الفيزياء

الصف العاشر

الفصل الدراسي الأول

قرّرت وزارة التربية والتعليم تدريس هذا الكتاب في مدارس المملكة الأردنية الهاشمية جميعها، بناءً على قرار مجلس التربية والتعليم رقم، تاريخ ، بدءًا من العام الدراسي م.

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(/ /)

ISBN: - - - -

الطبعة الأولى ..... هـ/ ...... م

المحتويـــات

الموضوع .... **الصفحـة**

المقدمة

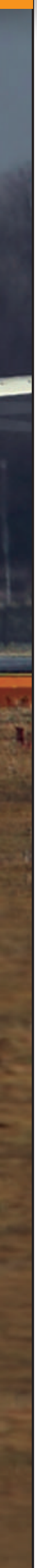
بِسْمِ اللهِ الرَّحْمنِ الرَّحيمِ

لقد حرصتْ المملكةُ الأردنيةُ الهاشميةُ دوماً على تطوير نظامٍ تعليميٍّ متميزٍ في جوانب عدة منها إعدادُ مناهجَ وطنيةٍ تحققُ معاييرَ الجودةِ العالميةِ، وتهدفُ إلى بناءِ إنسانٍ متعلمٍ يتسلحُ بالمعرفة، والقيم إضافةً إلى إكسابهِ مهاراتٍ تمكِّنهُ من المساهمةِ الفاعلةِ في بناءِ وطنهِ، وانخراطهِ في شتى المجالاتِ المعرفية بكل تميزٍ واقتدارٍ.

نُقدِّمُ هنا كتابَ الفيزياءِ لطلبةِ الصفِّ العاشر، بفصليهِ الأول والثاني، الذي حَرِصنا خلالَ تأليفهِ على تقديمِ معلومةٍ علميةٍ دقيقةٍ بمنهجية تعتمدُ السلاسةَ في العرضِ والوضوحَ في التعبير. كما تمَ مُراعاةِ الاستمراريةِ بين الموضوعاتِ المطروحةِ في المراحلِ الدراسيةِ السابقةِ واللاحقةِ. ونظرا للأهمية البالغةِ للأنشطةِ والتجاربِ العمليةِ في جلب انتباهِ الطالبِ وتعميقِ فهمهِ لموضوعاتِ المادةِ، فقد تمَ تأليفُ دليل منفصلٍ للأنشطةِ والتجاربِ العمليةِ، حيثُ يقومُ الطالبُ، تحتَ إشرافِ المعلمِّ، بالمشاركةِ الفاعلةِ مع أقرانهِ بإجراءِ التجارُبِ وأخذِ القراءاتِ وتحليلها ثمَّ مناقشتها تمهيداً للخروج باستنتاجاتٍ مبنيةٍ على أسسٍ علميةٍ سليمةٍ. كما تضمنَ دليلُ التجاربِ أسئلةً تُحاكي أسئلة الاختبارات الدولية ركّزَتْ على تعميقِ فهمِ الطالب لموضوعاتِ المادةِ بالإضافةِ إلى استثارةِ التفكيرِ الناقدِ لديهِ.

كما تمَّ اتباعُ منهجيةِ التّدرُّجِ في طرحِ موضوعاتِ مادة كتابِ الفيزياءِ، واستهلالُ كلٍّ من وحداتهِ بأسئلةٍ تربطُ ما بين علم الفيزياءِ والظواهرِ التي من حولنا، من شأنِها تحفيزُ الطالبِ على استخدامِ ما يتعلمهُ في الغرفةِ الصفيةِ لتفسيرِ مشاهداتٍ يوميةٍ وظواهرَ طبيعيةٍ قد تحدُثُ أمامهُ، أو يشاهدها على التلفازِ، أو يسمعُ عنها. كما تَضَمّنتْ كلُّ وحدةٍ نشاطاً إثرائياً يتبنَّى منحى steam في منهجيةِ التعلُّم حيثُ يتمُّ من خلالِهِ الربطُ بين المجالاتِ العلميَّةِ والتكنولوجيَّةِ المتنوعةِ مثلُ الفلكِ، الرياضياتِ، الهندسةِ وغيرُها.

وفي النهايةِ فقد تمَّ بذلُ كلَّ جهدٍ للوصولِ إلى كتابٍ دقيقٍ علمياً، جاذباً للطالبِ وخالياً من الأخطاءِ ونسألُ اللهَ أن نكونَ قد وُفِّقنا في ذلك.



الْوَحْدَةُ 1

الْمُتَّجِهاتُ
Vectors

أتأمَّلُ الصورةَ

يكونُ هبوطُ الطائراتِ باتجاهٍ موازٍ لمَدْرجِ المطارِ في الأحوالِ الاعتياديةِ، ولكنَّ الطيارَ يواجهُ صعوباتٍ في أثناءِ عمليةِ الهبوطِ في الأجواءِ العاصفةِ؛ إذْ تكونُ الرياحُ العرضية نشطةً جدًّا، فيلجأُ الطيارُ إلى توجيهِ مُقدِّمةِ الطائرةِ بشكلٍ منحرفٍ عنِ اتجاهِ المَدْرج بعكس اتجاه الرياح العرضية، كما هوَ مُبيَّنٌ في الصورةِ. وهذا ما حدثَ معَ طيارٍ أردنيٍّ؛ إذْ تمكَّنَ منَ الهبوطِ بأمانٍ على الرغم منَ العاصفةِ القويةِ التي ضربَتْ مطارَ هيثرو في لندنَ عام 2020، علمًا بأنَّه تعذَّرَ الهبوطُ على عشرينَ طائرةً وقتئذٍ. فما الهدفُ منْ توجيهِ الطيارِ مُقدِّمةَ الطائرةِ نحوَ الاتجاهِ المُبيَّنِ في الشكلِ؟ ما أثرُ ذلكَ في السلامةِ العامةِ؟

الفكرةُ العامَّةُ:

الكمياتُ الفيزيائيةُ عديدةٌ ومتنوعةٌ؛ فبعضُها كمياتٌ مُتَّجِهةٌ تتطلَّبُ تحديدَ المقدارِ والاتجاهِ للتعبيرِ عنْها على نحوٍ كاملٍ صحيحٍ وبعضها الآخر كميات قياسية تحدد بالمقدار فقط وليس لها اتجاه، والتعامل مع الكميات المتجهة وإجراءَ العملياتِ الحسابيةِ عليْها يختلفُ اختلافًا كبيرًا عنِ الكمياتِ القياسيةِ.

الدرس الأول: الكمياتُ القياسيةُ والكمياتُ المُتَّجِهةُ Scalar and Vector Quantities

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

الدرس الثاني: جمعُ المُتَّجِهاتِ وطرحُها Addition and Subtraction of vectors

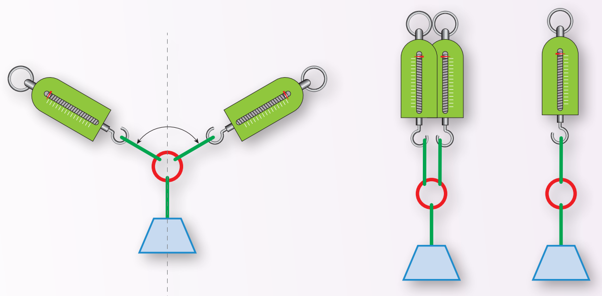
الفكرةُ الرئيسةُ: جمعُ الكمياتِ المُتَّجِهةِ أوْ طرحُها يكونُ إمّا بيانيًّا، وإمّا رياضيًّا عنْ طريقِ تحليلِ الكمياتِ المُتَّجِهةِ إلى مُركَّباتِها.

ناتجُ جمعِ قُوَّتيْنِ عمليًّا

ادَّعتْ هيا أنَّ مجموعَ قُوَّتيْنِ مقدار كل منهما 5 N تؤثران في جسم هو **5 N + 5 N = 5 N**، في حينِ ادَّعى يَمانٌ أنَّ مجموعَ القُوَّتيْنِ **5 N + 5 N = 10 N**. أيَّهُما تُؤيِّدُ؟

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

إرشاداتُ السلامةِ: الحذرُ منْ سقوطِ الأثقالِ والكتلِ على القدمينِ.



خطواتُ العملِ:

بالتعاونِ مَعَ أفرادِ مجموعتي، أُنفِّذُ الخطواتِ الآتيةَ:

1. **أقيسُ:** أُعلِّقُ الثِّقْلَ بالميزانِ الأولِ كما في الشكلِ A، ثمَّ أُدوِّنُ القراءةَ.
2. **أقيسُ:** أُعلِّقُ الميزانَ الثاني بالحلقةِ، إضافةً إلى الميزانِ الأولِ كما في الشكلِ B، ثمَّ أُدوِّنُ قراءةَ كلٍّ منَ الميزانيْنِ.
3. **أقيسُ:** أُزيحُ كلًّا منَ الميزانيْنِ في الشكلِ B: أحدَهما إلى اليمينِ، والآخرَ إلى اليسارِ كما في الشكلِC. حتّى تصبحَ قراءةُ كلِّ ميزانٍ مساويةً لقراءةِ الميزانِ في الشكلِ A، ثمَّ أُدَوِّنُ كلَّ قراءةٍ.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. ماذا تُمثِّلُ قراءةُ الميزانِ الأولِ في الحالةِ A؟
2. كيفَ تغيَّرتْ قراءةُ كلٍّ منَ الميزانيْنِ في الحالتينِ B وC؟
3. **أُقارِنُ** مجموعَ قراءةِ الموازينِ في الحالةِ B والحالةِ C بوزنِ الثِّقْلِ.
4. **أقوّم:** أُحدِّدُ أيَّهُما أُؤيِّدُ: ادّعاءَ هيا أمِ ادّعاءَ يَمانٍ؟ ماذا أستنتجُ؟

الدرس 1

الكمياتُ القياسيةُ والكمياتُ المُتَّجِهةُ

Scalar and Vector Quantities

الفكرةُ الرئيسةُ:

للكمياتِ المُتَّجِهةِ خصائصُ تمتازُ بها عنِ الكمياتِ القياسيةِ.

نتاجات التعلم:

- أُوضِّحُ المقصودَ بالكمياتِ الفيزيائيةِ: المُتَّجِهةِ، والقياسيةِ.
- أستنتجُ خصائصَ المُتَّجِهاتِ بطرائقَ مختلفةٍ.
- أحسُبُ الزاويةَ المحصورةَ بينَ مُتَّجِهيْنِ باستخدامِ تعريفِ الضربِ القياسيِّ لمُتَّجِهيْنِ.
- أُطبِّقُ خصائصَ المُتَّجِهاتِ على كمياتٍ فيزيائيةٍ مُتَّجِهةٍ.

المفاهيم والمصطلحات:

الكمياتُ المُتَّجِهةُ Vector quantities.

الكمياتُ القياسيةُ Scalar quantities.

الضربُ القياسيُّ Scalar product.

الضربُ المُتَّجِهيُّ Vector product.

تمثيلُ المُتَّجِهاتِ Representation of vectors.

سالبُ المُتَّجِهِ Negative of a vector.

تساوي مُتَّجِهيْنِ Equality of two vectors.

الكمياتُ الفيزيائيةُ

Physical Quantities

نتعاملُ في حياتِنا معَ كمياتٍ فيزيائيةٍ عديدةٍ؛ سواءٌ أكانَتْ كمياتٍ أساسيةً (مثلُ: الزمنِ، ودرجةِ الحرارةِ، والكتلةِ، والطولِ)، أوْ كمياتٍ مشتقةً (مثلُ: القُوَّةِ، والسرعةِ، والتسارعِ)، ويعبر عن بعض تلك الكميات بعدد ووحدةٍ مناسبيْنِ، فنقولُ مثلًا إنَّ كتلةَ الحقيبةِ 6 kg، وسرعةَ الطائرةِ 200 m/s. ولكنْ، هلْ كانَ وصْفُ كلٍّ منَ الكميتيْنِ كافيًا؟

يُوضِّحُ الشكلُ (1) حالةَ الطقسِ المتوقعةَ في العاصمةِ عمّانَ بحسبِ تنبؤاتِ دائرة الأرصادِ الجويةِ الأردنيةِ. ما الكمياتُ الفيزيائيةُ التي ظهرَتْ في النشرةِ الجويةِ؟ هلِ اختلفَ وصفُ كلٍّ منْها عنْ غيرِهِ؟

يُلاحَظُ وجودُ كمياتٍ فيزيائيةٍ يُمكِنُ وصفُها وصفًا كاملًا بتحديدِ مقدارِها فقطْ، وأُخرى يَلزمُ تحديدُ مقدارِها واتجاهِها معًا.

الشكلُ (1): حالةُ الطقسِ في العاصمةِ عمّانَ.

بوجهٍ عامٍّ، تُقسَّمُ الكمياتُ الفيزيائيةُ إلى قسمينِ رئيسينِ، هما:

a. 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). وحينَ يسألُني أحدُ زملائي في الصفِّ عنْ مقدارِ كتلتي، فإنَّني أُجيبُهُ مثلًا: 50 kg. ومنَ الأمثلةِ الأُخرى على الكمياتِ القياسيةِ: الحجمُ، والطاقةُ، والضغطُ.

b. الكمياتُ المُتَّجِهةُ Vector Quantities:

هيَ الكميَّاتُ التي تُحدَّدُ بالمقدارِ والاتجاهِ معًا. ففي ما يخصُّ سرعةَ الرياحِ مثلًا في الشكلِ (1-1)، لا يُكتفى بالقولِ إنَّ مقدارَها 24 km/h نهارًا، وإنَّما يجبُ تحديدُ اتجاهِها نحوَ الشرقِ لكيْ يصبحَ وصفُها كاملًا. وكذلكَ لاعبُ كرةِ القدمِ؛ فهوَ يَركُلُ الكرةَ بقدمِهِ لتنطلقَ بسرعةٍ كبيرةٍ وفي اتجاهٍ مُحدَّدٍ لكيْ يُسجِّلَ هدفًا في المرمى. ومنَ الأمثلةِ الأُخرى على الكمياتِ المُتَّجِهةِ: الإزاحةُ، والتسارعُ، والقُوَّةُ.

مثال 1

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

الجدولُ (1)	
الكميةُ الفيزيائيةُ	**كميةٌ مُتَّجِهةٌ/ كميةٌ قياسيةٌ**
الكتلة (4 kg)	
التسارع ($20\,m/s^2$، غربًا)	
الشغل (200 J)	
القوة (120 N، شمالًا)	

الحلُّ:

- الكتلةَ: كميةٌ قياسيةٌ؛ لأنَّها حُدِّدَتْ فقطْ بمقدارٍ.
- التسارعَ: كميةٌ مُتَّجِهةٌ؛ لأنَّها حُدِّدَتْ بمقدارٍ واتجاهٍ.
- الشغلَ: كميةٌ قياسيةٌ؛ لأنَّها حُدِّدَتْ فقطْ بمقدارٍ.
- القُوَّةَ، شمالًا: كميةٌ مُتَّجِهةٌ؛ لأنَّها حُدِّدَتْ بمقدارٍ واتجاهٍ.

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

- وَضْعُ سَهْمٍ فوقَ رمزِ الكميةِ المُتَّجِهةِ، مثلِ: $\vec{F}$ لتمييزِ مُتَّجِهِ القُوَّةِ، ويعبر عن مقدار المتجه باستخدام القيمةِ المُطلَقةِ لهُ $|\vec{F}|$ أوْ F لتسهيلِ كتابتِها والتعاملِ معَها، وستُستخدمُ هذهِ الطريقةَ في دفترك وعلى السبورة كذلك .
- كتابةُ رمزِ الكميةِ المُتَّجِهةِ بالخطِّ العريضِ (Bold)، مثلِ **F** لتمييزِ مُتَّجِهِ القُوَّةِ، وبالخطِّ العادي للدلالةِ على مقدارِ المُتَّجِهِ، مثلِ F، وسنستخدمُ هذهِ الطريقةَ في كتابِنا هذا.

أتحقَّقُ: أُقارِنُ بينَ الكمياتِ المُتَّجِهةِ والكمياتِ القياسيةِ.

مثال 2

أجب بنعم أو لا مدعمًا إجابتك بمثال لكل مما يأتي:

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

الحلُّ:

- نعم؛ فدرجة الحرارة قد تكون سالبة وهي كمية قياسية؛ وهنا الإشارة السالبة لا تعني اتجاهًا.
- نعم؛ فالمسافة (طول المسار الفعلي بين نقطتي البداية والنهاية) كمية قياسية، لكن الإزاحة (الخط المستقيم من نقطة البداية باتجاه نقطة النهاية) كمية متجهة ووحدة قياس كل من تلك الكميتين نفسها وهي المتر في النظام الدولي.
- نعم؛ فالكميات المتجهة يمكن أن تتساوى في المقدار وتختلف في الاتجاه فمثلاً نقول تؤثر في الجسم قوتان متساويتان في المقدار إحداهما باتجاه الشرق والأخرى باتجاه الشمال. ويمكن كذلك أن تكون الكميات المتجهة مختلفة في المقدار ومتماثلة في الاتجاه.

تمرينٌ

فِي أثناءِ جلوسِك في الغرفةِ الصفيةِ سقطَ قلمٌ باتجاه سطح الأرض. حدد كميتين قياسيتين وكميتين متجهتين تتعلق بهذه الحادثة.

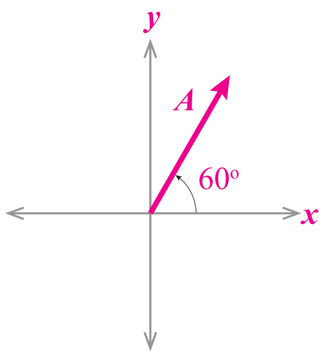
تمثيلُ المتجهات بيانيًّا

Representation of Vectors: Graphical Method

إنَّ التعاملَ معَ الكمياتِ القياسيةِ، وإجراءَ العملياتِ الحسابيةِ عليْها، أسهلُ منَ التعاملِ معَ الكمياتِ المُتَّجِهةِ. فمثلًا، منَ السهلِ المقارنةُ بين كميتيْنِ قياسيتيْنِ، خلافًا للمقارنةِ بينَ كميتيْنِ مُتَّجِهتيْنِ؛ لأنَّ لكلٍّ منْهما مقدارًا واتجاهًا. لذا نلجأُ أحيانًا إلى تمثيلِ الكمياتِ المُتَّجِهةِ تمثيلًا بيانيًّا؛ مما يسهلُ التعاملِ معَ الكمياتِ الفيزيائيةِ المُتَّجِهةِ (مثلُ: القُوَّةِ، والسرعةُ). يمكنُ أيضًا استخدامُ التمثيلِ البيانيِّ في إيجادِ محصلةِ كمياتٍ مُتَّجِهةٍ عِدَّةٍ، وإجراءِ عملياتِ الجمعِ والطرحِ عليْها.

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

- طولُ السهمِ يمثل قيمة المتجه 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 محورِ $(+x)$، بعكسِ عقاربِ الساعةِ وتسمى الزاوية المرجعية. فمثلًا، المُتَّجِهُ $\boldsymbol{A}$ في الشكلِ (2) يُكتَبُ بصورةِ $\boldsymbol{A} = A,60^o$؛ ما يعني أنَّ المُتَّجِهَ $\boldsymbol{A}$ يَصنعُ زاويةً مرجعية مقدارُها 60^o معَ محورِ $(+x)$.



الشكلُ (2) : رسمٌ لمُتَّجِهِ $\boldsymbol{A}$ على المستوى $\boldsymbol{x\text{-}y}$.

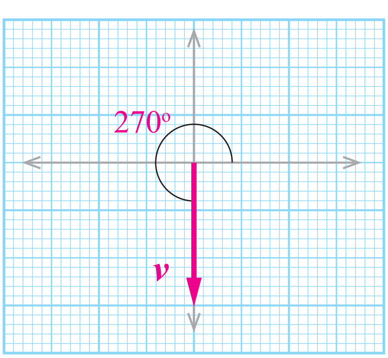
مثال 3

اكتسبَ جسمٌ سرعةَ $v = 3$ m/s, 270^o. أُمثِّلُ مُتَّجِهَ السرعةِ بيانيًّا.

الحلُّ:

- أختارُ مقياسَ رسمٍ مناسبًا، مثلَ (1cm : 1 m/s)؛ أيْ إنَّ كلَّ 1 cm على الورقةِ يُمثِّلُ 1 m/s، فيكونُ طولُ السهمِ: $3 \text{ m/s} \times (1\text{cm}/(1 \text{ m/s})) = 3 \text{ cm}$
- أرسمُ سهمًا طولُهُ 3 cm، ولهُ نقطةُ بدايةٍ (تُسمّى ذيلَ المُتَّجِهِ) عندَ نقطةِ الأصلِ (0,0)، ونقطةُ نهايةٍ (تُسمّى رأسَ المُتَّجِهِ)، بحيثُ يَصنعُ اتجاهُ السهمِ زاويةً مقدارُها 270^o معَ المحورِ $(+x)$ بعكسِ عقاربِ الساعةِ (باتجاهِ الجنوبِ) كما في الشكلِ (3).

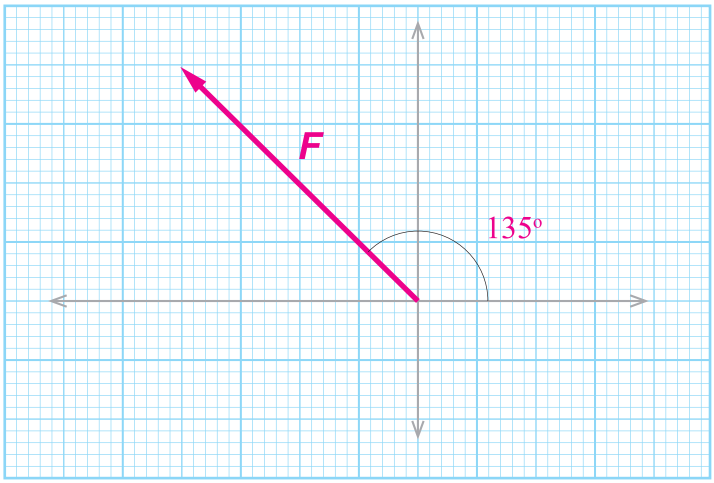
الشكلُ (3): رسمٌ لمُتَّجِهِ السرعةِ v.



مثال 4

تُؤثِّرُ قُوَّةٌ F مقدارُها $60\ N$ في جسمٍ باتجاهٍ يَصنعُ زاويةً مقدارُها 45^o شمالَ الغربِ. أُمثِّلُ مُتَّجِهَ القُوَّةِ F بيانيًّا.

* **ملاحظة:** عندما نقول أن المتجه يصنع زاوية θ (مثلا 45^o) شمال الغرب؛ فهذا يعني أن نبدأ من الغرب باتجاه الشمال ونقطع زاوية 45^o وعندما نقول غرب الشمال نبدأ من الشمال باتجاه الغرب و هكذا.



الشكلُ (4): رسمٌ لمُتَّجِهِ السرعةِ F.

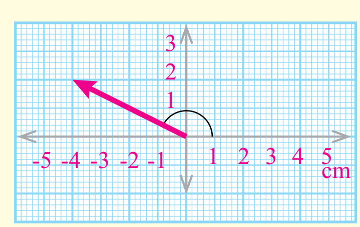
الحلُّ:

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

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

- أرسمُ سهمًا طولُهُ $6\ cm$، بحيثُ يَصنعُ زاويةً مقدارُها 135^o معَ محورِ ($+x$)، أوْ زاويةً مقدارُها 45^o شمالَ الغربِ كما في الشكلِ (4).

أفكر 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.

تمرينٌ

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

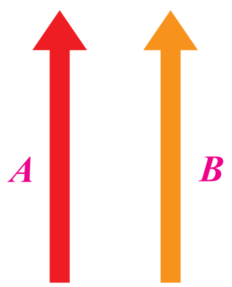
✔ **أتحقَّقُ:** كيفَ يُمكِنُ تحديدُ كلٍّ منْ طولِ السهمِ واتجاهِهِ عندَ تمثيلِ المُتَّجِهِ بيانيًّا؟

خصائصُ المُتَّجِهاتِ Properties of Vectors

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

- **تساوي المُتَّجِهيْنِ Equality of Two Vectors:**

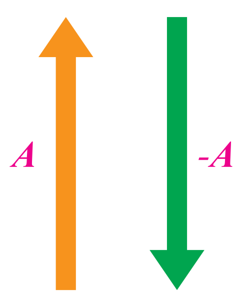
يتساوى المُتَّجِهانِ عندما يكونُ لهُما المقدارُ والاتجاهُ نفساهُما كما في الشكلِ (6)، اضافة إلى كونهما من النوع نفسه. اعتمادًا على هذهِ الخصيصةِ، فإنَّهُ يُمكِنُ نقلُ المُتَّجِهِ منْ مكانٍ ما إلى آخرَ بشرطِ المحافظةِ على ثباتِ كلٍّ منْ مقدارِهِ واتجاهِهِ.



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

- **سالبُ (معكوسُ) المُتَّجِهِ Negative of a Vector:** هوَ مُتَّجِهٌ لهُ

مقدارُ المُتَّجِهِ الأصليِّ نفسِهِ، ولكنَّهُ يعاكسُهُ في الاتجاهِ؛ أيْ إنَّ الزاويةَ بينَ المُتَّجِهِ وسالبِ المُتَّجِهِ تساوي 180^{o}. ويُبيِّنُ الشكلُ (7) أنَّ المُتَّجِهَ A، والمُتَّجِهَ $-A$ يتساويانِ في المقدارِ، ويتعاكسانِ في الاتجاهِ.



الشكلُ (7): المُتَّجِهُ 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 مثل 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 لنيوتنْ الذي سندرسُهُ لاحقًا، إذ إنَّ مُتَّجِهَ محصلةِ القوى $\sum F$ هوَ حاصلُ ضربِ الكتلةِ m في مُتَّجِهِ التسارعِ a بحسبِ العلاقةِ الآتيةِ:

$$\sum F = ma$$

أفكر لماذا يكونُ اتجاهُ التسارعِ a دائمًا بنفسِ اتجاهِ محصلةِ القوى $\sum F$؟

أتحقَّقُ: ما المقصودُ بكلٍّ ممّا يأتي:
- تساوي المُتَّجِهيْنِ؟
- ضربُ المُتَّجِهِ في عددٍ سالبٍ؟

مثال 5

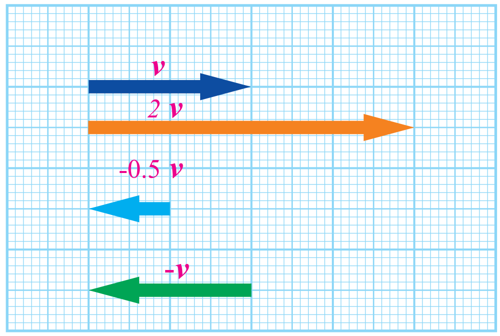
تتحرَّكُ عربةٌ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ v مقدارُها 40 m/s في اتجاهِ الشرقِ. أُمثِّلُ بيانيًا:

a. مُتَّجِهَ السرعةِ v

b. المُتَّجِهَ $2v$

c. المُتَّجِهَ $-0.5v$

d. سالبَ المُتَّجِهِ v



الشكلُ (8): خصائصُ المُتَّجِهاتِ.

الحلُّ:

a. أختارُ مقياسَ الرسمِ (1cm:10 m/s)، ثمَّ أرسمُ سهمًا طولُهُ 4 cm ليُمثِّلَ المُتَّجِهَ (v) باتجاهِ الشرقِ كما في الشكلِ (8).

b. أرسمُ سهمًا طولُهُ 8 cm ليُمثِّلَ المُتَّجِهَ ($2v$)، ومقدارُهُ 80 m/s باتجاهِ الشرقِ.

c. أرسمُ سهمًا طولُهُ 2 cm ليُمثِّلَ المُتَّجِهَ ($-0.5v$)، ومقدارُهُ 20 m/s باتجاهِ الغربِ.

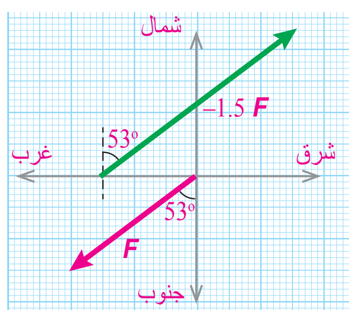
d. أرسمُ سهمًا طولُهُ 4 cm ليُمثِّلَ المُتَّجِهَ ($-v$) (سالبُ المُتَّجِهِ v)، ومقدارُهُ 40 m/s باتجاهِ الغربِ.

مثال 6

تُؤثِّرُ قُوَّةٌ F مقدارُها 250 N في جسمٍ باتجاهٍ يَصنعُ زاويةً مقدارُها 53° غربَ الجنوبِ. أُمثِّلُ بيانيًّا:

a. مُتَّجِهَ القُوَّةِ F.

b. المُتَّجِهَ ($-1.5F$).



الشكلُ (9): خصائصُ المُتَّجِهاتِ.

الحلُّ:

a. أختارُ مقياسَ الرسمِ (1cm : 50 N)، ثمَّ أرسمُ سهمًا طولُهُ 5 cm ليُمثِّلَ المُتَّجِهَ F كما في الشكلِ (9).

b. أرسمُ سهمًا طولُهُ 7.5 cm ليُمثِّلَ المُتَّجِهَ ($-1.5F$)، مقدارُهُ 375 N، واتجاهُهُ معاكسٌ لاتجاهِ F؛ أيْ بزاويةٍ مقدارُها 53° شرقَ الشمالِ (أوْ بزاويةٍ مقدارُها 37° شمالَ الشرقِ) كما في الشكلِ.

تمرينٌ

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

a. سالبَ المُتَّجِهِ a. b. ضربَ المُتَّجِهِ a في الرقمِ (2).

ضربُ المُتَّجِهاتِ Vectors Product

تعرَّفْنا سابقًا أنَّ حاصل ضرب كمية قياسية في كمية متجهة ينتج عنه كمية متجهة، ولكنَّنا نحتاجُ أحيانًا في علمِ الفيزياءِ إلى ضربِ كميةٍ مُتَّجهةٍ في كميةٍ أُخرى مُتَّجِهةٍ، فهلْ سيكونُ الناتجُ كميةً مُتَّجِهةً أمْ كميةً قياسيةً؟

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

a. الضربُ القياسيُّ (النقطيُّ) Scalar (Dot) Product:

يُعرَّفُ الضربُ القياسيُّ لمُتَّجِهيْنِ، مثلِ: $\boldsymbol{A}$ و$\boldsymbol{B}$، بينَهُما زاويةٌ θ، كما في الشكلِ (10-1)، على النحوِ الآتي:

$$\boldsymbol{A} \,.\, \boldsymbol{B} = AB \cos\theta$$

حيثُ:

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

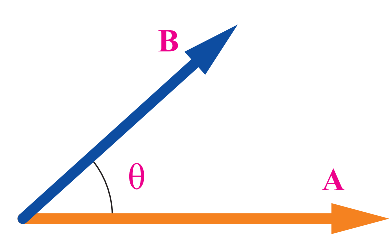
B: مقدارُ المُتَّجِهِ $\boldsymbol{B}$.

θ: الزاويةُ الصغرى بينَ المُتَّجِهيْنِ: $\boldsymbol{A}$ و$\boldsymbol{B}$؛ أيْ $(0^{o} \le \theta \le 180^{o})$ 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 القُوَّةِ $\boldsymbol{F}$ في مُتَّجِهِ الإزاحةِ $\boldsymbol{d}$:

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



الشكلُ (10): مُتَّجِهانِ بينَهما زاويةٌ θ.

اقارن بين ناتج كل من $\boldsymbol{B}\,.\,\boldsymbol{A}$ و $\boldsymbol{A}\,.\,\boldsymbol{B}$.

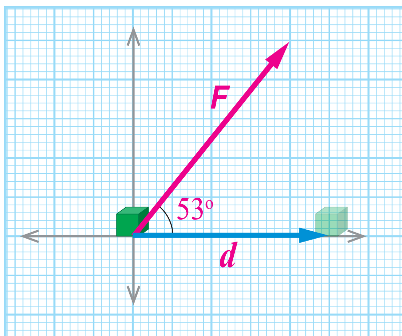
مثال 7

أثَّرَتْ قُوَّةٌ F مقدارُها 120 N في جسمٍ، فحرَّكَتْهُ إزاحة d مقدارُها 5 m في اتجاهِ الشرقِ. فإذا علمْتُ أنَّ الشغلَ W الذي تُنجزُهُ القُوَّةُ F يُعطى بالعلاقةِ: $W = F . d$، وأنَّ الزاويةَ بينَ اتجاه F واتجاهِ d (53^o)، فأُجيبُ عمّا يأتي:

a. مثّل المتجهات F و d بيانيًا.

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

c. أَجِدُ مقدارَ الشغلِ الذي أنجزَتْهُ القُوَّةُ.



الشكلُ (11): تمثيل المتجهات F و d بيانيًا

الحلُّ:

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

المطلوبُ: $W = ?$

a. مقياس الرسم (1 cm: 20 N) وتمثيل المتجهات مبين في الشكل (11).

b. لا، لا يُعدُّ الشغلُ W كميةً مُتَّجِهةً؛ وإنما كميةٌ قياسيةٌ لانه ناتجٌ منَ الضربِ القياسيِّ لمُتَّجِهي القُوَّةِ والإزاحةِ.

c. يُمكِنُ إيجادُ الشغلِ باستخدامِ العلاقةِ الآتيةِ:

$$W = \mathbf{F} . \mathbf{d} = F\, d \cos\theta$$
$$= 120 \times 5 \times \cos 53^o \quad , \quad \cos 53^o = 0.6$$
$$= 360 \text{ J}$$

b. الضربُ المُتَّجِهيُّ (التقاطعيُّ) Vector (Cross) Product:

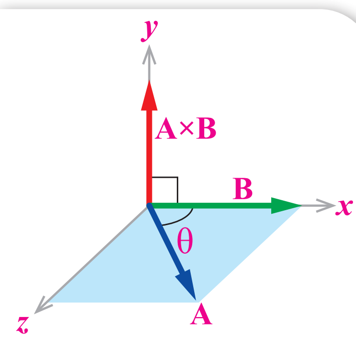
ناتج الضربُ المُتَّجِهيُّ لمُتَّجِهيْنِ، مثلِ: A و B ، بينَهما زاويةٌ θ ($A \times B$) يكونُ كميةً مُتَّجِهةً لها مقدارٌ واتجاهٌ، ويكونُ الاتجاهُ دائمًا متعامدًا مع كلٍّ منِ اتجاهِ المُتَّجِهيْنِ: A و B، كما في الشكلِ (12)، على النحوِ الآتي:

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

حيثُ:

$|A \times B|$: قيمةُ ناتجِ الضربِ المُتَّجِهيِّ للمُتَّجِهيْنِ: A و B .

