وزارة التربيـــة والتعليـــم والتعليـــم العالـــي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولـــة قطـــر

الفيزياء

كتاب الطالب

المستوى العاشر

PHYSICS

STUDENT BOOK

GRADE 10

الفصل الدراسي الأول

FIRST SEMESTER

طبعة 1446 - 2024

وزارة التربيـــة والتعليـــم والتعليـــم العالـــي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولـــة قطـــر

تمّ إعداد الكتاب بالتّعاون مع شركة تكنولاب.

التأليف: فريق من الخبراء بقيادة الدكتور توم سو وبالتّعاون مع شركة باسكو العلميّة.

التّرجمة: مطبعة جامعة كامبريدج.

النشيد الوطني

قَسَمًا بِمَنْ رَفَعَ السَّمَاءْ   قَسَمًا بِمَنْ نَشَرَ الضِّيَاءْ
قَطَرٌ سَتَبْقَى حُرَّةً   تَسْمُو بِرُوحِ الأَوْفِيَاءْ
سِيرُوا عَلَى نَهْجِ الأُلَى   وَعَلَى ضِيَاءِ الأَنْبِيَاءْ
قَطَرٌ بِقَلْبِي سِيرَةٌ   عِزٌّ وَأَمْجَادُ الإِبَاءْ
قَطَرُ الرِّجَالِ الأَوَّلِين   حُمَاتُنَا يَوْمَ النِّدَاءْ
وَحَمَائِمٌ يَوْمَ السَّلَامْ   جَوَارِحٌ يَوْمَ الفِدَاءْ

وزارة التربيـــة والتعليـــم والتعليـــم العالـــي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولـــة قطـــر

المراجعة والتّدقيق العلميّ والتّربويّ:

إدارة المناهج الدّراسيّة ومصادر التّعلّم

إدارة التّوجيّه التّربويّ

خبرات تربويّة وأكاديميّة من المدارس

الإشراف العلميّ والتّربويّ:

إدارة المناهج الدّراسيّة ومصادر التّعلّم

يعدّ كتاب الطّالب مصدرًا مثيرًا لاهتمام الطّلاب من ضمن سلسلة كتب العلوم لدولة قطر، فهو يستهدف جميع المعارف والمهارات الّتي يحتاجها الطّلاب للنّجاح في تنمية المهارات الحياتيّة وبعض المهارات في الموادّ الأخرى.

وبما أنّنا نهدف إلى أن يكون طلّابنا مميّزين، نودّ منهم أن يتّسموا بما يأتي:

- البراعة في العمل ضمن فريق.
- امتلاك الفضول العلميّ عن العالم من حولهم، والقدرة على البحث عن المعلومات وتوثيق مصادرها.
- القدرة على التّفكير بشكلٍ ناقدٍ وبنّاء.
- الثّقة بقدرتهم على اتّباع طريقة الاستقصاء العلميّ، عبر جمع البيانات وتحليلها، وكتابة التّقارير، وإنتاج الرّسوم البيانيّة، واستخلاص الاستنتاجات، ومناقشة مراجعات الزّملاء.
- الوضوح في تواصلهم مع الآخرين لعرض نتائجهم وأفكارهم.
- التّمرّس في التّفكير الإبداعيّ.
- التّمسّك باحترام المبادئ الأخلاقيّة والقيم الإنسانيّة.

يتجسّد في المنهج الجديد العديد من التّوجّهات مثل:

- تطوير المنهج لجميع المستويات الدّراسيّة بطريقة متكاملة، وذلك لتشكيل مجموعة شاملة من المفاهيم العلميّة الّتي تتوافق مع أعمار الطّلاب، والّتي تسهم في إظهار تقدّمهم بوضوح.
- مواءمة محتوى المصادر الدّراسيّة لتتوافق مع الإطار العامّ للمنهج الوطنيّ القطريّ بغية ضمان حصول الطّلاب على المعارف والمهارات العلميّة وتطوير المواقف (وهو يُعرف بالكفايات) ما يجعل أداء الطّلاب يصل إلى الحدّ الأقصى.
- الانطلاق من نقطة محوريّة جديدة قوامها مهارات الاستقصاء العلميّ، ما أسّس للتّنوّع في الأنشطة والمشاريع في كتاب الطّالب.
- توزّع المعرفة والأفكار العلميّة المخصّصة لكلّ عام دراسيٍّ ضمن وحدات بطريقة متسلسلة مصمّمة لتحقيق التّنوّع والتّطوّر.
- تعدّد الدّروس في كلّ وحدة، بحيث يعالج كلّ درس موضوعًا جديدًا، منطلقًا ممّا تمّ اكتسابه في الدّروس السّابقة.
- إتاحة الفرصة للطّلاب، في كلِّ درسٍ، للتّحقّق الذّاتيّ من معارفهم ولممارسة قدرتهم على حلّ المشكلات.

- احتواء كلّ وحدة على تقويم للدّرس وتقويم للوحدة، وهو ما يمكّن الطلّاب والأهل والمدرّسين من تتبّع التّعلّم والأداء.

العلوم مجموعة من المعارف الّتي تشمل الحقائق والأشكال والنّظريّات والأفكار. ولكنَّ العالِم الجيّد يفهم أنّ «طريقة العمل» في العلوم أكثر أهمّيّة من المعرفة الّتي تحتويها.

سوف يساعد هذا الكتاب الطلّاب على تقدير جميع هذه الأبعاد واعتمادها ليصبحوا علماء ناجحين وليواجهوا مجموعة واسعة من التّحدّيات في حياتهم المهنيّة المستقبليّة.

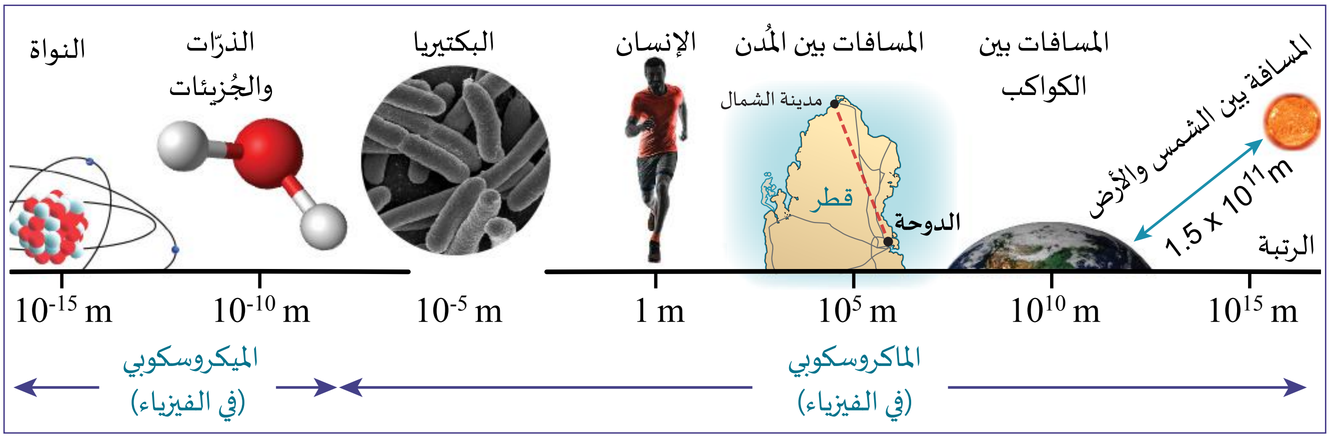
مفتاح كفايات الإطار العام للمنهج التّعليمي الوطني لدولة قطر

- الاستقصاء والبحث
- التّعاون والمشاركة
- التّواصل
- التّفكير الإبداعيّ والناقد
- حلّ المشكلات
- الكفاية العددية
- الكفاية اللغويّة

ماذا ستتعلّم من هذا الكتاب

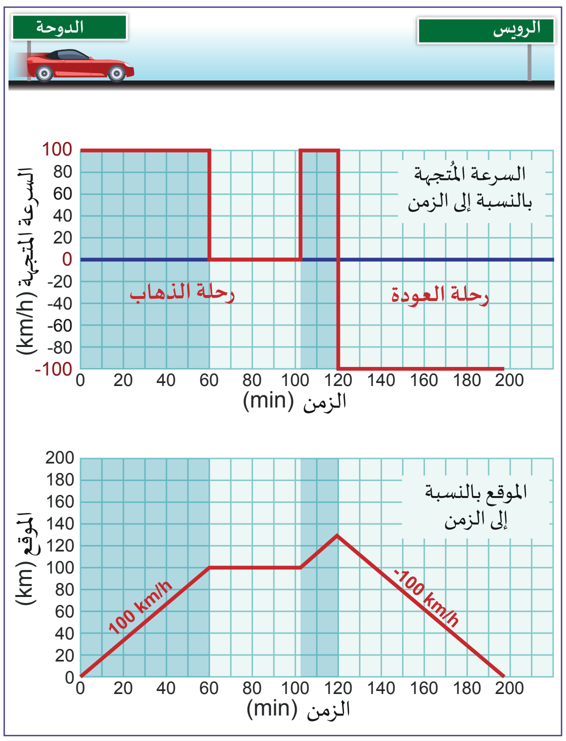
نسعى بالعلم إلى فهم الكون الذي يحيط بنا. ومن أهم أدوات العلم التي تساعدنا على هذا الفهم؛ المقدرة على الملاحظة والقياس والتواصل. تُستخدم في الفيزياء سبع كمّيات فيزيائيّة هي: الكتلة، المسافة، الزمن،شدة التيار الكهربائي، درجة الحرارة، شدّة الاضاءة، كمية المادة. جميعها كميّات فيزيائيّة تُقاس وتُسجّل بوحدات النظام الدولي (SI)، نذكر منها: الكيلوجرام (الكتلة)، والمتر (المسافة)، والثانية (الزمن).

تُركّز الوحدة الأولى من هذا الفصل على كيفية قياس الكميات الفيزيائيّة وتسجيلها. فالفيزياء تتضمّن مجالاً واسعًا من الكميّات، التي تُستخدم فيها صيغة خاصّة من الأرقام تُسمّى الصيغة العلميّة لتمثيل مقادير، كالمسافة.



تهتم الفيزياء بالمسافات ابتداءً من الأبعاد داخل الذرّة وصولاً إلى أبعاد الكون.

تشتمل الوحدة الثانية على الحركة. وسوف نُلاحظ أنّ الأجسام تتحرّك بسرعات واتّجاهات مُختلفة. لذلك يتم تمثيل كمّيات، كالموقع والسُرعةالمتجهة، بواسطة مُتّجهات تتضمّن مقدارًا واتّجاهًا وفق صيغة يمكن تحليلها بشكل رياضي. يُمكننا تمثيل رحلة تحتوي على انعطافات، بإضافة مُتّجهات لكل جُزء من الرحلة. تصِفُ السُرعة المتجهة المُعدّل الذي تغيّر فيه الأجسام من موقعها. أمّا مُتّجه التسارُع فيَصِف مُعدّل تغيُّر السرعة بالنسبة للزمن. سوف نتعلّم طرائق مُفيدة لتحليل الحركة من خلال الموقع والسرعة والتسارُع.

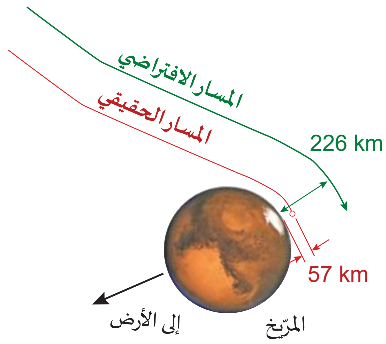


تُعد المُخطّطات البيانية لكل من الموقع والسرعة إحدى الطرائق التي تُمثّل فيها الحركة.

بعض أقسام هذا الكتاب

الرّسوم التّوضيحيّة

مفاهيم مهمّة وبيانات وأمثلة على كل فكرة جديدة معروضة من خلال الإيضاحات المُفصَّلة والشروحات.



أسئلة للمناقشة

؟ لماذا يُعدُّ مهمًا أن يكون هناك نظام قياس عام؟

أسئلة المناقشة تزوّد طلّاب الصف بفرصة مناقشة المفاهيم والمعلومات.

شريط الأفكار المهمّة

تُمثّل القياسات جميعها قيَمًا تقريبية للقيمة الحقيقية بزيادة أو نقصان كميّة من هامش الخطأ.

تحديد النقاط الرّئيسة وتذكُّرها.

العلاقات والمعادلات

1-1	الصيغة العلميّة	N	الجزء العُشري
	العدد $= N \times 10^n$	n	الأُس

مُثلِّث علاقات الكمّيّات الفيزيائيّة من خلال المُتغيّرات ووحدات قياسها بشكل واضح.

الأمثلة

مثال 5

يبلغ قُطر كرة القدم القانونية الرسمية 22 cm. جِدْ حجم الكُرة بوحدة المتر المُكعّب m^3، علمًا أنّ علاقة حجم الكُرة مُوضّحة في الشكل المُجاور.

$$V_{\text{الكرة}} = \frac{4\pi r^3}{3}$$

المطلوب: الحجم بوحدة m^3

العلاقات: $1\ m = 100\ cm$

الحل: وحدة الحجم وحدة مُشتقّة تتضمّن وحدات أساسية للمسافة التكعيبيّة. لذلك سنقوم بحساب الحجم بوحدة cm^3، ثمّ نقوم بتحويلها إلى وحدة m^3 بإعادة ترتيب العلاقات بحيث تُختصَر الوحدات، مع مُلاحظة أننا سنضرب بالعلاقة $1\ m = 100\ cm$ ثلاث مرّات لأننا سنحوّل من cm^3 إلى m^3.

تُظهر الأمثلة جميع خطوات الحلّ والتفسير للحصول على حسابات صحيحة.

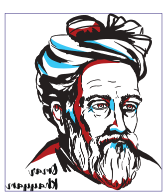
العلم والعلماء

ضوء على العلماء

عمر الخيّام: 1131-1048

عُمر الخيّام عالم رياضيات وفلك، وفيلسوف، وشاعر مُسلم. لمع اسمه بفضل الإسهامات الكثيرة التي قدّمها في المجالات المُختلفة: في أوائل سبعينات القرن العاشر الميلادي، قام بحساب مُدّة السنة الشمسية بدقّة تصل حتى 10 مراتب عَشريّة. فقد كان حسابًا مُدهشًا، وكان الأكثر دقّة في تحديد مُدّة السنة في التقويم الميلادي حتى العام 1582.

وُلِدَ عُمر الخيّام عام 1048، في مدينة نيسابور الواقعة شمال بلاد فارس. لاحظ مُعلّمه في السنوات الأولى من تعليمه قُدُراتِه الاستثنائية، فأرسله إلى أحد أعظم المُعلّمين في المنطقة، الإمام مُوفَّق النيسابوري. وقد تعلّم الخيّام على يدَيْ عالم الرياضيات أبي الحسن بهمنيار ابن المرزبان الأذربيجاني.



الشكل 1-20 صورة مرسومة للعالِم عُمر الخيّام.

تمّ تطوير معارفنا العلميّة على مدى أكثر من ثلاثة آلاف عام. تُطلعُنا هذه المقالات على إلهام الإنسان وتبصُّرِه في التعامُل مع العلم والتكنولوجيا.

الفيزياء

الأنشطة والمراجعة والتّقويم

الأنشطة

التدرُّب العملي من خلال المُختبر والمشاريع البحثيّة وسواهما من الأنشطة التي تُرسّخ معاني الأفكار الجديدة وتطوُّر العمل المخبري.

نشاط 2-1 أخذ القياسات

سؤال الاستقصاء	كيف يمكننا إدراج هامش الخطأ عند إجراء قياسات بسيطة؟
المواد المطلوبة	القدمة ذات الورنية، الميكرومتر، سلك رفيع، كرات فولاذية تتراوح أطوال أقطارها بين 5 mm و 20 mm، مسطرة، كتل 10 g و 20 g و 30 g، زنبرك، ساعة إيقاف.

خطوات التجربة I

1. قِسْ قُطر الكُرة، ضعها على الورقة، ثمّ حدّد على الورقة باستخدام القلم الحافتَيْن المتقابلتَيْن للكرة بأفضل تقدير مُمكن. استخدم المسطرة لقياس قُطر الكرة بين علامتَي التحديد سجّل هامش خطأ القياس.
2. قِس الآن قُطر الكرة باستخدام القدمة ذات الورنية. سجّل هامش خطأ القياس.

تقويم الدّرس

يتميّز كل درس بعرض يحتوي على الأسئلة التي تُغطّي جميع المفاهيم والمعلومات في هذا الدرس.

تقويم الدرس 1-1

1. إذا كانت سرعة الضوء 299792458 m/s، فما التقريب الأفضل لها وفق الصيغة العلمية؟
   a. 3.00×10^{-8} m/s
   b. 3×10^{-9} m/s
   c. 3×10^{8} m/s
   d. 3.00×10^{9} m/s
2. أيٌّ من الآتي نعبّر عن قياسه باستخدام وحدة مُشتقة؟
   a. طول الباب
   b. مساحة الغُرفة

مراجعة الوحدة

ملخّص قصير عند نهاية كل وحدة، وهو مرجع سريع للأفكار والمُصطلحات الرئيسة.

الوحدة 1

مراجعة الوحدة

الدرس 1-1: النظام الدولي للوحدات (SI)

- طُوِّر النظام الدولي للوحدات (SI) International System of Units ليضع معيارًا موحّدًا للاستخدامات التجاريّة والصناعية.
- هناك سبع وحدات أساسية Fundamental Units في النظام الدولي للوحدات (SI).
- تُستخرَج الوحدات المُشتقّة Derived Units من الوحدات الأساسية.
- تنتمي الأجسام التي تُرى بالعين المُجرّدة إلى المقياس الجهري (الماكروسكوبي) Macroscopic.

تقويم الوحدة

زوّدت كل وحدة بمجموعة من الأسئلة ذات الخيارات المتعدّدة كعيّنة تحضّر الطالب لاختبار نموذجي.

تقويم الوحدة

اختيار من مُتعدِّد

1. أيٌّ من المقادير الآتية لا يُكافئ المقدار 12.7 cm؟
   a. 1.27×10^{3} mm
   b. 1.27×10^{1} cm
   c. 1.27×10^{-1} m
   d. 1.27×10^{-4} km
2. كم مترًا مربّعًا في المقدار 560 cm^2؟
   a. 5.6 m^2
   b. 0.56 m^2
   c. 0.056 m^2
   d. 0.0056 m^2

أسئلة الإجابة القصيرة

أسئلة الإجابة القصيرة وأسئلة الإجابة المطوّلة بُنيتا على مُستويات ثلاثة من الصعوبة في نهاية كل وحدة.

تقويم الوحدة

25. يُعطي ميزان الحمّام قراءة كتلة شخص 70 kg. إذا كان المقياس يتضمن هامش خطأ نسبي 3%، فما هامش الخطأ المُطلق لكتلة الشخص؟
26. أُجريت تجربة لقياس سرعة الضوء في مادة شفافة مُعيّنة. يُوضّح الجدول الآتي عشر محاولات للقياس.
   a. ما هامش الخطأ التقديري لأي قياس؟ يجب عليك تحديده ليكون نصف الفرق بين أكبر قيمة وأصغر قيمة.
   b. ما متوسّط القياسات العشرة؟

مخطّط المادّة

الوحدة 1 الكميّات الفيزيائيّة وهامش الخطأ في القياسات العمليّة

تتمثّل وحدات النظام الدولي (SI) في الوحدات الأساسية للكمّيات الفيزيائيّة، ومنها: الكيلوجرام، والمتر، والثانية. وتعتمد الوحدات المُشتقّة، كوحدات الحجم، على وحدات النظام الدوليّة (SI) الأساسيّة. وسوف نجد خلال دراستنا أن من الأفضل تمثيل الأعداد الكبيرة والأعداد الصغيرة وفق الصيغة العلميّة، كأن نُمثّل قُطر الذرّة وفق الصيغة العلميّة على النحو الآتي: 1×10^{-10} m.

يُسلّط الدرس الثاني الضوء على عملية القياس. وتُعرف القيمة الحقيقية بانّها قيمة الكميّة التي نحاول قياسها. تكون جميع القياسات محدودة وفق الضبط، والدِقّة. لذلك، يُعتبر أي قياس تقديرًا للقيمة الحقيقيّة بزيادة أو نقصان هامش الخطأ. إذا كانت هوامش الخطأ عشوائية، يكون متوسّط قياسات مُتعدّدة أفضل تقدير للقيمة الحقيقيّة، لأنّ بعض أجزاء هوامش الخطأ التي تقع أعلى وأسفل القيمة الحقيقيّة يُلغي بعضها بعضًا.

