المركز الوطني لتطوير المناهج والتقويم
National Center
for Curriculum Development and Evaluation

المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم

الفيزياء

الصف العاشر - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الأول

10

فريق التأليف

د. موسى عطا الله الطراونة (رئيسًا)

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

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج والتقويم

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

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

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

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

- Prepared Originally in English for the National Center for Curriculum Development and Evaluation. Amman - Jordan
- Translated to Arabic, adapted, customised and published by the National Center for Curriculum Development and Evaluation. 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

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

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

British Library Cataloguing -in- Publication Data
A catalogue record for this publication is available from the Library.

الطبعة الأولى (التجريبية) 1441 هـ / 2020 م
الطبعة الثانية 1447 هـ / 2026 م

قائمةُ المحتوياتِ

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

الحمد لله ربّ العالمين، والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين.

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

يُعَدُّ هذا الكتاب واحدًا من سلسلة كتب المباحث العلمية التي تُعْنى بتنمية المفاهيم العلمية، ومهارات التفكير وحَلِّ المشكلات، ودمج المفاهيم الحياتية والمفاهيم العابرة للمواد الدراسية، والإفادة من الخبرات الوطنية في عمليات الإعداد والتأليف وفق أفضل الطرائق المُتَّبَعة عالميًّا؛ لضمان انسجامها مع القيم الوطنية الراسخة، وتلبيتها لحاجات أبنائنا الطلبة والمعلِّمين والمعلّمات.

وقد روعِيَ في تأليفه تقديم المعلومة العلمية الدقيقة وفق منهجية تقوم على السلاسة في العرض، والوضوح في التعبير، فضلًا عن الربط بين الموضوعات المطروحة في المراحل الدراسية السابقة واللاحقة، واعتماد منهجية التدرُّج في عرض موضوعات المادة، واستهلال وحداتها بأسئلة تُظْهِر علاقة علم الفيزياء بالظواهر من حولنا؛ ما يُحفِّز الطلبة على الإفادة ممّا يتعلمونه بغرفة الصف في تفسير مشاهدات يومية وظواهر طبيعية قد تَحدُث أمامهم، أو يشاهدونها في التلفاز، أو يسمعون عنها. وقد تضمَّنت كل وحدة نشاطًا إثرائيًّا يعتمد منحى STEAM في التعليم الذي يُستعمَل لدمج العلوم والتكنولوجيا والهندسة والفن والعلوم الإنسانية والرياضيات في أنشطة الكتاب المتنوعة، وفي قضايا البحث.

ويتألَّف الكتاب من وحدتين دراسيتين هما: المتَّجِهات، والحركة والقوى. وقد أُلحق به كتابٌ للأنشطة والتجارب العملية، يحتوي على جميع التجارب والأنشطة الواردة في كتاب الطالب؛ لمساعدة الطلبة على تنفيذها بسهولة، بإشراف المعلِّم/ المعلّمة، ومشاركة زملائهم فيها، بما في ذلك رصد القراءات، وتحليلها، ثم مناقشتها، وصولًا إلى استنتاجات مبنية على أسس علمية سليمة. وتضمَّنَ أيضًا أسئلة تحاكي أسئلة الاختبارات الدولية؛ بُغْيَةَ تعزيز فهم الطلبة لموضوعات المادة، وتنمية التفكير الناقد لديهم.

ونحن إذ نُقدّمُ هذه الطبعةَ منَ الكتاب، فإنّا نأمَلُ أن يُسهِمَ في تحقيق الأهداف والغايات النهائيّة المنشودة لبناء شخصيّة الطلبة، وتنمية اتجاهات حُبّ التعلُّم ومهارات التعلُّم المستمرّ، فضلًا عن تحسين الكتاب بإضافة الجديد إلى محتواهُ، وإثراءِ أنشطته المتنوّعة، والأخذِ بملاحظات المعلّمين والمعلّمات.

والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج والتقويم

الوحدةُ 1

المُتَّجِهاتُ
Vectors

أتأمَّلُ الصورةَ

يكونُ اتجاهُ حركةِ الطائراتِ في أثناءِ هبوطِها في الأحوالِ الاعتياديةِ موازيًّا لِمَدْرجِ المطار، وأحيانًا يواجهُ الطيارُ صعوباتٍ في أثناءِ عمليةِ الهبوط في الأجواءِ العاصفةِ عندما يكونُ اتجاهُ الرياحِ عموديًّا على اتجاهِ المَدْرجِ، فيلجأ حينئذٍ إلى توجيهِ مُقدِّمةِ الطائرةِ على نحوٍ منحرفٍ عن اتجاهِ المَدْرجِ بعكسِ اتجاهِ هذهِ الرياحِ، كما هوَ مُبيَّنٌ في الصورةِ. وهذا ما حدثَ معَ طيارٍ أردنيٍّ؛ إذْ تمكَّنَ منَ الهبوطِ بأمانٍ على الرغمِ منَ العاصفةِ القويةِ التي ضربَتْ مطارَ هيثرو في لندنَ عامَ 2020 م، علمًا أنَّهُ تعذَّرَ على عشرينَ طائرةً الهبوطُ وقتئذٍ.

فما الهدفُ منْ توجيهِ الطيارِ مُقدِّمةَ الطائرةِ نحوَ الاتجاهِ المُبيَّنِ في الشكلِ؟ وما أثرُ ذلكَ في السلامةِ العامةِ؟

الفكرةُ العامةُ:

الكمياتُ الفيزيائيةُ عديدةٌ ومتنوعةٌ؛ فبعضُها كمياتٌ مُتَّجِهةٌ تتطلَّبُ تحديدَ المقدارِ والاتجاهِ للتعبيرِ عنْها على نحوٍ كاملٍ صحيحٍ، وبعضُها الآخرُ كمياتٌ قياسيةٌ تُحدَّدُ بالمقدارِ فقطْ وليسَ لها اتجاهٌ، ويختلفُ التعاملُ معَ الكمياتِ المُتَّجِهةِ، وإجراءَ العملياتِ الحسابيةِ عليْها اختلافًا كبيرًا عنِ الكمياتِ القياسيةِ.

الدرسُ الأولُ: الكمياتُ القياسيةُ والكمياتُ المُتَّجِهةُ

الفكرةُ الرئيسةُ: للكمياتِ المُتَّجِهةِ خصائصُ تمتازُ بها عنِ الكمياتِ القياسيةِ.

الدرسُ الثاني: جمعُ المُتَّجِهاتِ وطرحُها

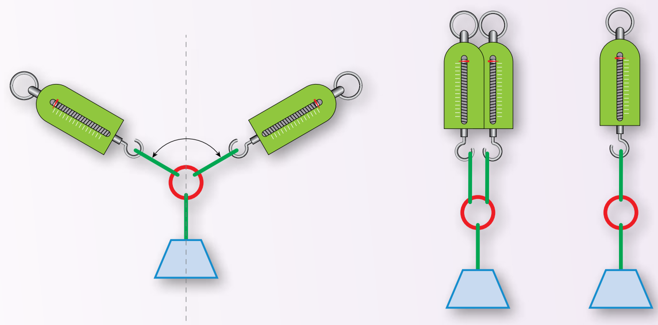
الفكرةُ الرئيسةُ: جمعُ الكمياتِ المُتَّجِهةِ أوْ طرحُها يكونُ إمّا بيانيًّا، وإمّا رياضيًّا عنْ طريقِ تحليلِ الكمياتِ المُتَّجِهةِ إلى مُركَّباتِها.

تجربة استهلالية

ناتجُ جمعِ قُوَّتيْنِ عمليًّا

الموادُّ والأدواتُ: ثِقْلٌ كتلتُهُ 500g، ميزانانِ نابضيّانِ، ثلاثةُ خيوطٍ متساويةٍ في الطولِ، حلقةٌ مُهمَلةُ الوزنِ تقريبًا.

إرشاداتُ السلامةِ: الحذرُ منْ سقوطِ الأجسامِ والأدواتِ على القدميْنِ.



خطواتُ العملِ:

بالتعاونِ معَ أفرادِ مجموعتي، أُنفِّذُ الخطواتِ الآتيةَ:

1. **أقيسُ:** أُعلِّقُ الثِّقْلَ بالميزانِ الأولِ، كما في الشكلِ (أ)، ثمَّ أُدوِّنُ القراءةَ.
2. **أقيسُ:** أُعلِّقُ الميزانَ الثاني بالحلقةِ، إضافةً إلى الميزانِ الأولِ، كما في الشكلِ (ب)، ثمَّ أُدوِّنُ قراءةَ كلٍّ منَ الميزانيْنِ.
3. **أقيسُ:** أُزيحُ كلًّا منَ الميزانيْنِ: أحدَهما إلى اليمينِ، والآخرَ إلى اليسارِ، كما في الشكلِ (جـ)، حتّى تصبحَ قراءةُ كلِّ ميزانٍ مساويةً لقراءةِ الميزانِ في الشكلِ (أ)، مع بقاء الثقل ساكن.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. ماذا تُمثِّلُ قراءةُ الميزانِ الأولِ في الحالةِ (أ)؟
2. أُمثّل بالرسم القوى المؤثرة في الثقل في الحالات الثلاث، موضحًا اتجاهات هذه القوى ومقاديرها.
3. 3. **أُقارِنُ** مجموعَ قراءةِ الميزانين في الحالةِ (ب) بوزنِ الثِّقْلِ. ماذا أستنتج؟
4. **أُصْدِرُ حُكمًا:** هل يجوز جمع قراءتي الميزانين في الحالة (جـ)؟ أفسر إجابتي.
5. **أتوقع:** ما مقدار القوة التي تُمثّل ناتج جمع قوتيّ شد الميزانين في الحالة (جـ)؟ وما اتجاهها؟ أُوضّح إجابتي بالرسم.

الدرس 1

الكمياتُ القياسيةُ والكمياتُ المُتَّجِهةُ
Scalar and Vector Quantities

الفكرةُ الرئيسةُ:

للكمياتِ المُتَّجِهةِ خصائصُ تمتازُ بها عنِ الكمياتِ القياسيةِ.

نتاجاتُ التعلُّمِ:

- أُوضِّحُ المقصودَ بالكمياتِ الفيزيائيةِ: المُتَّجِهةِ، والقياسيةِ.
- أستنتجُ خصائصَ المُتَّجِهاتِ بطرائقَ مختلفةٍ.
- أُطبِّقُ خصائصَ المُتَّجِهاتِ على كمياتٍ فيزيائيةٍ مُتَّجِهةٍ.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

الكمياتُ المُتَّجِهةُ Vector Quantities.

الكمياتُ القياسيةُ Scalar Quantities.

الضربُ القياسيُّ Scalar Product.

الضربُ المُتَّجِهيُّ Vector Product.

الكمياتُ الفيزيائيةُ Physical Quantities

درسْتُ في صفوفٍ سابقةٍ كمياتٍ فيزيائيةً مثلَ الزمنِ ودرجةِ الحرارةِ والكتلةِ، يُعبَّرُ عنها بعددٍ ووَحْدةٍ مناسبةٍ، وكمياتٍ، مثلَ القوةِ والسرعةِ، لا يكفي الرَّقْمُ والوَحْدةُ للتعبيرِ عنها، ويلزم تحديد اتجاهها.

بوجهٍ عامٍّ، تُقسَّمُ الكمياتُ الفيزيائيةُ إلى قسميْنِ رئيسيْنِ، هما:

- **الكمياتُ القياسيةُ Scalar Quantities**

هيَ الكمياتُ التي تُحدَّدُ فقطْ بالمقدارِ، ولا يوجدُ لها اتجاهٌ. ففي الشكلِ (1)، يُكتفى بالقولِ إنَّ درجةَ حرارةِ الجوِّ 9 °C نهارًا. ومنَ الأمثلةِ الأُخرى على الكميات القياسية الحجمُ، والطاقةُ، والضغطُ.

- **الكمياتُ المُتَّجِهةُ Vector Quantities**

هيَ الكمياتُ التي تُحدَّدُ بالمقدارِ والاتجاهِ معًا. ففي ما يخصُّ سرعةَ الرياحِ مثلًا في الشكلِ (1)، لا يُكتفى بالقولِ إنَّ مقدارَها 24 km/h نهارًا، وإنَّما يجبُ تحديدُ اتجاهِها نحوَ الشرقِ لكيْ يصبحَ وصفُها كاملًا. ومنَ الأمثلةِ الأُخرى على الكميات المُتَّجهة الإزاحةُ، والتسارُعُ، والقُوَّةُ.

الشكلُ (1): حالةُ الطقسِ في العاصمةِ عمّانَ.

المثال 1

أُصنِّفُ الكمياتِ الفيزيائيةَ في الجدولِ (1) الآتي إلى كمياتٍ مُتَّجِهةٍ، وأُخرى قياسيةٍ:

الجدولُ (1)	تصنيفُ الكمياتِ الفيزيائيةِ
الكميةُ الفيزيائيةُ	كميةٌ مُتَّجِهةٌ/ كميةٌ قياسيةٌ
الكتلةُ (4 kg)	
التسارُعُ ($20 m/s^2$، غربًا)	
الشغلُ (200 J)	
القُوَّةُ (120 N، شمالًا)	

المعطياتُ: كميات فيزيائية مختلفة.

المطلوبُ: تصنيف الكميات إلى متجهة وقياسية

الحلُّ:

- الكتلةُ: كميةٌ قياسيةٌ؛ لأنَّها حُدِّدَتْ فقط بمقدارٍ.
- التسارُعُ: كميةٌ مُتَّجِهةٌ؛ لأنَّها حُدِّدَتْ بمقدارٍ واتجاهٍ.
- الشغلُ: كميةٌ قياسيةٌ؛ لأنَّها حُدِّدَتْ فقط بمقدارٍ.
- القُوَّةُ: كميةٌ مُتَّجِهةٌ؛ لأنَّها حُدِّدَتْ بمقدارٍ واتجاهٍ.

تمرينٌ

في أثناءِ جلوسي في غرفةِ الصفِّ سقطَ قلمٌ باتجاهِ سطحِ الأرضِ. أُحدِّدُ كميتيْنِ قياسيتيْنِ وكميتيْنِ مُتَّجِهتيْنِ لها صلةٌ بذلكَ.

توجدُ طرائقُ عِدَّةٌ لتمييزِ الكميةِ المُتَّجِهةِ منَ الكميةِ القياسيةِ، منْها:

- وَضْعُ سَهْمٍ فوقَ رمزِ الكميةِ المُتَّجِهةِ، مثل: $\vec{F}$ لتمييزِ مُتَّجِهِ القُوَّةِ. ويُعبَّرُ عنْ مقدارِ المُتَّجِهِ على النحوِ الآتي: $|\vec{F}|$ أوْ F، وسيستخدمُ الطلبةُ هذهِ الطريقةَ في دفاترِهِمْ، وكذلكَ على اللوحِ.
- كتابةُ رمزِ الكميةِ المُتَّجِهةِ بالخطِّ الغامقِ (Bold)، مثل $\boldsymbol{F}$ لتمييزِ مُتَّجِهِ القُوَّةِ، وبالخطِّ العاديِّ للدلالةِ على مقدارِ المُتَّجِهِ، مثل F، وسنستخدمُ هذهِ الطريقةَ في كتابِنا هذا.

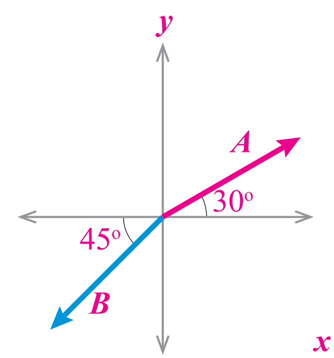
أتحقَّقُ: أُقارِنُ بينَ الكمياتِ المُتَّجِهةِ والكمياتِ القياسيةِ.

تمثيلُ المُتَّجِهاتِ بيانيًّا Representation of Vectors: Graphical Method

للكميةِ المُتَّجِهةِ مقدارٌ يُحدَّدُ بعددٍ ووحدةِ قياسٍ، ولها اتجاهٌ أيضًا. ولتمثيلِها بيانيًّا، نختارُ مستوًى إحداثيًّا مثلَ $(x-y)$، ونقطةَ إسنادٍ مثلَ نقطةِ الأصلِ (0,0)، ثمَّ نرسمُ سهمًا بحيثُ يقعُ ذيلُهُ (نقطةُ بدايتِهِ) عندَ نقطةِ الأصلِ، وذلكَ على النحوِ الآتي:

- طولُ السهمِ يُمثِّلُ مقدارَ المُتَّجِهِ، ويُحدَّدُ باستخدامِ مقياسِ رسمٍ مناسبٍ.
- اتجاهُ السهمِ يُحدَّدُ نسبةً إلى اتجاهٍ مرجعيٍّ؛ إمّا جغرافيًّا باستخدامِ الجهاتِ الأربعِ (شمالٌ، جنوبٌ، شرقٌ، غربٌ)، وإمّا باستخدامِ الزاويةِ θ التي يَصنعُها المُتَّجِهُ معَ محورٍ مرجعيٍّ، مثلِ المحورُ الأفقيُّ.

وبذلكَ يمكن التعبيرُ عنِ المتجهِ ($\boldsymbol{A}$) الموضحِ في الشكلِ (2) بأنّهُ يصنعُ زاويةً مقدارُها (30^o) معَ محورِ $(+x)$، في حينِ أنّ المتجهَ ($\boldsymbol{B}$) يصنعُ زاويةً مقدارُها (45^o) معَ محورِ $(-x)$.



الشكلُ (2): رسمٌ لمتجهَيْ $\boldsymbol{A}$ و $\boldsymbol{B}$ على المستوى x-y.

المثالُ 2

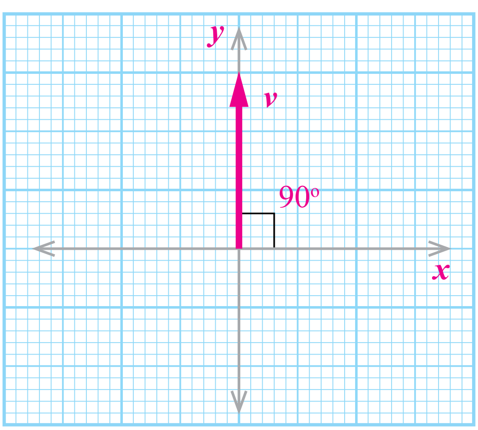
يتحركُ جسمٌ بسرعةٍ مقدارُها $v = 3\ \text{m/s}$ باتجاهِ محورِ $(+y)$ (نحوَ الشمالِ). أمثِّلُ متجهَ السرعةِ بيانيًّا.

المعطيات: $v = 3\ \text{m/s}, +y$

المطلوب: تمثيل متجه السرعة بيانيا.

الحلُّ:

- أختارُ مقياسَ رسمٍ مناسبًا، مثلَ $(1\text{cm} : 1\ \text{m/s})$؛ أيْ أنَّ كلَّ $1\ \text{cm}$ على الورقةِ (خمسةُ مربعاتٍ صغيرةٍ) يمثِّلُ $1\ \text{m/s}$، فيكونُ طولُ السهمِ: $3\ \text{m/s} \times (1\text{cm}/(1\ \text{m/s})) = 3\ \text{cm}$، وهذا يعادلُ 15 مربعًا صغيرًا على الرسمِ.

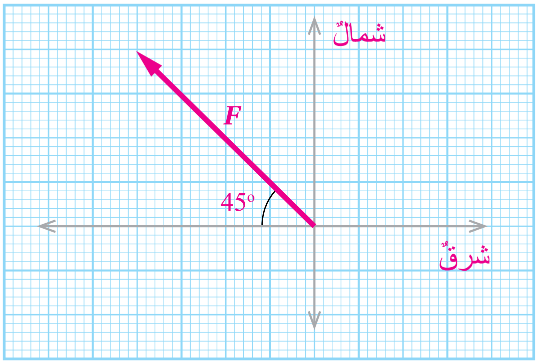


الشكلُ (3): رسمٌ لمُتَّجِهِ السرعةِ v.

- أرسمُ سهمًا طولُه $3\ \text{cm}$، وله نقطةُ بدايةٍ (تُسمّى ذيلَ المتجهِ) عندَ نقطةِ الأصلِ (0,0)، ونقطةُ نهايةٍ (تُسمّى رأسَ المتجهِ) بحيثُ يكونُ على امتدادِ محورِ $(+y)$، أيْ أنّهُ يصنعُ زاويةَ 90^o معَ محورِ $(+x)$.

المثالُ 3

تُؤثِّرُ قوَّةٌ F مقدارُها 60 N في جسم باتجاهٍ يَصنعُ زاويةً مقدارُها 45° شمالَ الغربِ. أُمثِّلُ مُتَّجِهَ القُوَّةِ F بيانيًّا.



الشكلُ (4): رسمٌ لمُتَّجِهِ القُوَّةِ F.

المعطيات: $F = 60$ N ، $\theta = 45^{\circ}$ شمال الغرب.

المطلوب: تمثيل متجه القوة بيانيا.

الحلُّ:

إذا كانَ المُتَّجِهُ يَصنعُ زاويةً (45° مثلًا) شمالَ الغربِ، فهذا يعني وجوبَ البدءِ منَ الغربِ، وقطعَ زاويةِ 45° باتجاهِ الشمالِ، أمّا إذا كانَتِ الزاويةُ غربَ الشمالِ فيجبُ البدءُ منَ الشمالِ باتجاهِ الغربِ، وهكذا.

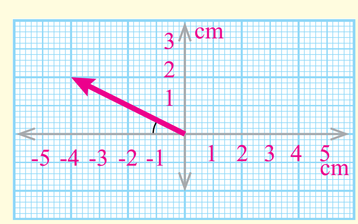
- أختارُ مقياسَ رسمٍ مناسبًا، مثلَ (1cm :10 N)، فيكونُ طولُ السهمِ:

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

علمًا أن كل خمسة مربعات صغيرة على الرسم تعادل 1 سم، (وهكذا في بقية الأمثلة)

- أرسمُ سهمًا طولُهُ 6 cm، بحيثُ يَصنعُ زاويةً 45° شمالَ الغربِ، كما في الشكلِ (4).

أفكِّرُ: استخدمَ أحمدُ مقياسَ الرسمِ (1 cm: 20 m) لرسمِ مُتَّجِهٍ يُمثِّلُ بُعْدَ المسجدِ عنْ منزلِهِ، كما في الشكلِ (5). أُحدِّدُ بُعْدَ المسجدِ عنْ منزلِ أحمدَ، مُبيِّنًا الاتجاهَ.



الشكلُ (5): مُتَّجِهٌ يُمثِّلُ بُعْدَ المسجدِ عنْ منزلِ أحمدَ.

تمرين

تسيرُ سيارةٌ بسرعةٍ v مقدارُها 80 km/h، في اتجاهٍ يَصنعُ زاويةً مقدارُها 37° جنوبَ الشرقِ. أُمثِّلُ مُتَّجِهَ السرعةِ بيانيًّا.

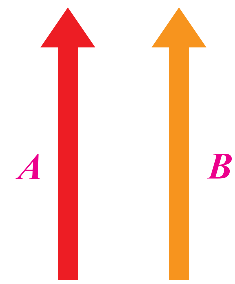
أتحقَّقُ: كيفَ يُمكِنُ تحديدُ كلٍّ منْ طولِ السهمِ واتجاهِهِ عندَ تمثيلِ المُتَّجِهِ بيانيًّا؟

خصائصُ المُتَّجِهاتِ Properties of Vectors

تمتازُ المُتَّجِهاتُ بخصائصَ عِدَّةٍ تُميِّزُها مِنَ الكمياتِ القياسيةِ، وهذهِ بعضُها:

• تساوي مُتَّجِهيْنِ Equality of Two Vectors

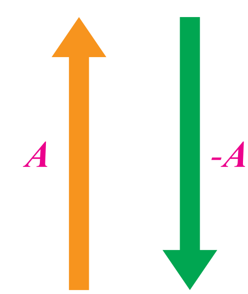
يتساوى مُتَّجِهانِ عندما يكونُ لهُما المقدارُ والاتجاهُ نفساهُما، كما في الشكلِ (6)، إضافةً إلى أنَّهُما منَ النوعِ نفسِهِ. اعتمادًا على هذهِ الخصيصةِ، فإنَّهُ يُمكِنُ نقلُ المُتَّجِهِ منْ مكانٍ إلى آخرَ شرطَ المحافظةِ على ثباتِ كلٍّ منْ مقدارِهِ واتجاهِهِ.



الشكلُ (6): تساوي المُتَّجِهيْنِ: A وَ B.

• سالبُ (معكوسُ) المُتَّجِهِ Negative of a Vector

هوَ مُتَّجِهٌ لهُ مقدارُ المُتَّجِهِ الأصليِّ نفسِهِ، ولكنَّهُ يعاكسُهُ في الاتجاهِ، ويُبيِّنُ الشكلُ (7) أنَّ المُتَّجِهَ A، والمُتَّجِهَ $-A$ يتساويانِ في المقدارِ ويتعاكسانِ في الاتجاهِ.



الشكلُ (7): المُتَّجِهِ A، وسالبُ هذا المُتَّجِهِ $(-A)$.

• ضربُ المُتَّجِهِ في كميةٍ قياسيةٍ
Multiplication of a Vector by a Scalar

يُمكِنُ ضربُ مُتَّجِهٍ ما (مثلُ C) في كميةٍ قياسيةٍ (مثلُ n) للحصولِ على مُتَّجِهٍ جديدٍ (nC) مقدارُهُ nC، حيثُ n عددٌ حقيقيٌّ. أمّا اتجاهُهُ فيعتمدُ على إشارةِ n؛ فإذا كانَتْ هذهِ الإشارةُ موجبةً فإنَّ المُتَّجِهَ (nC) يكونُ في الاتجاهِ نفسِهِ للمُتَّجِهِ C، وفي حالِ كانَتْ إشارةُ n سالبةً فإنَّ المُتَّجِهَ (nC) يكونُ عكسَ اتجاهِ المُتَّجِهِ (C).

منَ الأمثلةِ الفيزيائيةِ على ضربِ المُتَّجِهِ في كميةٍ قياسيةٍ القانونُ الثاني لنيوتن؛ إذْ إنَّ مُتَّجِهَ القُوَّةِ المحصلةِ $\sum F$ هوَ حاصلُ ضربِ الكتلةِ m في مُتَّجِهِ التسارُعِ a بحسبِ العلاقةِ الآتيةِ:

$$\sum F = ma$$

أُفكِّرُ: لماذا يكونُ اتجاهُ التسارُعِ a دائمًا في نفسِ اتجاهِ القُوَّةِ المحصلةِ $\sum F$ ؟

✓ **أتحقَّقُ:** ما المقصودُ بكلٍّ ممّا يأتي:

- تساوي مُتَّجِهيْنِ؟
- ضربُ مُتَّجِهٍ في عددٍ سالبٍ؟

المثالُ 4

تتحرَّكُ عربةٌ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ $\boldsymbol{v}$ مقدارُها 40 m/s في اتجاهِ الشرقِ. أُمثِّلُ بيانيًّا المتجهات الآتية:

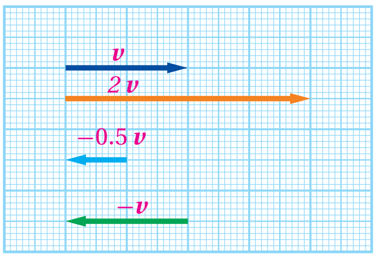
أ . $\boldsymbol{v}$ ب . $2\boldsymbol{v}$ جـ . $-0.5\boldsymbol{v}$ د . سالبَ $\boldsymbol{v}$

المعطيات: $\boldsymbol{v} = 4$ m/s, $+x$

المطلوب: تمثيل بياني للمتجهات الآتية: $\boldsymbol{v}$ ، $2\boldsymbol{v}$ ، $-0.5\boldsymbol{v}$ ، $-\boldsymbol{v}$

الحلُّ:

أختارُ مقياسَ الرسمِ (1 cm:10 m/s)، ثمَّ أرسمُ، أسهمًا تُمثل المتجهات المطلوبة كما في الشكلِ (8):



الشكلُ (8): خصائصُ المُتَّجِهاتِ.

أ . سهم طولُهُ 4 cm ليُمثِّلَ المُتَّجِهَ ($\boldsymbol{v}$) باتجاهِ الشرقِ.

ب. سهمٌ طولُهُ 8 cm ليُمثِّلَ المُتَّجِهَ ($2\boldsymbol{v}$)، ومقدارُهُ 80 m/s باتجاهِ الشرقِ.

جـ. سهمٌ طولُهُ 2 cm ليُمثِّلَ المُتَّجِهَ ($-0.5\boldsymbol{v}$)، ومقدارُهُ 20 m/s باتجاهِ الغربِ.

د . سهمٌ طولُهُ 4 cm ليُمثِّلَ المُتَّجِهَ ($-\boldsymbol{v}$)، ومقدارُهُ 40 m/s باتجاهِ الغربِ.

المثالُ 5

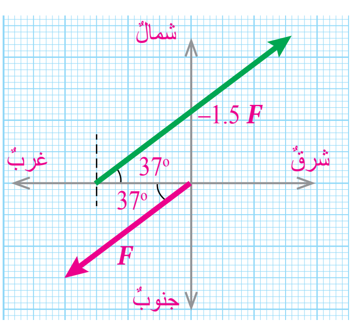
تُـؤثِّرُ قُـوَّةٌ $\boldsymbol{F}$ مقدارُها 250 N في جسمٍ باتجاهٍ يَصنعُ زاويةً مقدارُها 37^o جنوبَ الغربِ. أُمثِّلُ بيانيًّا:

أ . مُتَّجِـهَ القُـوَّةِ $\boldsymbol{F}$. ب. المُتَّجِهَ ($-1.5\,\boldsymbol{F}$).

المعطيات: $F = 250$ N ، $\theta = 37°$ جنوب الغرب.

المطلوب: تمثيل بياني للمتجهات الآتية: $\boldsymbol{F}$ ، $-1.5\boldsymbol{F}$

الحلُّ:



الشكلُ (9): تمثيل ناتج ضرب كمية متجهة بكمية قياسية.

أ . أختارُ مقياسَ الرسمِ (1cm : 50 N)، ثمَّ أرسمُ سهمًا طولُهُ 5 cm ليُمثِّلَ المُتَّجِهَ $\boldsymbol{F}$، كما في الشكلِ (9).

ب. أرسمُ سهمًا طولُهُ 7.5 cm ليُمثِّلَ المُتَّجِهَ ($-1.5\,\boldsymbol{F}$)، ومقدارُهُ 375 N، واتجاهُهُ معاكسٌ لاتجاهِ $\boldsymbol{F}$؛ أيْ بزاويةٍ مقدارُها 37^o شمالَ الشرقِ (أوْ بزاويةٍ مقدارُها 53^o شرقَ الشمالِ)، كما في الشكلِ.

تمرينٌ

تسيرُ سيارةٌ بتسارعٍ ثابتٍ مقداره $3\ m/s^2$ في اتجاهٍ يَصنعُ زاويةً مقدارُها 30^o شرقَ الشمالِ. أُمثِّلُ بيانيًّا:

أ . سالبَ مُتَّجِـهِ التَّسارعِ. ب. ضربَ مُتَّجِهِ التَسارعِ في العددِ (2).

ضربُ المُتَّجِهاتِ Vectors Product

تعرَّفْنا سابقًا أنَّ كميةً مُتَّجِهةً تنتجُ منْ حاصلِ ضربِ كميةٍ قياسيةٍ في كميةٍ مُتَّجِهةٍ، ولكنَّنا نحتاجُ أحيانًا إلى ضربِ كميةٍ مُتَّجِهةٍ في كميةٍ أُخرى مُتَّجِهةٍ، فهلْ سيكونُ الناتجُ كميةً مُتَّجِهةً أمْ كميةً قياسيةً؟

يوجدُ نوعانِ منْ ضربِ مُتَّجِهيْنِ بعضِهِما في بعضٍ، هما: الضربُ القياسيُّ، والضربُ المُتَّجِهيُّ.

الضربُ القياسيُّ (النقطيُّ) Scalar (Dot) Product

يُعرَّفُ **الضربُ القياسيُّ Scalar product** لمُتَّجِهيْنِ (مثلُ: $\boldsymbol{A}$ وَ $\boldsymbol{B}$) بينَهُما زاويةٌ θ، كما في الشكلِ (10)، على النحوِ الآتي:

$$\boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{B} = AB\cos\theta$$

حيثُ:

A: مقدارُ المُتَّجِهِ $\boldsymbol{A}$.

B: مقدارُ المُتَّجِهِ $\boldsymbol{B}$.

θ: الزاويةُ الصغرى بينَ المُتَّجِهيْنِ: $\boldsymbol{A}$ وَ $\boldsymbol{B}$؛ أيْ ($0^{\circ} \le \theta \le 180^{\circ}$) حينَ ينطلقُ المُتَّجِهانِ منَ النقطةِ نفسِها، كما في الشكلِ (10).

أمّا الناتجُ منْ عمليةِ الضربِ القياسيِّ فيكونُ كميةً قياسيةً لها مقدارٌ فقطْ، وهوَ مقدارٌ يتغيَّرُ بتغيُّرِ مقدارِ الزاويةِ θ بينَ المُتَّجِهيْنِ.

منَ التطبيقاتِ الفيزيائيةِ على الضربِ القياسيِّ الشغلُ W، وهوَ حاصلُ الضربِ القياسيِّ لمُتَّجِهِ القوَّةِ $\boldsymbol{F}$ في مُتَّجِهِ الإزاحةِ $\boldsymbol{d}$:

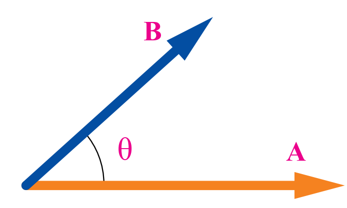
$$W = \boldsymbol{F}.\boldsymbol{d} = Fd\cos\theta$$

الضربُ المُتَّجِهيُّ (التقاطعيُّ) Vector (Cross) Product

ناتجُ **الضربِ المُتَّجِهيِّ Vector product** لمُتَّجِهيْنِ (مثلُ: $\boldsymbol{A}$ وَ $\boldsymbol{B}$) بينَهُما زاويةٌ θ يُكتَبُ في صورةِ ($\boldsymbol{A} \times \boldsymbol{B}$)، ويكونُ كميةً مُتَّجِهةً لها مقدارٌ واتجاهٌ، ويكونُ الاتجاهُ دائمًا متعامدًا معَ كلٍّ منَ اتجاهِ المُتَّجِهيْنِ $\boldsymbol{A}$ وَ $\boldsymbol{B}$، كما في الشكلِ (11)، ويُعطى مقدارُهُ على النحوِ الآتي:

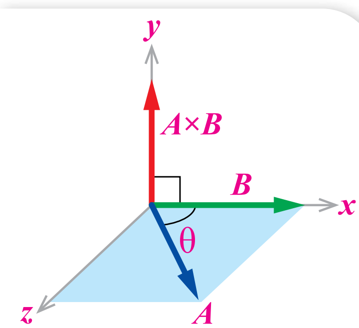
$$|\boldsymbol{A} \times \boldsymbol{B}| = A\,B\sin\theta$$

أصممُ باستخدامِ برنامجِ السكراتشِ (Scratch) عرضًا يوضحُ ضربَ المتجهاتِ، ثمَّ أشاركهُ زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.