A: مقدارُ المُتَّجِهِ A.



الشكلُ (12) : الضربُ المُتَّجِهيُّ للمُتَّجِهيْنِ: A و B.

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

θ: الزاويةُ الصغرى بينَ المُتَّجهيْنِ : $\boldsymbol{A}$ و $\boldsymbol{B}$ ؛ أيْ $(0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ)$ حينَ ينطلقُ المُتَّجهانِ منَ النقطةِ نفسِها.

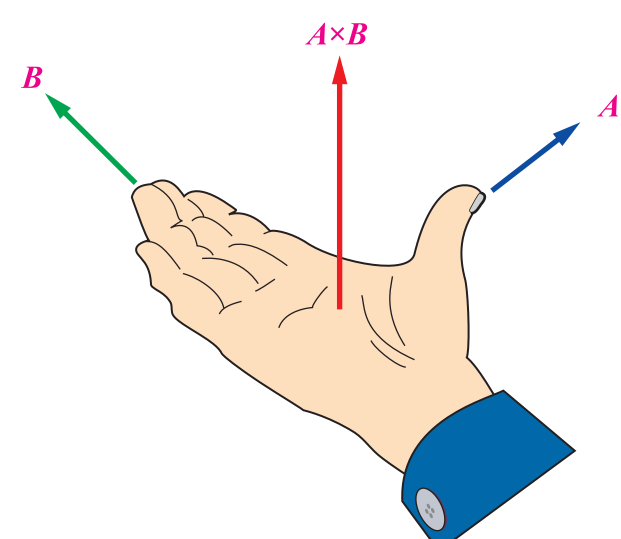
لتحديدِ اتجاهِ حاصلِ الضربِ المُتَّجهيِّ $(\boldsymbol{A \times B})$، تُستخدَمُ قاعدةُ كفِّ اليدِ اليمنى كما في الشكلِ (1-13)؛ إذْ يشيرُ اتجاهُ الإبهامِ إلى اتجاهِ المُتَّجِهِ الأولِ $\boldsymbol{A}$، وتشيرُ الأصابعُ إلى اتجاهِ المُتَّجِهِ الثاني $\boldsymbol{B}$، فيكونُ اتجاهُ المُتَّجِهِ الناتجِ منْ حاصلِ ضربِهما المُتَّجهيِّ $(\boldsymbol{A \times B})$ عموديًّا على الكفِّ، وخارجًا منْها.

بوجهٍ عامٍّ، يكونُ المُتَّجِهِ الناتجُ $(\boldsymbol{A \times B})$ دائمًا عموديًّا على المستوى الذي يحوي المُتَّجِهيْنِ: $(\boldsymbol{A})$، و $(\boldsymbol{B})$ كما هو مُبيَّنٌ في الشكلِ (13).

منَ التطبيقاتِ الفيزيائيةِ على الضربِ المُتَّجهيِّ القوة المغناطيسية $\boldsymbol{F}$ المؤثرة على شحنة كهربائية q متحركة بسرعة $\boldsymbol{v}$ في مجال مغناطيسي $\boldsymbol{B}$ و تعطى بالعلاقة $\boldsymbol{F} = q\,(\boldsymbol{v \times B})$، وكذلك عزم القوة $\boldsymbol{T}$ $(\boldsymbol{T} = \boldsymbol{r \times F})$، حيث $\boldsymbol{F}$ القوة المؤثرة و $\boldsymbol{r}$ متجه الموقع. وستتعرف على كل من هذين التطبيقين لاحقًا.

أتحقَّقُ: ما الفرقُ بينَ الضربِ المُتَّجهيِّ والضربِ القياسيِّ؟

أفكر إذا أشارَتِ الأصابعُ إلى المُتَّجِهِ $\boldsymbol{A}$، وأشارَ الإبهامُ إلى المُتَّجِهِ $\boldsymbol{B}$، فهلْ تتغيَّرُ نتيجةُ الضربِ المُتَّجهيِّ؟ أُوضِّحُ ذلكَ.



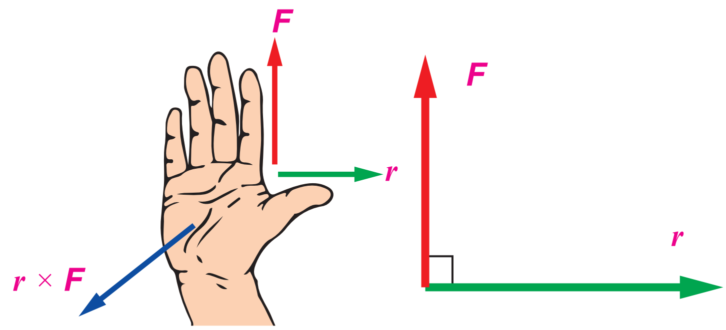
الشكلُ (13): تطبيقُ قاعدةِ كفِّ اليدِ اليمنى لتحديدِ اتجاه $\boldsymbol{A \times B}$

مثال 8

في الشكلِ (14)، إذا كانَ $F = 250\ N$، و $r = 0.4\ m$، فأُجيبُ عمّا يأتي:

a. أَجِدُ مقدارَ عزمِ القوة ($r \times F$) واتجاهَهُ.

b. إذا تغيَّرَتِ الزاويةُ بينَ r و F لتصبحَ 135^o، فما مقدارُ $r \times F$، واتجاهُهُ؟



الشكلُ (14): تطبيقُ قاعدةِ كفِّ اليدِ اليمنى.

الحلُّ:

a. مقدارعزم القوة ($r \times F$):

$$|r \times F| = r \times F \times \sin\theta$$

$$= 0.4 \times 250 \times \sin 90^o \quad , \qquad \sin 90^o = 1$$

$$= 100\ N.m$$

بحسبِ قاعدةِ كفِّ اليدِ اليمنى، يشيرُ الإبهامُ إلى اتجاهِ r، وتشيرُ الأصابعُ إلى اتجاهِ F ؛ لذا يكونُ اتجاهُ عزم القوة يكونُ خارجًا منَ الورقةِ (باتجاهِ محورِ $+z$).

b. مقدار $r \times F$

$$|r \times F| = r \times F \times \sin\theta$$

$$= 0.4 \times 250 \times \sin 135^o \quad , \qquad \sin 135^o = 0.7$$

$$= 70\ N.m$$

اتجاهُ $r \times F$ يكونُ خارجًا منَ الورقةِ (باتجاهِ محورِ $+z$) كما في الفرعِ (a).

تمرينٌ

مُتَّجِهانِ: A و B، مقدارُ كلٍّ منْهُما $20\ u$ (الرمزُ u يعني وحدةً unit).

أَجِدُ مقدارَ الزاويةِ بينَ المُتَّجِهيْنِ في الحالتيْنِ الآتيتيْنِ:

.a $A \cdot B = 320\ u$

.b $|A \times B| = 200\ u$

مراجعةُ الدّرسِ

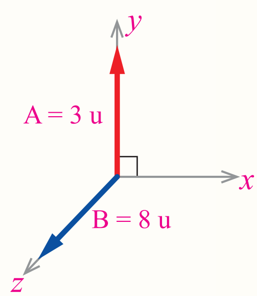
1. **الفكرةُ الرئيسةُ:** أذكرُ اختلافًا واحدًا وتشابهًا واحدًا بينَ:
   a. الكميةِ المُتَّجِهةِ والكميةِ القياسيةِ. b. المُتَّجِهِ وسالبِ المُتَّجِهِ.
   c. الضربِ القياسيِّ والضربِ المُتَّجِهيِّ.

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

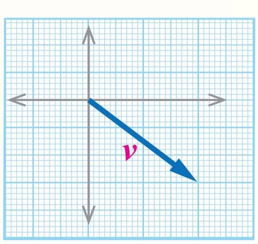
3. **أُمَثِّلُ بيانيًّا** الكميتيْنِ المُتَّجِهتيْنِ الآتيتيْنِ:
   a. قُوَّةٌ مغناطيسيةٌ مقدارُها 0.25 N في اتجاهٍ يَصنعُ زاويةً مقدارُها 143^{o} معَ محورِ $+x$.
   b. تسارعٌ ثابتٌ مقدارُهُ $4\ m/s^2$ في اتجاهٍ يَصنعُ زاويةً مقدارُها 30^{o} جنوبَ الشرقِ.

4. ما مقدارُ الزاويةِ بينَ الكميتيْنِ المُتَّجِهتيْنِ $\boldsymbol{F}$ و $\boldsymbol{L}$ في الحالاتِ الآتيةِ:
   a. $\boldsymbol{F} \times \boldsymbol{L} = 0$؟ b. $\boldsymbol{F} \cdot \boldsymbol{L} = 0$؟ باعتبار $\boldsymbol{F} \neq 0 , \boldsymbol{L} \neq 0$.

5. **أحسُبُ:** اعتمادًا على العلاقةِ الآتيةِ للتدفُّقِ المغناطيسيِّ Φ: $\Phi = \boldsymbol{B} \cdot \boldsymbol{A}$
   أحسُبُ مقدارَ التدفُّقِ المغناطيسيِّ Φ عندما تكونُ $A = 2 \times 10^{-6}\ m^2$ ، $B = 0.1$ Tesla، ومقدارُ الزاويةِ بينَ المُتَّجِهيْنِ $\boldsymbol{A}$ و $\boldsymbol{B}$ (45^{o}).



6. **أحسُبُ:** اعتمادًا على البياناتِ في الشكلِ المجاورِ، أحسُبُ مقدارَ حاصلِ الضربِ المُتَّجِهيِّ $(\boldsymbol{B} \times \boldsymbol{A})$، مُحدِّدًا الاتجاهَ (الرمزُ u يعني وحدةً unit).



7. **أحسُبُ:** سيارةٌ تسيرُ بسرعةٍ ثابتةٍ $\boldsymbol{v}$، وفي اتجاهٍ مُحدَّدٍ. وقدْ 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.

8. **أحسُبُ** مقدارَ الزاويةِ بينَ المُتَّجِهيْنِ: $\boldsymbol{F}$ و $\boldsymbol{r}$، التي يتساوى عندَها مقدارُ الضربِ القياسيِّ ومقدارُ الضربِ المُتَّجِهيِّ للمُتَّجِهيْنِ: $|\boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F}| = \boldsymbol{r} \cdot \boldsymbol{F}$.

الفكرةُ الرئيسةُ:

جمعُ الكمياتِ المُتَّجهةِ أوْ طرحُها يكونُ إمّا بيانيًّا، وإمّا رياضيًا عنْ طريقِ تحليلِ الكمياتِ المُتَّجهةِ إلى مُركَّباتِها.

نتاجات التعلم:

- أُطبِّقُ خصائصَ المُتَّجهاتِ على كمياتٍ فيزيائيةٍ مُتَّجهةٍ.
- أستنتجُ خصائصَ المُتَّجهاتِ بطرائقَ مختلفةٍ.

المفاهيم والمصطلحات:

جمعُ المُتَّجهاتِ Addition of Vectors.

مُتَّجِهُ المحصلةِ Resultant Vector.

تحليلُ المُتَّجهات Components of a Vector.

الطريقةُ البيانيةُ Graphical Method.

الطريقةُ التحليليةُ Analytical Method.

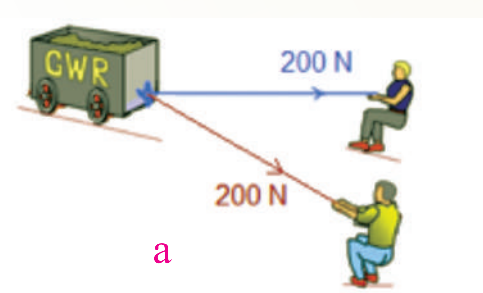
جمعُ المُتَّجِهاتِ Addition of Vectors

تعرَّفْتُ في الدرسِ السابقِ أنَّ الكمياتِ الفيزيائيةَ تكونُ كمياتٍ مُتَّجِهةً تُحدَّدُ بالمقدارِ والاتجاهِ معًا، أوْ كمياتٍ قياسيةً تُحدَّدُ فقطْ بالمقدارِ، وأنَّ عمليةَ ضربِ الكمياتِ المُتَّجِهةِ تختلفُ عنْ عمليةِ ضربِ الكمياتِ القياسيةِ. ولكنْ، هلْ تختلفُ عملياتُ الجمعِ والطرحِ للكمياتِ المُتَّجِهةِ عنْها للكمياتِ القياسيةِ؟

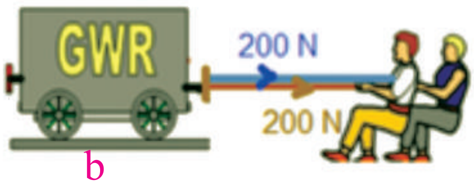
إذا أمضيْتُ أمسِ أربعَ ساعاتٍ في الدراسةِ، وساعتينِ في ممارسةِ الرياضةِ، وساعةً في العملِ التطوعيِّ، فإنَّ مجموعَ ما استغرقْتُهُ في الدراسةِ والرياضةِ والعملِ التطوعيِّ هوَ 7 ساعاتٍ. وإذا كانَتْ درجةُ حرارةِ الجوِّ اليومَ 20 °C، ودرجةُ حرارةِ الجوِّ المُتوقَّعةُ غدًا 24 °C، فإنَّ درجاتِ الحرارةِ غدًا سترتفعُ 4 °C، بحسبِ قولِ الراصدِ الجويِّ.

هذهِ بعضُ الأمثلةِ على جمعِ الكمياتِ القياسيةِ وطرحِها (الزمنُ، درجةُ الحرارةِ)، وقدْ جُمِعَتْ وطُرِحَتْ بطريقةٍ جبريةٍ بشرطِ أنْ تكونَ منَ النوعِ نفسِهِ، وأنْ يكونَ لها الوحداتُ نفسُها، ويكونَ ناتجُ الجمعِ كميةً قياسيةً أيضًا.

أمّا بخصوصِ الكمياتِ المُتَّجِهةِ فيجبُ مراعاةُ الاتجاهِ والمقدارِ عندَ جمعِها أوْ طرحِها. فمثلًا، القُوَّتانِ اللتانِ يُؤثِّرُ بهما الرجلانِ لسحبِ العربةِ في الشكلِ (a/15) إذا جُمِعَتا جبريًّا (200 + 200 = 400 N) فإنَّ الإجابةَ تكونُ غيرَ صحيحةٍ، أمّا إذا أثَّرَ الرجلانِ في الاتجاهِ نفسِهِ، وبالقُوَّةِ نفسِها كما في الشكلِ (b/15) فإنَّ مجموعَ القُوَّتيْنِ 400 N في اتجاهِ إحدى القُوَّتيْنِ يكونُ صحيحًا.



a



b

الشكلُ (15): a. قُوَّتانِ في اتجاهينِ مختلفينِ. b. قُوَّتانِ في الاتجاهِ نفسِهِ.

ماذا يُتوقَّعُ أنْ يكونَ ناتجُ جمعِ القُوَّتيْنِ إذا أثَّرَ كلُّ رجلٍ بالقُوَّةِ نفسِها، ولكنْ في اتجاهيْنِ متعاكسيْنِ؟

نستنتجُ ممّا سبقَ أنَّ ناتجَ جمعِ مُتَّجِهيْنِ مثلُ $\boldsymbol{A}$ و $\boldsymbol{B}$ هوَ مُتَّجِهٌ جديدٌ $(\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B})$ يختلفُ مقدارُهُ واتجاهُهُ باختلافِ المقدارِ والاتجاهِ لكلٍّ منَ المُتَّجِهيْنِ، وأنَّ ما ينطبقُ على جمعِ مُتَّجِهيْنِ ينطبقُ على جمعِ مُتَّجِهاتٍ عِدَّةٍ.

بوجهٍ عامٍّ، يُسمّى المُتَّجِهُ الناتجُ منَ الجمعِ المُتَّجِهيِّ لمُتَّجِهاتٍ عِدَّةٍ (مثل $\boldsymbol{A}$ و $\boldsymbol{B}$ و $\boldsymbol{C}$) مُتَّجِهَ المحصلةِ Resultant vector، ويُرمَزُ إليهِ بالرمزِ $\boldsymbol{R}$ $(\boldsymbol{R}=\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B}+\boldsymbol{C})$؛ على أنْ تكونَ المُتَّجِهاتُ منَ النوعِ نفسِهِ. فمثلًا، إذا جمعْنا مُتَّجِهاتٍ للسرعةِ فإنَّ مُتَّجِهَ المحصلةِ يكونُ مُتَّجِهَ سرعةٍ، وكذلكَ مُتَّجِهاتُ التسارعِ والقُوَّةِ وغيرُها.

أتحقَّقُ: ما المقصودُ بمُتَّجِهِ المحصلةِ؟

مثال 9

مزلاج كتلته m_1=70 kg وضع فوقه صندوق حجمه 1 m^3 وكتلته m_2=80 kg، سحب المزلاج بقوة مقدارها F_1=400 N باتجاه الشرق وأثرت في المزلاج قوة أخرى F_2=100 N باتجاه الغرب فتحرك المزلاج بتسارع a =2 m/s^2 باتجاه الشرق.

a. أحدّد الكميات القياسية التي يمكن جمعها معًا؟ وأجدُ ناتج الجمع ؟

b. أحدّد الكميات المتجهة التي يمكن جمعها معًا؟ وأعبرُ عن ناتج الجمع (المحصلة) بالرموز؟

الحلُّ:

a. الكميات القياسية هي كتلة المزلاج، حجم الصندوق، وكتلة الصندوق. أما الكميات التي يمكن جمعها فيجب أن تكون من النوع نفسه وهي m_1 = 70 kg ، m_2 = 80 kg وناتج جمعهما 80 + 70 = 150 kg وهو كمية قياسية.

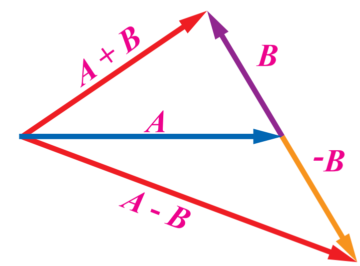
b. الكميات المتجهة هي القوة الأولى $\boldsymbol{F}_1$، القوة الثانية $\boldsymbol{F}_2$، التسارع $\boldsymbol{a}$. أما الكميات التي يمكن جمعها فيجب أن تكون من النوع نفسه وهي F_1=400 N ، F_2=100 N ومحصلتها $\boldsymbol{R}=\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2$ وهي كمية متجهة.

طرحُ المُتَّجِهاتِ Subtraction of Vectors

إنَّ عمليةَ طرحِ المُتَّجِهاتِ تُشبِهُ عمليةَ جمعِها. والإشارةُ السالبةُ تعني معكوسَ المُتَّجِهِ المرادَ طرحُهُ. فمثلًا، عندَ طرحِ المُتَّجِهِ B منَ المُتَّجِهِ A (أيْ: $A - B$) فإنَّ المُتَّجِهَ A يُجمَعُ معَ معكوسِ المُتَّجِهِ الثاني $(-B)$، كما في الشكلِ (16)، ويُكتَبُ بالصورةِ الآتيةِ:

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

أيْ إنَّ طرحَ المُتَّجِهِ يُكافِئُ جمعَ سالب ذلك المتجه.



الشكلُ (16): جمعُ المُتَّجِهاتِ وطرحُها.

✓ **أتحقَّقُ:** ما المقصودُ بطرحِ المُتَّجِهِ؟

محصلةُ مُتَّجِهاتٍ عِدَّةٍ Resultant of Many Vectors

لإيجادِ محصلةِ مُتَّجِهيْنِ أوْ أكثرَ؛ سواءٌ أكانَتْ في بُعْدٍ واحدٍ مثلِ محورِ x أوْ محورِ y، أمْ في بُعْدينِ مثلِ مستوى $(x-y)$ فإنَّنا نستخدمُ إحدى الطريقتيْنِ الآتيتيْنِ:

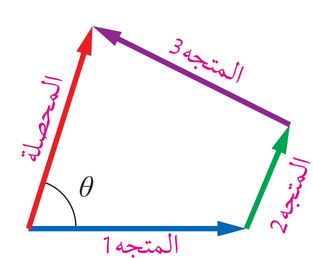
a. الطريقةُ البيانيةُ (الرسمُ) :Graphical Method

هيَ طريقةٌ تتلخَّصُ في تمثيلِ المُتَّجِهاتِ المرادِ جمعُها بأسهمٍ، ثمَّ تركيبِ تلكَ الأسهمِ بطريقةِ متوازي الأضلاعِ، أوْ بطريقةِ المُضلَّعِ (الذيلُ على الرأسِ)، وسنتناولُ في هذا الدرسِ طريقةَ المُضلَّعِ.

طريقةُ المُضلَّعِ (الذيلُ على الرأسِ) :polygon (head-to-tail) method

تُستخدَمُ هذهِ الطريقةُ لإيجادِ محصلةِ العديدِ منَ المُتَّجِهاتِ بيانيًّا، وتتلخَّصُ في الخطواتِ الآتيةِ:

1. اختيارُ مقياسِ رسمٍ مناسبٍ، ورسمُ أسهمٍ تُمثِّلُ المُتَّجِهاتِ التي يرادُ إيجادُ محصلتِها (جمعُها) كما في الدرسِ السابقِ.
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 (1-17)، معَ المحافظةِ على طولِ السهمِ واتجاهِهِ عندَ نقلِهِ.
3. رسمُ سهمٍ منْ ذيلِ المُتَّجِهِ الأولِ إلى رأسِ المُتَّجِهِ الأخيرِ؛ ليُمثِّلَ



الشكلُ (17): محصلة عدة متجهات بطريقة المضلع.

طولُهُ مقدارَ المحصلةِ، معَ مراعاةِ مقياسِ الرسمِ، ويُمثِّلَ اتجاهُهُ (منَ الذيلِ إلى الرأسِ) اتجاهَ المحصلةِ (قياسُ الزاويةِ بينَ اتجاهِ المحصلةِ ومحورِ x+، بعكسِ عقاربِ الساعةِ).

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

أفكر هلْ يُمكِنُ إيجادُ الزاويةِ θ بطريقةٍ رياضيةٍ منْ دونِ استخدامِ المنقلةِ في المثالِ 10؟ أُوضِّحُ ذلكَ.

مثال 10

تُؤثِّرُ ثلاثُ قوى في جسمٍ: القُوَّةُ الأولى F_1 مقدارُها 30 N في اتجاهِ الشمالِ، والقُوَّةُ الثانيةُ F_2 مقدارُها 50 N في اتجاهٍ يَصنعُ زاويةً مقدارُها 37^o شمالَ الغربِ، والقُوَّةُ الثالثةُ F_3 مقدارُها 60 N في اتجاهِ الجنوبِ. أَجِدُ المقدارَ والاتجاهَ لمحصلةِ القوى المُؤثِّرةِ في الجسمِ بيانيًّا.

الحلُّ:

المعطياتُ: F_1 = 30 N, +y ، F_2 = 50 N,143^o ، F_3 = 60 N, - y.

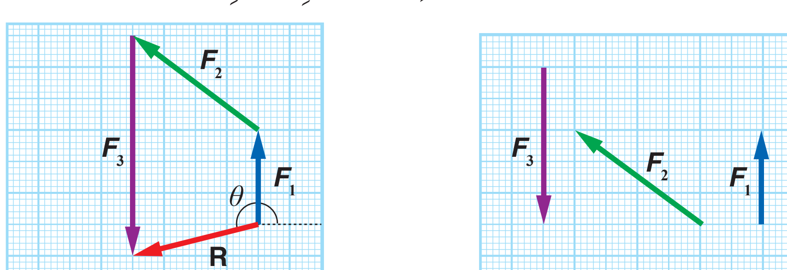
المطلوبُ: R = ?

a. أختارُ مقياسَ رسمٍ مناسبًا، وليكنْ (1 cm: 10 N)، ثمَّ أرسمُ ثلاثةَ أسهمٍ تُمثِّلُ مُتَّجِهاتِ القوى الثلاثَ كما في الشكلِ (a/18)، بحيثُ يكونُ طولُ الأولِ F_1: 3 cm، وطولُ الثاني F_2: 5 cm، وطولُ الثالثِ F_3: 6 cm.

b. أرسمُ السهمَ الذي يُمثِّلُ مُتَّجِهَ القُوَّةِ F_1 كما في الشكلِ (b/18)، 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.

c. 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**

d. أقيسُ - بالمنقلةِ - الزاويةَ بينَ مُتَّجِهِ المحصلةِ ومحورِ x + بعكسِ عقاربِ الساعةِ ($\theta = 194^o$)؛ لتُمثِّلَ اتجاهَ المحصلةِ.



الشكلُ (18): a. تمثيلُ مُتَّجِهاتِ القوى بأسهمٍ. b. محصلةُ مُتَّجِهاتِ القوى بالرسمِ.

التجربةُ ١

إيجاد محصلة قوتين بطريقة عملية

الموادُّ والأدواتُ: طاولةُ القوى، مجموعتانِ من الأثقالِ تتكونُ كل منهما من ثلاثةِ أثقالٍ متساويةٍ في الكُتلةِ، ميزان الكتروني (حسّاس)، حامل اثقال عدد 3.

إرشاداتُ السلامةِ: الحذرُ منْ سقوطِ الأثقالِ على القدميْنِ.

خطواتُ العملِ:

بالتعاونِ مَعَ أفرادِ مجموعتي، أُنفِّذُ الخطواتِ الآتيةَ:

1. أضعُ طاولةَ القوى على سطحٍ مستوٍ.
2. أُعلِّقُ الأثقالَ الثلاثةَ (كلُّ ثِقْلٍ بخيطٍ)، ثمَّ أضبطُ خيطًا منْها على تدريجِ الصفرِ 0^o، وخيطًا آخرَ على تدريجِ 120^o، وأُحرِّكُ الخيطَ المُتبقِّيَ حتّى ينطبقَ مركزُ الحلقةِ على مركزِ طاولةِ القوى، ثمَّ أُدوِّنُ التدريجَ الذي انطبقَ عليه الخيطِ.
3. أُكرِّرُ الخطوةَ الثانيةَ باستخدامِ ثلاثةِ أثقالٍ أخرى متساويةٍ. هلْ تغيَّرَتِ النتائجُ؟

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أحسُبُ** القوى الثلاثَ المُؤثِّرةَ في الحلقةِ باستخدامِ العلاقةِ: $F = mg$، حيثُ m: (كتلةُ حاملِ الثِّقْلِ + كتلةِ الثِّقْلِ). ما مقدار محصلة تلك القوى؟
2. **أحسُبُ** بيانيًّا محصلةَ القُوَّتيْنِ: الأولى، والثانيةِ.
3. **أُقارِنُ** محصلةَ هاتيْنِ القُوَّتيْنِ بالقُوَّةِ الثالثةِ من حيثُ: المقدارُ، والاتجاهُ.
4. **استنتجْ** استنادًا إلى تجربتي، العلاقةَ بين محصلة أي قوتين بالقوة الثالثة عند الاتزان (انطباق مركز الحلقة على مركز الطاولة)؟.
5. **أحسُبُ** بيانيًّا محصلةَ القوى الثلاثِ، ثمَّ أُفسِّرُ النتيجةَ.
6. **أُقارِنُ** نتائجَ مجموعتي بنتائجِ المجموعاتِ الأُخرى.

تمرينٌ

شحنةٌ كهربائيةٌ تُؤثِّرُ فيها ثلاثُ قوى كهربائيةٍ على النحوِ الآتي:

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

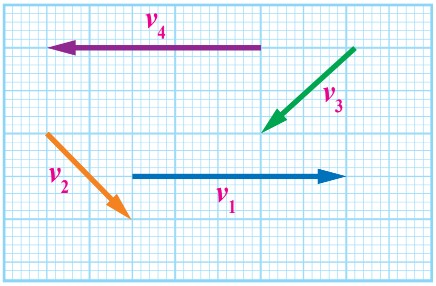
أجِدُ مقدارَ محصلةِ القوى الكهربائيةِ المُؤثِّرةِ في الشحنةِ واتجاهَها بيانيًّا.

مثال 11

مُثِّلَتْ أربعةُ مُتَّجِهاتٍ للسرعةِ (v_1 , v_2 , v_3 , v_4) بالرسمِ كما في الشكلِ (19)، وذلكَ باستخدامِ مقياسِ الرسمِ (1 cm:5 m/s).
أَجِدُ:

a. مقدارَ مُتَّجِهِ محصلةِ السرعةِ، واتجاهَهُ.

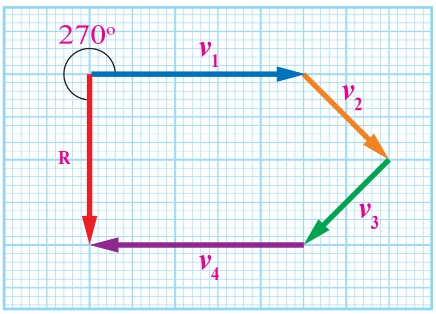
b. $v_1 + v_2 + 2\,v_3 - v_4$.



الشكلُ (19): مُتَّجِهاتُ السرعةِ.

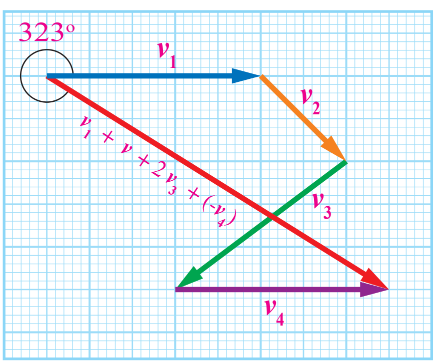
الحلُّ:

a. بتطبيقِ طريقةِ المُضلَّعِ كما في الشكل (20)، فإنَّ طولَ سهمِ المحصلةِ $\boldsymbol{R}$ هوَ 4 cm. ووفقًا لمقياسِ الرسمِ (1cm: 5 m/s)، فإنَّ مقدارَ المحصلةِ: $R = 4 \times 5 = 20$ m/s، واتجاهَها نحوَ الجنوبِ ($\boldsymbol{R}$ = 20 m/s, 270°).



الشكلُ (20): محصلةُ السرعةِ.

b. بتطبيقِ طريقةِ المُضلَّعِ كما في الشكلِ (21)، فإنَّ طولَ السهمِ الناتجِ منْ جمعِ $v_1 + v + 2\,v_3 + (-v_4)$ هوَ 10 cm. ووفقًا لمقياسِ الرسمِ (1cm: 5 m/s)، فإنَّ مقدارَ المجموعِ: $R = 10 \times 5 = 50$ m/s، وباستخدامِ المنقلة نجد أن اتجاهها يميلُ بزاويةٍ θ مقدارُها 323° عن محورِ $+x$.



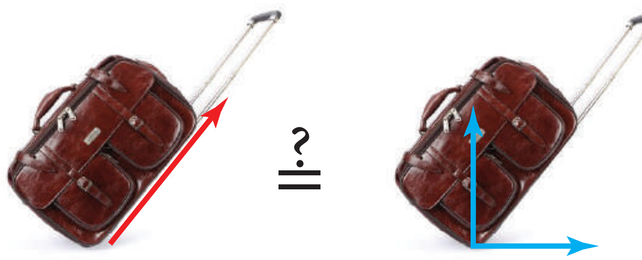
الشكلُ(21): مجموعُ مُتَّجِهاتٍ.

b. الطريقةُ التحليليةُ Analytical Method:

إنَّ استخدامَ الطريقةِ البيانيةِ في إيجادِ محصلةِ مُتَّجِهاتٍ عِدَّةٍ يُمثِّلُ عمليةً سهلةً، لكنَّها قدْ تفتقرُ إلى الدقةِ. لقدْ لاحظْتُ وجودَ اختلافاتٍ بسيطةٍ بينَ نتائجي ونتائجِ زملائي عندَ استخدامي إيّاها، ويُعْزى ذلكَ إلى أخطاءٍ في عملياتِ القياسِ (قياسُ الأطوالِ والزوايا)؛ لذا سنتعرَّفُ طريقةً رياضيةً أكثرَ دقةً، هيَ تحليلُ المُتَّجِهاتِ إلى مُركَّباتِها.

مُركَّباتُ المُتَّجِهاتِ Components of Vectors

عند سحب حقيبة سفر بطريقتين كما في الشكل (22)، فهل تأثير كل منهما في الحقيبة متساوٍ؟



الشكلُ (22): سحب حقيبة سفر.

بعدَ أنْ تعرَّفْنا عمليةَ جمعِ مُتَّجِهيْنِ أوْ أكثرَ لإيجادِ مُتَّجِهٍ واحدٍ جديدٍ (مُتَّجِهُ المحصلةِ)، سنقومُ بعمليةٍ عكسيةٍ؛ أيْ تحليلِ المُتَّجِهِ الواحدِ، والاستعاضةِ عنْهُ بمُتَّجِهيْنِ متعامديْنِ (على محورَيْ x و y مثلًا) يُسمّيانِ مُركَّبَتَي المُتَّجِهِ، وتكونُ محصلتُهُما المُتَّجِهَ نفسَهُ، ويتحدانِ معَهُ في نقطةِ البدايةِ.

يُطلَقُ على هذهِ العمليةِ اسمُ تحليلُ المُتَّجِهِ. فمثلًا، يُمكِنُ تحليلِ المُتَّجِهِ A الواقعِ في الربعِ الأولِ منْ مستوى x-y، كما في الشكلِ (23)، إلى مُركَّبتيْنِ، هما:

- المُركَّبةُ الأفقيةُ A_x: تُمثِّل مسقطَ المُتَّجِه A على محورِ $+x$.
- المُركَّبةُ العموديةُ A_y: تُمثِّل مسقطَ المُتَّجِهِ A على محورِ $+y$.