الوحدة 2 علم الحركة (الكينماتيكا)

المُتجّه كمّية تشتمل على معلومات عن الاتّجاه والمقدار. فكمّيات مثل: الإزاحة، و السرعة المتجة، والقوة، جميعها كمّيات مُتّجهة. ويُمثّل مُتّجه المُحصّلة مجموع مُتّجهين أو أكثر. فعندما تؤثّر عدة قِوى على الجسم نفسه، يُحدِّد مُتّجه مُحصّلة القوى ما ستكون عليه حركة الجسم. وتُمثّل المُتجهات وفق الشكل x-y، و $\vec{d} = (2,4)$ m.

يُعدّ فهم الحركة من التطبيقات الأولى في الفيزياء، أو ما يُعرف باسم علم الحركة (الكينماتيكا). وهو نموذج رياضي للحركة يتضمّن الموقع، والإزاحة، والسرعة المتجة، والتسارُع. سوف نقوم بتطبيق هذه المفاهيم وتحليلها وتوقّع الحركة من خلال استخدامنا لبعض المُعادلات البسيطة. وسوف تُساعدنا مُخطّطات الموقع بالنسبة إلى الزمن، والسرعة بالنسبة إلى الزمن، على فهم التغير في الحركة مع الزمن.

جدول المحتويات

الوحدة 1
الكمّيات الفيزيائيّة وهامش الخطأ في القياسات العمليّة
Physical Quantities and Uncertainty in Experimental Results

في هذه الوحدة

P1001
P1002

الدرس 1-1: النظام الدولي للوحدات (SI)

الدرس 1-2: القياسات

الوحدة 1

مقدّمة الوحدة

تتضمّن الفيزياء سبع كمّيات أساسيّة، منها الكتلة، والمسافة، والزمن. تُقاس جميع الكمّيات الفيزيائية، وتُسجَّل قيَمها ووحدات قياسها. يستخدم النظام الدولي للوحدات (SI) الوحدات القياسيّة لجميع الكمّيات؛ ومن الأمثلة على هذه الوحدات: الكيلوجرام، والمتر، والثانية. وسوف نعتمد في هذا الكتاب على النظام الدولي للوحدات (SI) بشكل خاص. يمكن تحويل وحدات القياس من مجموعة وحدات إلى أخرى باستخدام مُعامِلات التحويل. تُعدّ الصيغة العلميّة مفيدة للتعبير عن مختلف الكميات.

عندما نقيس شيئًا، مثل الطول، يكون هدفنا معرفة القيمة الحقيقية للمتغيّر الذي يتم قياسه. على الرغم من ذلك، فإنّ جميع طرائق القياس يكون لها هامش خطأ، لذلك تكون عمليّة القياس تقديرًا للقيمة الحقيقية. وعند إجراء القياسات يظهر هامش الخطأ على شكل زيادة أو نقصان عن القيمة الحقيقية؛ ولهذا لا تكون الحسابات مؤكّدة دائمًا.

الأنشطة والتجارب

1-1 استخدام النظام الدولي للوحدات (SI)

2-1 إجراء القياسات

الدرس 1-1

النظام الدولي للوحدات (SI)

The SI Units

شهدت العصور الماضية ابتكار الإنسان لكثير من وحدات القياس، وهدفه معرفة مقدار الكمّيات. ومنها، الذراع، وهي وحدة قياس تعتمد على طول ساعد الإنسان من الكوع إلى رأس الإصبع الوسطى للكفّ. وجاء تأسيس النظام الدولي للوحدات عام 1960 مُعتمِدًا على النظام المتري، وهو نظام أُنشِئ سنة 1790 في الأكاديمية الفرنسية للعلوم، والتي كان هدفها الأساسي وضع تعريف لنظام تكون فيه الوحدات الشائعة من مُضاعفات العدد عشرة (نظام عشري)، ويكون قائمًا على مقاييس عامة.

كان المتر في النظام المتري الأساسي، يساوي واحدًا على عشرة ملايين من المسافة الممتدّة على سطح الأرض، من القطب الشمالي إلى خطّ الاستواء.

وقد استغرق تحديد هذا القياس 6 سنوات لكنّ المتر المُعتمَد اليوم، اختلف تعريفه، على الرغم من أنّ مقداره ظلّ هو نفسه، وقد تمّ قياسه في أواخر القرن السابع عشر.

الشكل 1-1 القياس المعياري للمتر الواحد.

مخرجات التّعلُّم

P1001.1 يميّز بين وحدات النظام الدولي الأساسية والمشتقة ويستخدم البادئات المناسبة.

P1001.2 يتعامل مع مدى المقادير ويعبّر بشكل صحيح عن الكمّيات الفيزيائية باستخدام الصيغة العلميّة للنظام الدولي.

المفردات

International System of Units (SI)	النظام الدولي للوحدات (SI)
Fundamental units	الوحدات الأساسية
Derived units	الوحدات المُشتقة
Mantissa	الجزء العشري
Scientific notation	الصيغة العلميّة
Exponent	الأُس
SI Prefixes	بادئات النظام الدولي

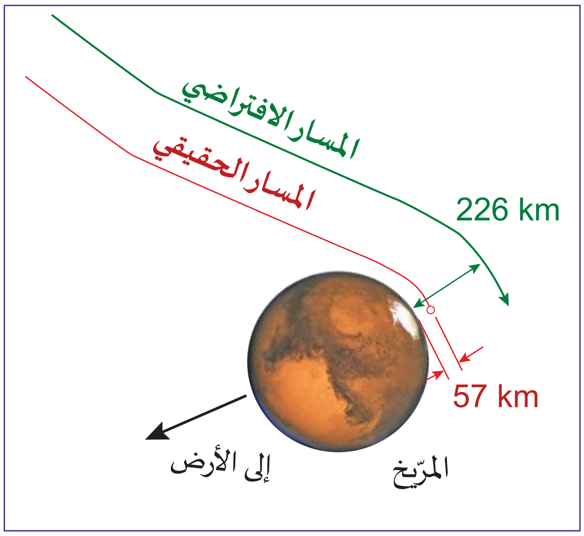
أنظمة القياس

تُشكّل الوحدات البريطانية نظام قياس بدأ العمل به سنة 1826، وقد استُخدِم في الإمبراطورية البريطانية. ومع نهاية القرن العشرين، تمّ الاستغناء عن الوحدات البريطانية، وتبنّت مُعظم الدول النظام المتري للاستخدام الرسمي في التبادُل التجاري والصناعات المُختلفة.

بدا النظام المتري المُعتمِد على المتر وكأنه يُستخدَم في كل مكان. حيث أصبح عدّاد السرعة في السيّارة ،مثلًا، يُقرأ بوحدة km/hr في الكثير من الدول. وأصبحت كمّية الفواكه والخضراوات تُقاس بوحدة الجرام أو الكيلوجرام. ورغم ذلك، لم تختفِ الوحدات البريطانية؛ ذلك أن وحدات كالباوند، والأونصة، والإنش، والقدم، لا يزال استخدامها شائعًا في كثير من الدول. لماذا يبدو الأمر مهمًا؟ وما أهميّة أن يكون هناك نظام قياس عام؟

حادثة مسبار المرّيخ المناخي المداري

أطلقت وكالة الفضاء الأمريكية "ناسا" في 11 ديسمبر من العام 1998 مسبار فضاء آليًّا لدراسة الغلاف الجوي، والطقس، وتغيّرات سطح المرّيخ. حيث بلغت تكلفة هذا المسبار 125 مليون دولار أمريكي تقريبًا. ونتيجة للاستخدام غير المتوافق للوحدات، فُقِد المسبار في الفضاء، فالبرنامج الحاسوبي الذي زُوّد به المسبار الفضائي من مُصنّعيه كان يستقبل قيَمًا بالاعتماد على النظام البريطاني. أمّا البرنامج الحاسوبي الذي تستخدمه وكالة الفضاء الأمريكية "ناسا" فكان يُرسل قيَمًا تعود وحداتها إلى النظام المتري. وهذا بحد ذاته مشكلة خطيرة لأن قوة دفع مقدارها 100 باوند تختلف كثيرًا عن قوة مقدارها 100 N.



الشكل 1-2 صورة توضيحية لمسبار المرّيخ المناخي المداري.

وحدث في 23 سيبتمبر من العام 1999، أن عَبَرَ مسبار المرّيخ المناخي المداري خلف الكوكب الأحمر قبل الوقت المتوقّع بمقدار 49 ثانية. وبات المسبار بالتالي على ارتفاع أدنى من المطلوب نتيجة التقديرات غير الصحيحة للقيَم التي تعود إلى اختلاف الوحدات. وفُقد الاتّصال بالمسبار الفضائي عند الساعة 09:04:52 بتوقيت جرينتش، ولم تتمّ استعادته على الإطلاق. وقد اتّصف ما حدث لمسبار المرّيخ المناخي المداري بالغموض، فربّما دخل الغلاف الجوّي للمرّيخ أو أنّه تحطّم أو دفعه الغلاف الجوّي إلى الفضاء.

1. لماذا يُعدُّ مُهمًا أن يكون هناك نظام قياس عام؟
2. من وجهة نظرك، ما الجهة المسؤولة عن الخطأ: فريق التصنيع أم مهندسو وكالة "ناسا" الذين أخفقوا في مُلاحظة الاختلاف؟

النظام الدولي للوحدات

كانت أنظمة القياس في الحضارات القديمة تُعتمد محليًا. وكان قياس الطول يتم في الغالب بواسطة الذراع، واليد، والإصبع. إلا أنّ هذه الطرائق لم تكن متطابقة، فقد امتلك كل شخص مفهومه الخاص عن مقدار طول الذراع. وخلال عدة قرون، طوّرت الحضارات وحدات القياس العامة لتسهيل التواصُل والمبادلات التجارية والتطوّر العلمي. وقد أطلِق على نظام القياس العام اسم **النظام الدولي للوحدات (SI) International System of Units**.

وحدات النظام الدولي الأساسية

يتألّف النظام الدولي للوحدات من سبع **وحدات أساسية Fundamental units**، تُشتقّ منها باقي الوحدات الأخرى. يعرض **الجدول 1-1** الوحدات الأساسية ورموزها والكمّيات التي تقيسها.

الجدول 1-1 الوحدات الأساسية والكمّيات الفيزيائية الأساسية في النظام الدولي للوحدات.

الوحدة الأساسية	رمز الوحدة	الكمّية الفيزيائية الأساسية	رمز الكمّية
الكيلوجرام kilogram	kg	الكتلة mass	m
المتر meter	m	الطول length	l
الثانية second	s	الزمن time	t
الأمبير ampere	A	شدّة التيار الكهربائي electric current intensity	I
الكلفن kelvin	K	درجة الحرارة temperature	T
الشمعة candela	cd	شدّة الإضاءة luminouse intensity	I_V
المول mole	mol	كمّية المادة amount of substance	n

وحدات النظام الدولي المُشتقّة

لا يتضمّن الجدول 1-1 جميع الكمّيات الفيزيائية. وتُعرف الكمّيات المتبقية باسم الكمّيات المُشتقّة. ويتمّ الحصول على **الوحدات المُشتقّة Derived units** باستخدام الوحدات الأساسية السبع.

من الامثلة على الكميات الفيزيائية المشتقة: السرعة والتسارع والقوة، وهي كميات تعتمد على كميات فيزيائية أساسية، سوف نتوصل من خلال الأمثلة التالية إلى وحدات هذه الكميات المشتقة، عن طريق اشتقاقها بالاعتماد على الوحدات الأساسية التي تعتمد عليها. وهناك الكثير من الوحدات المُشتقّة كوحدة نيوتن (N) التي تُعادل kgm/s^2، ووحدة الجول (J) المستخدمة للطاقة، والتي تُعادل kgm^2/s^2.

مثال 1

اشتقّ وحدة قياس السرعة، إذا علمت أن السرعة هي ناتج قسمة المسافة على الزمن.

المطلوب: وحدة قياس السرعة.

المُعطيات: السرعة = $\frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$ $\quad v = \frac{d}{t}$

الحل: وحدة قياس المسافة هي المتر (m)، وحدة قياس الزمن هي الثانية (s) بتطبيق العلاقة:

$$unit\ of\ (v) = \frac{unit\ of\ (d)}{unit\ of\ (t)} = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = \boxed{\mathrm{m/s}}$$

مثال 2

التسارُع كمّية مُشتقّة، وهي تغيُّر السرعة مقسومًا على زمن هذا التغيُّر. اشتقّ وحدة قياس التسارُع.

المطلوب: وحدة قياس التسارُع.

المُعطيات: التسارُع = $\frac{\text{التغير في السرعة}}{\text{الزمن}}$ $\quad a = \frac{\Delta v}{t}$

الحل: وحدة قياس السرعة هي متر/ ثانية (m/s)، وحدة قياس الزمن هي الثانية (s) بتطبيق العلاقة:

$$unit\ of\ (a) = \frac{unit\ of\ (v)}{unit\ of\ (t)} = \frac{\mathrm{m/s}}{\mathrm{s}} = \boxed{\mathrm{m/s^2}}$$

مثال 3

يَنُص قانون نيوتن الثاني على أنّ القوة هي حاصل ضرب الكتلة في التسارُع. ما وحدة القوة التي تجعل هذا القانون صحيحًا؟

المطلوب: وحدة القوة

المُعطيات: القوة = التسارُع × الكتلة $\quad F = m\,a$

الحل: لتحديد الوحدة نقوم بضرب وحدة التسارُع وهي المتر / الثانية تربيع $\mathrm{m/s^2}$ في وحدة الكتلة في النظام الدولي وهي الكيلو جرام kg.

$$unit\ of\ (F) = unit\ of\ (m) \times unit\ of\ (a) = (\mathrm{kg})\left(\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}\right) = \frac{\mathrm{kg \cdot m}}{\mathrm{s^2}} = \mathrm{kgm/s^2}$$

التعامُل مع الوحدات المُشتقّة

ترتبط العديد من الكمّيات، كالحجم والسرعة، بمجموعة من وحدات النظام الدولي (SI). ذلك أننا سنحتاج في حالات كثيرة إلى التعبير عن كمّية، كالحجم مثلاً، باستخدام وحدات مُختلفة. وتتيح العلاقات بين الوحدات المُشتقّة عمليّة التحويل من وحدة مُشتقّة إلى أخرى.

مثال 4

تتحرّك سيّارة بسرعة 80 km/h. ما سرعتها بوحدة m/s؟

المطلوب: تحويل 80 km/h إلى m/s

المعطيات: $v = 80\ \text{km/h}$

العلاقات: $1\ \text{km} = 1000\ \text{m}\ ,\ 1\ \text{h} = 3600\ \text{s}$

الحل: وحدة السرعة هي وحدة مُشتقّة تتضمّن وحدات أساسية للمسافة والزمن. لذلك سنقوم بإعادة ترتيب العلاقات بحيث نختصر الوحدات

$$\frac{80\ \cancel{\text{km}}}{1\ \cancel{\text{h}}}\left(\frac{1000\ \text{m}}{1\ \cancel{\text{km}}}\right)\left(\frac{1\ \cancel{\text{h}}}{3600\ \text{s}}\right) = \frac{80 \times 1000}{3600}\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = \boxed{22.2\ \text{m/s}}$$

مثال 5

يبلغ قُطر كرة القدم القانونية الرسمية 22 cm. جِدْ حجم الكُرة بوحدة المتر المُكعّب m^3، علمًا أنّ علاقة حجم الكُرة مُوضّحة في الشكل المُجاور.

$$V_{\text{الكرة}} = \frac{4\pi r^3}{3}$$

المطلوب: الحجم بوحدة m^3

المعطيات: $r = 22\ \text{cm}$

العلاقات: $1\ \text{m} = 100\ \text{cm}$ ، $V_{\text{الكرة}} = \frac{4\pi r^3}{3}$

الحل: وحدة الحجم وحدة مُشتقّة تتضمّن وحدات أساسية للمسافة المكعبّة. لذلك سنقوم بحساب الحجم بوحدة cm^3، ثمّ نقوم بتحويلها إلى وحدة m^3 بإعادة ترتيب العلاقات بحيث تُختصَر الوحدات، مع مُلاحظة أننا سنضرب بالعلاقة $1\ \text{m} = 100\ \text{cm}$ ثلاث مرّات لأننا سنحوّل من cm^3 إلى m^3.

$$V_{\text{كرة}} = \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{4\pi\ (11\ \text{cm})^3}{3} = 5575\ \text{cm}^3$$

$$\frac{5575\ \cancel{\text{cm}^3}}{1}\left(\frac{1\ \text{m}}{100\ \cancel{\text{cm}}}\right)\left(\frac{1\ \text{m}}{100\ \cancel{\text{cm}}}\right)\left(\frac{1\ \text{m}}{100\ \cancel{\text{cm}}}\right) = \frac{5575}{1{,}000{,}000}\ \text{m}^3 = \boxed{0.005575\ \text{m}^3}$$

الصيغة العلميّة

الصيغة العلميّة Scientific notation هي طريقة للتعبير عن رقم **كجزء عُشري Mantissa** مضروب في قوة من 10 (**المُعادلة 1-1**). تتجلّى فائدة هذه الطريقة عند كتابة قيَم بأعداد كبيرة أو صغيرة جدًا. والجُزء العُشري هو عدد عشري، أكبر من (أو يساوي) الواحد، لكنّه أقلّ من 10، حيث تكون القوى من 10 مثل:

$10^{-2} = 0.01$ ، $10^{-1} = 0.1$ ، $10^{0} = 1$ ، $10^{1} = 10$ $10^{2} = 100$ ... وهكذا.

وإذا أردنا مثلًا كتابة العدد 1500 في الصيغة العلميّة نكتبه على الشكل التالي: 1.5×10^{3}. يُمثّل العدد 1.5 الجزء العُشري، ويمثّل العدد 10^{3} القوّة من 10، أما العدد الصغير 3 المرفوع فيُمثّل **الأُسّ Exponent**. قد تبدو هذه الطريقة في الكتابة أنها تُصعّب الأمر أكثر مما تُفيد في عدد مثل 1500. لكنْ تخيَّل عددًا كبيرًا جدًا، كمقدار سرعة الضوء مثلًا، والذي يبلغ ثلاثمئة مليون والذي يُكتب بالصيغة المُمتدة 300,000,000 m/s. نستطيع بدلًا من ذلك أن نكتبه بالصيغة العلميّة على الشكل التالي: 3×10^{8} m/s، حيث تبدو كتابة الرقم أكثر سهولة ومن دون ارتكاب أيّ خطأ و يمكن كتابة أي رقم بالصيغة العلمية باستخدام العلاقة 1 - 1.

1-1	الصيغة العلميّة	N	الجُزء العُشري 1≤N<10
	العدد = $N \times 10^{n}$	n	الأُسّ n عدد صحيح (موجب أو سالب)

أمثلة

a) رقم أكبر من 1 (1500)

الأس

$$1500 = 1.5 \times 10^{3}$$

الجُزء العُشري

b) رقم أصغر من 1 (0.0015)

الأس

$$0.0015 = 1.5 \times 10^{-3}$$

الجُزء العُشري

إذا كان العدد أصغر من الواحد، فإنّنا لدى كتابته في الصيغة العلميّة نستخدم أسًّا بإشارة سالبة. كأن نكتب: العدد 0.001 على الشكل التالي: ($1 \div 1000 = 1 \div 10^{3} = 1 \times 10^{-3}$). لكن لا تعني الإشارة السالبة في أسّ العدد 10 أنّ ناتج الرقم سالب، ففي الصيغة العلميّة، يعني الأُسّ السالب أنّ القيمة هي أقلّ من واحد، حيث يمكن كتابة الكمّية 0.0025 m مثلًا، وفق الصيغة 2.5×10^{-3} m.

مثال 6

a. اكتب العدد 270,000,000 m في الصيغة العلميّة.

b. اكتب العدد 3.75×10^{13} في الصيغة الممتدة.

المطلوب: **a.** الصيغة العلميّة **b.** الصيغة الممتدة

المعطيات: العدد = 270,000,000 العدد = $3.75X10^{13}$

العلاقات: العدد = $N \times 10^{n}$

الحلّ: **a.** الجُزء العُشري هو 2.7.

للعودة إلى القيمة الحقيقية، يجب ضرب العدد 2.7 في المقدار 10^{8}. لذلك يكون 8 هو الأس، ويصبح الرقم 2.7×10^{8} m.

b. تُحرَّك الفاصلة 13 رتبة إلى اليمين لكتابة العدد بالصيغة الممتدة: $\boxed{37,500,000,000,000}$

مثال 7

يتكوّن ملح الطعام من حُبيبات مكعّبة الشكل. بحسب البنيّة البلّورية. احسب حجم حُبيبة ملح الطعام بوحدة m^3، علمًا أنّ طول حرف المُكعّب هو 0.2 mm. اكتب إجابتك وفق الصيغة العلميّة.

