٍ بتسارُعٍ ثابتٍ، في ما يُعرفُ بتسارُعِ السقوطِ الحُرُّ Free fall acceleration، ويرمزُ إليه بالرمزِ (g). غيرَ أنَّ الأجسامَ التي نراها تسقطُ يومياً قد يختلفُ تسارُعُها قليلاً بسببِ تأثيرِ مقاومةِ الهواءِ، وهذا التأثيرُ يختلفُ باختلافِ شكلِ الجسمِ، وحجمِه، وسرعتِه، فيزدادُ زمانُ سقوطِها نتيجةً لذلكَ.

قريباً من سطحِ الأرضِ، يُعدُّ تسارُعُ السقوطِ الحُرُّ ثابتاً ($g=9.8 \text{ m/s}^2$) نحوَ مركزِ الأرضِ؛ لذا يُمكِّنُ استخدامُ المعادلاتِ السابقةِ للحركةِ، واستخدامُ الرمزِ (Δt) للإزاحةِ الرأسيةِ بدلاً من (Δx)، واستخدامُ ($-g$) بدلاً من (a)، علماً أنَّ الإشارةَ السالبةَ مَرْدُها إلى الاصطلاحِ بأنَّ الاتجاهَ نحوَ الأعلى موجبٌ، والاتجاهَ نحوَ الأسفلِ سالبٌ.

يمكِّنُ التوصلُ عملياً إلى قيمةِ قريبةٍ جداً من قيمةِ تسارُعِ السقوطِ الحُرُّ، وذلكَ بتنفيذِ التجربةِ العمليةِ الآتيةِ.

التجربة ١

قياس تسارع السقوط الحرّ عملياً

المواد والأدوات: كرة ماطية صغيرة، بوابتان صوتيتان، عداد زمني رقمي، شريط قياس متري، حامل فلزي.

إرشادات السلامة: الحذر من سقوط الأجسام والأدوات على القدمين.

خطوات العمل:



١. بالتعاون مع أفراد مجموعتي، أجهز مكاناً لسقوط الكرة عليه قرب الجدار (قطعة من الكرتون)، ثم أضع علامه على الجدار عند ارتفاع ($\Delta y = 1\text{m}$) تقريباً، ثم أثبتت إحدى البوابتين الصوتيتين عند تلك العلامه باستخدام حامل فلزي لرصد زمن بدء الحركة (t_1).

٢. أثبتت البوابة الأخرى قرب سطح الأرض لرصد زمن نهاية الحركة (t_2 ، ثم أصل البوابتين بالعداد الزمني الرقمي.

٣. **أجرّب:** أُسقط الكرة بحيث تمُر أمام البوابتين، ثم أدون في الجدول قراءة العداد الزمني الرقمي، وكذلك المسافة بين البوابتين.

٤. أرفع البوابة الصوتية العليا إلى ارتفاع (1.5 m) تقريباً، ثم أكرر الخطوة (٣)، مدونا النتائج في الجدول.

٥. أرفع البوابة الصوتية العليا مرة أخرى إلى ارتفاع (2 m) تقريباً، ثم أكرر الخطوة (٣)، مدونا النتائج في الجدول.

٦. أكمل بيانات الجدول بحساب الكميه ($2\Delta y$), والكميه (Δt^2)؛ حيث ($\Delta t = t_2 - t_1$) في كل محاولة، ثم أدونهما في الجدول.

٧. **أمثل بيانيّ القراءات في الجدول؛** على أن تكون قيم (Δt^2) على المحور الأفقي وقيم ($2\Delta y$) على المحور الرأسي، ثم أحسب ميل المنحنى (يُمثل هذا الميل تسارع السقوط الحرّ).

| رقم المحاولة | $\Delta y(\text{m})$ | $\Delta t^2(\text{s}^2)$ | $\Delta t = t_2 - t_1$ | $2\Delta y(\text{m})$ |
|--------------|----------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|
| | | | | |
| | | | | |

التحليل والاستنتاج:

١. **أقارن:** بالتعاون مع أفراد مجموعتي، أقارن النتيجة التي توصلنا إليها عملياً بالقيمة المقبولة المتفق عليها (9.8 m/s²).

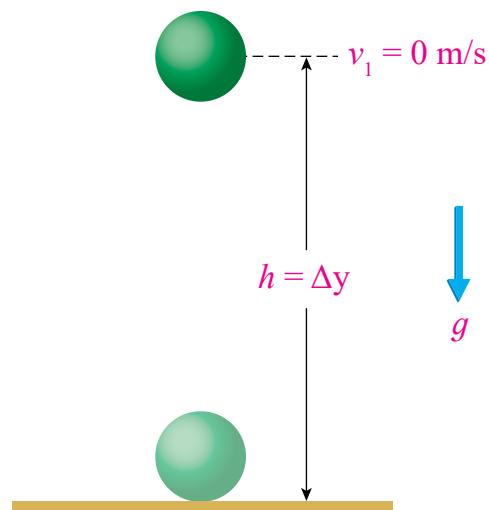
٢. **استنتج:** ما سبب اختلاف النتيجة بين مجموعة وأخرى؟ ما سبب اختلاف النتيجة عن القيمة المقبولة؟

٣. **أفسر:** ما سبب اختيار كرة ماطية صغيرة الحجم؟ إذا استخدمنا كرة كبيرة الحجم وخفيفة، بما الذي سيتغير؟

أُسْقِطَتْ كرَةً مِنْ وَضْعِ السُّكُونِ، كَمَا فِي الشَّكْلِ (١٠)، فَوَصَلَتِ سَطْحَ الْأَرْضِ بَعْدَ (٠.٦ s). أَجِدُ السُّرْعَةُ النَّهَايِيَّةُ لِلكرَةِ قَبْلَ مَلَامِسِهَا سَطْحَ الْأَرْضِ مُبَاشِرَةً.

المعطيات: ($t = 0.6 \text{ s}$) ، ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$) ، ($v_1 = 0 \text{ m/s}$)

المطلوب: السُّرْعَةُ النَّهَايِيَّةُ ($v_2 = ? \text{ m/s}$)



الشكل (١٠): سقوط كرَةٍ.

الحلُّ:

$$v_2 = v_1 + at = v_1 - gt$$

$$v_2 = 0 - 9.8 \times 0.6 = -5.88 \text{ m/s}$$

الإشارةُ السالبةُ هُنَا تُعْنِي أَنَّ اتجاهَ السُّرْعَةِ النَّهَايِيَّةِ هُوَ نَحْوَ سَطْحِ الْأَرْضِ بِعَكْسِ اتجاهِ المُوجِبِ.

لَمْرَأَةُ

فِي الْمَثَلِ السَّابِقِ، أَجِدُ الْأَرْتِقَاعَ ($h = \Delta y$) الَّذِي أُسْقِطَتْ مِنْهُ الْكَرَةُ.



أَعْدَّ فِيلِمًا قصِيرًا

باستخدامِ بِرَنَامِجِ صَانِعِ الْأَفْلَامِ (movie maker) يَبْيَّنُ حَرْكَةَ السُّقُوطِ الْحَرِّ لِلكرَةِ بِتَقْنِيَّةِ التَّصْوِيرِ التَّابِعِيِّ، وَأَحْرُصُ عَلَى أَنْ يَشْتَمِلَ الْفِلْمُ عَلَى تَوْضِيَّحِ التَّغْيِيرِ الَّذِي يَحْدُثُ لِلْسُّرْعَةِ مَعَ الزَّمْنِ، ثُمَّ أَشَارَ كُهُ زَمَلَائِيٍّ / زَمِيلَاتِيِّ فِي الصَّفِّ.

✓ **أَتَحَقَّقُ:** مَا الْقُوَّةُ الْمُؤْثِرَةُ فِي جَسَمٍ يَسْقُطُ سَقْوَطًا حَرًّا؟

فُزِقَ سهمٌ رأسياً نحو الأعلى بسرعةٍ ابتدائيةٍ مقدارها (14.7 m/s). أجد:

أ . زمـن وصول السـهم إلى أقصى ارتفاع.

ب . أقصى ارتفاع وصل إليه السـهم.

المعطيات: ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$) ، ($v_2 = 0 \text{ m/s}$) ، ($v_1 = +14.7 \text{ m/s}$)

المطلوب: ($\Delta y = ?$) ، ($t = ?$)

الحل:

أ . لإيجاد زمـن وصول السـهم إلى أقصى ارتفاع، استخدم المعادلة الأولى:

$$v_2 = v_1 - gt$$

$$0 = 14.7 - 9.8t$$

$$t = \frac{14.7}{9.8} = 1.5 \text{ s}$$

ب . لإيجاد أقصى ارتفاع وصل إليه السـهم، استخدم المعادلة الثالثة:

$$v_2^2 = v_1^2 - 2g\Delta y$$

$$0 = (14.7)^2 - 2 \times 9.8 \times \Delta y$$

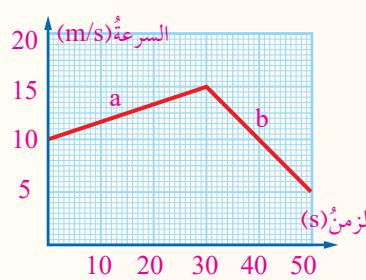
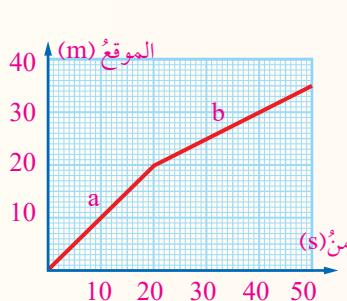
$$\Delta y = \frac{216.1}{19.6} = 11.0 \text{ m}$$

يلاحظ أن إشارة الإزاحة موجبة؛ ما يعني أن الإزاحة التي قطعها السـهم كانت في الاتجاه الموجب نحو الأعلى.

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسية: أوضح المقصود بالحركة المستطمية في بعدين واحد، وعلاقة ذلك بالسرعة.
2. استخدم الأرقام: أحسب يتحرك قطار أفقياً في خط مستقيم بسرعة ثابتة مقدارها (12 m/s). أجد الإزاحة التي يقطعها القطار إذا تحرك مدة (80) s.

3. استخدم الأرقام: أحسب تسحب فتاة صندوقاً على سطح أفقياً في اتجاه ثابت. بدأ الصندوق الحركة من وضع السكون، وأصبحت سرعته (1.2 m/s) بعد مرور (3) s. أجد التسارع الذي اكتسبه الصندوق.



4. أستنتج: يمثل الشكل المجاور منحنى الموقع-الزمن لحركة حصان يجر عربة في طريق مستقيم. معتمداً على الشكل، أجد:
- أ. الإزاحة التي قطعتها العربة في المرحلة (a) من الحركة.
 - ب. السرعة المتوسطة للعربة في المرحلة (b) من الحركة.

5. أستنتج: في أثناء جري أحد العدائين على طريق مستقيم، رصدت حركته، وتمثلت سرعته بيانياً، كما في الشكل المجاور. معتمداً على الشكل، أجد:

- أ. السرعة اللحظية للعداء عند نهاية المرحلة (a) من الحركة.
- ب. تسارع (تباطؤ) العداء في المرحلة (b) من الحركة.
- ج. الإزاحة الكلية للعداء في مرحلتي الحركة معاً.

6. استخدم الأرقام: أحسب سقط جسم من وضع السكون من ارتفاع (176.4 m) عن سطح الأرض. بإهمال مقاومة الهواء. أجد:

- أ. زمن وصول الجسم إلى سطح الأرض.
- ب. سرعة الجسم النهائية قبل لمسه سطح الأرض.

7. أمثل بيانياً العلاقة بين الزمن والموقع إذا تحرك جسم من وضع السكون أفقياً في خط مستقيم بتسارع ثابت، وقد رصد موقعه وזמן حركته في الجدول الآتي. ثم أجد السرعة اللحظية عند اللحظة ($t = 2.5$ s).

| الزمن (s): | الموقع (m): |
|------------|-------------|
| 4 | |
| 3 | |
| 2 | |
| 1 | |
| 0 | |
| 3.2 | 1.8 |
| 0.8 | 0.2 |
| 0.2 | 0 |
| 0 | |

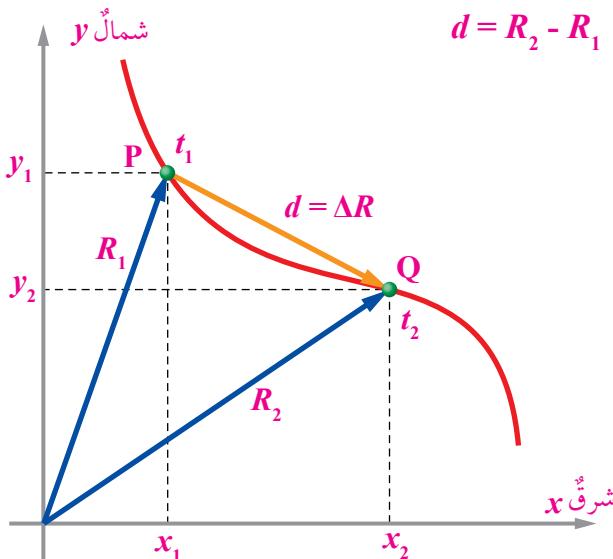
الإزاحة في بُعدٍ Displacement in Two Dimensions

تعرّفنا في الدرس السابق كيف يمكن وصف حركة جسم في بُعد واحد، وكيفية التعبير عن اتجاهات كل من: الإزاحة، والسرعة، والتسارع في بُعد واحد، عن طريق تمييزها بإشارة (+) إن كانت نحو اليمين أو الأعلى، وإشارة (-) إن كانت نحو اليسار أو الأسفل. وستتعرّف في هذا الدرس كيف نصف حركة الأجسام في بُعدٍ، بتطبيق خصائص المتجهات عليها.

يبين الشكل (11) طرقاً أفقياً مُتعرّجاً تسير عليه دراجة، ويمثل فيه المحور (x) اتجاه الشرق، والمحور (y) اتجاه الشمال. إذا تحرّكت الدراجة من الموضع (P) إلى الموضع (Q) على المسار المنحني في مدة زمنية (Δt)، فإنه يمكن وصف تلك الحركة باستخدام مفهومي الإزاحة، والسرعة المتوسطة للدراجة.

يتبيّن من الشكل أن متجه الموضع الأول (R_1 ، الذي حدد نسبته إلى نقطة الإسناد المرجعية ($0, y = 0$ ، $x = 0$))، يمكن تحليله إلى مركبتيْن متعامدتين، هما: (x_1, y_1) ، وأن متجه الموضع الثاني (R_2) يمكن تحليله إلى مركبتيْن متعامدتين، هما: (x_2, y_2) . وبذلك، فإن التغيير في الموضع الذي يمثله المتجه ($d = \Delta R$) يعطى بالعلاقة الآتية:

$$d = R_2 - R_1$$



الشكل (11):
الحركة في بُعدٍ.

الفكرة الرئيسية:

الحركة في بُعدٍ تعني أنَّ لسرعة الجسم مركبتيْن متعامدتين من دون اعتماد إحداهما على الأخرى.

نتائج التعلم:

- أوْظِفْ معرفتي بعلم الميكانيكا ومفاهيمه وقوانينه في حل مسائل حسابية.

- أطْبِقْ معرفتي بعلم الميكانيكا ومفاهيمه وقوانينه عند تفسير مشاهداتٍ وموافق متعلقة بالحركة.

- أستقصي أهمية التطبيقات الحياتية للحركة في بُعدٍ.

المفاهيم والصطلاحات:

المقدوفات .Projectiles
أقصى ارتفاع Maximum Height
زمن التحليق Time of Flight

المدى الأفقي Range
حركة دائرية منتظمة
Uniform Circular Motion

تسارع مركزي
Centripetal Acceleration

أتحقق: متى أصفُ حركة جسمٍ بأنَّها في بُعدِين؟

وهذا يعني وجود مركبة إزاحةٍ في اتجاه الشرق ($+x$): ($d_x = x_2 - x_1$)، ومركبة إزاحةٍ في اتجاه الشمال ($+y$): ($d_y = y_2 - y_1$). أمّا السرعة المتجهة المتوسطة للدراجة ومركبتها المتعامدةان فتُعطى بالعلاقة الآتية:

$$\bar{v} = \frac{d}{\Delta t}, \quad v_x = \frac{d_x}{\Delta t}, \quad v_y = \frac{d_y}{\Delta t}$$

المقدّمات Projectiles

عند قذف جسمٍ في اتجاه يصنع زاوية (θ) مع الأفق، فإنَّه يتحرَّك في مسارٍ منحنٍ، كما في الشكل (12)، وتكون هذه الحركة في بُعدِين، بحيث تتغيَّر إحداثيات الحركة على المحور الأفقي (x ، والمحور الرأسي (y) في اللحظة نفسها. تُستخدم معادلات الحركة بتسارُع ثابت (توصلنا إليها في الدرس السابق) في وصف حركة المقدّمات، وتُطبق هذه المعادلات على المحور الأفقي، ثم تُطبَّق بصورة مستقلة على المحور الرأسي.

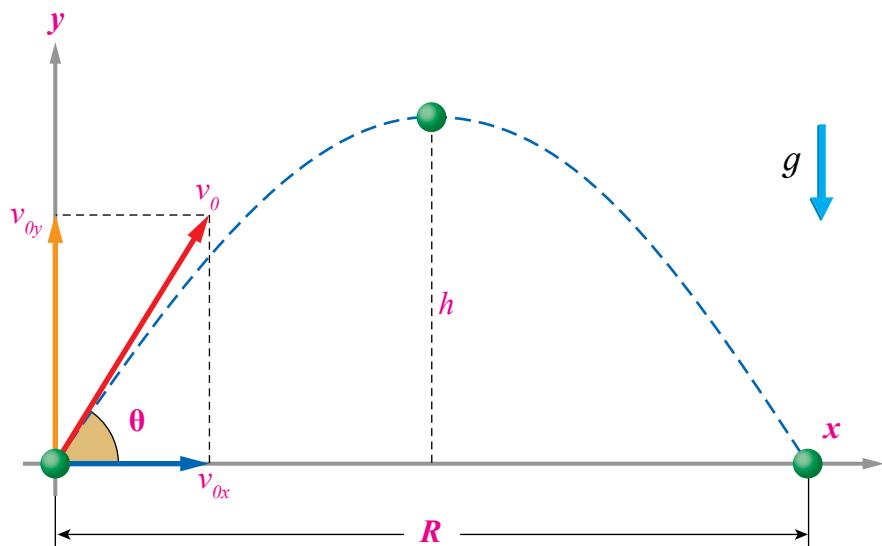
عند رمي كرة إلى الأعلى في اتجاه يصنع مع الأفق زاويةً ابتدائية (θ ، فإنَّ السرعة الابتدائية للكرة (v_0) يمكن تحليلها إلى مركبتين متعامدتَين (v_{0x} ، v_{0y})، كما في الشكل (12). وتُعطى مركبتا السرعة بالمعادلتَين الآتیتين:

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta \quad \dots \dots \dots$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta \quad \dots \dots \dots$$

الشكل (12): تحليل السرعة الابتدائية إلى مركبتين.