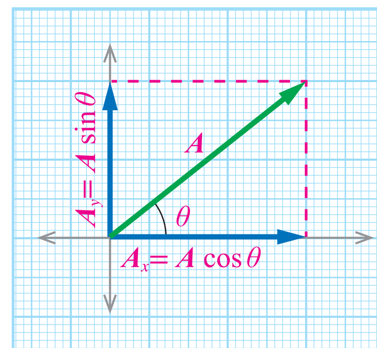
يكونُ المجموعُ المُتَّجِهيُّ للمُركَّبتيْنِ مساويًا المُتَّجِهَ **A**؛ أيْ إنَّ: $\boldsymbol{A}_x + \boldsymbol{A}_y = \boldsymbol{A}$.

وبتطبيقِ النسبِ المثلثيةِ، فإنَّ:

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

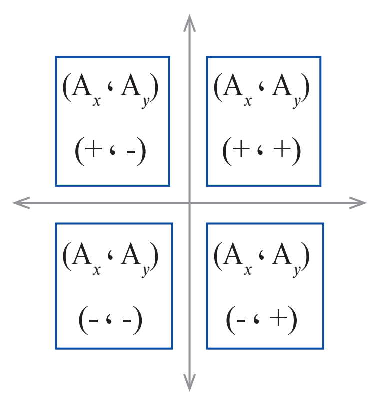
$$\sin\theta = \frac{A_y}{A} \rightarrow A_y = A\sin\theta$$

إذ تتغيَّرُ إشاراتُ المُركَّباتِ الأفقيةِ والعموديةِ بحسبِ الربعِ الذي يقعُ فيهِ المُتَّجِهُ، أنظرُ الشكلَ (24).



الشكلُ (23): تحليلُ المُتَّجِهِ A إلى مُركَّبتيهِ.

اثبت ان: $A_x^2 + A_y^2 = A^2$.



الشكلُ (24): إشاراتُ المُركَّبتيْنِ: (A_x , A_y).

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

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

أمّا الزاوية المرجعية θ بين المتجه ومحور $+x$ فيُمكِنُ حسابُها منَ العلاقةِ الآتيةِ:

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

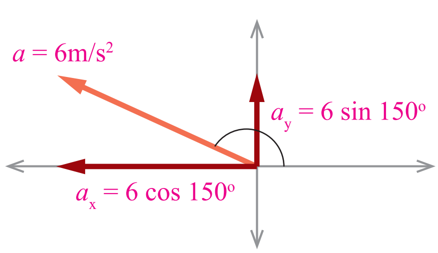
تجدرُ الإشارةُ هنا إلى أنَّنا سنحصلُ على قيمتيْنِ للزاويةِ θ، فأيُّهما تُمثِّلُ القيمةَ الصحيحةَ لموقعِ المُتَّجِهِ؟ إنَّ الذي يُحدِّدُ ذلكَ هوَ إشارةُ كلٍّ منَ المُركَّبتيْنِ: (A_x, A_y)؛ فإذا كانَتِ الإشارتانِ موجبتيْنِ دلَّ ذلكَ على أنَّ المُتَّجِهَ يقعُ في الربعِ الأولِ كما في الشكلِ (24)، فنختارُ الزاويةَ θ التي تقعُ فيهِ، وإنْ كانتا سالبتيْنِ مثلًا، فإنَّ المُتَّجِهَ يقعُ في الربعِ الثالثِ، فنختارُ الزاويةَ θ التي تقعُ فيهِ.

أتحقَّقُ: ما المقصودُ بتحليلِ المُتَّجِهِ؟

أفكر ما علاقة صورة لاعب كرة السلة في بداية الوحدة بتحليل المتجهات.

مثال 12

تتحرَّكُ مركبةٌ بتسارعٍ ثابتٍ $(a = 6\ m/s^2, 150^o)$. أَجِدُ مقدارَ المُركَّبتيْنِ الأفقيةِ والعموديةِ للتسارعِ وأحدد اتجاهَهما.



الشكلُ (25): المُركَّبةُ الأفقيةُ، والمُركَّبةُ العموديةُ.

الحلُّ:

المعطياتُ: $(a = 6\ m/s^2, 150^o)$.

المطلوبُ: $a_x = ?\ ,\ a_y = ?$.

المركبةُ الأفقيةُ: $a_x = a \cos\theta = 6 \times \cos 150^o = 6 \times -\cos 30^o = -5.2\ m/s^2$

المركبةُ العموديةُ: $a_y = a \sin\theta = 6 \times \sin 150^o = 6 \times \sin 30^o = 3\ m/s^2$

يُلاحَظُ أنَّ إشارةَ a_x سالبةٌ؛ ما يعني أنَّ اتجاهَها هوَ في اتجاهِ $(-x)$، وأنَّ إشارةَ a_y موجبةٌ؛ ما يعني أنَّ اتجاهَها هوَ في اتجاهِ $(+y)$، حيثُ إنَّ المُتَّجِهَ a يقعُ في الربعِ الثاني، أنظرُ الشكلَ (25).

مثال 13

يسحبُ عامرٌ صندوقَ ألعابِهِ بقُوَّةٍ مقدارُها 100 N في اتجاهٍ يَصنعُ زاويةً θ مقدارُها 30° معَ محورِ $+x$ كما في الشكلِ (26). أَجِدُ مقدارَ كلٍّ من المُركَّبتيْنِ الأفقيةِ والعموديةِ للقُوَّةِ، مُحدِّدًا اتجاهَهُما.

الشكلُ (26): عامرٌ يسحبُ الصندوقَ بقُوَّةٍ.

الحلُّ:

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

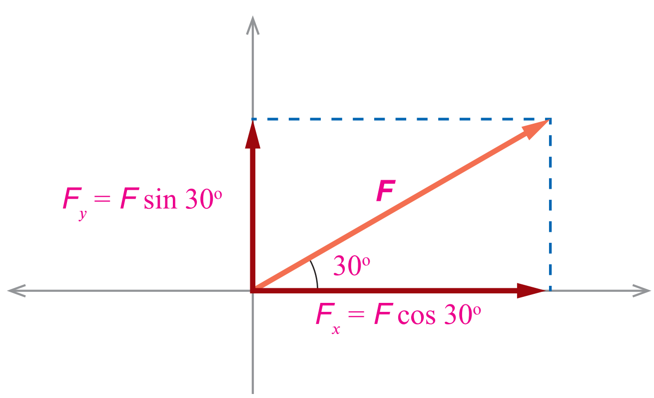
المطلوبُ: $F_x = ?\ ,\ F_y = ?$.

المركبةُ الأفقيةُ للقُوَّةِ F_x :

$F_x = F\cos\theta = 100 \times \cos 30^\circ = 100 \times 0.87 = 87\ \text{N}$ باتجاهِ محورِ $+x$ كما في الشكلِ (27).

المركبةُ العموديةُ للقُوَّةِ F_y :

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



الشكلُ (27): المُركَّبةُ الأفقيةُ، والمُركَّبةُ العموديةُ للمُتَّجِهِ $\boldsymbol{F}$.

هل يحتاج عامر إلى قوة أقل أو أكبر لسحب الصندوق إذا قلت الزاوية θ عن 30°؟

مثال 14

أُطلِقَتْ قذيفةٌ بسرعةٍ v ، وكانَتِ المُركَّبةُ الأفقيةُ للسرعةِ (-20 m/s) والمُركَّبةُ العموديةُ لها 40 m/s. أَجِدُ مقدارَ السرعةِ v، واتجاهَها وأُمثِّلُ ذلك بيانيًا.

الحلُّ:

المعطياتُ: $v_x = -20$ m/s ، $v_y = 40$ m/s.

المطلوبُ: $v = ?$ ، $\theta = ?$.

مقدارُ السرعةِ v:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$v = \sqrt{(-20)^2 + 40^2} = 44.7\text{m/s}$$

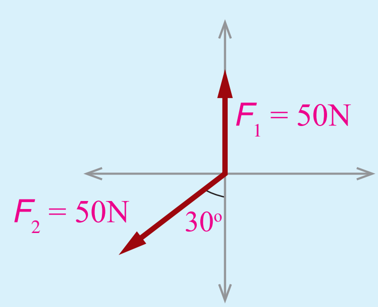
أمّا اتجاهُ السرعةِ فيُحدَّدُ بإيجادِ الزاويةِ θ بينَ مُتَّجِهِ السرعةِ ومحور $+x$.

$$\theta = \tan^{-1}\frac{v_y}{v_x} = \tan^{-1}\frac{40}{-20} = \tan^{-1}(-2) \rightarrow \theta = 117^o , 297^o$$

ولمّا كانَتْ إشارةُ v_x سالبةً، وإشارةُ v_y موجبةً، فإنَّ المُتَّجِهَ $\boldsymbol{v}$ يقعُ في الربعِ الثاني حسب الشكل (24)؛ أيْ إنَّ الزاويةَ $\theta = 117^o$، وبالتالي فإن $\boldsymbol{v} = 44.7\text{m/s}, 117^o$.

تمرينٌ

تُؤثِّرُ القُوَّتانِ ($\boldsymbol{F}_1$)، و ($\boldsymbol{F}_2$) في نقطةٍ ماديةٍ كما في الشكلِ (28). أَجِدُ مقدارَ المُركَّبتيْنِ الأفقيةِ والعموديةِ لكلِّ قُوَّةٍ، مُحدِّدًا اتجاهَهُما.



الشكلُ (28): القُوَّتانِ $\boldsymbol{F}_1$ و $\boldsymbol{F}_2$ اللتانِ تُؤثِّرانِ في نقطةٍ ماديةٍ.

أُفكِّر أَجِدُ مقدارَ الزاويةِ التي تتساوى عندَها المُركَّبتانِ الأفقيةُ والعموديةُ لمُتَّجِهٍ ما.

محصلةُ المُتَّجهاتِ بالطريقةِ التحليلية
Resultant by Analytical Method

لإيجادِ المقدارِ والاتجاهِ لمحصلةِ مُتَّجهيْنِ أوْ أكثرَ بالطريقةِ التحليليةِ، أتَّبعُ الخطواتِ الآتيةَ:

- أرسمُ المُتَّجهاتِ، بحيث يبدأُ كلُّ مُتَّجهٍ بنقطةِ الأصلِ (0،0).
- أُحلِّلُ كلَّ مُتَّجهٍ إلى مُركَّبتيهِ، مراعيًا أنْ تلتقيَ نقطةُ البدايةِ (الذيلُ) لجميعِ المُتَّجهاتِ عندَ نقطةِ الأصلِ (0،0).
- أَجِدُ محصلةَ المُركَّباتِ على محورِ x ($\boldsymbol{R_x}$) ومحصلةَ المُركَّباتِ على محورِ y($\boldsymbol{R_y}$).
- أَجِدُ مقدارَ المحصلةِ الكليةِ $\boldsymbol{R}$ باستخدامِ العلاقةِ الآتيةِ:

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

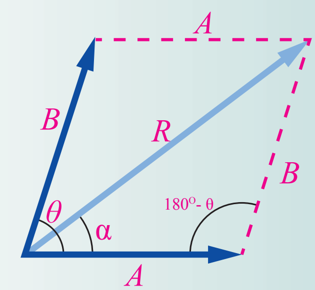
- أُحدِّدُ اتجاهَ المحصلةِ الكليةِ $\boldsymbol{R}$ باستخدامِ العلاقةِ الآتيةِ:

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

حيث α الزاوية ما بين اتجاه المحصلة $\boldsymbol{R}$ ومحور $+x$.

أتحقَّقُ: أحدد اتجاه المحصلة عندما تتساوى محصلة المركبات على محور $+x$ مع محصلة المركبات على محور $+y$.

الربطُ بالرياضيات



لإيجادِ المحصلةِ $\boldsymbol{R}$ للمُتَّجهيْنِ: $\boldsymbol{A}$ و $\boldsymbol{B}$ اللذيْنِ بينَهُما زاويةٌ (θ) بطريقةٍ رياضيةٍ، يُستخدَمُ قانونُ جيبِ التمامِ:

$$R^2 = A^2 + B^2 - 2AB\cos(180^{\circ} - \theta)$$
$$\rightarrow R^2 = A^2 + B^2 + 2AB\cos\theta$$

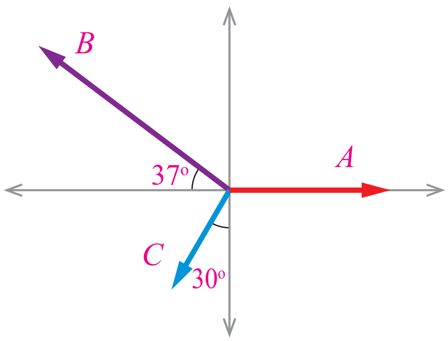
ولتحديدِ اتجاهِ المحصلةِ (الزاويةُ α)، يُستخدَمُ قانونُ الجيبِ:

$$\sin\alpha = \frac{B\sin\theta}{R}$$

أفكر إذا كانَتْ محصلةُ المُركَّباتِ على محورِ y ($\boldsymbol{R_y}$) لمجموعةٍ منَ المُتَّجهاتِ صفرًا، فهلْ يعني ذلكَ بالضرورةِ أنَّ جميعَ تلكَ المُتَّجهاتِ تقعُ فقطْ على محورِ x؟ أُفسِّرُ إجابتي..

مثال 15

ثلاثةُ مُتَّجِهاتٍ (A, B, C) قيمُها: $3\,u$ ، $5\,u$ ، $2\,u$ على الترتيبِ كما في الشكلِ (29). أَجِدْ مقدارَ المحصلةِ واتجاهَها بالطريقةِ التحليليةِ.



الشكلُ (29): محصلةُ مُتَّجِهاتٍ عِدَّةٍ.

الحلُّ:

- أُحلِّلُ كلَّ مُتَّجِهٍ إلى مُركَّبتيْهِ: المُركَّبةِ الأفقيةِ على محورِ x، والمُركَّبةِ العموديةِ على محورِ y، كما في الشكلِ (30)، على النحوِ الآتي:

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

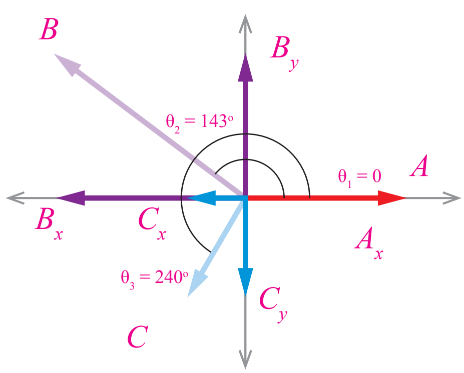
$A_y = A \sin \theta_1 = 3 \sin 0^o = 3 \times 0 = 0$

$B_x = B \cos \theta_2 = 5 \cos 143^o = 5 \times -0.8 = -4\ u$

$B_y = B \sin \theta_2 = 5 \sin 143^o = 5 \times 0.6 = 3\ u$

$C_x = C \cos \theta_3 = 2 \cos 240^o = 2 \times -0.5 = -1\ u$

$C_y = C \sin \theta_3 = 2 \sin 240^o = 2 \times -0.87 = -1.74\ u$



الشكلُ (30) : تحليلُ المُتَّجِهاتِ إلى مُركَّباتِها.

- أَجِدُ محصلةَ المُركَّباتِ على محورِ x:

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

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

- ثمَّ أَجِدُ محصلةَ 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:

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

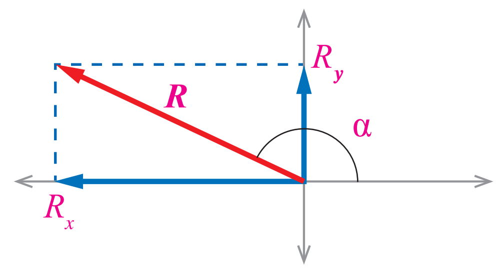
$$R = \sqrt{(-2)^2 + 1.26^2} = 2.36\ u$$

- أُحدِّدُ اتجاهَ المحصلةِ؛ أي الزاويةَ θ بينَ اتجاهِ المحصلةِ **R** ومحورِ $+x$، كما في الشكلِ **(31)**،وذلكَ باستخدامِ المعادلةِ الآتيةِ:

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

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{1.26}{-2} = 148^{\circ}\ ,\ 328^{\circ}$$

أيُّ الزاويتيْنِ تُمثِّلُ الزاويةَ الصحيحةَ: 328° أمْ 148°؟

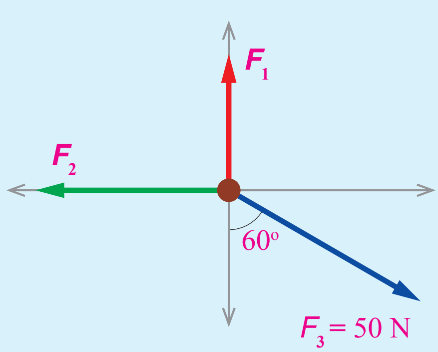


الشكلُ (31): تحديدُ مقدارِ المحصلةِ. واتجاهها.

ربما توصلت بعد دراستك لوحدة المتجهات إلى الهدف من توجيه الطيار للطائرة بزاوية معينة لليسار بعكس اتجاه الرياح في الصورة الموضوعة بداية الوحدة تحت عنوان "أتأمل الصورة"، وهو أن يكون اتجاه محصلة (سرعة الرياح وسرعة الطائرة أثناء هبوطها) باتجاه المدرج حفاظًا على سلامة المسافرين وطاقم الطائرة وتجنبًا لأية أضرار في جسم الطائرة. ولو أن الطيار هبط بالطائرة باتجاه المدرج لانحرفت الطائرة نحو اليمين وخرجت عن المسار المقرر لها على المدرج.

تمارين

- أَجِدُ مقدارَ المحصلةِ واتجاهَها في المثالِ السابقِ بيانيًّا، ثمَّ أُقارِنُ النتائجَ. ماذا أستنتجُ؟
- تؤثر ثلاث قوى في نقطة مادية كما في الشكل (32)، فإذا علمت أن محصلة تلك القوى تساوي صفرًا. أَجِدُ مقدار كل من القوتين الأولى والثانية؟



الشكلُ (32): ثلاث قوى تؤثر في نقطة مادية.

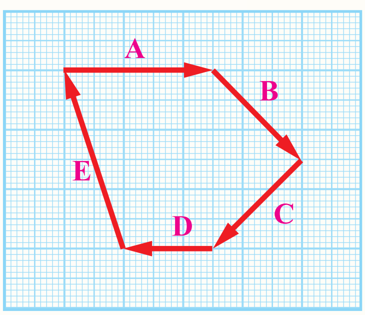
مراجعةُ الدّرسِ

1. أُقارِنُ بينَ كلٍّ ممّا يأتي:
   a. جمعُ المُتَّجِهاتِ وتحليلُها.
   b. جمعُ المُتَّجِهاتِ ومحصلتُها.
   c. جمعُ المُتَّجِهاتِ وطرحُها.
   d. الطريقةُ التحليليةُ والطريقةُ البيانيةُ في جمعِ المُتَّجِهاتِ.

2. أُحلِّلُ: أُكمِلُ الفراغَ بما هوَ مناسبٌ في الجدولِ الآتي الذي يُمثِّلُ تحليلَ المُتَّجِهاتِ إلى مُركَّباتِها:

المُتَّجِهُ	المُركَّبةُ الأفقيةُ	المُركَّبةُ العموديةُ
($\boldsymbol{d}$ = 8 m , 53^o)	---------	--------
($\boldsymbol{F}$ = ---- ,-----)	6 N	- 8 N
($\boldsymbol{v}$ = √200 m/s , ----)	10 m/s	---------

3. أُحلِّلُ: اعتماداً على الشكلِ المجاورِ:

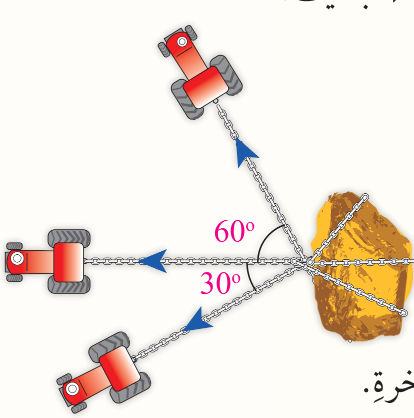


   a. ما محصلةُ المُتَّجِهاتِ المُبيَّنةِ في الرسمِ؟
   b. أَجِدُ بيانيًّا محصلةَ المُتَّجِهيْنِ: $\boldsymbol{B}$ و $\boldsymbol{A}$.
   c. أُثبِتُ بالرسمِ أنَّ: $\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B} + \boldsymbol{C} = -\boldsymbol{D} + (-\boldsymbol{E})$.

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

5. أحسُبُ: ما مقدارُ الزاويةِ التي تُطلَقُ بها كرةُ القدمِ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ $\boldsymbol{v}$، بحيثُ:
   a. تساوي المُركَّبةُ العامودية للسرعةِ v_y صفرًا؟
   b. تساوي المُركَّبةُ الأفقيةُ للسرعةِ v_x متجه السرعة $\boldsymbol{v}$؟

6. أُحلِّلُ: ثلاثةُ جرّاراتٍ تحاولُ سحبَ صخرةٍ كبيرةٍ. إذا أثَّرَ كلٌّ منها بقُوَّةِ سحبٍ مقدارُها 4000 N في الاتجاهاتِ المُبيَّنةِ في الشكلِ:



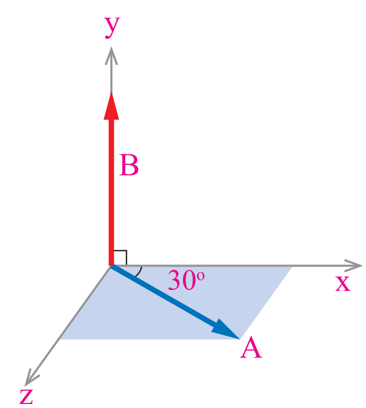
   a. أَجِدُ مقدارَ محصلةِ القوى التي تُؤثِّرُ بها الجرّاراتُ في الصخرةِ.
   b. في أيِّ اتجاهٍ ستتحرَّكُ الصخرةُ؟

1. أضعُ دائرةً حولَ رمزِ الإجابةِ الصحيحةِ لكلٍّ ممّا يأتي:

1. الكميةُ المُتَّجِهةُ منَ الكمياتِ الفيزيائيةِ الآتيةِ هيَ:
   a. عددُ المسافرينَ في الطائرةِ.
   b. المدَّةُ الزمنيةُ لإقلاعِ الطائرةِ.
   c. تسارعُ الطائرةِ في أثناءِ إقلاعِها.
   d. حجمُ وقودِ الطائرةِ.

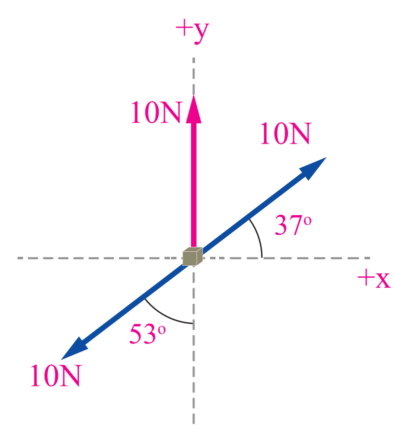
2. عندَ جمعِ القُوَّتيْنِ: 30 N و 20 N جمعًا مُتَّجِهًا، فإنَّ الناتجَ غيرَ الصحيحِ من النواتجِ المُحتملةِ الآتيةِ هوَ:
   a. 10 N
   b. 20 N
   c. 50 N
   d. 55 N

3. حاصلُ الضربِ المتجهي $|\boldsymbol{A} \times \boldsymbol{B}|$ في الشكلِ المجاورِ هوَ:
   a. $AB \sin 90^{\circ}$
   b. $AB \sin 30^{\circ}$
   c. $AB \sin 120^{\circ}$
   d. $AB \cos 90^{\circ}$



4. العلاقةُ بينَ مُتَّجِهَي التسارعِ $\boldsymbol{a}_2$، $\boldsymbol{a}_1$ بناءً على العلاقةِ $(\boldsymbol{a}_1 - \boldsymbol{a}_2 = 0)$ هيَ:
   a. المُتَّجِهانِ $\boldsymbol{a}_2$ ، $\boldsymbol{a}_1$ متساويانِ في المقدارِ، ومتعاكسانِ في الاتجاهِ.
   b. المُتَّجِهانِ $\boldsymbol{a}_2$ ، $\boldsymbol{a}_1$ متساويانِ في المقدارِ، وفي الاتجاهِ نفسِهِ.
   c. المُتَّجِهانِ $\boldsymbol{a}_2$ ، $\boldsymbol{a}_1$ مختلفانِ في المقدارِ، وفي الاتجاهِ نفسِهِ.
   d. المُتَّجِهانِ $\boldsymbol{a}_2$ ، $\boldsymbol{a}_1$ مختلفانِ في المقدارِ، ومتعاكسانِ في الاتجاهِ.

5. المقدارُ والاتجاهُ لمحصلةِ القوى في الشكلِ المجاورِ هما:
   a. 30 N باتجاهِ محورِ $+y$
   b. 30 N باتجاهِ محورِ $-y$
   c. 10 N باتجاهِ محورِ $+y$
   d. 0 N



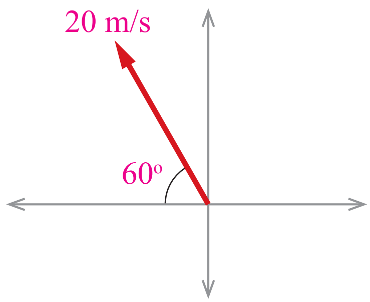
6. صوبت سعادُ كرةَ السلةِ بسرعةٍ مقدارُها 20 m/s في الاتجاهِ المُبيَّنِ في الشكلِ. أيُّ الآتيةِ تُمثِّلُ المُركَّبةَ الأفقيةَ للسرعةِ:

a. $20 \cos 120^{o}$؟

b. $20 \cos 60^{o}$؟

c. $20 \sin 120^{o}$؟

d. $20 \cos 30^{o}$؟



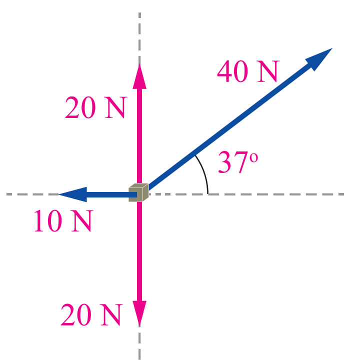
2. **أحَلِّلُ: ركلَ لاعبٌ كرةَ قدمٍ كتلتُها 0.4 kg لتنطلقَ بسرعةِ 30 m/s في اتجاهٍ يَصنعُ زاويةً مقدارُها 37^{o} مع سطحِ الأرضِ الأفقيِّ، وبتسارعٍ مقدارُهُ $10\ m/s^2$. وقد استغرقَتِ الكرةُ مدَّةً زمنيةً مقدارُها 6 s لتعودَ إلى مستوى سطحِ الأرضِ:**

a. أُحدِّدُ الكمياتِ المُتَّجِهةَ والكمياتِ القياسيةَ.

b. أُمثِّلُ الكمياتِ المُتَّجِهةَ بيانيًّا.

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

3. **أُحلِّلُ: تُؤثِّرُ قوًى عِدَّةٌ في جسمٍ كما في الشكلِ المجاورِ.**
أَجِدُ المقدارَ والاتجاهَ لمحصلةِ القوى المُؤثِّرةِ في الجسمِ بالطريقةِ التحليليةِ.



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

a. $3\,\boldsymbol{F}$

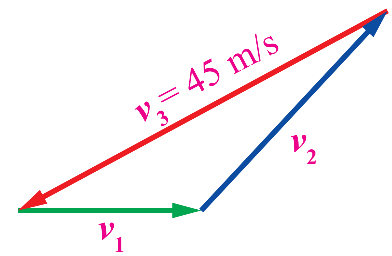
b. $-0.5\,\boldsymbol{r}$

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

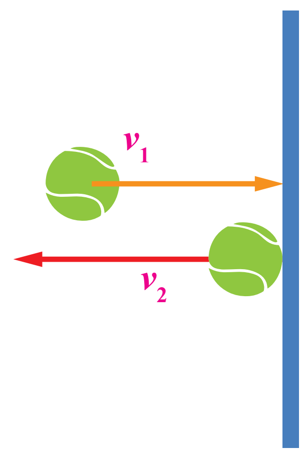
d. $|\boldsymbol{r} \times \boldsymbol{r}|$

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

5. **حلُّ المشكلاتِ: انطلقَت نورُ منْ منزلِها سيرًا على الأقدامِ، وقطعَت مسافةَ 400 m باتجاهِ الغربِ، ثمَّ اتجهَت شرقًا، وقطعَت مسافةَ 200 m لتصلَ منزلَ صديقتِها. إذا أرادَت نورُ العودةَ مباشرةً إلى منزلِها بخطٍّ مستقيمٍ ، فكمْ مترًا يجبُ أنْ تسيرَ؟ في أيِّ اتجاهٍ يتعيَّنُ عليْها السيرُ حتّى تصلَ منزلَها؟**



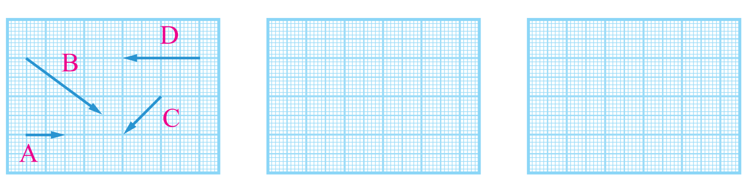
6. ثلاثةُ مُتَّجهاتٍ للسرعةِ تُشكِّلُ مثلثًا مغلقًا كما في الشكلِ المجاورِ. أَجِدُ:
   a. $v_1 + v_2$
   b. محصلةَ المُتَّجِهاتِ الثلاثةِ.



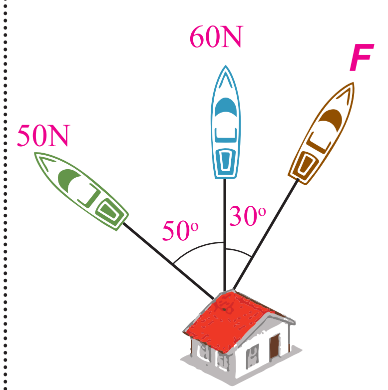
7. **أحسُبُ:** صوبت سارة كرةَ تنسٍ أفقيًّا نحوَ حائطٍ عموديٍّ، فاصطدمَتْ بهِ بسرعةٍ أفقيةٍ v_1 مقدارُها 10 m/s باتجاهِ الشرق كما في الشكلِ المجاورِ، ثمَّ ارتدَّتْ عنْهُ أفقيًّا نحوَ الغرب بسرعةٍ v_2 مقدارُها 7 m/s. أَجِدُ التغيُّرَ في سرعةِ الكرةِ (Δv).

8. **أستنتجُ:** ما مقدارُ الزاويةِ بينَ المُتَّجِهيْنِ: A و B في الحالتيْنِ الآتيتيْنِ:
   a. $|A \times B| = A\ B$؟
   b. $A.B = A\ B$؟

9. أستخدمُ الطريقةَ البيانيةَ في حسابِ ناتجِ جمعِ المُتَّجهاتِ وطرحِها كما هوَ مُبيَّنٌ في الجدولِ الآتي:



ناتجُ جمعِ: $2A + B - C + 1.5\ D$	المحصلةُ R	المُتَّجِهاتُ: A، B، C، D حيث يُمثِّلُ كلُّ مربعٍ في الرسمِ وحدةً واحدةً $(1u)$.



10. **أُحلِّلُ:** ثلاثةُ قواربَ، كلٌّ منْها يُؤثِّرُ بقُوَّةٍ في منزلٍ عائمٍ في الماءِ لسحبِهِ كما في الشكلِ المجاورِ. فإذا تحرَّكَ المنزلُ باتجاهِ محورِ $(+y)$. أَجِدُ:
    a. مقدارَ القُوَّةِ F.
    b. مقدارَ محصلةِ القوى الثلاثِ واتجاهها.

الْوَحْدَةُ 2

الحركةُ

MOTION

أتأمَّلُ الصورةَ

يُرتبُ اللاعبُ كراتَ البلياردو على شكلِ مثلثٍ، ثمّ يبدأُ اللعبَ مستخدمًا عصًا خاصةً بضربِ الكرةِ البيضاءَ باتجاهِ هذا التجمّعِ، فتتحرَّكُ كراتُ البلياردو في اتجاهاتٍ مُتعدِّدةٍ، ولكنَّ كلَّ كرةٍ تتحرَّكُ وحدَها على خطٍّ مستقيمٍ. فهلْ يُمكِنُ وصفُ حركةِ كلِّ كرةٍ بأنَّها منتظمةٌ؟

الفكرةُ العامَّةُ:

لدراسةِ حركةِ أيِّ جسمٍ؛ سواءٌ أكانَ قريبًا حولَنا، أمْ بعيدًا في الفضاءِ، يتعيَّنُ علينْا أنْ نصفَ مكانَ وجودِهِ الآنَ، والمكانَ الذي وُجِدَ فيهِ قديمًا، وأينَ سيكونُ بعدَ زمنٍ.

الـدرس الأول: الحركـةُ فـي بُعْـدٍ واحـدٍ

Motion in One Dimension

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

الـدرس الثانـي: الحركـةُ فـي بُعْديْـنِ

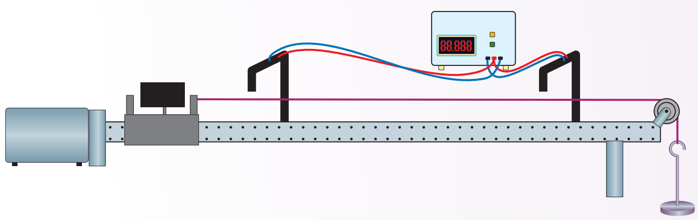
Motion in Two Dimensions

الفكرةُ الرئيسةُ: الحركةُ في بُعْديْنِ تعني أنَّ لسرعةِ الجسمِ مُركَّبتيْنِ متعامدتيْنِ منْ دونِ اعتمادِ إحداهُما على الأُخرى.