المطلوب: الحجم بوحدة m^3

المُعطيات: مُكعّب طول ضلعه 0.2 mm

العلاقات: $V = L^3$

الحل: نكتب 0.2 mm، بوحدة المتر وفق الصيغة العلميّة: $(L = 0.2\ mm = 2 \times 10^{-4}\ m)$، ثمّ نطبِّق علاقة الحجم.

$$V = L^3 = (2 \times 10^{-4}\ m)^3$$
$$= \boxed{8 \times 10^{-12}\ m^3}$$

مثال 8

يبلغ متوسّط نصف قُطر الأرض حوالي 6378 km. احسب طول محيط الأرض بوحدة m.

a. اكتب إجابتك بالصيغة المُمتدة.

b. اكتب إجابتك بالصيغة العلميّة.

المطلوب: المُحيط بوحدة m.

المُعطيات: نصف القُطر = 6378 km.

العلاقات: $C = 2\pi r$

الحلّ: نُحوّل نُصف القُطر إلى وحدة المتر: $6378\ km \times \frac{1000\ m}{1\ km} = 6,378,000\ m$

a. $C = 2\pi r = 2\pi\,(6378000) = \boxed{40,074,156\ m}$

b. لكتابة هذا المقدار في الصيغة العلميّة، نُلاحظ أنّ الجزء العُشري سيكون 4.0074 أقرب قُوّة من عشرة هي $10^7 = 10,000,000$، وبالتالي يكون:

$$\boxed{C = 4.0074 \times 10^7\ m}$$

البادئات

تُستخدم البادئة لسهولة التعبير عن الأرقام الكبيرة أو الأرقام الصغيرة، وذلك بإضافتها إلى الكمّية المراد التعبير عنها. حيث تكون بادئات النظام الدولي (SI) ممثّلةً بقوة من عشرة. فالطول الذي يبلغ ألفَيْ متر هو نفسه إذا كُتب بالصيغة العلميّة 2×10^3 m أو 2 كيلو متر (2 km)، حيث البادئة "كيلو" تعني "ألف" وتُختصَر باستخدام الرمز"k". يُوضّح **الجدولان 3-1** و **4-1** بعض البادئات الأساسية.

الجدول 3-1 قائمة البادئات لأعداد أكبر من 1.

أعداد أكبر من 1	البادئة في النظام الدولي (SI)
$1 \times 10^9 = 1{,}000{,}000{,}000$	جيجا (G)
$1 \times 10^6 = 1{,}000{,}000$	ميجا (M)
$1 \times 10^3 = 1000$	كيلو (k)
$1 \times 10^2 = 100$	هيكتو (h)
$1 \times 10^1 = 10$	ديكا (da)

الجدول 4-1 قائمة البادئات لأعداد أصغر من 1.

أعداد أصغر من 1	البادئة في النظام الدولي (SI)
$1 \times 10^{-1} = 0.1$	ديسي (d)
$1 \times 10^{-2} = 0.01$	سنتي (c)
$1 \times 10^{-3} = 0.001$	ملّي (m)
$1 \times 10^{-6} = 0.000001$	ميكرو (µ)
$1 \times 10^{-9} = 0.000000001$	نانو (n)
1×10^{-12}	بيكو (p)
1×10^{-15}	فيمتو (f)

مثال 9

يبلغ زمن الدورة المدارية لقمر المُشتري آيو 152,854 s، وزمن الدورة المدارية لقمر المُشتري جانيميد 7.1546 day.

a. اكتب مقدار زمن الدورة المدارية للقمر جانيميد بوحدة الثواني مُستخدمًا بادئة مُناسبة.

b. أي القمرَين له زمن دوري أكبر؟

المطلوب: زمن الدوران المداري الأطول.

المُعطيات: زمن الدورة المدارية للقمر آيو = 152,854 s.

زمن الدورة المدارية للقمر جانيميد = 7.1546 day.

العلاقات: اليوم = $24 \times 60 \times 60 = 86400$ s

الحلّ:

$$\frac{7.1546\ \cancel{\text{day}}}{1}\left(\frac{86400\ \text{s}}{1\ \cancel{\text{day}}}\right) = \frac{7.1546 \times 86400}{1}\ \text{s} = 618{,}157\ \text{s}$$

يمكن كتابة المقدار في الصيغة العلميّة وفق الشكل 6.18×10^5 s.

وللتعبير عن العدد باستخدام البادئة فإنَّ بإمكاننا تحريك الفاصلة رتبة واحدة إلى اليسار.

$\boxed{0.618\ \text{Ms}}$

للقمر جانيميد زمن دوران مداري أطول لأنّ 152,854 s > 618,157 s.

نشاط 1-1 استخدام النظام الدولي للوحدات (SI)

سؤال الاستقصاء	ما أهمّية استخدام البادئة المناسبة؟
الموادّ المطلوبة	مسطرة بطول 30 cm، عصا متريّة، مقياس الكتلة الرقمي (الميزان)، أجسام مُختلفة من الصف.

خطوات التجربة

الشكل 1-3 أدوات القياس.

1. قُم بإجراء المهام الآتية في مجموعات، ثمّ اكتب القياسات في الجدول المُدرَج في ورقة العمل.
2. قِس طول كفّ يدك مُستخدمًا المسطرة، اكتب مقدار القياس بوحدة cm.
3. حوّل القياس السابق إلى وحدات المتر، والكيلومتر، والملّيمتر، والميكرومتر.
4. قِس عرض الطاولة مُستخدمًا العصا المتريّة، ثمّ اكتب مقدار القياس بوحدة المتر.
5. حوّل القياس السابق إلى وحدات السنتيمتر، والكيلومتر، والملّيمتر، والميكرومتر.
6. قِس كتلة محفظة الأقلام مستخدمًا الميزان واكتب المقدار بوحدة الجرام.
7. حوّل القياس السابق إلى وحدتَيْ الكيلوجرام، والملّيجرام.
8. قِس كتلة حقيبتك المدرسيّة مُستخدمًا الميزان واكتب المقدار بوحدة الجرام.
9. حوّل القياس السابق إلى وحدتَيْ الكيلوجرام، والملّيجرام.

أسئلة

a. حدّد الوحدة المناسبة في كل قياس أجريته. اشرح اختيارك.

b. ما الوحدة التي تبدو غير مناسبة في كل قياس أجريته؟ اشرح إجابتك.

c. ما الأعداد التي تجعل فهم طول أو كتلة الجسم صعبًا؟

d. متى تُستخدم بادئات الميجا، والجيجا، و النانو؟ هل يمكنك إعطاء مثال من الحياة اليوميّة؟

تقويم الدرس 1-1

اختر الاجابة الصحيحة للاسئلة من 1-2.

1. إذا كانت سرعة الضوء 299,792,458 m/s، فما التقريب الأفضل لها وفق الصيغة العلمية؟

a. 3.00×10^{-8} m/s

b. 3×10^{-9} m/s

c. 3×10^{8} m/s

d. 3.00×10^{9} m/s

2. أيٌّ من الآتي نعبّر عن قياسه باستخدام وحدة مُشتقّة؟

a. طول الباب

b. مساحة الغرفة

c. درجة حرارة الغُرفة

d. شدّة إضاءة المصباح

3. تبلغ سرعة عربة مُختبر 12 m/s. ما سرعة العربة بوحدة (km/h)؟

4. يُعرّف الضغط بأنّه ناتج قسمة القوة على المساحة: $P = \frac{F}{A}$.
اشتق وحدة قياس الضغط اعتمادًا على الوحدات الأساسية.

5. أعطِ ثلاثة أمثلة على وحدات أساسية، وثلاثة أخرى على وحدات مُشتقّة.

6. هل اللتر وحدة مُشتقّة أم وحدة أساسية؟ اشرح إجابتك.

7. أيُّهما أطول، 1.23 mm أم 2.34×10^{5} μm.

8. كم سيكون الأُسّ، إذا كُتب العدد 0.000625 في الصيغة العلميّة.

9. قَاسَ عالِم كتل خمسة أجسام مُعيّنة. اكتب هذه القياسات مُستخدمًا الصيغة العلميّة:
450,000 g، 0.00089 g ، 98.34 g ، 2340 g ، 0.0925 g.

10. اكتب المقدار 250 mg بوحدة الكيلوجرام.

11. اكتب المقدار 4250 nm بوحدة المتر.

12. اكتب المقدار 0.00036 m بوحدة الملّيمتر.

الدرس 2-1

القياسات

Measurements

يقول عالم فلك أنّ مجرّة درب التبانة تضمّ 200 مليار نجم، ما دقّة هذا العدد برأيك؟ هل قام العالِم بِعَدّ جميع نجوم المجرّة؟ يُقدّر أحد مواقع الإنترنت التعداد السُكّاني في العالم بنحو 6,840,507,003 نسمة. ما مدى دقّة هذا العدد؟

من أبرز الأخطاء الشائعة في العلم، الظنّ بأنّه يُقدّم إجابات كميّة دقيقة. لكنّ الأمر ليس كذلك، إلا في بعض الحالات النادرة. حتى إنّ أفضل المُعادلات لا يمكنها أن تُعطي إلّا إجابات "جيّدة بما يكفي"، فتكون القياسات غير المباشرة أو القيم التقديرية أفضل إجابة ممكنة.

الشكل 4-1 صورة مجرة حلزونية.

مخرجات التّعلُّم

P1002.1 يوضح كيفية الحصول على قياسات دقيقة ومضبوطة في المهمات العملية.

P1002.2 يحسب هامش الخطأ المطلق في النتائج التجريبية بأساليب مختلفة، بما في ذلك الحد الأقصى والحد الأدنى لميل الخط المستقيم في الرسم البياني.

المفردات

Resolution	دقّة الوضوح
Precision	الدقّة
Accuracy	الضبط
Systematic error	الخطأ المُنتظم
Random error	الخطأ العشوائي
Average	المتوسِّط
Absolute uncertainty	هامش الخطأ المُطلق

اختيار الأداة المناسبة

قد تستخدم عدة أدوات مختلفة لأداء نفس المهمة، كأن يُستخدم المقصّ أو قطّاعة الورق في قصّ الورق. لكن عندما يتعلّق الأمر بالقياسات، فإنّ استخدام أدوات مختلفة لقياس نفس الكمّية، ينتج أخطاء متعدّدة، وكل أداة يكون لها مدى مختلف من القياس.

الشكل 1-5 الأدوات المُستخدمة لقياس الزمن والطول والكتلة.

قياس الأطوال

يقاس طول الجسم باستخدام أدوات مُتعدّدة (**الشكل 1-5**)، لكنَّ لا بدّ من اختيار أداة تناسب مدى الأطوال والدقّة المطلوبة. فالمسطرة الصغيرة والعصا المترية والميكروميتر والقدمة ذات الورنية جميعها أدوات تقيس الأطوال أو المسافات. وبالرغم من ذلك، فإنّ الأداة الأنسب لقياس طول طاولة هي العصا المترية. أما الشريط المتري فهو مناسب لقياس أبعاد ملعب كرة قدم. وبالمقابل تُستخدَم المسطرة الصغيرة لقياس أطوال الأجسام الأصغر من طول الطاولة. ويمكن قياس الأبعاد الصغيرة جدًّا باستخدام القدمة ذات الورنية أو الميكروميتر، إذ تُستخدم القدمة ذات الورنية في قياس أقطار الأجسام الدائرية الصغيرة، كالأنابيب مثلًا. ويُستخدم الميكروميتر في قياس قُطر سلك أو سُمك ورقة.

قياس الكتل

ويمكننا قياس الكتلة باستخدام مقياس الكتلة الرقمي، أو الميزان ثلاثي الأذرع، أو ميزان الحمّام. يُوضّح الشكل 1-5 بعضًا من تلك الأدوات. ومن المهم لاختيار الأداة المُناسبة معرفة إن كانت كتلة الجسم المُراد قياسها تقع ضمن مدى الأداة. مقياس الكتلة الرقمي المستخدم في المختبرات يقيس عادةً كمّيات لا تتجاوز كتلتها 500 g. أما ميزان الحمّام فمُناسب لقياس كتلة الإنسان، لأنّه يستطيع قياس كتلة تصل إلى 300 kg.

جد مدى الكتلة التي يُمكن قياسها باستخدام مقاييس الكتلة المتوفّرة في مختبر مدرستك.

قياس الزمن

تُعدّ الثانية وحدة قياس أساسيّة للزمن في النظام الدولي. تحتوي الدقيقة على 60 ثانية، وتحتوي الساعة على 3,600 ثانية، ويحتوي اليوم على 86,400 ثانية.

تشتمل مسائل الفيزياء عادةً على الفترات الزمنيّة، فالفترة الزمنية هي كمّية من الزمن، مثل 10 ثوانٍ أو 3 ساعات. ولقياسها نستخدم ساعة الإيقاف (**الشكل 1-6a**). تُستخدم ساعة الإيقاف اليدوية مؤشّرات دوّارة بمقياس مُنفصل للساعات والدقائق والثواني. أما ساعة الإيقاف الرقمية(**الشكل 1-6b**)فتعرض الساعات والدقائق والثواني وفق الصيغة الآتية: HH:MM:SS.SS.

الشكل 1-6 كيفيّة قراءة ساعة الايقاف اليدوية a ، ساعة الايقاف الرقمية b .

يُعبّر عن الزمن عادةً بعدد من الوحدات المختلفة، معًا كالساعات، والدقائق، والثواني. على سبيل المثال تستغرق سيّارة في سباق دقيقتَين و 57.94 ثانية لقطع مسافة السباق، فإذا أردنا حساب الزمن في هذه الحالة، لن نستطيع، لأن هذه الفترة الزمنية تم التعبير عنها باستخدام وحدتَين معًا (الدقائق والثواني). لذلك وقبل إجراء أي حساب فيزيائي، يجب التعبير عن الزمن بتحويل الوحدات المتنوّعة إلى وحدة واحدة فقط، وتكون هذه الوحدة عادة هي الثانية.

مثال 10

تستغرق سيّارة في سباقٍ 3 ساعات، و 10 دقائق، و 37.1 ثانية، لتقطع مسافة 500 km. ما الفترة الزمنية للسباق بوحدة الثانية؟

المطلوب: الزمن بوحدة الثانية.

العلاقات: $1\ h = 3600\ s,\ 1\ min = 60\ s$.

الحل: لكتابة الفترة الزمنية بوحدة الثانية نحوّل كل كمّية زمنية إلى وحدة الثانية، ثمّ نجمع الكمّيات معًا.

$$\frac{3\ \cancel{h}}{1}\left(\frac{3600\ s}{1\ \cancel{h}}\right) + \frac{10\ \cancel{min}}{1}\left(\frac{60\ s}{1\ \cancel{min}}\right) + 37.1\ s = 10800\ s + 600\ s + 37.1\ s$$
$$= \boxed{11437.1\ s}$$

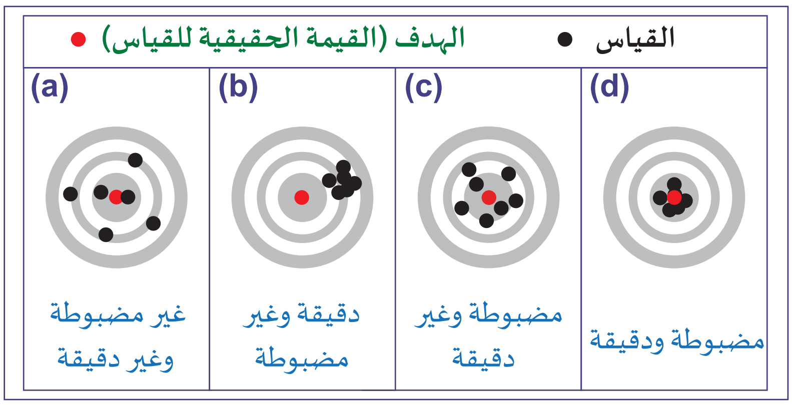
القياس وهامش الخطأ

نهدف من القياس إيجاد القيمة الحقيقية لكمّية ما، مثل كتلة جسم وحجمه. وعلى الرغم من ذلك، فإنّ إجراء قياس دقيق لقيمة متغيّر مُستمر أمر مُستحيل. تكون القيَم الفعليّة مُمكنة عند عَدّ الأشياء، مثل 311 شخصًا أو 312 شخصًا. أما في عمليات القياس، فقد يكون هناك اختلاف بين القيمة المقيسة والقيمة الحقيقية، سواء كان ذلك بالزيادة او النقصان (+/-) وهو ما نُسمّيه بهامش الخطأ.

يتمّ إجراء القياسات بواسطة الأجهزة، لكن ليس هناك جهاز مثالي. ينتج هامش الخطأ لأي قياس عن عدّة عوامل، هي:

- **دقّة الوضوح Resolution**، يُمثّلها أصغر تدريج يظهر على أداة القياس. فمثلاً يتضمّن مقياس الكتلة الرقمي عادة دقّة وضوح (أصغر تدريج) مقدارها 0.1 g.
- **الضبط Accuracy** مدى قرب القيَم المقيسة من القيمة الحقيقية. فالمسطرة التي تمدّد أو انكمش طولها سيكون ضبطها ضعيفًا.
- **الدقّة Precision** تصف مدى تقارُب نتائج القياس من بعضها بغضّ النظر عن قربها أو بُعدها عن القيمة الحقيقية.

يُوضّح **الشكل 1-7** دقّة القياس وضبط أداة القياس بعرض مثال للتصويب في الرماية، حيث يوجد الهدف (البقعة الحمراء) والذي يمثل القيمة الحقيقية للكمّية المقيسة في مركز اللوحة. بينما تنتشر الرميات (البقع السوداء) التي تمثل القياسات المختلفة في باقي اللوحة وبتوزيعات مختلفة.

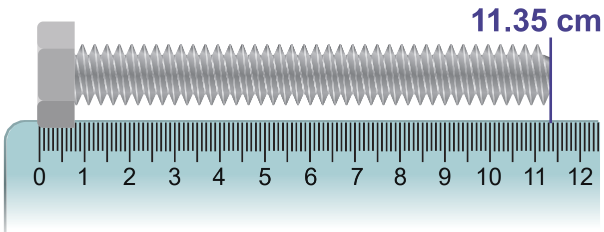


الشكل 1-7 دقّة القياسات وضبط أداة القياس وأثرهما على نتائج القياس.

- المحاولة a تتّصف بعدم الدقّة وعدم الضبط؛ ذلك أنّ الرميات غير دقيقة لعدم تقاربُها، إضافة إلى أنّ أداة القياس غير مضبوطة حيث جاءت معظم الرميات بعيدة عن الهدف.
- المحاولة b تتّصف بالدقّة وعدم الضبط؛ ذلك أنّ الرميات دقيقة لتقاربها، لكن أداة القياس غير مضبوطة لأن الرميات جاءت بعيدة عن الهدف.
- تتّصف المحاولة c بالضبط وعدم الدقّة. ذلك أنّ توزّع الرميات حول الهدف يؤشّر على أنّها مضبوطة، لكنّ بُعدها عن بعضها البعض يدلّ على أنها غير دقيقة.
- المحاولة d تتّصف بالدقة والضبط؛ ذلك أنّ الرميات دقيقة لتقاربُها، إضافة إلى أنّ أداة القياس مضبوطة حيث جاءت الرميات جميعها قريبة من الهدف.

القياس وهامش الخطأ

تُمثّل القياسات جميعها قيَمًا تقريبية للقيمة الحقيقية بزيادة أو نقصان كمّية من هامش الخطأ.



الشكل 1-8 تقدير القياس بناءً على أصغر تدريج.

انظر جيّدًا إلى المسطرة المُوضّحة في **الشكل 1-8**. عندما نُجري القياس باستخدام هذه المسطرة، يمكننا أن نؤكّد أنَّ طول المسمار أكثر من 11.3 cm وأقلّ من 11.4 cm. وبالتالي، فإنّنا نُقدّر أن تكون القيمة الحقيقية 11.35 cm تقريبًا وبهامش خطأ $\frac{0.1}{2} = 0.05$ cm. لذلك نعتبر أنّ ±0.05 cm هو **هامش الخطأ المُطلق Absolute uncertainty**. وبالتالي نكتب القياس الكامل مع هامش الخطأ (11.35 ± 0.05) cm.

- **الأدوات اليدويّة Analog instruments**: يساوي هامش الخطأ المُطلق لأداة قياس يدويّة نصف أقلّ تدريج في الأداة، ويظهر على شكل زيادة أو نقصان.
- **الأدوات الرقمية Digital instruments**: يكون هامش الخطأ المُطلق لأداة قياس رقميّة، مساويًا في العادة للزيادة والنقصان لنصف أصغر وحدة يمكن أن تُظهرها.