الشكلُ (10): مُتَّجِهانِ بينَهُما زاويةٌ θ.

أُقارِنُ بينَ ناتجِ كلٍّ منْ: $\boldsymbol{B} \cdot \boldsymbol{A}$، وَ $\boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{B}$.



الشكلُ (11): الضربُ المُتَّجِهيُّ للمُتَّجِهيْنِ: $\boldsymbol{A}$، وَ $\boldsymbol{B}$.

حيثُ:

$|\boldsymbol{A} \times \boldsymbol{B}|$: مقدارُ ناتجِ الضربِ المُتَّجهيِّ للمُتَّجِهيْنِ: $\boldsymbol{A}$ وَ $\boldsymbol{B}$.

A: مقدارُ المُتَّجِهِ $\boldsymbol{A}$.

B: مقدارُ المُتَّجِهِ $\boldsymbol{B}$.

θ: الزاويةُ الصغرى بينَ المُتَّجِهيْنِ: $\boldsymbol{A}$ وَ $\boldsymbol{B}$ ؛ أيْ $(0^o \leq \theta \leq 180^o)$ حينَ ينطلقُ المُتَّجِهانِ منَ النقطةِ نفسِها.

لتحديد اتجاه ناتج الضرب التقاطعي لمتجهين تستخدم قاعدة كف اليد اليمنى، سأتعلمها في صفوف لاحقة، وسنكتفي في هذا الدرس بحساب مقدار ناتج الضرب فقط.

من التطبيقات الفيزيائية على الضرب المتجهي القوة المغناطيسية $\boldsymbol{F_B}$ المؤثرة في شحنة كهربائية q متحركة بسرعة $\boldsymbol{v}$ في مجالٍ مغناطيسي $\boldsymbol{B}$، وتعطى بالعلاقة: $\boldsymbol{F_B} = \boldsymbol{q(v \times B)}$

✔ **أتحقَّقُ:** ما الفرقُ بينَ الضربِ المُتَّجِهيِّ والضربِ القياسيِّ؟

المثالُ 6

أثَّرَتْ قُوَّةٌ $\boldsymbol{F}$ مقدارُها 120 N في جسمٍ، فحرَّكَتْهُ إزاحةٌ $\boldsymbol{d}$ مقدارُها 5 m في اتجاهِ الشرقِ. إذا علمْتُ أنَّ الشغلَ W الذي تُنجِزُهُ القُوَّةُ $\boldsymbol{F}$ يُعطى بالعلاقةِ: $W = \boldsymbol{F} . \boldsymbol{d}$، وأنَّ الزاويةَ بينَ اتجاهِ $\boldsymbol{F}$ واتجاهِ $\boldsymbol{d}$ تساوي (53^o)، فأُجيبُ عمّا يأتي:

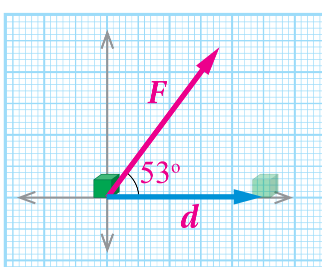
أ . أُمثِّلُ المُتَّجِهيْنِ $\boldsymbol{F}$ وَ $\boldsymbol{d}$ بيانيًّا.

ب. هلْ يُعَدُّ الشغلُ W كميةً مُتَّجِهةً؟ أُوضِّحُ ذلكَ.

جـ. أَحسبُ الشغلَ الذي أنجزَتْهُ القُوَّةُ.

المعطياتُ: $F = 120$ N ، $d = 5$ m ، $\theta = 53^o$.

المطلوبُ: $W = ?$.



الشكلُ (12): تمثيلُ المُتَّجِهيْنِ $\boldsymbol{F}$ وَ $\boldsymbol{d}$ بيانيًّا.

الحلُّ:

أ . مقياسُ الرسمِ (1 cm: 20 N) للقُوَّةِ، وَ (1 cm: 1 m) للإزاحةِ، وتمثيلُ المُتَّجِهيْنِ مُبيَّنٌ في الشكلِ (12).

ب. لا، لا يُعَدُّ الشغلُ W كميةً مُتَّجِهةً، فهوَ كميةٌ قياسيةٌ؛ لأنَّهُ ناتجٌ منَ الضربِ القياسيِّ لمُتَّجِهي القُوَّةِ والإزاحةِ.

جـ. يُحسبُ الشغلُ الذي أنجزَتْهُ القُوَّةُ باستخدامِ العلاقةِ الآتيةِ:

$$W = \boldsymbol{F} . \boldsymbol{d} = F\, d \cos \theta$$
$$= 120 \times 5 \times \cos 53^o$$
$$= 360 \text{ J}$$

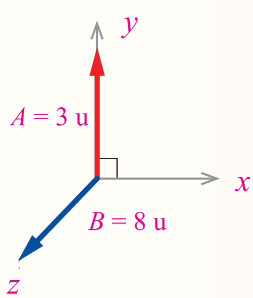
مراجعةُ الدرسِ

1. **الفكرةُ الرئيسةُ**: أذكرُ اختلافًا واحدًا وتشابهًا واحدًا بينَ:
   أ . الكميةِ المُتَّجِهةِ والكميةِ القياسيةِ.
   ب. المُتَّجِهِ وسالبِ المُتَّجِهِ.
   جـ. الضربِ القياسيِّ والضربِ المُتَّجِهيِّ.

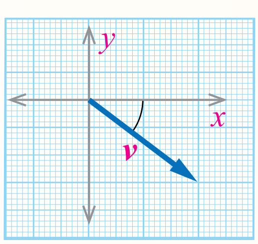
2. **أُصنِّفُ** الكمياتِ الآتيةَ إلى مُتَّجِهةٍ، وقياسيةٍ:
   - زمنُ الحصةِ الصفيةِ.
   - قُوَّةُ الجاذبيةِ الأرضيةِ.
   - درجةُ حرارةِ المريضِ.
   - المقاومةُ الكهربائيةُ.
   - كتلةُ الحقيبةِ المدرسيةِ.

3. **أُمَثِّلُ بيانيًّا** الكميتيْنِ المُتَّجِهتيْنِ الآتيتيْنِ:
   أ . قُوَّةٌ مغناطيسيةٌ مقدارُها $0.25\ N$ في اتجاهٍ يَصنعُ زاويةً مقدارُها 37^o مع محورِ $(-x)$.
   ب. تسارعٌ ثابتٌ مقدارُهُ $4\ m/s^2$ في اتجاهٍ يَصنعُ زاويةً مقدارُها 30^o شمالَ الغربِ.

4. ما مقدارُ الزاويةِ بينَ الكميتيْنِ المُتَّجِهتيْنِ $\boldsymbol{F}$ وَ $\boldsymbol{L}$ في الحالتيْنِ الآتيتيْنِ:
   أ . $\boldsymbol{F} \times \boldsymbol{L} = 0$؟ ب . $\boldsymbol{F} . \boldsymbol{L} = 0$؟ بافتراضِ أنَّ $(F \neq 0$ وَ $L \neq 0)$.



5. **أَستخدمُ الأرقامَ**: اعتمادًا على البياناتِ في الشكلِ المجاورِ، أحسُبُ مقدارَ ناتجِ الضربِ المُتَّجِهيِّ $(\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{A})$، (الرمزُ u يعني وحدةً unit).



6. **أَستخدمُ الأرقامَ**: سيارةٌ تسيرُ بسرعةٍ ثابتةٍ $\boldsymbol{v}$، وفي اتجاهٍ مُحدَّدٍ. مُثِّلَتْ سرعةُ السيارةِ بيانيًّا برسمِ سهمٍ طولُهُ $5\ cm$ باستخدامِ مقياسِ الرسمِ $(1\ cm: 10\ m/s)$ على النحوِ المُبيَّنِ في الشكلِ المجاورِ. أحسُبُ مقدارَ سرعةِ السيارةِ، مُحدِّدًا اتجاهَها بالنسبةِ لمحورِ السيناتِ الموجبِ.

7. **أَستخدمُ الأرقامَ**: أحسُبُ مقدارَ الزاويةِ بينَ المُتَّجِهيْنِ: $\boldsymbol{F}$ وَ $\boldsymbol{r}$، التي يتساوى عندَها مقدارُ الضربِ القياسيِّ ومقدارُ الضربِ المُتَّجِهيِّ للمُتَّجِهيْنِ؛ أيْ إنَّ: $|\boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F}| = \boldsymbol{r} . \boldsymbol{F}$.

جمعُ المُتَّجِهاتِ وطرحُها
Addition and Subtraction of Vectors

الفكرةُ الرئيسةُ:

جمعُ الكمياتِ المُتَّجِهةِ أوْ طرحُها يـكونُ إمـّا بيانيـّاً، وإمـّا رياضيًّا عنْ طريقِ تحليلِ الكمياتِ المُتَّجِهةِ إلى مُركَّباتِها.

نتاجاتُ التعلُّمِ:

- أُطبِّقُ خصائصَ المُتَّجهـاتِ على كمياتٍ فيزيائيةٍ مُتَّجِهةٍ.
- أستنتجُ خصائصَ المُتَّجِهاتِ بطرائقَ مختلفةٍ.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

جمعُ الكمياتِ المتَّجِهةِ Addition of vector quantities

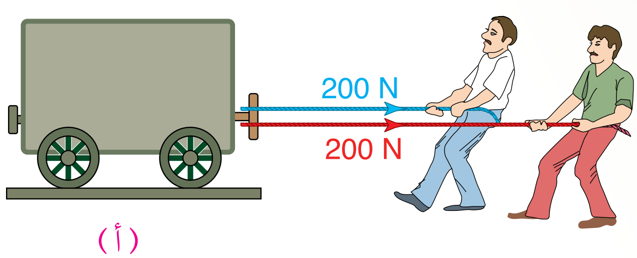
مُتَّجِهُ المحصلةِ Resultant Vector

تحليلُ المُتَّجِهاتِ إلى مُركِّباتِها Resolving Vectors into Components

جمعُ المُتَّجِهاتِ Addition of Vectors

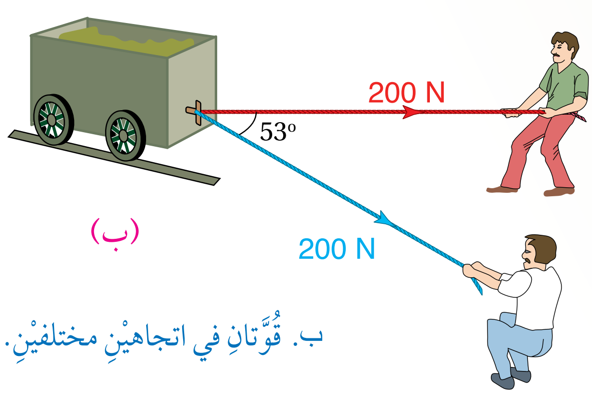
تعرَّفْتُ في الدرسِ السابقِ أنَّ عمليةَ ضربِ الكمياتِ المُتَّجِهةِ تختلفُ عنْ عمليةِ ضربِ الكمياتِ القياسيةِ. كذلك تختلف عمليات جمعِ الكمياتِ المُتَّجِهةِ وطرحِها عنها في الكمياتِ القياسيةِ.

تُجمَعُ الكمياتُ القياسيةُ وتُطرَحُ بطريقةٍ جبريةٍ شرطَ أنْ تكونَ منَ النوعِ نفسِه، فمثلا إذا أمضيت أربع ساعات في الدراسة، وساعتين في ممارسة الرياضة، فإن مجموع ما استغرقته في الدراسة والرياضة ست ساعات، ويكونَ ناتجُ الجمعِ كميةً قياسيةً أيضًا. أمّا عندَ **جمع الكمياتِ المُتَّجِهةِ** **Addition of vector quantities** فيجبُ مراعاةُ الاتجاهِ والمقدارِ. فمثلًا، إذا جُمِعَتِ القُوَّتانِ اللتانِ يُؤثِّرُ بهما الرجلانِ لسحبِ العربةِ في الشكلِ (13/أ) جبريًّا (200 + 200 = 400 N) فإنَّ الإجابةَ تكونُ صحيحةً، أمّا إذا أثَّرَ الرجلانِ بقوتين كما في الشكل (13/ ب)، فلا يجوز جمع القوتين جبريا؛ لأنهما ليستا في الاتجاه نفسه.

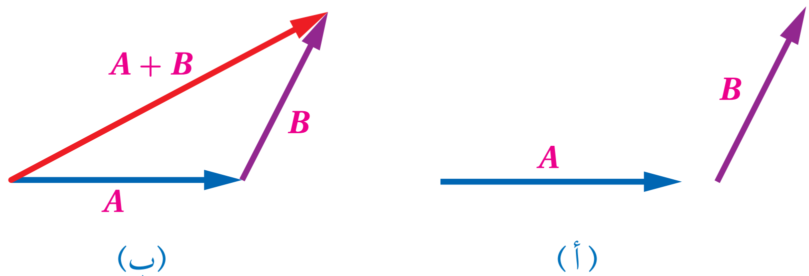


أ . قُوَّتانِ في الاتجاهِ نفسِهِ.

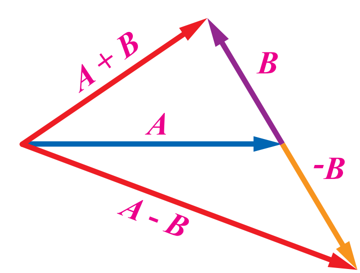
الشكلُ (13):



ب. قُوَّتانِ في اتجاهيْنِ مختلفيْنِ.



الشكلُ (14): التمثيل البياني لناتج جمع متجهين.



الشكلُ (15): جمعُ المُتَّجِهاتِ وطرحُها.

أُفكِّرُ: أمثل بيانيا ناتج جمع القوتين الموضحتين في الشكل (13/ب).

يمكن تمثيل ناتج جمع متجهين (A, B)، كما في الشكل (14/ أ) بيانيا، وذلك باختيار مقياس رسم مناسب، ورسم المتجه (A)، ثم رسم المتجه (B) بحيث يقع ذيله عند رأس المتجه (A)، ثم رسم المتجه $(A+B)$ من ذيل (A) إلى رأس (B)، أتأمل الشكل (14/ ب).

نستنتجُ ممّا سبقَ أنَّ ناتجَ جمعِ مُتَّجِهيْنِ (مثلُ: A وَ B) هوَ مُتَّجِهٌ جديدٌ $(A + B)$ يختلفُ مقدارُهُ واتجاهُهُ باختلافِ المقدارِ والاتجاهِ لكلٍّ منَ المُتَّجِهيْنِ.

طرحُ المُتَّجِهاتِ Subtraction of Vectors

إنَّ عمليةَ طرحِ المُتَّجِهاتِ تُشبِهُ عمليةَ جمعِها. والإشارةُ السالبةُ تعني معكوسَ المُتَّجِهِ المرادِ طرحُهُ. فمثلًا، عندَ طرحِ المُتَّجِهِ B منَ المُتَّجِهِ A (أيْ: $A-B$) فإنَّ المُتَّجِهَ A يُجمَعُ معَ معكوسِ المُتَّجِهِ الثاني $(-B)$، كما في الشكلِ (15)، ويُكتَبُ بالصورةِ الآتيةِ:

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

أيْ أنَّ طرحَ المُتَّجِهِ يُكافِئُ جمعَ سالبِ ذلكَ المُتَّجِهِ.

✓ **أتحقَّقُ:** أصفُ كيفَ أطرحُ مُتّجهَ (E) منْ مُتّجهِ (D).

محصلةُ مُتَّجِهاتٍ عِدَّةٍ Resultant of Many Vectors

يُسمّى المُتَّجِهُ الناتجُ منَ الجمعِ المُتَّجِهيِّ لمُتَّجِهيْنِ أو أكثرَ (مثلُ: $\boldsymbol{A}$ و $\boldsymbol{B}$ و $\boldsymbol{C}$) مُتَّجِهَ المحصلةِ **Resultant vector**، ويُرمَزُ إليهِ بالرمزِ $\boldsymbol{R}$، ويعبر عنه بالعلاقة الآتية:

$$\boldsymbol{R} = \boldsymbol{A} + \boldsymbol{B} + \boldsymbol{C}$$

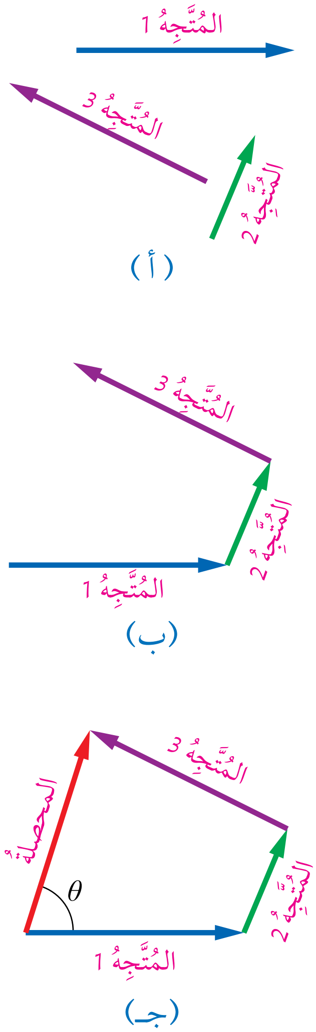
على أنْ تكونَ المُتَّجِهاتُ منَ النوعِ نفسِهِ. فمثلًا، إذا جمعْنا مُتَّجِهاتٍ للسرعةِ فإنَّ مُتَّجِهَ المحصلةِ يكونُ مُتَّجِهَ سرعة.

لإيجادِ محصلةِ مُتَّجِهيْنِ أوْ أكثرَ، سواءٌ أكانَتْ في بُعْدٍ واحدٍ مثلِ محورِ x أوْ محورِ y، أمْ في بُعْديْنِ مثلِ مستوى $(x-y)$، نستخدم الطريقة البيانية (الرسم) أو طريقة رياضية تسمى الطريقة التحليلية.

الطريقةُ البيانيةُ (الرسمُ) Graphical Method

يمكن إيجاد محصلة متجهات عدة بيانيا باستخدام طريقة الذيل على الرأس التي اتبعناها لتمثيل محصلة متجهين، وتعرف هذه الطريقة بطريقة المُضلّع. فمثلًا، لإيجادِ محصلةِ المُتَّجِهاتِ الموضحةِ في الشكلِ (16/ أ) نتبّع الخطواتِ الآتيةِ:

1. اختيارُ مقياسِ رسمٍ مناسبٍ، ورسمُ أسهمٍ تُمثِّلُ المُتَّجِهاتِ التي يرادُ إيجادُ محصلتِها (جمعُها).
2. رسمُ المُتَّجِهِ الأولِ، ثمَّ رسمُ المُتَّجِهِ الثاني، بحيثُ يقعُ ذيلُهُ عندَ رأسِ المُتَّجِهِ الأولِ، وهكذا الحالُ لبقيةِ المُتَّجِهاتِ حتّى آخرِ مُتَّجِهٍ، كما في الشكلِ (16/ ب)، معَ المحافظةِ على طولِ السهمِ واتجاهِهِ عندَ نقلِهِ.
3. رسمُ سهمٍ منْ ذيلِ المُتَّجِهِ الأولِ إلى رأسِ المُتَّجِهِ الأخيرِ؛ ليُمثِّلَ طولُهُ مقدارَ المحصلةِ، معَ مراعاةِ مقياسِ الرسمِ، ويُمثِّلَ اتجاهُهُ (منَ الذيلِ إلى الرأسِ) اتجاهَ المحصلةِ (قياسُ الزاويةِ θ بينَ اتجاهِ المحصلةِ ومحورِ $+x$) كما في الشكل (16/ جـ).



الشكلُ (16): محصلةُ مُتَّجِهاتٍ عِدَّةٍ بطريقةِ المُضلَّعِ.

✔ **أتحقَّقُ:** أُوضِّحُ المقصودَ بطريقةِ المُضلَّعِ لإيجادِ محصلةِ مُتَّجِهاتٍ عِدَّةٍ بيانيًّا.

المثالُ 7

تُؤثِّرُ ثلاثُ قوى في جسمٍ: القُوَّةُ الأولى F_1 مقدارُها 30 N، والقُوَّةُ الثانيةُ F_2 مقدارُها 50 N، والقُوَّةُ الثالثةُ F_3 مقدارُها 70 N واتجاهُ كلٍّ منها مبيَّنٌ في الشكلِ (17/ أ). أَجِدُ مقدارَ محصلةِ القوى المؤثِّرةِ في الجسمِ واتجاهَها بيانيًّا.

المعطياتُ: $F_1 = 30$ N ، $F_2 = 50$ N ، $F_3 = 70$ N ، الشكلُ (17/ أ)

المطلوبُ: $R = ?$.

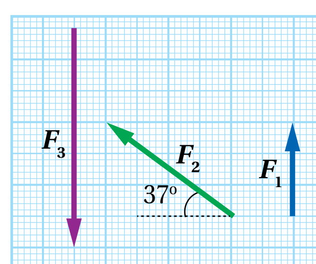
الحلُّ:

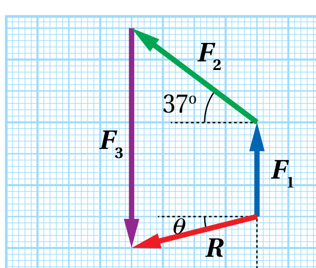
أ . في الشكلِ (17/أ)، مقياسُ الرسمِ هـوَ (1 cm: 10 N)، وبذلكَ يكونُ طولُ المتَّجِهِ F_1: 3 cm، وطولُ المتَّجِهِ F_2: 5 cm، وطولُ المتَّجِهِ F_3: 7 cm.

ب. أرسمُ السهمَ الذي يُمثِّلُ مُتَّجِهَ القُوَّةِ F_1، كما في الشكلِ (17/ب)، ثمَّ أرسمُ السهمَ الذي يُمثِّلُ مُتَّجِهَ القُوَّةِ F_2، بحيثُ يقعُ ذيلُهُ على رأسِ سهمِ F_1، ثمَّ أرسمُ السهمَ الذي يُمثِّلُ مُتَّجِهَ القُوَّةِ F_3، بحيثُ يقعُ ذيلُهُ على رأسِ سهمِ F_2. بعدَ ذلكَ أرسمُ سهمًا منْ ذيلِ المُتَّجِهِ الأولِ F_1 إلى رأسِ المُتَّجِهِ الثالثِ (الأخيرِ)؛ ليُمثِّلَ طولُهُ مقدارَ المحصلةِ، ويُمثِّلَ اتجاهُهُ اتجاهَ المحصلةِ.

جـ. أقيسُ –بالمسطرةِ– طولَ مُتَّجِهِ المحصلةِ R منَ الشكلِ (4.1 cm). وبحسبِ مقياسِ الرسمِ (1cm: 10 N)، فإنَّ مقدارَ المحصلةِ: $R = 4.1 \times 10 = 41$ N.

د . أقيسُ –بالمنقلةِ– الزاويةَ θ بينَ مُتَّجِهِ المحصلةِ ومحورِ x– لتُمثِّلَ اتجاهَ المحصلةِ ($\theta = 14^o$).





الشكلُ (17): أ . تمثيلُ مُتَّجِهاتِ القوى بأسهمٍ. ب . محصلةُ مُتَّجِهاتِ القوى بالرسمِ.

تمرينٌ

أستخدمُ الأرقامَ: شحنةٌ كهربائيةٌ تُؤثِّرُ فيها ثلاثُ قوى كهربائيةٍ على النحوِ الآتي:

200 N في اتجاهِ الجنوبِ، 300 N في اتجاهٍ يَصنعُ زاويةً مقدارُها 53^o شمالَ الغربِ، 500 N في اتجاهِ الغربِ.

أَجِدُ مقدارَ محصلةِ القوى الكهربائيةِ المُؤثِّرةِ في الشحنةِ واتجاهَها بيانيًّا.

التجربةُ 1

إيجادُ محصلةِ قُوَّتيْنِ عمليًا

الموادُّ والأدواتُ: طاولـةُ القـوى، مجموعتـانِ منَ الأثقالِ تتكوَّنُ كلٌّ منْهُما منْ ثلاثةِ أثقالٍ متساويةٍ في الكُتلةِ، ميزانٌ إلكترونيٌّ (حسّاسٌ)، ثلاثةُ حواملِ أثقالٍ متماثلةٍ.

إرشاداتُ السلامةِ: الحذرُ منْ سقوطِ الأجسامِ والأدواتِ على القدميْنِ.

أصوغُ فرضيَّتي حولَ العلاقةِ بينَ محصّلةِ قوَّتينِ بالقوةِ الثّالثةِ المؤثّرةِ في جسمٍ متّزنٍ تحتَ تأثيرِ ثلاثِ قوّىً.

أختبرُ فرضيّتي:

بالتعاونِ معَ أفرادِ مجموعتي، أُنفِّذُ الخطواتِ الآتيةَ:

1. أضع طاولـةَ القوى على سطـحٍ مستوٍ، وأستعمـلُ الميزانَ لقياسِ كتلةِ حاملِ الأثقالِ، ثم أُدَوِّنُ النتيجةَ.
2. أضعُ ثقلًا على كلِّ حاملٍ، ثمَّ أضبطُ خيطَ أحدِ الحواملِ على تدريجِ الصفرِ $0°$، وخيطًا لحاملٍ آخرَ على تدريجِ $120°$، وأُحرِّكُ خيطَ الحاملِ المُتبقّي حتّى ينطبقَ مركزُ الحلقةِ على مركزِ طاولةِ القوى، ثمَّ أُدَوِّنُ التدريجَ الذي انطبقَ عليْهِ الخيطُ.
3. أُكرِّرُ الخطوةَ الثانيةَ باستخدامِ ثلاثةِ أثقالٍ أُخرى متساويةٍ. هلْ تغيَّرَتِ النتائجُ؟

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أَستخدمُ الأرقامَ:** أحسُبُ القـوى الثـلاثَ المُؤثِّرةَ في الحلقـةِ باسـتخدامِ العلاقةِ: $F = mg$، حيثُ m: (كتلةُ حاملِ الثِّقْلِ + كتلةِ الثِّقْلِ). ما مقدارُ محصلةِ تلكَ القوى؟
2. **أُمثِّلُ بيانيًّا** محصلةَ القُوَّتيْنِ: الأولى، والثانيـةِ.
3. **أُقارِنُ** محصلةَ هاتيْنِ القُوَّتيْنِ بالقُوَّةِ الثالثةِ منْ حيثُ: المقدارُ، والاتجاهُ.
4. **أستنتجُ** استنادًا إلى تجربتي، علاقةَ محصلةِ أيِّ قُوَّتيْنِ بالقُوَّةِ الثالثةِ عندَ الاتزانِ (انطباقُ مركزِ الحلقةِ على مركزِ الطاولةِ).
5. **أُمثِّلُ بيانيًّا** محصلـةَ القوى الثلاثِ، ثـمَّ أُفسِّرُ النتيجةَ.
6. **أُصدرُ حكمًا** عمّا إذا كانتِ النتائجُ قدْ توافقتْ معَ فرضيّتي أم لا؟

المثالُ 8

مُثِّلَتْ أربعةُ مُتَّجهاتٍ للسرعةِ (v_1, v_2, v_3, v_4) بالرسمِ، كما في الشكلِ (18/ أ)، وذلكَ باستخدامِ مقياسِ الرسمِ (1 cm:5 m/s). أَجِدُ:

أ . مقدارَ مُتَّجِهِ محصلةِ السرعةِ، واتجاهَهُ.

ب. $v_1 + v_2 + 2v_3 - v_4$

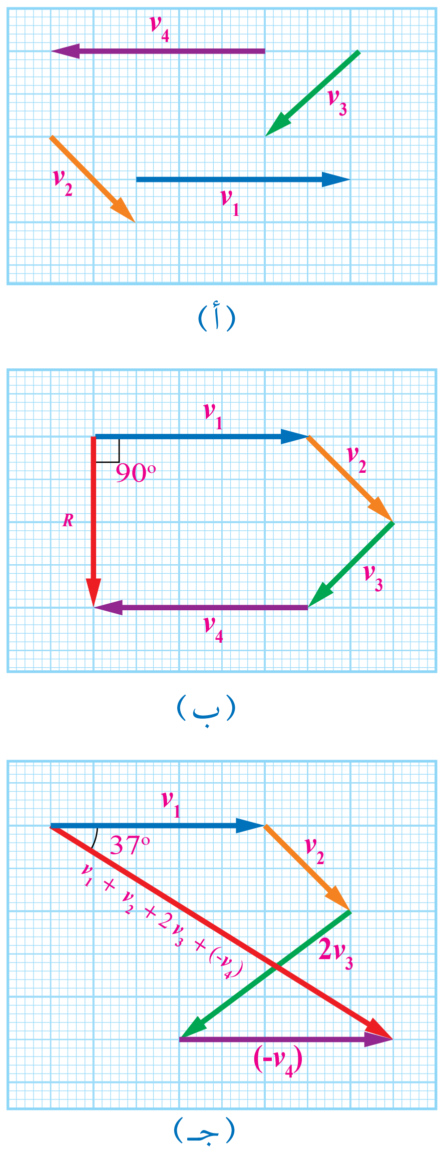
المعطيات: التمثيل البياني لأربعة متجهات سرعة.

المطلوب: $v_1 + v_2 + 2v_3 - v_4 = ?$ ، $R = ?$

الحلُّ:

أ . بتطبيقِ طريقـةِ المُضلَّعِ، كما في الشكلِ (18/ ب)، فإنَّ طولَ سـهمِ المحصلةِ R هوَ 4 cm. ووفقًـا لمقياسِ الـرسـمِ (1cm: 5 m/s)، فـإنَّ مـقـدارَ المحصلـةِ: $R = 4 \times 5 = 20$ m/s، واتجاهَها نحوَ الجنوبِ.

ب. بتطبيقِ طريقـةِ المُضلَّعِ، كما في الشكـلِ (18/ جـ)، فإنَّ طولَ السهمِ الناتجِ منْ جمعِ هوَ 10 cm. ووفقًا لمقيـاسِ الرسـمِ (1cm: 5 m/s)، فـإنَّ مقـداره هـو: (10 × 5 = 50 m/s)، وباستخـدامِ المنقلة نجـدُ أنَّ اتجاهه يميلُ بزاويةٍ θ مقدارُها 37° أسفل محورِ $+x$.

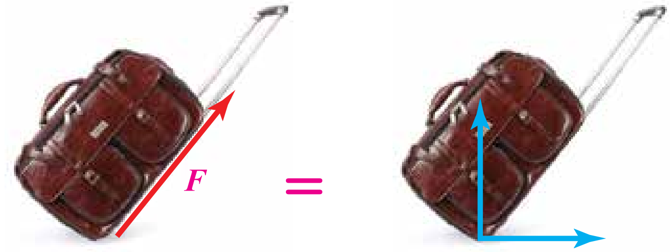


الشكلُ (18): جمع المتجهات باستخدام طريقة المضلع.

✓ **أتحقَّقُ:** لماذا يُـعدُّ إيـجـادُ محصلةِ متجهاتٍ عدةٍ بالطريقةِ التحليليةِ أكثرَ دقةً منْ إيجادِها بالطريقةِ البيانيةِ؟

الطريقةُ التحليليةُ Analytical Method

إنَّ استخدامَ الطريقةِ البيانيةِ في إيجادِ محصلةِ مُتَّجهاتٍ عِدَّةٍ عمليةٌ سهلةٌ، لكنَّها قدْ تفتقرُ إلى الدقةِ. ربما لاحظْتُ وجودَ اختلافاتٍ بسيطةٍ بينَ نتائجي ونتائـجِ زملائي/ زميلاتي عندَ استخدامي إيّاها، ويُعْزى ذلكَ إلى أخطاءٍ في عملياتِ القياسِ (قياسُ الأطوالِ والزوايا)؛ لذا سأتعرَّفُ طريقةً رياضيةً أكثرَ دقةً، هيَ تحليلُ المُتَّجهاتِ إلى مُركَّباتِها.



الشكلُ (19): سحبُ حقيبةِ سفرٍ.

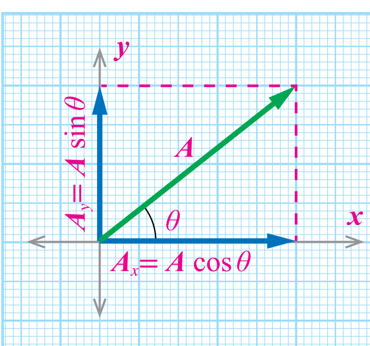
تحليلُ المُتَّجِهاتِ إلى مُركَّباتِها
Resolving Vectors into Components

تعلّمتُ سابقاً أنَّ إيجاد محصلة متّجهين يعني استبدالهما بمتّجه واحد له التأثير نفسه للمتّجهين معاً. وسأتعرف الآن العملية العكسية؛ وهي تحليل المتجه الواحد والاستعاضه عنه بمتجهين. فعند سحب حقيبة سفر، كما في الشكل (19) فإننا نؤثر فيها بقوة مائلة، هذه القوة يمكن استبدالها بقوتين متعامدتين إحداهما أفقية والأخرى رأسية، تُحدثان معاً التأثير نفسه للقوة الأصلية.

يطلق على هذه العملية اسم **تحليلِ المُتَّجِهِ** **Resolving a vector**، أي الاستعاضةِ عنْهُ بمُتَّجِهيْنِ متعامدَيْنِ (على محورَيْ x وَ y مثلًا) يُسمّيانِ مُركَّبَتَي المُتَّجِهِ، وتكونُ محصلتُهُما المُتَّجِهَ نفسَهُ، ويتحدانِ معَهُ في نقطةِ البداية.

فمثلًا، يُمكِنُ تحليلُ المُتَّجِهِ $\boldsymbol{A}$ الواقعِ في الربعِ الأولِ منْ مستوى $x-y$، كما في الشكلِ (20)، إلى مُركَّبتيْنِ، هما:

- المُركَّبَةُ الأفقيةُ $\boldsymbol{A_x}$: تُمثِّلُ مسقطَ المُتَّجِهِ $\boldsymbol{A}$ على محورِ $+x$.
- المُركَّبَةُ الرأسيةُ $\boldsymbol{A_y}$: تُمثِّلُ مسقطَ المُتَّجِهِ $\boldsymbol{A}$ على محورِ $+y$.



الشكلُ (20): تحليلُ المُتَّجِهِ $\boldsymbol{A}$ إلى مُركَّبتيهِ.

يكونُ المجموعُ المُتَّجِهيُّ للمُركَّبتيْنِ مساوِيًا المُتَّجِهَ $\boldsymbol{A}$؛ أيْ أنَّ: $\boldsymbol{A} = \boldsymbol{A_x} + \boldsymbol{A_y}$.