ما مقدار الزاوية (θ) التي يتساوى عندها مقداراً مركبتي السرعة الابتدائية؟



تستمرُ الكرةُ في حركتها منْ لحظةِ إطلاقها منْ نقطَةِ الإسناَد المرجعية (0,0)، في مسارٍ مُنْحَنٍ، حتَّى تصل إلى أقصى ارتفاع (Maximum height) (h)، ثمَّ تعود إلى الأسفل. وفي أثناءِ هذهِ الحركة، فإنَّ المركبةَ الأفقيَّة للسرعةِ تظلُ ثابتاً في المقدارِ والاتجاه؛ لأنَّ التسارُعَ الأفقيَّ يساوي صفرًا ($a_x = 0$)؛ لعدمِ وجودِ قوَّةٍ مؤثِّرةٍ في الكرةِ بالاتجاهِ الأفقيِّ عندَ إهمال مقاومةِ الهواء. أمَّا المركبةُ الرأسيةُ للسرعةِ فستأثرُ بقوَّةِ الجاذبيةِ الأرضية التي تؤدي إلى حركتها بتسارُعِ السقوطِ الحرّ ($g = 9.80 \text{ m/s}^2$) نحوَ مركزِ الأرضِ (معَ إهمالِ مقاومةِ الهواء)، فيتناقصُ مقدارُ هذهِ المركبةِ في مرحلةِ الصعودِ حتَّى يصبحَ صفرًا عندَ أقصى ارتفاع، ثمَّ يتزايدُ مقدارُها في مرحلةِ الهبوطِ، علمًا أنَّه يُرمَزُ إلى المركبةِ الرأسيةِ للسرعةِ بالرمزِ (v_y) بعدَ لحظةِ الإطلاق.

منَ الكمياتِ الأخرى المستخدمةِ في وصفِ حركةِ المقدوفاتِ:

- **زمن التحليق** (Time of flight) (T), وهوَ الزمَنُ الكلَّيُّ لحركةِ المقدوفِ في الهواء، ويُساوي مجموعَ زمَنِيِّ الصعودِ والهبوطِ. يختلفُ زمَنُ الصعودِ إلى أقصى ارتفاعٍ عنْ زمَنِ الهبوطِ عندما يختلفُ المستوى الأفقيُّ الذي يعودُ إليهِ المقدوفُ عنْ مستوىِ الإطلاقِ. ولكنَّ عندما يعودُ المقدوفُ إلى المستوىِ الأفقيِّ الذي أطلقَ منهُ فإنَّ زمَنَ الهبوطِ يساوي زمَنِ الصعودِ، وهناً يُمكِنُ التوصلُ إلى زمنِ التحليقِ بدلالَةِ زمَنِ الصعودِ (t_h) فقطُ، كما في العلاقةِ الآتية:

$$T = 2t_h$$

- **المدى الأفقي** (Range) (R), وهوَ أكبَرُ إزاحةً أفقيةً يصنعُها المقدوفُ منْ نقطَةِ إطلاقهِ إلى أنْ يعودَ إلى مستوىِ الإطلاقِ نفسهِ (سطحُ الأرضِ مثلاً)، كما في الشكلِ (12)، ويعطى بالعلاقةِ الآتية:

$$R = T \times v_0 \cos \theta$$

أتحققُ: أستنتاجُ العواملَ التي يعتمدُ عليها كُلُّ منْ: أقصى ارتفاعِ، وزمنِ التحليقِ.

أفكُرُ: هلْ يكونُ تأثيرُ مقاومةِ الهواءِ في حركةِ المقدوفاتِ في المركبةِ الأفقيَّةِ لسرعةِ المقدوفِ، أمَّا في المركبةِ الرأسيةِ، أمَّا في المركبتينِ معًا؟



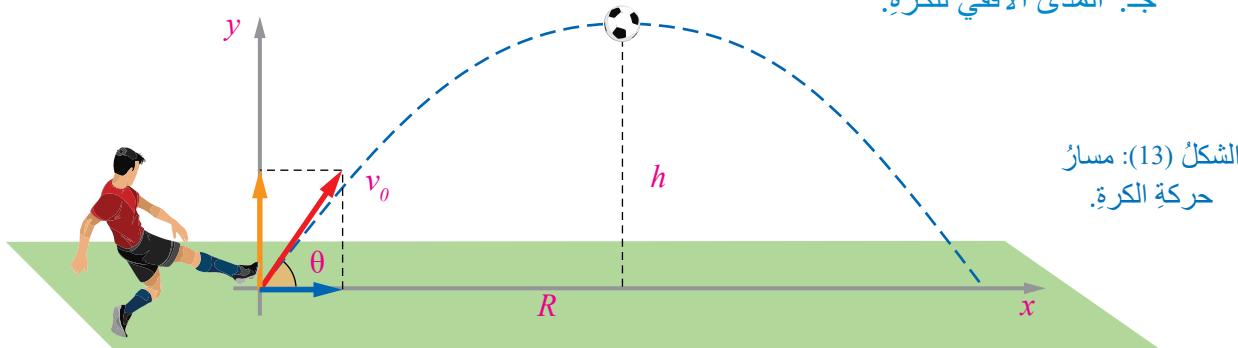
أصمِمُ باستخدامِ برنامجِ السكراتشِ (Scratch) عرضاً يوضحُ حركةَ المقدوفاتِ، وأحرص على توضيحِ المفاهيمِ المرتبطةَ بحركةِ المقدوفِ: زمنِ التحليقِ، أقصى ارتفاعِ، المدىِ الأفقيِّ، ثمَّ أشاركُهُ زملائيِّ / زميلاتِي في الصفِ.

ركل لاعب كرةً بسرعةً ابتدائيةٍ مقدارها (22.5 m/s) مع الأفق، كما في الشكل (13)، بإهمال مقاومة الهواء. أجد:

أ. أقصى ارتفاعٍ تصلُّ إليه الكرة.

ب. زمن تحلق الكرة حتى تعود إلى سطح الأرض.

ج. المدى الأفقي للكرة.



المعطيات: ($\theta = 53^\circ$ ، $v_0 = 22.5 \text{ m/s}$)

المطلوب: ($R=?$ ، $T=?$ ، $h=?$)

الحل:

بدايةً، يجب تحليل السرعة الابتدائية إلى مركبتين؛ أفقيةً ورأسيةً، للتعامل مع الحركة عن طريق كل مركبة بصورة منفصلةٍ:

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta = 22.5 \times \cos 53 = 22.5 \times 0.6 = 13.5 \text{ m/s}$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta = 22.5 \times \sin 53 = 22.5 \times 0.8 = 18 \text{ m/s}$$

أ. لإيجاد أقصى ارتفاعٍ تصلُّ إليه الكرة، أستخدم المعادلة الثالثة للحركة، علمًا أنَّ المركبة الرأسية للسرعة عند أقصى ارتفاع هي ($v_y = 0 \text{ m/s}$ ، وأنَّ الاتجاه نحو الأعلى موجب). وبذلك، فإنَّ ($a = -g$) في معادلاتِ الحركة:

$$v_2^2 = v_1^2 + 2ad$$

$$(v_y)^2 = (v_0 \sin \theta)^2 - 2gh$$

$$0 = 18^2 - 2 \times 9.8 \times h$$

$$h = \frac{324}{19.6} = 16.5 \text{ m}$$

بـ. لـمـعـرـفـة زـمـن تـحـلـيق الـكـرـة حـتـى تـعـود إـلـى سـطـح الـأـرـض، يـجـب إـيـجاد زـمـن الصـعـود مـنـ المـعـادـلـة الـأـوـلـى لـلـحـرـكـة:

$$v_2 = v_1 + at_h$$

$$v_y = v_0 \sin \theta - gt_h$$

$$0 = 18 - 9.8 \times t_h$$

$$t_h = \frac{18}{9.8} = 1.84 \text{ s}$$

$$T = 2t_h = 2 \times 1.84 = 3.68 \text{ s}$$

جـ. المـدـى الـأـفـقـي لـلـكـرـة:

$$R = T \times v_0 \cos \theta$$

$$R = 3.68 \times 13.5 = 49.68 \text{ m}$$

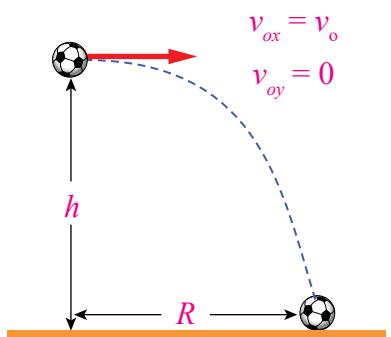
أتحقق: بناءً على العلاقات السابقة، أستنتج العوامل التي يعتمد عليها المدى الأفقي للمقدوف.

عند قذف جسم في اتجاهٍ أفقيٍ من مكانٍ مرتفع عن سطح الأرض؛ حيث ($\theta = 0$)، فإن مركبتي السرعة الابتدائية تكونان كما يأتي:

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta = v_0 \cos 0 = v_0$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta = v_0 \sin 0 = 0$$

والشكل (14) يوضح مسار الجسم المقدوف أفقياً.

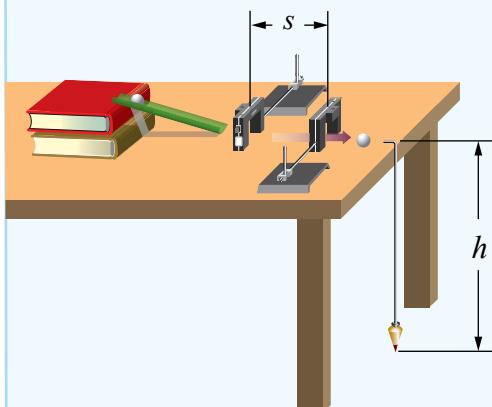


الشكل (14): مسار حركة جسم مقدوف أفقياً.

لدراسة حركة المقدوف الأفقي بصورة عملية، أُنْدُّ وزملائي /زميلاً/ التجربة الآتية.

التجربة 2

وصف حركة المذووف الأفقي



المواد والأدوات: عدد من الكتب، مجرى بلاستيكى، كرة فلزية، مسطرة، ورق كربون، بوابتين ضوئيتان، عداد زمني رقمي.

إرشادات السلامة: الحذر من سقوط الأجسام والأدوات على القدمين.

خطوات العمل:

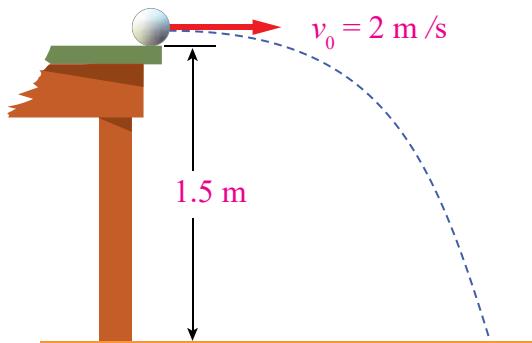
- أركب أدوات التجربة، كما في الشكل، مراعياً وضع كتابين فوق الطاولة، ووضع طرف المجرى البلاستيكى فوقهما.
- أقيس** ارتفاع الطاولة عن سطح الأرض (h)، والمسافة بين البوابتين (S)، ثم أدون النتيجة في الجدول.
- أتوّقّع** مكان سقوط الكرة على الأرض، وأضع فيه ورق الكرbon.
- أصلِّي البوابتين بالعداد الزمني الرقمي، ثم أصلِّي بمصدر الطاقة الكهربائية، ثم أشغله.
- أضع الكرة الفلزية في أعلى المجرى المائل، ثم أتركها تتحرّك، وألاحظ مسارها، ومكان سقوطها. وفي حال سقطت الكرة في مكان غير الذي توّقّعتُه أنقل ورق الكرbon إلى مكان السقوط، مكرّرا الخطوة.
- أدون قراءة العداد الرقمي (Δt) في الجدول، ثم أقيس المسافة الأفقية (R) بين نقطة السقوط ونقطة الأصل التي يشير إليها البندول، ثم أدونها في الجدول.
- أضيف كتاباً ثالثاً تحت المجرى، ثم أكرّر الخطوة (5) والخطوة (6)، مدونا النتائج، ثم أضيف كتاباً رابعاً، وأكرّر ما سبق.
- أجد السرعة الابتدائية (v_{ox}) لكل محاولة، بقسمة المسافة (S) على المدة الزمنية (Δt)، ثم أدون الناتج في الجدول.
- استخدم معادلات الحركة في إيجاد زمن السقوط (t), والمدى الأفقي (R), ثم أدون الناتج في الجدول.

| الحسابات | v_{ox} (m/s) | Δt (s) | S (m) | R (m) | h (m) | عدد الكتب |
|-------------------------|-------------------|-------------------|------------|------------|------------|-----------|
| $R = tv_{ox}(\text{m})$ | $t = \sqrt{2h/g}$ | | | | | |

التحليل والاستنتاج:

- أقارن** بين قيم المدى الأفقي التجريبية والقيم المحسوبة من المعادلات في كل محاولة.
- أصنف العلاقة بين السرعة الابتدائية للكرة وكل من: زمن السقوط، والمدى الأفقي.
- أفسّر:** كيف يؤثّر عدد الكتب الموجودة تحت المجرى في السرعة الابتدائية للكرة؟
- أفسّر:** كيف ستؤثّر زيادة ارتفاع الطاولة (h) في مقدار المدى الأفقي للكرة؟

فُدِّقَتْ كُرَةٌ تُنْسِ أَرْضِيًّا أَفْقِيًّا مِنْ سطح طاولةٍ، كَمَا فِي الشَّكْلِ (١٥). مُعْتمِدًا بِالْبَيَانَاتِ الْوَارِدَةِ فِي الشَّكْلِ، أَجِدُ:



الشكل (١٥): المثال (١٣).

أ . زَمْنُ وَصُولِ الْكُرَةِ إِلَى الْأَرْضِ.

ب . الْمَدِيُّ الْأَفْقِيُّ لِلْكُرَةِ.

ج . مَقْدَارُ السُّرْعَةِ النَّهَايِيَّةِ لِلْكُرَةِ، مُحدِّدًا اِتِّجَاهَهَا.

المعطيات : ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$) ، ($v_0 = 2 \text{ m/s}$) ، ($h = -1.5 \text{ m}$) ، ($\theta = 0$) ، ($t = ?$) ، ($R = ?$) ، ($v = ?$) .

المطلوب : ($t = ?$) ، ($R = ?$) ، ($v = ?$) .

الحلُّ :

أ . زَمْنُ وَصُولِ الْكُرَةِ إِلَى الْأَرْضِ يَعْتَمِدُ عَلَى الْحَرْكَةِ فِي الْمَسْتَوِيِ الرَّأْسِيِّ، حَيْثُ: $\theta = 0$:

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta = v_0 \sin 0 = 0$$

$$h = v_{0y} t + \frac{1}{2} a t^2 = 0 - \frac{1}{2} g t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2h}{-g}} = \sqrt{\frac{-2 \times 1.5}{-9.8}} = + \sqrt{0.3} = 0.55 \text{ s}$$

يُلَاحِظُ أَنَّ اِتِّجَاهَ كُلِّ مِنَ التَّسَارُعِ وَالْإِزَاحَةِ هُوَ نَحْوُ الْأَسْفَلِ بِعِكْسِ اِتِّجَاهِ الْمَوْجِ؛ لِذَا عُوْضَتِ الإِشَارَاتِ السَّالِبَتَانِ، حَيْثُ:

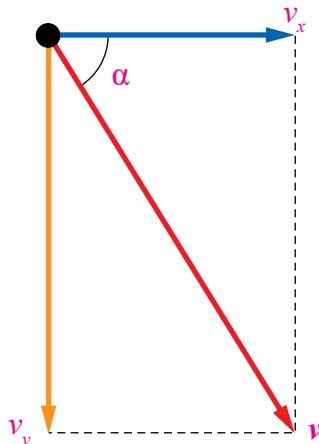
$$a = -g = -9.8 \text{ m/s}^2 \quad , \quad h = -1.5 \text{ m}$$

ب . الْمَدِيُّ الْأَفْقِيُّ لِلْكُرَةِ يَعْتَمِدُ عَلَى الْمُرْكَبَةِ الْأَفْقِيَّةِ وَالزَّمْنِ:

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta = v_0 \cos 0 = v_0$$

$$R = v_0 t = 2 \times 0.55 = 1.1 \text{ m}$$

جـ. مقدار السرعة النهائية للكرة:



$$v_x = v_{0x} = 2 \text{ m/s}$$

$$v_y = v_{0y} + at$$

$$v_y = 0 - 9.8 \times 0.55 = -5.39 \text{ m/s}$$

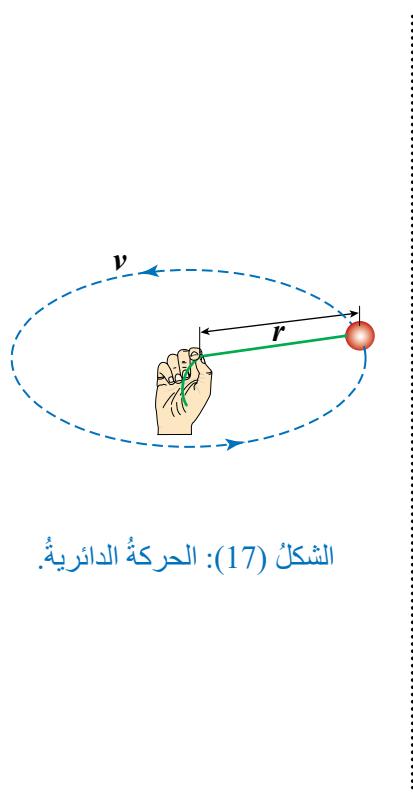
الإشارة السالبة تعني أن اتجاه المركبة الرأسية للسرعة النهائية هو إلى الأسفل بعكس اتجاه الموجب:

الشكل (16): اتجاه السرعة.

$$v = \sqrt{(v_x)^2 + (v_y)^2} = \sqrt{2^2 + (-5.39)^2} = 5.7 \text{ m/s}$$

وعليه، يكون اتجاه السرعة النهائية للكرة، كما في الشكل (16)، بحيث يصنع زاوية α .

$$\tan \alpha = \left| \frac{v_y}{v_x} \right| = \frac{5.39}{2} = 2.69 \dots \rightarrow \alpha = 69.6^\circ$$



الشكل (17): الحركة الدائرية.

الحركة الدائرية المنتظمة Uniform circular motion

تعرفت سابقاً أنَّ الجسم الذي يتحرَّك بسرعةٍ ثابتةٍ مقداراً في خط مستقيم لا يمتلك تساُرعاً؛ فالتسارُعُ يُمثِّل تغييرًا في مقدار السرعة، أو اتجاهِها، أو كليهما معاً.