تجرِبةٌ استهلاليّةٌ

وصفُ الحركةِ باستخدامِ المَدْرجِ الهوائيِّ

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



إرشاداتُ السلامةِ:

الحذرُ منْ سقوطِ أيٍ من الأدواتِ على القدمينْ.

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 موقعٍ بدايةِ الحركةِ، والأُخرى عندَ موقعِ نهايتِها.
4. أربطُ الطرفَ الحرَّ للخيطِ في الكتلةِ (50 g)، ثمَّ أتركُهُ يتحرَّكُ إلى الأسفلِ لتحريكِ العربةِ.
5. أُشغِّلُ مضخةَ الهواءِ، وأتركُ العربةَ تتحرَّكُ منْ نقطةِ البدايةِ تحتَ تأثيرِ الكتلةِ المُعلَّقةِ.
6. **أُلاحِظُ** حركةَ العربةِ، والإزاحةَ التي تقطعُها، وأنظرُ قراءةَ العدّادِ الزمنيّ الرقميّ.
7. **أقيسُ** المسافةَ بينَ البوابتينِ الضوئيتينِ على طولِ المَدْرجِ، ثمَّ أُدوِّنُ نتيجةَ القياسِ في الجدولِ.
8. أُكرِّرُ التجربةَ باستخدامِ الكتلةِ الأُخرى (100 g)، ثمَّ أُدوِّنُ النتائجَ في الجدولِ.

الحالةُ (الشكلُ)	الإزاحةُ Δx(m)	زمنُ الحركةِ Δt(s)	السرعةُ المتوسطةُ $\bar{v}$ (m/s)
الكتلةُ الأولى (50 g)			
الكتلةُ الثانيةُ (100 g)			

التحليلُ والاستنتاجُ:

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

الفكرةُ الرئيسةُ:

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

نتاجات التعلم:

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

المفاهيم والمصطلحات:

الموقعُ Position.
الإزاحةُ Displacement.
المسافةُ Distance.
الحركةُ المنتظمةُ Uniform Motion.
السرعةُ القياسيةُ Speed.
السرعةُ المُتَّجِهةُ Velocity..
السرعةُ الخطيةُ Linear Velocity.
السرعةُ اللحظيةُ Instantaneous Velocity.
السرعةُ المتوسطةُ Average Velocity.
التسارعُ Acceleration.
نقطةُ الإسنادِ Reference point.
تسارُعُ السقوطِ الحرِّ Free Fall Acceleration.

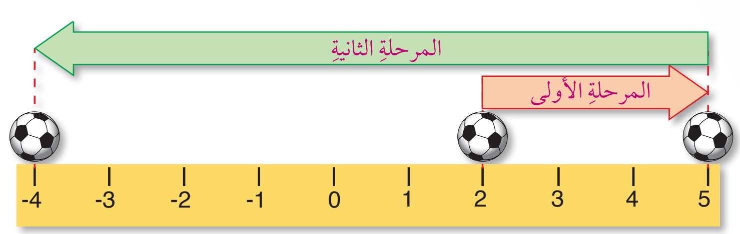
الحركةُ Motion

تتحرَّكُ الأجسامُ بطرائقَ مختلفةٍ؛ فالكرةُ مثلًا تتحرَّكُ على سطحِ الأرضِ في خطٍّ مستقيمٍ عندَ ركلِها بصورةٍ أفقيةٍ، في حينِ أنَّها تتحرَّكُ في مسارٍ مُنْحَنٍ عندَ ركلِها بزاويةٍ نحوَ الأعلى.

يوجدُ للحركةِ أشكالٌ أُخرى كثيرةٌ مُتعدِّدةٌ، تُصنَّفُ ضمنَ ثلاثةِ مجالاتٍ رئيسةٍ، هيَ: الحركةُ في بُعْدٍ واحدٍ، والحركةُ في بُعْديْنِ، والحركةُ في ثلاثةِ أبعادٍ. وسندرسُ في هذا الفصلِ موضوعَ الحركةِ في بُعْدٍ واحدٍ، وموضوعَ الحركةِ في بُعْديْنِ. توصَفُ حركةُ الكرةِ على سطحِ الأرضِ في خطٍّ مستقيمٍ بأنَّها حركةٌ في بُعْدٍ واحدٍ؛ سواءٌ استمرَّتِ الحركةُ في اتجاهٍ واحدٍ، أوْ في اتجاهيْنِ متعاكسيْنِ.

الموقعُ والإزاحةُ Position and Displacement

عندَ تحديدِ موقعِ جسمٍ يُرادُ وصفُ حالتِهِ الحركيةِ، فإنَّنا نعتمدُ على أجسامٍ أُخرى قربَهُ، أوْ نعتمدُ نظامَ إحداثياتٍ متعامدةٍ ونقطةَ إسنادٍ 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).



الشكلُ (1): الإزاحةُ والمسافةُ.

نعبرُ 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 نقطةِ الإسنادِ.

لوصفِ حركةِ الكرةِ، يجبُ أولًا تعرُّفُ مفهومِ الإزاحةِ (Δx)، وهيَ الفرقُ بينَ مُتَّجِهِ موقعِ الكرةِ النهائيِّ (x_2) ومُتَّجِهِ موقِعِها الابتدائيِّ (x_1)، وذلكَ باستخدامِ العلاقةِ:

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

في المرحلةِ الأولى منَ الحركةِ انتقلَتِ الكرةُ منَ الموقعِ $x_1 = 2m$ إلى الموقعِ $x_2 = 5$ m؛ لذا تكونُ إزاحةُ الكرةِ:

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

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 تحركة في اتجاه 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 والحركةِ الثانيةِ

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

يُمكِنُ أيضًا وصفُ حركةِ الكرةِ باستخدامِ مفهومِ المسافةِ، وهيَ كميةٌ قياسيةٌ قيمتُها تُساوي طولَ المسارِ الفعليِّ الذي اتَّبعَهُ الجسمُ، ويُرمَزُ إليْها بالرمزِ (s). يَتبيَّنُ منَ الشكلِ (2-1) أنَّ المسافةَ الكليةَ التي قطعَتْها الكرةُ (s) هيَ المسافةُ المقطوعةُ في المرحلةِ الأولى $(s_1 = 3m)$، مضافًا إليها المسافةُ المقطوعةُ في المرحلةِ الثانيةِ $(s_2 = 9 \text{ m})$، 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؟ أيُّهما أكبرُ: المسافةُ أمْ مقدارُ الإزاحةِ؟

أفكر هل يمكنُ لجسمٍ متحركٍ يغيرُ من موقعهِ أكثرَ من مرةٍ أن تكونَ إزاحتهُ صفرًا؟ وضح إجابتك.

السرعةُ المتوسطةُ

السرعةُ القياسيةُ المتوسطةُ Average Speed

يمكنُ وصفُ الحركةِ باستخدامِ مفهومِ السرعةِ القياسيةِ المتوسطةِ ($\overline{v}_s$)، 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، فالطائرةُ التي تُسافرُ منْ عمانَ إلى دولةِ قطر في مُدّةِ ثلاثِ ساعاتٍ وربعِ الساعةِ، وتقطعُ مسافةَ (2600 km)، وخلالَ هذهِ المُدّةِ تُغيّرُ مِن مقدارِ سرعتِها واتجاهِ طيرانِها مراتٍ عدّةٍ، فإنّ سرعتَها القياسيةِ المتوسطةِ تُحسَبُ بقسمةِ المسافةِ التي قطعتها الطائرةُ على زمنِ الطيرانِ..

السرعةُ المُتَّجِهةُ المتوسطةُ Average Velocity

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

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

يُذْكَرُ أنَّ السرعةَ المتوسطةَ تُحسَبُ خلالَ مدَّةٍ زمنيةٍ ($\Delta t = t_2 - t_1$)؛ سواءٌ أكانَتْ هذهِ السرعةُ قياسيةً أمْ مُتَّجِهةً.

مثال 1

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

المعطياتُ: ($\Delta s = 645$ m)، ($\Delta t = 86$ s).

المطلوبُ: ($\overline{v} = ?$).

الحلُّ:

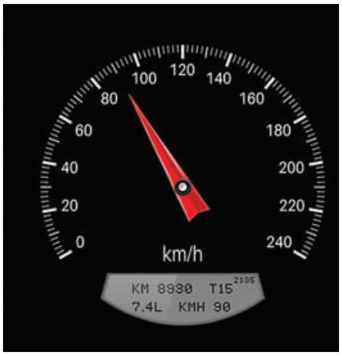
$$\overline{v}_s = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{645}{86} = 7.5 \text{ m/s}$$

السرعةُ المُتَّجِهةُ اللحظيةُ Instantaneous Velocity

إنَّ قراءةَ عدّادِ السرعةِ في السيارةِ عندَ لحظةٍ معينةٍ تُمثِّلُ **السرعةَ القياسيةَ اللحظيةَ** كما في الشكلِ (2). وعندَ تحديدِ اتجاهِ هذهِ السرعةِ، فإنَّها تُسمّى **السرعةَ المُتَّجِهةَ اللحظيةَ**، ويُرمَزُ إليْها بالرمزِ (v). فمثلًا، إذا كانَ اتجاهُ حركةِ السيارةِ المُبيَّنِ عدّادُ سرعتِها في الشكلِ (2-2) نحوَ الشمالِ، فإنَّ السرعةَ المُتَّجِهةَ اللحظيةَ لها 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 قياسيةٍ ثابتةٍ توصَفُ حركتُهُ بأنَّها منتظمةٌ.

نشيرُ إلى أنَّ كلمةَ (سرعةٌ) تعني السرعةَ المُتَّجِهةَ أينَما وردَتْ في هذا الكتابِ.

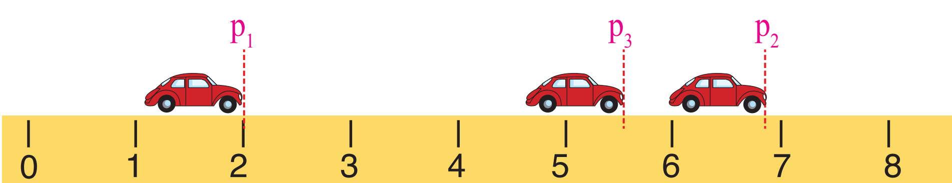


الشكلُ (2): السرعةُ اللحظيةُ.

✓ **أتحقَّقُ** ما الشرطُ الواجبُ توافُرُهُ في الحركةِ في بُعْدٍ واحدٍ لكيْ تتساوى السرعةِ المتجهةِ المتوسطةِ معَ السرعةِ اللحظيةِ؟

مثال 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)، فأَجِدُ:



الشكلُ (3): حركة لعبة السيارة.

a. المسافةَ الكليةَ التي قطعَتْها لعبةُ السيارةِ.

b. الإزاحةَ الكليةَ للعبةِ السيارةِ.

c. السرعةَ القياسيةَ المتوسطةَ للعبةِ السيارةِ.

d. السرعةَ المُتَّجِهةَ المتوسطةَ للعبةِ السيارةِ.

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

المطلوبُ:

$$s = ?\ , d = ?\ , \bar{v}_s = ?\ , \bar{v} = ?$$

الحلُّ:

a. المسافةُ الكليةُ التي قطعَتْها لعبةُ السيارةِ تساوي مجموعَ المسافتيْنِ: s_1، و s_2 :

المسافةُ الأولى:

$$s_1 = 6.8 - 2.0 = 4.8 \text{ m}$$

المسافةُ الثانيةُ:

$$s_2 = |5.6 - 6.8| = 1.2 \text{ m}$$

المسافةُ الكليةُ:

$$s = s_1 + s_2 = 4.8 + 1.2 = 6.0 \text{ m}$$

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

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

منَ المُلاحَظِ أنَّ إشارةَ الإزاحةِ موجبةٌ؛ لأنَّ إزاحةَ الجسمِ الكليةَ هيَ في اتجاهِ محورِ (x) الموجبِ.

c. السرعةُ القياسيةُ المتوسطةُ للعبةِ السيارةِ:

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

d. السرعةُ المُتَّجِهةُ المتوسطةُ للعبةِ السيارةِ:

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

يُلاحَظُ أنَّ السرعةَ المُتَّجِهةَ المتوسطةَ موجبةٌ؛ ما يعني أنَّها في اتجاهِ محورِ (x) الموجبِ، وأنَّهُ لا يوجدُ اتجاهٌ للسرعةِ القياسيةِ المتوسطةِ.

التسارعُ الثابتُ Constant Acceleration

لتوضيحِ مفهومِ التسارعِ، 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) خلالَ كلِّ ثانيةٍ منْ زمنِ الحركةِ؛ ما يعني أنَّها تتسارعُ.

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

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

إنَّ اتجاهَ التسارعِ المتوسطِ يكونُ دائمًا في نفسِ اتجاهِ التغيُّرِ في السرعةِ اللحظيةِ Δv، وأنَّ التسارعَ يقاسُ بوحدةِ m/s^2. أمّا التسارعُ اللحظيُّ (a) فيُعرَفُ عندَ لحظةٍ زمنيةٍ مُحدَّدَةٍ. وسيقتصرُ الحديثُ هنا على التسارعِ الثابتِ، حيثُ يتساوى التسارعُ المتوسطُ والتسارعُ اللحظيُّ ($\bar{a} = a$).

أفكر عندما تزدادُ سرعةُ السيارةِ بمقدارِ (2 m/s) في كلِّ ثانيةٍ يكون التسارعُ ثابتًا. كيفَ يكون تسارع السيارةِ غيرَ ثابتٍ؟

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

مثال 3

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

المعطياتُ: الجدولُ.

المطلوبُ: $\bar{a} = ?$

الحلُّ:

التسارعُ المتوسطُ للسيارةِ الأولى:

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

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

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

أتحقَّقُ أَجِدُ التسارعَ المتوسطَ لكلٍّ منَ السيارتيْنِ خلالَ مُدَدٍ زمنيةٍ أُخرى؛ منْ: $(t_1 = 0\ s)$ إلى $(t_4 = 3\ s)$ مثلًا.

مثال 4

تحرَّكَ قطارٌ نحوَ الشرقِ في اتجاهِ محورِ $(+x)$ بسرعةٍ مُتغيِّرةِ المقدارِ، وقدْ رُصِدَتْ سرعتُهُ الابتدائيةُ عندَ اللحظةِ $(t = 2\ s)$، فكانَتْ $(12\ m/s)$، ثمَّ رُصِدَتْ سرعتُهُ النهائيةُ عندَ اللحظةِ $(t = 38\ s)$، فكانَتْ $(30\ m/s)$. أَجِدُ مقدارَ التسارعِ المتوسطِ الذي تحرَّكَ بهِ القطارُ خلالَ المدَّةِ منْ $(t = 2\ s)$ إلى $(t = 38\ s)$، ثمَّ أُحدِّدُ اتجاهَ هذا التسارعِ.

المعطياتُ:

$v_1 = 12$ m/s ، $v_2 = 30$ m/s ، $t_1 = 2$ s ، $t_2 = 38$ s

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

الحلُّ:

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

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

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

مثال 5

انطلقَ سامرٌ بزلاجتهِ بسرعةٍ ابتدائيةٍ (2.4 m/s) باتجاهِ الشرقِ، وبعدَ مُدّةٍ زمنيةٍ مقدارُها (3.0 s) توقفتِ الزلاجةُ عنِ الحركةِ. أجدُ مقدارَ التسارعِ المتوسطِ للزلاجةِ وأحَدِّدُ اتجاهَهُ.

المعطياتُ:

$\Delta t = 3.0$ s ، $v_2 = 0$ m/s ، $v_1 = 2.4$ m/s

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

الحلُّ:

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

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

يُلاحظُ أنَّ إشارةَ التسارعِ المتوسطِ سالبةٌ، ما يعني أن اتجاهَهُ نحوَ الغربِ؛ أي أنّ اتجاهَ التسارعِ بعكسِ اتجاهِ السرعةِ، وفي مثلِ هذهِ الحالة تكونُ الحركةُ بتباطؤ.

بالنظرِ إلى المثالينِ السابقينِ، نجدُ أنَّ تسارعَ الأجسامِ يكونُ بحالتينِ، هما:
الحالةُ الأولى: تكونُ الأجسامُ متسارعةً عندما تتشابهُ إشارةُ التسارعِ معَ إشارةِ السرعةِ؛ فتكونُ الإشارتانِ موجبتينِ (+,+)، كما في المثال (4) حيثُ تحركَ القطارُ بتسارعٍ، أو سالبتينِ (-,-)، وفي الحالتينِ يكونُ اتجاهُ التسارعِ باتجاهِ السرعةِ. الحالةُ الثانيـةُ: تكونُ الأجسام متباطئةً عندما تختلفُ إشارةُ التسارع عن إشارة السرعة؛ فتكون إحداهما موجبة والأخرى سالبـة (-,+)، كما في المثال (5)، حيثُ تحركتِ الزلاجةُ بتباطؤٍ.

+,+

مثال 6

تحرَّكَتْ كرةُ تنسٍ أرضي في اتجاهِ الشرقِ معَ محورِ ($+x$) بسرعةِ ($40\ m/s$). وخلالَ مدَّةٍ زمنيةٍ مقدارُها ($\Delta t = 0.05\ s$) ارتدَّتِ الكرةُ نحوَ الغربِ معَ محورِ ($-x$) بسرعةِ ($40\ m/s$). كما في الشكل (4) أَجِدُ مقدارَ تسارعِ الكرةِ خلالَ هذهِ المدَّةِ، مُحدِّدًا اتجاهَهُ.

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

المطلوبُ: ($\bar{a} = ?$).

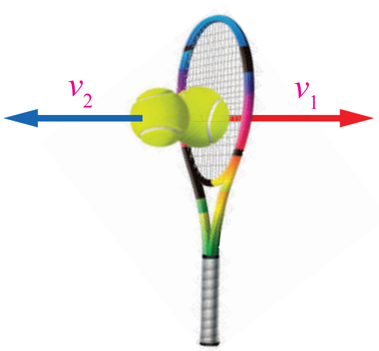
الحلُّ:

السرعةُ الابتدائيةُ للكرةِ موجبةٌ، والسرعةُ النهائيةُ لها سالبةٌ:

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

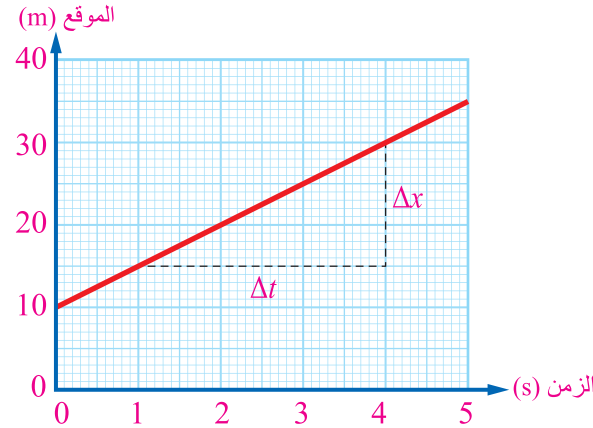
$$\bar{a} = \frac{-40 - 40}{0.05} = \frac{-80}{0.05} = -1600\ m/s^2$$

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



الشكلُ (4): ارتدادُ الكرةِ.

أتحقَّقُ بدأَتْ طائرةٌ السيرَ على مَدْرجِ المطارِ منْ وضعِ السكونِ، بحركةٍ أفقيةٍ في خطٍّ مستقيمٍ، فأصبحَتْ سرعتُها ($80\ m/s$) بعدَ مرورِ مدَّةٍ زمنيةٍ مقدارُها ($t = 32\ s$). أَجِدُ مقدارَ التسارعِ المتوسطِ للطائرةِ خلالَ تلكَ المدَّةِ، ثمَّ أُحدِّدُ اتجاهَهُ.



الشكلُ (5): منحنى الموقعِ – الزمنِ.

تمثيلُ الحركةِ بيانيًّا

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، وتُمثَّلُ 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 خلالَ المدَّةِ الزمنيةِ (Δt) هيَ:

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

حيثُ:

$$\Delta t = 4 - 1 = 3\ s$$

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

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

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

يصلُ بينَ موقعِ الجسمِ الابتدائيّ $(x_1 = 15)$ عندَ الزمنِ $(t = 1s)$ وموقعِهِ النهائيِّ $(x_2 = 30)$ عندَ الزمنِ $(t = 4s)$ كما يأتي:

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

يُلاحَظُ أنَّ وحدةَ الميلِ هيَ (m/s)، وأنَّ هذهِ الوحدةَ هيَ وحدةُ السرعةِ نفسُها. ولمّا كانَ المقامُ في المعادلةِ المذكورةِ آنفًا هوَ المدَّةَ الزمنيةَ التي حدثَ خلالَها التغيُّرُ في الموقعِ، فإنَّ ميلَ الخطِّ المستقيمِ في منحنى الموقعِ– الزمنِ يُمثِّلُ السرعةَ المُتَّجِهةَ المتوسطةَ $(\overline{v})$.

تجدرُ الإشارةُ إلى أنَّ منحنى الموقعِ – الزمنِ يكونُ خطًا مستقيمًا عندَ الحركةِ بسرعةٍ ثابتةٍ، حيثُ التسارعُ يساوي صفرًا، ولا يكونُ المنحنى مستقيمًا عندَ الحركةِ بسرعةٍ متغيرةٍ، حيث التسارعُ لا يساوي صفرًا.

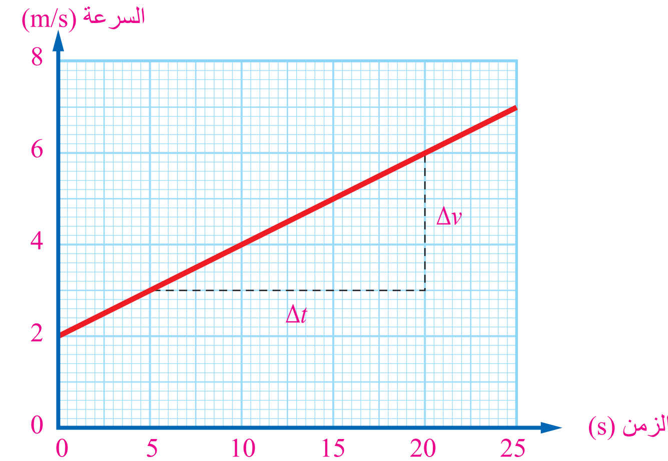
✓ **أتحقَّقُ** أَصِفُ شكلَ منحنى الموقعِ – الزمنِ لجسمٍ يتحرَّكُ بسرعةٍ ثابتةٍ؛ مقدارًا، واتجاهًا.

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 تسارعِ الجسمِ منْ تحليلِ الرسمِ البيانيِّ.

بناءً على تعريفِ التسارعِ، فإنَّ:

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



الشكلُ (6): التسارعُ يساوي الميلَ.

بالرجوعِ إلى مفهومِ الميلِ في الرياضياتِ نجدُ أنَّ التسارعَ يساوي الميلَ؛ حيثُ يمثلُ الميلُ الموجبُ حالةَ التسارعِ والميلُ السالبُ حالةَ التباطؤِ، ومنَ المُلاحَظِ أنَّ الميلَ يكونُ موجبًا عندما تتزايدُ السرعةُ؛ ما يعني أنَّ التسارعَ موجبٌ، وأنَّ الميلَ يكونُ سالبًا عندما تتناقصُ السرعةُ؛ ما يعني أنَّ التسارعَ سالبٌ.

يَتبيَّنُ منَ الشكلِ (6) أنَّ التسارعَ يساوي الميلَ:

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

يُلاحَظُ أنَّ منحنى السرعةِ – الزمنِ خطٌّ مستقيمٌ، فيكونُ الميلُ في هذهِ الحالةِ ثابتًا، وكذلكَ التسارعُ.

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 مقدارَ الإزاحةِ (وحدةُ قياسِها $\frac{\text{m}}{\text{s}} \times \text{s} = \text{m}$)، أي أن الإزاحة تساوي عدديًا المساحة المحصورة تحت المنحنى.

مثال 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 تسارعَ العربةِ خلالَ المدَّةِ الزمنيةِ منْ (0 s) إلى (20 s).

المعطياتُ:

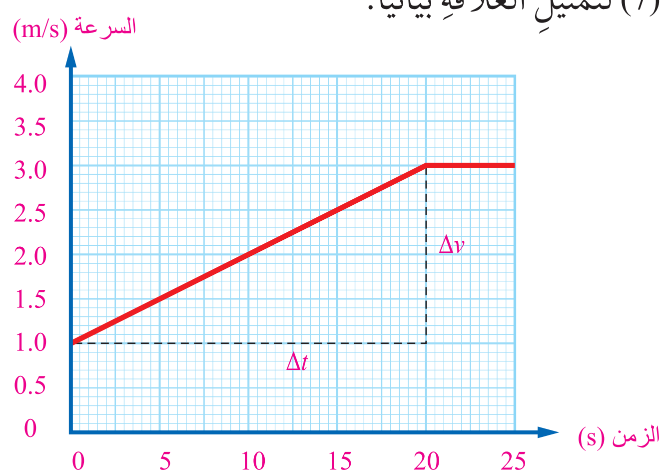
قراءاتُ الزمنِ، قراءاتُ السرعةِ.

المطلوبُ:

رسمُ منحنى العلاقةِ بينَ السرعةِ والزمنِ، إيجادُ التسارعِ.

الحلُّ:

رسمُ الشكلِ (7) لتمثيلِ العلاقةِ بيانيًّا.

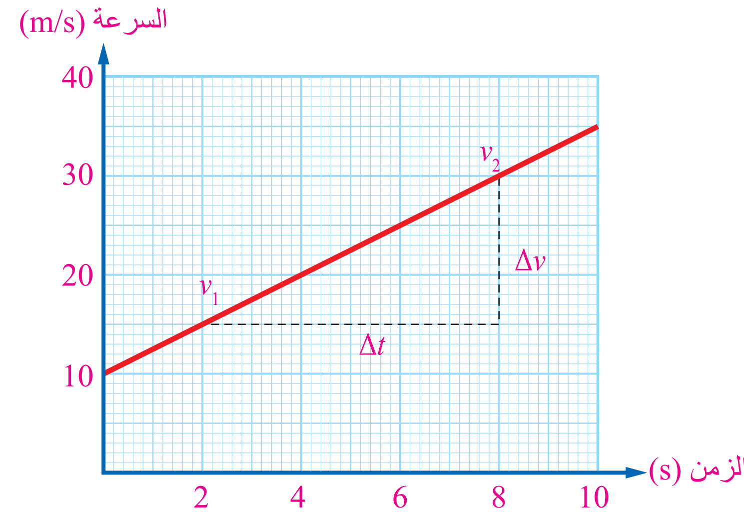


الشكلُ (7): منحنى السرعةِ– الزمنِ.

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

تمرينٌ

أَجِدُ المساحةَ المحصورةَ بينَ المنحنى ومحورِ (x) بينَ اللحظتيْنِ ($t = 0$ s, $t = 25$ s) في المثالِ السابقِ.



الشكلُ (8) : التسارعُ يساوي الميلَ.

معادلاتُ الحركةِ Equations of Motion

تعرَّفْتُ وصفَ الحركةِ في بُعدٍ واحدٍ باستخدامِ مفهومِ الإزاحةِ، والسرعةِ، والتسارعِ، ثمَّ وصفَها بيانيًّا، وكيفَ تُفسَّرُ الأشكالُ البيانيةُ المُتعلِّقةُ بمُتغيِّراتِ الحركةِ.

لوصفِ الحركةِ على نحوٍ أكثرَ سهولةٍ، تُستخدَمُ ثلاثُ معادلاتٍ رياضيةٍ تساعدُ على وصفِ الحركةِ المنتظمةِ للأجسامِ في خطٍّ مستقيمٍ.

ملاحظة: الاشتقاق الرياضي لمعادلات الحركة للمطالعة الذاتية.

• المعادلةُ الأولى:

يُمثِّلُ الشكلُ (8) منحنى السرعةِ – الزمنِ الذي يُمكِنُ إيجادُ ميلِهِ، ثمَّ حسابُ التسارعِ الثابتِ (a) باستخدامِ العلاقةِ الآتيةِ:

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

حيثُ تُمثِّلُ $\Delta t = t_2 - t_1$ المدَّةَ الزمنيةَ التي حدثَ خلالَها التغيُّرُ في السرعةِ. ولكنْ، عندما يكونُ زمنُ البدايةِ ($t_1 = 0$)، فإنَّ: ($\Delta t = t_2 - 0 = t$)، عندئذٍ يُمكِنُ كتابةُ العلاقةِ بالصورةِ الآتيةِ:

$$v_2 - v_1 = at$$

$$v_2 = v_1 + at \quad \text{.........} \quad (1)$$

- **المعادلةُ الثانيةُ:**

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

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

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

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

حيثُ تُمثِّلُ $\Delta x = x_2 - x_1$ الإزاحةَ التي حدثَت للجسمِ.

بالمساواةِ بينَ العلاقتيْنِ السابقتيْنِ تنتجُ العلاقةُ الآتيةُ:

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

بتعويضِ قيمةِ السرعةِ النهائيةِ (v_2) منَ المعادلةِ الأولى تنتجُ العلاقةُ الآتيةُ:

$$\Delta x = v_1 t + \frac{1}{2}at^2 \quad \text{.........................} \quad 2$$

- **المعادلةُ الثالثةُ:**

بناءً على العلاقةِ الخاصةِ بالسرعةِ المُتَّجِهةِ المتوسطةِ، فإنَّ:

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

وبناءً على المعادلةِ الأولى في الحركةِ، فإنَّ:

$$v_2 - v_1 = at$$

بتعويضِ قيمةِ (t) منْ إحدى العلاقتيْنِ في الأُخرى، فإنَّ:

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

$$v_2^2 = v_1^2 + 2a\Delta x \quad \text{.........................} \quad 3$$

ولكنْ، عندما يكونُ موقعُ البدايةِ ($x_1 = 0$)، فإنَّ:

$$(\Delta x = x_2 - 0 = x_2)$$

عندئذٍ يُمكِنُ كتابةُ المعادلاتِ السابقةِ بدلالةِ (x).

أفكر في الحركةِ بتسارعٍ ثابتٍ، حيثُ يكونُ التغيُّرُ في السرعةِ منتظمًا، تتساوى السرعةُ المتوسطةُ مَعَ المتوسّطِ الحسابيِّ للسرعتينِ الابتدائيةِ والنهائيةِ $\overline{v} = ½(v_1 + v_2)$ لماذا لا يكونُ ذلكَ صحيحًا عندما تَتغيّرُ السرعةُ بشكلٍ غيرِ منتظمٍ؟

مثال 8

انطلقَتْ نسرين بدرّاجتها الهوائية منْ وضعِ السكونِ بسرعةٍ أفقيةٍ في خطٍّ مستقيمٍ، بتسارعٍ ثابتٍ مقدارُهُ ($5\ m/s^2$). أَجِدُ:

a. السرعةَ النهائيةَ بعدَ مرورِ زمنٍ مقدارُهُ ($6.4\ s$).

b. الإزاحةَ التي قطعَتْها الدرّاجةُ.

المعطياتُ:

($v_1 = 0\ m/s$)، ($a = 5\ m/s^2$)، ($t = 6.4\ s$).

المطلوبُ:

($v_2 = ?$)، ($x = ?$).

الحلُّ:

a. لإيجادِ السرعةِ النهائيةِ، تُستخدَمُ المعادلةُ الأولى:

$$v_2 = v_1 + at$$

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

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

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

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

مثال 9

يسيرُ قطارٌ بسرعةٍ أفقيةٍ مقدارُها $(20\ m/s)$ في خطٍّ مستقيمٍ، وقدْ نقصَتْ سرعتُهُ خلالَ إزاحةِ $(128\ m)$، فأصبحَتْ $(4\ m/s)$. أَجِدُ تسارعَ القطارِ.

المعطياتُ:

$(v_1 = 20\ m/s)$، $(v_2 = 4\ m/s)$، $(x = 128\ m)$.

المطلوبُ:

$(a = ?)$.

الحلُّ:

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

$$v_2^2 = v_1^2 + 2ax$$

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

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

تمرينٌ

في المثالِ السابقِ أجدُ المدّةَ الزمنيةَ التي قطعَ القطارُ خلالَها الإزاحةَ المذكورةَ.

السقوطُ الحرُّ Free Fall

إنَّ الأجسامَ الموجودةَ في مجالِ الجاذبيةِ الأرضيةِ تتأثَّرُ بقُوَّةِ جذبِ الأرضِ لها (الوزنُ)؛ فعندَ رفعِ جسمٍ مثلًا ثمَّ تركِهِ ليتحرَّكَ بحريةٍ، فإنَّهُ يسقطُ إلى الأسفلِ (نحوَ مركزِ الأرضِ). وعند رمي جسمٍ نحو الأعلى فإن سرعته تتناقص حتى يتوقف عن الحركة عند ارتفاعٍ معينٍ، ثم يعود إلى الأسفل.

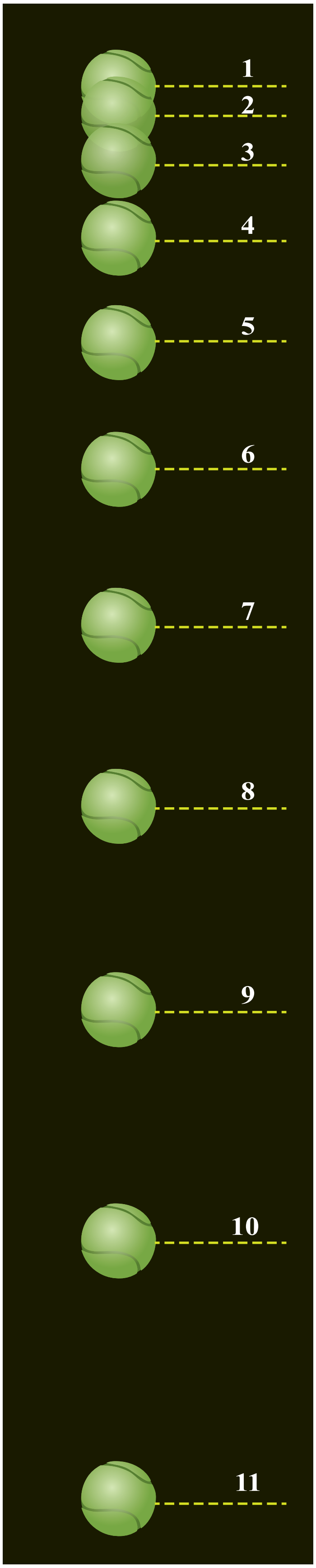
يُعرَّفُ **السقوطُ الحرُّ free fall** بأنَّهُ حركةُ الأجسامِ إلى الأعلى، أوْ إلى الأسفلِ، تحتَ تأثيرِ وزنِها فقطْ، وذلكَ بإهمالِ القوى الأُخرى مثلِ مقاومةِ الهواءِ.