وبتطبيقِ النسبِ المثلثيةِ، فإنَّ:

$$\cos\theta = \frac{A_x}{A} \rightarrow A_x = A\cos\theta$$

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

في الشكلِ (20)، ألاحظُ أنَّ المركبةَ $\boldsymbol{A_x}$ في اتجاهِ المحورِ الأفقيِّ الموجبِ $(+x)$، والمركبةَ $\boldsymbol{A_y}$ في اتجاهِ المحورِ الرأسيِّ الموجبِ $(+y)$، لذلكَ تكونُ إشارةُ كلٍّ منَ المركبتينِ موجبةً.

ولمّا كانَتِ المُركَّبتانِ: (A_x , A_y) تُشكِّلانِ ضلعيْنِ في مثلثٍ قائمِ الزاويةِ، والمُتَّجِهُ A يُمثِّلُ وترَ المثلثِ، فإنَّ مقدارَ المُتَّجِهِ A:

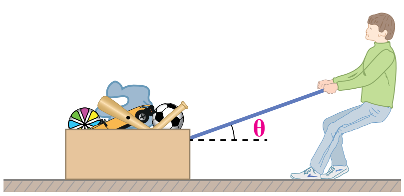
بحسبِ نظريةِ فيثاغورس........ $$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

أمّا الزاويةُ θ بينَ المُتَّجِهِ ومحورِ $+x$ فيُمكِنُ حسابُها منَ العلاقةِ الآتيةِ:

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

المثالُ 9

يسحبُ عامرٌ صندوقَ ألعابِهِ بقُوَّةٍ مقدارُها 100 N في اتجاهٍ يَصنعُ زاويةً θ مقدارُها 30^o معَ محورِ $+x$ كما في الشكلِ (21). أَجِدُ مقدارَ كلٍّ منَ المُركَّبتيْنِ الأفقيةِ والعموديةِ للقُوَّةِ، مُحدِّدًا اتجاهَهُما.



الشكلُ (21): عامرٌ يسحبُ الصندوقَ بقُوَّةٍ.

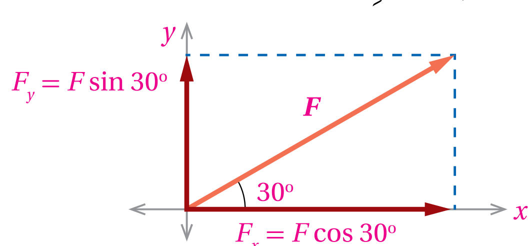
المعطياتُ: $F = 100$ N ، $\theta = 30^o$.

المطلوبُ: $F_x = ?$ ، $F_y = ?$.

الحلُّ:

المُركَّبةُ الأفقيةُ للقُوَّةِ F_x:

$F_x = F\cos\theta = 100 \times \cos 30^o = 100 \times 0.87 = 87$ N باتجاهِ محورِ $+x$، كما في الشكلِ (22).



الشكلُ (22): المُركَّبةُ الأفقيةُ، والمُركَّبةُ العموديةُ للمُتَّجِهِ F.

المُركَّبةُ الرأسيةُ للقُوَّةِ F_y:

$F_y = F\sin\theta = 100 \times \sin 30^o = 100 \times 0.5 = 50$ N باتجاهِ محورِ $+y$.

أتحقَّقُ: ما المقصودُ بتحليلِ المُتَّجِهِ؟

أُفكِّرُ: ما علاقةُ صورةِ لاعبِ كرةِ السَّلَّةِ -في بدايةِ الوحدةِ- بتحليلِ المُتَّجِهاتِ؟

تمرينٌ

أستخدمُ الأرقامَ: أُطلِقَتْ قذيفةٌ بسرعةِ v، وكانَتِ المُركَّبةُ الأفقيةُ للسرعةِ (-20 m/s) والمُركَّبةُ الرأسيةُ لها (40 m/s). أَجِدُ مقدارَ السرعةِ v، واتجاهَها.

محصلةُ المُتَّجِهاتِ بالطريقةِ التحليليةِ
Resultant by Analytical Method

لإيجـادِ المقـدارِ والاتجـاهِ لمحصلـةِ مُتَّجِهيْنِ أوْ أكثرَ بالطريقـةِ التحليليةِ، أتَّبعُ الخطواتِ الآتيةَ:

- أرسمُ المُتَّجِهاتِ، بحيثُ يبدأُ كلُّ مُتَّجِهٍ بنقطةِ الأصلِ (0,0).
- أُحلِّلُ كلَّ مُتَّجِهٍ إلى مُركَّبتيهِ، مراعيًا أنْ تلتقيَ نقطةُ البدايةِ (الذيلُ) لجميعِ المُتَّجِهاتِ عندَ نقطةِ الأصلِ (0,0).
- أَجِدُ ($\boldsymbol{R_x}$)؛ مجموعَ المُركَّباتِ على محورِ x. وأجد ($\boldsymbol{R_y}$)؛ مجموعَ المُركَّباتِ على محورِ y.
- أَجِدُ مقدارَ المحصلةِ $\boldsymbol{R}$ باستخدامِ العلاقةِ الآتيةِ:

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

- أُحدِّدُ اتجاهَ المحصلةِ $\boldsymbol{R}$:

اتجاه المحصلة يصنع زاوية (α) مع محور x حيث تحسب الزاوية من العلاقة الآتية:

$$\tan\alpha = \frac{R_y}{R_x} \rightarrow \alpha = \tan^{-1}\frac{R_y}{R_x}$$

✓ **أتحقَّقُ:** أُحدِّدُ اتجاهَ المحصلةِ عندما يتساوى مجموعُ المُركَّباتِ على محورِ $+x$ معَ مجموعِ المُركَّباتِ على محورِ $+y$.

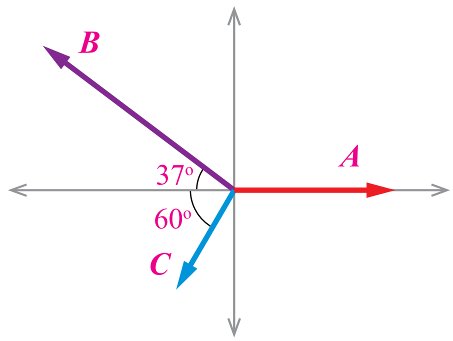
أُفكِّرُ: إذا كانَ مجموعُ المُركَّباتِ على محورِ y ($\boldsymbol{R_y}$) لمجموعةٍ منَ المُتَّجِهاتِ صفرًا، فهلْ يعني ذلكَ بالضرورةِ أنَّ جميعَ تلكَ المُتَّجِهاتِ تقعُ فقطْ على محورِ x؟ أُفسِّرُ إجابتي.

الربطُ بالحياةِ

في الأجـواء العـاصفـة يواجـه الطيـار أحيـانـا صعوبـات في الهبوط. في بند" أتأمل الصورة" في بداية الوحدة، تمكن الطيار من الهبوط بأمان؛ لأنه لجأ إلى توجيه الطائرة (لليسار) بزاوية معاكسة لاتجاه الرياح؛ وذلك لجعل محصلة سرعتي الرياح والطائرة مع اتجاه المدرج قبل لحظة هبوطها مباشرةً، ولو كان سرعـة الطائرة باتجـاه المدرج لانحرفت نحو اليمين، وخرجت عن المسار المحدد لها.

المثال 10

ثلاثةُ مُتَّجهاتٍ (A, B, C) قيمُها: $(3\,u, 5\,u, 2\,u)$ على الترتيبِ، كما في الشكلِ (23). أَجِدُ مقدارَ المحصلةِ واتجاهَها بالطريقةِ التحليليةِ.



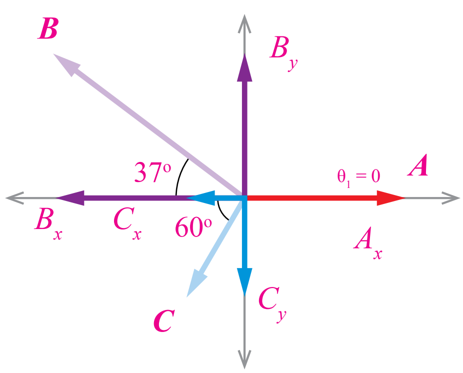
الشكلُ (23): محصلةُ مُتَّجِهاتٍ عِدَّةٍ.

المعطيات: $A = 3u, B = 5u, C = 2u$ ، الشكل (23).

المطلوب: $R = ?$

الحلُّ:

- أُحلِّلُ كلَّ مُتَّجِهٍ إلى مُركَّبتيهِ: المُركَّبةِ الأفقيةِ على محورِ x، والمُركَّبةِ العموديةِ على محورِ y، كما في الشكلِ (24)، على النحوِ الآتي:



الشكلُ (24): تحليلُ المُتَّجِهاتِ إلى مُركَّباتِها.

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

$A_y = A\sin\theta_1 = 3\sin 0° = 3 \times 0 = 0$

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

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

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

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

- أَجِدُ مجموعَ المُركَّباتِ على محورِ x:

$\boldsymbol{R_x = A_x + B_x + C_x}$

$R_x = 3 - 4 - 1 = -2\ u$ .... في اتجاهِ محورِ $-x$

- أَجِدُ مجموعَ المُركَّباتِ على محورِ y:

$\boldsymbol{R_y = A_y + B_y + C_y}$

$R_y = 0 + 3 - 1.74 = 1.26\ u$ .... في اتجاهِ محورِ $+y$

- أَجِدُ مقدارَ المحصلةِ R باستخدامِ العلاقةِ الآتيةِ:

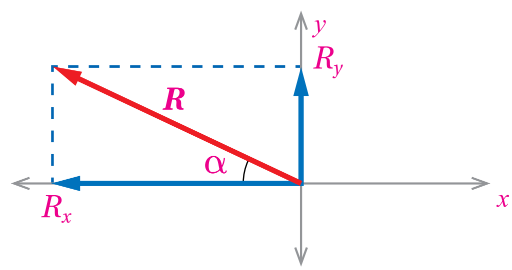
$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

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

- أُحدِّدُ اتجاهَ المحصلةِ؛ أيِ الزاويةَ α بينَ اتجاهِ المحصلةِ R ومحورِ $-x$، كما في الشكلِ (25)، وذلكَ باستخدامِ المعادلةِ الآتيةِ:

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

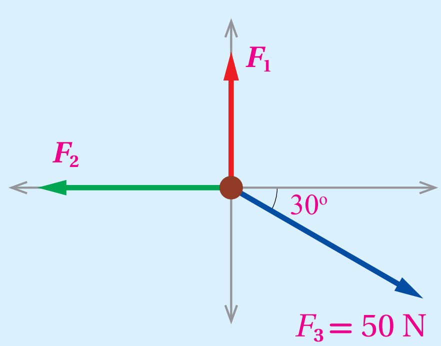
ألاحظُ أنَّ α زاويةٌ حادةٌ وظلُّها موجبٌ، لذلكَ استُخدمت القيمة المطلقة للقيمة $\frac{R_y}{R_x}$.



الشكلُ (25): تحديدُ مقدارِ المحصلةِ، واتجاهِها.

تمرينٌ

- **أَستنتجُ** أَجِدُ مقدارَ المحصلةِ واتجاهَها في المثالِ السابقِ بيانيًّا، ثمَّ أُقارِنُ النتائجَ. ماذا أستنتجُ؟
- **أَستخدمُ الأرقامَ:** تُؤثِّرُ ثلاثُ قوى في نقطةٍ ماديةٍ كما في الشكلِ (26). إذا كانَتْ محصلةُ هذهِ القوى صِفرًا، فما مقدارُ كلٍّ منَ القُوَّتَيْنِ الأولى والثانيةِ؟



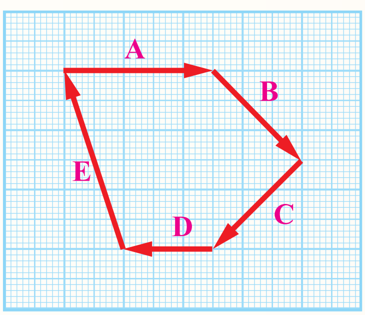
الشكلُ (26): ثلاثُ قوى تُؤثِّرُ في نقطةٍ ماديةٍ.

مراجعةُ الدرسِ

1. **الفكرةُ الرئيسةُ:** أُقارِنُ بينَ كلٍّ ممّا يأتي:
   أ . جمعُ المُتَّجِهاتِ وتحليلُها.
   ب . جمعُ المُتَّجِهاتِ وطرحُها.
   جـ . الطريقةُ التحليلية والطريقةُ البيانيةُ في جمعِ المُتَّجِهاتِ.

2. **أَستخدمُ الأرقامَ:** قوة $(\boldsymbol{F})$ مقدار مركبتيها $(F_y = -8\text{N})$ ، $(F_x = 6\text{N})$. أحسبُ مقدار القوة وأحدّد اتجاهها.

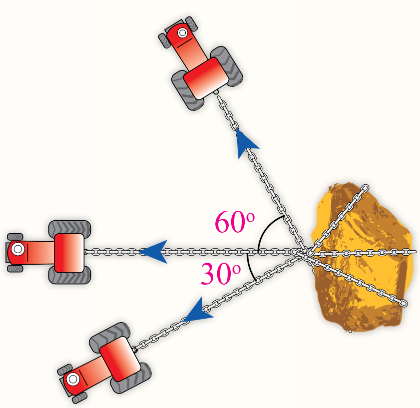
3. **أُحلِّلُ:** اعتمادًا على الشكلِ المجاورِ:



   أ . ما محصلةُ المُتَّجِهاتِ المُبيَّنةِ في الرسمِ؟
   ب . أَجِدُ بيانيًّا محصلةَ المُتَّجِهيْنِ: $\boldsymbol{B}$ وَ $\boldsymbol{A}$.
   جـ . أُثبِتُ بالرسمِ أنَّ: $\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B} + \boldsymbol{C} = -\boldsymbol{D} + (-\boldsymbol{E})$.

4. **أُقارِنُ:** قُوَّتانِ متساويتانِ في المقدارِ، ما أكبرُ قيمةٍ لمحصلتِهما؟ ما أقلُّ قيمةٍ لمحصلتِهما؟

5. **أَستنتجُ** مقدارُ الزاويةِ التي تُطلَقُ بها كرةُ القدمِ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ $\boldsymbol{v}$، بحيثُ:
   أ . المُركَّبةُ العموديةُ للسرعةِ $\boldsymbol{v_y}$ تساوي صفرًا؟
   ب . المُركَّبةُ الأفقيةُ للسرعةِ $\boldsymbol{v_x}$ تساوي مُتَّجِهَ السرعةِ $\boldsymbol{v}$؟



6. **أَستخدمُ الأرقامَ:** ثلاثةُ جرّاراتٍ تحاولُ سحبَ صخرةٍ كبيرةٍ. إذا أثَّرَ كلٌّ منْها بقُوَّةِ سحبٍ مقدارُها 4000 N في الاتجاهاتِ المُبيَّنةِ في الشكلِ المجاورِ:
   أ . أَحسبُ مقدارَ محصلةِ القوى التي تُؤثِّرُ بها الجرّاراتُ في الصخرةِ.
   ب . في أيِّ اتجاهٍ ستتحرَّكُ الصخرةُ؟

الفيزياءُ والتكنولوجيا

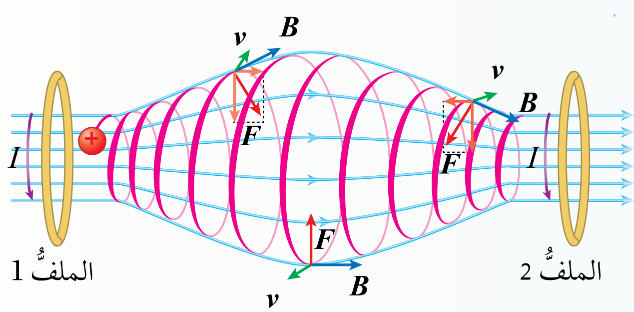
الوعاءُ المغناطيسيُّ

للمادةِ في الطبيعةِ ثلاثُ حالاتٍ، هيَ: الصُّلْبةُ، والسائلةُ، والغازيةُ. توجدُ للمادةِ أيضًا حالةٌ رابعةٌ تُسمّى البلازما، وهيَ تحوي عددًا كبيرًا جدًّا منَ الجسيماتِ المشحونةِ كهربائيًّا؛ لذا تتأثَّرُ هذهِ الجسيماتُ بالقُوَّتيْنِ: الكهربائيةِ، والمغناطيسيةِ.

تمتازُ البلازما بدرجةِ حرارتِها العاليةِ جدًّا التي قدْ تزيدُ على $11000\ ^{o}C$، بحيثُ لا يُمكِنُ احتواؤُها في وعاءٍ ماديٍّ؛ لأنَّها تعملُ على صهرِهِ، فكيفَ تَمكَّنَ العلماءُ منَ الاحتفاظِ بتلكَ الجسيماتِ؟

الوعاءُ (القارورةُ) المغناطيسيُّ Magnetic Bottle:

تقنيةٌ يُستخدَمُ فيها ملفّانِ كهربائيانِ لتوليدِ مجالٍ مغناطيسيٍّ مُتغيِّرِ المقدارِ والاتجاهِ؛ لاحتواءِ جسيماتٍ مشحونةٍ كهربائيًّا، وذاتِ طاقةٍ عاليةٍ جدًّا، مثلِ البلازما. وبحسبِ الشكلِ المجاورِ، فإنَّ الملفَّيْنِ الكهربائييْنِ والمجالَ المغناطيسيَّ الناتجَ منْهُما تشبهُ جميعُها شكلَ القارورةِ، فكيفَ يُمكِنُ احتواءُ مادةِ البلازما باستخدامِ هذهِ التقنيةِ؟



مِنَ التطبيقاتِ على الضربِ المُتَّجهيِّ للكمياتِ المُتَّجِهةِ، القُوَّةُ المغناطيسيةُ $\boldsymbol{F}$ التي تُؤثِّرُ في شحنةٍ كهربائيةٍ q تتحركُ بسرعةٍ $\boldsymbol{v}$ في مجالٍ مغناطيسيٍّ $\boldsymbol{B}$، وتُعطى بالعلاقةِ: $\boldsymbol{F} = q\,(\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B})$؛ حيثُ يكونُ اتجاهُ القُوَّةِ مُتعامِدًا معَ كلٍّ منْ سرعةِ الشحنةِ والمجالِ المغناطيسيِّ. وهذهِ القُوَّةُ المغناطيسيةُ تُؤثِّرُ بمُركَّبتِها في الجسيماتِ المشحونةِ بحيثُ تُبقيها مُتحرِّكةً بينَ الملفَّيْنِ -ذهابًا، وإيابًا- حركةً تذبذبيةً منْ دونِ مغادرتِها منطقةَ المجالِ المغناطيسيِّ.

أبحث مستعينًا بمصادرِ المعرفةِ المناسبةِ، أبحثُ عنْ تطبيقاتٍ أُخرى للمُتَّجِهاتِ، ثمَّ أكتبُ تقريرًا عنْ ذلكَ، وأقرؤُهُ أمامَ الطلبةِ في غرفةِ الصفِّ.

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

1. الكميةُ المُتَّجِهةُ منَ الكمياتِ الفيزيائيةِ الآتيةِ، هيَ:

أ . عددُ المسافرينَ في الطائرةِ.

ب. المدَّةُ الزمنيةُ لإقلاعِ الطائرةِ.

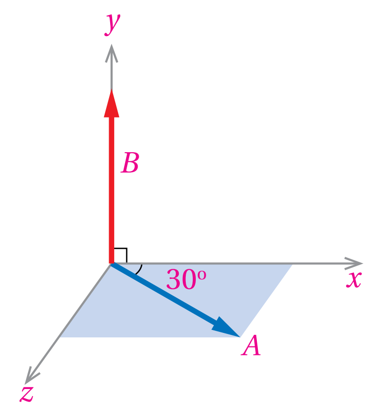
جـ. تسارعُ الطائرةِ في أثناءِ إقلاعِها.

د . حجمُ وقودِ الطائرةِ.

2. عندَ جمعِ القوتينِ المتعامدتينِ: 30 N وَ 20 N جمعًا مُتَّجِهًا، فإنَّ قيمةَ القوةِ المحصلةِ، هيَ:

أ . 10 N ب . 20 N

جـ. 50 N د . 36 N



3. ناتجُ الضربِ المُتَّجِهيِّ $|\boldsymbol{A} \times \boldsymbol{B}|$ في الشكلِ المجاورِ، هوَ:

أ . $AB \sin 90^{o}$ ب . $AB \sin 30^{o}$

جـ. $AB \cos 30^{o}$ د . $AB \cos 90^{o}$

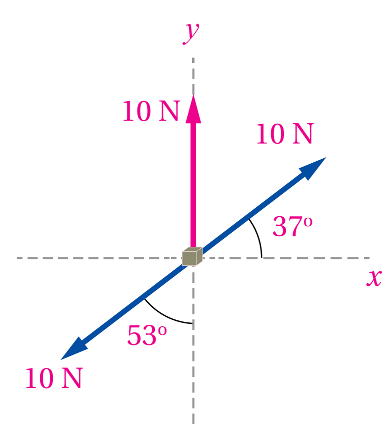
4. العلاقةُ بينَ مُتَّجِهَي التسارُعِ $\boldsymbol{a}_2$، $\boldsymbol{a}_1$ بناءً على العلاقةِ $(\boldsymbol{a}_1 - \boldsymbol{a}_2 = 0)$، هيَ:

أ . المُتَّجِهانِ a_2 ، a_1 متساويانِ في المقدارِ، ومتعاكسانِ في الاتجاهِ.

ب. المُتَّجِهانِ a_2 ، a_1 متساويانِ في المقدارِ، وفي الاتجاهِ نفسِهِ.

جـ. المُتَّجِهانِ a_2 ، a_1 مختلفانِ في المقدارِ، وفي الاتجاهِ نفسِهِ.

د . المُتَّجِهانِ a_2 ، a_1 مختلفانِ في المقدارِ، ومتعاكسانِ في الاتجاهِ.



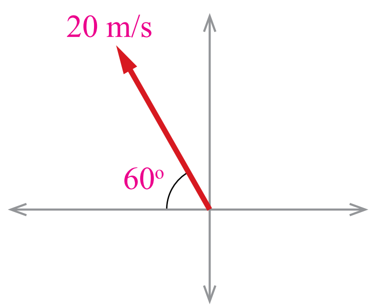
5. مقدارُ القوةِ المحصلةِ واتجاهُها في الشكلِ المجاورِ، هما:

أ . 30 N باتجاهِ محورِ $+y$

ب. 30 N باتجاهِ محورِ $-y$

جـ. 10 N باتجاهِ محورِ $+y$

د . 0 N



6. صوَّبَتْ سعادُ كرةَ السَّلَّةِ بسرعةٍ مقدارُها 20 m/s في الاتجاهِ المُبيَّنِ في الشكلِ المجاورِ. أيُّ الآتيةِ تُمثِّلُ المُركَّبَةَ الأفقيةَ للسرعةِ:

أ . $-20 \cos 60^\circ$ ب . $20 \cos 60^\circ$

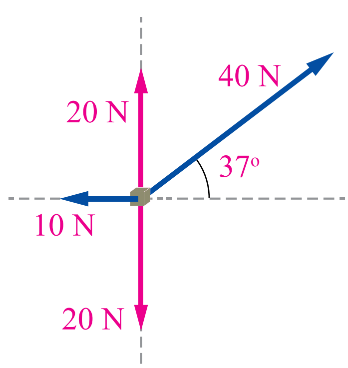
جـ. $20 \sin 30^\circ$ د . $20 \cos 30^\circ$

2. **أستنتجُ:** ركلَ لاعبٌ كرةَ قدمٍ كتلتُها 0.4 kg لتنطلقَ بسرعةٍ 30 m/s في اتجاهٍ يَصنعُ زاويةً مقدارُها 37° معَ سطحِ الأرضِ الأفقيِّ، وتؤثِّرُ فيها قوةُ الجاذبيةِ الأرضيةِ بتسارعٍ في اتجاهِ محورِ $(-y)$ مقدارُهُ $10\ m/s^2$. استغرقَتِ الكرةُ مدَّةً زمنيةً مقدارُها 6 s لتعودَ إلى مستوى سطحِ الأرضِ:

أ . أُحدِّدُ الكمياتِ المُتَّجِهةَ والكمياتِ القياسيةَ.

ب. أُمثِّلُ الكمياتِ المُتَّجِهةَ بيانيًّا.

جـ. هلْ يُمكِنُ إيجادُ محصلةِ تلكَ الكمياتِ المُتَّجِهةِ؟ أُفسِّرُ إجابتي.



3. **أستخدمُ الأرقامَ:** تُؤثِّرُ قوًى عِدَّةٌ في جسمٍ، كما في الشكلِ المجاورِ. أَجِدُ مقدارَ محصلةِ القوى المُؤثِّرةِ في الجسمِ بالطريقةِ التحليليةِ، وأحددُ اتجاهَها بالنسبةِ لمحورِ $+x$.

4. **أستخدمُ الأرقامَ:** مُتَّجِهانِ: الأولُ $F = 8\ N$ في اتجاهِ محورِ $(-y)$، والثاني $r = 5\ m$ في اتجاهِ محورِ $(+x)$. أَجِدُ:

أ . $3\boldsymbol{F}$

ب. $-0.5\boldsymbol{r}$

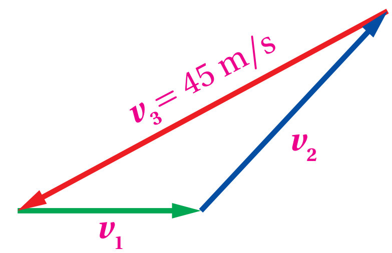
جـ. $|\boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F}|$

د . $|\boldsymbol{r} \times \boldsymbol{r}|$

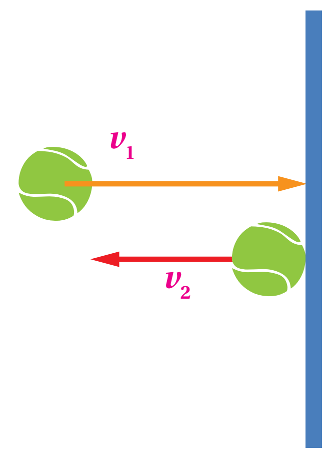
هـ. $\boldsymbol{F} \cdot \boldsymbol{r}$

5. **أستخدمُ الأرقامَ:** انطلقَتْ نورُ منْ منزلِها سيرًا على الأقدامِ، وقطعَتْ مسافةَ 400 m باتجاهِ الغربِ، ثمَّ اتجهَتْ شمالًا، وقطعَتْ مسافةَ 200 m لتصلَ منزلَ صديقتِها. إذا أرادَتْ نورُ العودةَ مباشرةً إلى منزلِها بخطٍّ مستقيمٍ، فكمْ مترًا يجبُ أنْ تسيرَ؟ في أيِّ اتجاهٍ يتعيَّنُ عليْها السيرُ حتّى تصلَ منزلَها؟

6. ثلاثةُ مُتَّجِهاتٍ للسرعةِ تُشكِّلُ مثلثًا مغلقًا، كما في الشكلِ المجاورِ.
أَجِدُ:
أ . $\boldsymbol{v}_1 + \boldsymbol{v}_2$
ب. محصلةَ المُتَّجِهاتِ الثلاثةِ.

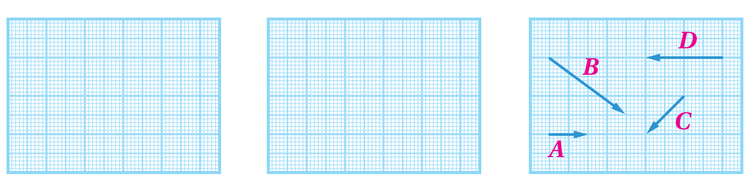


7. أَستخدمُ الأرقامَ: صوَّبَتْ سارةُ كرةَ تنسٍ أفقيًّا نحوَ جدارٍ عموديٍّ، فاصطدمَتْ بِهِ بسرعةٍ أفقيةٍ $\boldsymbol{v}_1$ مقدارُها 10 m/s باتجاهِ الشرق، كما في الشكلِ المجاورِ، فارتدّتْ أفقيًّا نحوَ الغربِ بسرعةٍ $\boldsymbol{v}_2$ مقدارُها 7 m/s.
أَجِدُ التغيُّرَ في سرعةِ الكرةِ $(\Delta \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_2 - \boldsymbol{v}_1)$.



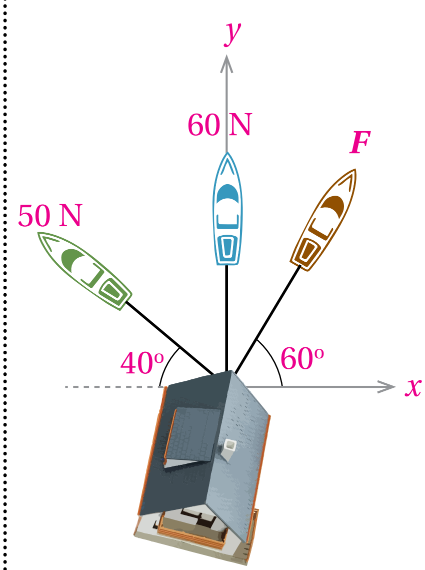
8. أَستنتجُ: مقدارَ الزاويةِ بينَ المُتَّجِهيْنِ: $\boldsymbol{A}$ وَ $\boldsymbol{B}$ في الحالتيْنِ الآتيتيْنِ:
أ . $|\boldsymbol{A} \times \boldsymbol{B}| = AB$
ب. $\boldsymbol{A}.\boldsymbol{B} = AB$

9. يبين الشكل أربع متجهات $(\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}, \boldsymbol{C}, \boldsymbol{D})$، حيثُ يُمثِّلُ كلُّ خمسِ مربعاتٍ صغيرةٍ في الرسمِ وحدةً واحدةً (1u).
أستخدم الطريقة البيانية لحساب الآتي:
أ . محصلة المتجهات الأربعة.
ب. $2\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B} - \boldsymbol{C} + 1.5\boldsymbol{D}$



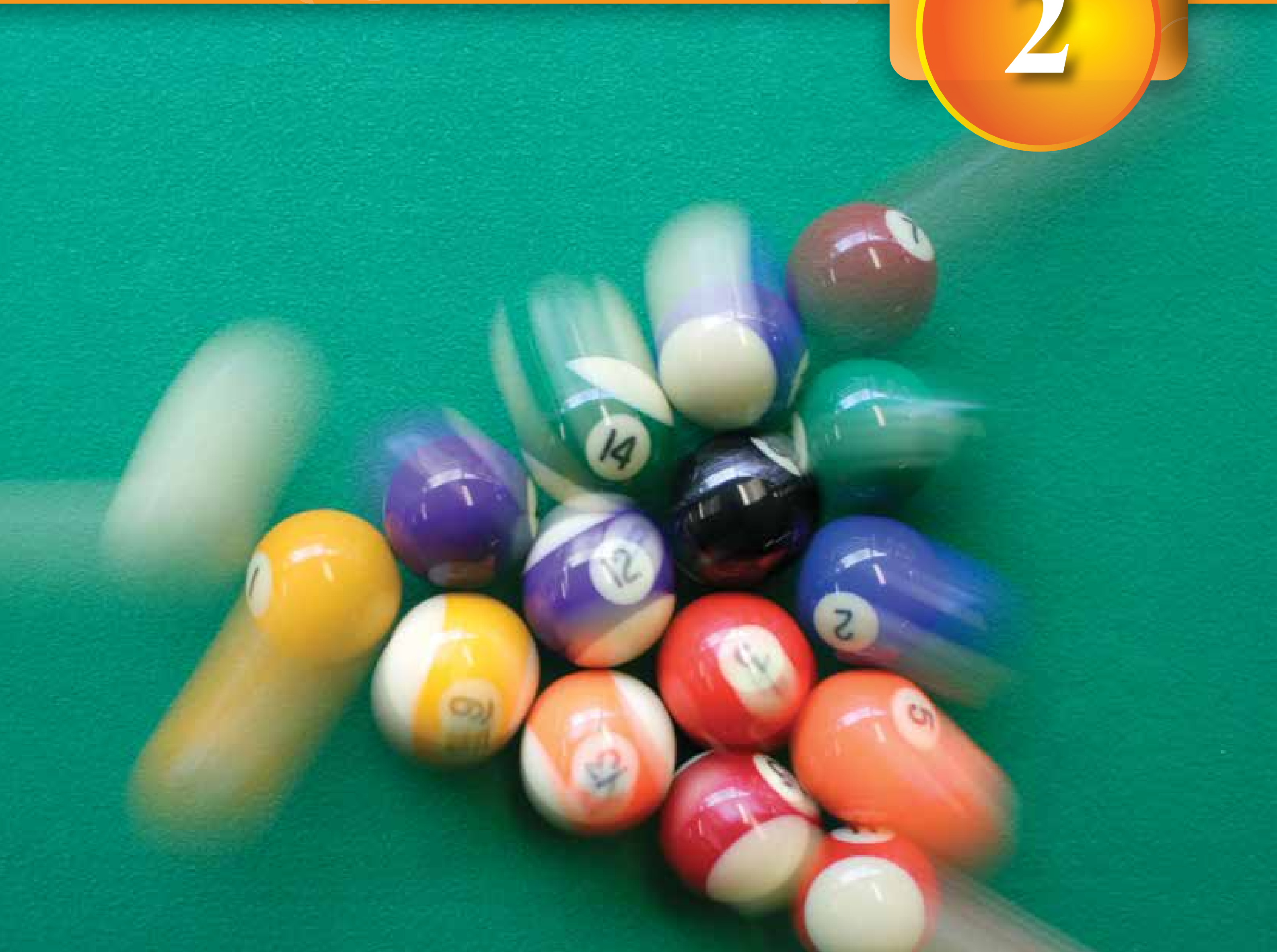
$2\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B} - \boldsymbol{C} + 1.5\boldsymbol{D}$ المحصلةُ $\boldsymbol{R}$

10. أَستخدمُ الأرقامَ: ثلاثةُ قواربَ، كلٌّ منْها يُؤثِّرُ بقُوَّةٍ في منزلٍ عائمٍ على الماءِ لسحبِهِ، كما في الشكلِ المجاورِ. إذا تحرَّكَ المنزلُ باتجاهِ محورِ $(+y)$، فأَجِدُ:
أ . مقدارَ القُوَّةِ $\boldsymbol{F}$.
ب. مقدارَ محصلةِ القوى الثلاثِ، مُحدِّدًا اتجاهَها.



الوحدةُ 2

الحركةُ والقُوى
Motion and Forces



أتأمَّلُ الصورةَ

يُرتِّبُ اللاعبُ كراتَ البلياردو على شكلِ مثلثٍ، ثمَّ يبدأُ اللعبَ مُستعمِلًا عصًا خاصةً بضربِ الكرةِ البيضاءِ نحوَ هذا التجمُّعِ، فتتحرَّكُ كراتُ البلياردو في اتجاهاتٍ مُتعدِّدةٍ، غيرَ أنَّ كلَّ كرةٍ تتحرَّكُ وحدَها على خطٍّ مستقيمٍ. فهلْ يُمكِنُ وصفُ حركةِ كلِّ كرةٍ بأنَّها منتظمةٌ؟

الفكرةُ العامةُ:

لدراسةِ حركةِ أيِّ جسمٍ، سواءٌ أكانَ قريبًا حولَنا أمْ بعيدًا في الفضاءِ، يتعيَّنُ عليْنا أنْ نصفَ مكانَ وجـودِهِ الآنَ، والمكانَ الذي وُجِدَ فيـهِ قديمًا، وأينَ سيكونُ بعدَ زمنٍ.