يُبيِّنُ الشكل (17) كرةً مربوطةً بخيطٍ، تدورُ في مسارٍ دائرِيًّا أفقِيًّا نصف قطره (r)، بسرعةٍ ثابتةٍ مقداراً، لكنَّها مُتغيِّرةٌ اتجاهها. يُطلق على الحركة في هذه الحالة اسمُ **الحركة الدائرية المنتظمة**. Uniform circular motion هي مُنتظمة لأنَّها متسارعةً بتسارُعٍ مركزيًّا Centripetal acceleration.

ويُرمَزُ إليه بالرمز (a_c), ويكون اتجاهه دائمًا نحو مركز المسار الدائري، ويؤدي إلى تغيير في اتجاه السرعة (Δv), الذي يكون دائمًا في اتجاه مركز الدوران.

يُبيّن الشكل (18) مُتجهات السرعة والتتسارع المركزي عند نقاط مختلفة من المسار الدائري الأفقي لحركة الكرة، حيث يتعامد متجه التسارع المركزي باستمرار مع متجه السرعة، الذي يكون دائمًا على امتداد المماس للدائرة، وُتسمى السرعة المماسية.

من الأمثلة على الحركة الدائرية المنتظمة: حركة نقطة مرسومة على طرف مروحة تدور، وحركة سيارة تسير بسرعة ثابتة مقداراً في مسار دائري، وحركة بعض الأقمار الصناعية حول الأرض.

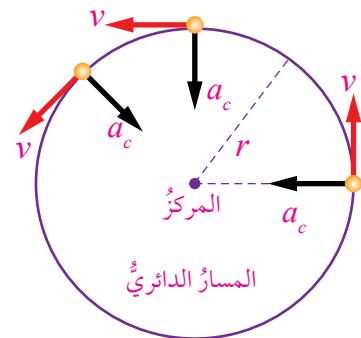
عند دراسة الحركة الدائرية المنتظمة، فإنَّ مركز المسار الدائري يُمثل نقطة إسناد مرجعية لتحديد المتغيرات، حيث تُحسب السرعة القياسية التي يتحرك بها الجسم بقسمة طول المسار الدائري (محيط الدائرة) على الزمن الدوري، وهو الزمن اللازم حتى يكمل الجسم دورةً كاملةً حول مركز الدوران. ولما كانت السرعة ثابتة المقدار، فإنَّ السرعة القياسية المتوسطة تساوي السرعة القياسية اللحظية:

$$v_s = \bar{v}_s = \frac{S}{T} = \frac{2\pi r}{T}$$

يعطى التسارع المركزي للحركة الدائرية المنتظمة بالعلاقة الآتية:

$$a_c = \frac{v_s^2}{r}$$

أتحقق: مُستخدمًا العلاقة الرياضية للتسرع المركزي، وعتمدًا وحدتي قياس السرعة ونصف القطر، أجد وحدة قياس التسارع المركزي.

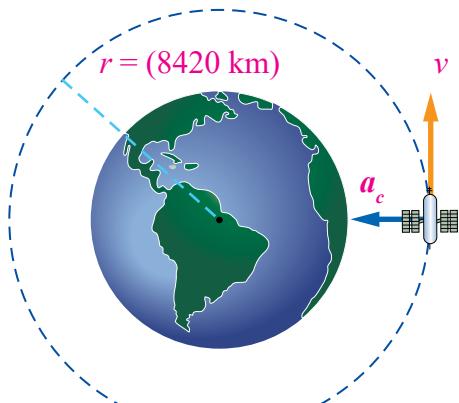


الشكل (18): منظرٌ علويٌ للحركة الدائرية الأفقية.

الفيزياء والحياة

علم الفيزياء دورُ رئيسٍ في تصميم الطرق ووضع قوانين السير عليها؛ فالسرعة التي يجب على السائق الالتزام بها عند القيادة على المنعطفات تُحدَّد اعتمادًا على نصف قطرِ الدائرة التي يُعدُّ المنعطف جزءًا منها. وعند تجاوز حدود هذه السرعة يزداد تسارع السيارة المركزي، فتُنحرُّ عن الطريق، وتخرج عن السيطرة.

يدور قمر صناعيٌ حول الأرض على ارتفاع (8420 km) عن مركز الأرض، في مسار دائريٍّ (تقريباً)، بسرعةٍ مماسيةٍ ثابتة المقدار، كما في الشكل (19). إذا علمت أنَّ زمانَة الدورِي (129 min)، فأجدُ مقدارَ:



المعطياتُ: الشكل (19): القمر الصناعي . $T = 129 \times 60 = 7740 \text{ s}$ ، $r = 8.42 \times 10^6 \text{ m}$

المطلوبُ: $(a_c = ?)$ ، $(v_s = ?)$

الحلُّ:

أ. مقدارُ السرعة المماسية للقمر الصناعيٌ:

$$v_s = \frac{S}{T} = \frac{2\pi r}{T}$$

$$v_s = \frac{2 \times 3.14 \times 8.42 \times 10^6}{7740} = 6832 \text{ m/s}$$

ب. مقدارُ التسارُعِ المركزيٍّ لهذا القمرِ:

$$a_c = \frac{v_s^2}{r}$$

$$a_c = \frac{6832^2}{8.42 \times 10^6} = 5.54 \text{ m/s}^2$$

مراجعةُ الدرس

1. الفكرةُ الرئيسيَّةُ: ما أهميَّة تحليل السرعةِ الابتدائيَّة للمقدوفاتِ إلى مركبَتَينِ؛ أفقيةً، ورأسيَّةً؟

2. أذكُر مثالَيْنِ منَ الحياَةِ اليوميَّةِ على حركةِ المقدوفاتِ، ومثالَيْنِ آخريَّنِ على الحركةِ الدائريَّةِ المنتظمةِ.

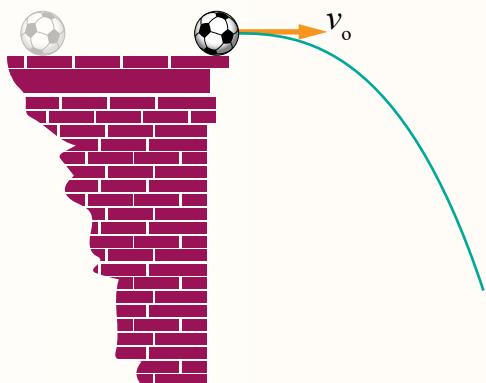
3. **أفسِّرُ:** ما سبُبُ وجودِ تساُرٍ مركزيٍّ، وعدمِ وجودِ تساُرٍ مماسٍ في الحركةِ الدائريَّةِ المنتظمةِ؟

4. **أقارِنُ** بينَ مركبَتَيْ كُلِّ عنصِرٍ منَ العناصرِ الآتيةِ لحركةِ المقدوافِ الأفقيَّةِ وحركةِ الرأسِيَّةِ:

- التسارُعُ.
- السرعةُ.
- الإزاحةُ.

5. **استخدُمُ الأرقامَ:** أحسبُ قُذفَتْ كرَةً بسرعَةٍ مقدارُها (15.8 m/s) نحوَ الأعلى في اتجاهٍ يَصْنُعُ معَ الأفقِ زاويةً مقدارُها (30°)، بإهمالِ مقاومةِ الهواءِ لحركةِ الكرَةِ. أَجِدُ:

- زمنَ تحليقِ الكرَةِ.
- أقصى ارتفاعِ للكرَةِ.



6. **استخدُمُ الأرقامَ:** أحسبُ قُذفَتْ كرَةً منْ فوقِ بناءٍ ارتفاعُها (44.1 m) عنْ سطحِ الأرضِ بسرعَةٍ أفقيةً مقدارُها (12 m/s), كما في الشكلِ المجاورِ. أحسبُ زمانَ سقوطِ الكرَةِ إلى سطحِ الأرضِ، والمسافةَ الأفقيَّةَ التي قطعتُها قبلَ ارتطامِها بالأرضِ.

7. **استخدُمُ الأرقامَ:** أحسبُ كتلةً مربوطةً بخيطٍ طولُه (0.80 m ، تتحرَّكُ حركةً دائريةً منتظمةً، ويبلغُ الزمانُ الدورِيُّ للحركةِ (1.0 s). إذا كانَ طولُ الخيطِ نصفَ قطْرِ المسارِ الدائريِّ، فما مقدارُ التسارُعِ المركزيِّ لهذهِ الحركةِ؟



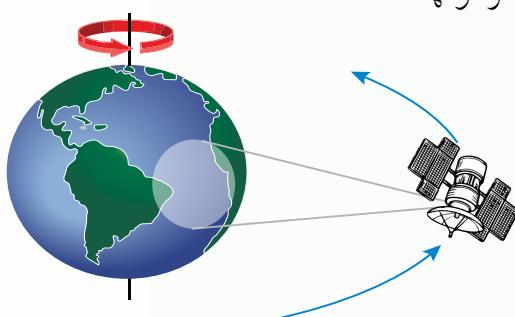
الإثراء والتتوسّع

الفيزياء والفضاء الأقمار الصناعية المُتزامنة مع الأرض

توضّع بعض الأقمار الصناعية في مداراتٍ حول الأرض، بحيث يتزامن دورانها مع دوران الأرض، فتبقي فوق منطقة محددةٍ من سطح الأرض باستمرار، وتدور معها بالسرعة نفسها. والهدف من وضع هذه الأقمار هو تأميم عملية الاتصال التلفزيوني والهاتفي وشبكة الإنترنت على مدار اليوم في هذه المنطقة. وفي المقابل، توجد أقمار أخرى خاصة بالتصوير، والمسح الجوي، وغير ذلك من المهام التي لا تتزامن حركتها مع حركة الأرض، وتنتقل من فوق بلد إلى آخر، من مثل أقمار المسح الجيولوجي والبيئي ومحطة الفضاء الدولية (ISS).

عند وضع قمر صناعيٍّ مُتزامنٍ مع الأرض في مداره، يجب مراعاة ما يأتي:

1. مساواة الزمِن الدورِي للقمر الصناعي طول اليوم الفلكي للأرض، وهو الزمِن اللازم لنقطة على سطح الأرض حتى تدور حول محور الأرض دورةً كاملةً (360°)، ويُساوي ($23h\ 56m\ 4s$)، وهو يقل بمقدار (4) دقائق تقريباً عن اليوم الشمسي الذي تدور فيه الشمس ظاهرياً حول الأرض دورةً كاملةً.
2. وفقاً للقانون الثالث ل Kepler، توجّد نسبة ثابتة بين مربع الزمِن الدورِي للقمر الصناعي ومكعب نصف قطرِ مداره. ونتيجةً لذلك، فإن نصف قطر مدار القمر الصناعي المُتزامن مع الأرض هو (42155 km)، وهذا يعني أنَّ ارتفاعه فوق سطح الأرض يبلغ (35786 km).
3. وجوب معرفة نصف قطرِ المدار، وطول المحيط، والزمِن الدورِي له؛ لإيجاد مقدار السرعة المماسية للقمر المُتزامن مع الأرض: ($11066\ km/h$), أو: ($3.07\ km/s$).
4. وجوب أن يكون مدار القمر المُتزامن مع الأرض فوق خط الاستواء حتى يبدأ القمر ثابتاً في السماء، وإلا فإنَّه سيظهر متذبذباً بين الشمال والجنوب.
5. وجوب أن يكون شكل المدار دائرياً تماماً. وفي حال كان المدار إهليلجيّاً، فإنَّ القمر سيتحرّك بسرعة مماسية متغيرةً. ونتيجةً لذلك، سيتغير موقعه شرقاً وغرباً فوق البقعة المحددة له أن يستقر فوقها.



يُبيّنُ الشكل المجاور قمراً صناعياً من النوع المُتزامن في حركته مع حركة الأرض، وهو يدور حولها على ارتفاع (35786 km) فوق سطحها، بحيث يبقى مُقاولاً لمنطقةٍ تضم جنوب المحيط الأطلسي.

أبحث أبحث في شبكة الإنترنت عن حياة العالم كبلر وقوانينه في الفلك، ثم أكتب تقريراً يتضمن لمحةً عن حياته، وتصوّص قوانينه الثلاثة، ثم أنظم جدولًا يحوي بعض كواكب المجموعة الشمسية، ويبين بعدها عن الشمس، وزمن دورانها حول الشمس.

مراجعة الوحدة

1. أضْعِ دائِرَةً حَوْلَ رَمْزِ الإجَابَةِ الصَّحِيحةِ لِكُلِّ جَملَةٍ مَمَّا يَأْتِي:
1. المُتَجَهُ الَّذِي يُمِثِّلُ التَّغْيِيرَ فِي مَوْقِعِ جَسَمٍ بِالنَّسَبَةِ إِلَى نَقْطَةٍ إِسْنَادٍ

مرجعيَّةٌ، هُوَ:

- أ . السَّرْعَةُ الْقِيَاسِيَّةُ.
- ب . السَّرْعَةُ الْمُتَجَهَّةُ.
- ج . الْإِزَاحَةُ.
- د . الْمَوْقِعُ.

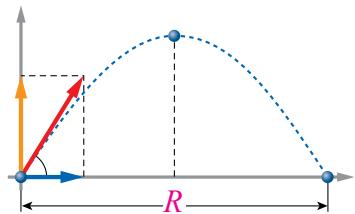
2. ناتِجُ قَسْمَةِ الْمَسَافَةِ الْكُلِّيَّةِ الَّتِي تَقْطَعُهَا سِيَارَةٌ عَلَى الزَّمْنِ الْكُلِّيِّ لِحَرْكَتِهَا، يُسَمَّى:

- أ . السَّرْعَةُ الْقِيَاسِيَّةُ الْمُتَوْسِطَةُ.
- ب . السَّرْعَةُ الْمُتَجَهَّةُ الْمُتَوْسِطَةُ.
- ج . السَّرْعَةُ الْمُتَجَهَّةُ الْلَّهُظِيَّةُ.
- د . التَّسَارُعُ الْمُتَوْسِطُ.

3. إِذَا قُدِّفَ جَسْمٌ رَأْسِيًّا إِلَى الْأَعْلَى، وَوَصَلَ أَقْصَى ارْتِفَاعٍ لَهُ، فَإِنَّ:
- أ . إِرَاحَتَهُ تَسَاوِي صَفَرًا.
 - ب . تَسَاوِعَهُ يَسَاوِي صَفَرًا.
 - ج . زَمْنَ الصَّعُودِ يَسَاوِي صَفَرًا.
 - د . سَرْعَتَهُ تَسَاوِي صَفَرًا.

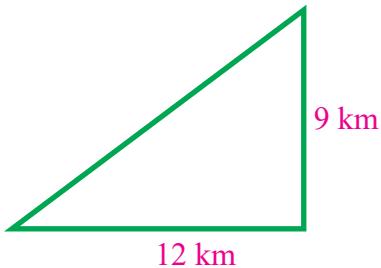
4. الْعَبَارَةُ الصَّحِيحةُ الَّتِي تَصَفُّ حَرْكَةَ الْمَقْذُوفِ، بِإِهْمَالِ مَقْلُومَةِ الْهَوَاءِ، هِيَ:
- أ . التَّسَارُعُ الْأَفْقَيُ صَفَرٌ، وَالتَّسَارُعُ الرَّأْسِيُّ (g).
 - ب . التَّسَارُعُ الْأَفْقَيُ صَفَرٌ، وَالتَّسَارُعُ الرَّأْسِيُّ صَفَرٌ.
 - ج . التَّسَارُعُ الْأَفْقَيُ (g)، وَالتَّسَارُعُ الرَّأْسِيُّ صَفَرٌ.
 - د . التَّسَارُعُ الْأَفْقَيُ (g)، وَالتَّسَارُعُ الرَّأْسِيُّ (g).

5. الْإِزَاحَةُ الْأَفْقِيَّةُ الَّتِي يَصْنَعُهَا الْمَقْذُوفُ فِي الشَّكْلِ الْمُجاوِرِ عَنْدَمَا يَعُودُ إِلَى مَسْتَوِيِّ إِطْلَاقِهِ، يُسَمَّى:
- أ . أَقْصَى ارْتِفَاعٍ.
 - ب . المَدِي الْأَفْقِيِّ.
 - ج . المَدِي الرَّأْسِيِّ.
 - د . الْمَسَارُ الْفَعْلِيُّ.



2. أَصِفْ نَوْعَ الْحَرْكَةِ فِي كُلِّ حَالٍ مَمَّا يَأْتِي؛ بِالْاخْتِيَارِ مَمَّا بَيْنَ الْقَوْسَيْنِ:
- (بُعْدٌ، بُعْدَانٍ، دَائِرِيَّةٌ مُنْظَمَةٌ، دَائِرِيَّةٌ غَيْرُ مُنْظَمَةٌ):
- أ . الْحَرْكَةُ الدُّورَانِيَّةُ بِمَعْدِلٍ ثَابِتٍ لِعَجْلَةِ السِّيَارَةِ حَوْلَ محْوَرَهَا.
 - ب . حَرْكَةُ قَطَارٍ عَلَى سَكَّةٍ حَدِيدٍ أَفْقيَةٍ فِي خَطٍّ مُسْتَقِيمٍ بِاتِّجَاهٍ وَاحِدٍ (شَرْفًا).
 - ج . حَرْكَةُ قَطَارٍ عَلَى سَكَّةٍ حَدِيدٍ أَفْقيَةٍ فِي خَطٍّ مُسْتَقِيمٍ بِاتِّجَاهَيْنِ مُخْتَلِفَيْنِ (شَرْفًا، وَغَرْبًا).
 - د . حَرْكَةُ قَطَارٍ عَلَى سَكَّةٍ حَدِيدٍ غَيْرَ أَفْقيَةٍ (صَعُودًا، وَهَبُوطًا) بِاتِّجَاهِ الْغَربِ.
 - ه . حَرْكَةُ طَائِرٍ عَلَى مَدْرَجِ الْمَطَارِ.
 - و . حَرْكَةُ قَمَرٍ صَنَاعِيٍّ حَوْلَ الْأَرْضِ، عَلَى ارْتِفَاعٍ ثَابِتٍ فَوْقَ سَطْحِهَا.

3. أَجِد سرعة عدّاء قطع مسافة (51 km) في (6 h)، ثُمَّ أصف نوع هذه السرعة.



4. تحركت دراجة هوائية في خط مستقيم باتجاه الشرق، فقطعـت مسافة (12 km)، ثـم تحركـت في خط مستقيم باتجاه الشمال، فقطعـت مسافة (9 km) في (35 min) كما في الشـكل المجاور. أـجـد:

- السرعة القياسية المتوسطة للدراجـة في أـثنـاء حركـتها.
- السرعة المـتجـهة المتوسطة للدراجـة في أـثنـاء حركـتها.