يُبيِّنُ الشكلُ (9) كرةً في حالةِ سقوطٍ حرٍّ عندَ التقاطِ مجموعةٍ متتاليةٍ منَ الصورِ لها، ويفصلُ بينَ كلِّ صورتيْنِ متتاليتيْنِ مُدَدٌ زمنيةٌ متساويةٌ. منَ المُلاحَظِ أنَّ الكرةَ تقطعُ إزاحاتٍ متزايدةً في أزمانٍ متساويةٍ نتيجةَ تسارعِها نحوَ الأسفلِ.

يُعَدُّ السقوطُ الحرُّ أحدَ أهمِّ التطبيقاتِ على الحركةِ في بُعْدٍ واحدٍ بتسارعٍ ثابتٍ، في ما يُعرَفُ بتسارعِ السقوطِ الحرِّ free fall acceleration، ويُرمَزُ إليهِ بالرمزِ (g). غيرَ أنَّ الأجسامَ التي نراها تسقطُ يوميًّا قدْ يختلفُ تسارعُها قليلًا بسببِ تأثيرِ مقاومةِ الهواءِ، وهذا التأثيرُ يختلفُ باختلافِ شكلِ الجسمِ، وحجمِهِ، وسرعتِهِ، فيزدادُ زمنُ سقوطِها نتيجةً لذلكَ.

قريبًا منْ سطحِ الأرضِ، يُعَدُّ تسارعُ السقوطِ الحرِّ ثابتًا ($9.8\ m/s^2$) نحوَ مركزِ الأرضِ؛ لذا يُمكِنُ استخدامُ المعادلاتِ السابقةِ للحركةِ، واستخدامُ ($-g$) بدلًا منْ (a)، واستخدامُ الرمزِ (y) للإزاحةِ الرأسيةِ بدلًا منْ (x). علمًا بأنَّ الإشارةَ السالبةَ مَردُّها إلى الاصطلاحِ بأنَّ الاتجاهَ نحوَ الأعلى موجبٌ، والاتجاهَ نحوَ الأسفلِ سالبٌ.

يُمكِنُ التوصُّلُ عمليًّا إلى قيمٍ قريبةٍ جدًّا منْ قيمةِ تسارعِ السقوطِ الحرِّ، وذلكَ بتنفيذِ التجربةِ العمليةِ الآتيةِ.



الشكلُ (9): حركةُ السقوطِ الحرِّ.

التجربة ١

قياسُ تسارعِ السقوطِ الحرِّ عمليًّا

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

إرشاداتُ السلامةِ: الحذرُ منْ سقوطِ الأجسامِ والأدواتِ.

خطواتُ العملِ:

1. بالتعاونِ معَ زملائي في المجموعةِ، أُجهِّزُ مكانًا لسقوطِ الكرةِ عليْهِ قربَ الحائطِ (قطعةٌ منَ الكرتونِ)، ثمَّ أضعُ علامةً على الحائطِ عندَ ارتفاعِ (1m) تقريبًا، ثمَّ أُثبِّتُ إحدى البوّابتيْنِ الضوئيتيْنِ عندَ تلكَ العلامةِ باستخدامِ حاملٍ معدنيٍّ 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. أُسقِطُ الكرةَ بحيثُ تمرُّ أمامَ البوّابتيْنِ، ثمَّ أُدَوِّنُ في الجدولِ قراءةَ العداد الزمني الرقمي، وكذلكَ المسافةُ بينَ البوّابتيْنِ.
4. أرفعُ البوّابةَ الضوئيةَ العليا إلى ارتفاعِ (1.5 m) تقريبًا، ثمَّ أُكرِّرُ الخطوةَ (3)، مُدَوِّنًا النتائجَ في الجدولِ.
5. أرفعُ البوّابةَ الضوئيةَ العليا مرَّةً أُخرى إلى ارتفاعِ (2 m) تقريبًا، ثمَّ أُكرِّرُ الخطوةَ (3)، مُدَوِّنًا النتائجَ في الجدولِ.
6. أُكمِلُ بياناتِ الجدولِ بحسابِ الكميةِ ($2y$)، والكميةِ ($(\Delta t)^2$)، حيثُ ($\Delta t = t_2 - t_1$) في كلِّ محاولةٍ، ثمَّ أُدَوِّنُهما في الجدولِ.
7. أُمثِّلُ القراءاتِ في الجدولِ برسمٍ بيانيٍّ؛ على أنْ تكونَ قيمُ $(\Delta t)^2$ على محورِ (x)، وقيمُ ($2y$) على محورِ (y)، ثمَّ أستخرجُ ميلَ المنحنى (يُمثِّلُ هذا الميلُ تسارعَ السقوطِ الحرِّ).

$2y$(m)	Δt^2(s^2)	$\Delta t = t_2 - t_1$	y(m)	رقمُ المحاولةِ

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أُقارِنُ:** بالتعاونِ معَ أفراد مجموعتي، أُقارِنُ النتيجةَ التي توصَّلْنا 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؟

مثال 10

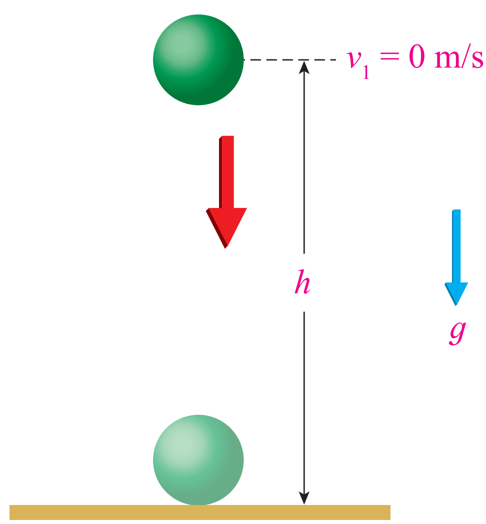
أُسقِطَتْ كرةٌ منْ وضعِ السكونِ كما في الشكلِ (10)، فوصلَتِ الأرضَ بعدَ (0.6 s). أَجِدُ السرعةَ النهائيةَ للكرةِ قبلَ ملامستِها سطحَ الأرضِ مباشرةً.

المعطياتُ:

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

المطلوبُ:

السرعةُ النهائيةُ $(v_2 =?\ m/s)$.



الشكل (10): سقوطُ الكرةِ.

الحلُّ:

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

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

الإشارةُ السالبةُ هنا تعني أنَّ اتجاهَ السرعةِ النهائيةِ هوَ نحوَ الأرضِ بعكسِ الاتجاهِ الموجبِ.

تمرينٌ

في المثال السابق أجدُ الارتفاع الذي أُسقطتْ منه الكرةُ.

مثال 11

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

a. زمنَ وصولِ السهمِ إلى أقصى ارتفاعٍ.

b. أقصى ارتفاعٍ وصلَ إليْهِ السهمُ.

المعطياتُ:

($v_1 = +14.7$ m/s)، ($v_2 = 0$ m/s)، ($g = 9.8$ m/s^2).

المطلوبُ:

(t =?)، (y =?).

الحلُّ:

a. لإيجادِ زمنِ وصولِ السهمِ إلى أقصى ارتفاعٍ، تُستخدَمُ المعادلةُ الأولى:

$$v_2 = v_1 - gt$$

$$0 = 14.7 - 9.8t$$

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

b. لإيجادِ أقصى ارتفاعٍ وصلَ إليْهِ السهمُ، تُستخدَمُ المعادلةُ الثالثةُ:

$$v_2^2 = v_1^2 - 2gy$$

$$0 = 14.7^2 - 2 \times 9.8 \times y$$

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

يُلاحَظُ أنَّ إشارةَ الإزاحةِ موجبةٌ؛ ما يعني أنَّ الإزاحةَ التي قطعَها السهمُ كانَتْ نحوَ الأعلى.

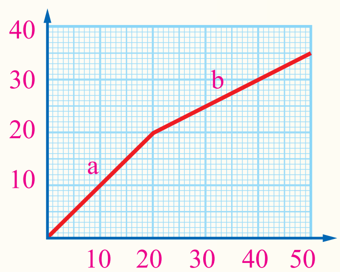
مراجعةُ الدَّرسِ

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

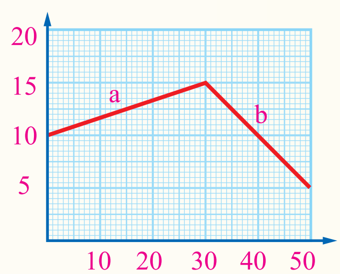
2. **أحسُبُ:** تحرَّكَ قطارٌ حركةً أفقيةً في خطٍّ مستقيمٍ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارُها (12 m/s). أَجِدُ الإزاحةَ التي يقطعُها القطارُ إذا تحرَّكَ مدَّةَ (80 s).

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

4. **أحللُ:** يمثلُ الشكلُ المجاورُ منحنى الموقعِ-الزمنِ لحصانٍ يجرُّ عربةً في طريقٍ مستقيمٍ. معتمدًا على الشكلِ، أجدُ ما يأتي:
   a. الإزاحةَ التي قطعتها العربةُ في المرحلةِ (a) منَ الحركةِ.
   b. السرعة المتوسطة للعربة في المرحلة (b) من الحركة.



5. **أحللُ:** يجري عدّاءُ في طريقٍ مستقيمٍ، رُصدت حركتُهُ ومُثلت سرعتُهُ بيانيًا كما في الشكلِ المجاورِ. معتمدًا على الشكلِ، أجدُ ما يأتي:
   a. السرعةَ اللحظيةَ للعداءِ عندَ نهايةِ المرحلةِ (a) منَ الحركةِ.
   b. تسارعَ (تباطؤ) العداءِ في المرحلةِ (b) منَ الحركةِ.
   c. الإزاحةَ التي قطعها العداءُ في مرحلتي الحركةِ معًا.



6. **أحسُبُ:** سقطَ جسمٌ من وضعِ السكونِ منِ ارتفاعِ (176.4 m)، بإهمالِ مقاومةِ الهواءِ. أَجِدُ:
   a. زمنَ وصولِ الجسم إلى الأرضِ.
   b. سرعةَ الجسمِ النهائيةَ قبلَ لمسِهِ سطحَ الأرضِ مباشرةً.

7. انطلقَ جسمٌ منْ وضعِ السكونِ بتسارعٍ ثابتٍ، وقدْ رُصِدَ موقعُهُ وزمنُ حركتِهِ في الجدولِ التالي.

أُمثِّلُ بيانيًّا العلاقةَ بينَ الزمنِ والموقعِ، 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:

الحركةُ في بُعْدَيْنِ تعني أنَّ لسرعةِ الجسمِ مُركَّبتَيْنِ متعامدتيْنِ من دونِ اعتمادِ إحداهُما على الأُخرى.

نتاجات التعلم:

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

المفاهيم والمصطلحات:

المقذوفاتُ Projectiles.

أقصى ارتفاعٍ Maximum Height.

المدى الأفقيُّ Range.

زمنُ التحليقِ Time of Flight.

حركةٌ دائريةٌ Circular Motion.

سرعةٌ مماسيةٌ Tangent Velocity.

تسارعٌ مركزيٌّ Centripetal Acceleration.

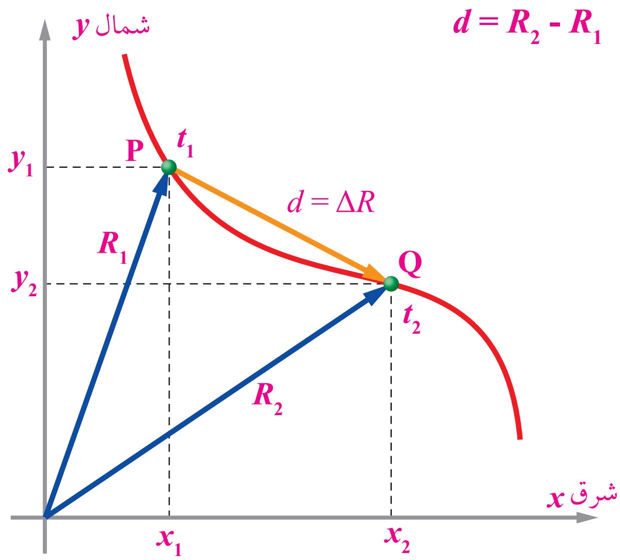
الإزاحة في بعدين Displacement in Two Dimensions

تعرَّفْنا في الدرسِ السابقِ كيفَ يُمكِنُ وصفُ حركةِ الجسمِ في بُعْدٍ واحدٍ، وكيفيةَ التعبيرِ عنِ اتجاهاتِ كلٍّ منَ: الإزاحةِ، والسرعةِ، والتسارعِ في بُعْدٍ واحدٍ، عنْ طريقِ تمييزِها بإشارةِ (+) إنْ كانَتْ نحوَ اليمينِ أوِ الأعلى، وبإشارةِ (-) إنْ كانَتْ نحوَ اليسارِ أوِ الأسفلِ. وستتعرَّفُ في هذا الدرسِ كيفَ نَصِفُ حركةَ الأجسامِ في بُعْدَيْنِ، بتطبيقِ خصائصِ المُتَّجهاتِ عليْها.

يُبيِّنُ الشكلُ (11) طريقًا أفقيًّا مُتعرِّجًا تسيرُ عليْهِ درّاجةٌ، ويُمثِّلُ فيهِ المحورُ $(+x)$ اتجاهَ الشرقِ، والمحورُ $(+y)$ اتجاهَ الشمالِ. إذا تحرَّكَتِ الدرّاجةُ منَ الموقعِ (P) إلى الموقعِ (Q) على المسارِ المنحني خلالَ مدَّةٍ زمنيةٍ (Δt)، فإنَّهُ يُمكِنُ وصفُ تلكَ الحركةِ باستخدامِ مفهومَيِ الإزاحةِ، والسرعةِ المتوسطةِ للدرّاجةِ.

يَتبيَّنُ منَ الشكلِ أنَّ مُتَّجِهَ الموقعِ الأولِ (R_1)، الذي حُدِّدَ نسبةً إلى نقطةِ الإسنادِ المرجعيةِ $(x = 0 , y = 0)$، يُمكِنُ تحليلُهُ إلى مُركَّبتيْنِ متعامدتيْنِ، هما: (x_1)، و (y_1)، وأنَّ مُتَّجِهَ الموقعِ الثاني (R_2) يُمكِنُ تحليلُهُ إلى مُركَّبتيْنِ متعامدتيْنِ، هما: (x_2)، و (y_2). وبذلكَ، فإنَّ التغيُّرَ في الموقعِ الذي يُمثِّلُهُ المُتَّجِهُ $(d = \Delta R)$ يُعطى بالعلاقةِ الآتيةِ:

$$d = R_2 - R_1$$



الشكلُ (11): الحركةُ في بُعْدَيْنِ.

وهذا يعني وجودَ مُركّبةِ إزاحةٍ في اتجاهِ الشرقِ $(+x)$: $(d_x = x_2 - x_1)$،
ومُركّبةِ إزاحةٍ في اتجاهِ الشمالِ $(+y)$: $(d_y = y_2 - y_1)$.
أمّا السرعةُ المُتّجِهةُ المتوسطةُ للدرّاجةِ ومُركّبتاها المتعامدتانِ فتُعطى بالعلاقاتِ الآتيةِ:

$$\bar{v} = \frac{d}{\Delta t} \text{ ، } v_x = \frac{d_x}{\Delta t} \text{ ، } v_y = \frac{d_y}{\Delta t}$$

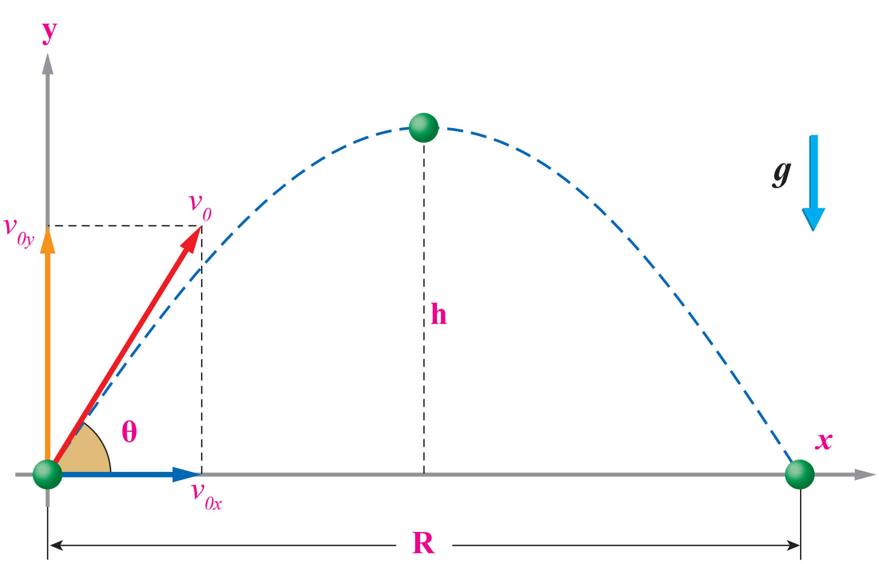
المقذوفاتُ Projectiles

عندَ قذفِ جسمٍ في اتجاهٍ يَصنعُ زاويةً (θ) معَ الأفقِ، فإنَّهُ يتحرَّكُ في مسارٍ مُنْحَنٍ كما في الشكلِ (12)، وتكونُ هذهِ الحركةُ في بُعْديْنِ، بحيثُ تتغيَّرُ إحداثياتُ الحركةِ على المحورِ الأفقيِّ (x)، والمحورِ الرأسيِّ (y) في اللحظةِ نفسِها. تُستخدَمُ معادلاتُ الحركةِ بتسارعٍ ثابتٍ (توصَّلْنا إليْها في الدرسِ السابقِ) في وصفِ حركةِ المقذوفاتِ، وتُطبَّقُ هذهِ المعادلاتُ على المحورِ الأفقيِّ، ثمَّ تُطبَّقُ بصورةٍ مستقلةٍ على المحورِ الرأسيِّ.

عندَ رمي كرةٍ إلى الأعلى في اتجاهٍ يَصنعُ معَ الأفقِ زاويةً ابتدائيةً (θ_0)، فإنَّ السرعةَ الابتدائيةَ للكرةِ (v_0) يُمكِنُ تحليلُها إلى مُركَّبتيْنِ متعامدتيْنِ (v_{0x} , v_{0y}) كما في الشكلِ (12). وتُعطى مُركَّبتا السرعةِ بالمعادلتيْنِ الآتيتيْنِ:

المُركَّبةُ الأفقيةُ للسرعةِ الابتدائيةِ .... $v_{0x} = v_0 \cos \theta_0$

المُركَّبةُ الرأسيةُ للسرعةِ الابتدائيةِ .... $v_{0y} = v_0 \sin \theta_0$



الشكلُ (12): تحليلُ السرعةِ إلى مُركَّبتيْنِ.

تستمرُّ الكرةُ في حركتِها منذُ لحظةِ إطلاقِها منْ نقطةِ الإسنادِ المرجعيةِ (0,0)، في مسارٍ مُنْحَنٍ، حتّى تصلَ إلى أقصى ارتفاع (h)، ثمَّ تعودُ إلى الأسفلِ. وفي أثناءِ هذهِ الحركةِ، فإنَّ المُركَّبَةَ الأفقيةَ للسرعةِ تظلُّ ثابتةً في المقدارِ والاتجاهِ؛ لأنَّ التسارعَ الأفقيَّ يساوي صفرًا ($a_x = 0$)؛ لعدمِ وجودِ قُوَّةٍ مُؤثِّرةٍ في الكرةِ بالاتجاهِ الأفقيِّ عندَ إهمالِ مقاومةِ الهواءِ. أمّا المُركَّبَةُ الرأسيةُ للسرعةِ فتتأثرُ بقوةِ الجاذبيةِ الأرضيةِ التي تؤدي إلى حركتِها بتسارعِ السقوطِ الحرِّ ($g = 9.80\ m/s^2$) 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 بأنَّهُ يُرمَزُ إلى المركبةِ الرأسيةِ للسرعةِ بالرمزِ (v_y) بعدَ لحظةِ الإطلاقِ.

منَ الكمياتِ الأُخرى المستخدمةِ في وصفِ حركةِ المقذوفاتِ:

- **زمنُ التحليقِ (T)**، وهوَ الزمنُ الكليُّ لحركةِ المقذوفِ في الهواءِ، ويساوي مجموعَ زمنَي الصعودِ والهبوطِ. يختلفُ زمنُ الصعودِ إلى أقصى ارتفاعٍ عن زمنِ الهبوطِ عندما يختلفُ المستوى الأفقي الذي يعودُ إليهِ المقذوفُ عن مستوى الإطلاقِ، لكن عندما يعودُ المقذوفُ إلى المستوى الأفقي الذي أُطلقَ مِنه، فإنَّ زمنَ الهبوطِ يساوي زمنَ الصعودِ، وهنا يُمكنُ التوصلُ إلى زمنِ التحليقِ بدلالةِ زمنِ الصعودِ فقط، كما في العلاقةِ الآتيةِ:

$$T = 2t_h$$

- **المدى الأفقيُّ (R)**، وهوَ أكبرُ إزاحةٍ أفقيةٍ يصنعُها المقذوفُ منْ نقطةِ انطلاقِهِ إلى أنْ يعودَ إلى مستوى الإطلاقِ نفسِهِ (سطحُ الأرضِ مثلًا) كما في الشكلِ (12)، ويعطى بالعلاقةِ الآتيةِ:

$$R = T \times v_0 \cos \theta_0$$

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

أفكر هلْ يكونُ تأثيرُ مقاومةِ الهواءِ في حركةِ المقذوفاتِ في المركبةِ الأفقيةِ لسرعةِ المقذوفِ، أم المركبةِ الرأسيةِ، أم في المركبتينِ معًا؟

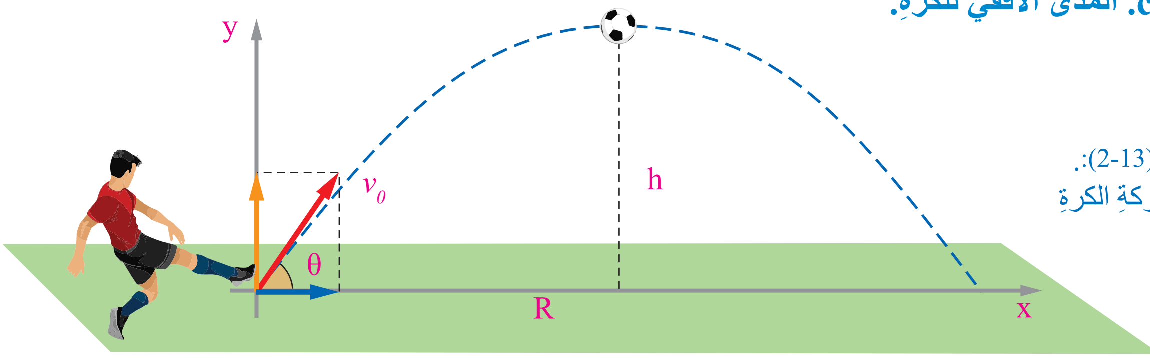
مثال 12

ركلَ لاعبٌ كرةً بسرعةٍ ابتدائيةٍ (22.5 m/s)، في اتجاهٍ يَصنعُ زاويةَ (53°) معَ الأفقِ كما في الشكلِ (13)،بإهمالِ مقاومةِ الهواءِ. أَجِدُ ما يأتي:

a. أقصى ارتفاعٍ تصلُ إليْهِ الكرةُ.

b. زمنَ تحليقِ الكرةِ حتّى تعودَ إلى سطحِ الأرضِ.

c. المدى الأفقيَّ للكرةِ.



الشكلُ (13-2):.
مسارُ حركةِ الكرة

المعطياتُ: $(v_0 = 22.5\ \text{m/s})$، $(\theta = 53°)$.

المطلوبُ: $(h =?\ )$، $(T=?\ )$، $(R=?\ )$.

الحلُّ:

بدايةً، أُحلِّلُ السرعةَ الابتدائيةَ إلى مُركَّبتيْنِ؛ أفقيةٍ ورأسيةٍ، للتعاملِ معَ الحركةِ عنْ طريقِ كلِّ مُركَّبةٍ بصورةٍ منفصلةٍ:

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

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

a. لإيجادِ أقصى ارتفاعٍ تصلُ إليْهِ الكرةُ، تُستخدَمُ المعادلةُ الثالثةُ للحركةِ، علمًا بأنَّ المُركَّبةَ الرأسيةَ للسرعةِ عندَ أقصى ارتفاعٍ: $(v_y = 0\ \text{m})$، وأنَّ الاتجاهَ نحوَ الأعلى موجبٌ. وبذلكَ، فإنَّ $(a = -g)$ في معادلاتِ الحركةِ:

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

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

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

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

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

$$v_2 = v_1 + at$$

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

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

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

$$T = 2t = 2 \times 1.84 = 3.68\ s$$

c. المدى الأفقيُّ للكرةِ:

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

$$R = 3.6 \times 13.5 = 49.68\ \text{m}$$

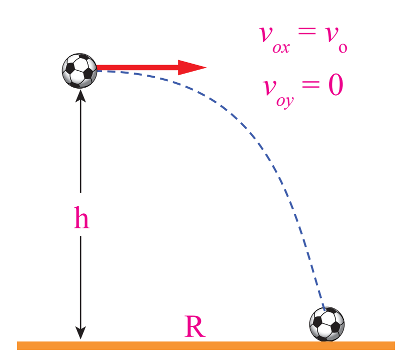
أتحقَّقُ بناءً على العلاقاتِ السابقةِ، أستنتجُ العواملَ التي يعتمدُ عليْها المدى الأفقيُّ للمقذوفِ.

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 (14) يُوضِّحُ مسارَ الجسمِ المقذوفِ أفقيًّا.

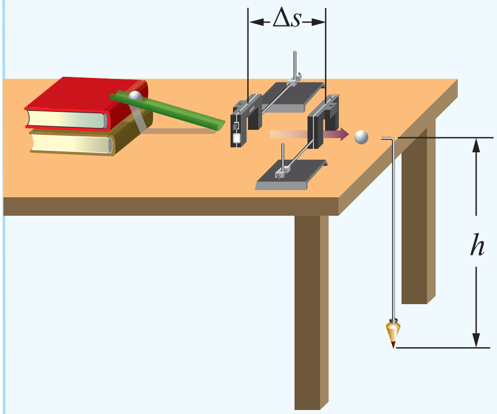


الشكلُ (14): مسارُ حركةِ جسمٍ مقذوفٍ أفقيًّا.

لدراسةِ حركةِ المقذوفِ الأفقيِّ بصورةٍ عمليةٍ، أُنفِّذُ وزملائي النشاطَ الآتيَ.

التجربةُ 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 على القدمَيْنِ.

خطواتُ العملِ:

1. أركِّبُ 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 (Δs)، ثمَّ أُدَوِّنُ النتيجةَ في الجدولِ.
3. **أتوقَّعُ** مكانَ سقوطِ الكرةِ على الأرضِ، وأضعُ فيهِ ورقَ الكربونِ.
4. أَصِلُ 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 العدادِ الرقميِّ (Δt) في الجدولِ، ثمَّ أقيسُ المسافةَ الأفقيةَ (R) بينَ نقطةِ السقوطِ ونقطةِ الأصلِ، 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 (Δs) 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.

عددُ الكتبِ	h (m)	R (m)	Δs (m)	Δt (s)	v_{ox} (m/s)	الحساباتُ	
						$t=\sqrt{2h/g}$	$R=tv_{ox}$(m)

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 السقوطِ، 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؟

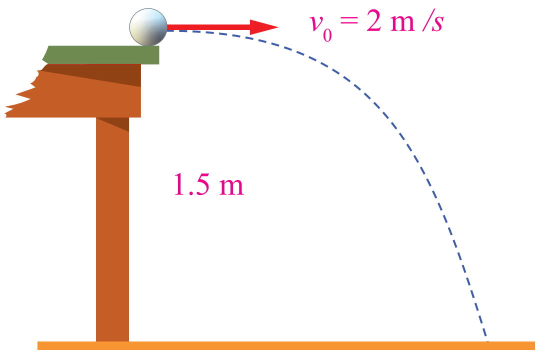
مثال 13

قُذِفَتْ كرةُ تنسٍ أرضيٍّ أفقيًّا منْ سطحِ طاولةٍ كما في الشكلِ (15). مُعتمِدًا البياناتِ الواردةَ في الشكلِ، أَجِدُ ما يأتي:

a. زمنَ وصولِ الكرةِ إلى الأرضِ.

b. المدى الأفقيَّ للكرةِ.

c. مقدارَ السرعةِ النهائيةِ للكرةِ، مُحدِّدًا اتجاهَها.



الشكلُ (15): 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:

a. زمنُ وصولِ الكرةِ إلى الأرضِ يعتمدُ على الحركةِ في المستوى الرأسيِّ، 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 كلٍ من التسارعِ والإزاحةِ نحوَ الأسفلِ بعكسِ الاتجاهِ الموجبِ؛ لذا عُوِّضَتِ الإشارتانِ السالبتانِ، حيثُ:

$$a = -g = -9.8\ m/s^2 \quad ، \quad h = -1.5\ m$$

b. المدى الأفقيُّ للكرةِ يعتمدُ على المُركَّبةِ الأفقيةِ والزمنِ:

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

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

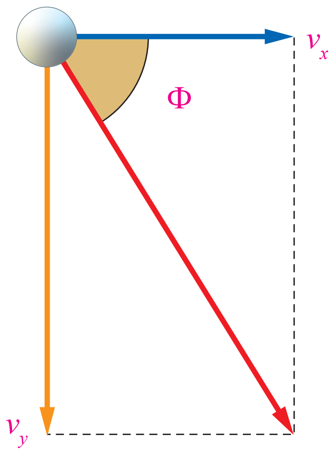
c. مقدارُ السرعةِ النهائيةِ للكرةِ:

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

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

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

الإشارةُ السالبةُ تعني أنَّ المُركَّبةَ الرأسيةَ للسرعةِ النهائيةِ هيَ إلى الأسفلِ بعكسِ الاتجاهِ الموجبِ:



الشكلُ (16): 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 (16) ، بحيثُ يَصنعُ زاويةً معَ محورِ $(+x)$ مقدارُها (Φ):

$$\tan\Phi = \frac{v_y}{v_x} = \frac{5.39}{2} = 2.69 \;\cdots\cdots\!\longrightarrow \Phi = 69.6°$$

ومنْ ثَمَّ، فإنَّ الزاويةَ بينَ اتجاهِ السرعةِ النهائيةِ ومحورِ $(+x)$ بعكسِ عقاربِ الساعةِ هيَ:

$$360 - 69.6 = 290.4°$$

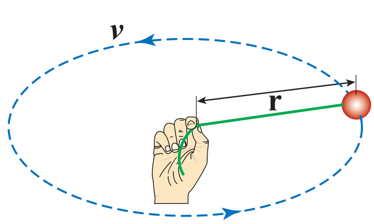
أتحقَّقُ ما الأثرُ المُتوقَّعُ في حالِ عدمِ إهمالِ مقاومةِ الهواءِ لحركةِ الكرةِ على المُركَّبتيْنِ الأفقيةِ والرأسيةِ للسرعةِ؟

الحركةُ الدائريةُ المنتظمةُ Uniform circular motion

تعرَّفْتُ سابقًا أنَّ الجسمَ الذي يتحرَّكُ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا في خطٍّ مستقيمٍ لا يمتلكُ تسارعًا؛ فالتسارعُ يُمثِّل تغيُّرًا في مقدارِ السرعةِ، أوِ اتجاهِها، أوْ كليْهِما معًا.

يُبيِّنُ الشكلُ (17) كرةً مربوطةً بخيطٍ، تدورُ في مسارٍ دائريٍّ أفقيٍّ، بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا، لكنَّها مُتغيِّرةٌ اتجاهًا. يُطلَقُ على الحركةِ في هذهِ الحالةِ اسمُ الحركةِ الدائريةِ المنتظمةِ uniform circular motion.

يمتلكُ الجسمُ في الحركةِ الدائريةِ تسارعًا مركزيًّا centripetal acceleration،



الشكلُ (17): الحركةُ الدائريةُ.

ويُرمَزُ إليهِ بالرمز (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 (18) مُتَّجِهاتِ السرعةِ والتسارعِ المركزيِّ عندَ نقاطٍ مختلفةٍ منَ المسارِ الدائريِّ الأفقيِّ لحركةِ الكرةِ، حيثُ يتعامدُ مُتَّجِهُ التسارعِ المركزيِّ باستمرارٍ مع مُتَّجِهِ السرعةِ، الذي يكونُ دائمًا على امتدادِ المماسِ للدائرةِ، وتُسمى السرعةُ هنا سرعةً مماسيةً.

منَ الأمثلةِ على الحركةِ الدائريةِ المنتظمةِ: حركةُ نقطةٍ مرسومةٍ على طرفِ مروحة تدور، وحركةُ سيارةٍ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا حولَ الدُّوّارِ، وحركةُ بعضِ الأقمارِ الصناعيةِ حولَ الأرضِ.