مثال 11

يُوضّح **الشكل 9-1** قياس كتلة بواسطة الميزان الرقمي.

المطلوب: **a.** ما مقدار دقّة الوضوح للميزان؟

b. ما هامش الخطأ المُطلق للقياس؟

c. ما مدى الكتلة الحقيقي الذي تُظهره نتيجة القياس المبيّنة؟

المعطيات $m = 100\ g$

العلاقات: هامش الخطأ يساوي نصف أصغر قراءة

الحل: **a.** مقدار دقّة الوضوح هو 1 جرام، لأنّه أقلّ تدريج يمكن أن يعرضه الميزان.

b. هامش الخطأ المُطلق هو $\pm 0.5\ g$.

c. مدى الكتلة الحقيقي التي تعطها النتيجة المبيّنة في الشكل يتراوح بين $99.5\ g$ و $100.5\ g$.

الشكل 9-1 قياس كتلة بواسطة الميزان الرقمي.

مثال 12

يُوضّح **الشكل 10-1** قياسًا للزمن بواسطة ساعة إيقاف يدويّة. يقرأ المؤشِّر الكبير الثواني وجزءًا من خمسة أجزاء من الثانية، حيث دقة الوضوح (أصغر تدريج) لهذه الساعة هي (0.2 s). أما المؤشِّر الصغير فيقرأ الدقائق. ويكون الزمن هو مجموع الدقائق والثواني.

المطلوب: **a.** ما الزمن المقاس؟

b. ما هامش الخطأ المُطلق للقياس؟

c. ما مدى الأزمنة التي ستعطيها النتيجة المُبيّنة؟

المعطيات الشكل

العلاقات: هامش الخطأ المطلق يساوي نصف أصغر تدريج

الشكل 10-1 ساعة إيقاف يدويّة.

الحل: **a.** يُظهر المؤشّر الصغير أكثر من 3 دقائق وأقلّ من 4 دقائق، لذلك سيتراوح الزمن بين 3 و 4 دقائق. أما المؤشِّر الكبير، فيُظهر قراءة تقع بين (50.2 s)، و (50 s) لذلك نعتبرها (50.1 s) يكون القياس 3 دقائق و 50.1 s .

b. أصغر تدريج هو 0.2 s ، $\frac{1}{5} \times \frac{1}{2} = 0.1$

هامش الخطأ المُطلق هو $\pm 0.1\ s$

c. سوف تكون الأزمنة بين 3 min 50.2 s و 3 min 50.0 s نتيجة لموضع عقارب الساعة، والتي تكون نفسها تقريبًا، كما هو مبيّن.

تقليل هامش الخطأ

هناك نوعان أساسيان من الأخطاء التي تحدث في القياس، هما:

- **الخطأ المُنتظم Systematic error**، ويحدث بسبب الأدوات المُستخدمة في القياس والتي لا تكون دقيقة، كاستخدام شريط قياس مُتمدّد أو ميزان ليس مضبوطًا على الصفر بشكل صحيح. حيث تؤثّر الأخطاء المُنتظمة على نتيجة القياس بالاتجاه نفسه. فالشريط المُتمدّد سيُعطي قراءة لمقدار المسافة أقلّ دائمًا من مقدار المسافة الفعليّة.
- **الخطأ العشوائي Random error**، ويحدث بسبب عوامل عديدة. وقد يجعل نتيجة أي عملية قياس أكبر من القيمة الفعلية، أو أصغر منها. فكلما كانت الدقّة عالية، كان الخطأ العشوائي أقلّ. فحركات الهواء الصغيرة واهتزازات الطاولة تسبّب أخطاءً عشوائية أكبر من 0.001 g في قراءة ميزان حسّاس.

يمكن في العادة تقليل هامش الخطأ الناتج عن الخطأ المُنتظم من خلال إجراء معايرة للأداة. حيث يتم في المُعايرة ضبط الأداة على قيمة معلومة. ومن أبسط الأمثلة على ذلك ضبط الميزان الرقمي على الصفر عندما لا توضع أي كتلة عليه.

ويمكننا التقليل من تأثير الخطأ العشوائي، باعتماد **المتوسط الحسابي Average** لعدد من القياسات. فإذا أجرينا عددًا من القياسات للكميّة نفسها، آخذين في الحسبان أنّ كلّ قياس منها قد يكون بزيادة أو نُقصان عن القيمة الحقيقية، فإنّ أي زيادة وأي نقصان سوف تُلغي بعضها بشكل جزئي، فيكون بذلك المتوسّط أفضل تقدير للقيمة الحقيقية من أي قياس منفرد. إذ نحصل على تقدير سريع لهامش الخطأ بإيجاد الفرق بين كلاً من القيم الكبيرة والقيَم الصغيرة والمتوسّط.

المتوسط الحسابي هو أفضل تقدير للقيمة الحقيقية.

هامش الخطأ التقديري يساوي الفرق بين المتوسط الحسابي للقيم المقيسة وكل من أكبر قيمة وأصغر قيمة للقياس.

مثال 13

أجرى مجموعة من الطلاب تجربة لقياس كتلة قطعة من الفضة، فقاس الطالب الأول قياسًا منفردًا، كما في **(الشكل 11-1 a)** حصل خلاله على النتيجة 9.991 g ، ثم قرر الطلاب تكرار عملية القياس عدة مرات وتسجيل النتائج في الجدول المبين في **(الشكل 11-1 b)**. علمًا أن القيمة الحقيقية للكتلة 10.000 g

(a) قدر هامش الخطأ بواسطة المتوسط الحسابي. ، (b) بين أي الطريقتين أفضل في تقدير القيمة الحقيقية.

المطلوب: (a) المتوسط الحسابي ثم هامش الخطأ التقديري، (b) الطريقة الأفضل لتقدير القيمة الحقيقية.

المعطيات: القياسات الظاهرة في الشكل **11-1**

العلاقات: المتوسط الحسابي يساوي مجموع القياسات مقسومًا على عددها.

الحل:

.a $m_{ave} = \dfrac{\Sigma m}{n}$

$$m_{ave} = \frac{9.991+10.006+9.998+10.008+10.003+9.997+9.997+10.005}{8}$$

المتوسط الحسابي $m_{ave} = 10.0006$ g

ايجاد انحراف اكبر قيمة واصغر قيمة عن المتوسط الحسابي $|10.008 - 10.0006| = 0.0074$

$|9.997 - 10.0006| = 0.0096$

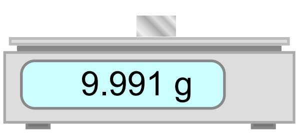
هامش الخطأ التقديري يساوي الانحراف الأكبر عن المتوسط الحسابي وهو:

$\Delta m = 0.0096 \approx 0.010$

$\Delta m = \pm 0.010$ g

.b نلاحظ أن المتوسط أكثر دقة من القياس الانفرادي، لأن الأخطاء العشوائية في الاتجاهين تُلغي بعضها عند حساب المتوسط، وتكون النتيجة أقرب للقيمة الحقيقية.

a قياس واحد

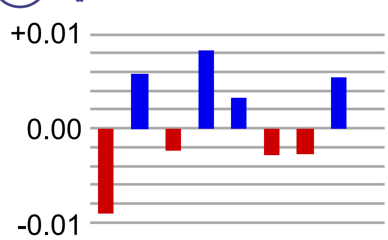


b 8 قياسات

9.991 g	10.003 g
10.006 g	9.997 g
9.998 g	9.997 g
10.008 g	10.005 g

المتوسّط = 10.0006 g

c الخطأ العشوائي



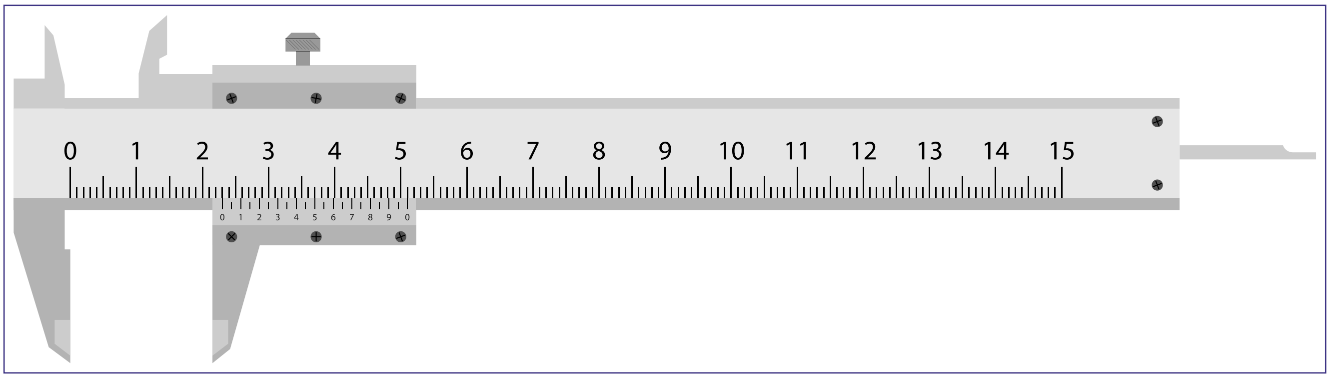
الشكل 11-1 مثال على أخذ المتوسّط لعدّة قياسات.

قياسُ الأبعادِ الصغيرة

تعرّفت إلى طريقة قراءة بعض أدوات القياس كالميزان والمسطرة، لكن هناك أبعادًا صغيرة قد تكون بضعة ملّيمترات أو أقلّ من ملّيمتر واحد، كسمْك ورقة أو قطر سلك رفيع جدًّا، إذ لا يمكن قياسها باستخدام المسطرة. تُستخدم أدوات خاصّة لقياسها، منها القدمة ذات الورنية والميكروميتر.

القدمةُ ذات الورنية Vernier caliper: أداة تستخدم لقياس الأبعاد الصغيرة، تحتوي على تدريجَين: أحدهما ثابت والثاني متحرّك. تبلغ المسافة بين علامتَين في التدريج الثابت 1 mm، بينما يزوّدنا التدريج المُتحرّك بأجزاء الملّيمتر، حيث تبلغ المسافة بين كل علامتَين 0.1 mm. لذلك يكون مقدار هامش الخطأ في قراءة القدمة ذات الورنيّة هو ± 0.05 mm، يظهر على شكل زيادة أو نقصان بمقدار يساوي ± 0.05 mm.

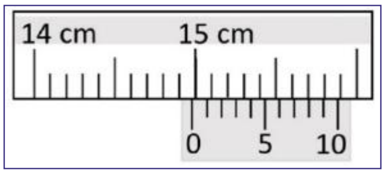
تُستخدَم القدمة ذات الورنية لقياسات مختلفة مثل: قياس الأقطار الخارجية والداخلية للأنابيب، وقياس الطول والسمْك والعمق. يوضّح المثال الآتي طريقة قراءة القياس في القدمة ذات الورنية.



الشكل 1-12 أداة القدمة ذات الورنية.

مثال 14

يوضّح **الشكل 1-13** المجاور تدريج القدمة ذات الورنية، الذي يظهر عليه قياس قطر أنبوب صغير. اقرأ القياس، ثم حدّد مجال القياسات التي يتضمّنها هامش الخطأ في القدمة ذات الورنية.



الشكل 1-13 القياس باستخدام القدمة ذات الورنية

المطلوب: قراءة القياس، وإيجاد مدى القياسات التي تقع ضمن هامش الخطأ.

المُعطيات: الشكل 1 - 13.

الحلّ: نلاحظ في الشكل المجاور أن قراءةَ التدريجِ الثابتِ تساوي (14.9 cm = 149 mm)، وقراءةَ التدريجِ المتحرّكِ تساوي 0.8 mm، لأن التدريجَ المتحرّكَ الثامن فقط مطابقٌ لتدريجٍ ثابتٍ مقابل له؛ بذلك تكونُ قراءةُ القدمة ذات الورنية، هي:

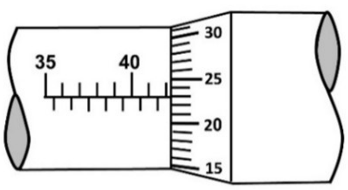
$$149 \text{ mm} + 0.8 \text{ mm} = 149.8 \text{ mm}$$

وبما أنّ أصغر تدريج في القدمة ذات الورنية هو 0.1 mm فإن هامش الخطأ فيها يساوي ±0.05 mm، وبذلك يكون مدى المسافة الذي تعبّر عنه القراءة هو من 149.75 mm إلى 149.85 mm.

الميكروميتر Micrometer: أداة أكثر دقّة من القدمة ذات الورنية، وهو يُستخدم لقياسِ الأبعادِ الصغيرةِ أيضًا، ويحتوي على تدريجَين أحدهُما ثابتٌ وأقلُّ تدريج فيه 0.5 mm، والثاني مُتحركٌ على قرص ومُدرّجٌ 50 درجةً، تبلغ المسافة بين كل علامتَين 0.01 mm ويبلغ هامشَ الخطأ في الميكروميتر 0.005 mm ±. تستخدم هذه الأداة لقياس الأطوال والأقطار الصغيرة جدًّا.

الشكل 14-1 أداة الميكروميتر.

مثال 15



الشكل 15-1 القياس باستخدام الميكروميتر.

يوضّح **الشكل 15-1** تدريج أداة الميكروميتر، الذي يظهر عليه قياس سمْك قطعة من الفولاذ. اقرأ القياس، ثم حدّد مجال القياسات التي يتضمّنها هامش الخطأ في الميكروميتر.

المطلوب: قراءة القياس، وإيجاد مدى القياسات التي تقع ضمن هامش الخطأ.

المُعطيات: الشكل 15-1 .

الحلّ: نلاحظ في الشكل المجاور أن قراءةَ التدريجِ الثابتِ تساوي 42 mm، والقراءةَ المتحركةَ على القرصِ تساوي (23). تكونُ القراءة الكلّية الميكروميتر:

$$42\ \text{mm} + 0.23\ \text{mm} = 42.23\ \text{mm}$$

وبما أنّ أصغر تدريج في الميكروميتر يبلغ 0.01 mm فإن هامش الخطأ فيه يساوي 0.005 mm ±

وبذلك يكون مدى المسافة الذي تُعبّر عنه القراءة هو من 42.225 mm إلى 42.235 mm.

نشاط 1-2 اجراء القياسات

سؤال الاستقصاء	كيف يمكننا إدراج هامش الخطأ عند إجراء قياسات بسيطة؟
الموادّ المطلوبة	القدمة ذات الورنية، الميكروميتر، سلك رفيع، كرات فولاذية تتراوح أطوال أقطارها بين 5 mm و 20 mm، مسطرة، كتل 10 g، و 20 g، و 30 g ، نابض، ساعة إيقاف.

خطوات التجربة I

1. قِسْ قُطر الكُرة، ضعها على الورقة، ثمّ حدّد على الورقة باستخدام القلم الحافتَيْن المتقابلتَين للكرة بأفضل تقدير مُمكن. استخدم المسطرة لقياس قُطر الكرة بين علامتَي التحديد سجّل هامش خطأ القياس.
2. قِس الآن قُطر الكرة باستخدام القدمة ذات الورنية. سجّل هامش خطأ القياس.
3. كرّر كل طريقة من طريقتَي القياس مرتَين، ثمّ سجّل نتائجك في الجدول.

خطوات التجربة II

1. قِس سُمْك السلك مُستخدمًا المسطرة. يمكن إنجاز ذلك بِطَيّ السلك أكثر من مرّة وقياس عرض الحزمة، ثمّ قسمة العرض على عدد أسلاك الحُزمة التي قُمت بقياس سمكها. سجّل هوامش أخطاء القياس.
2. قِس الآن سُمْك السلك بواسطة الميكروميتر. سجّل هامش خطأ القياس.
3. كرّر كل طريقة من طريقتَي القياس مرّتَين، ثمّ سجّل نتائجك في الجدول.

خطوات التجربة III

1. علّق كتلة 10 g باستخدام نابض رأسي. اسحب الكتلة إلى الأسفل بمقدار 2 cm ثمّ أطلقها لتهتزّ. قِس الزمن الدوري لاهتزازة واحدة. ثمّ قِس زمن عدة اهتزازات وقسّمها على عدد الاهتزازات لتحصل على الزمن الدوري.
2. سجّل هوامش خطأ القياس.
3. كرّر التجربة باستخدام كلّ من الكتلتَين 20 g و 30 g.
4. ارسم مُخطّطًا بيانيًا يمثّل العلاقة بين الكتلة والزمن الدوري. يجب أن يشتمل مُخطّطك على أعمدة الخطأ.
5. ارسم أفضل خط مَيل عن طريق رسم خطَّي الحدّ الأعلى والحدّ الأدنى للمَيل.

تقويم الدرس 2-1

1. بيّن دقة الوضوح في الأدوات التي اظهرت القياسات التالية:
.25.8 s ، 8.125 N ، 216 m ، 24 m/s ، 15.11 g

2. ما الأداة المناسبة لقياس الأطوال الآتية:

a. سُمْك كتاب.

b. سُمْك ورقة.

c. كتلة خاتم من المجوهرات.

3. قام ثلاثة طلاب بقياس كتلة مُكعّب مصنوع من الرصاص كتلته الحقيقية 12 g، فحصلوا على البيانات المبيّنة في الجدول المجاور. صِفْ كلًّا من دقّة وضبط القياسات التي أجراها كل طالب.

	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3
الطالب 1	6.9 g	7.2 g	7.0 g
الطالب 2	8.0 g	11.5 g	5.0 g
الطالب 3	12.2 g	11.8 g	12.0 g

4. أي الجملتَين الآتيتَين تُعبّر عن نتيجة أكثر قربًا من القيمة الحقيقية عند إيجاد المتوسّط؟ اشرح إجابتك.

a. دقّة عالية وضبط مُنخفض.

b. دقّة مُنخفضة وضبط عالٍ.

5. يعرض الجدول المُقابل ستّة قياسات للقيمة نفسها في ستّة اختبارات.

الزمن المقيس	
102 s	105 s
105 s	99 s
93 s	96 s

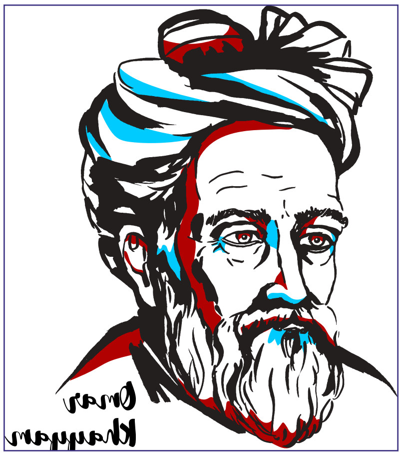
a. ما المتوسّط مقرّبًا إلى أقرب 0.1 s؟

b. بافتراض أنّ المتوسّط هو القيمة الحقيقية. قدّر هامش الخطأ في المتوسّط مُقربًا إلى أقرب 0.1 s.

6. ما الفرق بين الخطأ المُنتظم والخطأ العشوائي؟

ضوء على العلماء

عمر الخيّام: 1131-1048



الشكل 1-16 صورة مرسومة للعالِم عُمر الخيّام.

عُمر الخيّام عالم رياضيات وفلك، وفيلسوف، وشاعر مُسلم. لمع اسمه بفضل الإسهامات الكثيرة التي قدّمها في المجالات المُختلفة: في أوائل سبعينات القرن العاشر الميلادي، قام بحساب مُدّة السنة الشمسية بدقّة تصل حتى 10 مراتب عَشريّة. فقد كان حسابًا مُدهشًا، وكان الأكثر دقّة في تحديد مُدّة السنة في التقويم الميلادي حتى العام 1582.

وُلِدَ عُمر الخيّام عام 1048، في مدينة نيسابور الواقعة شمال بلاد فارس. لاحظ مُعلّمه في السنوات الأولى من تعليمه قُدُراتِه الاستثنائية، فأرسله إلى أحد أعظم المُعلّمين في المنطقة، الإمام مُوفَّق النيسابوري. وقد تعلّم الخيّام على يدَيْ عالم الرياضيات أبي الحسن بهمنيار ابن المرزبان الأذربيجاني.

وبمُساعدة معلّميه، درس عُمر الخيّام العلوم، والفلسفة، والرياضيات، وعلم الفلك. بدأ في سِن العشرين بالعمل مستشارًا للسلطان في سمرقند، فأنهى أحد أشهر أعماله "مسائل في شرح مشاكل الجبر والاتزان". وفي فترة 1075 – 1074، تلقّى الخيّام دعوة إلى مدينة أصفهان الفارسية من سلطانها لإعداد تقويم شمسي دقيق يعمل بشكل ثابت إلى الأبد. علمًا أنّ التقاويم كانت حتى ذلك الوقت تُبدّل كل عام.