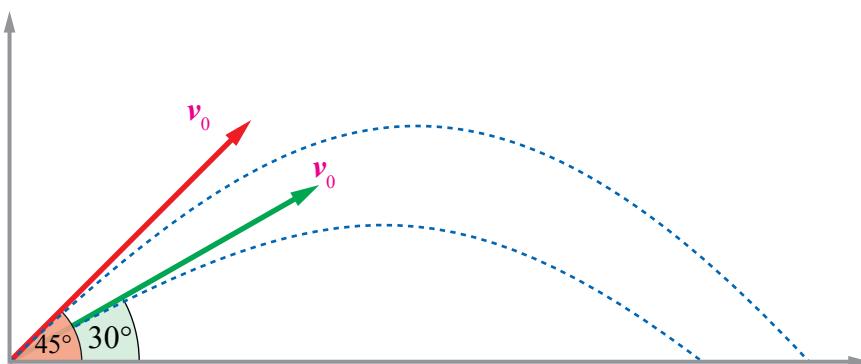


5. صـمـمت مـهـنـدـسـة مـدـرـجا لـحـرـكـة الطـائـرات من وضع السـكـون حتـى تـبـلـغ سـرـعـتها النـهـائـية عند الإـقـلاـع (60 m/s). إـذـا كـان تسـارـع إـحدـى الطـائـرات (2.4 m/s^2), فـما أـقـل طـول مـمـكـن للمـدـرـج؟

6. أـطـلـقـت قـذـيفـة من سـطـح الأـرـض بـسـرـعـة اـبـتـدـائـيـة، مـرـكـبـتها الأـفـقيـة (49 m/s)، وـمـرـكـبـتها الرـأـسـيـة (98 m/s). أـجـد مـقـدـار الزـمـن الـلازم لـوـصـول القـذـيفـة إـلـى أـقـصـى اـرـتـفاعـ.

7. قـذـفـت كـرـة أـفـقيـاً من فـوق بـنـايـة بـسـرـعـة اـبـتـدـائـيـة مـقـدـارـها (20 m/s)، فـوـصـلـت سـطـح الأـرـض بـعـد مرـور (3.0 s) من رـمـيـها. إـذـا قـذـفـت الكـرـة أـفـقيـاً من المـكـان نـفـسـه بـسـرـعـة مـقـدـارـها (30 m/s)، فـمـتـى تـصـل سـطـح الأـرـض؟

8. أـطـلـقـت قـذـيفـة بـسـرـعـة اـبـتـدـائـيـة (v_0)، وبـزاـوـيـة مـع سـطـح الأـرـض مـقـدـارـها (30°), كـما في الشـكـل الآـتـي. إـذـا أـصـبـحـت الزـاوـيـة (45°), فـكـيفـ سيـتـغـيـر مـدى القـذـيفـة الأـفـقيـ؟



10. **أحل البيانات:** بيّن الشكل مُنحني (السرعة - الزمن) لجسم. مُعتمداً على الشكل؛ أجب عن الأسئلة الآتية:

أ. ما مقدار السرعة اللحظية للجسم عند اللحظة ($t=1\text{s}$)?

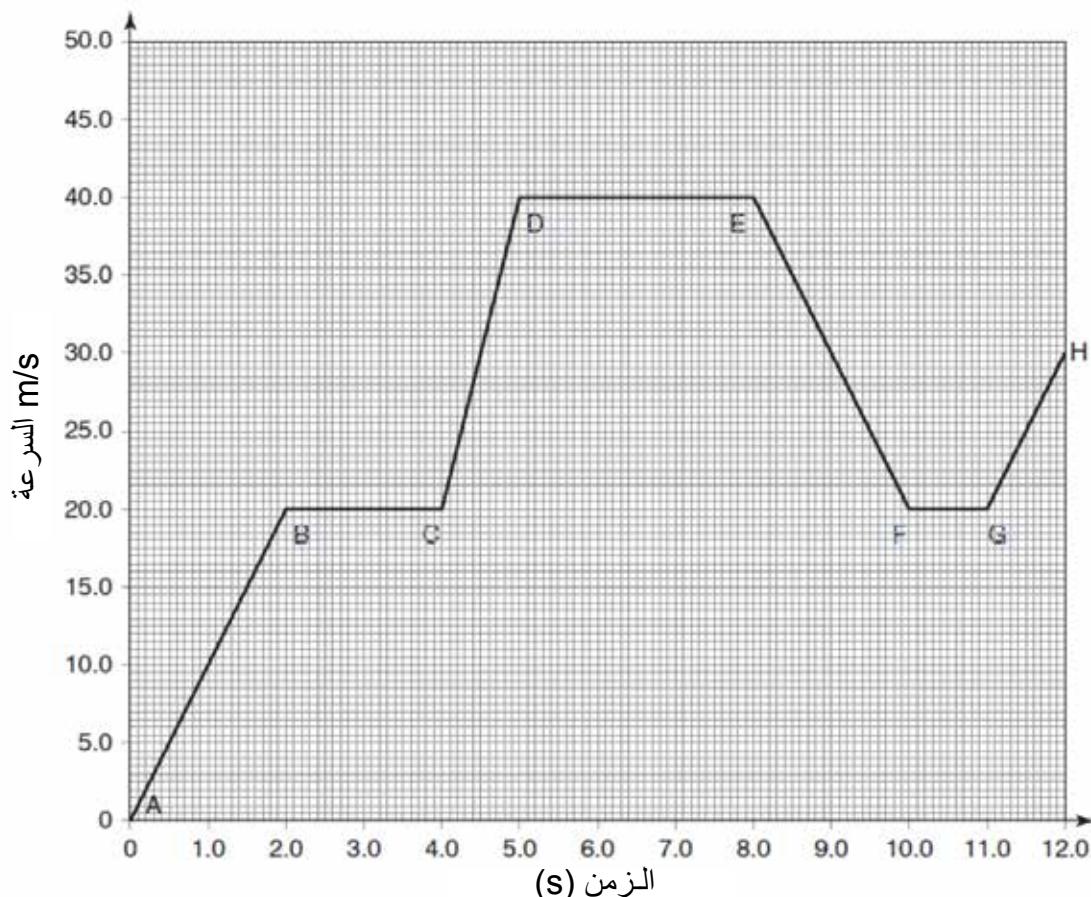
ب. أصف سرعة الجسم خلال المرحلة (BC)

ج. ما المرحلة التي تحرّك فيها الجسم بأكبر تسارع؟

د. أصف الحالة الحركية للجسم في المرحلة (EF)

هـ. **استخدم الأرقام:** أحسب المسافة التي قطعها الجسم في المرحلة (DE)

وـ. **استخدم الأرقام:** أحسب تسارع الجسم في المرحلة (AB)



الوحدة

3

القوى Forces



أتأمل الصورة

الفيزياء في السيارات

عند تصنيع نوع جديد من السيارات، فإنه يخضع لاختبارات عدّة قبل إنتاجه على نحو تجاري وتسويقه، من مثل: اختبارات مستوى الأمان، وفاعلية الوسائل الهوائية، وأحزمة الأمان، وأنظمة المكابح. فهل لعلم الفيزياء دور في تطوير صناعة السيارات من حيث شكلها ووسائل الأمان فيها؟ لماذا توضع دمية مكان السائق عند اختبار السيارة بتعريفها الحادث اصطدام بحاجز؟ ما الذي يُختبر في هذا التصادم؟

الفكرة العامة:

للقوى تأثيرٌ كبيرٌ في حيائنا، وجميع أنشطتنا.

الدرس الأول: القانون الأول في الحركة لنيوتن

الفكرة الرئيسية: تُعد معرفتنا بالقانون الأول لنيوتن (قانون القصور الذاتي) أساسية لفهم بعض الظواهر الحركية.

الدرس الثاني: القانون الثاني والقانون الثالث

في الحركة لنيوتن

الفكرة الرئيسية: يعتمد سارع أي جسم على كتلته، وعلى القوة المحصلة المؤثرة فيه. توجد القوى في الطبيعة فقط بصورة أزواج، ولا يمكن أن توجد منفردة.



الصورُ الذاتيُّ

المواد والأدوات: لوحٌ تزلجٌ أو عربةٌ، مكعبٌ خشبيٌّ، حاجزٌ، شريطٌ لاصقٌ.

إرشادات السلامة: تنفيذ التجربة في منتصف غرفة الصفّ، بعيداً عن أي قطع أثاثٍ قابلة للكسر.

خطوات العمل:

1 أضع لوح التزلج (أو العربة) في منتصف غرفة الصفّ، ثم أضع المكعب عليه، ثم أضع الحاجز على بعد (1-2 m) من اللوح.

2 **لاحظ** ما يحدث عند وضع المكعب على اللوح، ودفع اللوح باتجاه الحاجز، مدوناً ملاحظاتي.

3 **لاحظ** ما يحدث عند تكرار الخطوة السابقة، بعد تثبيت المكعب باللوح باستخدام الشريط اللاصق، مدوناً ملاحظاتي.

التحليل والاستنتاج:

1. **اقارن** بين ملاحظاتي في الخطوتين: (2)، و (3).

2. **أفسّر**: ما سبب اندفاع المكعب الخشبي في الخطوة (2)؟

3. **استنتاج**: هل يتعين على سائقي السيارات استخدام أحزمة الأمان؟ أفسّر إجابتي.

الفكرة الرئيسية:

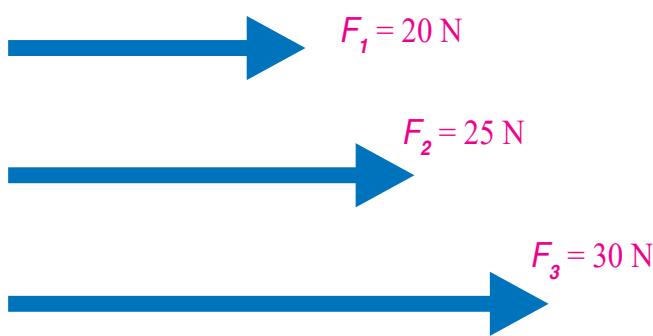
تعد معرفتنا بالقانون الأول لنيوتن (قانون القصور الذاتي) أساسية لفهم بعض الظواهر الحركية.

نماذج التعلم:

- أوضح مفهوم القوة.
- أرسم مخطط الجسم الحر لتحديد جميعقوى المؤثرة في الجسم.
- اذكر نص القانون الأول في الحركة لنيوتن.
- أفسر ظواهر طبيعية تتعلق بالقصور الذاتي اعتماداً على القانون الأول لنيوتن.
- أطبق ما تعلمته بحل مسائل على القوة المحصلة، والقانون الأول لنيوتن.

المفاهيم والمصطلحات:

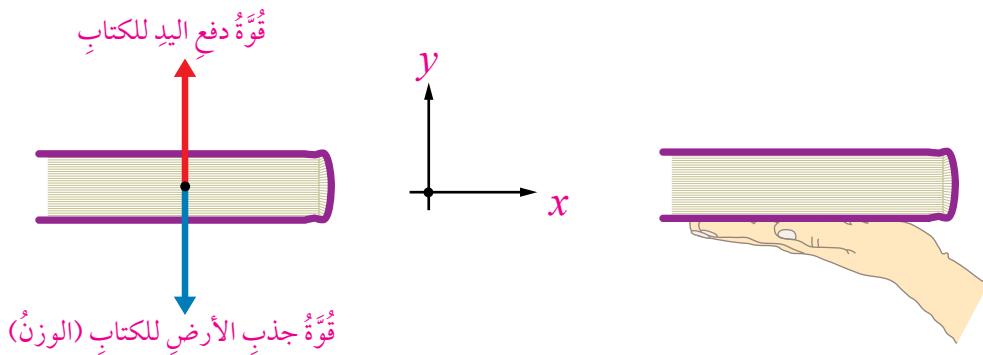
القوة Force .
القانون الأول لنيوتن Newton's First Law .
القصور الذاتي Inertia .



الشكل (1): تمثل القوى بأسهمٍ تتناسبُ أطوالُها مع مقادير القوى التي تمثلُها.

أتحقق: • ما القوة؟ ✓

• ما وحدة قياسها؟



ب. مُخْطَطُ الجَسَمِ الْحُرِّ للكتاب.

الشكل (2): أ. اتزانُ كتَابٍ الفيزياء على يد طالِبٍ.

مُخْطَطُ الجَسَمِ الْحُرِّ

هو رسمٌ تخطيطيٌّ يبيّنُ جميعَ القوىُّ الْخَارِجِيَّةِ المُؤثِّرةِ في جسمٍ ما؛ إذ يُستَخدَم نموذجُ الجَسَمِ النقطيٍّ في تمثيلِ الجَسَمِ بِنقطةٍ، ثم تُمثَّلُ كُلُّ قُوَّةٍ خَارِجِيَّةٍ مُؤثِّرةٍ في الجَسَمِ بِسَهْمٍ يَتَنَاسَبُ طُولُهُ مَعَ مَقْدَارِ القُوَّةِ، وَيُشَيرُ إِلَى اِتِّجَاهِ تَأْثِيرِها.

يُطلَقُ عَلَى الجَسَمِ الَّذِي نَدْرَسُ تَأْثِيرَ القوىِ فِيهِ اسْمُ النَّظَامِ. انظرُ الشكل (2) الَّذِي يُمثِّلُ مُخْطَطَ الجَسَمِ الْحُرِّ لكتابٍ (نَظَامٌ) يَتَرَوَّنُ عَلَى يَدِ طَالِبٍ؛ إذ يَتَأثِّرُ الكَتَابُ بِقُوَّتَيْنِ، هُما: قُوَّةُ دَفَعِ الْيَدِ للكتابِ إِلَى أَعْلَى، وَقُوَّةُ جَذْبِ الْأَرْضِ للكتابِ إِلَى أَسْفَلَ.

اتَّحَقَّ: ما المقصودُ بِمُخْطَطِ الجَسَمِ الْحُرِّ؟ ✓

القانون الأول في الحركة نيوتن

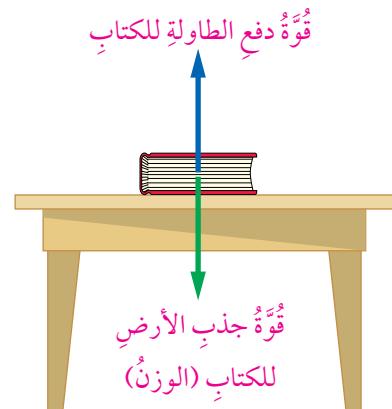
Newton's First Law of Motion

ارتبطت القوة بالحركة على مر العصور؛ فمنذ زمن أرسطو اعتقد العلماء أنَّ الحالة الطبيعية للأجسام هي السكون، وأنَّ القوة ضرورية لتحريك جسم ما، وأنَّه يجب أن تؤثر قوة في الجسم باستمرار لكي يظل متحركاً، وأنَّ زوال تأثير هذه القوة يوقف الجسم عن الحركة. لقد ظلَّ هذا الاعتقاد سائداً حتى بداية القرن السابع عشر للميلاد؛ إذ جاء العالم غاليليو مصححاً أفكار العلماء السابقين، واقتصرَّ أنَّ الحركة بسرعةٍ مُتجهةٍ ثابتة هي حالة طبيعية للأجسام مثل حالة السكون، وأنَّ كرة صلبة ملساء تتحرك بسرعةٍ مُتجهةٍ ثابتة على مستوىً أفقيًّا أملس ستستمر في حركتها بسرعةٍ مُتجهةٍ ثابتة في حال انعدام قوى الاحتكاك ومقاومة الهواء.

إذا كانت القوة المحصلة المؤثرة في جسم ما صفرًا، فكيف تكون حالة الحركة؟ للإجابة عن هذا السؤال، أنظر الشكل (3) الذي يظهر كتاباً ساكناً على سطح طاولةٍ أفقيٍّ؛ إذ يتاثر الكتاب بقوى متساوietين مقداراً، ومتوازيتين اتجاهها، هما: وزنه إلى أسفل، وقوة دفع سطح الطاولة له إلى أعلى، وبذلك تكون محصلتهما صفرًا. وهذا يعني أنَّ الكتاب في حالة اتزانٍ سكونيٍّ، وأنَّه يظل ساكناً ما لم تؤثر فيه قوة إضافية تحركه إلى موقع آخر.

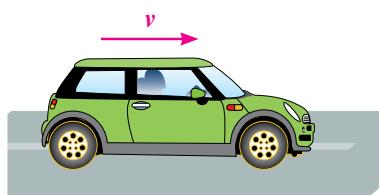
وفي المقابل، إذا تحركَ جسمٌ ما بسرعةٍ ثابتة مقداراً واتجاهًا، فإنَّ القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفرًا؛ ما يعني أنه في حالة اتزانٍ ديناميكيٍّ، ومثال ذلك حركة سيارة بسرعةٍ مُتجهةٍ ثابتة على طريقٍ أفقيٍّ. أنظر الشكل (4).

وتأسيساً على ما سبق، وبناءً على مشاهداتنا اليومية، فإنَّه يلزم توافر قوة محصلة لتغيير مقدار سرعة الجسم، أو اتجاهها، أو كليهما معًا. فمثلاً، إذا أراد سائق زiadة سرعة سيارته فإنه يضغط على دواسة



الشكل (3): كتاب ساكت في حالة اتزان على سطح طاولةٍ أفقيٍّ.

ما مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الكتاب؟ وماذا يحدث له إذا انعدمت قوة دفع الطاولة المؤثرة فيه؟



الشكل (4): سيارة تتحرك بسرعةٍ مُتجهةٍ ثابتة على طريقٍ أفقيٍّ.

الفيزياء والحياة

للفيزياء دور أساس في تصميم السيارات من حيث أشكالها، ووسائل الأمان والحماية. تعكس صورة بداية الوحدة هذا الدور لعلم الفيزياء. فمثلاً، لاختبار فاعلية أنظمة المكابح وأحزمة الأمان والوسائل الهوائية في نوع جديد من السيارات قبل إنتاجه وتسويقه، تُعرض لحادث اصطدام بحاجز. وتوضع دمية مكان السائق، تكون مصنوعة من مواد تحاكي تركيب أعضاء جسم الإنسان، ويوصل في الدمية أنواع مختلفة من المجسات في مواقع مختلفة من جسمها، وعلى أعماق مختلفة فيها لقياس تسارع أجزائها، والقوى المؤثرة فيها عند وقوع اصطدام.

يتوج من الاصطدام اندفاع الدمية جهة عجلة القيادة بسبب قصورها الذاتي؛ فتصطدم بها، وتؤثر العجلة في الدمية بقوة في اتجاه معاكس لاتجاه اندفاعها.

وبعد تحليل البيانات المستقة من هذه المحسسات يُعرف تسارع الدمية والقوى المؤثرة في أجزائها المختلفة. وبناء على هذه النتائج تدخل تعديلات على تصميم السيارة، ووسائل الأمان فيها.

الوقود، وإذا أراد أن يُبطئ سرعتها فإنه يضغط على دواسة المكابح، وإذا أراد تغيير اتجاه سرعتها فإنه يؤثر بقوّة في عجلة القيادة.