الدرسُ الأولُ: الحركةُ في بُعْدٍ واحدٍ

الفكرةُ الرئيسةُ: الحركةُ في بُعْدٍ واحدٍ تعني أنَّ الجسمَ يتحـرَّكُ على خـطٍّ مستقيـمٍ، في اتجـاهٍ واحدٍ، أوْ في اتجاهيْنِ متعاكسيْنِ.

الدرسُ الثاني: الحركةُ في بُعْديْنِ

الـفكرةُ الرئيسـةُ: الحركـةُ في بُعْـديْـنِ تعني أنَّ لسرعـةِ الجسمِ مُركَّبتيْنِ متعامدتيْنِ مـنْ دونِ اعتمادِ إحداهُما على الأُخرى.

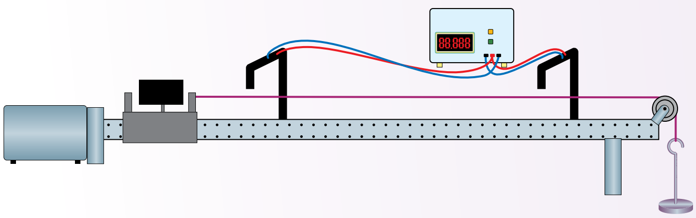
الدرس الثالث: قوانين الحركة لنيوتن

الفكرة الرئيسة: تُعدّ معرفتنا بقوانين نيوتن أساسًا لفهم بعض الظواهر الحركية، مثل القصور الذاتي والتسارع، وتأثير القـوى في حيـاتنـا وأنشطتنا المختلفة.

تجربة استهلالية

وصفُ الحركةِ باستخدامِ المَدْرجِ الهوائيِّ

الموادُّ والأدواتُ: مَدْرجٌ هوائيٌّ وملحقاتُهُ (بوّابتانِ ضوئيتانِ، بكرةٌ، خيطٌ، عدّادٌ زمنيٌّ رقميٌّ)، كتلتانِ: (50 g)، وَ (100 g).



إرشاداتُ السلامةِ:

الحذرُ منْ سقوطِ الأجسامِ والأدواتِ على القدمينِ.

خطواتُ العملِ:

1 أُجهِّزُ المَدْرجَ الهوائيَّ، وأُثبِّتُهُ بشكلٍ أفقيٍّ، ثمَّ أَصِلُ البوّابتيْنِ بالعدّادِ الزمنيِّ الرقميِّ على نحوٍ صحيحٍ.

2 أُثبِّتُ البكرةَ فوقَ طرفِ المَدْرجِ، ثمَّ أضعُ العربةَ على الطرفِ البعيدِ، وأربطُها بخيطٍ، ثمَّ أُمرِّرُهُ فوقَ البكرةِ.

3 أُثبِّتُ البوّابتيْنِ الضوئيتيْنِ فوقَ المَدْرجِ، بحيثُ تكونُ إحداهُما عندَ موقعِ بدايةِ الحركةِ والأُخرى عندَ موقعِ نهايتِها.

4 أربطُ الطرفَ الحرَّ للخيطِ في الكتلةِ (50 g).

5 أُشغِّلُ مضخةَ الهواءِ، وأتركُ العربةَ لتتحركَ منْ نقطةِ البدايةِ.

6 **أُلاحِظُ** حركةَ العربةِ، والإزاحةَ التي تقطعُها، وأنظرُ قراءةَ العدّادِ الزمنيِّ الرقميِّ ثمَّ أدوِّنُها في الجدولِ.

7 **أقيسُ** المسافةَ بينَ البوّابتيْنِ الضوئيتيْنِ على طولِ المَدْرجِ، ثمَّ أُدَوِّنُ نتيجةَ القياسِ في الجدولِ.

8 أُكرِّرُ التجربةَ باستخدامِ الكتلةِ الأُخرى (100 g)، ثمَّ أُدَوِّنُ النتائجَ في الجدولِ.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. أَجِدُ الزمنَ الكليَّ لحركةِ العربةِ في حالِ استخدامِ كلِّ كتلةٍ.
2. أَجِدُ ناتجَ قسمةِ إزاحةِ العربةِ على زمنِ الحركةِ في كلٍّ منَ الحالتيْنِ (الناتجُ هوَ السرعةُ المتوسطةُ).
3. **أُقارِنُ** النتائجَ عندَ اختلافِ الكتلةِ المُعلَّقةِ.
4. **التفكيرُ الناقدُ:** إذا كانَتْ سرعةُ العربةِ الابتدائيةُ صفرًا، فهلْ يُمكِنُ معرفةُ سرعتِها النهائيةِ بناءً على سرعتِها المتوسطةِ؟

الحركةُ Motion

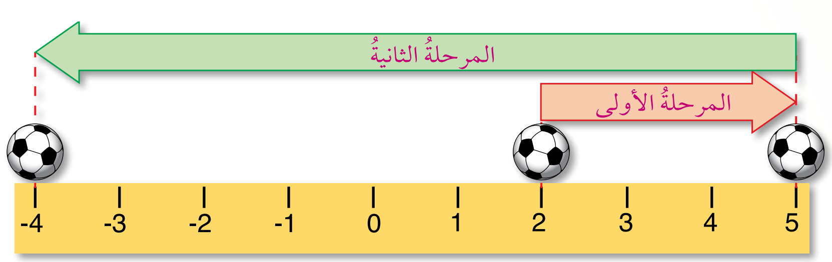
يوجدُ للحركةِ أشكالٌ مُتعدِّدةٌ، تُصنَّفُ ضمنَ ثلاثةِ مجالاتٍ رئيسةٍ، هيَ: الحركةُ في بُعْدٍ واحدٍ، والحركةُ في بُعْديْنِ، والحركةُ في ثلاثةِ أبعادٍ. وسندرسُ في هذهِ الوحدةِ الحركةَ في بُعْدٍ واحدٍ، والحركةَ في بُعْديْنِ.

الموقعُ والإزاحةُ Position and Displacement

عندَ تحديدِ موقعِ Position جسمٍ يُرادُ وصفُ حالتِهِ الحركيةِ، فإنَّنا نعتمدُ على أجسامٍ أُخرى قربَهُ، أوْ نعتمدُ نظامَ إحداثياتٍ متعامدةٍ ونقطةَ إسنادٍ Reference point مُحدَّدةً يُنسَبُ إليْها موقعُ هذا الجسمِ. ويُطلَقُ على نظامِ الإحداثياتِ ونقطةِ الإسنادِ اسمُ الإطارِ المرجعيِّ للحركةِ.

سنبدأُ بدراسةِ الحركةِ في بُعْدٍ واحدٍ. فمثلًا، قدْ يتحرَّكُ الجسمُ في خطٍّ مستقيمٍ على محورِ (x) في اتجاهٍ واحدٍ، أوْ في اتجاهيْنِ متعاكسيْنِ، أنظرُ الشكلَ (1) الذي يُوضِّحُ حركةَ كرةٍ في بُعْدٍ واحدٍ على محورِ (x).

نُعبِّرُ عنْ موقعِ الكرةِ بالنسبةِ إلى نقطةِ الإسنادِ $(x = 0)$، كما يأتي: إذا كانَ موقعُ الكرةِ على يمينِ نقطةِ الإسنادِ، فإنَّ (x) تكونُ موجبةً، في حينِ أنَّها تكونُ سالبةً إذا كانَ موقعُ الكرةِ على يسارِ تلكَ النقطةِ.



الشكلُ (1): الحركة في بعد واحد.

الفكرةُ الرئيسةُ:

الحركةُ في بُعْدٍ واحدٍ تعني أنَّ الجسمَ يتحرَّكُ على خطٍّ مستقيمٍ، في اتجاهٍ واحدٍ، أوْ في اتجاهيْنِ متعاكسيْنِ.

نتاجاتُ التعلُّمِ:

- أُمثِّلُ المُتغيِّراتِ المُتعلِّقةَ بوصفِ الحركةِ برسومٍ بيانيةٍ.
- أُفسِّرُ رسومًا بيانيةً تتعلَّقُ بوصفِ الحركةِ.
- أُوضِّحُ معادلاتِ الحركةِ في الميكانيكا، وأستخدمُها في حلِّ المسائلِ.
- أستقصي أهميةَ التطبيقاتِ الحياتيةِ للحركةِ في بُعْدٍ واحدٍ.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

الحركةُ المنتظمةُ Uniform Motion.
السرعةُ القياسيةُ Speed.
السرعةُ المُتَّجِهةُ Velocity.
السرعةُ المُتَّجِهةُ المتوسطةُ Average Velocity.
السرعةُ المُتَّجِهةُ اللحظيةُ Instantaneous Velocity.
التسارُعُ Acceleration.
تسارُعُ السقوطِ الحرِّ Free Fall Acceleration.

لوصفِ حركةِ الكرةِ، يجبُ أولًا تعرُّفُ مفهومِ الإزاحةِ Displacement (Δx)، وهيَ الفرقُ بينَ مُتَّجِهِ موقعِ الكرةِ النهائيِّ (x_f) ومُتَّجِهِ موقعِها الابتدائيِّ (x_i)، وذلكَ باستخدامِ العلاقةِ:

$$\Delta x = x_f - x_i$$

في المرحلةِ الأولى منَ الحركةِ انتقلَتِ الكرةُ منَ الموقعِ $x_i = 2$ m إلى الموقعِ $x_f = 5$ m؛ لذا تكونُ إزاحةُ الكرةِ:

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

ومنَ المُلاحَظِ أنَّ إشارةَ الإزاحةِ موجبةٌ؛ ما يعني أنَّ الكرةَ تحرَّكَتْ في اتجاهِ محورِ (x) الموجبِ.

أمّا إزاحةُ الكرةِ في المرحلةِ الثانيةِ منَ الحركةِ، فهيَ:

$$(\Delta x)_2 = -4 - 5 = -9 \text{ m}$$

والإشارةُ السالبةُ تعني أنَّ الكرةَ تحرَّكَتْ في اتجاهِ محورِ (x) السالبِ.

يُمكِنُ حسابُ الإزاحةِ الكليةِ للكرةِ مباشرةً بإيجادِ الفرقِ بينَ موقعَيِ الكرةِ الابتدائيِّ والنهائيِّ كما يأتي:

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

وهذا يُمثِّلُ حاصلَ جمعِ الإزاحتَيْنِ لمرحلتَيِ الحركةِ الأولى والثانيةِ:

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

يُمكِنُ أيضًا وصفُ حركةِ الكرةِ باستخدامِ مفهومِ المسافةِ Distance، وهيَ كميةٌ قياسيةٌ قيمتُها تُساوي طولَ المسارِ الفعليِّ الذي اتَّبعَهُ الجسمُ، ويُرمَزُ إليْها بالرمزِ (S). يَتبيَّنُ منَ الشكلِ (1) أنَّ المسافةَ الكليةَ التي قطعَتْها الكرةُ هيَ المسافةُ المقطوعةُ في المرحلةِ الأولى ($S_1 = 3$ m)، مضافًا إليها المسافةُ المقطوعةُ في المرحلةِ الثانيةِ ($S_2 = 9$ m)، وهيَ:

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

✓ **أتحقَّقُ:** فيمَ تختلفُ المسافةُ التي قطعَتْها الكرةُ عنِ الإزاحةِ التي أحدثَتْها في هذهِ الحركةِ؟ أيُّهُما أكبرُ: المسافةُ أمْ مقدارُ الإزاحةِ؟

أفكِّرُ: هلْ يستطيعُ جسمٌ مُتحرِّكٌ أنْ يُغيِّرَ موقعَهُ أكثرَ منْ مرَّةٍ بحيثُ تكونُ إزاحتُهُ صفرًا؟ أُوضِّحُ إجابتي.

السرعة القياسية والسرعة المتجهة Speed and Velocity

السرعةُ القياسيةُ المتوسطةُ Average Speed

يُمكِنُ وصفُ الحركةِ باستخدامِ مفهومِ **السرعةِ القياسيةِ المتوسطةِ** **Average speed** ($\overline{v}_s$)، التي تُحسَبُ بقسمةِ طولِ المسارِ الفعليِّ الذي يقطعُهُ الجسمُ (S) على الزمنِ الكليِّ للحركةِ (Δt):

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

تقاسُ السرعةُ بوحدةِ (m/s) بحسبِ النظامِ الدوليِّ لوحداتِ القياسِ.

ولأنَّ المسافةَ كميةٌ لا اتجاهَ لها فإنَّ السرعةَ القياسيةَ أيضًا ليسَ لها اتجاهٌ. فمثلًا، الطائرةُ التي تصلُ إلى دولةِ قَطَرَ منْ عمّانَ في ثلاثِ ساعاتٍ وربعِ الساعةِ، وتقطعُ مسافةَ (2600 km)، وتُغيِّرُ مقدارَ سرعتِها واتجاهَ طيرانِها مرّاتٍ عِدَّةً، في هذهِ الأثناءِ، يُمكِنُ حسابُ سرعةِ الطائرةِ القياسيةِ المتوسطةِ بقسمةِ المسافةِ التي قطعَتْها على زمنِ الطيرانِ، فيكونُ الناتجُ (800 km/h).

السرعةُ المُتَّجِهةُ المتوسطةُ Average Velocity

تعتمدُ **السرعةُ المُتَّجِهةُ المتوسطةُ** **Average velocity** للجسمِ على إزاحتِهِ، وعلى الزمنِ اللازمِ لحدوثِ تلكَ الإزاحةِ، ويُرمَزُ إليها بالرمزِ ($\overline{v}$)، وتُحسَبُ بقسمةِ الإزاحةِ الكليةِ للجسمِ على الزمنِ الكليِّ اللازمِ لقطعِ الإزاحةِ:

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

يُذْكَرُ أنَّ السرعةَ المتوسطةَ تُحسَبُ خلالَ مدَّةٍ زمنيةٍ (Δt)، سواءٌ أكانَتْ هذهِ السرعةُ قياسيةً أمْ مُتَّجِهةً.

أتحقَّقُ: أُقارنُ بينَ السرعةِ القياسيةِ المتوسطةِ والسرعةِ المتجهةِ المتوسطةِ من حيثُ: وحدةُ القياسِ، الاتجاهُ، رمزُ كلٍّ منهُما.

المثال 1

قطعَ فراسٌ بدرّاجتِهِ مسافةَ (645 m) في مدَّةٍ زمنيةٍ مقدارُها (86 s). أَجِدُ سرعتَهُ القياسيةَ المتوسطةَ.

المعطياتُ: $S = 645$ m، $\Delta t = 86$ s

المطلوبُ: $\overline{v} = ?$

الحلُّ:

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

السرعةُ المُتَّجِهةُ اللحظيةُ Instantaneous Velocity

إنَّ قراءةَ عدّادِ السرعةِ في السيارةِ عندَ لحظةٍ معينةٍ تُمثِّلُ **السرعةَ القياسيةَ اللحظيةَ Instantaneous speed**، كما في الشكلِ (2). وعندَ تحديدِ اتجاهِ هذهِ السرعةِ، فإنَّها تُسمّى **السرعةَ المُتَّجِهةَ اللحظيةَ Instantaneous velocity**، ويُرمَزُ إليْها بالرمزِ (v). فمثلًا، إذا كانَ اتجاهُ حركةِ السيارةِ المُبيَّنِ عدّادُ سرعتِها في الشكلِ (2) نحوَ الشمالِ، فإنَّ سرعتَها المُتَّجِهةَ اللحظيةَ هيَ 90 km/h شمالًا.

وإذا كانَتِ السرعةُ المُتَّجِهةُ (أوِ القياسيةُ) اللحظيةُ ثابتةً، فإنَّها تساوي السرعةَ المُتَّجِهةَ (أوِ القياسيةَ) المتوسطةَ دائمًا. وعندما يتحرَّكُ الجسمُ بسرعةٍ متجهة ثابتةٍ توصَفُ حركتُهُ بأنَّها **حركة منتظمة uniform motion**. نشيرُ إلى أنَّ كلمةَ (سرعةٌ) تعني السرعةَ المُتَّجِهةَ أينَما وردَتْ في هذا الكتابِ.

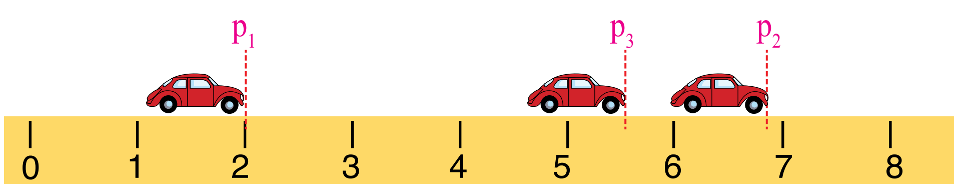
الشكلُ (2): السرعةُ اللحظيةُ.

.uniform motion

✓ **أتحقَّقُ:** ما الشرطُ الواجبُ توافُرُهُ في الحركةِ في بُعْدٍ واحدٍ لكيْ تتساوى السرعةُ المُتَّجِهةُ المتوسطةُ معَ السرعةِ اللحظيةِ؟

المثالُ 2

وُضِعَتْ لُعْبَةُ سيارةٍ على محورِ (x)، على بُعْدِ (2 m) منْ نقطةِ الأصلِ في الاتجاهِ الموجبِ، ثمَّ حُرِّكَتْ في الاتجاهِ الموجبِ فأصبحَتْ على بُعْدِ (6.8 m) على المحورِ نفسِهِ، ثمَّ حُرِّكَتْ في الاتجاهِ السالبِ فأصبحَتْ على بُعْدِ (5.6 m)، كما في الشكلِ (3). إذا علمْتُ أنَّ الزمنَ الكليَّ للحركةِ هوَ (15 s)، فأَجدُ للعبةِ السيارةِ:



الشكلُ (3): حركةُ لعبةِ السيارةِ.

أ . المسافةَ الكليةَ التي قطعَتْها.

ب. الإزاحةَ الكليةَ.

جـ. السرعةَ القياسيةَ المتوسطةَ.

د . السرعةَ المُتَّجِهةَ المتوسطةَ.

المعطياتُ: $x_1 = 2.0\ m$ ، $x_2 = 6.8\ m$ ، $x_3 = 5.6\ m$ ، $(\Delta t = 15\ s)$.

المطلوبُ: $S = ?\ ,\ \Delta x = ?\ ,\ \bar{v}_s = ?\ ,\ \bar{v} = ?$.

الحلُّ:

أ . المسافةُ الكليةُ التي قطعَتْها لعبةُ السيارةِ تساوي مجموعَ المسافتيْنِ: S_1، و S_2:

$$S = S_1 + S_2 = (6.8 - 2.0) + |5.6 - 6.8| = 4.8 + 1.2 = 6.0\ m$$

ب . الإزاحةُ الكليةُ للعبةِ السيارةِ تساوي الفرقَ بينَ مُتَّجِهَي الموقعيْنِ؛ الابتدائيِّ، والنهائيِّ:

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

جـ . السرعةُ القياسيةُ المتوسطةُ للعبةِ السيارةِ:

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

د . السرعةُ المُتَّجِهةُ المتوسطةُ للعبةِ السيارةِ:

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

يُلاحَظُ أنَّ الإزاحةَ والسرعةَ المُتَّجِهةَ المتوسطةَ موجبةٌ؛ ما يعني أنّهما في اتجاهِ محورِ (x) الموجبِ، وأنَّهُ لا يوجدُ اتجاهٌ للمسافةِ والسرعةِ القياسيةِ المتوسطةِ.ش

أبحثُ:

نعتمد في حياتنا اليومية على نظام الملاحة العالمي (GPS) ونستخدم تطبيقات الخرائط في هواتفنا الذكية، للوصول إلى وجهتنا بدقة. أبحث في مصادر المعرفة،وأصمم عرضا تقديميا أوضح فيه ماذا تعني الأحرف (GPS)؟ ما الكميات الفيزيائية التي يحسبها؟ وكيف يساعدنا في الوصول إلى وجهتنا؟

التسارُعُ الثابتُ Constant Acceleration

لتوضيحِ مفهومِ **التسارُعِ Acceleration**، أُنْعِمُ النظرَ في الجدولِ (1)، الذي يُبيِّنُ السرعاتِ المُتَّجِهةَ اللحظيةَ (v) لسيارتيْنِ تتحرَّكانِ في اتجاهِ محورِ (x) الموجبِ في الأوقاتِ الزمنيةِ المُحدَّدةِ.

يُلاحَظُ أنَّ سرعةَ السيارةِ الأولى ثابتةُ المقدارِ عندَ القيمةِ (4.0 m/s)، وكذلكَ اتجاهُها؛ ما يعني أنَّها لا تتسارعُ، أمّا سرعةُ السيارةِ الثانيةِ فمُتغيِّرةُ المقدارِ، بحيثُ تزدادُ (2 m/s) في أثناءِ كلِّ ثانيةٍ منْ زمنِ الحركةِ؛ ما يعني أنَّها تتسارعُ.

يُذْكَرُ أنَّ **التسارُعَ المتوسطَ Average acceleration** كميةٌ مُتَّجِهةٌ تُعطى بناتجِ قسمةِ التغيُّرِ في السرعةِ اللحظيةِ (Δv) على المدَّةِ الزمنيةِ اللازمةِ لإحداثِ التغيُّرِ في السرعةِ:

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

يقاس التسارع بوحدة m/s^2، ويكون اتجاه التسارع المتوسط دائما في نفسِ اتجاهِ التغيُّرِ في السرعةِ اللحظيةِ Δv، أمّا التسارُعُ اللحظيُّ (a) فيُعرَفُ عندَ لحظةٍ زمنيةٍ مُحدَّدةٍ. وسيقتصرُ الحديثُ هنا على التسارُعِ الثابتِ؛ حيثُ يتساوى التسارُعُ المتوسطُ والتسارُعُ اللحظيُّ ($\bar{a} = a$).

أُفكِّرُ: عندما تزدادُ سرعةُ السيارةِ بمقدارِ (2 m/s) في كلِّ ثانيةٍ يكونُ التسارُعُ ثابتًا. كيفَ يكونُ تسارُعُ السيارةِ غيرَ ثابتٍ؟

أستخدمُ برنامجَ الجداولِ الإلكترونيةِ (Microsoft Excel) لتمثيلِ البياناتِ في الجدولِ (1) بمخططٍ بيانيٍّ خطي.

الجدولُ (1) السرعةُ الثابتةُ، والسرعةُ المُتغيِّرةُ.

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

المثالُ 3

بناءً على قيمِ الزمنِ والسرعةِ الواردةِ في الجدولِ (1)، أَجِدُ التسارُعَ المتوسطَ لكلٍّ منَ السيارتيْنِ خلالَ المدَّةِ الزمنيةِ منْ $(t_2 = 1s)$ إلى $(t_3 = 2s)$.

المعطياتُ: الجدولُ.

المطلوبُ: $\bar{a} = ?$.

الحلُّ:

التسارُعُ المتوسطُ للسيارةِ الأولى:

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

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

التسارُعُ المتوسطُ للسيارةِ الثانيةِ:

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

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

يُلاحَظُ أنَّ التسارُعَ المتوسطَ للسيارةِ الأولى صفرٌ؛ لأنَّ سرعتَها اللحظيةَ لمْ تتغيَّرْ، وأنَّ السيارةَ الثانيةَ تتحرَّكُ بتسارُعٍ متوسطٍ ثابتِ المقدارِ والاتجاهِ (2 m/s^2) في اتجاهِ محورِ (x) الموجبِ؛ لذا تتغيَّرُ سرعتُها المُتَّجِهةُ اللحظيةُ باستمرارٍ.

المثالُ 4

تحرَّكَ قطارٌ نحوَ الشرقِ في اتجاهِ محورِ $(+x)$ بسرعةٍ مُتغيِّرةِ المقدارِ، وقدْ رُصِدَتْ سرعتُهُ الابتدائيةُ عندَ اللحظةِ $(t = 2 \text{ s})$، فكانَتْ (12 m/s)، ثمَّ رُصِدَتْ سرعتُهُ النهائيةُ عندَ اللحظةِ $(t = 38 \text{ s})$، فكانَتْ (30 m/s). أَجِدُ مقدارَ التسارُعِ المتوسطِ الذي تحرَّكَ بِهِ القطارُ خلالَ هذهِ المدَّةِ، مُحدِّدًا اتجاهَهُ.

المعطياتُ: $v_i = 12 \text{ m/s}$ ، $v_f = 30 \text{ m/s}$، $t_i = 2 \text{ s}$ ، $t_f = 38 \text{ s}$.

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

الحلُّ:

$$\bar{a} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

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

يُلاحَظُ أنَّ التغيُّرَ في السرعةِ المُتَّجِهةِ اللحظيةِ (Δv) موجبٌ؛ أيْ في اتجاهِ الشرقِ؛ لذا يكونُ اتجاهُ التسارُعِ المتوسطِ نحوَ الشرقِ ($+x$)، ويتضحُ ذلكَ منْ إشارةِ التسارُعِ المتوسطِ الموجبةِ.

المثالُ 5

انطلقَ سامرٌ بزلّاجتِهِ بسرعةٍ ابتدائيةٍ ($2.4\ m/s$) باتجاهِ الشرقِ، وبعدَ مُدّةٍ زمنيةٍ مقدارُها ($3.0\ s$) توقَّفَتِ الزلّاجةُ عنِ الحركةِ. أَجِدُ مقدارَ التسارُعِ المتوسطِ للزلّاجةِ، مُحدِّدًا اتجاهَهُ.

المعطياتُ: $v_i = 2.4\ m/s$ ، $v_f = 0\ m/s$ ، $\Delta t = 3.0\ s$.

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

الحلُّ:

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

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

يُلاحَظُ أنَّ إشارةَ التسارُعِ المتوسطِ سالبةٌ؛ ما يعني أنَّ اتجاهَهُ نحوَ الغربِ؛ أيْ أنَّ اتجاهَ التسارُعِ بعكسِ اتجاهِ السرعةِ، وفي مثلِ هذهِ الحالةِ تكونُ الحركةُ بتباطُؤٍ.

بالنظرِ إلى المثاليْنِ السابقيْنِ، نجدُ أنَّ تسارُعَ الأجسامِ يكونُ في حالتيْنِ، هما:

الحالةُ الأولى: تكونُ الأجسامُ متسارعةً عندما تتشابهُ إشارةُ التسارُعِ معَ إشارةِ السرعةِ؛ فتكونُ الإشارتانِ موجبتيْنِ؛ فيكونُ كلٌّ منَ السرعةِ والتسارُعِ باتجاهِ $+x$، أوْ سالبتيْنِ؛ فيكونُ كلٌّ منَ السرعةِ والتسارُعِ باتجاهِ $x-$.

الحالةُ الثانيـةُ: تكونُ الأجسامُ متباطئةً عندما تختلفُ إشارةُ التسارُعِ عنْ إشارةِ السرعةِ؛ فتكونُ إحداهُما موجبةً والأُخرى سالبةً.

المثالُ 6

تحرَّكَتْ كرةُ تنسٍ أرضيٍّ في اتجاهِ الشرقِ معَ محورِ $(+x)$ بسرعةِ $(40\ \text{m/s})$. وفي أثناءِ مدَّةٍ زمنيةٍ مقدارُها $(\Delta t = 0.05\ \text{s})$ ارتدَّتِ الكرةُ نحوَ الغربِ معَ محورِ $(-x)$ بسرعةِ $(40\ \text{m/s})$، كما في الشكلِ (4). أَجِدُ مقدارَ تسارُعِ الكرةِ في أثناءِ هذهِ المدَّةِ، مُحدِّدًا اتجاهَهُ.

المعطياتُ: $v_i = +40\ \text{m/s}$ ، $v_f = -40\ \text{m/s}$ ، $\Delta t = 0.8\ \text{s}$

المطلوبُ: $\bar{a} = ?$

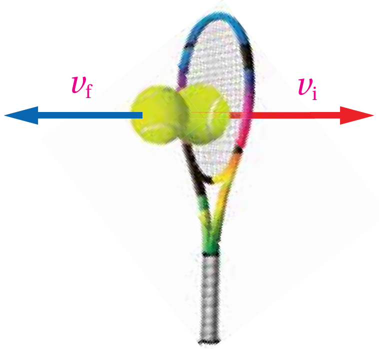
الحلُّ:

سرعةُ الكرةِ الابتدائيةُ موجبةٌ، وسرعتُها النهائيةُ سالبةٌ:

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

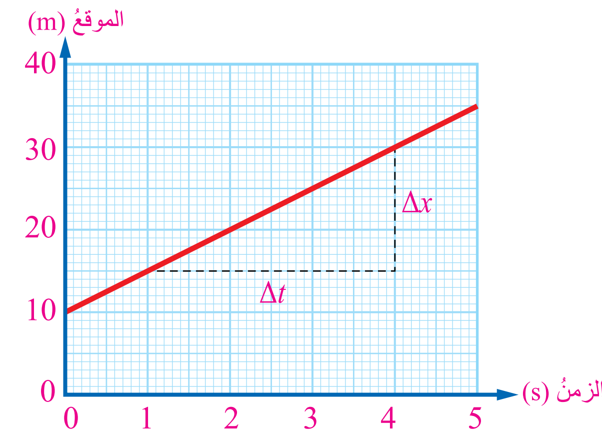
$$\bar{a} = \frac{-40 - 40}{0.05} = \frac{-80}{0.05} = -1600\ \text{m/s}^2$$

يُلاحَظُ أنَّ تسارُعَ الكرةِ سالبٌ؛ ما يعني أنَّهُ في اتجاهِ محورِ $(-x)$.



الشكلُ (4): ارتدادُ الكرةِ بعدَ تصادُمِها معَ المَضرِبِ.

أتحقَّقُ: بدأَتْ طائرةٌ السيرَ على مَدْرجِ المطارِ منْ وضعِ السكونِ، بحركةٍ أفقيةٍ في خطٍّ مستقيمٍ، فأصبحَتْ سرعتُها $(80\ \text{m/s})$ بعدَ مرورِ مدَّةٍ زمنيةٍ مقدارُها $(t = 32\ \text{s})$. أَجِدُ مقدارَ التسارُعِ المتوسطِ للطائرةِ في أثناءِ تلكَ المدَّةِ، ثمَّ أُحدِّدُ اتجاهَهُ نسبةً إلى اتجاهِ السرعةِ.



الشكلُ (5): منحنى الموقعِ - الزمنِ.

تمثيلُ الحركةِ بيانيًّا Graphical Representation of Motion

منحنى الموقعِ- الزمنِ Position-Time Graph

عندَ تمثيلِ الحركةِ بيانيًّا، بحيثُ يُحدَّدُ محورُ (x) لتدريجِ الزمنِ، ومحورُ (y) لتدريجِ الموقعِ، فإنَّ هذهِ العلاقةَ البيانيةَ تصفُ التغيُّرَ في موقعِ الجسمِ بالنسبةِ إلى الزمنِ، أنظرُ الشكلَ (5). وبالرجوعِ إلى منحنى هذهِ العلاقةِ يُمكِنُ معرفةُ الموقعِ الذي يوجدُ فيهِ الجسمُ المتحرِّكُ نسبةً إلى نقطةِ الإسنادِ في أيِّ لحظةٍ زمنيةٍ، وتُمثِّلُ نقطةُ الإسنادِ عادةً عندَ (0,0) على الرسمِ.

يَتبيَّنُ منَ الشكلِ (5) أنَّ الجسمَ يقعُ على بُعْدِ (15 m) منْ نقطةِ الإسنادِ عندَ اللحظةِ ($t = 1$ s)، وأنَّهُ قدْ غيَّرَ موقعَهُ، فأصبحَ على بُعْدِ (30 m) عندَ اللحظةِ ($t = 4$ s)؛ لذا، فإنَّ إزاحتَهُ في أثناءِ المدَّةِ الزمنيةِ (Δt) هيَ:

$$\Delta x = x_f - x_i = 30 - 15 = 15 \text{ m}$$

حيثُ:

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

اعتمادًا على الشكلِ (5)، يُمكِنُ حسابُ ميلِ الخطِّ المستقيمِ الذي

الربط بالرياضيات

درسْتُ في مبحثِ الرياضياتِ أنَّ ميلَ الخطِّ المستقيمِ يُعطى بالعلاقةِ الآتيةِ:

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

يصلُ بينَ الموقعِ الابتدائيِّ للجسمِ $(x_i = 15\ m)$ عنـدَ الـزمنِ $(t = 1s)$ وموقعِهِ النهائيِّ $(x_f = 30\ m)$ عندَ الزمنِ $(t = 4s)$ كما يأتي:

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

يُلاحَظُ أنَّ وحـدةَ الميلِ هيَ (m/s)، وأنَّ هـذهِ الوحدةَ هيَ وحدةُ السرعــةِ وأنَّ ميلَ الخطِّ المستقيمِ في منحنى الموقـعِ – الزمنِ يُمثِّلُ السـرعةَ المُتَّجِهةَ المتوسطةَ $(\overline{v})$.

تجدرُ الإشارةُ إلى أنَّ منحنى الموقعِ – الزمنِ يكونُ خطًّا مستقيمًا عندَ الحركـةِ بسرعـةٍ ثابتةٍ؛ حيثُ التسارُعُ يساوي صفرًا، ولا يكـونُ المنحنى مستقيمًا عندَ الحركةِ بسرعةٍ مُتغيِّرةٍ؛ حيثُ التسارُعُ لا يساوي صفرًا.

✓ **أتحقَّقُ:** أَصِفُ شكلَ منحنى الموقعِ – الزمنِ لجسمٍ يتحرَّكُ بسرعةٍ ثابتةٍ؛ مقدارًا، واتجاهًا.

منحنى السرعةِ- الزمنِ Velocity-Time Graph

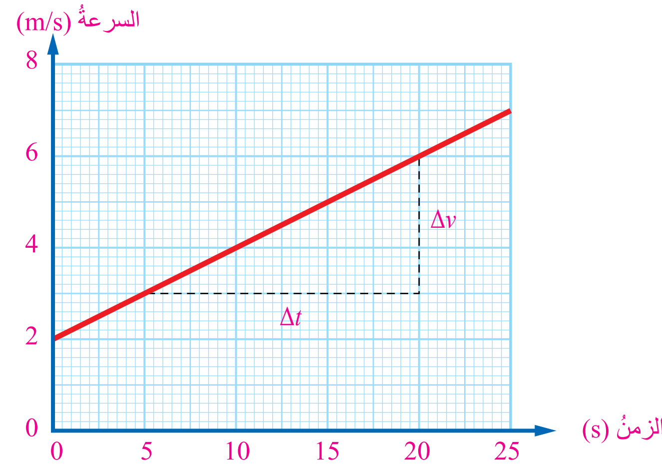
عندَ تمثيلِ الحركةِ بيانيًّا، بحيثُ يُحدَّدُ محورُ (x) لتدريجِ الزمنِ، ومحورُ (y) لتدريجِ السرعةِ، ثمَّ تمثيلِ العلاقةِ بينَ السرعةِ والزمنِ بيانيًّا، فإنَّ هذهِ العلاقةَ تصفُ التغيُّرَ في سرعةِ الجسمِ بالنسبةِ إلى الزمنِ، كما في الشكلِ (6)، وتُمكِّنُنا منْ معرفةِ سرعةِ الجسمِ عندَ أيِّ لحظةٍ زمنيةٍ، فضلًا عنْ حسابِ تسارُعِ الجسمِ منْ تحليلِ الرسمِ البيانيِّ.