كانت نتائج الحسابات التي أجراها عمر الخيام لعدد أيام السنة الميلاديّة تُساوي 365.2422 يومًا، في حين أن ما نعرفه اليوم عن عدد أيام السنة الواحدة أنّه 365.242189. كما سمحت حسابات الخيّام بإضافة سنة كبيسة كل أربع سنوات.

لا تزال إسهامات عمر الخيّام في المجالات المُختلفة تحظى بالعرفان في جميع أنحاء العالم، ولا يزال الفلاسفة حتى اليوم يناقشون جوانب مهمّة من حياته، ويحلّلون شعره. توفّي عمر الخيّام عن عُمرٍ يُناهز 83 عامًا. واحترامًا لأمنيَّته، فقد وُضع قبره في حديقة حيث قال "سيكون قبري في موضع تُنتثر الأزهار عليه كلّما هبّت رياح الشمال".

الوحدة 1

مراجعة الوحدة

الدرس 1-1: النظام الدولي للوحدات (SI)

- طُوِّر **النظام الدولي للوحدات (SI) International System of Units** ليضع معيارًا موحّدًا للاستخدامات التجاريّة والصناعية.
- هناك سبع **وحدات أساسية Fundamental Units** في النظام الدولي للوحدات (SI).
- تُستخرَج **الوحدات المُشتقّة Derived Units** من الوحدات الأساسية.
- **الصيغة العلميّة Scientafic notaion** التعبير عن المقدار برقم عُشري يكون أكبر أو يساوي الواحد وأصغر من 10، مضروب في قوة من الرقم (10).
- يُستخدم **الأُسّ Exponent** لتحويل أيّ عدد كبير أو صغير إلى الصيغة العلميّة. يدُلّ الأُسّ على الخانات العُشرية التي يجب تحريكها.

الدرس 1-2: القياسات

- **دقّة الوضوح Resolution**، يُمثّلها أصغر تدريج يظهر على أداة القياس.
- **الدقّة Precision** تصف مدى تقارُب نتائج القياس من بعضها، بغضّ النظر عن قربها أو بُعدها عن القيمة الحقيقية.
- **الضبط Accuracy** مدى قرب القيَم المقيسة من القيمة الحقيقية للقياس.
- يُساعد هامش **الخطأ المُطلق Absolute uncertainty** للقياس على تحديد الضبط في عمليّة القياس.

اختيار من مُتعدِّد

1. أيٌّ من المقادير الآتية لا يُكافئ المقدار 12.7 cm؟

a. 1.27×10^{3} mm
b. 1.27×10^{1} cm
c. 1.27×10^{-1} m
d. 1.27×10^{-4} km

2. كم مترًا مربّعًا في المقدار $560\ cm^2$؟

a. $5.6\ m^2$
b. $0.56\ m^2$
c. $0.056\ m^2$
d. $0.0056\ m^2$

3. كم ثانية في 4 ساعات و 34 دقيقة؟

a. 16440
b. 9650
c. 13470
d. 12740

4. زمن الدورة القمريّة يُساوي 30 يومًا تقريبًا.. كم يبلغ عدد الدورات القمرية تقريبًا التي أكملها القمر في سنتين كاملتين؟

a. 60
b. 24
c. 15
d. 182

5. أيٌّ الكميّات الآتية كمّية مُشتقّة؟

a. الكتلة
b. الكثافة
c. شدّة التيار الكهربائي
d. درجة الحرارة

6. إذا أردنا قياس سرعة كرة تتدحرج على سطحٍ مائل، فما مجموعة القياسات الأكثر دقّة إذا كانت سرعة الكرة 4 m/s؟

a. 2.0 m/s,3.4 m/s ,13 m/s ,11 m/s
b. 2.90 m/s,2.92 m/s ,3.15 m/s ,3.10 m/s
c. 3.0 m/s,3.2 m/s ,5.5 m/s ,5.0 m/s
d. 3.90 m/s ,4.00 m/s ,4.15 m/s ,4.10 m/s

7. أجرى طالب تجربة لإيجاد كثافة مُكعّب جليد. أيٌّ من المصادر الآتية قد يكون مصدرًا لهامش خطأ في قياسه؟

a. عدم ارتدائه العدسات اللاصقة في ذلك اليوم.
b. مسطرته التي تقيس طول الضلع إلى أقرب 0.5 cm.
c. وقوع مُكعّب الجليد على الأرض من دون قصد منه.
d. قد يُسهم أكثر من واحد من هذه المصادر في هامش خطأ تجربته.

تقويم الوحدة

8. يُحاول طالب معرفة تسارُع درّاجته الهوائية. فقاس سرعتها والفترة الزمنية، وحسب التسارُع في أربع محاولات. أي من هذه المحاولات تستخدم في معرفة هامش الخطأ، لأنها تعطي أقصى انحراف عن المتوسّط؟

a. $1.1\ m/s^2$ **c.** $1.4\ m/s^2$

b. $1.5\ m/s^2$ **d.** $1.6\ m/s^2$

9. أي من الآتي هو التقدير الأفضل لهامش خطأ متوسّط البيانات الآتية:

الكتل المقيسة	
166 g	157 g
161 g	160 g
158 g	164 g

a. 0.5 g   **c.** 5.0 g

b. 1.0 g   **d.** 10.0 g

الدرس 1-1: النظام الدولي للوحدات (SI)

10. هل وحدة الحجم وحدة أساسية أم وحدة مُشتقّة؟ اشرح إجابتك.

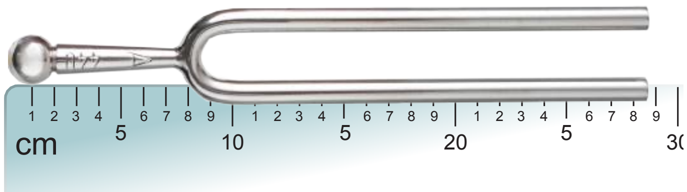
11. اكتب الرقم 0.00000000000345 وفق الصيغة العلميّة.

12. اكتب الرقم 8.945×10^{12} في الصيغة الممتدّة.

13. أيُّهما أطول مُدّة زمنيّة: سنة واحدة، أم 8897 ساعة، أم 3.14×10^{7} s؟

الدرس 1-2: القياسات

14. كم يبلغ طول الشوكة الرنّانة عند قياسها باستخدام المسطرة المُبيّنة في الشكل؟ اكتب هامش خطأ القياس في إجابتك.



15. اكتب القيَم الآتية وفق الصيغة العلميّة بوحدات المتر (m)، أو الكيلوجرام (kg)، أو الثواني (s). وفق ما يُناسبها.

a. 2.998 cm

b. 31.2 kg

c. 500 m

d. 0.209 µm

e. 0.00030 s

16. صف مسببات هوامش الخطأ في البيانات المقيسة.

17. لا يمكننا معرفة ما إذا كانت قيمتان مُقاستان مُتوافقتَين أم لا، ما لم نعلم هامش الخطأ. كذلك لا يمكننا معرفة القيمة الحقيقية الفعليّة لأي كميّة مقاسة. استخدم فكرة حساب المتوسّط لتشرح كيف يُقدّر العلماء هامش الخطأ في النتائج دون أن يعلموا القيمة الحقيقية.

18. وضع مُهندس التحكّم بالجودة كتلة معيارية 1.000 kg على ميزان بقالة، وسجّل القراءة. ثمّ رفع الكتلة المعياريّة، وراح ينقر بيده على الميزان عدّة مرّات ثمّ أعاد وضع الكتلة المعيارية من جديد على الميزان وسجّل القراءة الجديدة. كرّر المُهندس ذلك ست مرّات وحصل على البيانات المُدرَجة في الجدول المقابل. أجب عن الأسئلة الآتية.

الكتل المقيسة
1.05 kg
0.95 kg
1.02 kg
0.98 kg
0.94 kg
1.06 kg

a. ما هامش الخطأ المُطلق للميزان؟

b. هل هناك خطأ مُنتظم في الميزان؟ كيف تعرف ذلك؟

*19. أُجريت تجربة لقياس سرعة الضوء في مادة شفّافة مُعيّنة. يُوضّح الجدول الآتي عشر محاولات للقياس.

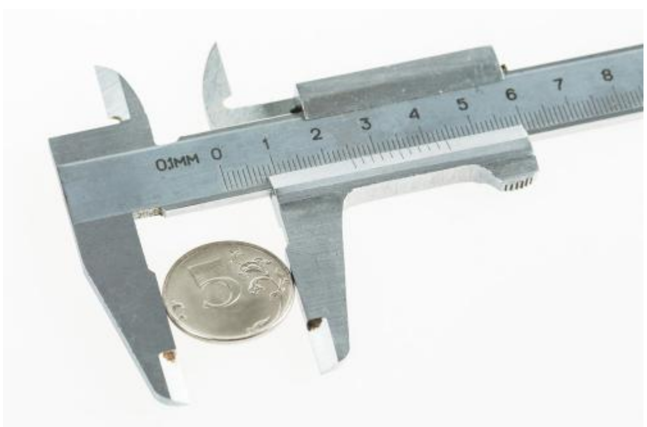
a. ما هامش الخطأ التقديري لأي قياس؟ يجب عليك تحديده ليكون نصف الفرق بين أكبر قيمة وأصغر قيمة.

b. ما متوسّط القياسات العشرة؟

c. ما هامش الخطأ التقديري للمتوسِّط؟

2.69×10^8 m/s	2.93×10^8 m/s
2.81×10^8 m/s	2.85×10^8 m/s
2.75×10^8 m/s	2.65×10^8 m/s
2.71×10^8 m/s	2.66×10^8 m/s
2.88×10^8 m/s	2.81×10^8 m/s

20. ما القياس الذي تُعطيه القدمة ذات الورنيّة المُوضّحة في الشكل أدناه؟



الوحدة 2
علم الحركة (الكينماتيكا)
Kinematics

في هذه الوحدة

الوحدة 2

مقدّمة الوحدة

ما موقعك؟ إلى أين وجهتك؟ كم تبلغ سرعتك؟ يتمّ تناول هذه الأسئلة كميًّا في الفيزياء بواسطة الموقع والإحداثيات والإزاحة والسرعة والسرعة المُتّجهة. تكون بعض هذه الكمّيات، مثل السرعة، كمّيات قياسية لها مقدار فقط. وتكون كمّيات أخرى، مثل السرعة المُتّجهة، كمّيات مُتّجهة تشتمل على كلّ من المقدار والاتّجاه. سوف نستعرض في هذه الوحدة معادلات الحركة لكل من الإزاحة والسرعة المُتّجهة والتسارُع.

عندما نتحدّث عن الحركة، فإنّنا نعني بمفردة «بُعد واحد» أن الحركة تحدث في خطّ مستقيم، تتضمّن الحركة في بُعدَين الحركة على المنحنيات التي يمكن تشكيلها في الرسوم البيانيّة بواسطة المحورَين x-y. وسوف ندرس في هذه الوحدة الحركة في بُعد واحد والحركة في بُعدين.

تُعدّ الرسوم البيانية أدوات جيدة لفهم الحركة التي يتغيّر فيها مقدار السرعة واتجاهها، فتقودنا إلى نموذج رياضي للحركة يشتمل على الموقع والسرعة المُتّجهة والزمن والتسارُع.

الأنشطة والتجارب

1-2 القوة المؤثّرة على باب

الدرس 2-1

الكمّيات المُتّجهة والكمّيات القياسية

Vectors and Scalars

الشكل 2-1 استخدام نظام تحديد الموقع العالمي GPS.

يُستخدم نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) لمعرفة الاتّجاهات. لكن ما مبدأ عمل GPS؟ يدور حول الأرض أكثر من 30 قمرًا اصطناعيًا تعمل ضمن نظام تحديد المواقع العالمي (GPS). عندما تكون أربعة من هذه الأقمار الاصطناعية على الأقل فوق الأفق، فإنّ مُسْتَقبِل GPS يقوم بتحديد موقعك على الأرض بدقّة قد تصل إلى بضعة أمتار.

يُرسل كل قمر اصطناعي ضمن نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) موقعه باستمرار، ويرفق تلك المعلومات بزمن دقيق. وعندما تتلقّى وحدة GPS الخاص بك هذه الإشارة، «تعرف» على الفور زمن وصولها إليك. وبضرب تلك الفترة الزمنية في سرعة الضوء، تعرف بُعد القمر الاصطناعي عنك. تتكرّر الخطوات مع الكثير من الأقمار الاصطناعية الأخرى، فيحسب جهازك الذي يدعم GPS دائرة العرض وخطّ الطول والارتفاع الذي تشغله.

مخرجات التّعلُّم

P1003.1 يوضح الفرق بين الكمّيات القياسية والمُتّجهة (المُتّجهات)، ويحلّل المُتّجهات، ويحسب المحصّلة في مواقف حقيقية.

P1003.2 يصف المقصود بالمفاهيم: المسافة، والإزاحة، والسرعة، والسرعة المُتّجهة، والتسارُع.

المفردات

Scaler quantity	الكمّية القياسية
Vector quantity	الكمّية المُتّجهة
Magnitude	المقدار
Coordinates	الإحداثيات
Displacement	الإزاحة
Head-to-tail Method	طريقة الرأس والذيل
Components	المُركّبات
Resultant	المُحصّلة

أهمّية الاتّجاه

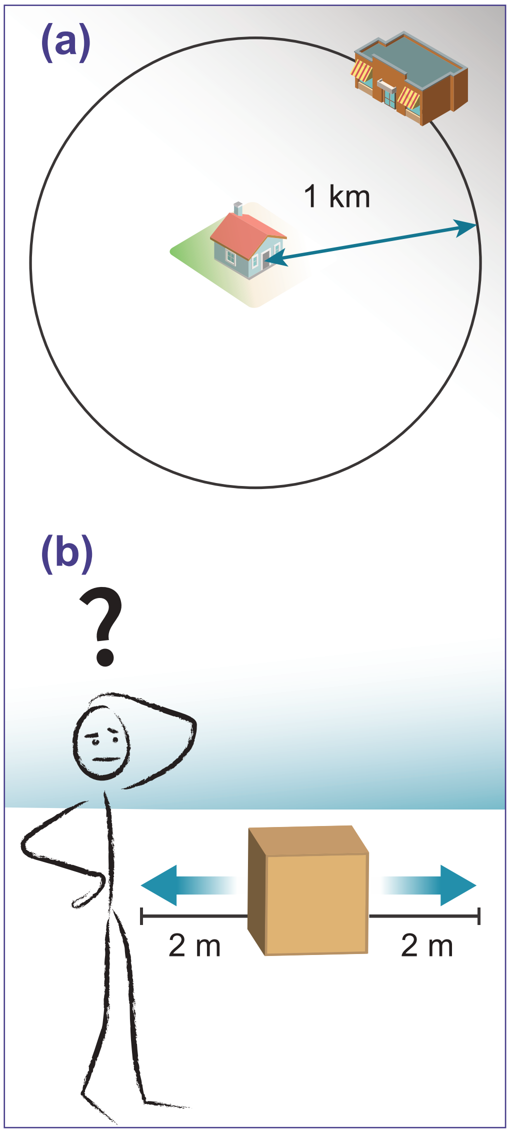
ليس بالإمكان شرح كل الكمّيات شرحًا كاملًا باستخدام المقدار فقط. فإذا طلب منك والدك الذهاب مثلاً إلى متجر لشراء شاحن جديد لهاتفك، يقول لك إنّ المتجر يبعد 1 km عن المنزل. فهل تكون هذه المعلومات كافية لتحديد موقع المتجر؟

لا، فالعلم بأنّ المتجر يبعد 1 km عن منزلكم يعني أن المتجر قد يكون في أيّ مكان على دائرة نصف قطرها 1 km (**الشكل 2-2 a**).

وللحصول على وصف أوضح لموقع المتجر، فإنك تحتاج إلى معلومات عن الاتّجاه. كأن يقال: إنّ المتجر يقع على بعد 1 km شمال شرق منزلكم.

القوى والاتّجاهات

لا تقتصر أهمّية معرفة الاتّجاهات على تحديد المواقع المختلفة بل إنّ كثيرًا من المتغيّرات في الفيزياء يكون الاتّجاه فيها مهمًّا. فالقوة مثلًا كمّية تحتاج إلى معرفة اتّجاهها. تخيَّل أنّك تريد أن تحرّك صندوقًا مسافة مترَين (**الشكل 2-2 b**). عندئذ يكون الموقع الذي تريد أن تحرّك الصندوق إليه هو الذي يُحدّد اتّجاه القوّة التي ستطبّقها. فإذا أردت تحريك الصندوق إلى اليمين، فعليك أن تدفعه بقوة تتّجه إلى اليمين. وإذا أردت تحريكه إلى اليسار، فعليك أن تسحبه بقوة تتجه إلى اليسار.



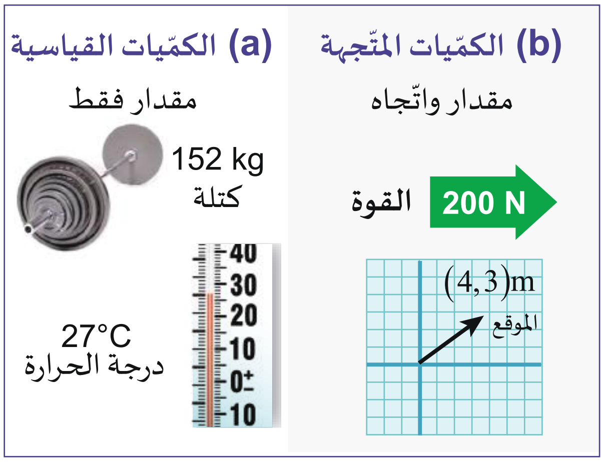
الشكل 2-2 (a) أين المتجر؟ (b) ما اتّجاه القوة؟

- فكّر في المواقف المختلفة التي قد تحتاج فيها إلى الاتّجاه لوصف الموقف وصفًا كاملًا.
- ما الكمّيات التي يمكن وصفها من دون أن يُذكر فيها الاتّجاه؟

الكمّيات القياسية والكمّيات المُتّجهة

الكمّية القياسية Scaler quantity هي كمّية يُعبّر عنها بالمقدار فقط دون الحاجة إلى تحديد الاتّجاه. يمكن وصف الكمّيات القياسية كلّها بقيمة واحدة تسمّى **المقدار Magnitude**. وتُعدّ المسافة والكتلة وشدة التيار الكهربائي وشدة الإضاءة وكمّية المادة والزمن ودرجة الحرارة، جميعها كمّيات قياسية (**الشكل 2-3 a**). ويمكن وصف كل منها وصفًا تامًا بمقدار واحد ووحدة قياس دون الحاجة إلى تحديد الاتّجاه.بعض الكميات القياسية تكون دائمًا موجبة، مثل السرعة والمسافة والكتلة، في حين أن بعض الكميات القياسية الاخرى قد تكون موجبة أو سالبة، مثل درجة الحرارة أو الشغل، والإشارة السالبة هنا تعني النقص أو الخسارة، وليس لها أية دلالة اتجاهية.

الكمّية المُتّجهة Vector quantity كمّية يُعبَّر عنها بمقدار واتّجاه معًا. يصف مقدار المُتّجه «قيمته». ويتضمّن المتّجه معلومات عن الاتّجاه، مثل (يمين أو يسار)، وهذا يمكّننا من جمع الكمّيات المتّجهة أو طرحها. ومن الأمثلة على المتّجهات الموضّحة في (**الشكل 2-3 b**) متّجهات الإزاحة (الموقع) والقوة.



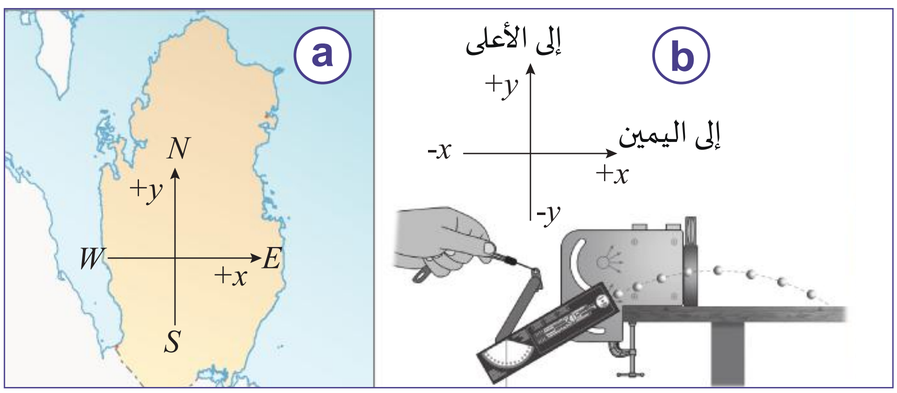
الشكل 2-3 (a) الكمّيات القياسية؛ (b) الكمّيات المُتّجهة.