يمكن تفسير هذه المشاهدات باستخدام القانون الأول لنيوتون Newton's first law، الذي نصه: "الجسم يظل على حالته من حيث السكون أو الحركة بسرعة ثابتة مقداراً واتجاهها ما لم تؤثر فيه قوّة خارجية محصلة تغير حالتها الحركية".

إذا أمعنا النظر في هذا القانون فيمكن التوصل إلى ما يأتي:

أ . القوّة المحصلة المؤثرة في كلّ من الجسم الساكن والجسم المتحرّك بسرعة ثابتة مقداراً واتجاهها تساوي صفرًا، لذا يكون الجسم متّراً:

$$\sum F = 0$$

وبذلك، فإنّ:

$$\sum F_x = 0$$

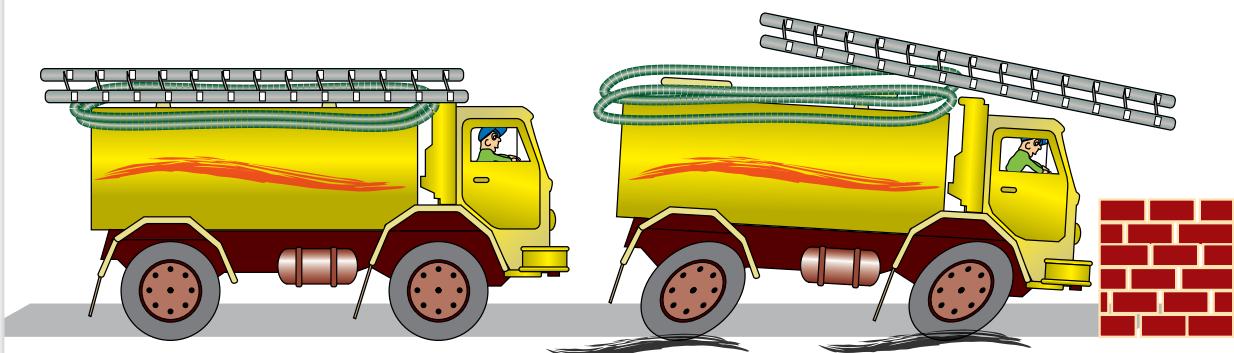
$$\sum F_y = 0$$

ب. الجسم عاجز، أو قاصر عن تغيير حالتها الحركية من تقاء نفسه، ويطلب تغيير هذه الحالة تأثير قوّة محصلة في الجسم؛ لذا يُعرف القانون الأول لنيوتون باسم قانون القصور الذاتي.

✓ **تحقق:** أُعبّر بكلماتي الخاصة عن القانون الأول لنيوتون.

القصور الذاتي Inertia

القصور الذاتي Inertia هو ممانعة الجسم لأي تغيير في حالته الحركية؛ فإذا كان الجسم ساكناً أو متحرّكاً بسرعة متجهة ثابتة فإنه يظل على حالته ما لم تؤثر فيه قوّة خارجية محصلة.



الشكل (5): اندفاع السُّلْمِ إلى الأمام بسبب القصور الذاتيّ.

تُعد كتلة الجسم مقياساً لقصوره الذاتي الذي يتناسب طردياً معها؛ فكلما زادت كتلة الجسم زاد قصوره، ولزمه تأثير قوّة محصلة أكبر لتغيير حاليه الحركية.

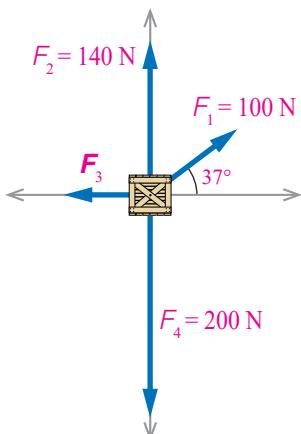
يمكن تفسير كثيرٍ من المشاهدات اليومية اعتماداً على القصور الذاتي، مثل: اندفاع السائقين والطلبة إلى الأمام عند توقف حافلة المدرسة فجأة، وميلانهم إلى اليمين أو اليسار عند تغيير اتجاه سرعتها، واندفاع الصناديق المُحملة على شاحنة إلى الخلف (أو إلى الأمام) عند انطلاقها بتسارع إلى الأمام (أو توقفها المفاجئ)؛ لذا يلزم قانون السير السائقين والركاب باستخدام أحزمة الأمان، ويوجّب على سائقى الشاحنات ربط بضائع شاحناتهم؛ حفاظاً على حياة المواطنين؛ لأنّهم أغلى ما نملك. ويبيّن الشكل (5) ما يحدث عند اصطدام الشاحنة بالحاجز؛ إذ إنّه يؤثّر فيها بقوّة، ويغيّر سرعتها المتّجّهة، في حين يندفع السُّلْمُ إلى الأمام بالسرعة نفسها قبل التصادم بسبب القصور الذاتي، وعدم ثبيته بالشاحنة. وهذا يوضّح أهمية ثبيت الحمولة جيداً على المركبات.

أتحقق: ما المقصود بالقصور الذاتي؟ ✓

أَفْكُرْ: في الشكل (6) تظل أطباق السفرة ثابتةً على سطح الطاولة عند سحب المفرشِ أفقياً من أسفلها بسرعةٍ كبيرةٍ. أفسّر ذلك.



الشكل (6): عند سحبِ مفرشِ السفرةِ أفقياً بسرعةٍ كافيةٍ تظلُّ الأطباقُ ثابتةً تقريباً على سطحِ الطاولةِ. لسلامتك، يُنصحُ بعدمِ تجربِ ذلك.



الشكل (7): مُخطَّطُ الجسمِ الْحُرِّ الصندوقِ.

يتزن صندوق كثافة (20 kg) على سطح أفقى، تحت تأثير أربع قوى متساوية متلاقية، كما في الشكل (7) الذي يُبيّن مُخطَّطَ الجسمِ الْحُرِّ للصندوق. أجد:

أ . مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الصندوق، محدداً اتجاهها.

ب . مقدار القوة (F_3).).

المعطيات: $F_1 = 100 \text{ N}$, $F_2 = 140 \text{ N}$, $F_4 = 200 \text{ N}$ ، الشكل (7).

المطلوب: $F_3 = ?$ ، $\sum F = ?$.

الحلُّ:

أ . الصندوق متزن؛ لذا، فإنَّ القوَّةَ المُحاصلَةَ المُؤثِّرةَ فِيهِ تساوي صفرًا:

$$\sum F = 0$$

ب . القوَّةُ F_3 في اتجاه محور ($-x$)؛ لذا، لأجَد مقدارها أحْسُبْ مجموع مركبات القوى في اتجاه المحور (x)، وأساوِيَها بالصفر لأنَّ الصندوق متزن:

$$\sum F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} = 0$$

$$100 \times \cos 37^\circ + 140 \times \cos 90^\circ - F_3 + 200 \times \cos 90^\circ = 0$$

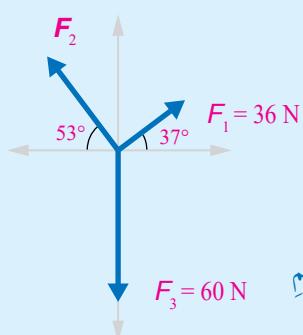
$$100 \times 0.8 + 140 \times 0 - F_3 + 200 \times 0 = 0$$

$$80 + 0 - F_3 + 0 = 0$$

$$F_3 = 80 \text{ N}$$

لذا، فإنَّ $F_3 = 80 \text{ N}$ وباتجاه محور ($-x$).

لذلك

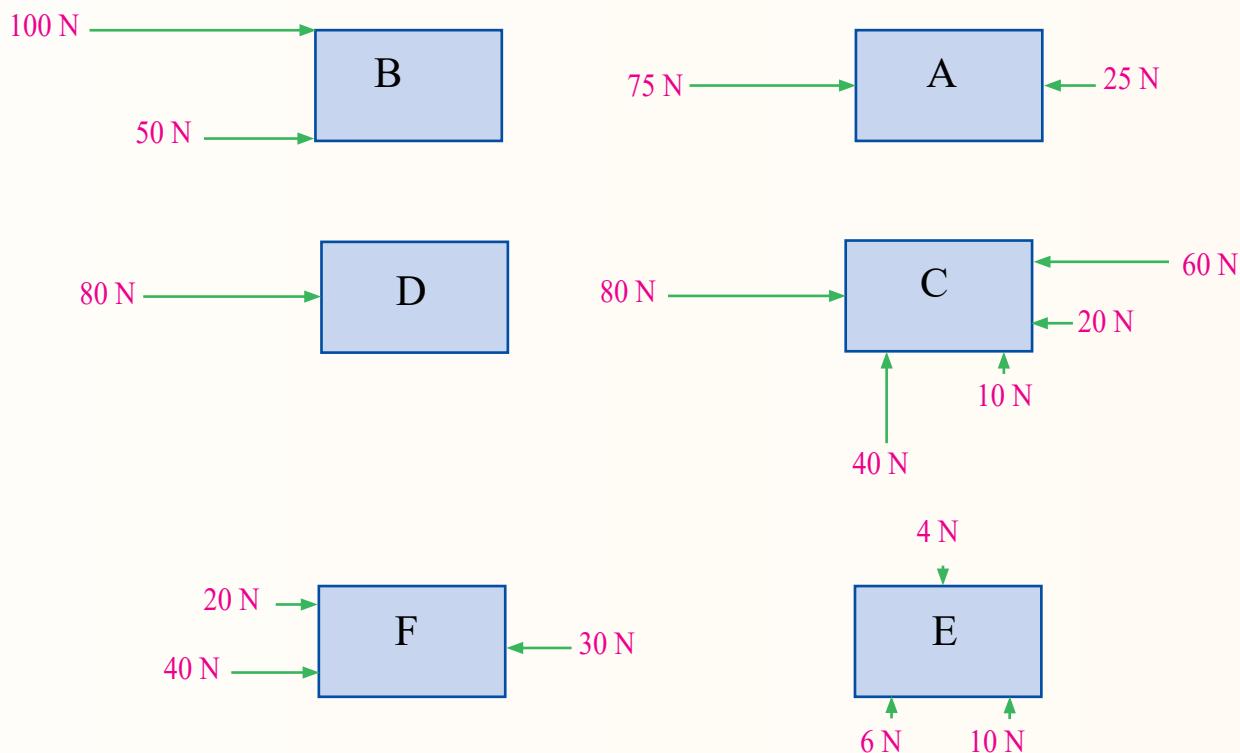


الشكل (8): مُخطَّطُ الجسمِ الْحُرِّ لدميَّةٍ متزنةٍ.

يُمثّلُ الشكل (8) مُخطَّطَ الجسمِ الْحُرِّ لدميَّةٍ متزنةٍ، يُؤثِّرُ فيها ثلاثة قوى في الاتجاهات المُبيَّنة في الشكل. أجد مقدار القوَّة F_2 .

مراجعةُ الدرسِ

1. الفكرةُ الرئيسيَّةُ: أصفُ الحالةُ الحركيَّةُ للجسمِ عندما تكونُ القوَّةُ المُحصلةُ المؤثِّرةُ فيَهُ تساوي صفرًا.
2. **استخدمُ الأرقامَ:** تحرَّكُ سيارةً بسرعَةٍ ثابتَةٍ مقدارَهَا على طرِيقٍ أفقيٍّ مستقيمٍ. إذا كانتْ قُوَّةُ دفعِ مُحرِّكِها (6000 N)، فما مقدارُ القوَّةِ المعيقةِ المؤثِّرةِ في السيارةِ؟ ما اتجاهُها؟
3. **استخدمُ الأرقامَ:** الأجسامُ المُبيَّنةُ في الشكلِ الآتي جمِيعُها ساكنَة، وهيَ في حالَةِ اتزانٍ. أَجِدُ القوَّةَ الإضافيَّةَ التي يَلْزَمُ التأثيرُ بها في كُلِّ جسمٍ حتَّى يتحقَّق شرطُ الاتزانِ، ثمَّ أَحدِّدُ اتجاهَ هذهِ القوَّةِ.



4. **أصدرُ حُكْمًا:** في أثناء دراستي وزميلي يوسفَ لهذا الدرسِ، قالَ: "يجبُ أنْ تؤثِّرُ قوَّةُ محصلةُ في الجسمِ بصورةٍ دائمةٍ لكيْ يتحرَّكَ بسرعَةٍ مُتَجَهَّةٍ ثابتَةٍ". أناقُشُ صحةَ قولِ يوسفَ.

القانون الثاني في الحركة لنيوتن

Newton's Second Law of Motion

يُقدّم لنا القانون الأول لنيوتن وصفاً لحالة الجسم الحركية عندما تكون القوة المحصلة المؤثرة فيه صفراء، من دون أن يُوضّح كيفية تغييرها عندما تؤثّر فيه قوّة محصلة لا تساوي صفراء. أمّا قانونه الثاني فقد استكمّل العلاقة بين القوّة والحركة، وذلك بوصف حركة جسم تؤثّر فيه قوّة محصلة.

يُبيّن الشكل (9أ) سيارةً يدفعها شخص واحد، في حين يُبيّن الشكل (9ب) سيارةً يدفعها أكثر من شخص. في أيّ الحالتين تكون القوة المحصلة المؤثرة في السيارة أكبر؟ في التجربة الآتية سنستقصي عملياً تأثير كل من القوة المحصلة المؤثرة في جسم، وكثافة الجسم في تسارّعه.



(أ)

الشكل (9): القوّة المحصلة المؤثرة في السيارة الظاهر في الصورة (ب) أكبر

من تلك المؤثرة في السيارة الظاهر في الصورة (أ)، لذا، فإن تسارّعها أكبر.



(ب)

القدّرة الرئيسة:

يعتمد تسارّع أيّ جسم على كتلته، وعلى القوّة المحصلة المؤثرة فيه. توجد القوى في الطبيعة فقط بصورة أزواج، ولا يمكن أن توجد منفردة.

نتائج التعلم:

- ٠ أستقصي القانون الثاني لنيوتن.
- ٠ أذكر نصّ كلّ من القانون الثاني والقانون الثالث لنيوتن.
- ٠ أحدد قوّتي الفعل وردّ الفعل في مجموعة من الأنظمة.
- ٠ أطبق ما تعلّمته بحلّ مسائل على قوانين نيوتن في الحركة.

المفاهيم والمصطلحان:

القانون الثاني لنيوتن

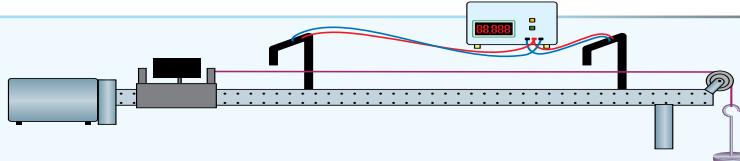
.Newton's Second Law

القانون الثالث لنيوتن

.Newton's Third Law

التجربة ١

القوّة والكتلة والتسارع



المواد والأدوات: مَدْرُجٌ هَوَائِيٌّ وَمَلْحَقَتُهُ، مَسْطَرَةٌ مَتْرِيَّةٌ، بَكْرَةٌ، خِيطٌ، حَامِلٌ لِأَنْقَالٍ، عَشَرَةُ أَنْقَالٍ كَتْلَةٌ كُلُّ مِنْهَا (10 g)، مِيزَانٌ

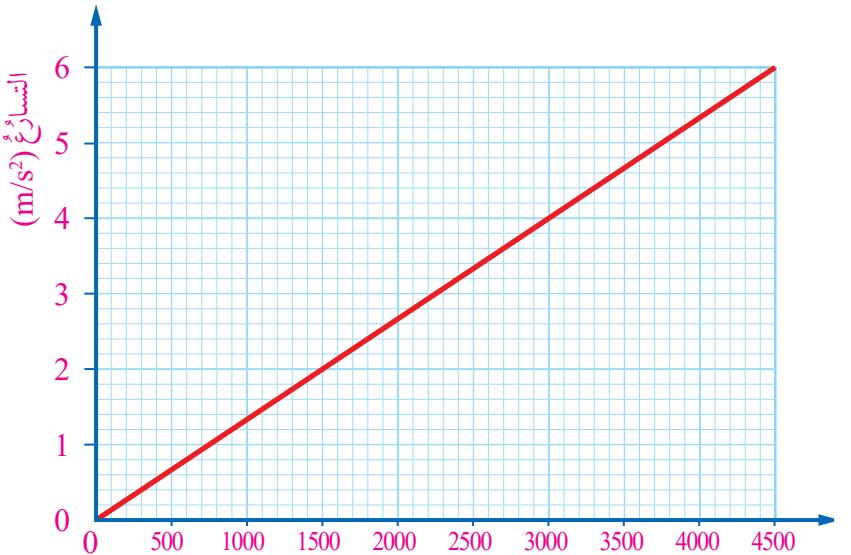
إرشادات السلامة: الحذرُ مِنْ سُقُوطِ الأَجْسَامِ وَالْأَدَوَاتِ عَلَى الْفَدَمِينِ.