بناءً على تعريفِ التسارُعِ المتوسطِ، فإنَّ:

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

الرّبط بالتكنولوجيا

الأنظمة التقليـدية لمراقبـة سـرعـة المركبات على الطـرق تعتمد عـلى قيـاس السرعـة اللحـظيـة للسيـارة في نقطة محددة، مما يـدفع بعض السائقين إلى تقليل السرعة أمام جهاز المراقبة (الكاميرا) فقط ثـم زيـادة السرعة بعدها. لكن الأنظمة الحديثة تعتمد على حساب السرعة المتوسطة خلال مسافة المراقبة؛ حيث تستخدم كاميـرا أولى تُسـجل وقـت دخول السيارة لمنطقة المراقبـة، وكاميـرا ثانية تُسجل وقت خروجـها من تلك المنطقـة، وتكون المسافـة بينهـما عدّة كيلومترات. ثم يحسـب النظام السرعـة المتوسطـة للسيارة بقسمة المسافة المقطوعة على الزمن. فإذا كان الزمن المستغرق أقل من القيمة المسمـوح بها قانونيـا لقطـع هـذه المسافة، ستكون سـرعة السيارة أكبر من السرعة المحددة، وهذا يعني أن السائق قد تجاوز السرعة المحددة في جزء ما من الطريق.



الشكلُ (6): منحنى السرعةِ – الزمنِ.

ما مقدارُ سرعةِ الجسمِ عندَ الثانيةِ (5 s)؟

نجدُ أنَّ مقدارَ التسارُعِ يساوي الميلَ. ولأنَّ الميلَ في الشكلِ (6) موجبٌ؛ فإنَّ التسارُعَ يكونُ موجبًا أيضًا، وتتشابهُ إشارتا السرعةِ والتسارُعِ (+ , +)؛ لذا يتسارعُ الجسمُ في الاتجاهِ الموجبِ.

يَتبيَّنُ منَ الشكلِ (6) أنَّ التسارُعَ يساوي الميلَ:

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

يُلاحَظُ أنَّ منحنى السرعةِ – الزمنِ خطٌّ مستقيمٌ، فيكونُ الميلُ في هذهِ الحالةِ ثابتًا، وكذلكَ التسارُعُ، ويكونُ $a = \bar{a}$.

يُستفادُ أيضًا منَ منحنى السرعةِ – الزمنِ في معرفةِ إزاحةِ الجسمِ، وذلكَ بإيجادِ المساحةِ تحتَ المنحنى؛ إذْ تساوي هذهِ المساحةُ حاصلَ ضربِ السرعةِ (وحدةُ قياسِها m/s) في المدَّةِ الزمنيةِ (وحدةُ قياسِها s)، فيُمثِّلُ حاصِلُ الضربِ الإزاحةَ (وحدةُ قياسِها $\frac{\text{m}}{\text{s}} \times \text{s} = \text{m}$)؛ أيْ أنَّ الإزاحةَ تساوي عدديًّا المساحةَ المحصورةَ تحتَ المنحنى.

أتحقَّقُ: كيفَ أُحدّدُ ما إذا كانَ الجسمُ يتسارعُ أمْ يتباطأُ منْ منحنى (السرعة – الزمن)؟

المثالُ 7

في تجربةٍ لدراسةِ حركةِ عربةٍ صغيرةٍ في المختبرِ، كانَتِ النتائجُ كما في الجدولِ الآتي:

الزمنُ (s):	0	5	10	15	20	25
السرعةُ (m/s):	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.0

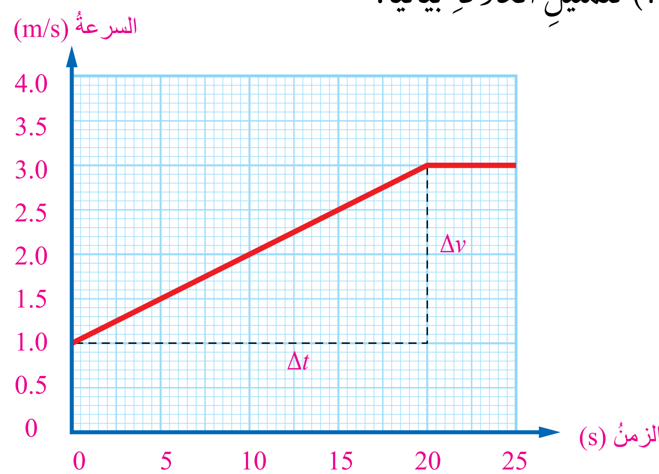
أُمثِّلُ القيمَ التي في الجدولِ بيانيًّا، ثمَّ أستنتجُ منَ المنحنى تسارُعَ العربةِ في أثناءِ المدَّةِ الزمنيةِ منْ (0 s) إلى (20 s).

المعطياتُ: قراءاتُ الزمنِ، قراءاتُ السرعةِ.

المطلوبُ: رسمُ منحنى العلاقةِ بينَ السرعةِ والزمنِ، إيجادُ التسارُعِ المتوسطِ.

الحلُّ:

رسمُ الشكلِ (7) لتمثيلِ العلاقةِ بيانيًّا.



الشكلُ (7): منحنى السرعةِ - الزمنِ.

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

تمرينٌ

أَجِدُ المساحةَ المحصورةَ بينَ المنحنى والمحورِ الأفقيِّ (محورُ الزمنِ) بينَ اللحظتيْنِ ($t = 0$ s, $t = 25$ s) في المثالِ السابقِ. ماذا تمثلُ المساحةَ التي حسبتُها؟

معادلاتُ الحركةِ Equations of Motion

تعرَّفْتُ وصفَ الحركةِ في بُعدٍ واحِدٍ باستخدامِ مفهومِ الإزاحةِ، والسرعةِ، والتسارُعِ، ثمَّ وصفَها بيانيًّا، لوصفِ حركةِ الأجسامِ بتسارُعٍ ثابتٍ في خطٍّ مستقيمٍ تُستخدَمُ ثلاثُ معادلاتٍ رياضيةٍ.

ملحوظةٌ: موضوعُ الاشتقاقِ الرياضيِّ لمعادلاتِ الحركةِ منْ موضوعاتِ المطالعةِ الذاتيةِ.

• المعادلةُ الأولى

يمكنُ حسابُ التسارُعِ الثابتِ (a) باستخدامِ العلاقةِ الآتيةِ:

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

حيثُ تُمثِّلُ Δt المدَّةَ الزمنيةَ التي حدثَ خلالَها التغيُّرُ في السرعةِ.
ولكنْ، عندما يكونُ زمنُ البدايةِ $(t_i = 0)$، فإنَّ:
$(\Delta t = t)$ عندئذٍ يُمكِنُ كتابةُ العلاقةِ بالصورةِ الآتيةِ:

$$v_f - v_i = at$$

$$v_f = v_i + at \quad \text{.......................................} \quad (1)$$

• المعادلةُ الثانيةُ

يُمكِنُ معرفةُ السرعةِ المُتَّجِهةِ المتوسطةِ $(\bar{v})$ في حالةِ التسارُعِ الثابتِ، بإيجادِ المتوسطِ الحسابيِّ للسرعةِ الابتدائيةِ والسرعةِ النهائيةِ:

$$\bar{v} = \frac{v_f + v_i}{2}$$

تُعطى السرعةُ المُتَّجِهةُ المتوسطةُ بدلالةِ الإزاحةِ الكليةِ للجسمِ منَ العلاقةِ الآتيةِ:

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

بالمساواةِ بينَ العلاقتيْنِ السابقتيْنِ، تنتجُ العلاقةُ الآتيةُ:

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v_f + v_i)t$$

بتعويضِ قيمةِ السرعةِ النهائيةِ (v_f) منَ المعادلةِ الأولى، تنتجُ العلاقةُ الآتيةُ:

$$\Delta x = v_i t + \frac{1}{2}at^2 \quad \text{..........................} \quad (2)$$

- **المعادلةُ الثالثةُ**

بناءً على العلاقةِ الخاصةِ بالسرعةِ المُتَّجِهةِ المتوسطةِ، فإنَّ:

$$\frac{\Delta x}{t} = \frac{v_f + v_i}{2}$$

وبناءً على المعادلةِ الأولى في الحركةِ، فإنَّ:

$$v_f - v_i = at$$

بتعويضِ قيمةِ (t) منْ إحدى العلاقتيْنِ في الأُخرى، نتوصل إلى أن:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x \quad \text{......................} \quad (3)$$

✓ **أتحقَّقُ:** متى يُمكنني استخدام معادلات الحركة الثلاث السابقة؟

المثالُ 8

انطلقَتْ نسرينُ بدرّاجتِها الهوائيةِ منْ وضعِ السكونِ بسرعةٍ أفقيةٍ في خطٍّ مستقيمٍ، وبتسارُعٍ ثابتٍ مقدارُهُ $(5\ m/s^2)$. لمدةٍ زمنيةٍ $(6.4\ s)$. أجدُ:

أ . السرعةَ النهائيةَ للدراجة عندَ نهايةِ هذِهِ المدّةِ.

ب. الإزاحةَ الكليةَ التي قطعَتْها الدرّاجةُ خلال هذه المدّة.

المعطياتُ: $v_i = 0\ m/s$ ، $a = 5\ m/s^2$ ، $t = 6.4\ s$

المطلوبُ: $v_f = ?$ ، $\Delta x = ?$

الحلُّ:

أ . لإيجادِ السرعةِ النهائيةِ، تُستخدَمُ المعادلةُ الأولى:

$$v_f = v_i + at$$

$$v_f = 0 + 5 \times 6.4 = 32\ m/s$$

ب. لإيجادِ الإزاحةِ الكليةِ التي قطعَتْها الدرّاجةُ، تُستخدَمُ المعادلةُ الثانيةُ:

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

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

المثالُ 9

سارَ قطارٌ بسرعةٍ أفقيةٍ مقدارُها (20 m/s) في خطٍّ مستقيمٍ، ثمَّ نقصَتْ سرعتُهُ في أثناءِ إزاحةٍ مقدارُها (128 m)، فأصبحَتْ (4 m/s). أَجِدُ تسارُعَ القطارِ.

المعطياتُ: $v_i = 20\ \mathrm{m/s}$ ، $v_f = 4\ \mathrm{m/s}$ ، $\Delta x = 128\ \mathrm{m}$.

المطلوبُ: $a = ?$.

الحلُّ:

لإيجادِ تسارُعِ القطارِ منْ دونِ معرفةِ الزمنِ، تُستخدَمُ المعادلةُ الثالثةُ:

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

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

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

تمرينٌ

أستخدمُ الأرقامَ: في المثالِ السابقِ، أَجِدُ المدَّةَ الزمنيةَ التي قطعَ فيها القطارُ الإزاحةَ المذكورةَ.

السقوطُ الحُرُّ Free Fall

إنَّ الأجسامَ الموجـودةَ في مجـالِ الجاذبيـةِ الأرضيةِ تتـأثَّرُ بقُوَّةِ جـذبِ الأرضِ لها (الوزنُ)؛ فعندَ رفعِ جسمٍ مثـلًا ثـمَّ تركِـهِ ليتحرَّكَ بحريةٍ فإنَّهُ يسقطُ إلى الأسفلِ (نحوَ مركزِ الأرضِ)، وعنـدَ رمي جسمٍ إلى الأعلى فإنَّ سرعتَهُ تتناقصُ حتّى يتوقفَ عنِ الحركةِ عندَ ارتفاعٍ معينٍ، ثمَّ يعودُ إلى الأسفلِ.

يُعرَّفُ **السقوطُ الحُرُّ Free fall** بأنَّهُ حركـةُ الأجسامِ إلى الأعلى، أوْ إلى الأسفلِ، تحتَ تأثيرِ وزنِها فقطْ، وذلكَ بإهمالِ القوى الأُخرى مثلِ مقاومةِ الهواءِ.

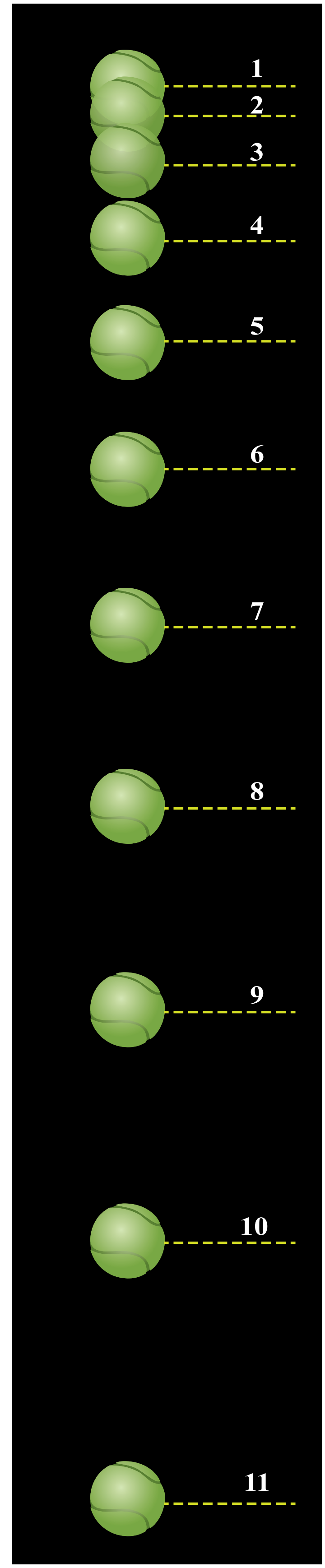
يُبيِّنُ الشكلُ (8) كرةً في حالةِ سقوطٍ حُرٍّ عندما تُلتَقَطُ لها مجموعةٌ متتاليةٌ منَ الصورِ، ويفصلُ بينَ كلِّ صورتيْنِ متتاليتيْنِ مُدَدٌ زمنيةٌ متساويةٌ. أُلاحِظُ أنَّ الكرةَ تقطعُ إزاحاتٍ متزايدةً في أزمانٍ متساويةٍ نتيجةَ تسارُعِها نحوَ الأسفلِ.

يُعَدُّ السقوطُ الحُرُّ أحدَ أهمِّ التطبيقاتِ على الحركـةِ في بُعْدٍ واحـدٍ بتسارُعٍ ثابتٍ، في ما يُعرَفُ **بتسارُعِ السقوطِ الحُرِّ Free fall acceleration**، ويُرمَزُ إليهِ بالرمزِ (g). غيرَ أنَّ الأجسامَ التي نراها تسقطُ يوميًّا قدْ يختلفُ تسارُعُها قليلًا بسببِ تأثيرِ مقاومةِ الهواءِ، وهذا التأثيرُ يختلفُ باختلافِ شكلِ الجسمِ، وحجمِهِ، وسرعتِهِ، فيزدادُ زمنُ سقوطِها نتيجةً لذلكَ.

قريبًا منْ سطحِ الأرضِ، يُعَدُّ تسارُعُ السقوطِ الحُرِّ ثابتًا (g=9.8 m/s^2) نحوَ مركزِ الأرضِ؛ لذا يُمكِنُ استخدامُ المعادلاتِ السابقةِ للحركةِ، واستخـدامُ الرمـزِ (Δy) للإزاحـةِ الرأسيـةِ بـدلًا منْ (Δx)، واستخـدامُ ($-g$) بدلًا منْ (a)، علمًا أنَّ الإشارةَ السالبةَ مَردُّها إلى الاصطلاحِ بأنَّ الاتجاهَ نحوَ الأعلى موجبٌ، والاتجاهَ نحوَ الأسفلِ سالبٌ.

يُمكِنُ التوصُّلُ عمليًّا إلى قيـمٍ قريبـةٍ جـدًّا منْ قيمةِ تسارُعِ السقوطِ الحُرِّ، وذلكَ بتنفيذِ التجربةِ العمليةِ الآتيةِ.

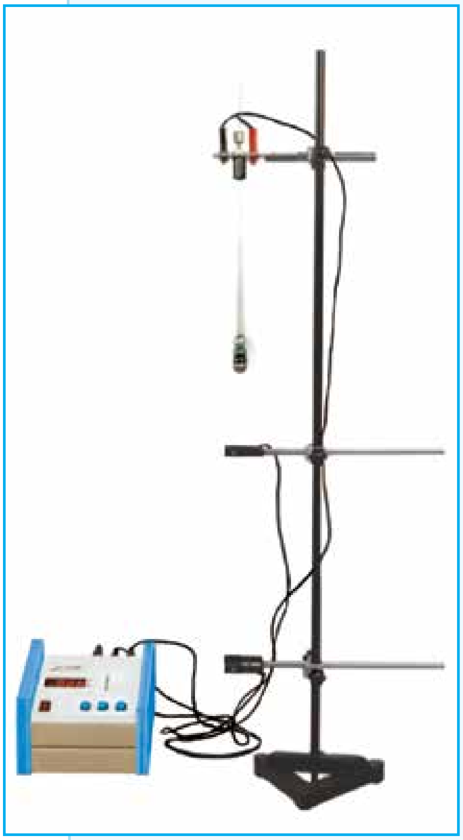
✓ **أتحقَّقُ:** ما القوةُ المؤثرةُ في جسمٍ يسقطُ سقوطًا حرًّا؟



الشكلُ (8): حركةُ السقوطِ الحُرِّ.

التجربة ١

قياسُ تسارُعِ السقوطِ الحُرِّ عمليًّا



الموادُّ والأدواتُ: كرةٌ مطاطيةٌ صغيرةٌ، بوّابتانِ ضوئيتانِ، عدّادٌ زمنيٌّ رقميٌّ، شريطُ قياسٍ متريٌّ، حاملٌ فلزيٌّ.

إرشاداتُ السلامةِ: الحذرُ منْ سقوطِ الأجسامِ والأدواتِ على القدمينِ.

خطواتُ العملِ:

1. بالتعاونِ معَ أفرادِ مجموعتي، أُجهِّزُ مكانًا لسقوطِ الكرةِ عليْهِ قربَ الجدارِ (قطعةٌ منَ الكرتونِ)، ثمَّ أضعُ علامةً على الجدارِ عندَ ارتفاعِ ($\Delta y = 1\text{m}$) تقريبًا، ثمَّ أُثبِّتُ إحدى البوّابتيْنِ الضوئيتيْنِ عندَ تلكَ العلامةِ باستخدامِ حاملٍ فلزيٍّ لرصدِ زمنِ بدءِ الحركةِ (t_1).
2. أُثبِّتُ البوّابةَ الأُخرى قربَ سطحِ الأرضِ لرصدِ زمنِ نهايةِ الحركةِ (t_2)، ثمَّ أَصِلُ البوّابتيْنِ بالعدّادِ الزمنيِّ الرقميِّ.
3. **أُجرِّبُ:** أُسقِطُ الكرةَ بحيثُ تمرُّ أمامَ البوّابتيْنِ، ثمَّ أُدوِّنُ في الجدولِ قراءةَ العدّادِ الزمنيِّ الرقميِّ، وكذلكَ المسافةُ بينَ البوّابتيْنِ.
4. أرفعُ البوّابةَ الضوئيةَ العُليا إلى ارتفاعِ (1.5 m) تقريبًا، ثمَّ أُكرِّرُ الخطوةَ (3)، مُدَوِّنًا النتائجَ في الجدولِ.
5. أرفعُ البوّابةَ الضوئيةَ العُليا مرَّةً أُخرى إلى ارتفاعِ(2 m) تقريبًا، ثمَّ أُكرِّرُ الخطوةَ (3)، مُدَوِّنًا النتائجَ في الجدولِ.
6. أُكمِلُ بياناتِ الجدولِ بحسابِ الكميةِ ($2\Delta y$)، والكميةِ ($(\Delta t)^2$)؛ حيثُ ($\Delta t = t_2 - t_1$) في كلِّ محاولةٍ، ثمَّ أُدَوِّنُهُما في الجدولِ.
7. **أُمثِّلُ بيانيًّا** القراءاتِ في الجدولِ؛ على أنْ تكونَ قيمُ $(\Delta t)^2$ على المحورِ الأفقيِّ وقيمُ ($2\Delta y$) على المحورِ الرأسيِّ، ثمَّ أحسُبُ ميلَ المنحنى (يُمثِّلُ هذا الميلُ تسارُعَ السقوطِ الحُرِّ).

التحليلُ والاستنتاجُ:

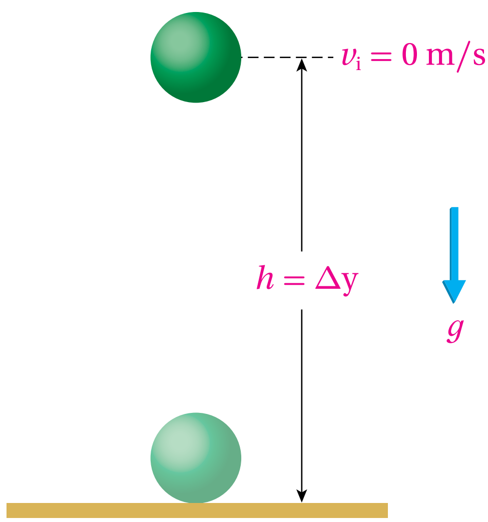
1. **أُقارِنُ** النتيجةَ التي توصّلْتُ إليْها عمليًّا بالقيمةِ المقبولةِ المُتَّفَقِ عليْها (9.8 m/s^2).
2. **أستنتجُ:** ما سببُ اختلافِ النتيجةِ بينَ مجموعةٍ وأُخرى؟ ما سببُ اختلافِ النتيجةِ عنِ القيمةِ المقبولةِ؟
3. **أُفسِّرُ:** ما سببُ اختيارِ كرةٍ مطاطيةٍ صغيرةِ الحجمِ؟ إذا استُخدِمَتْ كرةٌ كبيرةُ الحجمِ وخفيفةٌ، فما الذي سيتغيَّرُ؟

المثالُ 10

أُسقِطَتْ كرةٌ منْ وضعِ السكونِ، كما في الشكلِ (9)، فوصلَتِ سطحَ الأرضِ بعدَ (0.6 s). أَجِدُ السرعةَ النهائيةَ للكرةِ قبلَ ملامستِها سطحَ الأرضِ مباشرةً.

المعطياتُ: $v_i = 0\ \text{m/s}$ ، $g = 9.8\ \text{m/s}^2$ ، $t = 0.6\ \text{s}$.

المطلوبُ: السرعةُ النهائيةُ $v_f = ?\ \text{m/s}$.



الشكلُ (9): سقوطُ كرةٍ.

الحلُّ:

$$v_f = v_i + at = v_i - gt$$

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

الإشارةُ السالبةُ تعني أنَّ اتجاهَ السرعةِ النهائيةِ هوَ نحوَ الأسفلِ.

أعـدُّ فيلـمًا قصـيرًا باسـتخدامِ برنامـجِ صانـعِ الأفـلامِ (movie maker) يبـيِّنُ حركـةَ السـقوطِ الحـرِ للكـرةِ بتقنيةِ التصويرِ التتابعي، وأحرصُ علـى أنْ يشـتملَ الفلـمُ علـى توضيـحِ التغيـرِ الـذي يحـدثُ للسرعـةِ مع الزمـنِ، ثـمَّ أشـاركهُ زملائي/ زميـلاتي في الصـفِّ.

تمرينٌ

أستخدمُ الأرقامَ: في المثالِ السابقِ، أَجِدُ الارتفاعَ $(h = \Delta y)$ الذي أُسقِطَتْ منْه الكرةُ.

المثالُ 11

قُذِفَ سهمٌ رأسيًّا نحوَ الأعلى بسرعةٍ ابتدائيةٍ مقدارها (14.7 m/s). أَجِدُ:

أ . زمنَ وصولِ السهمِ إلى أقصى ارتفاعٍ.

ب. أقصى ارتفاعٍ وصلَ إليْهِ السهمُ.

المعطياتُ: $v_i = +14.7\ \text{m/s}$ ، $v_f = 0\ \text{m/s}$ ، $g = 9.8\ \text{m/s}^2$.

المطلوبُ: $t = ?$ ، $\Delta y = ?$.

الحلُّ:

أ . لإيجادِ زمنِ وصولِ السهمِ إلى أقصى ارتفاعٍ، أستخدِمُ المعادلةَ الأولى:

$$v_f = v_i - gt$$

$$0 = 14.7 - 9.8t$$

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

ب. لإيجادِ أقصى ارتفاعٍ وصلَ إليْهِ السهمُ، أستخدِمُ المعادلةَ الثالثةَ:

$$v_f^2 = v_i^2 - 2g\Delta y$$

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

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

الإشارةُ الموجبةُ تعني أنَّ الإزاحةَ كانَتْ في الاتجاهِ الموجبِ نحوَ الأعلى.

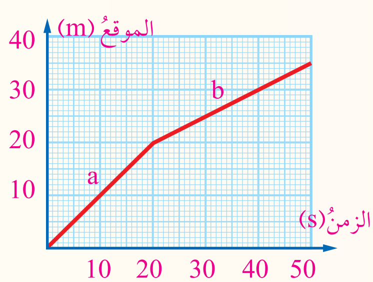
مراجعةُ الدرسِ

1. **الفكرةُ الرئيسةُ:** أُوضِّحُ المقصودَ بالحركةِ المنتظمةِ في بُعْدٍ واحدٍ، وعلاقةَ ذلكَ بالسرعةِ.

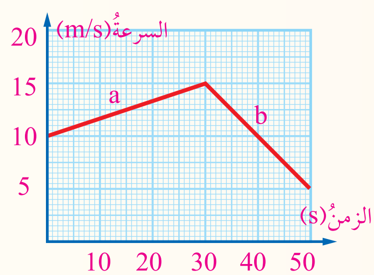
2. **أستخدمُ الأرقامَ:** يتحرَّكُ قطارٌ أفقيًّا في خطٍّ مستقيمٍ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارُها (12 m/s). أَجِدُ الإزاحةَ التي يقطعُها القطارُ إذا تحرَّكَ مدَّةَ (80 s).

3. **أستخدمُ الأرقامَ:** تسحبُ فتاةٌ صندوقًا على سطحٍ أفقيٍّ في اتجاهٍ ثابتٍ. بدأَ الصندوقُ الحركةَ منْ وضعِ السكونِ، وأصبحَتْ سرعتُهُ (1.2 m/s) بعدَ مرورِ (3 s) أَجِدُ التسارُعَ الذي اكتسبَهُ الصندوقُ.

4. **أَستنتجُ:** يُمثِّلُ الشكلُ المجاورُ منحنى الموقعِ-الزمنِ لحركةِ حصانٍ يجرُّ عربةً في طريقٍ مستقيمٍ. مُعتمِدًا على الشكلِ، أَجِدُ:
أ . الإزاحةَ التي قطعَتْها العربةُ في المرحلةِ (a) منَ الحركةِ.
ب. السرعةَ المتوسطةَ للعربةِ في المرحلةِ (b) منَ الحركةِ.



5. **أَستنتجُ:** في أثناءِ جري أحدِ العدّائينَ على طريقٍ مستقيمٍ، رُصِدَتْ حركتُهُ، ومُثِّلَتْ سرعتُهُ بيانيًّا، كما في الشكلِ المجاورِ. مُعتمِدًا على الشكلِ، أَجِدُ:
أ . السرعةَ اللحظيةَ للعدّاءِ عندَ نهايةِ المرحلةِ (a) منَ الحركةِ.
ب. تسارُعَ (تباطُؤَ) العدّاءِ في المرحلةِ (b) منَ الحركةِ.
جـ. الإزاحةَ الكليةَ للعدّاءِ في مرحلتَي الحركةِ معًا.



6. **أستخدمُ الأرقامَ:** سقطَ جسمٌ منْ وضعِ السكونِ منَ ارتفاعِ (176.4 m) عنْ سطحِ الأرضِ. بإهمالِ مقاومةِ الهواءِ. أَجِدُ:
أ . زمنَ وصولِ الجسمِ إلى سطحِ الأرضِ.
ب. سرعةَ الجسمِ النهائيةَ قبيلَ لمسِهِ سطحَ الأرضِ.

7. **أُمثِّلُ بيانيًّا** العلاقةَ بينَ الزمنِ والموقعِ إذا تحركَ جسمٌ منْ وضعِ السكونِ أفقيًّا في خطٍّ مستقيمٍ بتسارُعٍ ثابتٍ، وقدْ رُصِدَ موقعُهُ وزمنُ حركتِهِ في الجدولِ الآتي. ثمَّ أَجِدُ السرعةَ اللحظيةَ عندَ اللحظةِ ($t = 2.5$ s).

الزمنُ (s)	0	1	2	3	4
الموقعُ (m)	0	0.2	0.8	1.8	3.2

◀ الفكرةُ الرئيسةُ:

الحركـةُ في بُعْدَيْنِ تعنـي أنَّ لسرعـةِ الجسـمِ مُركَّبتيْنِ متعامدتيْنِ منْ دونِ اعتمادِ إحداهُما على الأُخرى.

◀ نتاجاتُ التعلُّمِ:

- أُوظِّفُ معـرفتـي بعلمِ الميكانيكا ومفاهيمِهِ وقوانينِهِ في حـلِّ مسائلَ حسابيةٍ.
- أُطبِّقُ معرفتي بعلمِ الميكانيكا ومفاهيمِهِ وقوانينِهِ عندَ تفسيرِ مشاهداتٍ ومواقفَ مُتعلِّقةٍ بالحركةِ.
- أستقصي أهميةَ التطبيقاتِ الحياتيةِ للحركةِ في بُعْدَيْنِ.

◀ المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

المقذوفاتُ Projectiles

أقصى ارتفاعٍ Maximum Height

زمنُ التحليقِ Time of Flight

المدى الأفقيُّ Range

حركةٌ دائريةٌ منتظمةٌ Uniform Circular Motion

تسارُعٌ مركزيٌّ Centripetal Acceleration

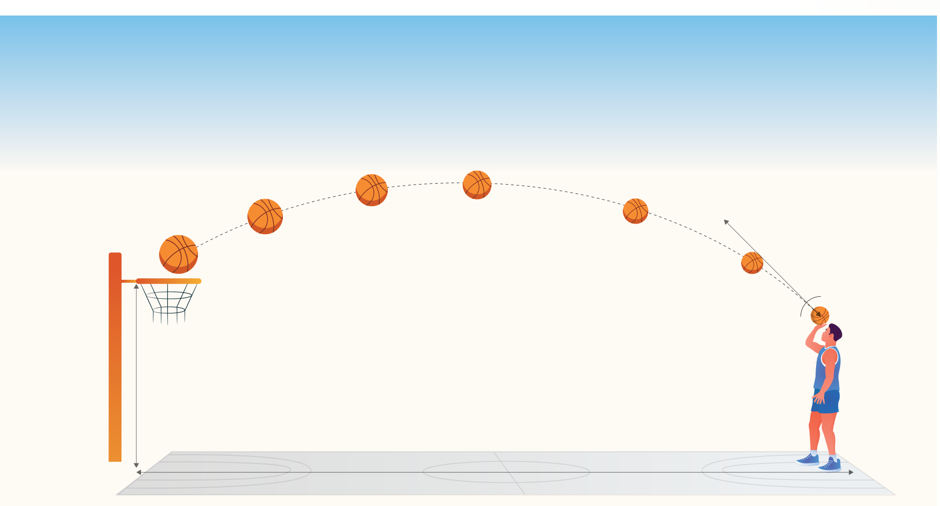
الإزاحةُ في بُعْدَيْنِ Displacement in Two Dimensions

تعرَّفْنا في الدرسِ السابقِ كيفَ يُمكِنُ وصفُ حركةِ جسمٍ في بُعْدٍ واحدٍ، كأن تتحرك سيارة أفقيا فتتغير إحداثيات الحركة على المحور الأفقي فقط، أو أن تسقط كرة سقوطًا حرًّا فتتغير إحداثيات الحركة على المحور الرأسي فقط.

في هذا الدرس ستتعرف كيف نصف حركة أجسام تتغير إحداثيات الحركة لها على المحورين الأفقي والرأسي في اللحظة نفسها، وذلك بدراسة نموذجين رئيسين لهذا النوع من الحركة:

المقذوفات: مثل حركة كرة السلة المبينة في الشكل (10)، فالكرة بعد إطلاقها تتحرك في مسار منحنٍ، و**المقذوفات projectiles** هي أجسام تبدأ حركتها بسرعة ابتدائية تصنع زاوية مع الأفق أقل من (90^o) وتتحرك في مسار منحن تحت تأثير قوة الجاذبية الأرضية (بإهمال مقاومة الهواء)، وتقطع إزاحة رأسية وإزاحة أفقية في اللحظة نفسها.

الحركة الدائرية المنتظمة: عندما يدور الجسم في مسار دائري، بحيث يبقى بعده عن مركز المسار ثابتًا، مثل حركة بعض الأقمار الصناعية حول الأرض.



الشكلُ (10): الحركةُ في بُعْدَيْنِ.

المقذوفات Projectiles

عندَ قذفِ جسمٍ في اتجاهٍ يَصنعُ زاويةً (θ) معَ الأفقِ، فإنَّهُ يتحرَّكُ في مسارٍ مُنْحَنٍ، كما في الشكلِ (11)، وتكونُ هذهِ الحركةُ في بُعْدَيْنِ، بحيثُ تتغيَّرُ إحداثياتُ الحركةِ على المحورِ الأفقيِّ (x)، والمحورِ الرأسيِّ (y) في اللحظةِ نفسِها. تُستخدَمُ معادلاتُ الحركةِ بتسارُعٍ ثابتٍ (توصَّلْنا إليْها في الدرسِ السابقِ) في وصفِ حركةِ المقذوفاتِ، بإهمالِ مقاومة الهواءِ. وتُطبَّقُ هذهِ المعادلاتُ على المحورِ الأفقيِّ، وعلى المحورِ الرأسيِّ بصورةٍ مستقلةٍ.