الإحداثيات الشائعة للمُتّجهات

عندما نحلّ المسائل التي تشتمل على المتّجهات نختار نظام الإحداثيات. ويُعدّ نظام الإحداثيات x-y التمثيل الأكثر استخدامًا مثل $\vec{R} = (+4 ، +3)$ m. يُوضّح (**الشكل 2-4**) أكثر خيارَين مُستخدمَين عند تعريف الاتّجاه الموجب والاتّجاه السالب.

a. يكون اتّجاه الشرق باتّجاه x الموجب، ويكون اتّجاه الشمال باتّجاه y الموجب، و بالتالي يكون اتجاه الغرب باتجاه x السالب واتجاه الجنوب باتجاه y سالب.

b. يكون اتّجاه اليمين باتّجاه x الموجب، ويكون اتّجاه الأعلى باتّجاه y الموجب، و بالتالي يكون اتجاه اليسار باتجاه x السالب واتجاه الأسفل باتجاه y السالب.



الشكل 2-4 الخيارات الشائعة لنظام الإحداثيات x-y.

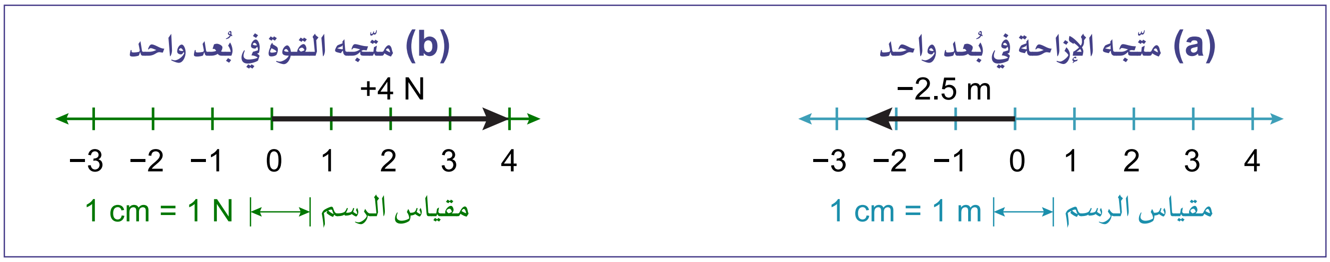
تُعبّر القيَم السالبة في الكمّية المتّجهة عن الاتّجاه المُعاكس للمُتّجه الأصلي.

هل يمكن وصف اتّجاه كمّية مُتّجهة من دون استخدام الإحداثيات؟

ما الطرائق الأخرى التي يمكن استخدامها للتعبير عن اتّجاه المتّجهات؟

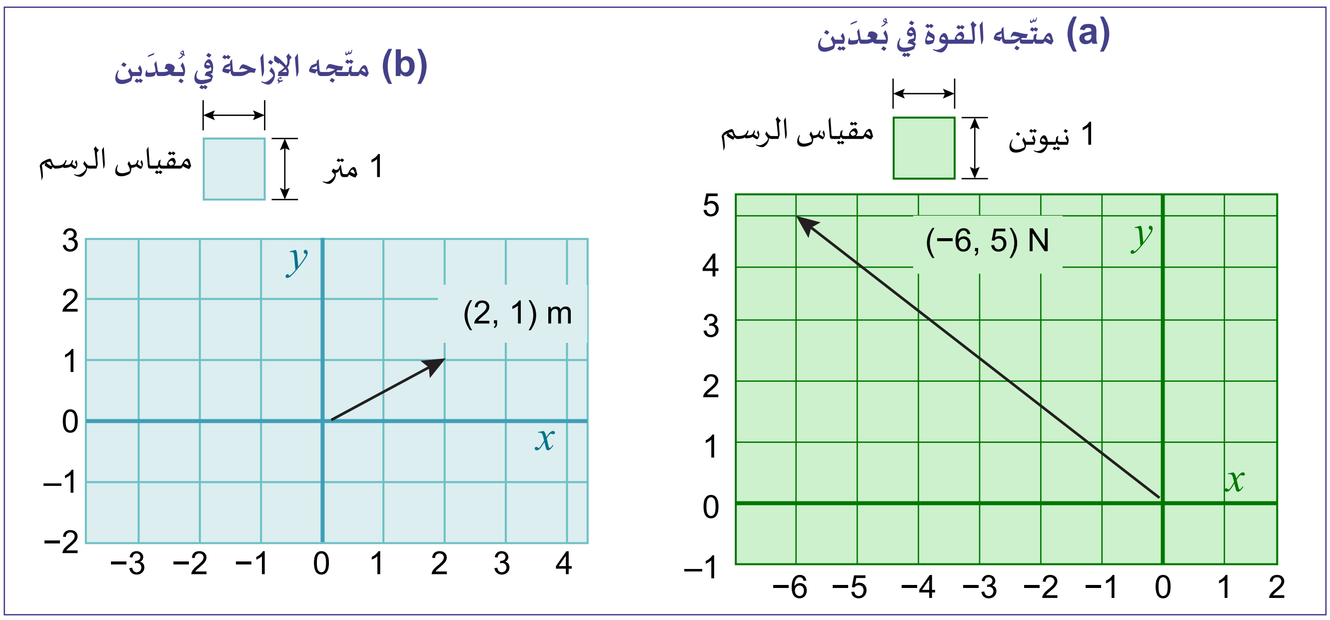
التمثيل البياني للكمّيات المُتّجهة

يُعدّ مُخطّط الكمّية المُتّجهة نوعًا من التمثيل البياني الذي يُمثّل محوراه المُتعامدان اتّجاهَيْ x و y اللذَين يمكن للمُتّجه أن يتّخذهما. يربط مقياس الرسم في المُخطّط الطول على الرسم البياني مع مقدار المُتّجه. يمكننا مثلًا أن نختار مقياس رسم 1 cm = 1 m للإزاحة و 1 cm = 1 N للقوة. يُوضّح **الشكل 2-5** مخطط متجهين في بعد واحد لإزاحة m 2.5 -، وقوة N 4 +.



الشكل 2-5 مخطط متجهين في بُعد واحد لكل من (a) الإزاحة و (b) القوة.

قمنا بتمثيل المُتّجهات في بُعدين على الرسوم البيانية y-x. حيث مُثلّت إزاحة مقدارها m (2, 1) وقوة مقدارها N (5، 6-) في **الشكل 2-6**.



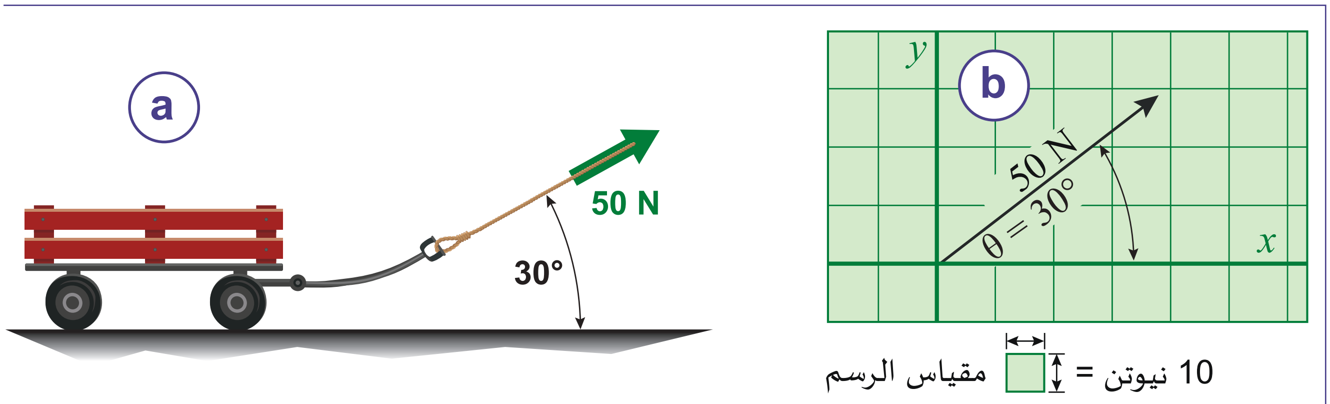
الشكل 2-6 مخطط متجهين في بُعدَين لكلّ من (a) القوة و (b) الإزاحة.

يجب أن تشتمل جميع مُخطّطات المُتّجهات على الآتي:

- وجود نقطة مرجعية، هي نقطة الأصل (0،0).
- تضمين المُخطّط لمقياس رسم يحدّد العلاقة بين طول المتّجه على التمثيل البياني بمقدار المتّجه الحقيقي.
- تحديد الاتّجاه الذي سيكون موجبًا، والاتّجاه الذي سيكون سالبًا.

التمثيل البياني للمُتجهات بواسطة المقدار والزاوية

- يتم تمثيل المُتّجهات في بعض الحالات بواسطة المقدار والزاوية. يُوضّح **الشكل 7-2 a** قوّة مقدارها 50 N لسحب عربة على سطح أفقي، تصنع زاوية 30° مع السطح. لتمثيل القوة بيانيًا، نختار المحور y ليكون المحور العمودي والمحور x ليكون المحور الأفقي، وباستخدام المقياس في المُخطط البياني نرسم مُتجهًا بطول 5 وحدات عند زاوية 30° بالنسبة إلى المحور x (**الشكل 7-2 b**) لتحديد زاوية بين اتجاهين جغرافيين، كأن نقول متجه بزاوية 30° شمال الشرق، فإننا نرسم زاوية مقدارها 30° تبدأ من الشرق (محور x الموجب)، وتكون نحو الشمال (محور y الموجب).



الشكل 7-2 (a) قُوّة بمقدار وزاوية (b) مُخطّط يُوضّح مُتّجه القوة.

مثال 1

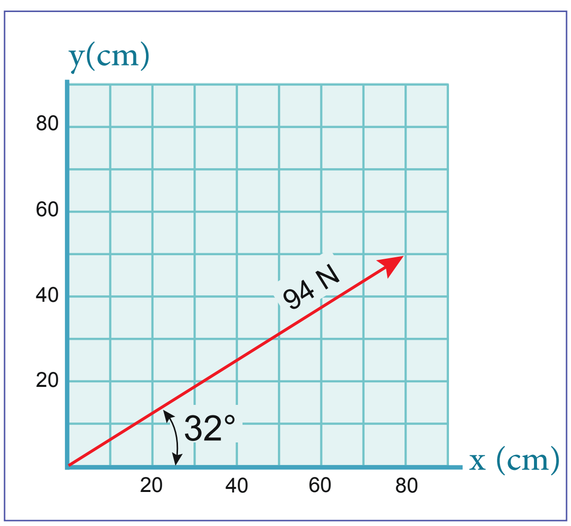
- يسحب رجل صندوقًا بقوة مقدارها 94 N تصنع زاوية 32 ° مع السطح الأفقي الذي يوجد عليه الصندوق. مثّل متجه القوة برسم بياني.

المطلوب: التمثيل البياني لمتجه القوة.

- المعطيات: $F = 94\ N, \theta = 32^\circ$

العلاقات: كل (1cm) على الرسم يمثل (1N)

الحل: نرسم المستوى الإحداثي ونقسمه إلى مربعات حسب مقياس الرسم، لكل (1 cm) على المقياس يمثل (1 N).



مثال 2

ارسم التمثيل البياني في كل من الحالات الآتية:

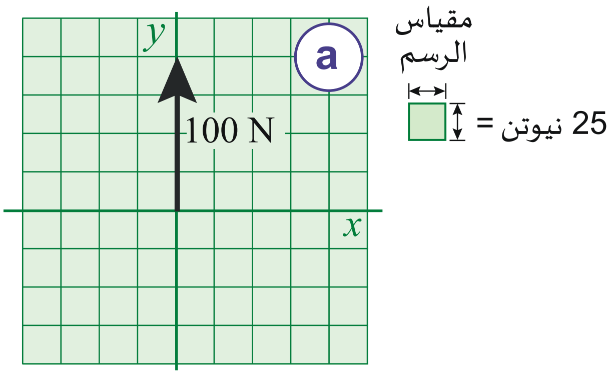
a. يرمي طالب كُرة عموديًا نحو الأعلى بقوّة مقدارها 100 N. ارسم مُتّجه القوّة.

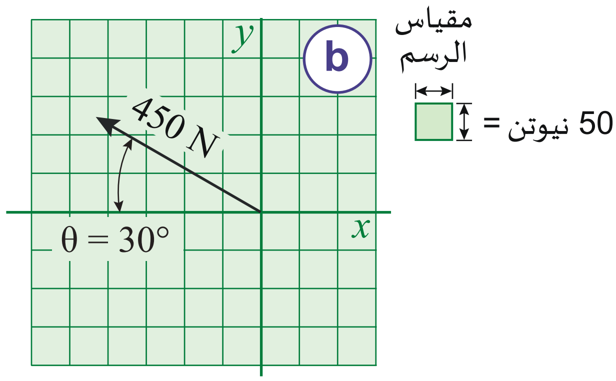
b. يسحب عامل عربة صغيرة بقوّة مقدارها 450 N باتّجاه 30° شمال الغرب.

المطلوب: رسم مُتّجه القوّة في كل حالة.

المُعطيات: **a.** F=100 N، مع الاتجاه +y **b.** F=450 N الاتجاه 30° شمال الغرب

الحلّ:

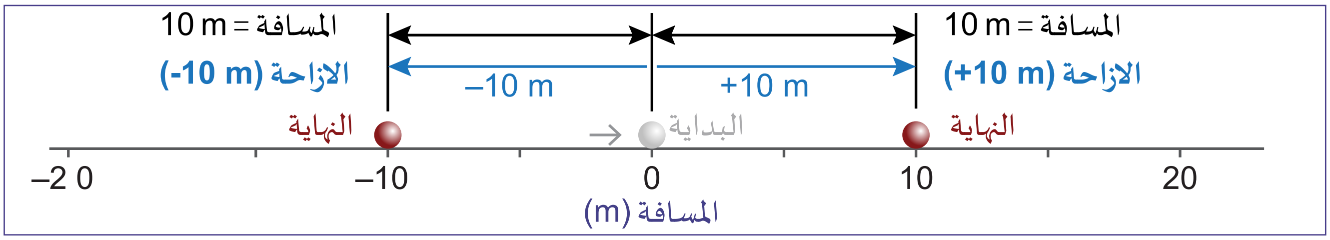




المسافة والإزاحة

تُعرَف المسافة بأنّها طول المسار الفعلي الذي تحركه الجسم بين نقطتين. فعندما تقول إنّ جسمًا يبعد 10 m عنك، فإنّك تعني المسافة التي تفصلك عنه، لكن لا يُعدّ هذا وصفًا دقيقًا لموقع الجسم، لأنّ المسافة لا تُشير إلى الاتّجاه.

الإزاحة **Displacement** كميّة مُتجهة تصف الحركة المُستقيمة، وتتضمّن معلومات عن الاتجاه، وهي أقصر مسافة بين نقطة بداية الحركة ونقطة نهايتها. لاحظ المُخطّط في **الشكل 2-8**، حيث تُمثّل الإزاحة التي يبلغ مقدارها +10 m، حركة مقدارها 10 m إلى اليمين في نظام إحداثيات الرسم البياني المُستخدَمة، وتُمثّل الإزاحة التي يبلغ مقدارها -10 m حركة مقدارها 10 m إلى اليسار. تحمل الإشارات الموجبة والسالبة معلومات عن اتّجاه الكمّيّة المُتّجهة. تُعبّر المسافة عن مقدار الإزاحة. ولأنّ كلتا الإزاحتَين 10 m + و 10 m - تتضمّنان مسافة 10 m، فإنّ المسافة لا يمكن أن تكون سالبة.



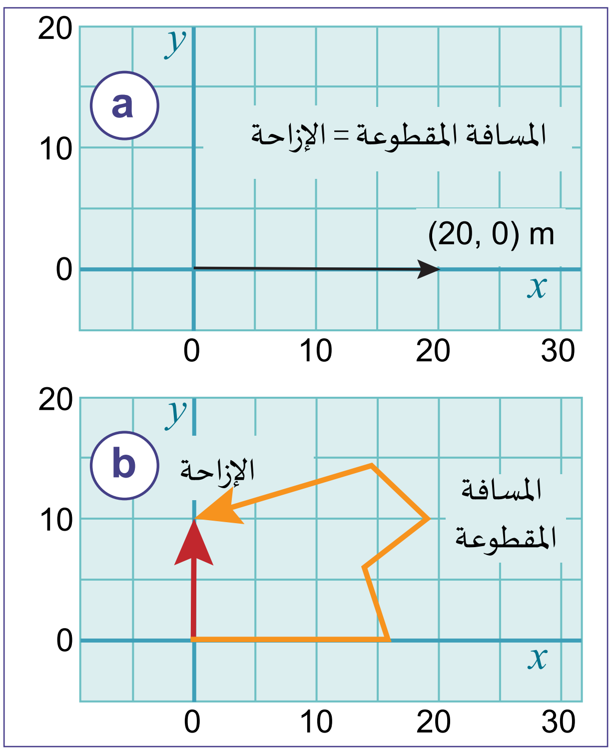
الشكل 2-8 الإزاحة والمسافة.

متى تتساوى الإزاحة والمسافة؟

قد يكون للإزاحة والمسافة المقدار نفسه إذا كان مسار الحركة مُستقيمًا، ولم يحدث أي تغيُّر في الاتّجاه. يُوضّح **الشكل 2-9 a** أنّ إزاحة مقدارها 20 m نحو اليمين تعني التحرّك مسافة 20 m. ومع ذلك فإنّ الإزاحة تبقى كمّيّة متّجهة، والمسافة كمّيّة قياسيّة.

قد تكون المسافة أكبر من مقدار الإزاحة

قد تكون المسافة المقطوعة أكبر من مقدار الإزاحة إذا تغيّر اتّجاه الحركة. يُوضّح **الشكل 2-10 b**، أنّ المسافة المقطوعة المُمثّلة بالسهم الأزرق أكبر من الإزاحة المُمثّلة بالسهم الأسود.



الشكل 2-9 (a) المسافة ومقدار الإزاحة متساويان (b) المسافة أكبر من مقدار الإزاحة.

مُحصّلة متّجهَين

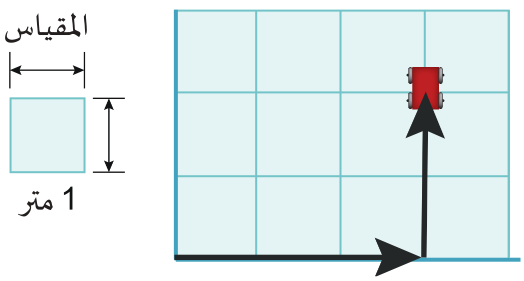
ينتج عن عمليّة جمع متّجهَين متّجه آخر يُسمّى **متّجه المُحصّلة Resultant Vector**، وهو متّجه وحيد يملك المقدار والاتّجاه لمجموع متّجهين أو أكثر ، ويمكن إيجاده باستخدام إحدى الطريقتين الآتيتَين:

1. **الطريقة البيانية**: يتم رسم المتّجه الأول من نقطة البداية، ويُرسم المتّجه الثاني من رأس المتّجه الأول، فنحصل على متّجه المُحصّلة برسمه من ذيل المتّجه الأول إلى رأس المتّجه الثاني.
2. **الطريقة الجبرية**: تُحسب قيَم إحداثيات متّجه المُحصلة بجمع قيَم إحداثيات كل متّجه من المتجهات التي سنجد محصلتها. فإذا كان متّجه المُحصلة $\vec{R}$، هو مجموع المتّجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$، يكون:

$$\vec{R} = (R_x, R_y) = (A_x + B_x, A_y + B_y)$$

مثال 3

تتحرّك عربة من نقطة الأصل بإزاحة $(3, 0)$ m، ثمّ بإزاحة ثانية $(0, 2)$ m. ما مُحصّلة إزاحة العربة؟

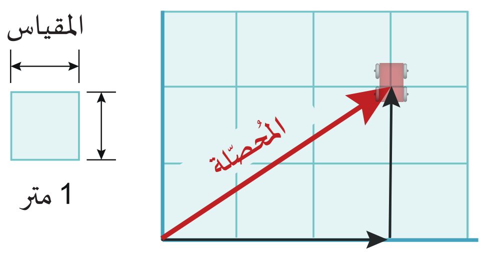


المطلوب: محصّلة الإزاحة.