خطوات العمل:

- أثبِّتِ المَدْرُجَ الْهَوَائِيَّ أَفْقيًّا عَلَى سُطُوحِ الطَّاولَةِ، ثُمَّ أثبِّتِ الْبَكْرَةَ فِي نَهَايَتِهِ، كَمَا فِي الشَّكْلِ.
- أَفْيِسُ** كَتْلَةَ الْعَرْبَةِ الْمَنْزَلِقَةِ، ثُمَّ أَدْوِنُ الْقِرَاءَةَ أَعْلَى الْجَدْوِلِ (١)، ثُمَّ أَضْعُفُ الْعَرْبَةَ عَنْدَ بَدَائِيَّةِ الْمَدْرُجِ.
- أَرْبِطُ أَحَدَ طَرَفَيِ الْخِيطِ بِمُقْدِمَةِ الْعَرْبَةِ، ثُمَّ أَرْبِطُ طَرْفَهُ الْآخَرَ بِحَامِلِ الْأَنْقَالِ، مَرْوِيًّا بِالْبَكْرَةِ.
- أثبِّتِ إِحْدَى الْبَوَابَتَيْنِ الْضَّوئِيَّتَيْنِ عَنْدَ مُقْدِمَةِ الْعَرْبَةِ، ثُمَّ أثبِّتِ الْبَوَابَةَ الْآخِرَى عَلَى بُعْدِ (١ m) مِنْهَا، ثُمَّ أَدْوِنُ مَقْدَارَ هَذَا الْبَعْدِ (٢) أَعْلَى الْجَدْوِلِ. بَعْدَ ذَلِكَ أثبِّتِ حَاجِزَ الاصْطِدامِ فِي نَهَايَةِ الْمَسَارِ؛ لِمَنْعِلِ اصْطِدامِ الْعَرْبَةِ بِالْبَكْرَةِ.
- أَصِلُّ الْبَوَابَتَيْنِ بِالْعَدَادِ الزَّمْنِيِّ الرَّقْمِيِّ، ثُمَّ أَصِلُّهُ بِمَصْدِرِ الطَّاقَةِ الْكَهْرَبَائِيِّ، ثُمَّ أَشْغِلُهُ.
- أَضْعُفُ أَنْقَالًا مَنْاسِبًا عَلَى الْعَرْبَةِ وَالْحَامِلِ، بِحِيثُ تَقْطَعُ الْعَرْبَةُ مَسَافَةً (١ m) فِي زَمِنٍ مَنْاسِبٍ، ثُمَّ أَجْدُ كَتْلَةَ الْأَنْقَالِ وَالْحَامِلِ، الَّتِي تُسَمَّى كَتْلَةَ ثِقْلِ التَّعْلِيقِ (m_{hang})، ثُمَّ أَدْوِنُ الْقِرَاءَاتِ فِي الْجَدْوِلِ. بَعْدَ ذَلِكَ أَضِيفُ كَتْلَةَ الْأَنْقَالِ الَّتِي فَوْقَ الْعَرْبَةِ إِلَى كَتْلَةِ الْعَرْبَةِ، ثُمَّ أَدْوِنُهَا فِي الْجَدْوِلِ تَحْتَ عَمُودِ كَتْلَةِ الْعَرْبَةِ (m_{cart}).
- أَشْغِلُ مَضْخَّةَ الْهَوَاءِ، ثُمَّ أَفْلِثُ الْعَرْبَةَ، ثُمَّ أَدْوِنُ فِي الْجَدْوِلِ تَحْتَ عَمُودِ الزَّمْنِ (٣) قِرَاءَةَ الْعَدَادِ الزَّمْنِيِّ الرَّقْمِيِّ، الَّذِي يُمْثِلُ الزَّمْنَ الَّذِي تَسْتَعْرِفُهُ الْعَرْبَةُ فِي حَرْكَتِهَا بَيْنَ الْبَوَابَتَيْنِ.
- أَنْقُلُ ثِقْلًا مِنْ فَوْقِ الْعَرْبَةِ إِلَى الْحَامِلِ، ثُمَّ أَكْرِرُ الْخُطُوَّةَ السَّابِقَةَ، وَأَدْوِنُ فِي الْجَدْوِلِ الْقِيَاسَاتِ الْجَدِيدَةِ لِكُلِّ مِنْ: (m_{hang} ، وَ (m_{cart}) ، وَ الزَّمْنِ).
- أَكْرِرُ الْخُطُوَّةَ السَّابِقَةَ مَرَّتَيْنِ لِأَنْقَالٍ إِضافِيَّةٍ أُخْرَى.
- أَسْتَخِدُمُ الْأَرْقَامَ: أَحْسُبُ تَسَارُعَ الْعَرْبَةِ لِكُلِّ (m_{hang}) بِاسْتِخْدَامِ الْعَلَاقَةِ: $a = 2d/t^2$ ، ثُمَّ أَجْدُ نَاتِجَ ضَرِبِ ($m_{\text{hang}} + m_{\text{cart}}$) a لِكُلِّ حَالَةٍ.
- أَكْرِرُ الْتَجْرِبَةَ بِتَثْبِيتِ كَتْلَةِ ثِقْلِ التَّعْلِيقِ (m_{hang})، وَتَغْيِيرِ كَتْلَةِ الْعَرْبَةِ (m_{cart})؛ لِدِرَاسَةِ الْعَلَاقَةِ بَيْنَ الْكَتْلَةِ وَالْتَسَارُعِ، ثُمَّ أَدْوِنُ الْقِرَاءَاتِ فِي الْجَدْوِلِ (٤).

التحليل والاستنتاج:

- أَقْارِنُ** بَيْنَ a وَمَقْدَارِ وَزْنِ ثِقْلِ التَّعْلِيقِ ($m_{\text{hang}}g$) لِكُلِّ حَالَةٍ. مَا الْعَلَاقَةُ بَيْنَهُمَا؟
- أَمْثِلُ بِيَانِيَّ** الْعَلَاقَةَ بَيْنَ مَقْدَارِ الْقُوَّةِ الْمُحَصَّلَةِ الْمُؤَثِّرَةِ فِي الْعَرْبَةِ ($m_{\text{hang}}g$) عَلَى الْمَحْورِ (y) وَمَقْدَارِ التَسَارُعِ (a) عَلَى الْمَحْورِ (x). مَا شَكْلُ هَذِهِ الْعَلَاقَةِ؟ مَاذَا أَسْتَنْتَجُ؟
- أَسْتَنْتَجُ:** مَا الَّذِي يُمْثِلُ مِيلَ الْمَحْنَى الْبَيَانِيِّ فِي السُّؤَالِ السَّابِقِ؟
- أَسْتَنْتَجُ:** مَاذَا حَدَثَ لِمَقْدَارِ تَسَارُعِ الْعَرْبَةِ عَنْدَ تَثْبِيتِ كَتْلَةِ ثِقْلِ التَّعْلِيقِ (m_{hang}) وَتَغْيِيرِ كَتْلَةِ الْعَرْبَةِ (m_{cart})؟



الشكل (10): العلاقة بين السارع والقوة المحصلة لكتلة ثابتة.

ما مقدار تسارع الجسم عندما يكون مقدار القوة المحصلة المؤثرة فيه (1500 N)؟

القوة والتسارع Force and Acceleration

تبين لنا بعد تنفيذ التجربة السابقة أنه كلما زادت القوة المحصلة المؤثرة في جسم زاد تسارعه عند ثبات كتلته، أي أن العلاقة بين القوة والتسارع علاقة طردية، يعبر عنها رياضياً على النحو الآتي:

$$a \propto \sum F$$

يُبيّن الشكل (10) العلاقة بين مقدار القوة المحصلة المؤثرة في جسم ومقدار تسارعه عند ثبات كتلته. وبالعودة إلى الشكل (9)، يلاحظ أن القوة المحصلة المؤثرة في السيارة الظاهرة في الصورة (ب) أكبر من تلك المؤثرة في السيارة الظاهرة في الصورة (أ)؛ لذا، فإن تسارعها أكبر.

أتحقق: ما العلاقة بين تسارع جسم والقوة المحصلة المؤثرة فيه عند ثبات كتلته؟ ✓

الكتلة والتسارع Mass and Acceleration

يتبيّن من التجربة السابقة أن زيادة كتلة الجسم المتحرك تقلل من تسارعه عند ثبات القوة المحصلة المؤثرة فيه، أي أن تسارع الجسم

يتناصب عكسيًا مع كتلته عند ثبات القوة المحصلة المؤثرة فيه، ويعبر عن ذلك رياضيًّا بالعلاقة الآتية:

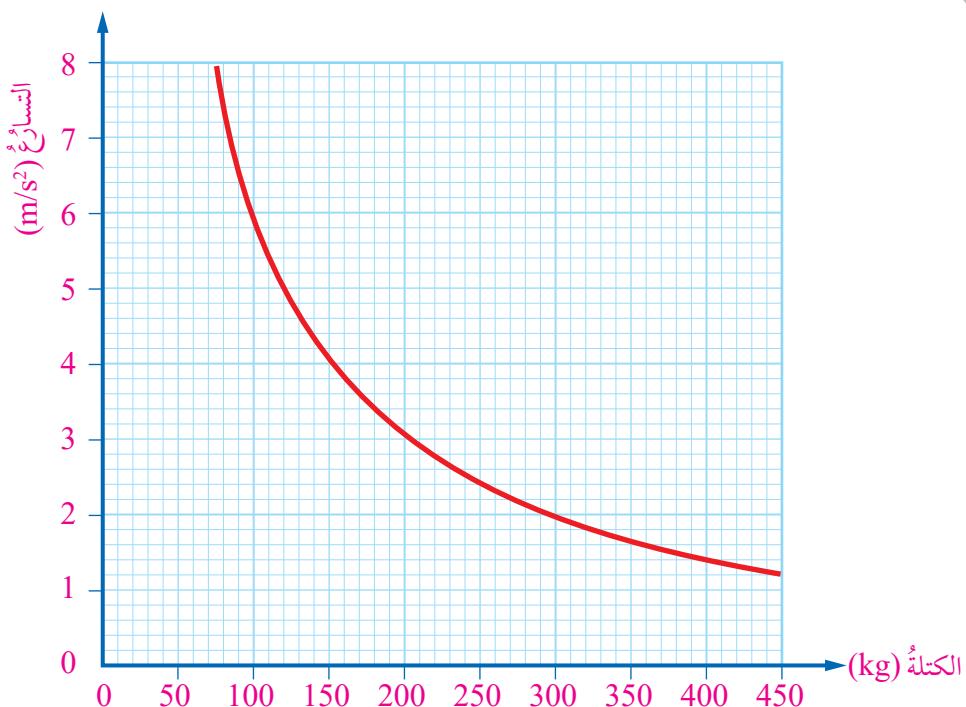
$$a \propto -\frac{1}{m}$$

أنظر الشكل (11) الذي يوضح هذه العلاقة. وللوصول إلى التسارع نفسه عند زيادة الكتلة يلزم زيادة القوة المحصلة.

بناءً على ما سبق، يمكن التوصل إلى القانون الثاني لنيوتن **Newton's second law**، الذي نصه: "يتناصب تسارع الجسم طرديًّا مع القوة المحصلة المؤثرة فيه، ويتناصب عكسيًّا مع كتلته". ويكون اتجاه التسارع دائمًا في اتجاه القوة المحصلة.

وفي حال بقاء كتلة الجسم ثابتة في أثناء زمن تأثير القوة فيه، فإنَّه يمكن كتابة القانون الثاني لنيوتن على النحو الآتي:

$$\sum F = ma$$



الشكل (11): العلاقة بين التسارع والكتلة عند ثبات القوة المحصلة.

يَلْزَمُ أَيْضًا مِرَايَةً وَهَدَاتِ الْقِيَاسِ عِنْدَ تَطْبِيقِ الْقَانُونِ الثَّانِي لِنِيُوتَنْ؛ إِذْ تَكُونُ F بِوَحدَةِ (N)، وَ a بِوَحدَةِ (m/s^2)، وَ m بِوَحدَةِ (kg). وَبِنَاءً عَلَى هَذَا الْقَانُونِ، يُمْكِنُ القُولُ إِنَّ: $1\ N = 1\ kg \cdot m/s^2$.

يُسْتَخْدَمُ هَذَا الْقَانُونُ فِي تَعْرِيفِ وَحْدَةِ قِيَاسِ الْقُوَّةِ (N)، كَمَا يَأْتِي: "مَقْدَارُ الْقُوَّةِ الْمُحَصَّلَةِ الَّتِي يَلْزَمُ التَّأْثِيرُ بِهَا فِي جَسْمٍ كَتْلَتُهُ (1\ kg) لِإِكْسَابِهِ تَسْارُعًا مَقْدَارُهُ (1\ m/s^2) فِي اِتِّجَاهِهَا". وَبِذَلِكَ، فَإِنَّ الْقُوَّةَ الْمُحَصَّلَةَ الْأَفْقيَةَ تُكَسِّبُ الْجَسَمَ تَسْارُعًا أَفْقيًّا، فِي حِينَ تُكَسِّبُ الْقُوَّةَ الْمُحَصَّلَةَ الرَّأْسِيَّةَ الْجَسَمَ تَسْارُعًا رَأْسِيًّا:

$$\sum F_x = ma_x, \sum F_y = ma_y$$

عَلَمًا أَنَّهُ لَا بُدَّ مِنْ رَسْمِ مُخْطَطِ الْجَسَمِ الْحُرُّ لِتَحْدِيدِ جَمِيعِ الْقُوَّى الْمُؤَثِّرةِ فِي الْجَسَمِ.

مِنَ الْمُلَاحَظِ أَنَّ الْقَانُونَ الْأَوَّلَ لِنِيُوتَنْ يُعَدُّ حَالَةً خَاصَّةً مِنْ قَانُونِهِ الثَّانِي؛ فَإِذَا كَانَتِ الْقُوَّةُ الْمُحَصَّلَةُ الْمُؤَثِّرَةُ فِي جَسَمٍ صَفَرًا فَإِنَّ تَسْارُعَهُ أَيْضًا يَكُونُ صَفَرًا، وَعِنْدَئِذٍ يَكُونُ الْجَسَمُ سَاكِنًا أَوْ مُتَحَرِّكًا بِسُرْعَةٍ ثَابِتَةٍ مَقْدَارًا وَاتِّجَاهًا؛ أَيْ يَكُونُ مُتَّزِنًا:

$$\sum F = 0, a = 0$$

أَتَحَقَّقُ: مَا الْعَلَاقَةُ بَيْنَ تَسْارُعِ جَسَمٍ وَكَتْلَتِهِ عِنْدَ ثَبَاتِ الْقُوَّةِ الْمُحَصَّلَةِ الْمُؤَثِّرَةِ فِيهِ؟ ✓

الفيزياء والفال



تَوَجُّدُ حَالَاتٌ تَتَغَيَّرُ فِيهَا كَتْلَةُ الْجَسَمِ فِي أَثْنَاءِ مَدَدَةِ تَأْثِيرِ الْقُوَّةِ فِيهِ، مِنْهَا تَغَيُّرُ كَتْلَةِ الصَّوَارِيخِ الْمُسْتَخْدَمَةِ فِي إِطْلَاقِ الْأَقْمَارِ الصِّنَاعِيَّةِ نَتْيَاجَةً لِاسْتَهْلاِكِ الْوَقْدِ. وَيَلْزَمُ لِتَلْكَ الْحَالَاتِ إِسْتِخْدَامُ عَلَاقَةٍ (صِيغَةٌ) أُخْرَى لِلْقَانُونِ الثَّانِي لِنِيُوتَنْ، تَضَمَّنُ تَغَيِّرَ الْكَتْلَةِ.

المثال 2

أجد القوة المحصلة التي يلزم التأثير بها في صندوقٍ كتلته (20 kg) لإكسابِه تسارعاً أفقياً مقداره (2 m/s^2) جهة اليمين.

المعطيات: $m = 20 \text{ kg}$, $a = 2 \text{ m/s}^2$, نحو اليمين.

المطلوب: $\sum F_x = ?$.

الحل:

لإيجاد القوة المحصلة التي يلزم التأثير بها في الصندوق لكي يتحرك وفق التسارع المطلوب، يستخدم القانون الثاني لنيوتون في اتجاه المحور (x):

$$\sum F_x = ma_x$$

$$= 20 \times 2 = 40 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 40 \text{ N}$$

وباتجاه اليمين.

المثال 3

تعطلت سيارة كتلتها (800 kg)، فسحبّتها شاحنة قطراً على طريقٍ أفقى مستقيم، بقوةٍ أفقية مقدارها N 1000 جهة اليمين. إذا كانت قوّة الاحتكاك المؤثرة في السيارة N 400 جهة اليسار، فأجد:

أ . القوة المحصلة المؤثرة في السيارة في الاتجاه الأفقي.

ب . تسارع السيارة الأفقي.

ج . السرعة المُنتجة للسيارة بعد مرور (10 s) من بدء سحبها.

المعطيات: أرمز إلى قوّة السحب بالرمز F_1 , أرمز إلى قوّة الاحتكاك بالرمز f :

$$m = 800 \text{ kg}, F_1 = 1000 \text{ N}, f = 400 \text{ N}, t = 10 \text{ s}, v_i = 0 \text{ m/s}$$

حيث القوة F نحو اليمين، وقوّة الاحتكاك نحو اليسار.

المطلوب: $\sum F = ?, a = ?, v_2 = ?$

أ . القوَّةُ المُحَصَّلَةُ المُؤثِّرَةُ فِي السِّيَارَةِ فِي الاتِّجَاهِ الأَفْقِيِّ (x):

$$\begin{aligned}\sum F &= F_1 - f \\ &= 1000 - 400 \\ &= 600 \text{ N}\end{aligned}$$

حيث $\sum F$ نحو اليمين.

$$\begin{aligned}a &= \frac{\sum F}{m} \\ &= \frac{600}{800} \\ &= 0.75 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

ب . تسارُّعُ السِّيَارَةِ الأَفْقِيِّ:

حيث التسارُّعُ نحو اليمين باتِّجَاهِ القوَّةِ المُحَصَّلَةِ.

ج . لإيجاد السرعة المُتَجَهَّةِ للسيارة بعد مرور (10 s) من بدء سحبها، تُستَخدَمُ المعادلةُ الآتِيَّةُ لِلحرْكَةِ:

$$\begin{aligned}v_2 &= v_1 + at \\ &= 0 + 0.75 \times 10 \\ &= 7.5 \text{ m/s}\end{aligned}$$

واتِّجَاهُ السرعة نحو اليمين.

لَمَرْلَةٌ

أثَرَتْ قُوَّةً مُحَصَّلَةً أَفْقِيَّةً مُقدَارُهَا (100 N) باتِّجَاهِ اليمينِ فِي صِنْدُوقٍ كُتْلَتُهُ (20 kg)، وَهُوَ مُسْتَقِرٌ عَلَى سطحِ

أَفْقِيٍّ أَمْلَسٌ. أَجِدُ:

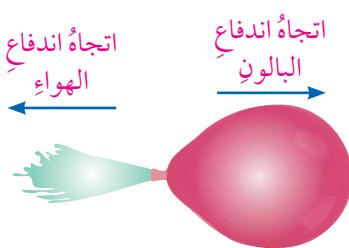
أ . تسارُّعَ الصِنْدُوقِ.

ب . السرعة المُتَجَهَّةَ لِلصِنْدُوقِ بعد مرور (5 s) من بدء حرْكَتِهِ.

ج . الإِزَاحَةَ الَّتِي يَقْطَعُهَا الصِنْدُوقُ بعد مرور (5 s) من بدء حرْكَتِهِ.

القانون الثالث في الحركة لنيوتن Newton's Third Law of Motion

وصف لنا القانون الأول لنيوتن الحالة الحركية لجسم ما عندما تكون القوة المحصلة المؤثرة فيه صفرًا، في حين قدّم لنا قانونه الثاني تفسيرًا لكيفية تغيير سارع جسم عندما تؤثر فيه قوة محصلة، أما قانونه الثالث فيدرس طبيعة القوى المتبادلة بين الأجسام.

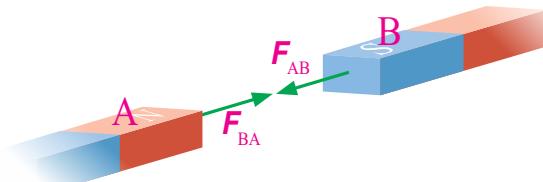


عند إفلاط بالون منفوخ، كما في الشكل (12)، يندفع الهواء من فوهته إلى اليسار، في حين يندفع البالون في الاتجاه المعاكس (إلى اليمين). وعند تقريب مغناطيسيين، فإن كلاً منهما يسحب الآخر، أو يدفعه بقوة مجال. وعندما أستند إلى أحد الجدران، فإن جسم يُؤثر بقوة تلامس في الجدار، ويؤثر الجدار بقوة تلامس في جسمي.