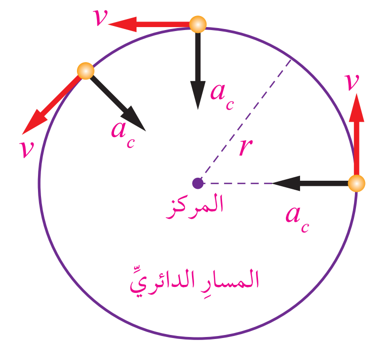
عندَ دراسةِ الحركةِ الدائريةِ المنتظمةِ، فإنَّ مركزَ المسارِ الدائريِّ يُمثِّلُ نقطةَ إسنادٍ مرجعيةٍ لتحديدِ المُتغيِّراتِ، حيثُ تُحسَبُ السرعةُ القياسيةُ التي يتحرَّكُ بها الجسمُ بقسمةِ طولِ المسارِ الدائريِّ (محيطُ الدائرةِ) على الزمنِ الدوريِّ، وهوَ الزمنُ اللازمُ حتّى يُكمِلَ الجسمُ دورةً كاملةً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

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

يُعطى التسارعُ المركزيُّ للحركةِ الدائريةِ المنتظمةِ بالعلاقةِ الآتيةِ:

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

أتحقَّقُ مُستخدِمًا العلاقةَ الرياضيةَ للتسارعِ المركزيِّ، ومُعتمِدًا وحدتَيْ قياسِ السرعةِ ونصفِ القُطْرِ، أشتقُّ وحدةَ التسارعِ المركزيِّ.



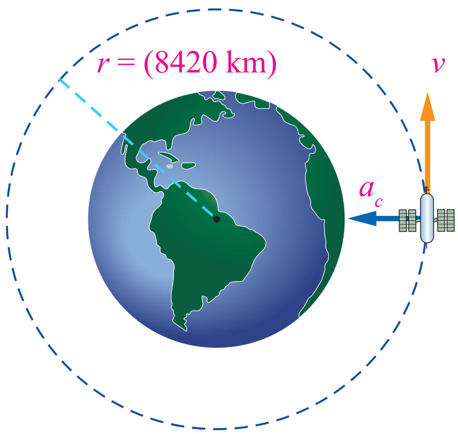
الشكلُ (18):منظر علوي للحركة الدائرية الأفقية.

الفيزياء والحياة

لعلمِ الفيزياءِ دورٌ رئيسٌ عِنْدَ تصميمِ الطرقِ ووضعِ قوانينِ السّيرِ عليها، فالسرعةُ التي يجبُ على السائقِ الالتزامُ بها عندَ القيادةِ في المنعطفاتِ يتمُ تحديدها اعتمادًا على نصفِ قُطرِ الدائرةِ التي يُشكلُ المنعطفُ جزءًا منها. وعندَ تجاوزِ حدودِ هذهِ السرعةِ يزدادُ التسارعُ المركزي للسيارةِ فتنحرفُ عن الطريقِ وتخرجُ عنِ السيطرةِ.

مثال 14

قمرٌ صناعيٌّ يدورُ حولَ الأرضِ على ارتفاعِ (8420 km) عنْ مركزِ الأرضِ، في مسارٍ دائريٍّ (تقريبًا)، بسرعةٍ مماسيةٍ ثابتةِ المقدارِ كما في الشكلِ (19). إذا علمْتُ أنَّ الزمنَ الدوريَّ لهُ (129 min) ، فأَجِدُ ما يأتي:



الشكلُ (19): القمرُ الصناعيُّ.

a. مقدارَ السرعةِ المماسيةِ للقمرِ الصناعيِّ.

b. التسارعَ المركزيَّ لهذا القمرِ.

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

المطلوبُ: $(v_s = ?)$ ، $(a_c = ?)$.

الحلُّ:

a. مقدارُ السرعةِ المماسيةِ للقمرِ الصناعيِّ:

$$v_s = \frac{\Delta s}{T} = \frac{2\pi r}{T}$$

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

b. التسارعُ المركزيُّ 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 الدّرسِ

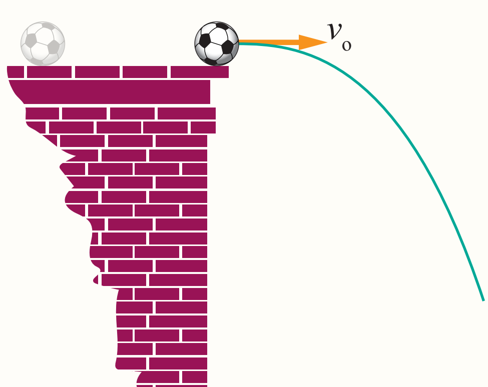
1. **الفكرةُ الرئيسةُ:** ما أهميةُ تحليلِ السرعةِ الابتدائيةِ للمقذوفاتِ إلى مُركّبتيْنِ؛ أفقيةٍ، ورأسيةٍ؟

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

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

4. **أُقارِنُ:** أُقارِنُ بينَ مُركّبَتَيْ كلِّ عنصرٍ منَ العناصرِ الآتيةِ لحركةِ المقذوفِ الأفقيةِ والرأسيةِ:
   - الإزاحةُ
   - السرعةُ
   - التسارعُ.

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



6. **أحسُبُ:** قُذفت كرةٌ من فوقَ بنايةٍ ارتفاعُها ($44.1 m$) عنْ سطحِ الأرضِ بسرعةٍ أفقيةٍ مقدارُها ($12 m/s$) كما في الشكلِ. أحسُبُ زمنَ سقوطِ الكرةِ إلى سطحِ الأرضِ، والمسافةَ الأفقيةَ التي تقطعُها الكرةُ قبلَ ارتطامِها بالأرضِ.

7. **أحسُبُ:** كتلةٌ مربوطةٌ بخيطٍ طولُهُ ($0.80 m$)، تتحرَّكُ حركةً دائريةً منتظمةً، ويبلغُ الزمنُ الدوريُّ للحركةِ ($1.0 s$). إذا كانَ طولُ الخيطِ هوَ نصفَ قُطرِ المدارِ، فما مقدارُ التسارعِ المركزيِّ لهذهِ الحركةِ؟

الإثراء والتّوسُّع

الفيزياءُ والفضاءُ

الأقمارُ الصناعيةُ المُتزامِنةُ معَ الأرضِ

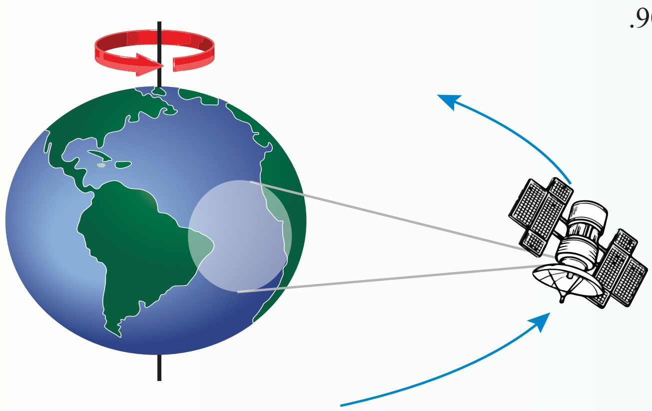
توضَعُ بعضُ الأقمارِ الصناعيةِ في مداراتٍ حولَ الأرضِ، بحيثُ يتزامنُ دورانُها معَ دورانِ الأرضِ، فتبقى فوقَ منطقةٍ مُحدَّدةٍ منْ سطحِ الأرضِ باستمرارٍ، وتدورُ معَها بالسرعةِ نفسِها. والهدفُ منْ وضعِ هذهِ الأقمارِ هوَ تأمينُ عمليةِ الاتصالِ التلفزيونيِّ والهاتفيِّ وشبكةِ الإنترنتْ على مدارِ اليومِ في هذهِ المنطقةِ. وفي المقابلِ، توجدُ أقمارٌ أُخرى خاصةٌ بالتصويرِ، والمسحِ الجويِّ، وغيرِ ذلكَ منَ المهامِّ التي لا تتزامنُ حركتُها معَ حركةِ الأرضِ، وتنتقلُ منْ فوقِ بلدٍ إلى آخرَ، منْ مثلِ أقمارِ المسحِ الجيولوجي والبيئي محطةِ الفضاءِ الدوليةِ (ISS).

عندَ وضعِ قمرٍ صناعيٍّ مُتزامِنٍ معَ الأرضِ في مدارِهِ، يجبُ مراعاةُ ما يأتي:

1. مساواةُ الزمنِ الدوريِّ للقمرِ الصناعيِّ طولَ اليومِ الفلكيِّ للأرضِ، وهوَ الزمنُ اللازمُ لنقطةٍ على سطحِ الأرضِ حتّى تدورَ حولَ محورِ الأرضِ دورةً كاملةً (°360)، ويساوي (23h 56m 4s)، وهوَ يقلُّ بمقدارِ (4) دقائقَ عنِ اليومِ الشمسيِّ الذي تدورُ فيهِ الشمسُ ظاهريًا حولَ الأرضِ دورةً كاملةً.
2. وفقًا للقانونِ الثالثِ لكبلرَ، توجدُ نسبةٌ ثابتةٌ بينَ مربعِ الزمنِ الدوريِّ للقمرِ الصناعيِّ ومكعبِ نصفِ قُطْرِ مدارِهِ. ونتيجةً لذلكَ؛ فإنَّ نصفَ قُطْرِ مدارِ القمرِ الصناعيِّ المُتزامِنِ معَ الأرضِ :(42155 km)، وهذا يعني أنَّ ارتفاعَهُ فوقَ سطحِ الأرضِ يبلغُ (35786 km).
3. وجوبُ معرفةِ نصفِ قُطْرِ المدارِ، وطولِ المحيطِ، والزمنِ الدوريِّ لهُ؛ لإيجادِ مقدارِ السرعةِ المماسيةِ للقمرِ المُتزامِنِ معَ الأرضِ: (11066 km/h)، أوْ: (3.07 km/s).
4. وجوبُ أنْ يكونَ مدارُ القمرِ المُتزامِنِ معَ الأرضِ فوقَ خطِّ الاستواءِ حتَى يبدوَ القمرُ ثابتًا في السماءِ، وإلّا فإنَّهُ سيظهرُ مُتذبذِبًا بينَ الشمالِ والجنوبِ.
5. وجوبُ أنْ يكونَ شكلُ المدارِ دائريًّا تمامًا. وفي حالِ كانَ المدارُ إهليلجيًّا، فإنَّ القمرَ سيتحرَّكُ بسرعةٍ مماسيةٍ مُتغيِّرةٍ. ونتيجةً لذلكَ؛ سيتذبذبُ موقعُهُ شرقًا وغربًا فوقَ البُقعةِ المُحدَّدِ لهُ أنْ يستقرَّ فوقَها.

يُشرِفُ القمرُ الصناعيُّ المُتزامِنُ معَ الأرضِ على منطقةٍ ثابتةٍ، تُعادِلُ مساحتُها ما نسبتُهُ 40% منْ مساحةِ سطحِ الأرضِ، ويظلُّ فوقَها باستمرارٍ.

أُطلِقَ أولُ قمرٍ صناعيٍ مُتزامِنٍ معَ الأرضِ عامَ 1964 م. أمّا في هذا العصرِ فقدْ زادَ عددُ الأقمارِ على (300) قمرٍ صناعيٍّ، خُصِّصَ منْها لأغراضِ الاتصالاتِ ما نسبتُهُ 90%.



يُبيِّنُ الشكلُ المجاورُ قمرًا صناعيًّا منَ النوعِ المُتزامِنِ في حركتِهِ معَ حركةِ الأرضِ، وهوَ يدورُ حولَها على ارتفاعِ (35786 km) فوقَ سطحِها، بحيثُ يبقى مُقابِلًا لمنطقةٍ تضمُّ جنوبَ المحيطِ الأطلسي.

1. أختارُ رمزَ الإجابةِ الصحيحةِ لكلِّ جملةٍ ممّا يأتي:

1. المُتَّجِهُ الذي يُمثِّلُ التغيُّرَ في موقعِ جسمٍ بالنسبةِ إلى نقطةِ إسنادٍ مرجعيةٍ هوَ:

a. السرعةُ القياسيةُ.

b. السرعةُ المُتَّجِهةُ.

c. الإزاحةُ.

d. الموقعُ.

2. ناتجُ قسمةِ المسافةِ الكليةِ التي تقطعُها سيارةٌ على الزمنِ الكليِّ لحركتِها يُسمّى:

a. السرعةَ القياسيةَ المتوسطةَ.

b. السرعةَ المُتَّجِهةَ المتوسطةَ.

c. السرعةَ المُتَّجِهةَ اللحظيةَ.

d. التسارعَ المتوسطَ.

3. إذا قُذِفَ جسمٌ رأسيًّا إلى الأعلى، ووصلَ أقصى ارتفاعٍ لهُ، فإنَّ:

a. إزاحتَهُ تساوي صفرًا.

b. تسارعَهُ يساوي صفرًا.

c. زمنَ الصعودِ يساوي صفرًا.

d. سرعتَهُ تساوي صفرًا.

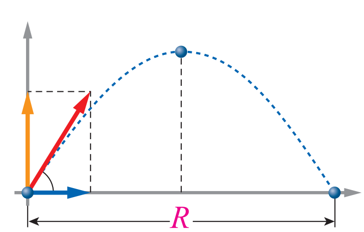
4. العبارةُ الصحيحةُ التي تصفُ حركةَ المقذوفِ بإهمالِ مقاومةِ الهواءِ هيَ:

a. التسارعُ الأفقيُّ صفرٌ، والتسارعُ الرأسيُّ (g).

b. التسارعُ الأفقيُّ صفرٌ، والتسارعُ الرأسيُّ صفرٌ.

c. التسارعُ الأفقيُّ (g)، والتسارعُ الرأسيُّ صفرٌ.

d. التسارعُ الأفقيُّ (g)، والتسارعُ الرأسيُّ (g).



5. الإزاحةُ الأفقيةُ التي يَصنعُها المقذوفُ عندما يعودُ إلى مستوى إطلاقِهِ تُسمّى:

a. أقصى ارتفاعٍ.

b. المدى الأفقيَّ.

c. المدى الرأسيَّ.

d. المسارَ الفعليَّ.

2. أَصِفُ نوعَ الحركةِ في كلِّ حالةٍ ممّا يأتي؛ بالاختيارِ ممّا بينَ القوسيْنِ:

(بُعْدٌ، بُعْدانِ، دائريةٌ منتظمةٌ، دائريةٌ غيرُ منتظمةٍ):

a. الحركةُ الدورانيةُ بمعدلٍ ثابتٍ لعجلةِ السيارةِ حولَ محورِها.

b. حركةُ قطارٍ على سكةِ حديدٍ أفقيةٍ في خطٍّ مستقيمٍ باتجاهٍ واحدٍ (شرقًا).

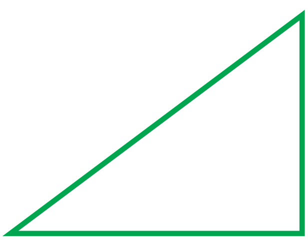
c. حركةُ قطارٍ على سكةِ حديدٍ أفقيةٍ في خطٍّ مستقيمٍ باتجاهيْنِ مختلفيْنِ (شرقًا، وغربًا).

d. حركةُ قطارٍ على سكةِ حديدٍ غيرِ أفقيةٍ (صعودًا، وهبوطًا) باتجاهِ الغربِ.

e. حركةُ طائرةٍ على مَدْرجِ المطارِ.

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

3. جِدْ سرعةَ عدّاءٍ قطعَ مسافةَ (51 km) خلالَ (6 h)، ثمَّ صِفْ نوعَ هذهِ السرعةِ.

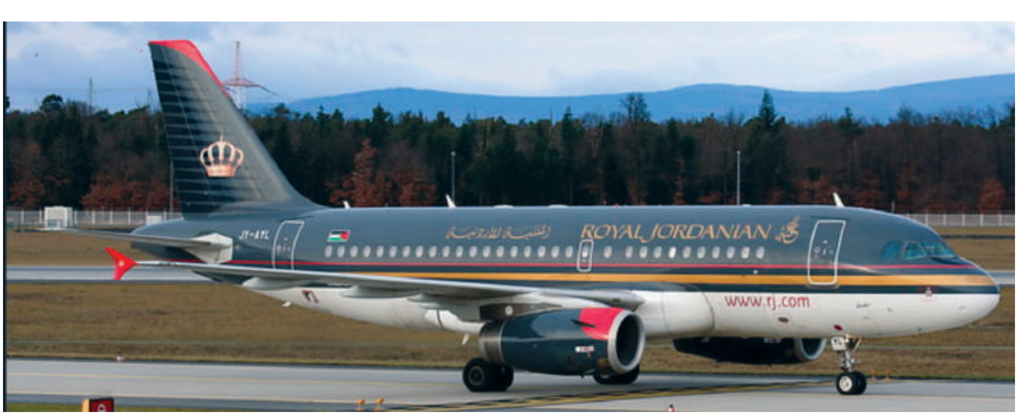


4. تحرَّكَتْ درّاجةٌ هوائيةٌ في خطٍّ مستقيمٍ باتجاهِ الشرقِ، فقطعَتْ مسافةَ (12 km)، ثمَّ تحرَّكَتْ في خطٍّ مستقيمٍ باتجاهِ الشمالِ، فقطعَتْ مسافةَ (9 km) خلالَ (35 min). أَجِدُ:

a. السرعةَ القياسيةَ المتوسطةَ للدرّاجةِ خلالَ حركتِها.

b. السرعةَ المُتَّجِهةَ المتوسطةَ للدرّاجةِ خلالَ حركتِها.

5. صمَّمت مهندسةٌ مَدْرجًا لحركةِ الطائراتِ منْ وضعِ السكونِ حتّى تبلغَ سرعتُها النهائيةُ عندَ الإقلاعِ (61 m/s). إذا كانَ تسارعُ إحدى الطائراتِ ($2.4\ m/s^2$)، فما أقلُّ طولٍ ممكنٍ للمَدْرجِ؟

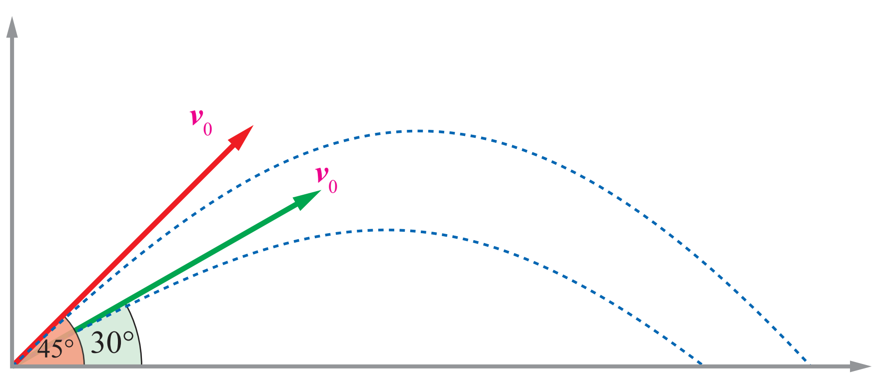


6. رمت ليلى قُبَّعتَهَا إلى الأعلى بسرعةٍ ابتدائيةٍ رأسيةٍ مقدارُها (7 m/s)، بإهمالِ مقاومةِ الهواءِ. ما أقصى ارتفاعٍ تصلُ إليهِ القُبَّعةُ؟

7. أُطلقَتْ 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.

8. قُذِفَتْ كرةٌ أفقيًّا منْ فوقِ بنايةٍ بسرعةٍ ابتدائيةٍ مقدارُها (20 m/s)، فوصلَتِ الأرضَ بعدَ مرورِ (3.0 s) منْ رميِها. إذا قُذِفَتِ الكرةُ أفقيًّا منَ المكانِ نفسِهِ بسرعةٍ مقدارُها (30 m/s)، فمتى تصلُ سطحَ الأرضِ؟

9. أُطلقَتْ قذيفةٌ بسرعةٍ ابتدائيةٍ (v_0)، وبزاويةٍ معَ سطحِ الأرضِ مقدارُها (30°). إذا أصبحَتِ الزاويةُ (45°)، فكيفَ سيتغيَّرُ المدى الأفقيُّ للقذيفةِ؟



الْوَحْدَةُ 3

القوى
Forces

أتأمَّلُ الصورةَ

الفيزياءُ في السياراتِ

عندَ تصنيعِ نوعٍ جديدٍ منَ السياراتِ، فإنَّهُ يخضعُ لاختباراتٍ عِدَّةٍ قبلَ إنتاجِهِ على نحوٍ تجاريٍّ وتسويقِهِ، منْ مثلِ: اختباراتِ مستوى الأمانِ فيهِ؛ وفاعليةِ الوسائدِ الهوائيةِ، وأحزمةِ الأمانِ، وأنظمةِ المكابحِ.

فهلْ لعلمِ الفيزياءِ دورٌ في تطويرِ صناعةِ السياراتِ منْ حيثُ شكلُها ووسائلُ الأمانِ فيها؟ لماذا توضعُ دميةٌ مكانَ السائقِ عندَ اختبارِ السيارةِ بتعريضِها لحادثِ اصطدامٍ بحاجزٍ؟ ما الذي يُختبَرُ في هذا التصادمِ؟

الفكرةُ العامَّةُ:

للقوى تأثيرٌ كبيرٌ في حياتِنا، وجميعِ أنشطتِنا.

الدرس الأول: القانونُ الأولُ في الحركةِ لنيوتن

Newton's First Law of Motion

الفكرةُ الرئيسةُ: تُعَدُّ معرفتُنا بالقانونِ الأولِ لنيوتن (قانونُ القصورِ الذاتيِّ) أساسيةً لفهمِ بعضِ الظواهرِ الحركيةِ.

الدرس الثاني: القانونُ الثاني والقانونُ الثالثُ في الحركةِ لنيوتن

Newton's Second and Third Laws of Motion

الفكرةُ الرئيسةُ: يعتمدُ تسارعُ أيِّ جسمٍ على كتلتِهِ، وعلى القُوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرةِ فيهِ. توجدُ القوى في الطبيعةِ فقطْ بصورةِ أزواجٍ، ولا يمكنُ أنْ توجدَ منفردةً.

تجربةٌ استهلاليّةٌ

القصورُ الذاتيُّ

الموادُّ والأدواتُ: لوحُ تزلُّجٍ أوْ عربةٌ، مكعبٌ خشبيٌّ، حاجزٌ، شريطٌ لاصقٌ.

إرشاداتُ السلامةِ: تنفيذُ التجربةِ في منتصفِ غرفةِ الصفِّ، بعيدًا عنْ أيِّ قطعِ أثاثٍ قابلةٍ للكسرِ.

خطواتُ العملِ:

1. أضعُ لوحَ التزلُّجِ (أوِ العربةَ) في منتصفِ غرفةِ الصفِّ، ثمَّ أضعُ المكعبَ عليْهِ، ثمَّ أضعُ الحاجزَ على بُعْدِ (1-2 m) منَ اللوحِ.
2. **أُلاحِظُ** ما يحدثُ عندَ وضعِ المكعبِ على اللوحِ، ودفعِ اللوحِ باتجاهِ الحاجزِ، مُدَوِّنًا ملاحظاتي.
3. **أُلاحِظُ** ما يحدثُ عندَ تكرارِ الخطوةِ السابقةِ، بعدَ تثبيتِ المكعبِ باللوحِ باستخدامِ الشريطِ اللاصقِ، مُدَوِّنًا ملاحظاتي.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أُقارِنُ** بينَ ملاحظاتي في الخطوتيْنِ: (2)، و (3).
2. ما سببُ اندفاعِ المكعبِ الخشبيِّ في الخطوةِ (2)؟
3. هلْ يتعيَّنُ على سائقي السياراتِ استخدامُ أحزمةِ الأمانِ؟ **أُفسِّرُ** إجابتي.

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

الفكرةُ الرئيسةُ:

تُعَدُّ معرفتُنا بالقانونِ الأولِ لنيوتن (قانونُ القصورِ الذاتيِّ) أساسيةً لفهمِ بعضِ الظواهرِ الحركيةِ.

نتاجات التعلم:

- أُوضِّحُ مفهومَ القُوَّةِ.
- أرسمُ مُخطَّطَ الجسمِ الحرِّ لتحديدِ جميعِ القوى المُؤثِّرةِ في الجسمِ.
- أذكرُ نصَّ القانونِ الأولِ في الحركةِ لنيوتن.
- أُفسِّرُ ظواهرَ طبيعيةً تتعلَّقُ بالقصورِ الذاتيِّ اعتمادًا على القانونِ الأولِ لنيوتن.
- أُطبِّقُ ما تعلَّمْتُهُ بحلِّ مسائلَ على القُوَّةِ المحصلةِ، والقانونِ الأولِ لنيوتن.

المفاهيم والمصطلحات:

القُوَّةُ Force

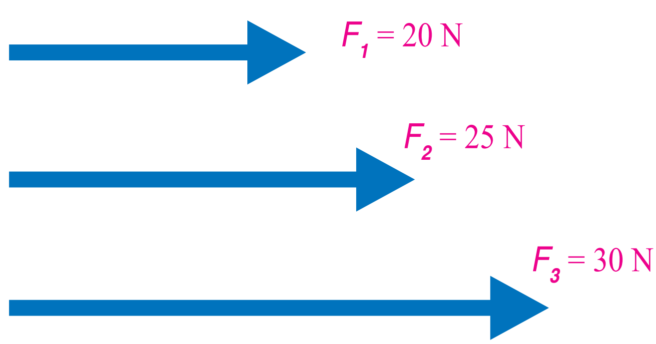
القانونُ الأولُ لنيوتن Newton's first law.

القصورُ الذاتيُّ Inertia.

القُوَّةُ Force

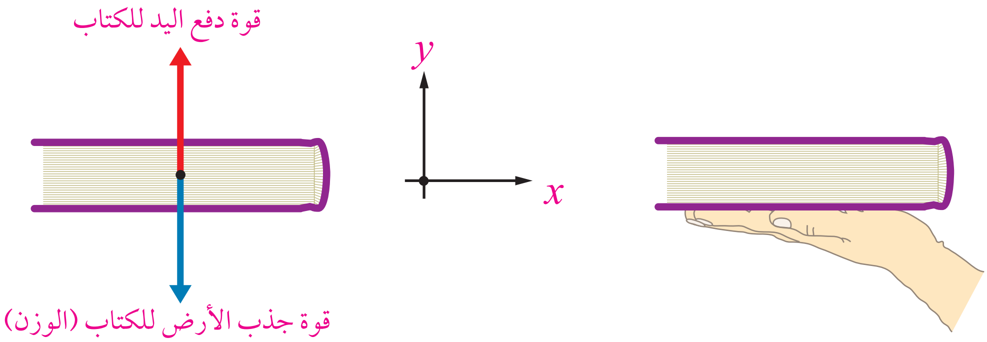
إنَّ كلَّ ما يُؤثِّرُ في الأجسامِ، فيُغيِّرُ منْ أشكالِها أوْ حالاتِها الحركيةِ، يُسمّى **قُوَّةً Force**، يُرمَزُ إليْها بالرمزِ (***F***)، وتقاسُ بوحدةِ newton (N) بحسبِ النظامِ الدوليِّ لوحداتِ القياسِ.

تتغيَّرُ حالةُ الجسمِ الحركيةُ بتغيُّرِ مقدارِ سرعتِهِ، أوِ اتجاهِها، أوْ كليْهما معًا. وقدْ درسْتُ في وحدةِ (المُتَّجِهاتُ) أنَّ القُوَّةَ كميةٌ فيزيائيةٌ مُتَّجِهةٌ، تُحدَّدُ بمقدارٍ واتجاهٍ، حيثُ تُمثَّلُ القُوَّةُ على شكلِ سهمٍ يتناسبُ طولُهُ معَ مقدارِ القُوَّةِ التي يُمثِّلُها وفقَ مقياسِ رسمٍ مناسبٍ، ويدلُّ اتجاهُ السهمِ على اتجاهِ تأثيرِ القُوَّةِ، أوْ خطِّ عملِها، أنظرُ الشكلَ (1).



الشكلُ (1): تمثيلُ القوى بأسهمٍ تتناسبُ أطوالُها معَ مقاديرِ القوى التي تُمثِّلُها.

✓ **أتحقَّقُ:** • ما القُوَّةُ؟
• ما وحدةُ قياسِها؟



الشكلُ (2): a. اتزانُ كتابِ الفيزياءِ على يدِ طالبٍ. b. مُخطَّطُ الجسمِ الحرِّ للكتابِ.

مُخطَّطُ الجسمِ الحرِّ Free-body diagram

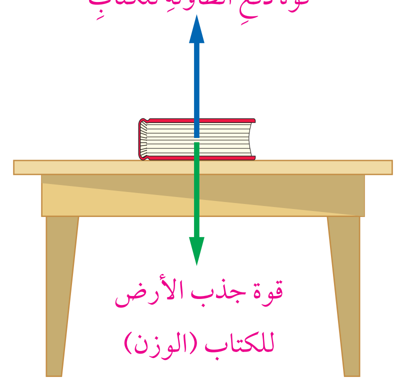
هوَ رسمٌ تخطيطيٌّ يُبيِّنُ جميعَ القوى الخارجيةِ المُؤثِّرةِ في جسمٍ ما؛ إذْ يُستخدَمُ نموذجُ الجسيمِ النقطيِّ في تمثيلِ الجسم بنقطةٍ، ثمَّ تُمثَّلُ كلُّ قُوَّةٍ خارجيةٍ مُؤثِّرةٍ في الجسمِ بسهمٍ يتناسبُ طولُهُ معَ مقدارِ القُوَّةِ، ويشيرُ إلى اتجاهِ تأثيرِها.

يُطلَقُ على الجسمِ الذي ندرسُ تأثيرَ القوى فيهِ اسمُ النظامِ، أنظرُ الشكلَ (2) الذي يُمثِّلُ مُخطَّطَ الجسمِ الحرِّ لكتابٍ (نظامٌ) يتزنُ على يدِ طالبٍ؛ حيثُ يتأثَّرُ الكتابُ بقوتين، هما: قوة دفع اليد للكتاب إلى أعلى، وقوة جذب الأرض للكتاب إلى أسفل.

أتحقَّقُ: ما المقصودُ بمُخطَّطِ الجسمِ الحرِّ؟

القانونُ الأولُ في الحركةِ لنيوتن
Newton’s first law of motion

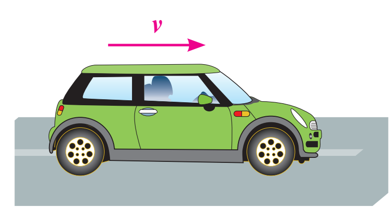
ارتبطَتِ القُوَّةُ بالحركةِ على مَرِّ العصورِ؛ فمنذُ زمنِ أرسطو اعتقدَ العلماءُ أنَّ الحالةَ الطبيعيةَ للأجسامِ هيَ السكونُ، وأنَّ القُوَّةَ ضروريةٌ لتحريكِ جسمٍ ما، وأنَّهُ يجبُ أنْ تُؤثِّرَ قُوَّةٌ في الجسمِ باستمرارٍ لكيْ يظلَّ مُتحرِّكًا، وأنَّ زوالَ تأثيرِ هذهِ القُوَّةِ يوقِفُ الجسمَ عنِ الحركةِ. لقدْ ظلَّ هذا الاعتقادُ سائدًا حتّى بدايةِ القرنِ السابعَ عشرَ للميلادِ؛ إذْ جاءَ العالِمُ غاليليو مُصحِّحًا أفكارَ العلماءِ السابقينَ، واقترحَ أنَّ الحركةَ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ ثابتةٍ هيَ حالةٌ طبيعيةٌ للأجسامِ مثلُ حالةِ السكونِ، وأنَّ كرةً صلبةً ملساء تتحرك بسرعةٍ متجهةٍ ثابتةٍ على مستوًى أفقيٍّ أملسَ سوف تستمرّ بحركتها بسرعةٍ متجهةٍ ثابتةٍ في حال انعدم الاحتكاك ومقاومة الهواء.



الشكل (3): كتابٌ ساكنٌ في حالةِ اتزانٍ على سطحِ طاولةٍ أفقيٍّ.

إذا كانَتِ القُوَّةُ المحصلةُ المُؤثِّرةُ في جسمٍ ما صفرًا، فكيفَ تكونُ حالتُهُ الحركيةُ؟ للإجابةِ عنْ هذا السؤالِ، أنظرُ الشكلَ (3) الذي يُظهِرُ كتابًا ساكنًا على سطحِ طاولةٍ أفقيٍّ، حيثُ يتأثَّرُ الكتابُ بقُوَّتيْنِ متساويتيْنِ مقدارًا، ومتعاكستيْنِ اتجاهًا، هما: وزنُهُ إلى أسفلَ، وقُوَّةُ دفعِ سطحِ الطاولةِ لهُ إلى أعلى، وبذلكَ تكونُ محصلتُهُما صفرًا، ونقولُ أن الكتابَ في حالةِ اتزانٍ سكونيٍّ، ويظلُّ ساكنًا ما لمْ تُؤثِّرْ فيهِ قُوَّةٌ إضافيةٌ تُحرِّكُهُ إلى موقعٍ آخرَ.

وفي المقابلِ، إذا تحرَّكَ جسمٌ ما بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا واتجاهًا، فإنَّ القُوَّةَ المحصلةَ المُؤثِّرةَ فيهِ تساوي صفرًا، ونقولُ أنه في حالةِ اتزانٍ ديناميكيٍّ، ومثالُ ذلك حركة سيارة بسرعةٍ متجهةٍ ثابتةٍ على طريقٍ أفقيٍّ، انظر الشكل (4).



الشكل (4): سيارة تتحرك بسرعةٍ متجهةٍ ثابتةٍ على طريقٍ أفقيٍّ.

وتأسيسًا على ما سبقَ، وبناءً على مشاهداتِنا اليوميةِ، فإنَّهُ يَلزمُ توافُرُ قُوَّةٍ محصلةٍ لتغييرِ مقدارِ سرعةِ الجسمِ، أوِ اتجاهِها، أوْ كليْهما معًا. فمثلًا، إذا أرادَ سائقٌ زيادةَ سرعةِ سيارتِهِ، فإنَّهُ يضغطُ على دوّاسةِ

الوقودِ، وإذا أرادَ أنْ يُبطِئَ سرعتَها، فإنَّهُ يضغطُ على دوّاسةِ المكابحِ، وإذا أرادَ تغييرَ اتجاهِ سرعتِها، فإنَّهُ يُؤثِّرُ بقُوَّةٍ في عجلةِ القيادةِ.