المُعطيات: $\vec{d_1} = (3,0)$ m و $\vec{d_2} = (0,2)$ m

الحلّ:

الطريقة البيانية



الطريقة الجبرية

$$\begin{array}{r} (3,\ 0)\ \text{m} \\ +\ (0,\ 2)\ \text{m} \\ \hline (3,\ 2)\ \text{m} \end{array}$$

$$\vec{R} = (3, 2)\ \text{m}$$

الطريقة البيانية: نرسم الإزاحة الأولى من خلال المقياس، بدءًا من نقطة الأصل إلى $(3, 0)$ m. ثم نرسم الإزاحة الثانية بدءًا من $(3, 0)$ m ثم نتحرّك بمقدار $+2$ m باتّجاه y. وأخيرًا نرسم المُحصّلة من نقطة الأصل إلى نهاية الإزاحة الثانية.

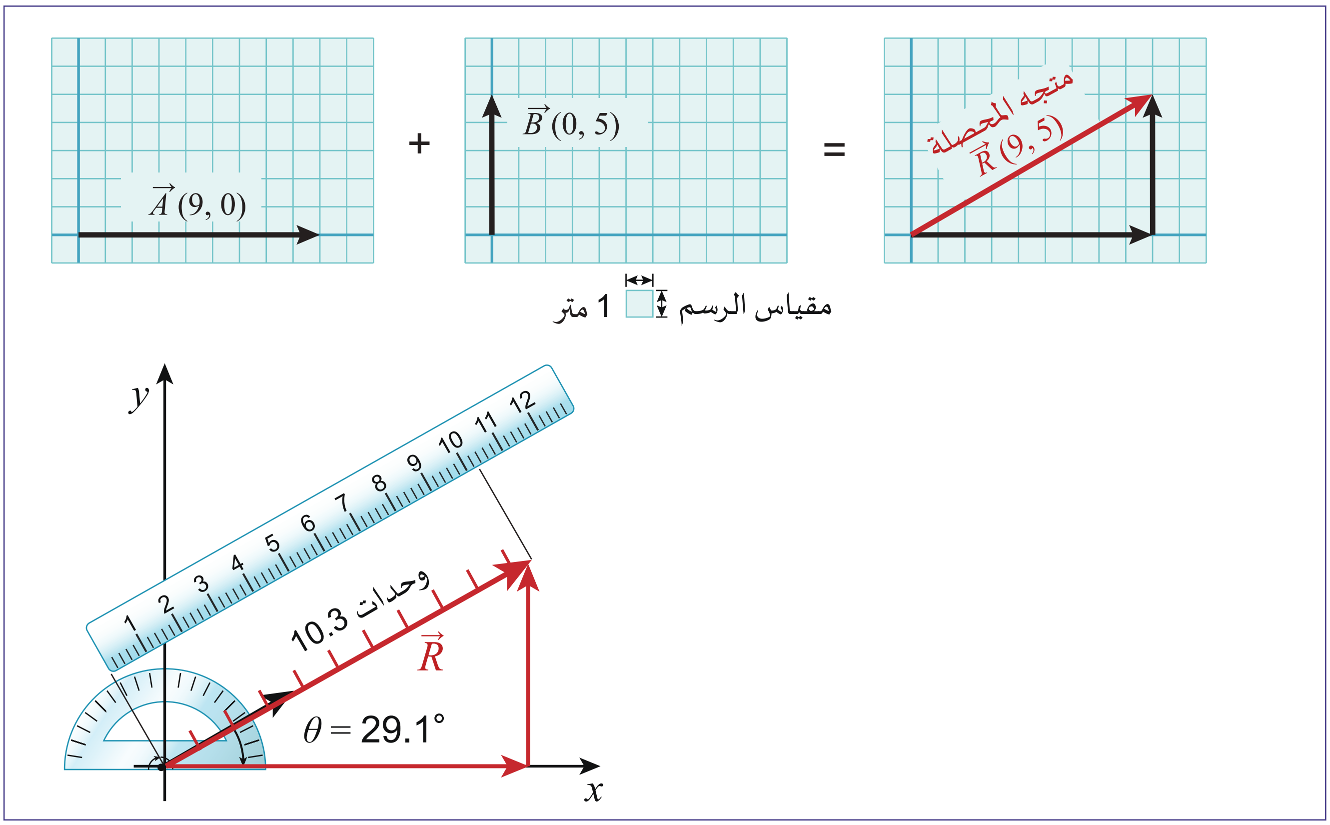
الطريقة الجبرية: نضيف قيَم x و y إلى الإحداثيّات كل على حِدة للحصول على $\vec{R} = (3,2)$ m.

خطوات إيجاد المُحصّلة بيانيًا

تُجمَع المُتّجهات بيانيًا باستخدام **طريقة الرأس والذيل Head-to-tail method**: ذيل المُتّجه هو نقطة البداية، ورأس المُتّجه هو نقطة النهاية التي تُرسَم على أنها نهاية السهم. يُرسَم بهذه الطريقة «ذيل» كل مُتّجه بدءًا من «رأس» المُتّجه السابق له.

لجمع المُتّجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ في (**الشكل 2-10**):

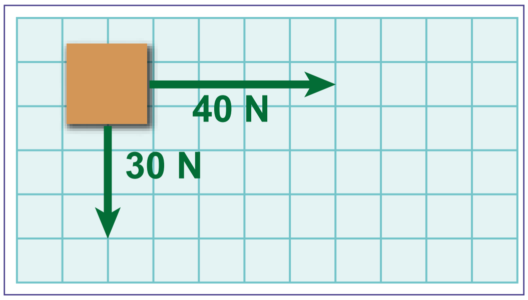
1. استخدم المسطرة والمنقلة لترسم المُتّجه الأول على ورقة الرسم البياني باختيار مقياس رسم مناسب. للمسألة (مثلاً 1 cm : 1 m) .
2. ارسم المُتّجه الثاني، بدءًا من رأس المُتّجه الأوّل. (سيكون ذيل المُتّجه الثاني محاذيًا لرأس المُتّجه الأول).
3. قِسْ مقدار مُتّجه المحصّلة بالمسطرة. واستخدم مقياس الرسم لتحويل الطول إلى الوحدات المطلوبة.
4. يُمثّل اتّجاه مُتّجه المحصّلة بالزاوية التي يصنعها مُتّجه المحصلة مع المحور الأفقي x. في هذا المثال، تكون الزاوية هي °29.1 التي يمكن قياسها بالمنقلة.
5. ارسم مُتّجه المحصّلة من ذيل المُتّجه الأول إلى رأس المُتّجه الأخير.



الشكل 2-10 طريقة الرأس والذيل.

مثال 4

تم التأثير على الصندوق بقوة مقدارها 40 N إلى اليمين وقوة مقدارها 30 N إلى أسفل، فإلى أين سيتحرّك الصندوق (**الشكل 2-11**)؟

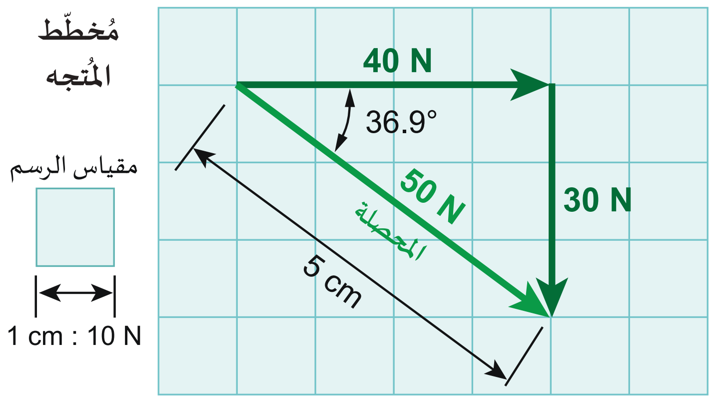


الشكل 2-11 تمثيل القوى على الشكل بيانيا

المطلوب: القوة المحصّلة F؛

المُعطيات: إلى اليمين $F_1 = 40\ N$؛
إلى أسفل $F_2 = 30\ N$؛

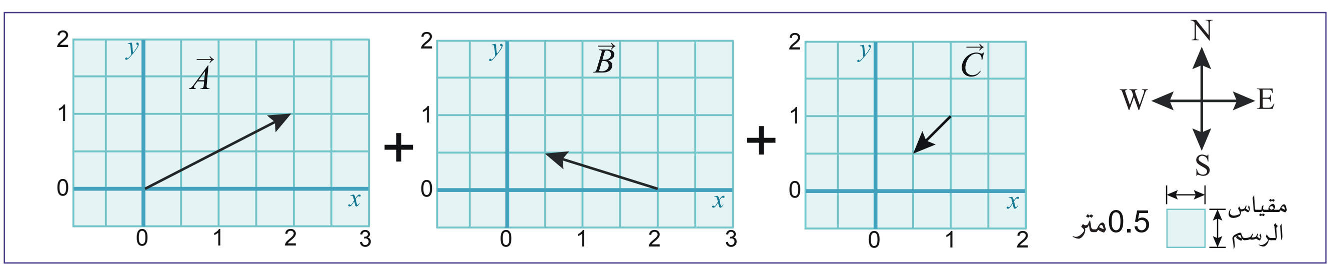
الحلّ: يمكن إيجاد القوة المحصّلة من خلال جمع المُتّجهين بيانيًّا باتّباع طريقة الرأس والذيل، وباختيار مقياس رسم مناسب. المقياس في هذه الحالة هو 1 cm : 10 N.



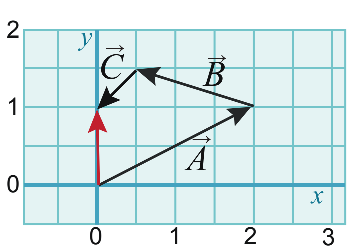
سيتحرّك الصندوق باتّجاه جنوب- شرق بزاوية 36.9°- بالنسبة إلى الخط الأفقي.
للإجابة عن هذا السؤال، تذكّر دائمًا أنّ اتّجاه حركة الجسم سيكون باتّجاه محصّلة القوى، وهو مُتّجه مجموع كل القوى المؤثّرة على الجسم.
المحصلة $F = 5 \times 10 = 50\ N$

مثال 5

يُوضّح **الشكل 2-12** ثلاثة متّجهات. أوجد مُحصّلة $\vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$ باستخدام طريقة الرأس والذيل.



الشكل 2-12 كيف يُمكن إضافة القوى في اتّجاهات مُختلفة؟



المطلوب: متّجه المُحصّلة.

المُعطيات: المتّجهات في الشكل 2-12.

الحلّ: إضافة المتّجهات الثلاثة ستعطينا: المُحصّلة هي (0, 1) شمالاً

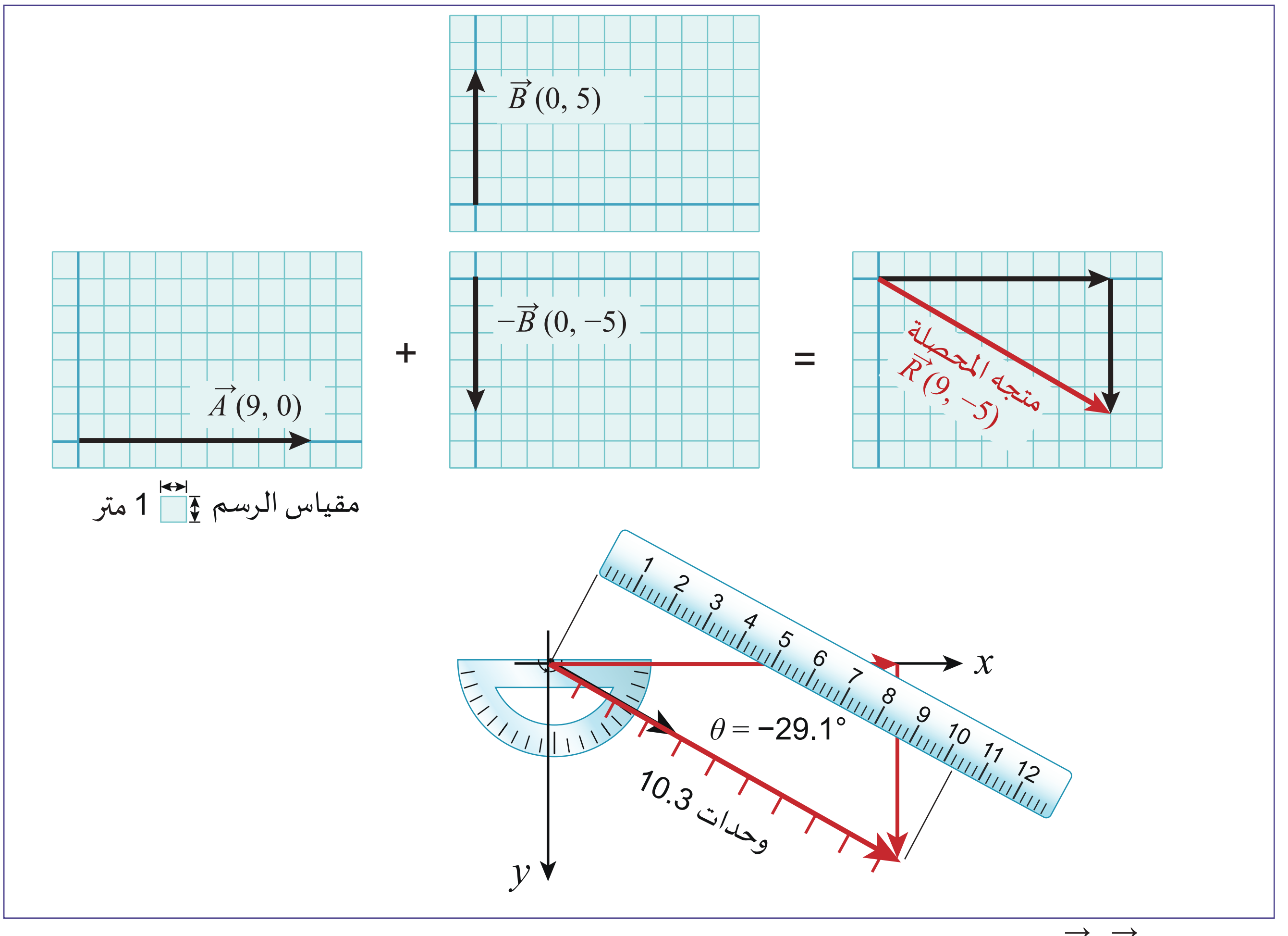
مُحصّلة طرح المتّجهات

يتم استخدام طريقة الرأس والذيل لطرح المُتّجهات أيضًا. يُوضّح **الشكل 2-14** المُتّجهَين $\vec{A}$ و $\vec{B}$. وتتمّ عمليّة طرح المُتّجه $\vec{B}$ من المُتّجه $\vec{A}$ على خطوتَين.

- أنشئ المُتّجه $-\vec{B}$
- اجمع $\vec{A} + (-\vec{B})$

يملك المُتّجه السالب مقدار المُتّجه الموجب نفسه، ولكن باتّجاه معاكس. سوف تُجرى عمليّة طرح المُتّجهات وفق الخطوات الآتية:

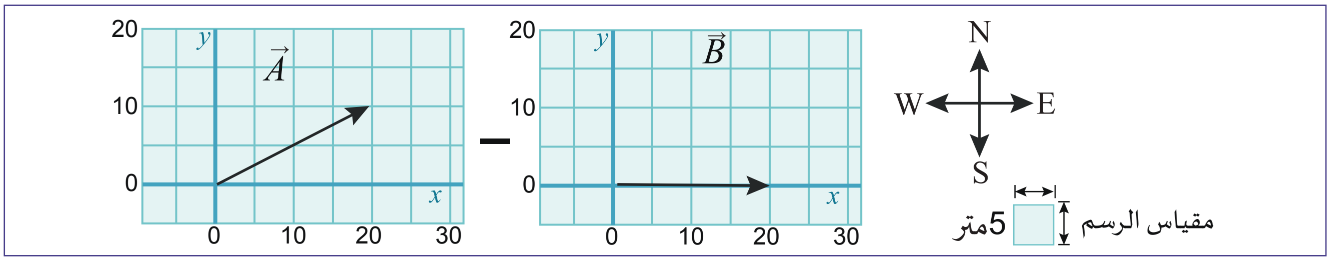
1. ارسم أوّلًا المُتّجه $\vec{A}$، ثم ارسم المُتّجه $-\vec{B}$ بدءًا من رأس المُتّجه $\vec{A}$. كما في **الشكل 2-13**.
2. ارسم مُتّجه المحصلّة، من ذيل المُتّجه الأول إلى رأس المُتّجه الثاني.
3. قِس طول مُتّجه المحصّلة والزاوية التي تصنعها مع المُتّجه الأول.
4. يبقى طول المحصّلة في هذا المثال كما هو، لكن الزاوية قد تتغيّر. هذا يعني أن اتّجاه مُتّجه المحصلّة مختلف.



الشكل 2-13 $\vec{A} - \vec{B}$ طريقة الرأس والذيل.

مثال 6

يُوضّح **الشكل 2-14** مُتّجهَي إزاحة. أوجد مُحصّلة $\vec{B} - \vec{A}$ باستخدام طريقة الرأس والذيل.

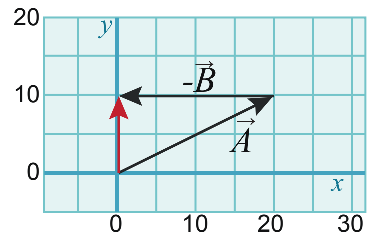


الشكل 2-14 كيف يُمكن إضافة القوى في اتّجاهات مُختلفة؟

المطلوب: متّجه المُحصّلة.

المُعطيات: المُتّجهان في الشكل 2-14.

الحلّ: لإيجاد $\vec{B} - \vec{A}$، نرسم أولا المتجه $\vec{A}$ ثم نرسم المتجه $\vec{B}$ - من رأس المتجه $\vec{A}$



وبالتالي يكون مقدار المُحصّلة 10 شمالاً $R = 10$ North .

مثال 7

تحرّك طالب 6 m شرقًا، ثمّ 8 m شمالاً، ثمّ 6 m غربًا، ثمّ 8 m جنوبًا. احسب المسافة الكلّيّة والإزاحة الكُليّة لكامل الرحلة.

المطلوب: المسافة الكلّيّة والإزاحة الكليّة.

المُعطيات: أربعة مُتّجهات إزاحة.

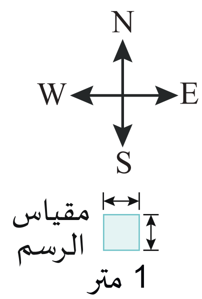
الحل: نقوم برسم كل مُتّجه إزاحة بالترتيب.

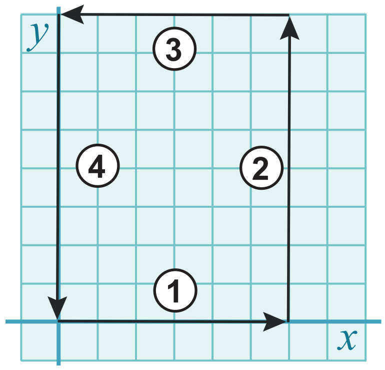
1 6 m شرقًا

2 8 m شمالاً

3 6 m غربًا

4 8 m جنوبًا



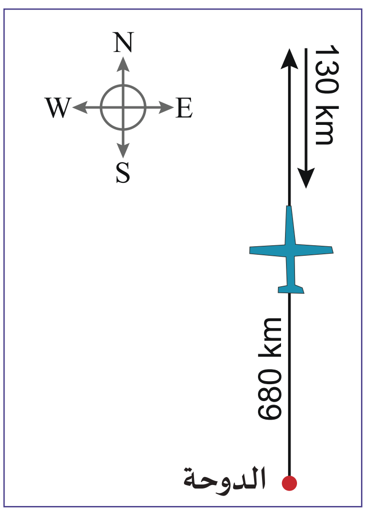


المسافة الكلّيّة $6 + 8 + 6 + 8 = \boxed{28\text{ m}}$

الإزاحة الكلّيّة صفر، لأنّ نقطة نهاية الحركة هي نقطة البداية نفسها.

مثال 8

تُقلع طائرة من الدوحة قاطعة مسافة 680 km إلى الشمال. فتحط في أحد المطارات، لتقلع مرّة أخرى وتقطع مسافة 130 km نحو الجنوب (**الشكل 2-15**). ما إزاحة الطائرة النهائية بالنسبة إلى الدوحة؟ اكتب الحل بالطريقة البيانية والطريقة الجبرية.



الشكل 2-15 مُتّجه إزاحة الطائرة.

المطلوب: الإزاحة النهائية d_f.