عندَ رمي كرةٍ إلى الأعلى في اتجاهٍ يَصنعُ معَ الأفقِ زاويةً ابتدائيةً (θ)، فإنَّ السرعةَ الابتدائيةَ للكرةِ (v_0) يُمكِنُ تحليلُها إلى مُركَّبتيْنِ متعامدتيْنِ (v_{0x} , v_{0y})، كما في الشكلِ (11). وتُعطى مُركَّبتا السرعةِ بالمعادلتيْنِ الآتيتيْنِ:

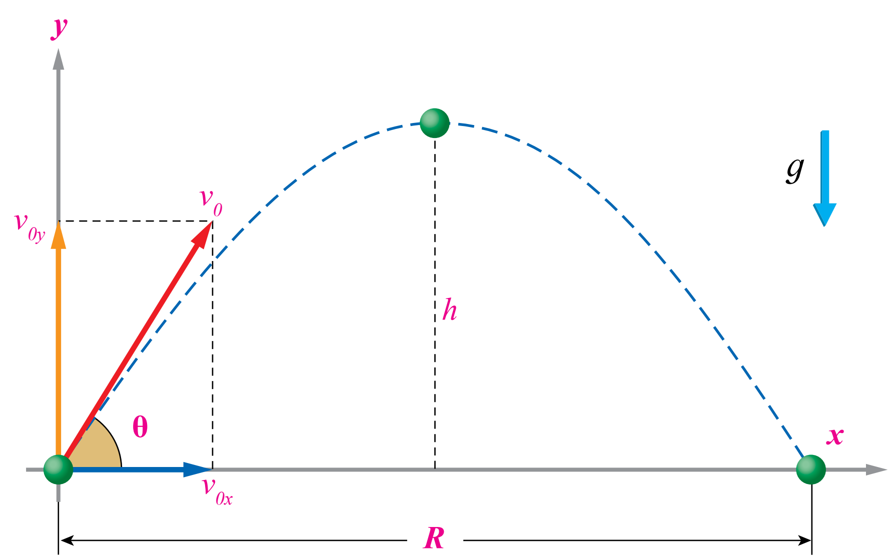
المُركَّبةُ الأفقيةُ للسرعةِ الابتدائيةِ .... $v_{0x} = v_0 \cos \theta$

المُركَّبةُ الرأسيةُ للسرعةِ الابتدائيةِ .... $v_{0y} = v_0 \sin \theta$

تستمرُّ الكرةُ في حركتِها منذُ لحظةِ رَمْيِها منْ نقطةِ الإسنادِ المرجعيةِ (0,0)، في مسارٍ مُنْحَنٍ، حتّى تصلَ إلى **أقصى ارتفاع Maximum height** (h)، ثمَّ تعودُ إلى الأسفلِ. وفي أثناءِ هذهِ الحركةِ، فإنَّ المُركَّبةَ الأفقيةَ للسرعةِ تظلُّ ثابتةً في المقدارِ والاتجاهِ؛ لأنَّ التسارُعَ الأفقيَّ يساوي صفرًا ($a_x = 0$)؛ لعدمِ وجودِ قُوَّةٍ مُؤثِّرةٍ في الكرةِ بالاتجاهِ الأفقيِّ عندَ إهمالِ مقاومةِ الهواءِ. أمّا

✓ **أتحقَّقُ:** متى أصفُ حركةَ جسمٍ بأنَّها في بُعدينِ؟

أبحثُ: في معظم المسائل الحسابية، نفترض أن مقاومة الهواء مهملة لتسهيل الحل، لكن في كثير من التطبيقات العملية لا يمكن إهمال أثرها؛ فمثلاً عند ركل كرة قدم بعكس اتجاه الرياح، لن تقطع مسافة كبيرة كما لو رُكلت بالسرعة نفسها باتجاه الرياح. أبحث عن حالات واقعيةيؤدي إهمال مقاومة الهواء فيها إلى نتائج غير دقيقة، وأوضح كيف تؤثر هذه المقاومة في حركة المقذوف.



الشكلُ (11): تحليلُ السرعةِ الابتدائيةِ إلى مُركَّبتيْنِ.

ما مقدارُ الزاويةِ (θ) التي يتساوى عندَها مقدارا مُركّبتي السرعةِ الابتدائيةِ؟

المُركَّبةُ الرأسيةُ للسرعةِ فتتأثَّرُ بقُوَّةِ الجاذبيةِ الأرضيةِ التي تؤدي إلى حركتِها بتسارُعِ السقوطِ الحُرِّ ($g = 9.80\ m/s^2$) نحوَ مركزِ الأرضِ (معَ إهمالِ مقاومةِ الهواءِ)، فيتناقصُ مقدارُ هذهِ المُركَّبةِ في مرحلةِ الصعودِ حتّى يصبحَ صفرًا عندَ أقصى ارتفاعٍ، ثمَّ يتزايدُ مقدارُها في مرحلةِ الهبوطِ، علمًا أنَّهُ يُرمَزُ إلى المُركَّبةِ الرأسيةِ للسرعةِ بالرمزِ (v_y) أثناء حركة الكرة.

منَ الكمياتِ الأُخرى المستخدمةِ في وصفِ حركةِ المقذوفاتِ:

- **زمنُ التحليقِ Time of flight (T)**، وهوَ الزمنُ الكليُّ لحركةِ المقذوفِ في الهواءِ، ويساوي مجموعَ زمنَي الصعودِ والهبوطِ. يختلفُ زمنُ الصعودِ إلى أقصى ارتفاعٍ عنْ زمنِ الهبوطِ عندما يختلفُ المستوى الأفقيُّ الذي يعودُ إليهِ المقذوفُ عنْ مستوى الإطلاقِ. ولكنْ، عندما يعودُ المقذوفُ إلى المستوى الأفقيِّ الذي أُطلِقَ منْهُ فإنَّ زمنَ الهبوطِ يساوي زمنَ الصعودِ، وهنا يُمكِنُ التوصُّلُ إلى زمنِ التحليقِ بدلالةِ زمنِ الصعودِ (t_h) فقطْ، كما في العلاقةِ الآتيةِ:

$$T = 2t_h$$

- **المدى الأفقيُّ Range (R)**، وهوَ أكبرُ إزاحةٍ أفقيةٍ يَصنعُها المقذوفُ منْ نقطةِ إطلاقهِ إلى أنْ يعودَ إلى مستوى الإطلاقِ نفسِهِ (سطحُ الأرضِ مثلًا)، كما في الشكلِ (11)، ويُعطى بالعلاقةِ الآتيةِ:

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

أُفكِّرُ: هلْ يكونُ تأثيرُ مقاومةِ الهواءِ في حركةِ المقذوفاتِ في المُركَّبةِ الأفقيةِ لسرعةِ المقذوفِ، أمْ في المُركَّبةِ الرأسيةِ، أمْ في المُركَّبتيْنِ معًا؟

أصممُ باستخدامِ برنامجِ السكراتشِ (Scratch) عرضًا يوضحُ حركةَ المقذوفاتِ، وأحرص على توضيح المفاهيم المرتبطة بحركة المقذوف: زمن التحليق، أقصى ارتفاع، المدى الأفقي، ثمَّ أشاركهُ زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

أتحقَّقُ: أستنتجُ العواملَ التي يعتمدُ عليْها كلٌّ منْ: أقصى ارتفاعٍ، وزمنِ التحليقِ.

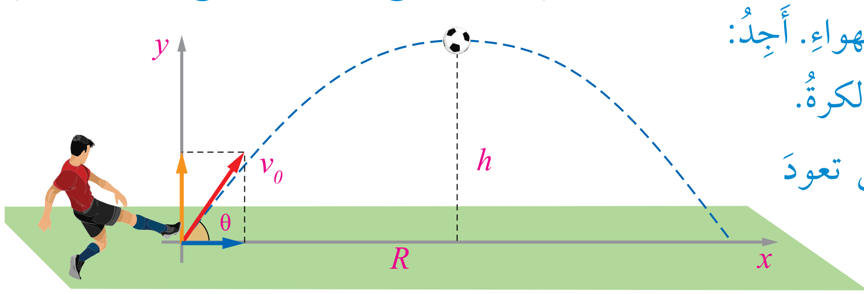
المثالُ 12

ركلَ لاعبٌ كرةً بسرعةٍ ابتدائيةٍ مقدارها ($22.5\ m/s$)، في اتجاهٍ يَصنعُ زاويةَ ($53°$) معَ الأفقِ، كما في الشكلِ (12)، بإهمالِ مقاومةِ الهواءِ. أجِدُ:

أ . أقصى ارتفاعٍ تصلُ إليْهِ الكرةُ.

ب. زمنَ تحليقِ الكرةِ حتّى تعودَ إلى سطحِ الأرضِ.

جـ. المدى الأفقيَّ للكرةِ.



الشكلُ (12): مسارُ حركةِ الكرةِ.

المعطياتُ: $v_0 = 22.5\ m/s$ ، $\theta = 53°$.

المطلوبُ: $h = ?$ ، $T = ?$ ، $R = ?$.

الحلُّ:

بدايةً، يجبُ تحليلُ السرعةِ الابتدائيةِ إلى مُركَّبتيْنِ؛ أفقيةٍ ورأسيةٍ:

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

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

أ . لإيجادِ أقصى ارتفاعٍ تصلُ إليْهِ الكرةُ، أستخدمُ المعادلةَ الثالثةَ للحركةِ، علمًا أنَّ المُركَّبةَ الرأسيةَ للسرعةِ عندَ أقصى ارتفاعٍ هيَ $(v_y = 0\ \text{m/s})$، وأنَّ الاتجاهَ نحوَ الأعلى موجبٌ. وبذلكَ، فإنَّ $(a = -g)$ في معادلاتِ الحركةِ:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2ad$$

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

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

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

ب. لمعرفةِ زمنِ تحليقِ الكرةِ حتّى تعودَ إلى سطحِ الأرضِ، يجبُ إيجادُ زمنِ الصعودِ منَ المعادلةِ الأولى للحركةِ:

$$v_f = v_i + at_h$$

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

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

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

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

جـ. المدى الأفقيُّ للكرةِ:

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

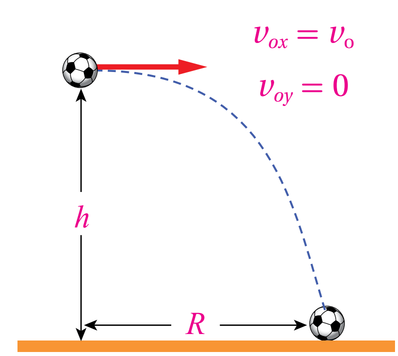
$$R = 3.68 \times 13.5 = 49.68\ \text{m}$$

عندَ قذفِ جسمٍ في اتجاهٍ أفقيٍّ منْ مكانٍ مرتفعٍ عنْ سطحِ الأرضِ؛ حيثُ $(\theta = 0)$، فإنَّ مُركَّبتَيِ السرعةِ الابتدائيةِ تكونانِ كما يأتي:

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

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

والشكلُ (13) يُوضِّحُ مسارَ الجسمِ المقذوفِ أفقيًّا.



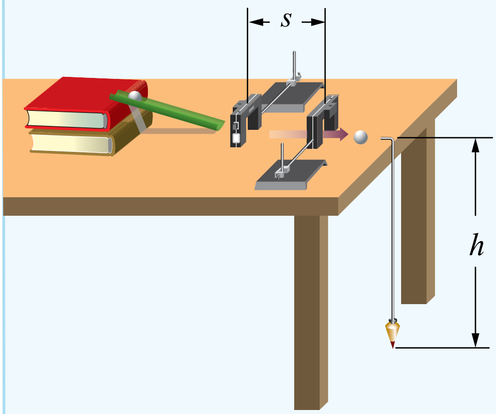
الشكلُ (13): مسارُ حركةِ جسمٍ مقذوفٍ أفقيًّا.

لدراسةِ حركةِ المقذوفِ الأفقيِّ بصورةٍ عمليةٍ، أُنفِّذُ وزملائي/ زميلاتي التجربةَ الآتيةَ.

أتحقَّقُ: بناءً على العلاقاتِ السابقةِ، أستنتجُ العواملَ التي يعتمدُ عليْها المدى الأفقيُّ للمقذوفِ.

التجربة 2

وصفُ حركةِ المقذوفِ الأفقيِّ



الموادُّ والأدواتُ: عددٌ منَ الكتبِ، مجرًى بلاستيكيٌّ، كرةٌ فلزيةٌ، مسطرةٌ، ورقُ كربونٍ، بوّابتانِ ضوئيتانِ، عدّادٌ زمنيٌّ رقميٌّ.

إرشاداتُ السلامةِ: الحذرُ منْ سقوطِ الأجسامِ والأدواتِ على القدميْنِ.

خطواتُ العملِ:

1. أُركِّبُ أدواتِ التجربةِ، كما في الشكلِ، مراعيًا وضعَ كتابيْنِ فوقَ الطاولةِ، ووضعَ طرفِ المجرى البلاستيكيِّ فوقَهُما.
2. **أقيسُ** ارتفاعَ الطاولةِ عنْ سطحِ الأرضِ (h)، والمسافةَ بينَ البوّابتيْنِ (S)، ثمَّ أُدَوِّنُ النتيجةَ في الجدولِ.
3. **أتوقَّعُ** مكانَ سقوطِ الكرةِ على الأرضِ، وأضعُ فيهِ ورقَ الكربونِ.
4. َصِلُ البوّابتيْنِ بالعدّادِ الزمنيِّ الرقميِّ، ثمَّ أَصِلُهُ بمصدرِ الطاقةِ الكهربائيةِ، ثمَّ أُشغِّلُهُ.
5. أضعُ الكرةَ الفلزيةَ في أعلى المجرى المائلِ، ثمَّ أتركُها تتحرَّكُ، وأُلاحِظُ مسارَها، ومكانَ سقوطِها. وفي حالِ سقطَتِ الكرةُ في مكانٍ غيرِ الذي توقَّعْتُهُ أنقلُ ورقَ الكربونِ إلى مكانِ السقوطِ، مُكرِّرًا الخطوةَ.
6. أُدَوِّنُ قراءةَ العدّادِ الرقميِّ (Δt) في الجدولِ، ثمَّ أقيسُ المسافةَ الأفقيةَ (R) بينَ نقطةِ السقوطِ ونقطةِ الأصلِ التي يشيرُ إليْها البندولُ، ثمَّ أُدَوِّنُها في الجدولِ.
7. أُضيفُ كتابًا ثالثًا تحتَ المجرى، ثمَّ أُكرِّرُ الخطوةَ (5) والخطوةَ (6)، مُدَوِّنًا النتائجَ، ثمَّ أُضيفُ كتابًا رابعًا، وأُكرِّرُ ما سبقَ.
8. أَجِدُ السرعةَ الابتدائيةَ (v_{ox}) لكلِّ محاولةٍ، بقسمةِ المسافةِ (S) على المدَّةِ الزمنيةِ (Δt)، ثمَّ أُدَوِّنُ الناتجَ في الجدولِ.
9. أستخدمُ معادلاتِ الحركةِ في إيجادِ زمنِ السقوطِ (t)، والمدى الأفقيِّ (R)، ثمَّ أُدَوِّنُ الناتجَ في الجدولِ.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أُقارِنُ** بينَ قيمِ المدى الأفقيِّ التجريبيةِ والقيمِ المحسوبةِ منَ المعادلاتِ في كلِّ محاولةٍ.
2. أَصِفُ العلاقةَ بينَ السرعةِ الابتدائيةِ للكرةِ وكلٍّ منْ: زمنِ السقوط، والمدى الأفقيِّ.
3. **أُفسِّرُ:** كيفَ يُؤثِّرُ عددُ الكتبِ الموجودةِ تحتَ المجرى في السرعةِ الابتدائيةِ للكرةِ؟
4. **أُفسِّرُ:** كيفَ ستُؤثِّرُ زيادةُ ارتفاعِ الطاولةِ (h) في مقدارِ المدى الأفقيِّ للكرةِ؟

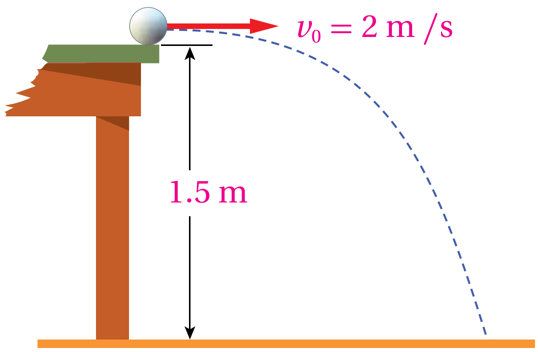
المثالُ 13

قُذِفَتْ كرةُ تنسٍ أرضيٍّ أفقيًّا منْ سطحِ طاولةٍ، كما في الشكلِ (14). مُعتمِدًا البياناتِ الواردةَ في الشكلِ، أَجِدُ:

أ . زمنَ وصولِ الكرةِ إلى الأرضِ.

ب. المدى الأفقيَّ للكرةِ.

جـ. مقدارَ السرعةِ النهائيةِ للكرةِ، مُحدِّدًا اتجاهَها.



الشكلُ (14): المثالُ (13).

المعطياتُ: $\theta = 0$ ، $h = -1.5\ m$ ، $v_0 = 2\ m/s$ ، $g = 9.8\ m/s^2$.

المطلوبُ: $t = ?$ ، $R = ?$ ، $v = ?$.

الحلُّ:

أ . زمنُ وصولِ الكرةِ إلى الأرضِ يعتمدُ على المركبةِ الرأسيّةِ للحركةِ، حيثُ: $\theta = 0$:

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

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

$$t = \sqrt{\frac{2h}{-g}} = \sqrt{\frac{-2\times1.5}{-9.8}} = +\sqrt{0.3} = 0.55\ s$$

يُلاحَظُ أنَّ اتجاهَ كلٍّ منَ التسارُعِ والإزاحةِ هوَ نحوَ الأسفلِ بعكسِ الاتجاهِ الموجبِ؛ لذا عُوِّضَتِ الإشارتانِ السالبتانِ.

ب. المدى الأفقيُّ للكرةِ يعتمدُ على المُركَّبةِ الأفقيةِ والزمنِ:

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

$$R = v_0\, t = 2 \times 0.55 = 1.1\ m$$

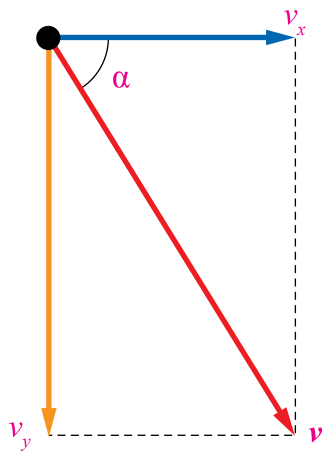
جـ. مقدارُ السرعةِ النهائيةِ للكرةِ:

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

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

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

الإشارةُ السالبةُ تعني أنَّ الاتجاهَ نحوَ الأسفلِ.



الشكلُ (15): اتجاهُ السرعةِ.

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

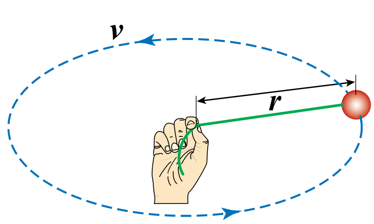
وعليْهِ، يكونُ اتجاهُ السرعةِ النهائيةِ للكرةِ، كما في الشكلِ (15)، بحيثُ يَصنعُ زاويةً α.

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

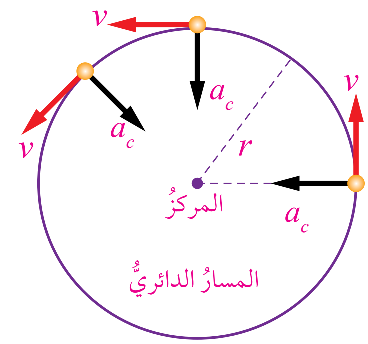
الحركةُ الدائريةُ المنتظمةُ Uniform circular motion

تعرَّفْتُ سابقًا أنَّ الحركةَ الخطيّةَ المنتظمةَ تعني أنَّ الجسمَ يتحرَّكُ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا في خطٍّ مستقيمٍ ولا يمتلكُ تسارُعًا؛ فالتسارُعُ يُمثِّلُ تغيُّرًا في مقدارِ السرعةِ، أوِ اتجاهِها، أوْ كليْهِما معًا.

يُبيِّنُ الشكلُ (16/ أ) كرةً مربوطةً بخيطٍ، تدورُ في مسارٍ دائريٍّ أفقيٍّ نصفُ قطرِهِ (r)، بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا، لكنَّها مُتغيِّرةٌ اتجاهًا. يُطلَقُ على الحركةِ في هذهِ الحالةِ اسمُ **الحركةِ الدائريةِ المنتظمةِ Uniform circular motion**. يمتلكُ الجسمُ في الحركةِ الدائريةِ **تسارُعًا مركزيًّا Centripetal acceleration**،



الشكلُ (16/أ): الحركةُ الدائريةُ.



الشكلُ (16/ب): منظرٌ علويٌّ للحركةِ الدائريةِ الأفقيةِ.

ويُرمَزُ إليهِ بالرمزِ (a_c)، ويكونُ اتجاهُهُ دائمًا نحوَ مركزِ المسارِ الدائريِّ، ويؤدي إلى تغيُّرٍ في اتجاهِ السرعةِ (Δv)، الذي يكونُ دائمًا في اتجاهِ مركزِ الدورانِ.

يُبيِّنُ الشكلُ (16/ ب) مُتَّجهاتِ السرعةِ والتسارُعَ المركزيَّ عندَ نقاطٍ مختلفةٍ منَ المسارِ الدائريِّ الأفقيِّ لحركةِ الكرةِ، حيثُ يتعامدُ مُتَّجهُ التسارُعِ المركزيِّ باستمرارٍ معَ مُتَّجهِ السرعةِ، الذي يكونُ دائمًا على امتدادِ المماسِّ للدائرةِ، وتُسمّى السرعةَ المماسيةَ.

منَ الأمثلةِ على الحركةِ الدائريةِ المنتظمةِ: حركةُ نقطةٍ مرسومةٍ على طرفِ مروحةٍ تدورُ، وحركةُ سيارةٍ تسيرُ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا في مسارٍ دائريٍّ، وحركةُ بعضِ الأقمارِ الصناعيةِ حولَ الأرضِ.

عندَ دراسةِ الحركةِ الدائريةِ المنتظمةِ، فإنَّ مركزَ المسارِ الدائريِّ يُمثِّلُ نقطةَ إسنادٍ مرجعيةٍ لتحديدِ المُتغيِّراتِ، حيثُ تُحسَبُ السرعةُ القياسيةُ التي يتحرَّكُ بها الجسمُ بقسمةِ طولِ المسارِ الدائريِّ (محيطُ الدائرةِ) على الزمنِ الدوريِّ، وهوَ الزمنُ اللازمُ حتّى يُكمِلَ الجسمُ دورةً كاملةً حولَ مركزِ الدورانِ. ولمّا كانَتِ السرعةُ ثابتةَ المقدارِ، فإنَّ السرعةَ القياسيةَ المتوسطةَ تساوي السرعةَ القياسيةَ اللحظيةَ:

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

يُعطى التسارُعُ المركزيُّ للحركةِ الدائريةِ المنتظمةِ بالعلاقةِ الآتيةِ:

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

أتحقَّقُ: مُستخدِمًا العلاقةَ الرياضيةَ للتسارُعِ المركزيِّ، ومُعتمِدًا وحدتَيْ قياسِ السرعةِ ونصفِ القُطْرِ، أجِدُ وحدةَ قياسِ التسارُعِ المركزيِّ.

الربطُ بالحياةِ

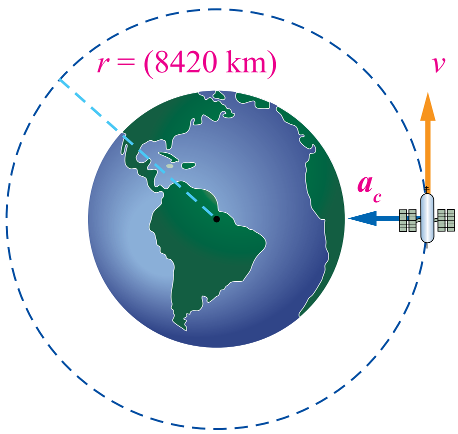
لعلمِ الفيزياءِ دورٌ رئيسٌ في تصميمِ الطرقِ ووضعِ قوانينِ السيرِ عليْها؛ فالسرعةُ التي يجبُ على السائقِ الالتزامُ بها عندَ القيادةِ على المنعطفاتِ تُحدَّدُ اعتمادًا على نصفِ قُطْرِ الدائرةِ التي يُعَدُّ المنعطفُ جزءًا منها. وعندَ تجاوزِ حدودِ هذهِ السرعةِ يزدادُ تسارُعُ السيارةِ المركزيُّ، فتنحرفُ عنِ الطريقِ، وتخرجُ عنِ السيطرةِ.

المثالُ 14

يدورُ قمرٌ صناعيٌّ حولَ الأرضِ على ارتفاعِ (8420 km) عنْ مركزِ الأرضِ، في مسارٍ دائريٍّ (تقريبًا)، بسرعةٍ مماسيةٍ ثابتةِ المقدارِ، كما في الشكلِ (17). إذا علمْتُ أنَّ زمنَهُ الدوريَّ (129 min)، فأجِدُ مقدارَ:

أ . سرعَتِهِ المماسيةِ.

ب. تسارُعِهِ المركزيِّ.



الشكلُ (17): القمرُ الصناعيُّ.

المعطياتُ: $r = 8.42 \times 10^6$ m ، $T = 129 \times 60 = 7740$ s.

المطلوبُ: $v_s = ?$ ، $a_c = ?$.

الحلُّ:

أ . مقدارُ السرعةِ المماسيةِ للقمرِ الصناعيِّ:

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

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

ب. مقدارُ التسارُعِ المركزيِّ 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 الدرسِ

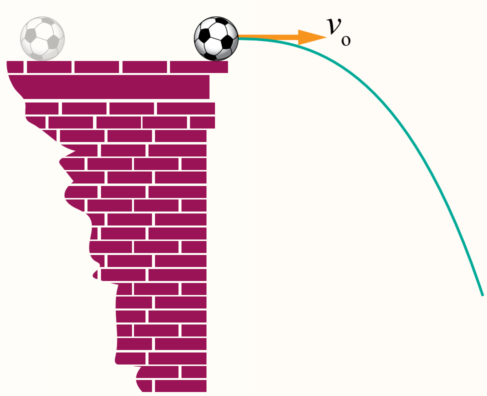
1. **الفكرةُ الرئيسةُ**: ما أهميةُ تحليلِ السرعةِ الابتدائيةِ للمقذوفاتِ إلى مُركَّبتيْنِ؛ أفقيةٍ، ورأسيةٍ؟

2. أذكرُ مثاليْنِ منَ الحياةِ اليوميةِ على حركةِ المقذوفاتِ، ومثاليْنِ آخريْنِ على الحركةِ الدائريةِ المنتظمةِ.

3. **أُفسِّرُ**: ما سببُ وجودِ تسارُعٍ مركزيٍّ، وعدمِ وجودِ تسارُعٍ مماسيٍّ في الحركةِ الدائريةِ المنتظمةِ؟

4. **أُقارِنُ** بينَ مُركَّبتَيْ كلِّ عنصرٍ منَ العناصرِ الآتيةِ لحركةِ المقذوفِ الأفقيةِ وحركتِهِ الرأسيةِ:
   - الإزاحةُ.
   - السرعةُ.
   - التسارُعُ.

5. **أَستخدمُ الأرقامَ**: قُذِفَتْ كرةٌ بسرعةٍ مقدارُها (15.8m/s) نحوَ الأعلى في اتجاهٍ يَصنعُ معَ الأفقِ زاويةً مقدارُها (30°)، بإهمالِ مقاومةِ الهواءِ لحركةِ الكرةِ. أَجِدُ:
   أ . زمنَ تحليقِ الكرةِ.
   ب. أقصى ارتفاعٍ للكرةِ.



6. **أَستخدمُ الأرقامَ**: قُذِفَتْ كرةٌ منْ فوقِ بنايةٍ ارتفاعُها (44.1 m) عنْ سطحِ الأرضِ بسرعةٍ أفقيةٍ مقدارُها (12 m/s)، كما في الشكلِ المجاورِ. أحسُبُ زمنَ سقوطِ الكرةِ إلى سطحِ الأرضِ، والمسافةَ الأفقيةَ التي قطعَتْها قبلَ ارتطامِها بالأرضِ.

7. **أَستخدمُ الأرقامَ**: كتلةٌ مربوطةٌ بخيطٍ طولُهُ (0.80 m)، تتحرَّكُ حركةً دائريةً منتظمةً، ويبلغُ الزمنُ الدوريُّ للحركةِ (1.0 s). إذا كانَ طولُ الخيطِ نصفَ قُطْرِ المسارِ الدائريِّ، فما مقدارُ التسارُعِ المركزيِّ لهذهِ الحركةِ؟

قوانينُ الحركةِ لنيوتن
Newton's Laws

الفكرةُ الرئيسةُ:

تُعَدُّ معرفتُنا بقوانينِ نيوتن أساسًا لفهمِ بعضِ الظواهرِ الحركيةِ، مثلِ القصورِ الذاتيِّ والتسارُعِ، وتأثيرِ القُوى في حياتِنا وأنشطتِنا المختلفةِ.

نتاجاتُ التعلُّمِ:

- أذكرُ نصَّ القوانينِ الثلاثةِ في الحركةِ لنيوتن.
- أُفسِّرُ ظواهرَ طبيعيةً تتعلَّقُ بالقصورِ الذاتيِّ اعتمادًا على القانونِ الأولِ لنيوتن.
- أستقصي القانونَ الثاني في الحركةِ لنيوتن.
- أُطبِّقُ ما تعلَّمْتُهُ بحلِّ مسائلَ على قوانينِ الحركةِ لنيوتن.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

القانونُ الأولُ لنيوتن Newton's First Law

القصورُ الذاتيُّ Inertia

القانونُ الثاني لنيوتن Newton's Second Law

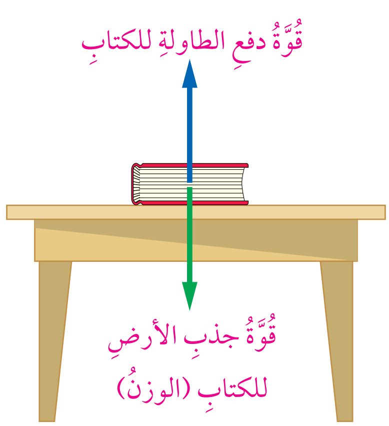
القانونُ الثالثُ لنيوتن Newton's Third Law

قانونُ الجذبِ العامُّ لنيوتن Newton's Law of Universal Gravitation

القانونُ الأولُ في الحركةِ لنيوتن
Newton's First Law of Motion

ارتبطَتِ القُوَّةُ بالحركةِ على مَرِّ العصورِ؛ فمنذُ زمنِ أرسطو اعتقدَ العلماءُ أنَّ الحالةَ الطبيعيةَ للأجسامِ هيَ السكونُ، وأنَّ القُوَّةَ ضروريةٌ لتحريكِ جسمٍ ما، وأنَّهُ يجبُ أنْ تُؤثِّرَ قُوَّةٌ في الجسمِ باستمرارٍ لكيْ يظلَّ مُتحرِّكًا، وأنَّ زوالَ تأثيرِ هذهِ القُوَّةِ يوقِفُ الجسمَ عنِ الحركةِ. لقدْ ظلَّ هذا الاعتقادُ سائدًا حتّى بدايةِ القرنِ السابعَ عشرَ للميلادِ؛ إذْ اقترحَ العالِمُ غاليليو أنَّ الحركةَ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ ثابتةٍ هيَ حالةٌ طبيعيةٌ للأجسامِ مثلُ حالةِ السكونِ، وأنَّ كرةً صُلْبَةً ملساءَ تتحرَّكُ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ ثابتةٍ على مستوًى أفقيٍّ أملسَ ستستمرُّ في حركتِها بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ ثابتةٍ في حالِ انعدامِ قوى الاحتكاكِ ومقاومةِ الهواءِ.

الشكلُ (18) يبين كتابًا ساكنًا على سطحِ طاولةٍ أفقيٍّ؛ إذْ يتأثَّرُ الكتابُ بقُوَّتيْنِ متساويتيْنِ مقدارًا، ومتعاكستيْنِ اتجاهًا، هما: وزنُهُ إلى أسفلَ، وقُوَّةُ دفعِ سطحِ الطاولةِ لهُ إلى أعلى، وبذلكَ تكونُ محصلتُهُما صفرًا. وهذا يعني أنَّ الكتابَ في حالةِ اتزانٍ سكونيّ.



الشكلُ (18): كتابٌ ساكنٌ في حالةِ اتزانٍ على سطحِ طاولةٍ أفقيٍّ.

وفي المقابلِ، إذا تحرَّكَ جسمٌ ما بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا واتجاهًا، فإنَّ القُوَّةَ المحصلةَ المُؤثِّرةَ فيهِ تساوي صفرًا؛ ما يعني أنَّهُ في حالةِ اتزانٍ ديناميكيٍّ، ومثالُ ذلكَ حركةُ سيارةٍ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ ثابتةٍ على طريقٍ أفقيٍّ. أنظرُ الشكلَ (19).

تحافظُ الأجسام على حالتها الحركية من حيث السكون أو الحركة بسرعة ثابتة، مالم تؤثر فيها قوة محصلة تغير حالتها الحركية، وقد عبر العالم نيوتن عن هذه النتيجة بما يعرف **بالقانونِ الأولِ لنيوتن** **Newton's first law**، الذي نصُّهُ: "الجسمُ يظلُّ على حالتِهِ منْ حيثُ السكونُ أوِ الحركةُ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا واتجاهًا ما لمْ تُؤثِّرْ فيهِ قُوَّةٌ خارجيةٌ محصلةٌ تُغيِّرُ حالتَهُ الحركية.

عندَما تكونُ القوّةُ المحصلةُ المُؤثِّرةُ في كلٍّ منَ الجسمِ الساكنِ والجسمِ المُتحرِّكِ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا واتجاهًا تساوي صفرًا؛ يكونُ الجسمُ مُتَّزِنًا:

$$\sum \boldsymbol{F} = 0$$

وبذلكَ، فإنَّ:

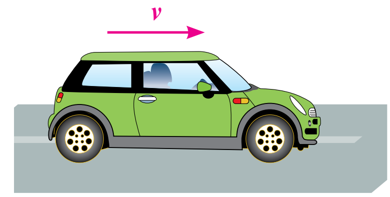
$$\sum F_x = 0 \text{ ، } \sum F_y = 0$$

القصورُ الذاتيُّ Inertia

القصورُ الذاتيُّ Inertia هوَ ممانعةُ الجسمِ لأيِّ تغييرٍ في حالتِهِ الحركيةِ؛ فإذا كانَ الجسمُ ساكنًا أوْ مُتحرِّكًا بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ ثابتةٍ فإنَّهُ يظلُّ على حالتِهِ ما لمْ تُؤثِّرْ فيهِ قُوَّةٌ خارجيةٌ محصلةٌ.

فالجسمُ عاجزٌ، أوْ قاصرٌ عنْ تغييرِ حالتِهِ الحركيةِ منْ تلقاءِ نفسِهِ، ويتطلَّبُ تغييرَ هذهِ الحالةِ تأثيرُ قُوَّةٍ محصلةٍ في الجسمِ؛ لذا يُعرَفُ القانونُ الأولُ لنيوتن باسمِ قانونِ القصورِ الذاتيِّ.