لتفسير هذه المشاهدات، يجب دراسة القانون الثالث لنيوتن لفهم نصّه: **Newton's third law**

"إذا تفاعل جسمان (A) و (B)، فإن القوة التي يؤثر بها الجسم (A) في الجسم (B) تساوي القوة التي يؤثر بها الجسم (B) في الجسم (A) من حيث المقدار، وتتعاكسانا في الاتجاه".

لتعرف ما يحدث عند تقريب القطب الشمالي لمغناطيسي إلى القطب الجنوبي لمغناطيسي آخر استناداً إلى القانون الثالث لنيوتن، أنظر الشكل (13)، إذ يلاحظ من هذا الشكل أن القطب الشمالي للمغناطيسي (A) يؤثر بقوة تجاذب (F_{AB}) في القطب الجنوبي للمغناطيسي (B)، وأن القطب الجنوبي للمغناطيسي (B) يؤثر -في اللحظة نفسها - بقوة تجاذب (F_{BA}) في القطب الشمالي للمغناطيسي (A)، وأن هاتين القوتين تساويان في المقدار، وتعاكسانا في الاتجاه،



الشكل (13): قوتا الفعل ورد الفعل (أو زوجا التأثير المتبادل) متساويان في المقدار، ومتعاكستان في الاتجاه.

ويُطلق على إحداهما اسم الفعل (Action)، ويُطلق على الأخرى اسم رد الفعل (Reaction)؛ لذا يُعرف هذا القانون غالباً باسم قانون الفعل ورد الفعل.

بناءً على ما سبق، يمكن إعادة صياغة هذا القانون على النحو الآتي:

"الكل فعل رد فعل، مساوٍ له في المقدار، ومعاكس له في الاتجاه".

أتحقق: علام ينص القانون الثالث لنيوتون؟ ✓

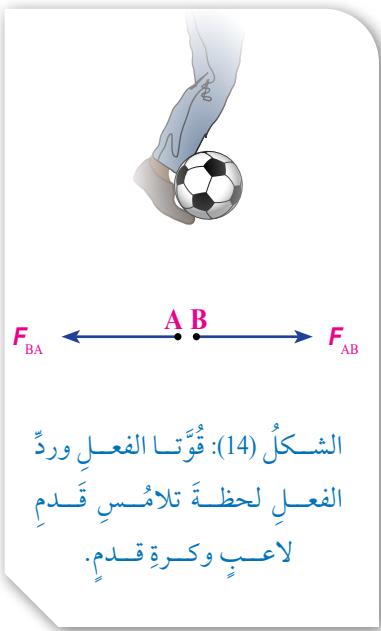
وجود القوى في الطبيعة في صورة أزواج Forces Always Occur in Pairs

يلاحظ من القانون الثالث لنيوتون أنَّ القوى دائمًا توجد في صورة أزواج (أي فعل، ورد فعل)، وأنَّها لا توجد منفردةً. لتوضيح ذلك، انظر الشكل (14) الذي يُبيِّنُ قوَّتَيِ الفعل ورد الفعل لحظة تلامسِ قدم اللاعب (A)، وكرة القدم (B).

عند ملامسة قدم اللاعب للكرة، فإنه يؤثُّر فيها بقوَّة (F_{AB}) في الاتجاه المُوضَّح في الشكل، وفي اللحظة نفسها تؤثُّر الكرة في قدم اللاعب بقوَّة (F_{BA}) تكون متساوية في المقدار للقوَّة (F_{AB})، لكنَّها معاكسة لها في الاتجاه. تعرَّف هاتان القوتان أيضًا باسم زوجي التأثير المُتبادل؛ حيث:

$$F_{AB} = -F_{BA}$$

أتحقق: هل يمكن أن توجد قوَّة منفردة؟ أفسِّر إجابتي. ✓



الشكل (14): قوَّتا الفعل ورد الفعل لحظة تلامسِ قدم اللاعب وكرة القدم.

الفعل ورد الفعل مُتزامنٍ

Action and Reaction Forces are Simultaneous

عند استخدام مصطلح (الفعل)، ومصطلح (رد الفعل)، قد يتبدّل إلى الذهن - خطأً - أنَّ الفعل يسبق ردَ الفعل؛ فقوَّة الفعل وقوَّة ردَ الفعل مُتزامنٌ؛ إذ تنشأ معاً، وتختفيان معاً، خلافاً للمعنى الشائع لهمَا في حياتنا اليومية؛ فنحن نستخدم مصطلح (رد الفعل) للدلالة على وقوع حدثٍ بعدَ وقوع حدثٍ آخرٍ؛ استجابةً لهُ. ولأنَّ هاتين القوَّتين مُتزامنٍ؛ فإنَّ كلاً منْهُما تُسمى فعلاً، أو رد فعلٍ.

أفكار:
إذا كانت قوَّتا الفعل ورد الفعل متساوين، فكيف يفسر جُر حسان لعربة؟

تحقق: ماذا يعني بقولنا: "إنَّ قوَّتي الفعل ورد الفعل مُتزامنٍ"؟ ✓

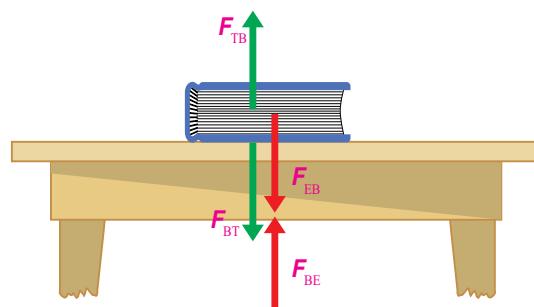
الفعل ورد الفعل يؤثِّران في جسمين مختلفين

Action and Reaction Forces Act on Different Objects

يتبينُ منَ القانون الثالث لنيوتون أنَّ قوَّة الفعل وقوَّة ردَ الفعل تؤثِّران في جسمين مختلفين، وأنَّهُما لا تؤثِّران في الجسم نفسه. ومن ثم، فلا تُحسب محصلتهما؛ لأنَّ القوَّة المحصلة تُحسب للقوى عندما تؤثِّر في الجسم نفسه.

يُمثِّلُ الشكل (15) كتاباً يتنزَّن على سطح طاولةٍ أفقيةً. وفيه يُؤثِّر الكتاب بقوَّة في سطح الطاولة إلى أسفل (F_{BT})، ويُؤثِّر سطح الطاولة بقوَّة في الكتاب إلى أعلى (F_{TB}).

الشكل (15): أزواج التأثير المُتبادل في حالة كتاب يستقرُ على سطح طاولة موضوعة على الأرض.



تمثّل هاتانِ القوّتانِ زوجيِ التأثيرِ المُتبادلِ (ال فعلُ، و ردُّ الفعلِ)؛ إذ تؤثّرُانِ في جسمينِ مختلفينِ، و تنسائانِ معًا، و تختفيانِ معًا. وبالمثل، تؤثّرُ الأرضُ بقوّةِ جذبٍ في الكتابِ إلى أسفلَ (F_{EB})، و يُؤثّرُ الكتابُ بقوّةِ جذبٍ في الأرضِ إلى أعلى (F_{BE}). وهاتانِ القوّتانِ تمثّلانِ أيضًا زوجيِ التأثيرِ المُتبادلِ.

وفي المقابلِ، لا تمثّلُ القوّةُ (F_{TB}) والقوّةُ (F_{EB}) زوجيِ تأثيرِ مُتبادلِ، بالرغمِ منْ أنّهُما -في هذا المثالِ- متساويانِ في المقدارِ، و متعاكستانِ في الاتجاهِ؛ لأنّهما تؤثّرانِ في الجسمِ نفسهِ. وكذلك في حال افتراضِ عدمِ وجودِ الطاولةِ، فإنَّ القوّةَ (F_{TB}) فقط تختفي، و تتطلّبُ القوّةَ (F_{EB}) موجودةً؛ فلو كانتا فعلاً و ردَّ فعلَ لوجبَ أنْ تختفيا معًا. فمثلاً، إذا أثّرتُ قوّةً خارجيةً في الكتابِ رأسياً إلى أسفلَ فإنَّ مقدارَ القوّةِ (F_{TB}) يكونُ أكبرَ منْ مقدارِ القوّةِ (F_{EB}).

يُلاحظُ منَ الأمثلةِ السابقةِ أنَّ الفعلَ و ردُّ الفعلِ مُتجانسانِ؛ أيْ أنَّ لهُما الطبيعةَ نفسها. فإذا كانَ الفعلُ قوّةً جذبٍ كانَ ردُّ الفعلِ أيضًا قوّةً جذبٍ، وإذا كانَ الفعلُ قوّةً كهربائيةً كانَ ردُّ الفعلِ أيضًا قوّةً كهربائيةً، وهكذا. وبالمثلِ، إذا كانَ الفعلُ قوّةً تلامسٍ أو قوّةً مجالٍ كانَ ردُّ الفعلِ أيضًا قوّةً تلامسٍ أو قوّةً مجالٍ.



أصمّ باستخدامِ

برنامِجِ السكراتشِ (Scratch) عرضاً يوضحُ الفعلَ و ردُّ الفعلِ، ثمَّ أشارَكُه زملائي / زميلاتي في الصفِ.

أتحققُ: هل يمكنُ إيجادُ محصلةٍ قوّةِ الفعلِ و قوّةِ ردِّ الفعلِ؟ أفسّرُ ✓

إجابتيِ.

مراجعةُ الدرسِ

١١



١. **الفكرةُ الرئيْسَةُ:** علامَ يعتمدُ تساُرُعُ أيِّ جسمٍ؟ هلْ يُمكِّنُ أنْ توجَدْ قُوَّةً منفردةً في الطبيعةِ؟
٢. **أُصنَفُ:** لکل زوجٍ ممّا يأتي، أُحدِّدُ أيُّهُما قصُورُ الذاتيُّ أكبُرُ:
 - أ . سيارةً صغيرَةً، وشاحنةً.
 - ب . كرةً قدمٍ، وكرةً تنسٍ طاولَةٍ.
 - ج . كرةً تنسٍ، وحَجْرٌ لهُما الكتلةُ نفسُها.
٣. **أَسْتَخْدُمُ الْأَرْقَامَ:** دفعَ زيدٌ عربَةَ تسوُّقٍ كتلتها (40 kg)، فتسارَعَتْ بمقدارِ (2 m/s^2) جهةَ اليمينِ على أرضٍ أفقيَّةٍ ملساءً:
 - أ . أحُسْبُ مقدارَ القُوَّةِ المحصلَةِ المؤثِّرةِ في العربَةِ، ثُمَّ أُحدِّدُ اتجاهَها.
 - ب . أَجِدُ تساُرَعَ عربَةِ ثانيةٍ كتلتها (60 kg)، وقدْ أَثَرَتْ فيها القُوَّةُ المحصلَةُ السابقةُ نفسُها.
 - ج . أَجِدُ مقدارَ القُوَّةِ المحصلَةِ التي يَلْزُمُ تأثيرُها في العربَةِ الثانيةِ لإكسابِها نفسَ تساُرِ العربَةِ الأولى.
 - د . **أَقَارِنُ** بينَ مقدارَيِّ القُوَّةِ المحصلَةِ في الفرعِ (أ)، والفرعِ (ج). ماذا أَسْتَنْتَجُ؟
٤. **التفكيرُ الناقدُ:** أُفَكِّرُ في تجربَةٍ أُثِبَتَ فيها أنَّ قُوَّةَ الفعلِ وقوَّةَ ردِّ الفعلِ متساوِيتانِ في المقدارِ، ومتعاكستانِ في الاتجاهِ.

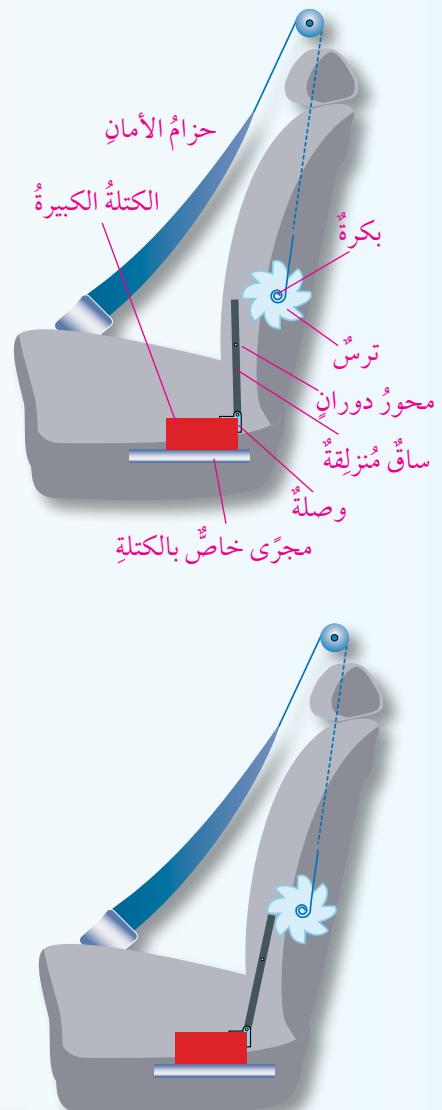


٥. **أَفَسَرُ:** يُمثِّلُ الشَّكُلُ المجاورُ شخصًا يقفُ منْ قاربٍ نحوِ الرَّصيفِ. لماذا يندفعُ القاربُ إلى الخلفِ في أثناءِ ذلك؟

الإثراء والتوسيع

تُستخدم أحزمة الأمان في السيارة لحماية السائق والركاب، والحد من تعرّضهم للإصابات الخطيرة في حال التوقف المفاجئ، أو التناقص الكبير في سرعة السيارة، أو تغيير اتجاهها عند المعنفات؛ إذ يعمل حزام الأمان على ثبيت الشخص في كرسيه، ويحول دون اندفاعه إلى الأمام، مانعاً ارتطامه بعجلة القيادة، أو الزجاج الأمامي؛ فالراكب في السيارة يكتسب سرعة السيارة نفسها. وفي حال عدم استخدامه حزام الأمان، فإنه يندفع إلى الأمام عندما تباطأ السيارة؛ نتيجة لقصوره الذاتي.

يعتمد مبدأ عمل حزام الأمان على القصور الذاتي أيضاً. ويوضح الشكل المجاور أحد أنواع أحزمة الأمان؛ ففي الأحوال العادية، يدور الترس بحرية في الاتجاهين حول البكرة المزوّدة بنابض؛ ما يسمح بحركة الحزام، ثم بحرية الحركة للشخص. وفي حال حدث تغيير مفاجئ في السرعة المُتّجّهة للسيارة (وقوع حادث مثلاً)، فإن السيارة تباطأ بصورة كبيرة؛ ما يُسبب اندفاع كتلة كبيرة موجودة أسفل الكرسي إلى الأمام خلال مجرّى خاص لها؛ بسبب قصورها الذاتي؛ ما يؤدي إلى دوران الساق الفلزية حول محورها، ثم ثبيت أسنان الترس، ومنع دورانه، وهو ما يؤدي إلى ثبيت حزام الأمان، ثم ثبيت السائق في مكانه.



أبحـث مستعيناً بمصادر المعرفة المناسبة، أبحث عن مزايا استخدام حزام الأمان، ومخاطر عدم الالتزام به في أثناء سير المركبة، ثم أكتب تقريراً عن ذلك، ثم أقرأه أمام زملائي / زميلاتي في غرفة الصف.

الساـق الفلـزـية تـمـنـع دورـانـ التـرسـ، وـثـبـيـتـ حـزـامـ الأمـانـ عندـ وـقـوعـ حـادـثـ، أوـ عـنـ تـبـاطـأـ السيـارـةـ بـصـورـةـ كـبـيرـةـ.

مراجعة الوحدة

1. أضْعِ دائِرَةً حَوْلَ رُمْزِ الإِجَابَةِ الصَّحِيحَةِ لِكُلِّ جَملَةٍ مَمَّا يَأْتِي:

1. تَحْرَكُ سِيَارَةٌ عَلَى طَرِيقٍ أَفْقَيِّ مُسْتَقِيمٍ بِسَرْعَةٍ مُتَّجِهٍ ثَابِتَةٍ مُقدَارُهَا

(90 km/h) شَمَالًا. الْفُوَّةُ الْمُحَصَّلَةُ الْمُؤَثِّرَةُ فِي السِّيَارَةِ، هِيَ:

- أ . فِي اِتِّجَاهِ الشَّمَالِ.
- ب . فِي اِتِّجَاهِ الْجَنُوبِ.
- ج . صَفْرٌ.
- د . فِي اِتِّجَاهِ الْشَّرْقِ.

2. إِحْدَى الْحَالَاتِ الْآتِيَّةِ تَتَطَلَّبُ تَأْثِيرَ قُوَّةٍ مُحَصَّلَةً أَكْبَرَ:

أ . إِكْسَابُ جَسْمٍ كَتَلَةً (2 kg) تَسَارُّ عَلَى مُقدَارِهِ (5 m/s²).

ب . إِكْسَابُ جَسْمٍ كَتَلَةً (4 kg) تَسَارُّ عَلَى مُقدَارِهِ (3 m/s²).

ج . إِكْسَابُ جَسْمٍ كَتَلَةً (6 kg) تَسَارُّ عَلَى مُقدَارِهِ (1.5 m/s²).

د . إِكْسَابُ جَسْمٍ كَتَلَةً (8 kg) تَسَارُّ عَلَى مُقدَارِهِ (1 m/s²).

3. تَجَلُّ فَرْخٌ فِي سِيَارَةٍ تَحْرَكُ عَلَى طَرِيقٍ أَفْقَيِّ بِسَرْعَةٍ مُتَّجِهٍ ثَابِتَةٍ فِي اِتِّجَاهِ الْمُحَورِ (+x)، وَثَمَسَكَ بِيَدِهَا كُوبًا فِيهِ عَصِيرٌ، أَنْظُرُ الشَّكَلَ الْمُجاوِرَ. إِذَا ضَغَطَ السَّائِقُ فَجَاءَ عَلَى الْمَكَابِحِ:

أ . فَإِنَّ الْعَصِيرَ يَنْسَكُّ مِنَ الْجَهَةِ (A).

ب . فَإِنَّ سَطْحَ الْعَصِيرِ فِي الْكُوبِ يَقْعُدُ مِنْسَوِيًّا.

ج . فَإِنَّ الْعَصِيرَ يَنْسَكُّ مِنَ الْجَهَةِ (B).

د . فَلَا يُمْكِنُ تَحْدِيدُ جَهَةِ اِنْسَكَابِ الْعَصِيرِ.

4. تُسَمِّي مَانِعَةُ الْجَسْمِ لَأَيِّ تَغْيِيرٍ فِي حَالَتِهِ الْحَرْكِيَّةِ:

أ . السَّرْعَةُ الْمُتَّجِهَةُ.

ب . الْفُوَّةُ الْمُحَصَّلَةُ.

ج . الْقَانُونُ الْثَالِثُ لِنِيُوتُنْ.