يُمكن تفسير مثلِ هذهِ المشاهدات باستخدام **القانونَ الأولَ لنيوتن Newton's first law**، الذي نصُّهُ: "الجسمُ يظلُّ على حالتِهِ منْ حيث السكونُ أوِ الحركةُ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا واتجاهًا ما لَمْ تُؤثِّرْ فيهِ قُوَّةٌ خارجيةٌ محصلةٌ تُغيِّرُ حالتَهُ الحركيةَ".

إذا أَنْعَمْنا النظرَ في هذا القانونِ، فإنَّهُ يُمكِنُ التوصُّلُ إلى ما يأتي:

a. القُوَّةُ المحصلةُ المُؤثِّرةُ في كلٍّ منَ الجسمِ الساكنِ، والجسمِ المُتحرِّكِ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا واتجاهًا، تساوي صفرًا، لذا يكون الجسم متزنًا:

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

وبذلكَ، فإنَّ:

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

b. الجسمُ عاجزٌ، أوْ قاصرٌ عنْ تغييرِ حالتِهِ الحركيةِ منْ تلقاءِ نفسِهِ، وإنَّ تغييرَ هذهِ الحالةِ يتطلَّبُ تأثيرَ قُوَّةٍ محصلةٍ في الجسمِ؛ لذا يُعرَفُ القانونُ الأولُ لنيوتن باسمِ قانونِ القصورِ الذاتيِّ.

✓ **أتحقَّقُ:** أُعبِّرُ بكلماتي الخاصةِ عنِ القانونِ الأولِ لنيوتن.

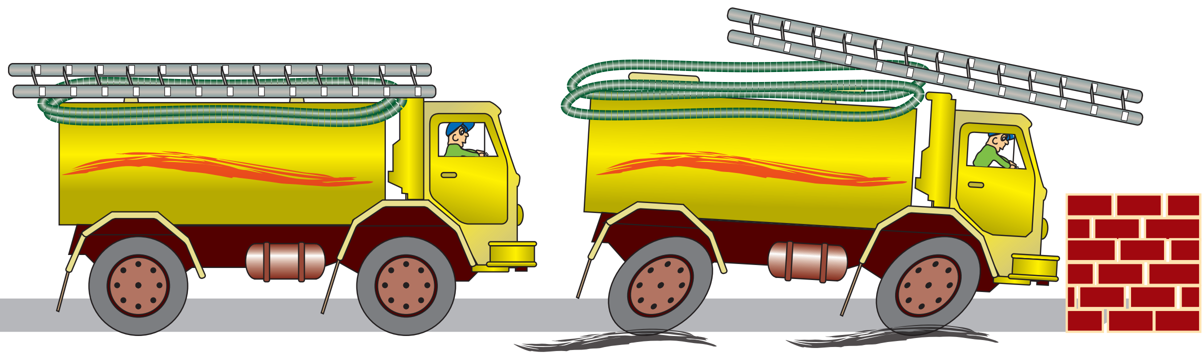
القصورُ الذاتيُّ Inertia

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 لَمْ تُؤثِّرْ فيهِ قُوَّةٌ محصلةٌ.

الفيزياءُ والحياة STEAM

للفيزياءِ دورٌ أساسٌ في تصميمِ السياراتِ من حيثُ أشكالها، ووسائلُ الأمانِ والحمايةِ. وتعكسُ صورةُ بدايةِ الوحدةِ هذا الدورَ لعلمِ الفيزياءِ. فمثلًا، لاختبارِ فاعليةِ أنظمةِ المكابحِ وأحزمةِ الأمانِ والوسائدِ الهوائيةِ في نوعٍ جديدٍ من السياراتِ قبلَ إنتاجِهِ وتسويقِهِ، يتمُّ تعريضُها لحادثِ اصطدامٍ بحاجزٍ. وتُوضعُ دميةٌ مكانَ السائقِ، تكونُ مصنوعةً من موادّ تُحاكي تركيبَ أعضاءِ جسمِ الإنسانِ، ويُوصلُ في الدميةِ أنواعٌ مختلفةٌ مِن المَجسّاتِ في مواقعَ مختلفةٍ من جسمِها، وعلى أعماقٍ مختلفةٍ فيها لقياسِ تسارعِ أجزائِها، والقوى المؤثرةِ فيها عِندَ وقوعِ اصطدامٍ.

ينتجُ عن الاصطدامِ أن تندفعَ الدميةُ بسببِ قصورِها الذاتيّ جهةَ عجلةِ القيادةِ؛ فتصطدمُ بها، وتؤثّرُ العجلةُ في الدميةِ بقوةٍ في اتجاهٍ معاكسٍ لاتجاهِ اندفاعِها. وبعدَ تحليلِ البياناتِ التي يَتِمُّ الحصولُ عليها من هذهِ المَجسّاتِ، يَتِمُّ معرفةُ تسارعِ الدميةِ والقوى المؤثّرَةِ في أجزائِها المختلفةِ. وبناءً على هذهِ النتائجِ يَتِمُّ إدخالُ تعديلاتٍ على تصميمِ السيارةِ ووسائلِ الأمانِ فيها وتطويرُها.



الشكلُ (5): اندفاعُ السُّلَّمِ إلى الأمامِ بسببِ القصورِ الذاتيِّ.

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

يُمكِنُ تفسيرُ كثيرٍ منَ المشاهداتِ اليوميةِ اعتمادًا على القصورِ الذاتيِّ، مثلِ: اندفاعِ السائقِ والطلبةِ إلى الأمامِ عندَ توقُّفِ حافلةِ المدرسةِ فجأةً، وميلانِهِمْ إلى اليمينِ أوِ اليسارِ عندَ تغييرِ اتجاهِ سرعتِها، واندفاعِ الصناديقِ المُحمَّلَةِ على شاحنةٍ إلى الخلفِ (أوْ إلى الأمامِ) عندَ انطلاقِها بتسارعٍ إلى الأمامِ (أوْ توقُّفِها المُفاجِئِ)؛ لذا يُلزِمُ قانونُ السيرِ السائقينَ والركّابَ باستخدامِ أحزمةِ الأمانِ، ويوجِبُ على سائقي الشاحناتِ ربطَ بضائعِ شاحناتِهِمْ؛ حفاظًا على حياة المواطنين؛ لأن المواطن أغلى ما نملك. ويُبيِّنُ الشكلُ (5) ما يحدثُ عندَ اصطدامِ الشاحنةِ بالحاجزِ؛ إذْ إنَّهُ يُؤثِّرُ فيها بقُوَّةٍ، ويُغيِّرُ سرعتَها المُتَّجِهةَ، في حينِ يندفعُ السُّلَّمُ إلى الأمامِ بالسرعةِ نفسِها قبلَ التصادمِ بسببِ القصورِ الذاتيِّ، وعدمِ تثبيتِهِ بالشاحنةِ. وهذا يُوضِّحُ أهميةَ تثبيتِ الحمولةِ جيدًا على المركباتِ.

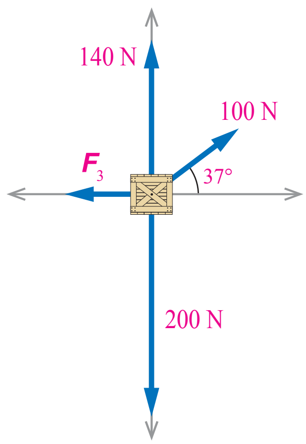
أتحقَّقُ: ما المقصودُ بالقصورِ الذاتيِّ؟

الشكلُ (6): عندَ سحبِ مفرشِ السفرةِ بسرعةٍ كافيةٍ تظلُّ الأطباقُ ثابتةً تقريبًا على سطحِ الطاولةِ. **لسلامتك، ينصحُ بعدمِ تجريبِ ذلكَ.**

أفكر في الشكلِ (6) تظلُّ أطباقُ السفرةِ ثابتةً على سطحِ الطاولةِ عندَ سحبِ المفرشِ منْ أسفلِها بسرعةٍ كبيرةٍ. أُفسِّرُ ذلكَ.

مثال 1

يتزنُ صندوقٌ كتلتُهُ (20 kg) على سطحٍ أفقيٍّ، تحتَ تأثيرِ أربعِ قوًى مستويةٍ متلاقيةٍ، كما في الشكلِ (7) الذي يُبيِّنُ مُخطَّطَ الجسمِ الحرِّ للصندوقِ. أَجِدُ:



الشكلُ (7): مُخطَّطُ الجسمِ الحرِّ لصندوقٍ.

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

b. مقدارَ القُوَّةِ (F_3).

المعطياتُ: (F_1 = 100 N, 37°) , (F_2 = 140 N, 90°) , (F_4 = 200 N, 270°).

المطلوبُ: $\sum F$ = ? ، F_3 = ?.

الحلُّ:

a. الصندوقُ متزنٌ؛ لذا، فإنَّ القُوَّةَ المحصلةَ المُؤثِّرةَ فيهِ تساوي صفرًا:

$\sum F = 0$.

b. القُوَّةُ (F_3)، هيَ في اتجاهِ محورِ (-x)، لذا، فإنَّه لإيجادِ مقدارِها، نجدُ مجموع مركّبات القوى في اتجاهِ المحورِ (x)، والتي نساويها بالصفرِ لأنَّ الصندوقَ متزنٌ:

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

$$F_1 \cos \theta_1 + F_2 \cos \theta_2 + F_3 \cos \theta_3 + F_4 \cos \theta_4 = 0$$

$$100\ \text{N} \times \cos 37° + 140\ \text{N} \times \cos 90° + F_3 \times \cos 180° + 200\ \text{N} \times \cos 270° = 0$$

$$100 \times 0.8 + 140\ \text{N} \times 0 + F_3 \times -1 + 200\ \text{N} \times 0 = 0$$

$$80\ \text{N} + 0 - F_3 + 0 = 0$$

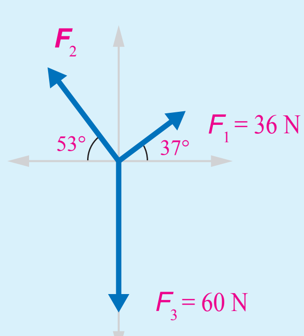
$$F_3 = 80\ \text{N}$$

لذا، فإنَّ :

$$F_3 = 80\ \text{N}, 180°$$

تمرينٌ

1. يُمثِّلُ الشكلُ (8) مُخطَّطَ الجسمِ الحرِّ لدميةٍ متزنةٍ، يُؤثِّرُ فيها ثلاثُ قوًى في الاتجاهاتِ المُبيَّنةِ في الشكلِ. أَجِدُ مقدارَ القُوَّةِ (F_2).



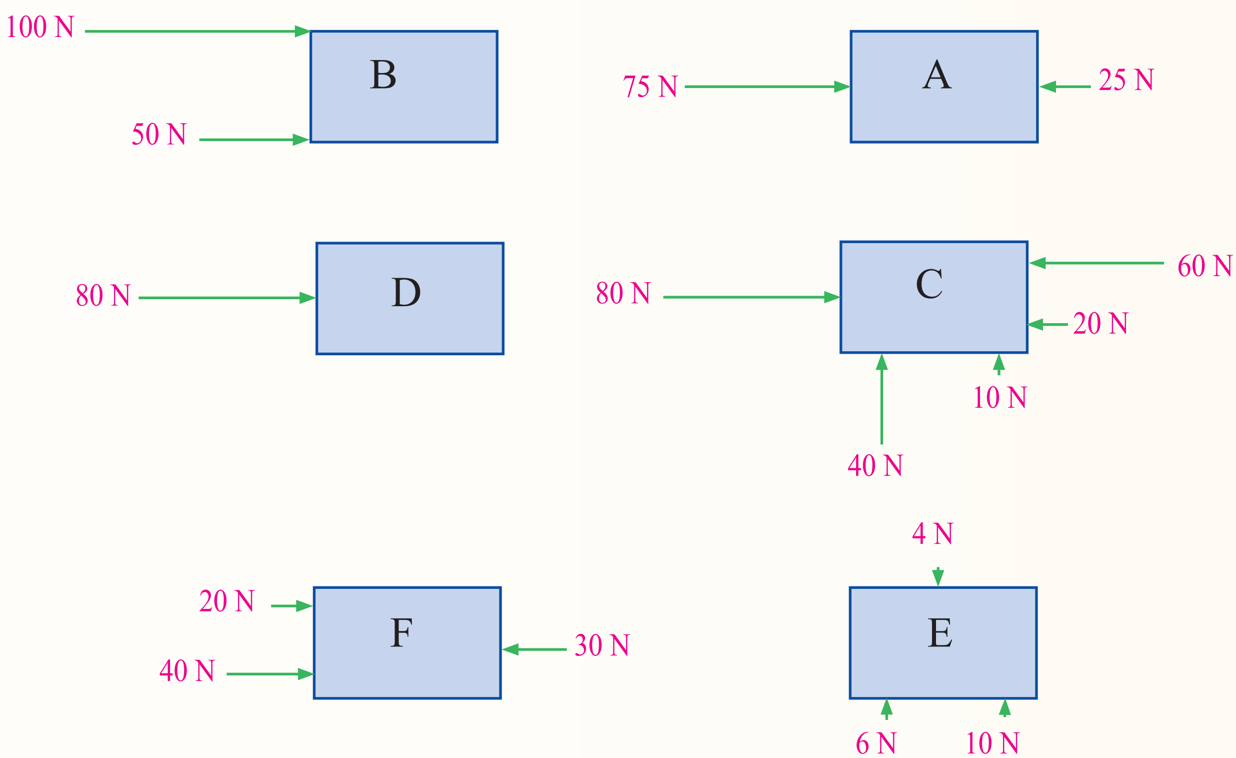
الشكلُ (8) .

مراجعةُ الدّرسِ

1. **الفكرةُ الرئيسةُ**: لماذا يشترطُ قانونُ السيرِ ربطَ حزامِ الأمانِ عندَ ركوبِ السيارةِ؟

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

3. **أُطبِّقُ**: الأجسامُ المُبيَّنةُ في الشكلِ جميعُها ساكنةٌ، وهيَ في حالةِ اتزانٍ. أَجِدُ مقدارَ القُوَّةِ الإضافيةِ واتجاهَها اللازمِ التأثيرُ بها في كلِّ جسمٍ حتّى يتحقَّقَ شرطُ الاتزانِ.



4. **التفكيرُ الناقدُ**: في أثناءِ دراستي أنا وزميلي يوسفَ لهذا الدرسِ، قالَ: "يجبُ أنْ تُؤثِّرَ قُوَّةٌ محصلةٌ في الجسمِ بصورةٍ دائمةٍ لكيْ يتحرَّكَ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ ثابتةٍ". أُناقِشُ صحَّةَ قولِ يوسفَ.

القانونُ الثاني والقانونُ الثالثُ في الحركة لنيوتن

Newton's Second and Third Laws of Motion

◄ **الفكرةُ الرئيسةُ:**

يعتمدُ تسارعُ أيِّ جسمٍ على كتلتِهِ، وعلى القُوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرةِ فيه. توجدُ القوى في الطبيعةِ فقطْ بصورةِ أزواجٍ، ولا يُمكِنُ أنْ توجدَ منفردةً.

◄ **نتاجات التعلم:**

- أستقصي القانونَ الثانيَ لنيوتن.
- أذكرُ نَصَّ كلٍّ منَ القانونِ الثاني والقانونِ الثالثِ لنيوتن.
- أُحدِّدُ قُوَّتَي الفعلِ وردِّ الفعلِ في مجموعةٍ منَ الأنظمةِ.
- أُطبِّقُ ما تعلَّمْتُهُ بحلِّ مسائلَ على قوانينِ نيوتن في الحركةِ.

◄ **المفاهيم والمصطلحات:**

القانونُ الثاني لنيوتن
.Newton's second law

القانونُ الثالثُ لنيوتن
.Newton's third law

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، منْ دونِ أنْ يُوضِّحَ كيفيةَ تغيُّرِ حالةِ الجسمِ الحركيةِ عندما تُؤثِّرُ فيهِ قُوَّةٌ محصلةٌ لا تساوي صفرًا. أمّا قانونُهُ الثاني فقدِ استكملَ العلاقةَ بينَ القُوَّةِ والحركةِ، وذلكَ بوصفِ حركةِ جسمٍ تُؤثِّرُ فيهِ قُوَّةٌ محصلةٌ.

يُبيِّنُ الشكلُ (9/a) سيارةً يدفعُها شخصٌ واحدٌ، في حينِ يُبيِّنُ الشكلُ (9/b) سيارةً يدفعُها أكثرُ منْ شخصٍ. في أيِّ الحالتيْنِ تكونُ القُوَّةُ المحصلةُ المُؤثِّرةُ في السيارةِ أكبرَ؟ في التجربةِ التاليةِ سنستقصي عمليًّا تأثيرَ كلٍّ منَ القُوَّةِ المحصلةِ المؤثرة في جسمٍ، وكتلةِ الجسمِ في تسارعِهِ.

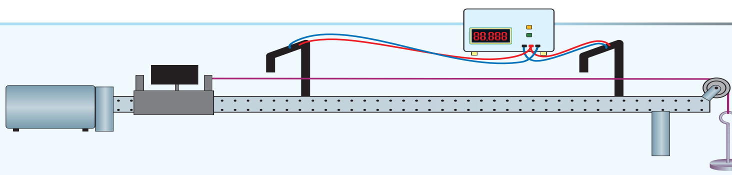
(a)

(b)

الشكلُ (9): القُوَّةُ المحصلةُ المُؤثِّرةُ في السيارةِ الظاهرةِ في الصورةِ (b) أكبرُ منْ تلكَ المُؤثِّرةِ في السيارةِ الظاهرةِ في الصورةِ (a)؛ لذا، فإنَّ تسارعَها أكبرُ.

التجربة

القوّةُ والكتلةُ والتسارعُ



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

إرشاداتُ السلامةِ: الحذرُ منْ سقوطِ الأثقالِ على القدميْنِ.

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 طرفَي الخيطِ بمُقدِّمةِ العربةِ، ثمَّ أربطُ طرفَهُ الآخرَ بحاملِ الأثقالِ، مرورًا بالبكرةِ.
4. أُثبِّتُ إحدى البوّابتيْنِ الضوئيتيْنِ عندَ مُقدِّمةِ العربةِ، ثمَّ أُثبِّتُ البوّابةَ الأُخرى على بُعْدِ (1 m) منْها، ثمَّ **أُدوِّنُ** مقدارَ هذهِ الإزاحةِ (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 m) خلالَ زمنٍ مناسبٍ، ثمَّ **أَجِدُ** كتلَ الحاملِ وأثقالَهُ، والتي تُسمّى كتلة ثقل التعليق (m_{hang})، ثمَّ **أُدوِّنُ** القراءاتِ في الجدولِ. بعدَ ذلكَ أُضيفُ كتلَ الأثقالِ التي فوقَ العربةِ إلى كتلةِ العربةِ، ثمَّ **أُدوِّنُها** في الجدولِ تحتَ عمودِ كتلةِ العربةِ (m_{cart}).
7. أُشغِّلُ مضخةَ الهواءِ، ثمَّ أُفلِتُ العربةَ، ثمَّ **أُدوِّنُ** في الجدولِ تحتَ عمودِ (الزمنُ) قراءةَ العدادِ الزمنيِّ الرقميِّ، والّذي 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})، و (m_{cart})، والزمنِ.
9. أُكرِّرُ الخطوةَ السابقةَ مرّتَين لأثقالٍ إضافيةٍ أُخرى.
10. **أحسُبُ** تسارعَ العربةِ لكلِّ (m_{hang}) باستخدامِ العلاقةِ: $a = 2d/t^2$، ثمَّ **أَجِدُ** ناتجَ ضربِ $(m_{hang} + m_{cart})a$ لكلِّ حالةٍ.
11. أُكرِّرُ التجربةَ بتثبيتِ كتلةِ ثِقلِ التعليقِ (m_{hang})، وتغييرِ كتلةِ العربةِ (m_{cart})؛ لدراسةِ العلاقةِ بينَ الكتلةِ والتسارعِ، **وأُدوِّنُ** القراءاتِ في الجدولِ (2).

التحليلُ والاستنتاجُ:

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

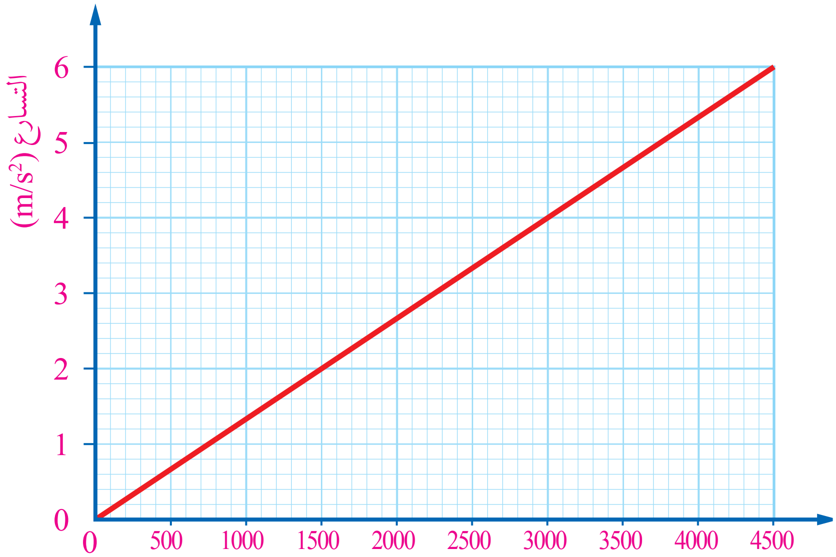
2- **أُمثِّلُ بيانيًّا** العلاقةَ بينَ مقدارِ القوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرةِ في العربةِ (m_{hang} g) على المحورِ ($+y$) ومقدارِ التسارعِ (a) على المحورِ ($+x$). ما شكلُ العلاقةِ؟ ماذا أستنتجُ؟

3- ما الذي يُمثِّلُهُ ميلُ المنحنى البيانيِّ في السؤالِ السابقِ؟

4- ماذا حدثَ لمقدارِ تسارعِ العربةِ عندَ تثبيتِ كتلةِ ثِقلِ التعليقِ (m_{hang}) وتغييرِ كتلةِ العربةِ (m_{cart}) ؟

كتلةُ العربةِ= ....   البُعدُ بينَ البوّابتيْنِ (d) = ...

رقمُ المحاولةِ	m_{hang} (kg)	m_{cart} (kg)	t (s)	a (m /s^2)	$(m_{hang}+m_{cart})a$ (N)	$m_{hang}\, g$ (N)
1						
2						



الشكلُ (10):العلاقةُ بينَ التسارعِ والقُوَّةِ المحصلةِ لكتلةٍ ثابتةٍ.

القُوَّةُ والتسارعُ Force and acceleration

تَبيَّنَ لنا بعدَ تنفيذِ التجربةِ السابقةِ أَنَّهُ كلَّما زادَتِ القُوَّةُ المحصلةُ المُؤَثِّرةُ في جسمٍ زادَ تسارعُهُ عندَ ثباتِ كتلتِهِ؛ أيْ إنَّ العلاقةَ بينَ القُوَّةِ والتسارعِ هيَ علاقةٌ طرديةٌ، يُعبَّرُ عنها رياضيًّا على النحوِ الآتي:

$$a \propto \sum F$$

يُبيِّنُ الشكلُ (10) العلاقةَ بينَ مقدارِ القُوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرةِ في جسمٍ ومقدارِ تسارعِهِ عندَ ثباتِ كتلتِهِ. وبالعودةِ إلى الشكلِ (9)، يُلاحَظُ أنَّ القُوَّةَ المحصلةَ المُؤثِّرةَ في السيارةِ الظاهرةِ في الصورةِ (b) أكبرُ منْ تلكَ المُؤثِّرةِ في السيارةِ الظاهرةِ في الصورةِ (a)؛ لذا، فإنَّ تسارعَها أكبرُ.

✓ **أتحقَّقُ:** ما العلاقةُ بينَ تسارعِ جسمٍ والقُوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرةِ فيهِ عندَ ثباتِ كتلتِهِ؟

الكتلةُ والتسارعُ Mass and acceleration

يَتبيَّنُ منَ التجربةِ السابقةِ أنَّ زيادة كتلة الجسم المتحرك يُقلِّل من تسارعه عند ثبات القُوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرةِ فيهِ؛ أيْ إنَّ تسارعَ الجسمِ

يتناسبُ عكسيًّا معَ كتلتِهِ عندَ ثباتِ القُوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرة فيه، ويُعبَّرُ عنْ ذلكَ رياضيًّا بالعلاقةِ الآتيةِ:

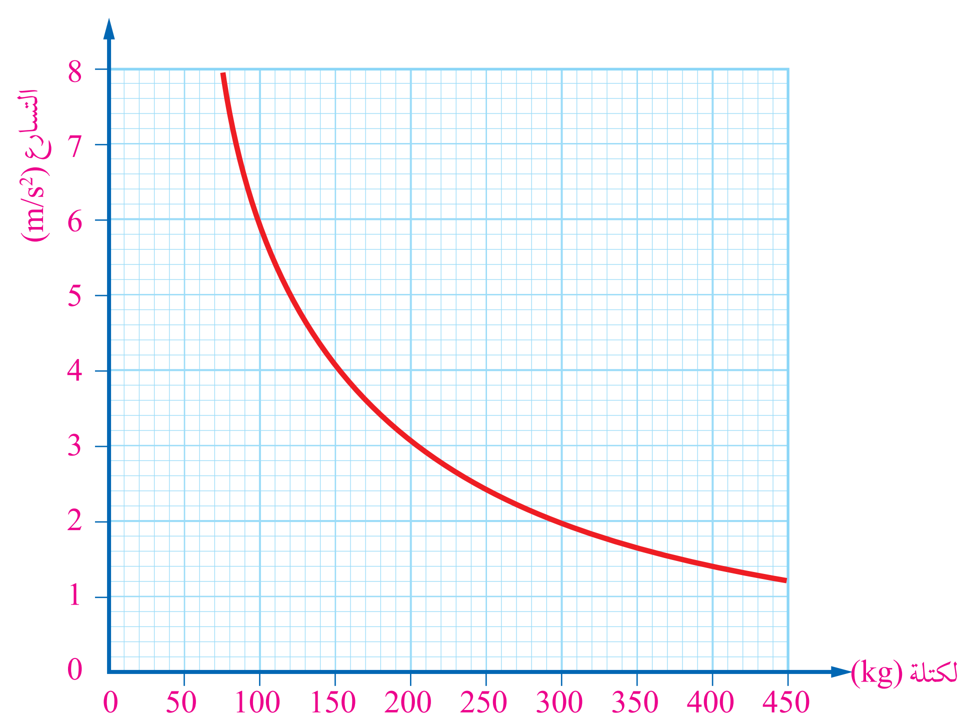
$$a \propto \frac{1}{m}$$

أنظرُ الشكلَ (11) الذي يُوضِّحُ هذهِ العلاقةَ. وللوصولِ إلى التسارعِ نفسِهِ عندَ زيادةِ الكتلةِ، فإنَّهُ يَلزمُ زيادةُ القُوَّةِ المحصلةِ.

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

وفي حالِ بقاءِ كتلةِ الجسمِ ثابتةً خلالَ زمنِ تأثيرِ القُوَّةِ فيهِ، فإنّه يُمكنُ كتابة القانون الثاني لنيوتن في الصورة الآتية:

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



الشكلُ (11): العلاقةُ بينَ التسارعِ والكتلةِ عندَ ثباتِ القُوَّةِ المحصلةِ.

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

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

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

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

علمًا بأنَّهُ لا بُدَّ منْ رسمِ مُخطَّطِ الجسمِ الحرِّ لتحديدِ جميعِ القوى المُؤثِّرةِ في الجسمِ.

منَ المُلاحَظِ أنَّ القانونَ الأولَ لنيوتن يُعَدُّ حالةً خاصةً منْ قانونِهِ الثاني؛ فإذا كانَتِ القُوَّةُ المحصلةُ المُؤثِّرةُ في جسمٍ صفرًا، فإنَّ تسارعَهُ أيضًا يكونُ صفرًا، وعندئذٍ يكونُ الجسمُ ساكنًا أوْ مُتحرِّكًا بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا واتجاهًا؛ أي يكونُ متزنًا:

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

✓ **أتحقَّقُ:** ما العلاقةُ بينَ تسارعِ جسمٍ وكتلتِهِ عندَ ثباتِ القُوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرةِ فيهِ؟

الفيزياءُ والفَلَكُ

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

مثال 2

أَجِدُ القُوَّةَ المحصلةَ التي يَلزمُ التأثيرُ بها في صندوقٍ كتلتُهُ (20 kg) لإكسابِهِ تسارعًا أفقيًّا مقدارُهُ (2 m /s²) جهةَ اليمينِ.

المعطياتُ:

$m = 20$ kg, $\boldsymbol{a} = 2$ m /s², $+x$.

المطلوبُ:

$\sum F_x = ?$.

الحلُّ:

لإيجادِ القُوَّةِ المحصلةِ التي يَلزمُ التأثيرُ بها في الصندوقِ لكيْ يتحرَّكَ وفقَ التسارعِ المطلوبِ، يُستخدَمُ القانونُ الثاني لنيوتن في اتجاهِ المحورِ (x):

$$\sum F_x = ma_x$$

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

$$\sum \boldsymbol{F}_x = 40 \text{ N}, +x$$

مثال 3

تعطَّلَتْ سيارةٌ كتلتُها (800 kg)، فسحبَتْها شاحنةُ قَطْرٍ على طريقٍ أفقيٍّ مستقيمٍ، بقوَّةٍ أفقيَّةٍ مقدارها 1000 N نحو اليمين. فإذا كانَت قوّة الاحتكاك المؤثرة في السيارة تساوي 400 N نحو اليسار، فأجِدُ:

a. القُوَّةَ المحصلةَ المُؤثِّرةَ في السيارةِ في الاتجاهِ الأفقيّ.

b. تسارعَ السيارةِ الأفقيّ.

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

المعطياتُ: بالرمز لقوة السحب بالرمز $\boldsymbol{F}_1$، ولقوة الاحتكاك بالرمز $\boldsymbol{f}$

$m = 800$ kg, $\boldsymbol{F}_1 = 1000$ N, 0° , $\boldsymbol{f} = 400$ N, 180° , $t = 10$ s, $v_1 = 0$ m/s

المطلوبُ:

$\sum \boldsymbol{F} = ?,\quad \boldsymbol{a}_x = ?, \boldsymbol{v}_2 = ?$.

الحلُّ:

a. أجِدُ القُوَّةَ المحصلة المؤثِّرة في السيارةِ في اتجاهِ المحورِ (x):

$$\sum F_x = F_1 - f$$

$$= 1000 - 400$$

$$= 600 \text{ N}$$

$$\sum \boldsymbol{F}_x = 600 \text{ N}, +x$$

b. نحسبُ تسارعَ السيارةِ الأفقيّ:

$$a_x = \frac{\sum F_x}{m}$$

$$= \frac{600}{800}$$

$$= 0.75 \text{ m/s}^2$$

$$\boldsymbol{a}_x = 0.75 \text{ m/s}^2, +x$$

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

$$v_2 = v_1 + a_x t$$

$$= 0 + 0.75 \times 10$$

$$= 7.5 \text{ m/s}$$

$$\boldsymbol{v}_2 = 7.5 \text{ m/s}, +x$$

تمرينٌ

أثَّرَتْ قُوَّةٌ محصلةٌ أفقيةٌ مقدارُها (100 N) باتجاهِ اليمينِ في صندوقٍ كتلتُهُ (20 kg)، وهوَ مُستقِرٌّ على سطحٍ أفقيٍّ أملسَ. أَجِدُ:

a. تسارعَ الصندوقِ.

b. السرعةَ المُتَّجِهةَ للصندوقِ بعدَ مرورِ (5 s) منْ بدءِ حركتِهِ.

c. الإزاحةَ التي يقطعُها الصندوقُ بعدَ مرورِ (5 s) منْ بدءِ حركتِهِ.

القانونُ الثالثُ في الحركةِ لنيوتن Newton’s third law of motion

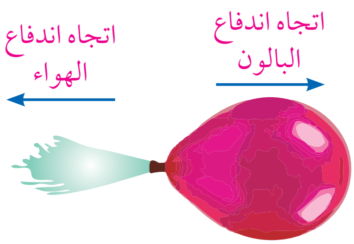
وصفَ لنا القانونُ الأولُ لنيوتن الحالةَ الحركيةَ لجسمٍ ما عندما تكونُ القُوَّةُ المحصلةُ المُؤثِّرةُ فيهِ صفرًا، في حينِ قدَّمَ لنا قانونُهُ الثاني تفسيرًا لكيفيةِ تغيُّرِ تسارعِ جسمٍ عندما تُؤثِّرُ فيهِ قُوَّةٌ محصلةٌ. أمّا قانونُهُ الثالثُ فيدرسُ طبيعةَ القوى المتبادلةِ بينَ الأجسامِ.

عندَ إفلاتِ بالونٍ منفوخٍ كما في الشكل (12)، يندفعُ الهواءُ منْ فُوَّهتِهِ إلى اليسارِ، بينما يندفعُ البالون في الاتجاه المعاكس (إلى اليمين). وعندَ تقريبِ مغناطيسيْنِ، فإنَّ كلًّا منْهُما يسحبُ الآخرَ، أوْ يدفعُهُ بقُوَّةِ مجالٍ. وعندما أستندُ إلى أحدِ الجدرانِ، فإنَّ جسمي يُؤثِّرُ بقُوَّةِ تلامُسٍ في الجدارِ، ويُؤثِّرُ الجدارُ بقُوَّةِ تلامُسٍ في جسمي.

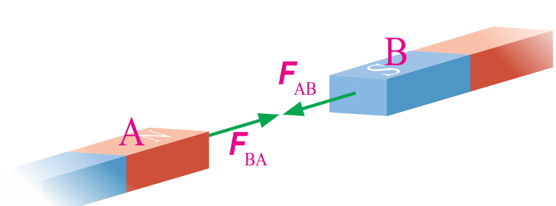
لتفسيرِ هذهِ المشاهداتِ، يجبُ دراسةُ **القانونِ الثالثِ لنيوتن Newton’s third law**، الذي نصُّهُ:

"إذا تفاعلَ جسمان A و 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".