تُعَدُّ كتلةُ الجسمِ مقياسًا لقصورِهِ الذاتيِّ الذي يتناسبُ طرديًّا معَها؛ فكلَّما زادَتْ كتلةُ الجسمِ زادَ قصورُهُ، ولَزِمَ تأثيرُ قُوَّةٍ محصلةٍ أكبرَ لتغييرِ حالتِـهِ الحركيةِ.



الشكلُ (19): سيارةٌ تتحرَّكُ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ ثابتةٍ على طريقٍ أفقيٍّ.

الرّبط بالتكنولوجيا

للفيزياءِ دورٌ أساسٌ في تصميمِ السياراتِ. فمثلًا، لاختبارِ فاعليةِ وسائلِ الأمانِ في نوعٍ جديدٍ منَ السياراتِ تُعَرّضُ السيارة لحادثِ اصطدامٍ بحاجزٍ. وتوضعُ دميةٌ مكانَ السائقِ، ويوصلُ في الدميةِ أنواعٌ مختلفةٌ منَ المجسّاتِ لقياسِ تسارُعِ أجزائِها، والقوى المُؤثِّرةِ فيها عِندَ وقوعِ اصطدامٍ.
ينتجُ منَ الاصطدامِ اندفاعُ الدميةِ جهةَ عجلةِ القيادةِ بسببِ قصورِها الذاتيِّ؛ فتصطدِمُ بها. وبعدَ تحليلِ البياناتِ المستقاةِ منْ هذهِ المجسّاتِ تُدخَلُ تعديلاتٌ على تصميمِ السيارةِ، ووسائلِ الأمانِ فيها.

أتحقَّقُ: أُعبِّرُ بكلماتي الخاصةِ عنِ القانونِ الأولِ لنيوتن.

يُمكِنُ تفسيرُ كثيرٍ منَ المشاهداتِ اليوميةِ اعتمادًا على القصورِ الذاتيِّ، مثلِ: اندفاعِ السائقِ والطلبةِ إلى الأمامِ عندَ توقُّفِ حافلةِ المدرسةِ فجأةً، فالطلبة كانوا في حالة حركة مع الحافلة بالسرعة نفسها، وعند توقف الحافلة المفاجيء، يستمر الطلبة بالحركة بالسرعة نفسها بسبب القصور الذاتي لكتل أجسامهم.

أفكِّرُ: في الشكلِ (20) تظلُّ أطباقُ السفرةِ ثابتةً على سطحِ الطاولةِ عندَ سحبِ المفرشِ أفقيًّا مِنْ أسفلِها بسرعةٍ كبيرةٍ. أُفسِّرُ ذلكَ.

أتحقَّقُ: ما المقصودُ بالقصورِ الذاتيِّ؟

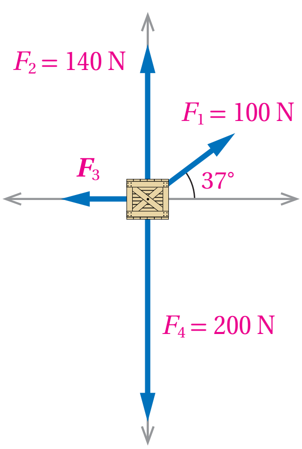
الشكلُ (20): عندَ سحبِ مفرشِ السفرةِ أفقيًّا بسرعةٍ كافيةٍ تظلُّ الأطباقُ ثابتةً تقريبًا على سطحِ الطاولةِ.
لسلامتِكَ، يُنصَحُ بعدمِ تجريبِ ذلكَ.

المثالُ 15

يتزنُ صندوقٌ كتلتُهُ (20 kg) على سطحٍ أفقيٍّ، تحتَ تأثيرِ أربعِ قوًى مستويةٍ متلاقيةٍ، كما في الشكلِ (21) الذي يُبيِّنُ مُخطَّطَ الجسمِ الحُرِّ للصندوقِ. أَجِدُ:

أ . مقدارَ القُوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرةِ في الصندوقِ، مُحدِّدًا اتجاهَها.

ب . مقدارَ القُوَّةِ (F_3).



الشكلُ (21): مُخطَّطُ الجسمِ الحُرِّ لصندوقٍ.

المعطياتُ: $F_1 = 100$ N , $F_2 = 140$ N , $F_4 = 200$ N، الشكلُ (21).

المطلوبُ: $\sum \boldsymbol{F} = ?$ ، $F_3 = ?$.

الحلُّ:

أ . الصندوقُ متزنٌ؛ لذا، فإنَّ القُوَّةَ المحصلةَ المُؤثِّرةَ فيهِ تساوي صفرًا: $\sum \boldsymbol{F} = 0$.

ب. لإيجادِ مقدارِ القوةِ (F_3) أحسُبُ مجموعَ مُركَّباتِ القوى في اتجاهِ المحورِ (x)، وأساويها بالصفرِ لأنَّ الصندوقَ متزنٌ:

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

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

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

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

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

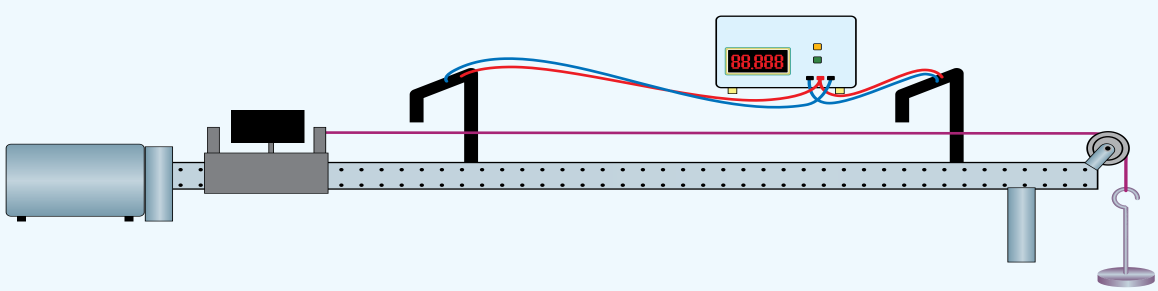
القانونُ الثاني في الحركةِ لنيوتن
Newton’s Second Law of Motion

يُقدِّمُ لنا القانونُ الأولُ لنيوتن وصفًا لحالةِ الجسمِ الحركيةِ عندما تكونُ القُوَّةُ المحصلةُ المُؤثِّرةُ فيهِ صفرًا. أمّا قانونُهُ الثاني فقدِ استكملَ العلاقةَ بينَ القُوَّةِ والحركةِ، وذلكَ بوصفِ حركةِ جسمٍ تُؤثِّرُ فيهِ قُوَّةٌ محصلةٌ.

في التجربةِ الآتيةِ سنستقصي عمليًّا تأثيرَ كلٍّ منَ القُوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرةِ في جسمٍ، وكتلةِ الجسمِ في تسارُعِهِ.

التجربةُ 3

القُوَّةُ والكتلةُ والتسارُعُ



الموادُّ والأدواتُ: مَدْرجٌ هوائيٌّ وملحقاتُهُ، مسطرةٌ متريةٌ، بكرةٌ، خيطٌ، حاملُ أثقالٍ، عشرةُ أثقالٍ كتلةُ كلٍّ منْها (10 g)، ميزانٌ.

إرشاداتُ السلامةِ: الحذرُ منْ سقوطِ الأجسامِ والأدواتِ على القدمَيْنِ.

خطواتُ العملِ:

1. أُثبِّتُ المَدْرجَ الهوائيَّ أفقيًّا على سطحِ الطاولةِ، ثمَّ أُثبِّتُ البكرةَ في نهايتِهِ، كما في الشكلِ.
2. **أقيسُ** كتلةَ العربةِ المنزلقةِ، ثمَّ أُدوِّنُ القراءةَ أعلى الجدولِ (1)، ثمَّ أضعُ العربةَ عندَ بدايةِ المَدْرجِ.
3. أربطُ أحدَ طرفَيِ الخيطِ بمُقدِّمةِ العربةِ، ثمَّ أربطُ طرفَهُ الآخرَ بحاملِ الأثقالِ، مرورًا بالبكرةِ.
4. أُثبِّتُ إحدى البوّابتيْنِ الضوئيتيْنِ عندَ مُقدِّمةِ العربةِ، ثمَّ أُثبِّتُ البوّابةَ الأُخرى على بُعدِ (1 m) منها،

ثمَّ أُدوِّنُ مقدارَ هذا البُعدِ (d) أعلى الجدولِ. بعدَ ذلكَ أُثبِّتُ حاجزَ الاصطدامِ في نهايةِ المسارِ؛ لمنعِ اصطدامِ العربةِ بالبكرةِ.

5. أَصِلُ البوّابتيْنِ بالعدّادِ الزمنيِّ الرقميِّ، ثمَّ أَصِلُهُ بمصدرِ الطاقةِ الكهربائيةِ، ثمَّ أُشغِّلُهُ.

6. أضعُ أثقالًا مناسبةً على العربةِ والحاملِ، بحيثُ تقطعُ العربةُ مسافةَ ($1\ \text{m}$) في زمنٍ مناسبٍ، ثمَّ أَجِدُ كتلَ الحاملِ وأثقالَهُ، التي تُسمّى كتلةَ ثِقْلِ التعليقِ (m_{hang})، وأدوِّنُها في الجدولِ. أجِدُ كتلةَ العربةِ وما فوقَها منْ أثقالٍ وأدوِّنُها في الجدولِ تحتَ عمودِ كتلةِ العربةِ (m_{cart}).

7. أُشغِّلُ مضخَّةَ الهواءِ، ثمَّ أُفلِتُ العربةَ، ثمَّ أُدوِّنُ في الجدولِ قراءةَ العدّادِ الزمنيِّ الرقميِّ، الذي يُمثِّلُ الزمنَ الذي تستغرقُهُ العربةُ في حركتِها بينَ البوّابتيْنِ.

8. أنقلُ ثِقْلًا منْ فوقِ العربةِ إلى الحاملِ، ثمَّ أُكرِّرُ الخطوةَ السابقةَ، وأُدوِّنُ في الجدولِ القياساتِ الجديدةَ لكلٍّ منْ: (m_{hang})، وَ (m_{cart})، والزمنِ.

9. أُكرِّرُ الخطوةَ السابقةَ مرَّتَيْنِ لأثقالٍ إضافيةٍ أُخرى.

10. أحسُبُ تسارُعَ العربةِ لكلِّ (m_{hang}) باستخدامِ العلاقةِ: $a = 2d/t^2$، ثمَّ أَجِدُ ناتجَ ضربِ a ($m_{\text{hang}} + m_{\text{cart}}$) لكلِّ حالةٍ.

11. أُكرِّرُ التجربةَ بتثبيتِ كتلةِ ثِقْلِ التعليقِ (m_{hang})، وتغييرِ كتلةِ العربةِ (m_{cart})؛ لدراسةِ العلاقةِ بينَ الكتلةِ والتسارُعِ، ثمَّ أُدوِّنُ القراءاتِ في الجدولِ(2).

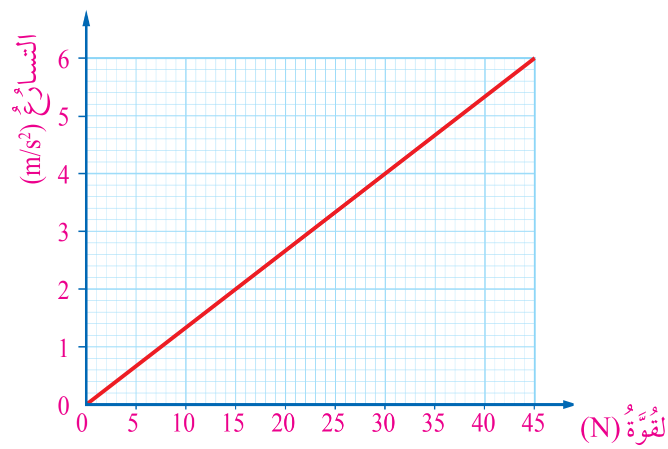
التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أُقارِنُ** بينَ a ($m_{\text{hang}} + m_{\text{cart}}$) ومقدارِ وزنِ ثِقْلِ التعليقِ ($m_{\text{hang}}\, g$) لكلِّ حالةٍ. ما العلاقةُ بينَهُما؟

2. **أُمثِّلُ بيانيًّا** العلاقةَ بينَ مقدارِ القُوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرةِ في العربةِ ($m_{\text{hang}}\, g$) على المحورِ ($+y$) ومقدارِ التسارُعِ (a) على المحورِ ($+x$). ما شكلُ هذهِ العلاقةِ؟ ماذا أستنتجُ؟

3. **أَستنتجُ:** ما الذي يُمثِّلُهُ ميلُ المنحنى البيانيِّ في السؤالِ السابقِ؟

4. **أَستنتجُ:** ماذا حدثَ لمقدارِ تسارُعِ العربةِ عندَ تثبيتِ كتلةِ ثِقْلِ التعليقِ (m_{hang}) وتغييرِ كتلةِ العربةِ (m_{cart})؟



الشكلُ (22): العلاقةُ بينَ التسارُعِ والقُوّةِ المحصلةِ لكتلةٍ ثابتةٍ.

ما مقدارُ تسارعِ الجسمِ عندَما يكونُ مقدارُ القوةِ المحصلةِ المؤثرةِ فيه (15 N)؟

القُوّةُ والتسارُعُ Force and Acceleration

يتبين من التجربة السابقة أنه عندما تؤثر قُوّةٌ محصلة في جسم كتلته ثابتة، فإنها تكسبه تسارعًا ثابتًا، ويبين الشكل (22) أن العلاقة بين القوة المحصلة المؤثرة في الجسم وتسارعه، تمثل بيانيًّا بخط مستقيم يمر بنقطة الأصل، ما يعني أن القوة المحصلة تتناسب طرديًّا مع تسارع الجسم، عند ثبات كتلة الجسم، يُعبَّر عنها رياضيًّا على النحوِ الآتي:

$$a \propto \sum F$$

الكتلةُ والتسارُعُ Mass and Acceleration

يَتبيَّنُ منَ التجربةِ السابقةِ أنَّ زيادةَ كتلةِ الجسمِ المتحرِّكِ تُقلِّلُ منْ تسارُعِهِ عندَ ثباتِ القُوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرةِ فيهِ؛ ويمكن التوصل عمليًا إلى أن تسارُعَ الجسمِ يتناسبُ عكسيًّا معَ كتلتِهِ عندَ ثباتِ القُوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرةِ فيهِ، ويُعبَّرُ عنْ ذلكَ رياضيًّا بالعلاقةِ الآتيةِ:

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

بناءً على ما سبقَ، يُمكِنُ التوصُّلُ إلى **القانونِ الثاني لنيوتن Newton's second law**، الذي نصُّهُ: "يتناسبُ تسارُعُ الجسمِ طرديًّا معَ القُوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرةِ فيهِ، ويتناسبُ عكسيًّا معَ كتلتِهِ". ويكونُ اتجاهُ التسارُعِ دائمًا في اتجاهِ القُوَّةِ المحصلةِ.

أتحقَّقُ: ما العلاقةُ بينَ تسارُعِ جسمٍ والقُوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرةِ فيهِ عندَ ثباتِ كتلتِهِ؟

وفي حالِ بقاءِ كتلةِ الجسمِ ثابتةً في أثناءِ زمنِ تأثيرِ القُوَّةِ فيهِ، فإنَّهُ يُمكِنُ كتابةُ القانونِ الثاني لنيوتن على النحوِ الآتي:

$$\sum \boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$$

يَلزمُ أيضًا مراعاةُ وحداتِ القياسِ عندَ تطبيقِ القانونِ الثاني لنيوتن؛ إذْ تكونُ ($\boldsymbol{F}$) بوحدةِ (N)، وَ ($\boldsymbol{a}$) بوحدةِ ($\mathrm{m/s^2}$)، وَ (m) بوحدة (kg). وبناءً على هذا القانونِ، يُمكِنُ القولُ إنَّ: $1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg.m/s^2}$.

يُستخدَمُ هذا القانونُ في تعريفِ وحدةِ قياسِ القُوَّةِ (N)، كما يأتي:

"مقدارُ القُوَّةِ المحصلةِ التي يَلزمُ التأثيرُ بها في جسم كتلتُهُ (1 kg) لإكسابِهِ تسارُعًا مقدارُهُ ($1\ \mathrm{m/s^2}$) في اتجاهِها". وبذلكَ، فإنَّ القُوَّةَ المحصلةَ الأفقيةَ تُكسِبُ الجسمَ تسارُعًا أفقيًّا، في حينِ تُكسِبُ القُوَّةُ المحصلةُ الرأسيةُ الجسمَ تسارُعًا رأسيًّا:

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

يُعَدُّ القانونُ الأولُ لنيوتن حالةً خاصةً منْ قانونِهِ الثاني؛ فإذا كانَتِ القُوَّةُ المحصلةُ المُؤثِّرةُ في جسمٍ صفرًا فإنَّ تسارُعَهُ أيضًا يكونُ صفرًا.

$$\sum \boldsymbol{F} = 0,\ \boldsymbol{a} = 0$$

الربط بالفلك

توجدُ حالاتٌ تتغيَّرُ فيها كتلةُ الجسمِ في أثناءِ زمنِ تأثيرِ القُوَّةِ فيهِ، منْها تغيُّرُ كتلةِ الصواريخِ المستخدمةِ في إطلاقِ الأقمارِ الصناعيةِ نتيجةَ استهلاكِ الوقودِ. ويَلزمُ لتلكَ الحالاتِ استخدامُ علاقةٍ (صيغةٍ) أُخرى للقانونِ الثاني لنيوتن، تتضمَّنُ تغييرَ الكتلةِ.

المثالُ 16

أَجِدُ القُوَّةَ المحصلةَ التي يَلزمُ التأثيرُ بها في صندوقٍ كتلتُهُ (20 kg) لإكسابِهِ تسارُعًا أفقيًّا مقدارُهُ ($2\ \mathrm{m/s^2}$) جهةَ اليمينِ.

المعطياتُ: $m = 20\ \mathrm{kg}$ ، $a = 2\ \mathrm{m/s^2}$ نحو اليمين.

المطلوبُ: $\sum F_x = ?$.

الحلُّ:

يُستخدَمُ القانونُ الثاني لنيوتن في اتجاهِ المحورِ (x):

$$\sum F_x = ma_x$$

$$= 20 \times 2 = 40\ \mathrm{N}$$ (باتجاهِ اليمينِ)

المثالُ 17

تعطَّلَتْ سيارةٌ كتلتُها (800 kg)، فسحبَتْها شاحنةُ قَطْرٍ على طريقٍ أفقيٍّ مستقيم، بقُوَّةٍ أفقيَّةٍ مقدارُها 1000 N جهةَ اليمينِ. إذا كانَتْ قُوَّةُ الاحتكاكِ المُؤثِّرةُ في السيارةِ 400 N جهةَ اليسارِ، فأَجِدُ:

أ . القُوَّةَ المحصلةَ المُؤثِّرةَ في السيارةِ في الاتجاهِ الأفقيِّ.

ب. تسارُعَ السيارةِ الأفقيَّ.

جـ. السرعةَ المُتَّجِهةَ للسيارةِ بعدَ مرورِ (10 s) منْ بدءِ سحبِها.

المعطياتُ: أرمزُ إلى قُوَّةِ السحبِ بالرمزِ F_1، أرمزُ إلى قُوَّةِ الاحتكاكِ بالرمزِ f:

$m = 800\ \text{kg},\ F_1 = 1000\ \text{N},\ f = 400\ \text{N},\ t = 10\ \text{s},\ v_1 = 0\ \text{m/s}$.

حيثُ القوةُ $\boldsymbol{F}_1$ نحوَ اليمينِ، وقوةُ الاحتكاكِ نحوَ اليسارِ.

المطلوبُ: $\sum \boldsymbol{F} = ?,\ \boldsymbol{a} = ?,\ \boldsymbol{v}_2 = ?$.

الحلُّ:

أ . القُوَّةُ المحصلةُ المُؤثِّرةُ في السيارةِ في الاتجاهِ الأفقيِّ (x):

$$\sum F = F_1 - f$$
$$= 1000 - 400 = 600\ \text{N}$$

حيثُ $\sum \boldsymbol{F}$ نحو اليمين.

ب . تسارُعُ السيارةِ الأفقيُّ:

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

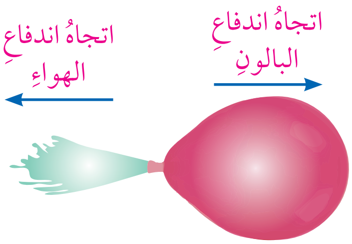
حيثُ التسارُعُ نحوَ اليمينِ باتجاهِ القوةِ المحصلةِ.

جـ . لإيجادِ السرعةِ المُتَّجِهةِ للسيارةِ بعدَ مرورِ (10 s) منْ بدءِ سحبِها، تُستخدَمُ المعادلةُ الآتيةُ للحركةِ:

$$v_2 = v_1 + at$$
$$= 0 + 0.75 \times 10 = 7.5\ \text{m/s}$$ (باتجاه اليمين)

القانونُ الثالثُ في الحركةِ لنيوتن Newton's Third Law of Motion

عندَ إفلاتِ بالونٍ منفوخٍ، كما في الشكلِ (23)، يندفعُ الهواءُ من فُوَّهتِهِ إلى اليسارِ، في حينِ يندفعُ البالونُ في الاتجاهِ المعاكسِ (إلى اليمينِ). وعندَ تقريبِ مغناطيسيْنِ، فإنَّ كلًّا منْهُما يسحبُ الآخَرَ، أوْ يدفعُهُ بقُوَّةِ مجالٍ. وعندما أستندُ إلى أحدِ الجدرانِ، فإنَّ جسمي يُؤثِّرُ بقُوَّةِ تلامُسٍ في الجدارِ، ويُؤثِّرُ الجدارُ بقُوَّةِ تلامُسٍ في جسمي.



الشكل (23): يندفعُ الهواءُ منْ فُوَّهةِ البالونِ جهةَ اليسارِ، في حينِ يندفعُ البالونُ جهةَ اليمينِ.

لتفسيرِ هذهِ المشاهداتِ، يجبُ دراسةُ **القانونِ الثالثِ لنيوتن** **Newton's third law**، الذي نصُّهُ: "إذا تفاعلَ جسمانِ (A) وَ (B)، فإنَّ القُوَّةَ التي يُؤثِّرُ بها الجسمُ (A) في الجسمِ (B) تساوي القُوَّةَ التي يُؤثِّرُ بها الجسمُ (B) في الجسمِ (A) منْ حيثُ المقدارُ، وتُعاكِسُها في الاتجاهِ".

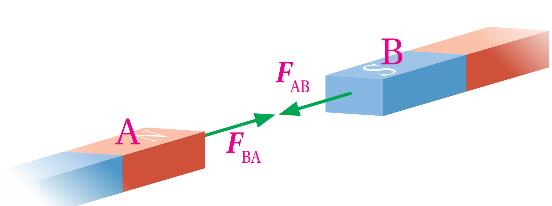
عندَ تقريبِ القطبِ الشماليِّ لمغناطيسٍ إلى القطبِ الجنوبيِّ لمغناطيسٍ آخرَ. كما في الشكلِ (24)؛ فإنَّ القطبَ الشماليَّ للمغناطيسِ (A) يُؤثِّرُ بقُوَّةِ تجاذُبٍ ($\boldsymbol{F}_{AB}$) في القطبِ الجنوبيِّ للمغناطيسِ (B)، وأنَّ القطبَ الجنوبيَّ للمغناطيسِ (B) يُؤثِّرُ -في اللحظةِ نفسِها- بقُوَّةِ تجاذُبٍ ($\boldsymbol{F}_{BA}$) في القطبِ الشماليِّ للمغناطيسِ (A)، وأنَّ هاتيْنِ القُوَّتيْنِ تتساويانِ في المقدارِ، وتتعاكسانِ في الاتجاهِ.

$$\boldsymbol{F}_{AB} = -\boldsymbol{F}_{BA}$$

ويُطلَقُ على إحداهُما اسمُ الفعلِ Action، ويُطلَقُ على الأُخرى اسمُ ردِّ الفعلِ Reaction؛ لذا يُعرَفُ هذا القانونُ غالبًا باسمِ قانونِ الفعلِ وردِّ الفعلِ.

✓ **أتحقَّقُ:** علامَ ينصُّ القانونُ الثالثُ لنيوتن؟

إنَّ قُوَّةَ الفعلِ وقُوَّةَ ردِّ الفعلِ مُتزامِنتانِ؛ إذْ تنشآنِ معًا وتختفيانِ معًا، ولا تسبقُ إحداهما الأخرى كما يتبادرُ إلى الذهنِ أحيانًا.



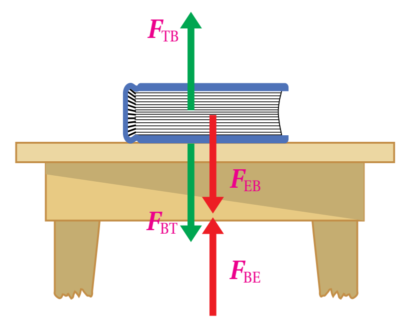
الشكلُ (24): قُوَّتا الفعلِ وردِّ الفعلِ (أوْ زوجا التأثيرِ المُتبادَلِ) متساويتانِ في المقدارِ، ومتعاكستانِ في الاتجاهِ.

بناءً على ما سبقَ، يُمكِنُ إعادةُ صياغةِ هذا القانونِ على النحوِ الآتي:

"لكلِّ فعلٍ ردُّ فعلٍ، مساوٍ لهُ في المقدارِ، ومعاكسٌ لهُ في الاتجاهِ". نستنتجُ منَ القانونِ الثالثِ لنيوتن أنَّ القوى دائمًا توجدُ في صورةِ أزواجٍ (أيْ فعلٍ، وردِّ فعلٍ)، وأنَّها لا توجدُ منفردةً. ففي حالةِ قطبَي المغناطيسينِ، لمْ تؤثرْ قوةٌ منفردةٌ في أحدِ القطبينِ، بلْ لاحظنا تأثير زَوْجٍ منَ القوى المتبادلةِ، وكذلكَ في جميعِ الحالاتِ التي يتفاعلُ فيها جسمانِ معًا.

✓ **أتحقَّقُ:** هلْ يُمكِنُ أنْ توجدَ قُوَّةٌ منفردةٌ؟ أُفسِّرُ إجابتي.

كذلك نستنتج أنَّ قُوَّةَ الفعلِ وقُوَّةَ ردِّ الفعلِ تُؤثِّرانِ في جسمَيْنِ مختلفَيْنِ، وأنَّهما لا تُؤثِّرانِ في الجسمِ نفسِهِ. ومنْ ثَمَّ، فلا تُحسَبُ محصلتُهُما؛ لأنَّ القُوَّةَ المحصلةَ تُحسَبُ للقوى عندما تُؤثِّرُ في الجسمِ نفسِهِ.



الشكلُ (25): أزواجُ التأثيرِ المُتبادَلِ في حالةِ كتابٍ يستقرُّ على سطحِ طاولةٍ موضوعةٍ على الأرضِ.

يبين الشكل (25) كتابًا يتزنُ على سطحِ طاولةٍ أفقيٍّ. وفيهِ يُؤثِّرُ الكتابُ بقُوَّةٍ في سطحِ الطاولةِ إلى أسفلَ (F_{BT})، ويُؤثِّرُ سطحُ الطاولةِ بقُوَّةٍ في الكتابِ إلى أعلى (F_{TB}).

تُمثِّلُ هاتانِ القُوَّتانِ زوجَي التأثيرِ المُتبادَلِ (الفعلُ، وردُّ الفعلِ)؛ إذْ تُؤثِّرانِ في جسمَيْنِ مختلفَيْنِ، وتنشأانِ معًا، وتختفيانِ معًا. وبالمثلِ، تُؤثِّرُ الأرضُ بقُوَّةِ جذبٍ في الكتابِ إلى أسفلَ (F_{EB})، ويُؤثِّرُ الكتابُ بقُوَّةِ جذبٍ في الأرضِ إلى أعلى (F_{BE}). وهاتانِ القُوَّتانِ تُمثِّلانِ أيضًا زوجَي التأثيرِ المُتبادَلِ.

أُفكِّرُ: إذا كانَتْ قُوَّتَا الفعلِ وردِّ الفعلِ متساويتَيْنِ، فكيفَ يُفسَّرُ جَرُّ حصانٍ لعربةٍ؟

وفي المقابلِ، لا تُمثِّلُ القُوَّةُ (F_{TB}) والقُوَّةُ (F_{EB}) زوجَيْ تأثيرٍ مُتبادَلٍ، بالرغمِ منْ أَنَّهُما -في هذا المثالِ- متساويتانِ في المقدارِ، ومتعاكستانِ في الاتجاهِ؛ لأنَّهُما تُؤثِّرانِ في الجسمِ نفسِهِ.

يُلاحَظُ منَ الأمثلةِ السابقةِ أنَّ الفعلَ وردَّ الفعلِ مُتجانِسانِ؛ أيْ أنَّ لهُما الطبيعةَ نفسَها. فإذا كانَ الفعلُ قُوَّةَ جذبٍ كانَ ردُّ الفعلِ أيضًا قُوَّةَ جذبٍ، وإذا كانَ الفعلُ قُوَّةً كهربائيةً كانَ ردُّ الفعلِ أيضًا قُوَّةً كهربائيةً، وهكذا.

أصممُ باستخدامِ برنامجِ السكراتشِ (Scratch) عرضًا يوضحُ الفعلَ وردَّ الفعلِ، ثمَّ أشاركهُ زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

قانونُ الجذبِ العامُّ لنيوتن

Newton's Law of Universal Gravitation

تجذبُ الأرضُ الأجسامَ في اتجاهِ مركزِها، سواءً أكانتْ على سطحِها أوْ على بُعدٍ منْها. وبحسبِ القانونِ الثالثِ لنيوتن فإنَّ الأجسامَ الأخرى تجذبُ الأرضَ أيضًا في اتجاهِ مراكزِها بقوًى مساويةٍ لقوى جذبِ الأرضِ لها، ولكنْ في اتجاهٍ معاكسٍ، أنظرُ الشكلَ (26).

تَوصَّلَ نيوتن إلى أنَّ قوةَ التجاذبِ الكتلي بينَ أيِّ جسميْنِ تتناسبُ:

أ . طرديًّا معَ حاصلِ ضربِ كتلتي الجسمينِ عندَ ثباتِ المسافةِ بينَ مركزيْهما:

$$F \propto m_1 m_2$$

ب. عكسيًّا معَ مربعِ المسافةِ بينَ مركزيْ الجسميْنِ عندَ ثباتِ كتلتيْهِما :

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

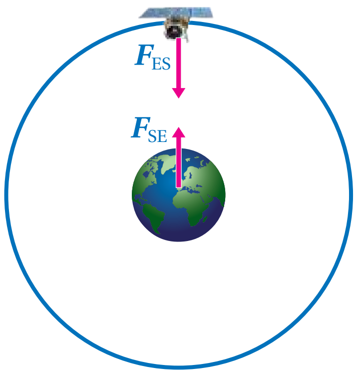
وتوصّلَ نيوتن إلى أنَّ قوةَ التجاذبِ هذهِ لا يقتصرُ وجودُها على الأرضِ، بلْ توجدُ بينَ جميعِ الأجسامِ في الكونِ. وقدْ صاغَ نيوتن ما سبقَ في قانونٍ سُمّيَ **قانونَ الجذبِ العامَّ (الكونيَّ) لنيوتن** **Newton's Law of Universal Gravitation**، وينصُّ على أنَّ: «كلَّ جسميْنِ في الكونِ يتجاذبانِ بقوةٍ يتناسبُ مقدارُها طرديًّا معَ حاصلِ ضربِ كتلتيْهِما، وعكسيًّا معَ مربعِ المسافةِ بينَ مركزيْهِما».

وتؤثرُ هذهِ القوةُ في اتجاهِ الخطِّ الواصلِ بينَ مركزَيِ الجسميْنِ المتجاذبيْنِ، أنظرُ الشكلَ (27). ويُعبَّرُ عنْ قانونِ الجذبِ العامِّ رياضيًّا كما يأتي:

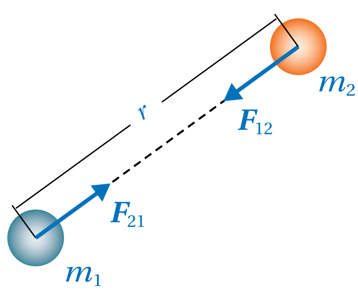
$$F = \frac{Gm_1 m_2}{r^2}$$

حيثُ: m_1، و m_2 كتلتا الجسميْنِ المتجاذبيْنِ، و r المسافةُ بينَ مركزيْهِما، أما G فهوَ ثابتُ التناسبِ، ويُسمّى ثابتَ الجذبِ العامِّ (الكونيِّ)، وبحسبِ النظامِ الدوليِّ للوحداتِ، فإنَّ مقدارَ الثابتِ G يساوي:

$$G = 6.67 \times 10^{-11}\ N.m^2/kg^2$$



الشكلُ (26): تجذبُ الأرضُ (E) القمرَ الصناعيَّ (S) بقوةِ (F_{ES}) في اتجاهِ مركزِها، ويجذبُ القمرُ الصناعيُّ الأرضَ في اتجاهِ مركزِهُ بقوةٍ مساويةٍ لقوةِ جذبِ الأرضِ لهُ في المقدارِ، ومعاكسةٍ لَها في الاتجاهِ (F_{SE}).



الشكلُ (27): تؤثرُ قوةُ التجاذبِ الكتليِّ في اتجاهِ الخطِّ الواصلِ بينَ مركزي الجسمينِ المتجاذبينِ.

على الرغمِ منْ أنَّ قوةَ التجاذبِ الكتليِّ منْ أضعفِ أنواعِ القوى الأساسيـةِ، إلا أنَّها ذاتُ أهميةٍ كبيرةٍ؛ فبوجودِها نستطيعُ أداءَ كثيرٍ منْ نشاطاتِنا اليوميةِ، ومنْ دونِها نفقدُ التلامسَ معَ سطحِ الأرضِ، ونطفو في الفضاءِ. وقوةُ التجاذبِ الكتليِّ مسؤولةٌ أيضًا عن حركةِ القمرِ حولَ الأرضِ، وعنْ حركةِ كواكبِ مجموعتِنا الشمسيةِ وأجرامِها حولَ الشمسِ.

✓ **أتحقَّقُ**: علامَ ينصُّ قانونُ الجذبِ العامُّ لنيوتن؟

المثالُ 18

إذا كانتْ كتلةُ مريمَ (50 kg)، وكتلةُ عائشةَ (60 kg)، والبعدُ بينهُما (50 cm)، فأحسبُ مقدارَ القوةِ التي تؤثرُ بها مريمُ في عائشةَ ($\boldsymbol{F}_{\text{MA}}$)، وأُحدِّدُ اتجاهَها.