د . الْقَصُورُ الْذَاتِيُّ.

5. عَنْ نَصْصَانِ مُقدَارِ الْفُوَّةِ الْمُحَصَّلَةِ الْمُؤَثِّرَةِ فِي جَسْمٍ إِلَى النَّصْفِ، مَعَ ثَبَاتِ كَتَلَتِهِ، فَإِنَّ مُقدَارَ تَسَارُّهِ:

أ . يَتَضَاعِفُ مَرَّتَيْنِ.

ب . يَتَضَاعِفُ أَرْبَعَ مَرَّاتٍ.

ج . يَقْلُبُ مُقدَارَ النَّصْفِ.

د . لَا تَوجُدُ عَلَاقَةٌ بَيْنَهُمَا.

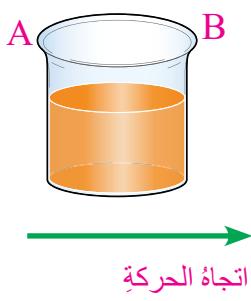
6. عَنْدَ نَفْدُعْ جَدَارًا بِقُوَّةٍ مُعَيْنَةٍ، فَإِنَّ الْجَدَارَ يَدْفَعُ بِقُوَّةٍ مُعاكِسَةٍ فِي الْاتِّجَاهِ، مُقدَارُهَا يَسَاوِي:

أ . مُثَلِّيِّ مُقدَارِ قُوَّتِكَ.

ب . مُقدَارِ قُوَّتِكَ.

ج . نَصْفَ مُقدَارِ قُوَّتِكَ.

د . صَفْرًا.



7. تحرّك سيارة بسرعة مُتجهة ثابتة على طريق أفقى. وفجأة، توقفت السيارة، فاندفع سائقها إلى الأمام. يعزى سبب اندفاع السائق إلى:

أ . تأثير قوّة فيه باتجاه الحركة نفسها.

ب . القصور الذاتي للسائق.

ج . القانون الثالث لنيوتون.

د . تأثير قوّة فيه عمودية على اتجاه الحركة.

8. من خصائص الجسم التي قد تتغيّر عند تأثير قوّة محصلة فيه:

أ . مقدار السرعة، والكتلة، واتجاه الحركة.

ب . الشكل، والكتلة، ومقدار السرعة.

ج . مقدار السرعة، والشكل، والثافة.

د . مقدار السرعة، والشكل، واتجاه الحركة.

9. وحدة قياس القوّة، هي:

أ . kg .

ب . N.s

ج . N

د . m/s²

10. بحسب القانون الثاني لنيوتون، يكون اتجاه التسارع دائمًا:

أ . في اتجاه الإزاحة.

ب . في اتجاه السرعة المُتجهة الابتدائية.

ج . في اتجاه السرعة المُتجهة النهائية.

د . في اتجاه القوّة المحصلة.

11. القصور الذاتي للجسم يُسبّب:

أ . تسارعه.

ب . تباطؤه.

ج . مقاومته لأي تغيير في حركته.

د . تغيير اتجاه حركته.

12. إذا كانت كتل الأجسام الموضحة في الشكل المجاور متساويةً، فإنَّ

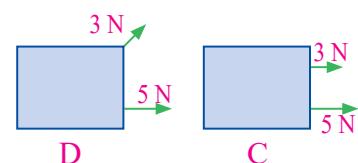
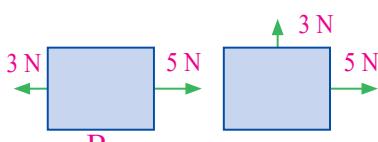
أقلّها تسارعًا من حيث المقدار، هو:

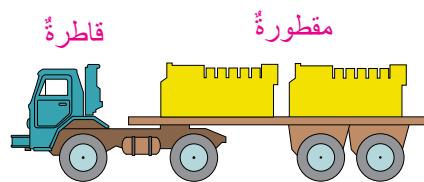
أ . (B) .

ب . (A)

ج . (C)

د . (D)





13. يُمثّل الشكل المجاور شاحنةً في صورة قاطرةً ومقطورةً. إذا كانت كتلة المقطورة (5) أضعاف كتلة القاطرة، وكانت القاطرة تتسارع على طريقٍ أفقيٍ مستقيم، فإنَّ القوَّة التي تؤثِّرُ بها المقطورة في القاطرة تساوي:

أ . (5) أضعاف القوَّة التي تؤثِّرُ بها القاطرة في المقطورة.

ب . $(\frac{1}{5})$ القوَّة التي تؤثِّرُ بها القاطرة في المقطورة.

ج . (10) أضعاف القوَّة التي تؤثِّرُ بها القاطرة في المقطورة.

د . القوَّة التي تؤثِّرُ بها القاطرة في المقطورة.

2. **استنتاج:** عند النظر إلى سباحٍ في بركة السباحة يلاحظ أنَّه يدفع الماء إلى الخلف. أفسر سبب فعله ذلك.

3. **استنتاج:** إذا كان تسارُّع جسمٍ ما صفرًا، فهل يعني ذلك عدم وجود قوَّى تؤثِّرُ فيه؟ أفسر إجابتي.

4. **استنتاج:** علام يعتمد تسارُّع أيِّ جسمٍ؟ هل تؤثِّرُ السرعة في تسارُّع الجسم؟ أبَرِّرْ إجابتي.

5. **استنتاج:** لكي تسير رؤى على الأرض؛ فإنَّها تدفع الأرض بقوَّة إلى الخلف، فتدفعُها الأرض بقوَّة إلى الأمام. لماذا لا يظهرُ أثر دفع رؤى في الأرض؟

6. **استنتاج:** أحِدِّد زوجي التأثير المتبادل في كلِّ حالةٍ مما يأتي:

أ . حارسُ مرمي يمسكُ كرة قدمٍ مُتجهةً نحوه.

ب . عداءٌ تركضُ على أرضية مضمار سباقٍ.

ج . اصطدامُ كرة بجدارٍ.

د . إطلاقُ مكوكٍ فضائيٍّ من على سطح الأرض.

- أستنتاج:** يُمثل الشكل المجاور منظراً علويّاً لعربتين مختلفتين في الكتلة؛ (A)، و (B)، تستقران على سطحٍ أفقى. دفعتا العربتان منْ وضع السكون في اللحظةِ نفسها في اتجاهِ المحور ($+x$)، ووصلتا خط النهاية في اللحظةِ نفسها أيضاً. بناءً على ما سبق، أجبِ عما يأتي:
- أيُّ العربتين أثَرَتْ فيها قُوَّةً محصلةً أكبر؟ أفسِرْ إجابتي.
 - ما العلاقةُ بين تسارُعِي العربتين؟ أفسِرْ إجابتي.

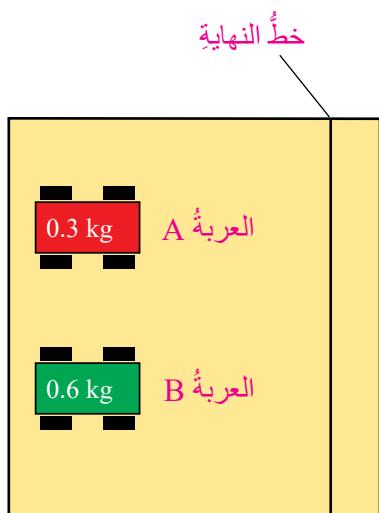
- استخدم الأرقام:** يبيّن الجدول المجاور قيمةَ القُوَّةِ المحصلةِ، والتسارُعِ في اتجاهِ المحور (x) لكتلٍ مختلفةٍ. اعتماداً على القانون الثاني لنيوتون، أكمل الفراغ في الجدول بما هو مناسبٌ.

- استخدم الأرقام:** تحرَّك سيارة كتلتها (1000 kg) على طريقٍ أفقى مستقيِّم بسرعةٍ مُتَجَهَّةٍ ثابتةٍ مقدارُها (24 m/s) في اتجاهِ المحور ($+x$). شاهدَ سائقُها ممَّا مُشَاهِدَةً أمامَهُ، فضغطَ على المكابحِ مُسِبِّباً تباطؤَ السيارة حتَّى توقفَتْ بعدَ (4 s). أجدُ:
- تسارُعَ السيارة.
 - القُوَّةِ المحصلةِ التي أثَرَتْ في السيارة.

- استخدم الأرقام:** قُوَّةً محصلةً مقدارُها (4 N)، أثَرَتْ في الكتلة (m_1)، فاكتسبَتها تسارُعاً مقدارُه (8 m/s^2)، وأثَرَتْ في الكتلة (m_2)، فاكتسبَتها تسارُعاً مقدارُه (16 m/s^2). أجدُ التسارُعَ الذي تكتسبُه هاتان الكتلتان عند ربطِهما معًا، وتأثيرِ القُوَّةِ السابقةِ نفسها فيهما؟

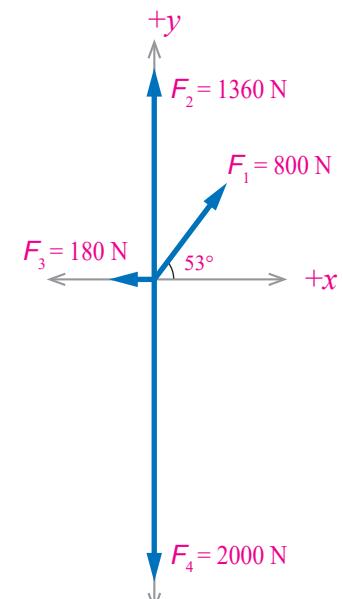
- استخدم الأرقام:** أثَرَتْ قوىًّا عِدَّةً مستويةً متلاقيَّةً في قاربٍ كتلةً (200 kg)، في أثناءِ سُحبِه بسفينةٍ. وكان مُخطَّطُ الجسم الحُرّ لهذه القوى كما في الشكل المجاور. أجدُ:
- القُوَّةِ المحصلةِ المؤثِّرةِ في القارب.
 - التسارُعِ الأفقيِّ والتسارُعِ الرأسيِّ للقارب.

.7



.8

| $a (\text{m/s}^2)$ | $m (\text{kg})$ | $\sum F (\text{N})$ | الفقرة |
|--------------------|-----------------|---------------------|--------|
| 2.5 + | 500 | | A |
| | 600 | 300 | B |
| +2 | | 2500 | C |
| | 800 | -600 | D |



مسرد المصطلحات

- أقصى ارتفاع (Maximum Height): الإزاحة الرأسية العظمى التي يصنعها المقذوف.
- الإزاحة (Displacement): الفرق بين متجهين موقعى الجسم الابتدائى والنهايى.
- تحليل المتجهات إلى مركباتها (Resolving Vectors into Components): الاستعاضة عن متجه بمتاجهين متعامدين (على محوري x - y مثلاً) يسميان مركبتي المتجه، ومحصلة هما المتجه نفسه، وهو ما يتحدا معه في نقطة البداية.
- التسارع (Acceleration): كمية متجهة تعطى بنتائج قسمة التغير في السرعة الحظية على المدة الزمنية اللازمة لإحداث التغير في السرعة.
- التسارع центрال (Centripetal Acceleration): تسارع ناتج من التغير في اتجاه السرعة المماسية لجسم يتحرك حركة دائرية.
- تساوي متجهين (Equality of Two Vectors): متجهان من النوع نفسه، لهما المقدار نفسه، والاتجاه نفسه.
- تمثيل المتجهات (Representation of Vectors): التعبير عن الكمية المتجهة برسم سهم طوله يمثل مقدار الكمية المتجهة باستخدام مقياس رسم مناسب، واتجاهه يمثل اتجاه تلك الكمية.
- جمع الكميات المتجهة (Addition of Vector Quantities): جمع متجهي الكميات المتجهة، يراعى فيه المقدار والاتجاه، وهو ليس جمماً جبرياً.
- الحركة الخطية (Linear Motion): حركة على خط مستقيم (في بعد واحد).
- الحركة الدائرية (Circular Motion): حركة جسم في مسار دائري بحيث يبقى بعده عن مركز المسار ثابتاً.
- الحركة الدائرية المنتظمة (Uniform Circular Motion): حركة دائريّة بسرعة ثابتة مقداراً.
- الحركة المنتظمة (Uniform Motion): حركة الجسم بسرعة قياسية ثابتة؛ أي سرعة ثابتة في المقدار.
- زمن التحليق (Time of Flight): الزمن الكلي لحركة المقذوف في الهواء.
- سالب المتجه (Negative of a Vector): متجه له مقدار المتجه الأصلي نفسه، ولكنه يعاكسه في الاتجاه.

- السرعة القياسية (Speed): معدل تغير المسافة المقطوعة بالنسبة إلى الزمن.
- السرعة القياسية المتوسطة (Average Speed): ناتج قسمة المسافة الكلية التي يقطعها الجسم المتحرك على الزمن الكلي لهذه الحركة.
- السرعة المتجهة الحالية (Instantaneous Velocity): سرعة الجسم المتجهة عند لحظة معينة.
- السرعة المتجهة (Velocity): معدل تغير الإزاحة بالنسبة إلى الزمن.
- السرعة المتجهة المتوسطة (Average Velocity): ناتج قسمة الإزاحة التي يحدُثها الجسم المتحرك على الزمن الكلي لحركة الجسم.
- الضرب القياسي (Scalar Product): عملية ضرب كمية متجهة في كمية أخرى متجهة، يكون ناتجها كمية غير متجهة (لها مقدار فقط).
- الضرب المتجهي (Vector Product): عملية ضرب كمية متجهة في كمية أخرى متجهة، يكون ناتجها كمية متجهة (لها مقدار واتجاه).
- الطريقة البيانية (Graphical Method): طريقة لإيجاد محصلة متجهين أو أكثر بالرسم، وهي تتلخص في تمثيل المتجهات التي يراد جمعها بأسهم، ثم تركيب هذه الأسهم بطريقة متوازي الأضلاع، أو طريقة المضلعين (الذيل على الرأس).
- الطريقة التحليلية (Analytical Method): طريقة رياضية لإيجاد محصلة متجهين أو أكثر عن طريق تحليل المتجهات إلى مركباتها.
- القانون الأول لنيوتن (Newton's First Law): الجسم يظل على حالته من حيث السكون أو الحركة بسرعة ثابتة مقداراً واتجاهًا ما لم تؤثر فيه قوة خارجية تغير حالته الحركية.
- القانون الثالث لنيوتن (Newton's Third Law): إذا تفاعل جسمان (A و B)، فإن القوة التي يؤثر بها الجسم (A) في الجسم (B) تساوي القوة التي يؤثر بها الجسم (B) في الجسم (A) من حيث المقدار، وتعاكِسها في الاتجاه.
- القانون الثاني لنيوتن (Newton's Second Law): تسارُعُ الجسم يتَناسبُ طرديًا مع القوة المحصلة المؤثرة فيه، ويتناسبُ عكسيًا مع كتلةه.

- **القصورُ الذاتيُّ (Inertia):** ممانعةُ الجسم ل أيٍ تغييرٍ في حالته الحركية.
- **القُوَّةُ (Force):** كلُّ ما يؤثِّرُ في الأجسام، فيُغيِّرُ منْ أشكالِها أو حالاتها الحركية، ويُرمَّزُ إليها بالرمز (F)، وتقاسُ بوحدةٍ newton (N) بحسبِ النظام الدولي لوحداتِ القياس.
- **القُوَّةُ المُحصَّلةُ (Resultant Force):** حاصلُ الجمعِ المُتَجَهِّي لجميعِ القوى المُؤثِّرةِ في الجسم، بحيثٌ تنتُجُ قُوَّةً منفردةً لها تأثيرٌ يُكَافِئُ تأثيرَ جميعِ القوى المُؤثِّرةِ في الجسم مجتمعةً.
- **الكمياتُ القياسيَّةُ (Scalar Quantities):** كمياتٌ تُحدَّدُ فقطُ بالمقدارِ، وليسَ لها اتجاهٌ.
- **الكمياتُ المُتَجَهَّةُ (Vector Quantities):** كمياتٌ تُحدَّدُ بالمقدارِ والاتجاهِ معاً.
- **مُتَجَهُ المُحصَّلةُ (Resultant Vector):** مُتَجَهٌ ناتجٌ منَ الجمعِ المُتَجَهِّي لمُتَجَهَّاتٍ عِدَّةٍ.
- **المدىُ الأفقيُّ (Range):** الإزاحةُ الأفقيُّ التي يصُنُّعُها المقذوفُ منْ إطلاقِه حتَّى يعودَ إلى مستوى الإطلاقِ نسبيَّه.
- **المقذوفاتُ (Projectiles):** أجسامٌ تبدأُ حركةَها بسرعةٍ ابتدائيةٍ تُصنَعُ زاويةً حادَّةً معَ الأفقِ، وتتحرَّك تحتَ تأثيرِ قُوَّةِ جاذبيةِ الأرضِ فقطُ.
- **الموقعُ (Position):** كميةٌ فزيائيةٌ مُتَجَهَّةٌ تُحدَّدُ بمُتَجَهٍ يبدأُ منْ نقطةِ الإسنادِ، وينتهي في موقعِ الجسم.
- **نقطةُ الإسنادِ (Reference Point):** نقطةٌ مرجعيةٌ مُحدَّدةٌ تُنَسَّبُ إليها موقعُ الأجسامِ، وينطلقُ منها مُتَجَهُ الموقعِ. وفي بُعدِينْ تُعرَفُ بأنَّها النقطةُ $(0, 0)$ في المستوى (x, y) .

قائمة المراجع (References)

1. Avijit Lahiri, **Basic Physics: Principles and Concepts**, Avijit Lahiri, 2018 David Halliday, Robert Resnick , Jearl Walker, Fundamentals of Physics, Wiley; 11 edition 2018.
2. Douglas C. Giancoli, Physics: **Principles with Applications**, Addison Wesley, 6th edition, 2009.
3. Gurinder Chadha, **A Level Physics a for OCR**, A Level Physics a for OCR, 2015.
4. Hugh D. Young , Roger A. Freedman, **University Physics with Modern Physics**, Pearson; 14 edition (February 24, 2015)
5. Paul A. Tipler, Gene Mosca, **Physics for Scientists and Engineers**, W. H. Freeman; 6th edition, 2007.
6. Paul G. Hewitt, **Conceptual Physics**, Pearson; 14th edition, 2015.
7. R. Shankar, **Fundamentals of Physics I: Mechanics, Relativity, and Thermodynamics**, Yale University Press; Expanded Edition, 2019.
8. Raymond A. Serway , John W. Jewett, **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics**, Cengage Learning; 009 edition, 2015.
9. Raymond A. Serway, Chris Vuille, **College Physics**, Cengage Learning; 11 edition, 2017.
10. Roger Muncaster, **A Level Physics**, Oxford University Press; 4th edition, 2014.
11. Steve Adams, **Advanced Physics**, Oxford University Press, USA; 2nd. Edition, 2013.
12. Tom Duncan, **Advanced Physics**, Hodder Murray; 5th edition, 2000.