لتعرُّفِ ما يحدثُ عندَ تقريبِ القطبِ الشماليِّ لمغناطيسٍ إلى القطبِ الجنوبيِّ لمغناطيسٍ آخرَ استنادًا إلى القانونِ الثالثِ لنيوتن، أنظرُ الشكلَ (13)؛ إذْ يُلاحَظُ منْ هذا الشكلِ أنَّ القطبَ الشماليَّ للمغناطيسِ (A) يُؤثِّرُ بقُوَّةِ تجاذُبٍ (F_{AB}) في القطبِ الجنوبيِّ للمغناطيسِ (B)، وأنَّ القطبَ الجنوبيَّ للمغناطيسِ (B) يُؤثِّرُ – في اللحظةِ نفسِها– بقُوَّةِ تجاذُبٍ (F_{BA}) في القطبِ الشماليِّ للمغناطيسِ (A)، وأنَّ هاتيْنِ القُوَّتيْنِ تتساويانِ في المقدارِ، وتتعاكسانِ في الاتجاهِ،



الشكل (12): يندفعُ الهواءُ من فوهةِ البالون جهة اليسار، بينما يندفعُ البالونَ جهة اليمين.



الشكلُ (13): قُوّتا الفعلِ وردِّ الفعلِ (أوْ زوجا التأثيرِ المُتبادَلِ) متساويتانِ في المقدارِ، ومتعاكستانِ في الاتجاهِ.

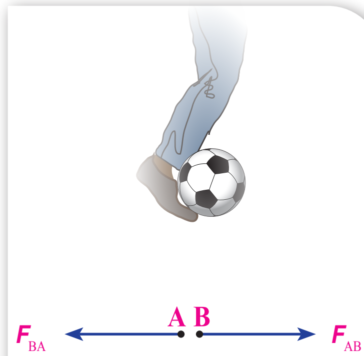
ويُطلَقُ على إحداهِما اسمُ الفعلِ (Action)، ويُطلَقُ على الأُخرى اسمُ ردِّ الفعلِ (Reaction)؛ لذا يُعرَفُ هذا القانونُ غالبًا باسمِ قانونِ الفعلِ وردِّ الفعلِ.

بناءً على ما سبقَ، يُمكِنُ إعادةُ صياغةِ هذا القانونِ على النحوِ الآتي:
"لكلِّ فعلٍ ردُّ فعلٍ، مساوٍ لهُ في المقدارِ، ومعاكسٌ لهُ في الاتجاهِ".

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

القوى في الطبيعةِ توجدُ في صورةِ أزواجٍ
Forces always occur in pairs

يُلاحَظُ منَ القانونِ الثالثِ لنيوتن أنَّ القوى دائمًا توجدُ في صورةِ أزواجٍ (أيْ فعلٍ، وردِّ فعلٍ)، وأنَّها لا توجدُ منفردةً. لتوضيحِ ذلكَ، أنظرُ الشكلَ (14) الذي يُبيِّنُ قوتي الفعل وردّ الفعل لحظة تلامس قَدمِ اللاعبِ (A)، وكرةِ القدمِ (B).



الشكلُ (14): قوتا الفعل وردّ الفعل لحظة تلامس قدم لاعب وكرة قدم.

عندَ ملامسةِ قَدمِ اللاعبِ للكرةِ، فإنَّهُ يُؤثِّرُ فيها بقُوَّةٍ (F_{AB}) في الاتجاهِ المُوضَّحِ في الشكلِ. وفي اللحظةِ نفسِها، تُؤثِّرُ الكرةُ في قَدمِ اللاعبِ بقُوَّةٍ (F_{BA}) تكونُ مساويةً في المقدارِ للقوّةِ (F_{AB}) لكنَّها معاكسةٌ لها في الاتجاهِ. تُعرَفُ هاتانِ القُوَّتانِ أيضًا باسمِ زوجَيِ التأثيرِ المُتبادَلِ، حيثُ:

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

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

الفعلُ وردُّ الفعلِ مُتزامِنان

Action and reaction forces act at the same instant

عندَ استخدامِ مصطلحِ (الفعلُ)، ومصطلحِ (ردُّ الفعلِ)، قدْ يتبادرُ إلى الذهنِ - خطأً - أنَّ الفعلَ يسبقُ ردَّ الفعلِ؛ فقُوَّةُ الفعلِ وقُوَّةُ ردِّ الفعلِ مُتزامِنتانِ؛ إذْ تنشأانِ معًا، وتختفيانِ معًا، خلافًا للمعنى الشائعِ لهُما في حياتِنا اليوميةِ؛ فنحنُ نستخدمُ مصطلحَ (ردُّ الفعلِ) للدلالةِ على وقوعِ حدثٍ بعدَ وقوعِ حدثٍ آخرَ؛ استجابةً لهُ. ولأنَّ هاتيْنِ القُوَّتيْنِ مُتزامِنتانِ؛ فإنَّ كلًّا منْهُما تُسمّى فعلًا، أوْ ردَّ فعلٍ.

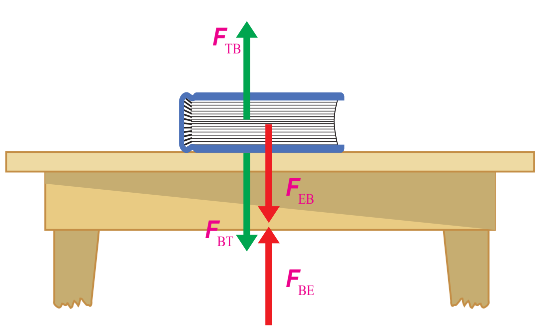
أتحقَّقُ ماذا نعني بقولِنا: "إنَّ قُوَّتَي الفعلِ وردِّ الفعلِ مُتزامِنتانِ"؟

الفعلُ وردُّ الفعلِ يُؤثِّرانِ في جسميْنِ مختلفيْنِ

Action and reaction forces act on different objects

يَتبيَّنُ منَ القانونِ الثالثِ لنيوتن أنَّ قُوَّةَ الفعلِ وقُوَّةَ ردِّ الفعلِ تُؤثِّرانِ في جسميْنِ مختلفيْنِ، وأنَّهُما لا تُؤثِّرانِ في الجسمِ نفسِهِ، ومنْ ثَمَّ، فلا تُحسَبُ محصلتُهُما؛ لأنَّ القُوَّةَ المحصلةَ تُحسَبُ للقوى عندما تُؤثِّرُ في الجسمِ نفسِهِ.

يُمثِّلُ الشكلُ (15): كتابًا يتزنُ على سطحِ طاولةٍ أفقيٍّ. وفيهِ يُؤثِّرُ وزنُ الكتابِ بقُوَّةٍ في سطحِ الطاولةِ إلى أسفلَ (F_{BT})، ويُؤثِّرُ سطحُ الطاولةِ بقُوَّةٍ في الكتابِ إلى أعلى (F_{TB}).



الشكلُ (15): أزواجُ التأثيرِ المُتبادَلِ في حالةِ كتابٍ يستقرُّ على سطحِ طاولةٍ موضوعةٍ على الأرضِ.

تُمثِّلُ هاتانِ القُوَّتانِ زوجَيِ التأثيرِ المُتبادَلِ (الفعلُ، وردُّ الفعلِ)؛ إذْ تُؤثِّرانِ في جسميْنِ مختلفيْنِ، 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 زوجَيِ التأثيرِ المُتبادَلِ.

وفي المقابلِ، لا تُمثِّلُ القُوَّةُ (F_{TB}) والقُوَّةُ (F_{EB}) زوجَيْ تأثيرٍ مُتبادَلٍ، بالرغمِ منْ أنَّهُما – في هذا المثالِ– متساويتانِ في المقدارِ، ومتعاكستانِ في الاتجاهِ؛ لأنَّهُما تُؤثِّرانِ في الجسمِ نفسِهِ. وكذلكَ في حالِ افتراضِ عدمِ وجودِ الطاولةِ، فإنَّ القُوَّةَ (F_{TB}) فقطْ تختفي، وتظلُّ القُوَّةُ (F_{EB}) موجودةً؛ فلوْ كانتا فعلًا وردَّ فعلٍ لوجبَ أنْ تختفيا معًا. وتجدرُ الإشارةِ إلى أنّه إذا أثرت قوةٌ خارجيةٌ في الكتابِ رأسيًّا إلى أسفلِ مثلًا، فإنَّ القوةَ (F_{TB}) تكونُ أكبرَ من القوة (F_{EB}).

أتحقَّقُ هلْ يُمكِنُ إيجادُ محصلةِ قُوَّةِ الفعلِ وقُوَّةِ ردِّ الفعلِ؟ أُفسِّرُ إجابتي.

الفعلُ وردُّ الفعلِ مُتجانِسانِ
Action and reaction forces are of the same type

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. كذلك، إذا كان الفعل قوة تلامس (أو قوة مجال) كان ردّ الفعل أيضًا قوة تلامس (أو قوة مجال).

أتحقَّقُ: ماذا نعني بقولِنا: إنَّ قُوَّتَي الفعلِ وردِّ الفعلِ مُتجانِستانِ ؟

مراجعةُ الدّرسِ

1. الفكرةُ الرئيسةُ: علامَ يعتمدُ تسارعُ أيِّ جسمٍ؟ هلْ يُمكِنُ أنْ توجدَ قُوَّةٌ منفردةٌ في الطبيعةِ؟

2. أُصنِّفُ: لكلِّ زوجٍ ممّا يأتي، أُحدِّدُ أيُّهما قصورُهُ الذاتيُّ أكبرُ:

   a. سيارةٌ صغيرةٌ، وشاحنةٌ.

   b. كرةُ قدمٍ، وكرةُ تنسِ طاولةٍ.

   c. كرةُ تنسٍ، وحجرٌ لهُما الكتلةُ نفسُها.

3. أستخدمُ المُتغيِّراتِ: دفعَ زيدٌ عربةَ تسوُّقٍ كتلتُها (40 kg)، فتسارعَتْ بمقدارِ ($2\ m/s^2$) جهةَ اليمينِ على أرضٍ أفقيةٍ ملساءَ:

   a. أحسِبُ مقدارَ القُوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرةِ في العربةِ، ثمَّ أُحدِّدُ اتجاهَها.

   b. أَجِدُ تسارعَ عربةٍ ثانيةٍ كتلتُها (60 kg)، وقدْ أثَّرَتْ فيها القُوَّةُ المحصلةُ السابقةُ نفسُها.

   c. أَجِدُ مقدارَ القُوَّةِ المحصلةِ التي يَلزمُ تأثيرُها في العربةِ الثانيةِ لإكسابِها نفسَ تسارعِ العربةِ الأولى.

   d. أُقارِنُ بينَ مقدارَيِ القُوَّةِ المحصلةِ في الفرعِ (a)، والفرعِ (c). ماذا أستنتجُ؟

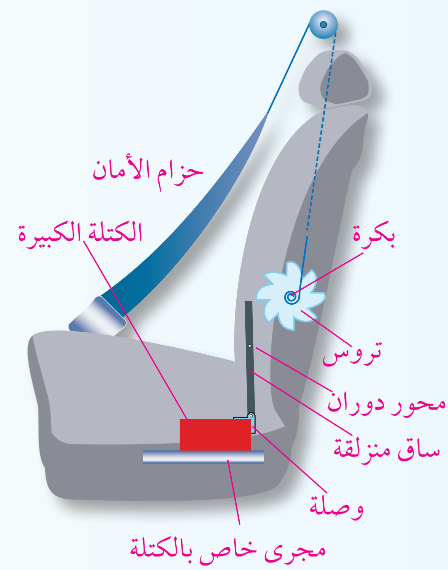
4. التفكيرُ الابتكاريُّ: أُفكِّرُ في تجربةٍ أُثْبِتُ فيها أنَّ قُوَّةَ الفعلِ وقُوَّةَ ردِّ الفعلِ متساويتانِ في المقدارِ، ومتعاكستانِ في الاتجاهِ.

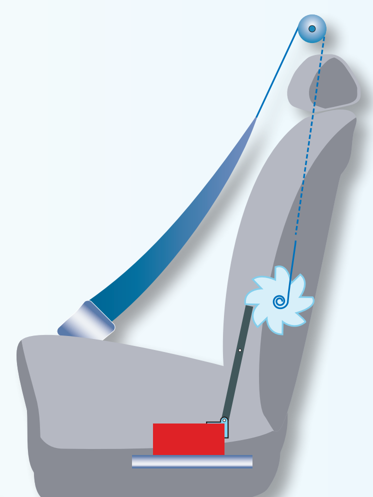
الإثراء والتّوسُّع

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.





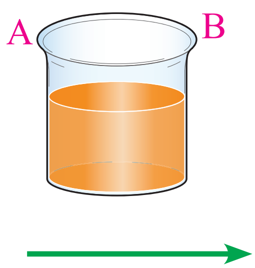
أبحث مستعينًا بمصادرِ المعرفةِ المناسبةِ، أبحثُ عنْ مزايا استخدامِ حزامِ الأمانِ، ومخاطرِ عدمِ الالتزامِ بهِ في أثناءِ سيرِ المركبةِ، ثمَّ أكتبُ تقريرًا عنْ ذلكَ، ثمَّ أقرأُهُ أمامَ زملائي في غرفةِ الصفِّ.

مراجعةُ الوحدةِ

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

1. تتحرَّكُ سيارةٌ على طريقٍ أفقيٍّ مستقيمٍ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ ثابتةٍ مقدارُها (90 km /h) شمالًا. القُوَّةُ المحصلةُ المُؤثِّرةُ في السيارةِ هيَ:
   a. في اتجاهِ الشمالِ. b. في اتجاهِ الجنوبِ.
   c. صفرٌ. d. في اتجاهِ الشرقِ.

2. إحدى الحالاتِ الآتيةِ تتطلَّبُ تأثيرَ قُوَّةٍ محصلةٍ أكبرَ:
   a. إكسابُ جسمٍ كتلتُهُ (2 kg) تسارُعًا مقدارُهُ ($5\ m/s^2$).
   b. إكسابُ جسمٍ كتلتُهُ (4 kg) تسارُعًا مقدارُهُ ($3\ m/s^2$).
   c. إكسابُ جسمٍ كتلتُهُ (6 kg) تسارُعًا مقدارُهُ ($1.5\ m/s^2$).
   d. إكسابُ جسمٍ كتلتُهُ (8 kg) تسارُعًا مقدارُهُ ($1\ m/s^2$).



3. تجلسُ فرحُ في سيارةٍ تتحرَّكُ على طريقٍ أفقيٍّ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ ثابتةٍ في اتجاهِ المحورِ ($+x$)، وتُمسِكُ بيدِها كوبًا فيهِ عصيرٍ، أنظرُ الشكلَ المجاورَ. إذا ضغطَ السائقُ فجأةً على المكابحِ:
   a. فإنَّ العصيرَ ينسكبُ منَ الجهةِ (A).
   b. فإنَّ سطحَ العصيرِ في الكوبِ يبقى مستويًا.
   c. فإنَّ العصيرَ ينسكبُ منَ الجهةِ (B).
   d. فلا يمكنُ تحديدُ جهةِ انسكابِ العصيرِ.

4. تُسمّى ممانعةُ الجسمِ لأيِّ تغييرٍ في حالتِهِ الحركيةِ:
   a. السرعةَ المُتَّجِهةَ. b. القُوَّةَ المحصلةَ.
   c. القانونَ الثالثَ لنيوتن. d. القصورَ الذاتيَّ.

5. عندَ نقصانِ مقدارِ القُوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرةِ في جسمٍ إلى النصفِ، معَ ثباتِ كتلتِهِ، فإنَّ مقدارَ تسارُعِهِ:
   a. يتضاعفُ مرَّتيْنِ. b. يتضاعفُ أربعَ مرّاتٍ.
   c. يقلُّ بمقدارِ النصفِ. d. لا توجدُ علاقةٌ بينَهُما.

6. عندما تدفعُ جدارًا بقُوَّةٍ معينةٍ، فإنَّ الجدارَ يدفعُكَ بقُوَّةٍ معاكسةٍ في الاتجاهِ، مقدارُها يساوي:
   a. ضعفَ مقدارِ قُوَّتِكَ. b. مقدارَ قُوَّتِكَ.
   c. نصفَ مقدارِ قُوَّتِكَ. d. صفرًا.

7. تتحرَّكُ سيارةٌ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ ثابتةٍ على طريقٍ أفقيٍّ. وفجأةً توقَّفَتِ السيارةُ، فاندفعَ سائقُها إلى الأمامِ. يُعْزى سببُ اندفاعِ السائقِ إلى:
a. تأثيرِ قُوَّةٍ فيهِ باتجاهِ الحركةِ نفسِها.
b. القصورِ الذاتيِّ للسائقِ.
c. القانونِ الثالثِ لنيوتن.
d. تأثيرِ قُوَّةٍ فيهِ عمودية على اتجاهِ الحركةِ.

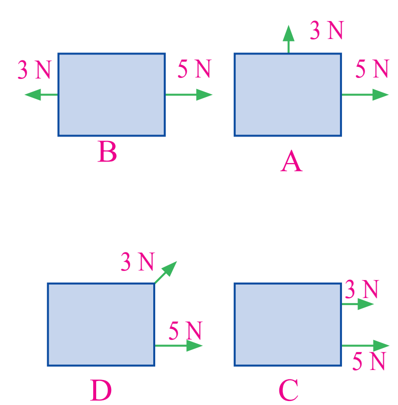
8. أيّ خصائصِ الجسمِ الآتيةِ قدْ تتغيَّرُ عندَ تأثيرِ قُوَّةٍ محصلةٍ فيه؟
a. مقدارُ السرعةِ، الكتلةُ، اتجاهُ الحركةِ.
b. الشكلُ، الكتلةُ، مقدارُ السرعةِ.
c. مقدارُ السرعةِ، الشكلُ، الكثافةُ.
d. مقدارُ السرعةِ، الشكلُ، اتجاهُ الحركةِ.

9. وحدةُ قياسِ القُوَّةِ هيَ:
a. kg.
b. N.s.
c. N.
d. m/s^2.

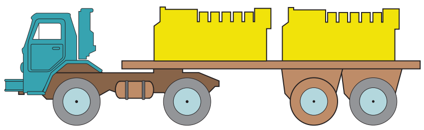
10. بحسبِ القانونِ الثاني لنيوتن، يكونُ اتجاهُ التسارعِ دائمًا:
a. في اتجاهِ الإزاحةِ.
b. في اتجاهِ السرعةِ المُتَّجِهةِ الابتدائيةِ.
c. في اتجاهِ السرعةِ المُتَّجِهةِ النهائيةِ.
d. في اتجاهِ القُوَّةِ المحصلةِ.

11. القصورُ الذاتيُّ للجسمِ يُسبِّبُ:
a. تسارعَهُ.   b. تباطؤَهُ.
b. مقاومتَهُ لأيِّ تغييرٍ في حركتِهِ.   d. تغييرَ اتجاهِ حركتِهِ.

12. إذا كانَتْ كتلُ الأجسامِ المُوضَّحةُ في الشكلِ المجاورِ متساويةً، فأيٌّ منها مقدار تسارعه هو الأقل؟
a. (A).   b. (B).
c. (C).   d. (D).



13. يُمثِّلُ الشكلُ المجاور شاحنةً في صورةِ قاطرةٍ ومقطورةٍ. إذا كانَتْ كتلةُ المقطورةِ (5) أضعافِ كتلةِ القاطرةِ، وكانَتِ القاطرةُ تتسارعُ على طريقٍ أفقيٍّ مستقيمٍ، فإنَّ القُوَّةَ التي تُؤثِّرُ بها المقطورةُ في القاطرةِ تساوي:



a. (5) أضعافِ القُوَّةِ التي تُؤثِّرُ بها القاطرةُ في المقطورةِ.
b. (1/5) القُوَّةِ التي تُؤثِّرُ بها القاطرةُ في المقطورةِ.
c. (10) أضعافِ القُوَّةِ التي تُؤثِّرُ بها القاطرةُ في المقطورةِ.
d. القُوَّةَ التي تُؤثِّرُ بها القاطرةُ في المقطورةِ.

2. عندَ النظرِ إلى سبّاحٍ في بركةِ السباحةِ يُلاحَظُ أنَّهُ يدفعُ الماءَ إلى الخلفِ. أُفَسِّرُ سببَ فعلِهِ ذلكَ.

3. إذا كانَ تسارُعُ جسمٍ ما صفرًا، فهلْ تستنتجُ عدمِ وجودِ قوًى تُؤثِّرُ فيهِ؟ أُفَسِّرُ إجابتي.

4. علامَ يعتمدُ تسارُعُ أيِّ جسمٍ؟ هلْ تُؤثِّرُ السرعةُ في تسارُعِ الجسمِ؟ أُفَسِّرُ إجابتي.

5. لكيْ تسيرُ رؤى على الأرضِ؛ فإنَّها تدفعُ الأرضَ بقُوَّةٍ إلى الخلفِ، فتدفَعُها الأرضُ بقُوَّةٍ إلى الأمامِ. لماذا لا يظهرُ أثرُ دفعِ رؤى في الأرضِ؟

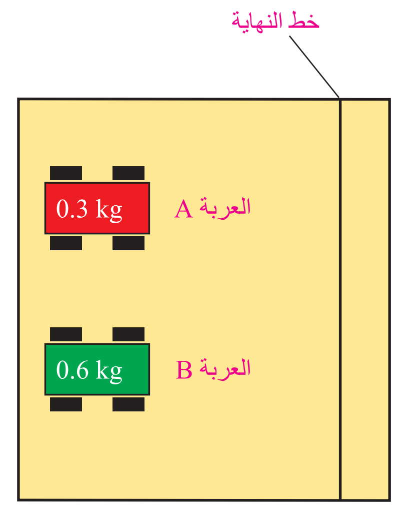
6. يُمثِّل الشكلُ المجاورُ شخصًا يقفزُ منْ قاربٍ نحوَ الرصيفِ. لماذا يندفعُ القاربُ إلى الخلفِ في أثناءِ ذلكَ؟

7. إذا كانَتِ القُوَّةُ المحصلةُ المُؤثِّرةُ في جسمٍ صفرًا، فهلْ يُمكِنُ أنْ يكونَ الجسمُ مُتحرِّكًا؟ أُفَسِّرُ إجابتي.

8. أُحدِّدُ زوجَي التأثيرِ المُتبادَلِ في كلِّ حالةٍ ممّا يأتي:

a. حارسُ مرمى يُمسِكُ كرةَ قدمٍ مُتَّجِهةً نحوَهُ.
b. عدّاءةٌ تركضُ على أرضيةِ مضمارِ سباقٍ.
c. اصطدامُ كرةٍ بجدارٍ.
d. إطلاقُ مكوكٍ فضائيٍّ منْ على سطحِ الأرضِ.

9. **التفكيرُ الناقدُ: إذا كانَتْ قُوَّتَا الفعلِ وردِّ الفعلِ متساويتيْنِ، فكيفَ يُفسَّرُ جَرُّ حصانٍ لعربةٍ؟**



10. **يُمثِّلُ الشكلُ المجاورُ منظرًا علويًا لعربتيْنِ مختلفتيْنِ في الكتلةِ؛ (A)، و (B)، تستقرّانِ على سطحٍ أفقيٍّ. دُفِعَتِ العربتانِ منْ وضعِ السكونِ في اللحظةِ نفسِها في اتجاهِ المحورِ ($+x$) ، ووصلَتا خطَّ النهايةِ في اللحظةِ نفسِها أيضًا:**

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

b. ما العلاقةُ بينَ تسارُعَيِّ العربتيْنِ؟ أُفسِّرُ إجابتي.

11. **يُبيِّنُ الجدولُ المجاورُ قيمَ القُوَّةِ المحصلةِ، والتسارعَ في اتجاه المحور (x) لكتلٍ مختلفةٍ. اعتمادًا على القانونِ الثاني لنيوتن، أكمل الجدول:**

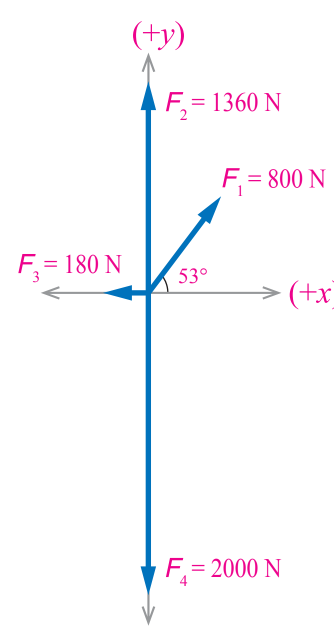
الفقرة	$\sum F$ (N)	m (kg)	a (m/s²)
A		500	2.5 +
B	300	600	
C	2500		+2
D	-600	800	

12. **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 خلالَ (4 s). أَجِدُ:**

a. تسارُعَ السيارةِ.

b. القُوَّةَ المحصلةَ التي أثَّرَتْ في السيارةِ.

13. **قُوَّةٌ محصلةٌ مقدارُها (4 N)، أثَّرَتْ في الكتلةِ (m_1)، فأكسبَتْها تسارُعًا مقدارُهُ (8 m/s²)، وأثَّرَتْ في الكتلةِ (m_2)، فأكسبَتْها تسارعًا مقدارُهُ (16 m/s²). ما التسارعُ الذي تكتسبُهُ هاتانِ الكتلتانِ عندَ ربطِهِما معًا، وتأثيرِ القُوَّةِ السابقةِ نفسِها فيهِما؟**



14. **أثَّرَتْ قوًى عِدَّةٌ مستويةٌ متلاقيةٌ في قاربٍ كتلتُهُ (200 kg)، في أثناءِ سحبِهِ بسفينةٍ. وكانَ مُخطَّطُ الجسمِ الحرِّ لهذهِ القوى كما في الشكلِ المجاورِ. أَجِدُ:**

a. القُوَّةَ المحصلةَ المُؤثِّرةَ في القاربِ.

b. التسارعَ الأفقيَّ والتسارعَ الرأسيَّ للقاربِ.

مسردُ المصطلحاتِ

- **أقصى ارتفاع (Maximum Height):** الإزاحة الرأسية العظمى التي يصنعها المقذوف.
- **إزاحةٌ (Displacement):** الفرقُ بينَ مُتَّجِهيْ موقعيِ الجسمِ الابتدائيِّ والنهائيِّ.
- **تحليل المتجهات (Vectors Analysis):** استبدال متجه بمتجهين متعامدين (على محوري x-y مثلًا) يسميان مركبتي المتجه ومحصلتهما المتجه نفسه، ويتحدان معه في نقطة البداية.
- **تسارع (Acceleration):** هوَ كميةٌ مُتَّجِهةٌ تُعطى بناتجِ قسمةِ التغيُّرِ في السرعةِ اللحظيةِ على المدَّةِ الزمنيةِ اللازمةِ لإحداثِ التغيُّرِ في السرعةِ.
- **تسارعٌ مركزيٌّ (Centripetal acceleration):** التسارع الناتج عن التغير في اتجاه السرعة المماسيَة للجسم الذي يتحرك حركة دائرية.
- **تساوي مُتَّجِهيْنِ (Equality of two vectors):** متجهان من نفس النوع لهما المقدار نفسه والاتجاه نفسه.
- **تمثيلُ المُتَّجِهاتِ (Representation of vectors):** التعبير عن الكمية المتجهة برسم سهم طوله يمثل مقدار الكمية المتجهة؛ باستخدام مقياس رسم مناسب، واتجاهه يمثل اتجاه تلك الكمية.
- **جمع المتجهات (Vectors Addition):** جمع متجهي للكميات المتجهة يراعى فيه المقدار والاتجاه وليس جمع جبري.
- **حركة خطية (Linear velocity):** الحركة على خط مستقيم (في بعد واحد).
- **حركةٌ دائريةٌ (Circular motion):** حركة جسم في مسار دائري بحيث يبقى بعده عن مركز المسار ثابتًا.
- **حركة دائريةِ منتظمةِ (Uniform circular motion):** الحركة الدائرية بسرعة ثابتة مقدارًا.
- **حركةُ منتظمةُ (Uniform motion):** حركة الجسم بسرعة قياسية ثابتة؛ أي سرعة ثابتة في المقدار.
- **زمنُ التحليقِ (Time of flight):** الزمن الكلي لحركة المقذوف في الفضاء.
- **سالبُ المُتَّجِهِ (Negative of a vector):** متجه له مقدار المتجه الأصلي نفسه ولكنه يعاكسه في الاتجاه.

- **سرعةٌ قياسيةٌ (Speed)**: مقدار معدل تغير المسافة المقطوعة بالنسبة للزمن.
- **سرعةٌ قياسيةٌ متوسطة (Average speed):** ناتج قسمة المسافة الكلية التي يقطعها الجسم المتحرك على الزمن الكلي لهذه الحركة.
- **سرعةٌ لحظيةٌ (Instantaneous velocity):** سرعة الجسم عند لحظة معينة.
- **سرعةٌ مُتَّجِهةٌ (Velocity)**: معدل تغير الإزاحة بالنسبة للزمن.
- **سرعةٌ متجهة متوسطةٌ (Average velocity):** ناتج قسمة الإزاحة التي يُحدثها الجسم المتحرك على الزمن الكلي لحركة الجسم.
- **سرعةٌ مماسييه (Tangential velocity):** مقدار السرعة اللحظية التي يتحرك بها جسم في مسار دائري، وهي متغيرة الاتجاه.
- **الضربُ القياسيُّ (Scalar product):** عملية ضرب كمية متجهة في كمية أخرى متجهة يكون ناتجها كمية غير متجهة لها مقدار فقط.
- **الضربُ المُتَّجِهيُّ (Vector product):** عملية ضرب كمية متجهة في كمية أخرى متجهة يكون ناتجها كمية متجهة لها مقدار واتجاه.
- **الطريقة البيانية (Graphical Method):** طريقة لايجاد محصلة متجهين أو أكثر بالرسم، وتتلخص بتمثيل المتجهات المراد جمعها بأسهم ثم تركيب تلك الأسهم إما بطريقة متوازي الأضلاع أو بطريقة المضلع (الذيل على الرأس).
- **الطريقة التحليلية (Analytical Method)**: طريقة رياضية لايجاد محصلة متجهين أو أكثر من خلال تحليل المتجهات إلى مركباتها.
- **القانونَ الأولَ لنيوتنْ (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.
- **القانونِ الثالثِ لنيوتنْ (Newton's third law):** ينص على أنّه "إذا تفاعلَ جسمان A وB، 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".

- **القانونِ الثاني لنيوتنْ (Newton's second law):** ينص على أن "تسارُعُ الجسمِ يتناسبُ طرديًّا معَ القُوَّةِ المحصلةِ المُؤثِّرةِ فيهِ، ويتناسبُ عكسيًّا معَ كتلتِهِ".

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

- **القُوَّةَ (Force):** هي كلُّ ما يُؤثِّرُ في الأجسامِ، فيُغيِّرُ منْ أشكالِها أوْ حالاتِها الحركيةِ، ويُرمَزُ إليْها بالرمزِ (*F*)، وتقاسُ بوحدةِ newton (N) بحسبِ النظامِ الدوليِّ لوحداتِ القياسِ.

- **القُوَّةَ المحصلةَ (Resultant Force):** هيَ حاصلُ الجمعِ المُتَّجِهيِّ لجميعِ القوى المُؤثِّرةِ في الجسمِ، بحيث نحصل على قُوَّةٍ منفردةٌ لها تأثيرٌ يُكافِئُ تأثيرَ جميعِ القوى المُؤثِّرةِ في الجسمِ مُجتمِعةً.

- **الكمياتُ القياسيةُ (Scalar quantities):** هيَ الكمياتُ التي تُحدَّدُ فقطْ بالمقدارِ، وليس لها اتجاه

- **الكمياتُ المُتَّجِهةُ (Vector quantities):** هيَ الكميَّاتُ التي تُحدَّدُ بالمقدارِ والاتجاهِ معًا.

- **متجه المحصلة (Resultant Vector):** المتجه الناتج عن الجمع المتجهي لعدة متجهات.

- **مدى أفقيٌّ (Range):** الإزاحة الأفقية التي يصنعها المقذوف منذ إطلاقه حتى يعود إلى نفس مستوى الإطلاق.

- **مقذوفاتُ (Projectiles):** الأجسام التي تبدأ حركتها بسرعة ابتدائية تصنع زاوية حادة مع الأفق وتتحرك تحت تأثير قوة جاذبية الأرض فقط.

- **موقعُ (Position):** كمية فيزيائية متجهة تحدد بمتجه يبدأ من نقطة الإسناد وينتهي بمكان الجسم.

- **نقطةُ إسنادِ (Reference point):** نقطة مرجعية محددة تنسب إليها مواقع الأجسام وينطلق منها متجه الموقع، وفي بعدين تعرف عادةً بأنها النقطة $(0, 0)$في المستوى (x, y).

قائمة المراجع

References for the Physics textbook – Grade 10

1. Avijit Lahiri, **BASIC PHYSICS: PRINCIPLES AND CONCEPTS,** Avijit Lahiri, 2018 David Halliday, Robert Resnick , Jearl Walker, Fundamentals of Physics, Wiley; 11 edition 2018.

2. Douglas C. Giancoli, Physics: **Principles with Applications**, Addison Wesley, 6th edition, 2009.

3. Gurinder Chadha, **A Level Physics a for OCR**, A Level Physics a for OCR, 2015.

4. Hugh D. Young , Roger A. Freedman, **University Physics with Modern Physics**, Pearson; 14 edition (February 24, 2015)

5. Paul A. Tipler, Gene Mosca, **Physics for Scientists and Engineers**, W. H. Freeman; 6th edition, 2007.

6. Paul G. Hewitt, **Conceptual Physics**, Pearson; 14th edition, 2015.

7. R. Shankar, **Fundamentals of Physics I: Mechanics, Relativity, and Thermodynamics**, Yale University Press; Expanded Edition, 2019.

8. Raymond A. Serway , John W. Jewett, **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics**, Cengage Learning; 009 edition, 2015.

9. Raymond A. Serway, Chris Vuille, **College Physics**, Cengage Learning; 11 edition, 2017.

10. Roger Muncaster, **A Level Physics**, Oxford University Press; 4th edition, 2014.

11. Steve Adams, **Advanced Physics**, Oxford University Press, USA; 2nd UK ed. Edition, 2013.

12. Tom Duncan, **Advanced Physics**, Hodder Murray; 5th edition, 2000.