المعطياتُ: نرمزُ إلى مريمَ بالرمزِ (M)، وإلى عائشةَ بالرمزِ (A).

$m_{\text{M}} = 50\text{ kg},\quad m_{\text{A}} = 60\text{ kg},\quad r = 50\text{ cm} = 0.50\text{ m}$

المطلوبُ: $\boldsymbol{F}_{\text{MA}} = ?$

الحلُّ:

نستخدمُ قانونَ الجذبِ العامَّ لنيوتن لحسابِ مقدارِ قوةِ التجاذبِ الكتليِّ التي تؤثرُ بها مريمُ في عائشةَ.

$$F_{\text{MA}} = \frac{G m_{\text{M}}\, m_{\text{A}}}{r^2}$$

$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 50 \times 60}{0.50} = \frac{2.001 \times 10^{-7}}{0.50}$$

$$= 8.004 \times 10^{-7}\text{ N}$$

وتكونُ هذهِ القوةُ في اتجاهِ مريمَ؛ حيثُ إنَّها قوةُ تجاذبٍ دائمًا.

تسارع السقوط الحر Gravitational Acceleration

باستخدام قانون الجذب العام يمكن حساب تسارع السقوط الحر (g) بالقرب من سطح الأرض. فعندما يسقط جسم كتلته (m) سقوطا حرا بالقرب من سطح الأرض يتأثر بقوة محصلة تساوي وزنه.

$$\sum F = ma = mg$$

ويكونُ وزنُ الجسمِ على سطحِ الأرضِ (أوْ بالقربِ منهُ) مساويًا لقوةِ التجاذبِ الكتليِّ بينَ كتلةِ الجسمِ وكتلةِ الأرضِ؛ لذا:

$$\frac{Gmm_E}{r_E^{\ 2}} = mg$$

حيثُ: r_E نصفُ قطرِ الأرضِ، و m_E كتلةُ الأرضِ.

وبقسمةِ طرفيْ المعادلةِ على كتلةِ الجسمِ نحصلُ على المعادلةِ الآتيةِ لحسابِ تسارعِ السقوطِ الحرِّ على سطحِ الأرضِ أوْ قريبًا منهُ:

$$g = \frac{Gm_E}{r_E^{\ 2}}$$

وبتعويضِ قيمِ كلٍّ منْ: ثابتِ الجذبِ العامِّ، وكتلةِ الأرضِ $(5.98 \times 10^{24}\ \text{kg})$ تقريبًا، ومتوسطِ نصفِ قطرِها $(6.38 \times 10^{6}\ \text{m})$ تقريبًا، نحصلُ على قيمةِ تسارعِ السقوطِ الحرِّ بالقربِ منْ سطحِ الأرضِ:

$$g = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 5.98 \times 10^{24}}{(6.38 \times 10^{6})^2} = 9.8\ \text{m/s}^2$$

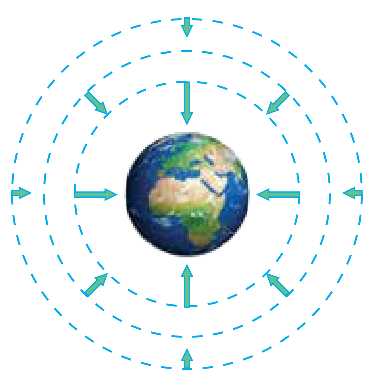
ويكونُ اتجاهُ تسارعِ السقوطِ الحرِّ في اتجاهِ مركزِ الأرضِ دائمًا. ويتضحُ منْ معادلةِ حسابِ تسارعِ السقوطِ الحرِّ أنَّهُ: بزيادةِ البُعدِ عنْ مركزِ الأرضِ يقلُّ مقدارُ تسارعِ السقوطِ الحرِّ، لذا؛ يتناقصُ وزنُ أيِّ جسمٍ في أثناءِ ابتعادِهِ عنْ سطحِ الأرضِ. أنظرُ الشكلَ (28) الذي يوضحُ كيفَ يتغيرُ تسارعُ السقوطِ الحرِّ بتغيرِ البعدِ عنْ سطحِ الأرضِ.

ويُحسبُ تسارعُ السقوطِ الحرِّ للأرضِ عندَ أيِّ موقعٍ في الكونِ يبعدُ عنْ مركزِها مسافةَ r بالمعادلةِ الآتيةِ:

$$g = \frac{Gm_E}{r^2}$$

ويُمكنُ استخدامُ هذهِ المعادلةِ لحسابِ تسارعِ السقوطِ الحرِّ على سطحِ أيِّ كوكبٍ؛ إذا عُلِمَ نصفُ قطرِهِ وكتلتُهُ.

أتحقَّقُ: علامَ يعتمدُ تسارعُ السقوطِ الحرِّ على سطحِ أيِّ كوكبٍ؟



الشكلُ (28): تمثّلُ الأسهمُ تسارعَ السقوطِ الحرِّ مقدارًا واتجاهًا؛ حيثُ يقلُّ مقدارُهُ بالابتعادِ عنْ سطحِ الأرضِ، ويكونُ مقدارُهُ متساويًا عندَ جميعِ النقاطِ التي لَها البعدُ نفسُهُ عنْ مركزِ الأرضِ.

المثالُ ١٩

إذا علمتُ أنَّ كتلةَ القمرِ (7.35×10^{22} kg) تقريبًا، ونصفَ قطرِهِ (1.738×10^{6} m) تقريبًا، فأحسبُ مقدارَ: تسارعِ السقوطِ الحرِّ على سطحِ القمرِ.

المعطياتُ: نرمزُ إلى القمرِ بالرمزِ (M).

$m_M = 7.35 \times 10^{22}$ kg, $r_M = 1.738 \times 10^{6}$ m, $r_A = 2\, r_M$

المطلوبُ: $g_M = ?$

الحلُّ:

أستخدمُ معادلةَ حسابِ تسارعِ السقوطِ الحرِّ الآتيةَ:

$$g_M = \frac{G m_M}{r_M^{\,2}}$$

$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.35 \times 10^{22}}{(1.738 \times 10^{6})^2} = 1.62 \text{ m/s}^2$$

أبحثُ: نشاهد في الأخبار والأفلام الوثائقية رواد الفضاء وهم يطفون بحرية داخل المركبة أو المحطة الفضائية، إذ يبدو من حركتهم أن لا وزن لهم. يطلق على هذه الظاهرة انعدام الوزن، ويعتقد البعض أن سببها انعدام الجاذبية الأرضية عند ارتفاع الموقع الذي توجد فيه المركبة. أبحث في سبب هذه الظاهرة.

مراجعةُ الدرسِ

1. **الفكرةُ الرئيسةُ:** أصف الحالة الحركية للجسم عندما تكون القوة المحصلة المؤثرة فيه صفرًا، أصف المقصود بأزواج القوى في الطبيعة.

2. **أستخدمُ الأرقامَ:** تتحرَّكُ سيارةٌ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا واتجاهًا على طريقٍ أفقيٍّ مستقيم. إذا كانَتْ قُوَّةُ دفعِ مُحرِّكِها (6000 N)، فما مقدارُ القُوَّةِ المعيقةِ المُؤثِّرةِ في السيارةِ؟ ما اتجاهُها؟

3. **أستخدم الأرقام:** دفع زيد عربة تسوق كتلتها (40 kg) فتسارعت بمقدار ($2\ m/s^2$) جهة اليمين على أرضية ملساء. أجد كلًّا ممايأتي:
   أ . القوة المحصلة المؤثرة في العربة مقدارًا واتجاهًا.
   ب. قوة دفع زيد للعربة عندما أصبحت كتلتها (60 kg)، وتأثرت بقوة احتكاك (30 N) نحو اليسار فتحركت بالتسارع نفسه.

4. **أُصدرُ حُكمًا:** في أثناءِ دراستي وزميلي يوسفَ لهذا الدرسِ، قالَ: «يجبُ أنْ تُؤثِّرَ قُوَّةٌ محصلةٌ في الجسمِ بصورةٍ دائمةٍ لكيْ يتحرَّكَ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ ثابتةٍ». أُناقِشُ صحَّةَ قولِ يوسفَ.

5. **أَستنتج:** كيفَ تتغيرُ قوةُ التجاذبِ الكتليِّ بينَ جسميْنِ: m_1 وَ m_2، المسافةُ بينَ مركزيْهِما r، عندَ مضاعفةِ كلٍّ ممّا يأتي مرّتين:
   أ . المسافةِ بينَ مركزيْهِما   ب. كتلةِ الجسمِ الأولِ   جـ. كتلتيْ الجسميْنِ معًا

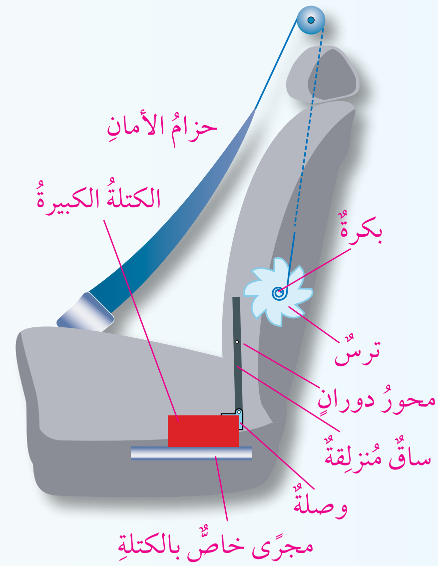
6. **تفكير ناقد:** كرةٌ معلقة بخيط فوق سطح الأرض، متزنة اتزانًا سكونيًا، قُطِع الخيط فسقطت باتجاه سطح الأرض. أطبق قوانين الحركة الثلاثة وقانون الجذب العام لنيوتن على.
   أ . النظام المُكوّن من الأرض والكرة.
   ب. الكرة باعتبارها جسم مفرد.

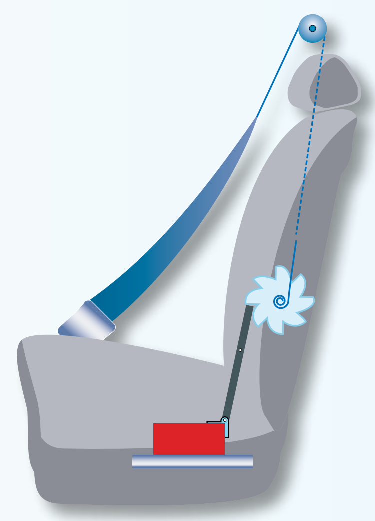
الإثراءُ والتوسعُ

الفيزياءُ والحياةُ

تُستخدَمُ أحزمةُ الأمانِ في السيارةِ لحمايةِ السائقِ والرُّكّابِ، والحدِّ منْ تعرُّضِهِمْ للإصاباتِ الخطرةِ في حالِ التوقُّفِ المُفاجِئِ، أوِ التناقُصِ الكبيرِ في سرعةِ السيارةِ، أوْ تغييرِ اتجاهِها عندَ المنعطفاتِ؛ إذْ يعملُ حزامُ الأمانِ على تثبيتِ الشخصِ في كرسيِّهِ، ويَحولُ دونَ اندفاعِهِ إلى الأمامِ، مانعًا ارتطامَهُ بعجلةِ القيادةِ، أوِ الزجاجِ الأماميِّ؛ فالراكبُ في السيارةِ يكتسبُ سرعةَ السيارةِ نفسَها. وفي حالِ عدمِ استخدامِهِ حزامَ الأمانِ، فإنَّهُ يندفعُ إلى الأمامِ عندما تتباطأُ السيارةُ؛ نتيجةً لقصورِهِ الذاتيِّ.

يعتمدُ مبدأُ عملِ حزامِ الأمانِ على القصورِ الذاتيِّ أيضًا. ويُوضِّحُ الشكلُ المجاورُ أحدَ أنواعِ أحزمةِ الأمانِ؛ ففي الأحوالِ العاديةِ، يدورُ الترسُ بحريةٍ في الاتجاهيْنِ حولَ البكرةِ المُزوَّدةِ بنابضٍ؛ ما يسمحُ بحركةِ الحزامِ، ثمَّ بحريةِ الحركةِ للشخصِ. وفي حالِ حدثَ تغيُّرٌ مُفاجِئٌ في السرعةِ المُتَّجِهةِ للسيارةِ (وقوعُ حادثٍ مثلًا)، فإنَّ السيارةَ تتباطأُ بصورةٍ كبيرةٍ؛ ما يُسبِّبُ اندفاعَ كتلةٍ كبيرةٍ موجودةٍ أسفلَ الكرسيِّ إلى الأمامِ خلالَ مجرًى خاصٍّ لها؛ بسببِ قصورِها الذاتيِّ؛ ما يؤدي إلى دورانِ الساقِ الفلزيةِ حولَ محورِها، ثمَّ تثبيتِ أسنانِ الترسِ، ومنعِ دورانِهِ، وهوَ ما يؤدي إلى تثبيتِ حزامِ الأمانِ، ثمَّ تثبيتِ السائقِ في مكانِهِ.





الساقُ الفلزيةُ تمنعُ دورانَ الترسِ، وتُثبِّتُ حزامَ الأمانِ عندَ وقوعِ حادثٍ، أوْ عندَ تباطُؤِ السيارةِ بصورةٍ كبيرةٍ.

أبحث مستعينًا بمصادرِ المعرفةِ المناسبةِ، أبحثُ عنْ مزايا استخدامِ حزامِ الأمانِ، ومخاطرِ عدمِ الالتزامِ بهِ في أثناءِ سيرِ المركبةِ، ثمَّ أكتبُ تقريرًا عنْ ذلكَ، ثمَّ أقرأُهُ أمامَ زملائي/ زميلاتي في غرفةِ الصفِّ.

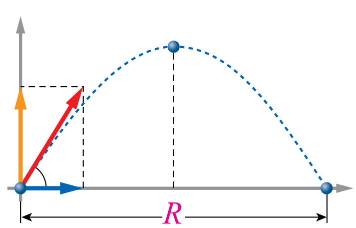
1. أضعُ دائرةً حولَ رمزِ الإجابةِ الصحيحةِ لكلِّ جملةٍ ممّا يأتي:

1. المُتَّجِهُ الذي يُمثِّلُ التغيُّرَ في موقعِ جسمٍ بالنسبةِ إلى نقطةِ إسنادٍ مرجعيةٍ، هوَ:
   أ . السرعةُ القياسيةُ. ب . السرعةُ المُتَّجِهةُ.
   جـ. الإزاحةُ. د . الموقعُ.

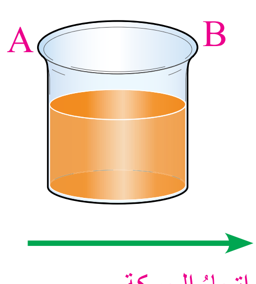
2. ناتجُ قسمةِ المسافةِ الكليةِ التي تقطعُها سيارةٌ على الزمنِ الكليِّ لحركتِها، يُسمّى:
   أ . السرعةَ القياسيةَ المتوسطةَ. ب . السرعةَ المُتَّجِهةَ المتوسطةَ.
   جـ. السرعةَ المُتَّجِهةَ اللحظيةَ. د . التسارُعَ المتوسطَ.

3. إذا قُذِفَ جسمٌ رأسيًّا إلى الأعلى، ووصلَ أقصى ارتفاعٍ لهُ، فإنَّ:
   أ . إزاحتَهُ تساوي صفرًا. ب . تسارُعَهُ يساوي صفرًا.
   جـ. زمنَ الصعودِ يساوي صفرًا. د . سرعتَهُ تساوي صفرًا.

4. العبارةُ الصحيحةُ التي تصفُ حركةَ المقذوفِ، بإهمالِ مقاومةِ الهواءِ، هيَ:
   أ . التسارُعُ الأفقيُّ صفرٌ، والتسارُعُ الرأسيُّ (g).
   ب. التسارُعُ الأفقيُّ صفرٌ، والتسارُعُ الرأسيُّ صفرٌ.
   جـ. التسارُعُ الأفقيُّ (g)، والتسارُعُ الرأسيُّ صفرٌ.
   د . التسارُعُ الأفقيُّ (g)، والتسارُعُ الرأسيُّ (g).



5. الإزاحةُ الأفقيةُ التي يَصنعُها المقذوفُ في الشكلِ المجاورِ عندما يعودُ إلى مستوى إطلاقِهِ، تُسمّى:
   أ . أقصى ارتفاعٍ. ب . المدى الأفقيَّ.
   جـ. المدى الرأسيَّ. د . المسارَ الفعليَّ.



6. تجلسُ فرحُ في سيارةٍ تتحرَّكُ على طريقٍ أفقيٍّ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ ثابتةٍ في اتجاهِ المحورِ ($+x$)، وتُمسِكُ بيدِها كوبًا فيهِ عصيرٌ، أنظرُ الشكلَ المجاورَ. إذا ضغطَ السائقُ فجأةً على المكابحِ:
   أ . فإنَّ العصيرَ ينسكبُ منَ الجهةِ (A).
   ب. فإنَّ سطحَ العصيرِ في الكوبِ يبقى مستويًا.
   جـ. فإنَّ العصيرَ ينسكبُ منَ الجهةِ (B).
   د . فلا يُمكِنُ تحديدُ جهةِ انسكابِ العصيرِ.

7. تُسمّى ممانعةُ الجسمِ لأيِّ تغييرٍ في حالتِهِ الحركيةِ:
   أ . السرعةَ المُتَّجِهةَ. ب . القُوَّةَ المحصلةَ.
   جـ. القانونَ الثالثَ لنيوتن. د . القصورَ الذاتيَّ.

8. عندَ نقصانِ مقدارِ القُوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرةِ في جسمٍ إلى النصفِ، معَ ثباتِ كتلتِهِ، فإنَّ مقدارَ تسارُعِهِ:

أ . يتضاعفُ مرَّتيْنِ.   ب. يتضاعفُ أربعَ مرّاتٍ.

جـ. يقلُّ بمقدارِ النصفِ.   د . لا توجدُ علاقةٌ بينَهُما.

9. عند قياس وزن شخص على سطح القمر يجده أقل من وزنه على الأرض، وذلك ناتج عن:

أ . كتلة القمر أقل من كتلة الأرض.

ب. القمر ليس له غلاف جوي.

جـ. قطر القمر أقل من قطر الأرض.

د . القمر ليس له مجال مغناطيسي.

10. تتحرك محطة فضائية في مسار دائري حول الأرض على مسافة (d) من مركز الأرض، تجذبها الأرض بقوة (F). إذا نقص بعدها عن مركز الأرض إلى $(0.8\, d)$، فإن قوة جذب الأرض لها تصبح:

أ . $(0.8\, F)$ ب. $(0.64\, F)$

جـ. $(\frac{F}{0.8})$ د. $(\frac{F}{0.64})$

2. أَصِفُ نوعَ الحركةِ في كلِّ حالةٍ ممّا يأتي؛ بالاختيارِ ممّا بينَ القوسيْنِ: (بُعْدٌ، بُعْدانِ، دائريةٌ منتظمةٌ، دائريةٌ غيرُ منتظمةٍ):

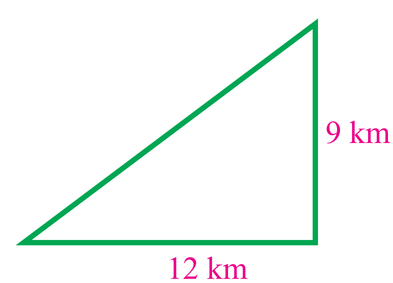
أ . الحركةُ الدورانيةُ بمعدلٍ ثابتٍ لعجلةِ السيارةِ حولَ محورِها.

ب . حركةُ قطارٍ على سكَّةِ حديدٍ أفقيةٍ في خطٍّ مستقيمٍ باتجاهيْنِ مختلفيْنِ (شرقًا، وغربًا).

جـ. حركةُ قطارٍ على سكَّةِ حديدٍ غيرِ أفقيةٍ (صعودًا، وهبوطًا) باتجاهِ الغربِ.

د . حركةُ قمرٍ صناعيٍّ حولَ الأرضِ، على ارتفاعٍ ثابتٍ فوقَ سطحِها.

3. **أَستخدمُ الأرقامَ:** تحرَّكَتْ درّاجةٌ هوائيةٌ في خطٍّ مستقيمٍ باتجاهِ الشرقِ، فقطعَتْ مسافةَ (12 km)، ثمَّ تحرَّكَتْ في خطٍّ مستقيمٍ باتجاهِ الشمالِ، فقطعَتْ مسافةَ (9 km) في (35 min) كما في الشكلِ المجاورِ. أَجِدُ:



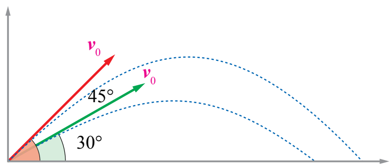
أ . السرعةَ القياسيةَ المتوسطةَ للدرّاجةِ في أثناءِ حركتِها.

ب. السرعةَ المُتَّجِهةَ المتوسطةَ للدرّاجةِ في أثناءِ حركتِها.

4. **أَستخدمُ الأرقامَ:** صمَّمَتْ مهندسةٌ مَدْرجًا لحركةِ الطائراتِ منْ وضعِ السكونِ حتّى تبلغَ سرعتُها النهائيةُ عندَ الإقلاعِ (60 m/s). إذا كانَ تسارُعُ إحدى الطائراتِ ($2.4\ m/s^2$)، فما أقلُّ طولٍ ممكنٍ للمَدْرجِ؟

5. **أَستخدمُ الأرقامَ:** أُطلِقَتْ قذيفةٌ منْ سطحِ الأرضِ بسرعةٍ ابتدائيةٍ، مُركَّبتُها الأفقيةُ (49 m/s)، ومُركَّبتُها الرأسيةُ (98 m/s). أَجِدُ مقدارَ الزمنِ اللازمِ لوصولِ القذيفةِ إلى أقصى ارتفاعٍ.

6. **أَستخدمُ الأرقامَ:** أُطلِقَتْ قذيفةٌ بسرعةٍ ابتدائيةٍ (v_0)، وبزاويةٍ معَ سطحِ الأرضِ مقدارُها (30°)، كما في الشكلِ الآتي. إذا أصبحَتِ الزاويةُ (45°)، فكيفَ سيتغيَّرُ مدى القذيفةِ الأفقيُّ؟



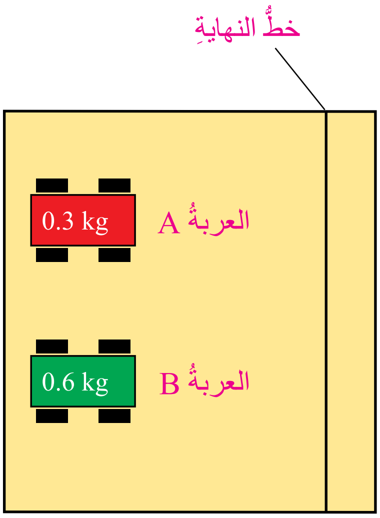
7. **أفسر** كل مما يأتي:

- عند النظر إلى سبّاح في بركة السباحة نلاحظ أنه يدفع الماء إلى الخلف.
- عند قياس وزن جسم فوق قمة إفرست نجده أقل من وزنه عند البحر الميت.

8. **أستنتجُ:** يُمثِّلُ الشكلُ المجاورُ منظرًا علويًّا لعربتيْنِ مختلفتيْنِ في الكتلةِ؛ (A)، وَ (B)، تستقرّانِ على سطحٍ أفقيٍّ. دُفِعَتِ العربتانِ منْ وضعِ السكونِ في اللحظةِ نفسِها في اتجاهِ المحورِ ($+x$)، ووصلَتا خطَّ النهايةِ في اللحظةِ نفسِها أيضًا. بناءً على ما سبقَ، أجيبُ عمّا يأتي:

أ . أيُّ العربتيْنِ أثَّرَتْ فيها قُوَّةٌ محصلةٌ أكبرُ؟ أُفسِّرُ إجابتي.

ب. ما العلاقةُ بينَ تسارُعَيِ العربتيْنِ؟ أُفسِّرُ إجابتي.

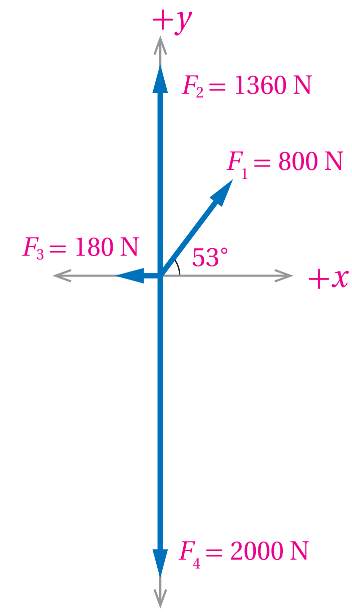


9. **أَستخدمُ الأرقامَ:** تتحرَّكُ سيارةٌ كتلتُها (1000 kg) على طريقٍ أفقيٍّ مستقيمٍ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ ثابتةٍ مقدارُها (24 m /s) في اتجاهِ المحورِ ($+x$). شاهدَ سائقُها ممرَّ مُشاةٍ أمامَهُ، فضغطَ على المكابحِ مُسبِّبًا تباطؤَ السيارةِ حتّى توقَّفَتْ بعدَ (4 s). أَجِدُ:

أ . تسارُعَ السيارةِ.

ب. القُوَّةَ المحصلةَ التي أثَّرَتْ في السيارةِ.

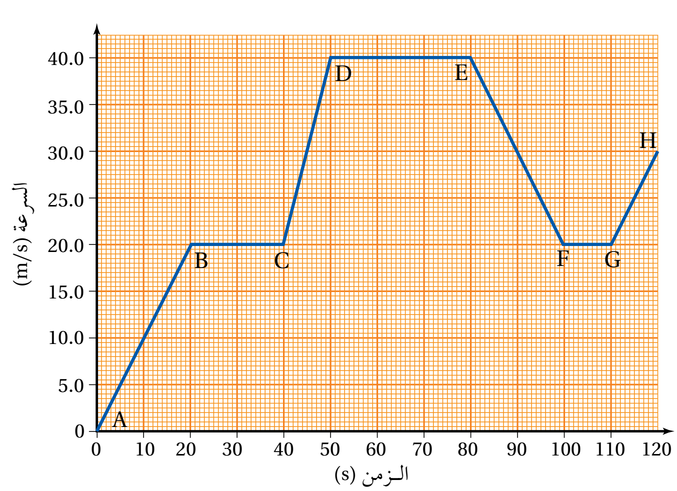
10. **أستخدمُ الأرقامَ:** أثَّرَتْ قوًى عِدَّةٌ مستويةٌ متلاقيةٌ في قاربٍ كتلتُهُ (200 kg)، في أثناءِ سحبِهِ بسفينةٍ. وكانَ مُخطَّطُ الجسمِ الحُرِّ لهذهِ القوى كما في الشكلِ المجاورِ. أَجِدُ:
أ . القُوَّةَ المحصلةَ المُؤثِّرةَ في القاربِ.
ب. التسارُعَ الأفقيَّ والتسارُعَ الرأسيَّ للقاربِ.



11. **أستخدم الأرقام:** كتلة هدى على سطح الأرض (60 kg) أحسب وزنها على سطح كوكب المشتري، إذا علمت أن كتلة كوكب المشتري (1.9×10^{27} kg) تقريبًا ونصف قطره (7.15×10^{7} m) تقريبًا.

12. **التفكير الناقد:** أحدد موقع نقطة في الفضاء بين الأرض والقمر، بحيث إذا وُضع فيها جسم كتلته (m) تكون القوة المحصلة المؤثرة فيه (جذب الأرض وجذب القمر له) تساوي صفرًا؟ علمًا أن كتلة الأرض تعادل (81) ضعف كتلة القمر، ومتوسط المسافة بين الأرض والقمر (4.0×10^{8} m) تقريبًا.

13. **أُحلّلُ البيانات:** يبيّنُ الشكلُ مُنحَنى (السرعة – الزمن) لجسم. مُعتمدًا على الشكل؛ أجيب عن الأسئلة الآتية:
أ . ما مِقدارُ السرعةِ اللّحظيّةِ للجسمِ عندَ اللّحظةِ ($t = 1$s)؟
ب. أصِفُ سرعةَ الجِسمِ خلالَ المرحلةِ (BC).
ج. ما المرحلةُ التي تحرّكَ فيها الجسمُ بأكبرِ تسارُعٍ؟
د . أَصِفُ الحالةَ الحركيّةَ للجسمِ في المرحلةِ (EF).
هـ. أحسبُ المسافةَ التي قطعَها الجسمُ في المرحلة (DE).
و . أحسِبُ تسارُعَ الجسمِ في المرحلة (AB).



مسردُ المصطلحاتِ

- **أقصى ارتفاعٍ (Maximum Height):** الإزاحةُ الرأسيةُ العظمى التي يَصنعُها المقذوفُ.
- **تحليلُ المُتَّجِهاتِ إلى مُركَّباتِها (Resolving Vectors into Components):** الاستعاضةُ عنْ مُتَّجِهٍ بمُتَّجِهيْنِ متعامديْنِ (على محورَيْ x-y مثلًا) يُسمّيانِ مُركَّبتَيِ المُتَّجِهِ، ومحصلتُهُما المُتَّجِهُ نفسُهُ، وهما يتحدانِ معَهُ في نقطةِ البدايةِ.
- **التسارُعُ (Acceleration):** كميةٌ مُتَّجِهةٌ تُعطى بناتجِ قسمةِ التغيُّرِ في السرعةِ اللحظيةِ على المدَّةِ الزمنيةِ اللازمةِ لإحداثِ التغيُّرِ في السرعةِ.
- **التسارُعُ المركزيُّ (Centripetal Acceleration):** تسارُعٌ ناتجٌ منَ التغيُّرِ في اتجاهِ السرعةِ المماسيةِ لجسمٍ يتحرَّكُ حركةً دائريةً.
- **جمعُ الكمياتِ المتَّجِهةِ (Addition of Vector Quantities):** جمعٌ مُتَّجِهيٌّ للكمياتِ المُتَّجِهةِ، يُراعى فيهِ المقدارُ والاتجاهُ، وهوَ ليسَ جمعًا جبريًّا.
- **الحركةُ الدائريةُ (Circular Motion):** حركةُ جسمٍ في مسارٍ دائريٍّ بحيثُ يبقى بُعْدُهُ عنْ مركزِ المسارِ ثابتًا.
- **الحركةُ الدائريةُ المنتظمةُ (Uniform Circular Motion):** حركةٌ دائريةٌ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا.
- **الحركةُ المنتظمةُ (Uniform Motion):** حركةُ الجسمِ بسرعةٍ متجهة ثابتةٍ.
- **زمنُ التحليقِ (Time of Flight):** الزمنُ الكليُّ لحركةِ المقذوفِ في الهواءِ.
- **السرعةُ القياسيةُ (Speed):** معدلُ تغيُّرِ المسافةِ المقطوعةِ بالنسبةِ إلى الزمنِ.
- **السرعةُ القياسيةُ المتوسطةُ (Average Speed):** ناتجُ قسمةِ المسافةِ الكليةِ التي يقطعُها الجسمُ المتحرِّكُ على الزمنِ الكليِّ لهذهِ الحركةِ.
- **السرعةُ المُتَّجِهةُ اللحظيةُ (Instantaneous Velocity):** سرعةُ الجسمِ المُتَّجِهةُ عندَ لحظةٍ معينةٍ.
- **السرعةُ المُتَّجِهةُ (Velocity):** معدلُ تغيُّرِ الإزاحةِ بالنسبةِ إلى الزمنِ.
- **السرعةُ المُتَّجِهةُ المتوسطةُ (Average Velocity):** ناتجُ قسمةِ الإزاحةِ التي يُحْدِثُها الجسمُ المتحرِّكُ على الزمنِ الكليِّ لحركةِ الجسمِ.

- **الضربُ القياسيُّ (Scalar Product):** عمليةُ ضربِ كميةٍ مُتَّجِهةٍ في كميةٍ أُخرى مُتَّجِهةٍ، يكونُ ناتجُها كميةً غيرَ مُتَّجِهةٍ (لها مقدارٌ فقطْ).

- **الضربُ المُتَّجِهيُّ (Vector Product):** عمليةُ ضربِ كميةٍ مُتَّجِهةٍ في كميةٍ أُخرى مُتَّجِهةٍ، يكونُ ناتجُها كميةً مُتَّجِهةً (لها مقدارٌ واتجاهٌ).

- **القانونُ الأولُ لنيوتن (Newton's First Law):** الجسمُ يظلُّ على حالتِهِ منْ حيثُ السكونُ أوِ الحركةُ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا واتجاهًا ما لم تُؤثِّرْ فيهِ قُوَّةٌ خارجيةٌ محصلةٌ تُغيِّرُ حالتَهُ الحركيةَ.

- **القانونُ الثالثُ لنيوتن (Newton's Third Law):** إذا تفاعلَ جسمانِ (A وَB)، فإنَّ القُوَّةَ التي يُؤثِّرُ بها الجسمُ (A) في الجسمِ (B) تساوي القُوَّةَ التي يُؤثِّرُ بها الجسمُ (B) في الجسمِ (A) منْ حيثُ المقدارُ، وتُعاكِسُها في الاتجاهِ.

- **القانونُ الثاني لنيوتن (Newton's Second Law):** تسارُعُ الجسمِ يتناسبُ طرديًّا معَ القُوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرةِ فيهِ، ويتناسبُ عكسيًّا معَ كتلتِهِ.

- **القصورُ الذاتيُّ (Inertia):** ممانعةُ الجسمِ لأيِّ تغييرٍ في حالتِهِ الحركيةِ.

- **القُوَّةُ المحصلةُ (Resultant Force):** حاصلُ الجمعِ المُتَّجِهيِّ لجميعِ القوى المُؤثِّرةِ في الجسمِ، بحيثُ تنتجُ قُوَّةٌ منفردةٌ لها تأثيرٌ يُكافِئُ تأثيرَ جميعِ القوى المُؤثِّرةِ في الجسمِ مُجتمِعةً.

- **الكمياتُ القياسيةُ (Scalar Quantities):** كمياتٌ تُحدَّدُ فقطْ بالمقدارِ، وليسَ لها اتجاهٌ.

- **الكمياتُ المُتَّجِهةُ (Vector Quantities):** كمياتٌ تُحدَّدُ بالمقدارِ والاتجاهِ معًا.

- **مُتَّجِهُ المحصلةِ (Resultant Vector):** مُتَّجِهٌ ناتجٌ منَ الجمعِ المُتَّجِهيِّ لمُتَّجِهاتٍ عِدَّةٍ.

- **المدى الأفقيُّ (Range):** الإزاحةُ الأفقيةُ التي يَصنعُها المقذوفُ منذُ إطلاقِهِ حتّى يعودَ إلى مستوى الإطلاقِ نفسِهِ.

- **المقذوفاتُ (Projectiles):** أجسامٌ تبدأُ حركتَها بسرعةٍ ابتدائيةٍ تَصنعُ زاويةً أقل من (90) درجة معَ الأفقِ، وتتحرَّكُ تحتَ تأثيرِ قُوَّةِ جاذبيةِ الأرضِ فقطْ (بإهمال مقاومة الهواء).