المُعطيات: الإزاحة الابتدائيّة $d_i = 0$؛

$d_1 = +\,680\text{ km}$؛

$d_2 = -\,130\text{ km}$؛

الحل:

1. اختر مقياس رسم مناسبًا، على سبيل المثال:

$1\text{ cm} = 100\text{ Km}$

2. ارسم المتّجه الأول من نقطة البداية (الدوحة) بطول 6.8 cm في اتّجاه الشمال، والمتّجه الثاني من رأس المُتجّه الأول بطول 1.3 cm في اتّجاه الجنوب.

3. ارسم المحصّلة من ذيل المتّجه الأول إلى رأس المتّجه الثاني، فتكون المحصّلة 5.5 cm و بالتالي تكون الازاحة النهائية

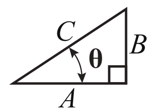
$5.5 \times 100 = \boxed{550\text{ km}}$ شمالاً.

الحل بالطريقة الجبرية :

$680 + (-130) = 550$ Km to the North

إيجاد مُحصّلة مُتّجهين مُتعامدَين باستخدام الطريقة الجبريّة

عندما نضيف متّجهين متعامدَين، تكون مُحصّلتهما وتر المثلّث القائم الذي تشكّل. وبالتالي يُمكننا حساب مقدار المُحصّلة بتطبيق نظرية فيثاغورث، التي تنصّ على أنّ مُربّع الوتر يكون مُساويًا لمجموع مُربَّعَي الضلعَين القائمَين في المُثلّث القائم (**المعادلة 2-1**).

1-2	نظرية فيثاغورث		
 $\theta = \tan^{-1}\dfrac{B}{A}$ $C=\sqrt{A^2+B^2}$		C	طول وتر المُثلّث القائم
		A	طول الضلع المجاور
		B	طول الضلع المقابل
		θ	الزاوية بين المجاور والوتر (°)

مثال 9

متجهان متعامدان، الأول $A=(10,0)$ m والثاني $B = (0,5)$ m ، أوجد محصلتهما بتطبيق نظرية فيثاغورث.

المطلوب: المحصلة B+A.

المُعطيات: $A=(10,0)m, B=(0,5)m$

$A^2 + B^2 = C^2$

الحلّ:

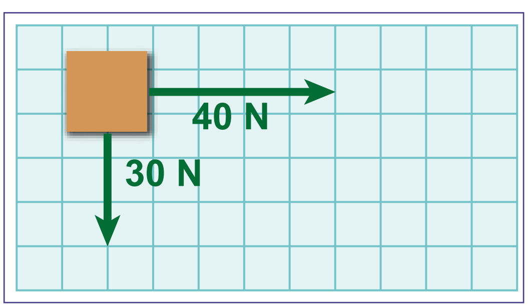
$$A^2 + B^2 = C^2 \rightarrow C=\sqrt{A^2+B^2}$$

$$C=\sqrt{10^2+5^2} = \sqrt{100+25}=11.2 \text{ m}$$

إيجاد الزاوية θ $\theta = tan^{-1}\left(\dfrac{B}{A}\right) = tan^{-1}\ 0.5 = 26.6°$

مثال 10

اكتب مُحصّلة المتّجهين في **الشكل 2-16**، بتطبيق نظرية فيثاغورث. قارن النتيجة التي حصلت عليها مع النتيجة في المثال 5. هل تجد النتيجة دقيقة؟



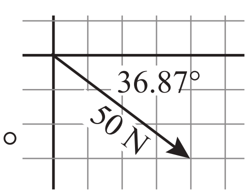
الشكل 2-16 حساب المُحصّلة جبريًا.

المطلوب: متّجه المُحصّلة $\vec{F}$.

المُعطيات: $\vec{F_1}$ =40 N باتّجاه اليمين.

$\vec{F_2}$ =30 N باتّجاه الأسفل.

الحلّ:



$$\theta = \tan^{-1}\frac{B}{A}$$

$$= \tan^{-1}\frac{30}{40} = 36.87°$$

$$\vec{F} = \sqrt{\vec{F_1}^2 + \vec{F_2}^2}$$

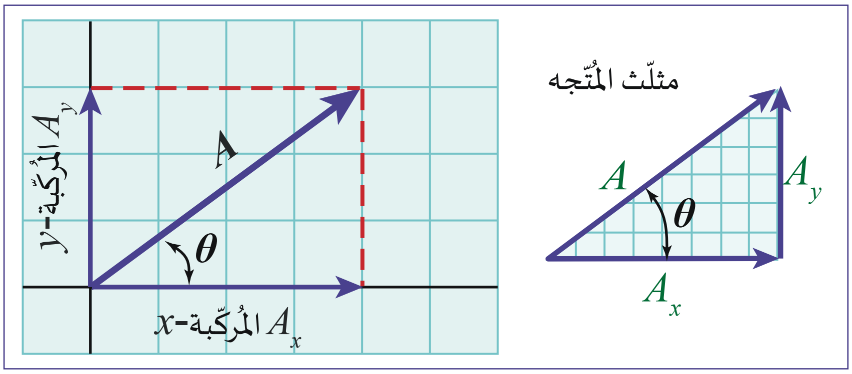
$$\vec{F} = \sqrt{40^2+30^2}=50 \text{ N}$$

حصلنا على الإجابة نفسها باستخدام الطريقتَين البيانية والجبرية.

مُركّبات المُتّجهات

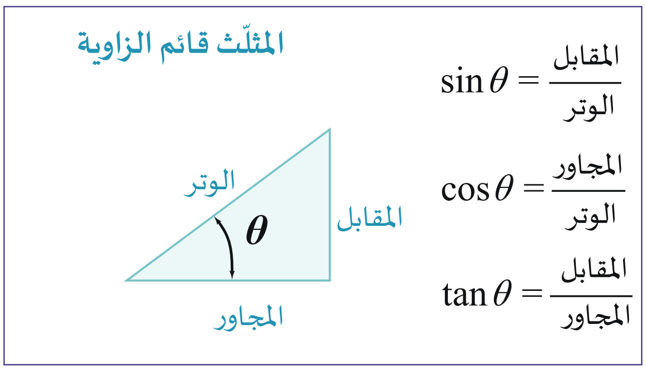
عندما تكون المُتّجهات في المستوى x-y، يمكن استخدام المحورَين x و y لتحليل المُتّجهات إلى **مُركّبات Components**.
يُوضّح (**الشكل 2-17**) المُتّجه $\vec{A}$ الذي يصنع زاوية θ مع المحور x.

نحصل على المُركّبة x (المُركّبة الأفقية) لهذا المُتّجه برسم خطّ عمودي من رأس المُتّجه إلى المحور الأفقي. ويمكن الحصول على المُركّبة y (المُركّبة العمودية)، بالمثل، برسم خطّ عمودي من رأس المُتّجه إلى المحور y.



الشكل 2-17 مُركّبتا المُتّجه.

يمكن تعريف المُركّبتَين x و y للمُتّجه باستخدام حساب المثلّثات. تشكّل مُركّبتا المُتّجه مثلّثًا قائمًا مع المُتّجه نفسه عند ترتيبها بطريقة الرأس والذيل. تعتمد نسب أطوال أضلاع المثلّث القائم فقط على الزاوية θ وتُسمّى «**الجيب sin**» و «**جيب التمام cos**» و «**الظل tan**».
لاحظ تعريف هذه الدوّال في (**الشكل 2-18**).

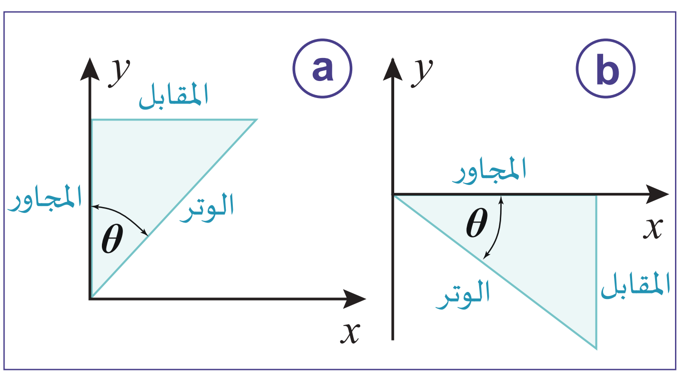


الشكل 2-18 النسب المثلّثية.

2-2	مُركّبتا المُتّجه	A	مقدار المُتّجه
	$A_x = A\cos\theta$	A_x	المُركّبة الأفقية للمُتّجه
	$A_y = A\sin\theta$	A_y	المُركّبة العمودية للمُتّجه
		θ	زاوية المُتّجه (°)

اتّجاه الزاوية

يجب الانتباه عند التعامُل مع الزوايا التي يصنعها المتجه مع محاور الإحداثيات، فقد يكون قياس الزاوية بالنسبة إلى المحور x أو بالنسبة إلى المحور y. فإذا كان قياس الزاوية في المسألة بالنسبة إلى المحور y، يمكنك اتّباع إحدى الطريقتَين الآتيتَين:



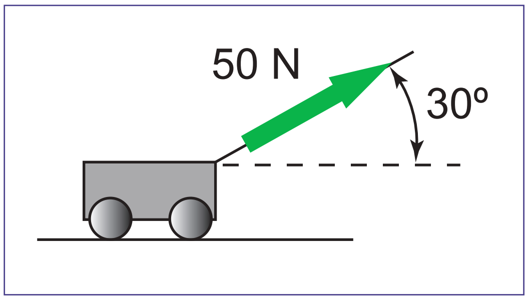
الشكل 2-19 أمثلة على زوايا باتّجاهات مُختلفة.

1. اطرح الزاوية المُعطاة في المسألة من 90° للحصول على قياس الزاوية بالنسبة إلى المحور x.

2. انتقل إلى مثلث يكون فيه محور y هو المجاور للزاوية كما في (**الشكل 2-19a**) أو محور x هو المجاور كما في (**الشكل 2-19b**)

مثال 11

تؤثّر قوّة مقدارها 50 N على عربة بزاوية 30° مع الأفقي. أوجد المُركّبتَين الأفقية والعمودية للقوّة.



الشكل 2-20 القوّة المؤثّرة على العربة.

المطلوب: المُركّبتان الأفقية والعمودية للقوة.

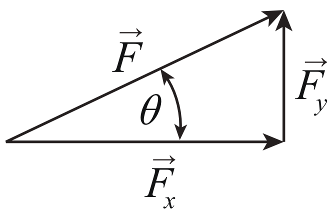
المُعطيات: مقدار القوّة: $F = 50\ N$.

زاوية القوّة: $\theta = 30°$.

العلاقات: $F_x = F\ cos\theta$؛

$F_y = F\ sin\theta$؛

الحلّ: يمكن رسم المُركّبتَين الأفقية والعمودية للقوّة على النحو الآتي:



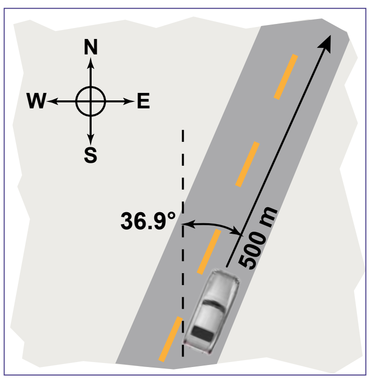
أما حلّ المركّبتَين رياضيًا فيكون:

$$F_x = F\cos\theta = (50\ N)\cos(30°) = \boxed{43\ N}$$

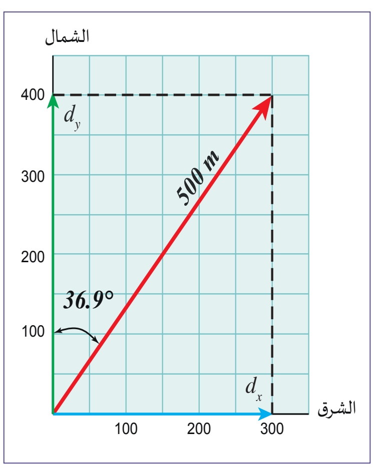
$$F_y = F\sin\theta = (50\ N)\sin(30°) = \boxed{25\ N}$$

مثال 12

تتحرّك سيّارة بإزاحة 500 m على طريق يصنع زاوية 36.9° باتّجاه شرق الشمال (**الشكل 2-21**). اكتب المُركّبتَين الأفقية والعمودية لمتّجه إزاحة السيّارة إلى أقرب متر.



الشكل 2-21



المطلوب: المُركّبتان الأفقية والعمودية لمتّجه الإزاحة.

المُعطيات: مقدار الإزاحة 500 m.

الزاوية بالنسبة إلى الشمال، $\theta = 36.9°$.

العلاقات: $d_x = d\sin\theta$؛

$d_y = d\cos\theta$؛

الحلّ: نُلاحظ أنّ الزاوية مرسومة بالنسبة إلى المحور y:

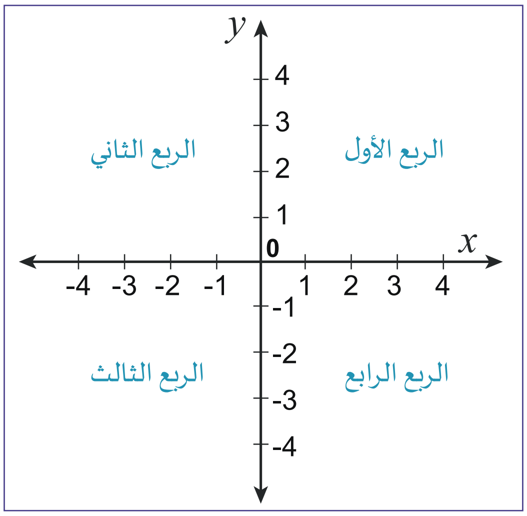
$$d_x = d\sin\theta = (500\ m)\sin(36.9°) = \boxed{300\ m}$$

$$d_y = d\cos\theta = (500\ m)\cos(36.9°) = \boxed{400\ m}$$

تحديد إشارات المُركّبات

تساعدنا القواعد الآتية على فهم إشارات المُركّبات وفقًا للربع الذي يقع فيه المُتّجه:

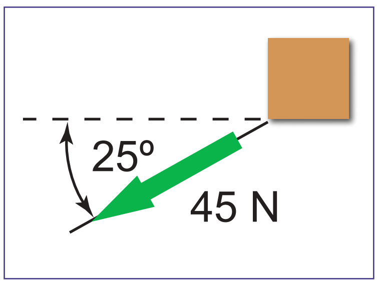
- المُتّجه الذي يقع في الربع الأول ستكون كلتا مُركّبتَيه، الأفقية والعمودية، موجبتَين.
- المُتّجه الذي يقع في الربع الثاني ستكون مُركّبته العمودية موجبة و مُركّبته الأفقية سالبة.
- المُتّجه الذي يقع في الربع الثالث ستكون كلتا مُركّبتَيه الأفقية والعمودية سالبتَين.
- المُتّجه الذي يقع في الربع الرابع ستكون مُركّبته الأفقية موجبة ومُركّبته العمودية سالبة.



الشكل 2-22 أرباع الرسم البياني.

مثال 13

يُبيّن **الشكل 2-23** صندوقًا تؤثّر عليه قوّة سحب مقدارها 45 N. يبلغ قياس الزاوية المحصورة بين متّجه القوّة والمحور x. 25°. احسب المُركّبتَين الأفقية والعمودية لهذه القوّة.



الشكل 2-23 القوة المؤثّرة على الصندوق.

المطلوب: المُركّبتان الأفقية والعمودية للقوّة.

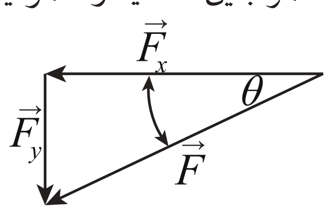
المُعطيات: مقدار القوّة: $F = 45\ N$.

زاوية القوّة: $\theta = 25°$.

العلاقات: $F_x = F\cos\theta$؛

$F_y = F\sin\theta$؛

الحلّ: يمكن رسم المُركّبتَين الأفقية والعمودية للقوّة على النحو الآتي:



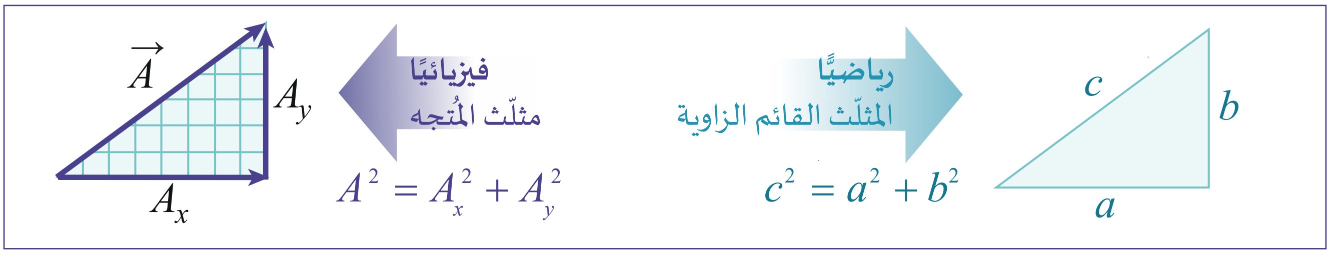
يقع متجه القوّة في الربع الثالث، حيث تكون مركبتاه سالبتين في هذا الربع. بحساب المُركّبتَين رياضيًا نجد:

$$F_x = -F\cos\theta = -(45\ N)\cos(25°) = \boxed{-41\ N}$$

$$F_y = -F\sin\theta = -(45\ N)\sin(25°) = \boxed{-19\ N}$$

إيجاد المُحصّلة بواسطة المُركّبتَين x و y

تتيح لنا مُركّبات المُتّجهات إيجاد المحصّلة باستخدام نظرية فيثاغورث. يُظهِر (**الشكل 2-24**) مُركّبات المُتّجه. عندما نجمع هذه المُركّبات باستخدام طريقة الرأس والذيل، نلاحظ أن المحصّلة تصنع مثلّثًا قائم الزاوية.



الشكل 2-24 إيجاد مقدار مُتّجه باستخدام نظرية فيثاغورث.

يمكن حساب مقدار متّجه المحصّلة وزاويته بشكل تحليلي. يُكتب مقدار المُتّجه $\vec{A}$ باستخدام نظرية فيثاغورث في **المعادلة 2-3**.

2-3	مقدار المُتّجه		
	$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$	A	مقدار المُتّجه
		A_x	المُركّبة الأفقية للمُتّجه
		A_y	المُركّبة العمودية للمُتّجه

لإيجاد زاوية المُتّجه من مُركّباته، استخدم معكوس دالّة الظل. كما هو مبيّن في **المعادلة 2-4**.

2-4	مقدار الزاوية		
	$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{A_y}{A_x}\right)$	θ	زاوية المُتّجه (°)
		A_x	المُركّبة الأفقية للمُتّجه
		A_y	المُركّبة العمودية للمُتّجه

مثال 14

يتكوّن مُتّجه القوة من مُركّبة أفقية $+6\ \text{N}$ ومُركّبة عمودية $+8\ \text{N}$. احسب مقدار المُتّجه والزاوية التي يصنعها مع المحور x.

المطلوب: مقدار المُتّجه والزاوية التي يصنعها مع المحور x.

المُعطيات: المُركّبة الأفقية $= +6\ \text{N}$؛ المُركّبة العمودية $= +8\ \text{N}$.

الحلّ: حساب مقدار المُتّجه:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = \boxed{10\ \text{N}}$$

حساب الزاوية مع المحور x:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{8}{6}\right) = \boxed{53.13°}$$

جمع المُتّجهات باستخدام المُركّبات

يمكن استخدام مُركّبات المُتّجهات عند جمع مُتّجهَين وطرح أحدهما من الآخر بدلًا من رسمهما بيانيًّا لقياس المحصلّة.

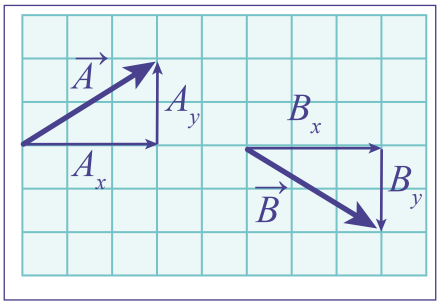
.1 لحساب المحصلّة، عند جمع المُتّجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ كما هو مبيّن، سنحسب أولًا المُركّبة الأفقية والمُركّبة العمودية لكل من المُتّجهين.

.2 ستكون المُركّبة الأفقية للمحصلّة مساويةً لـ: $R_x = A_x + B_x$.

.3 ستكون المُركّبة العمودية للمحصلّة مساويةً لـ: $R_y = A_y + B_y$.

.4 يمكن حساب مقدار R باستخدام: $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$

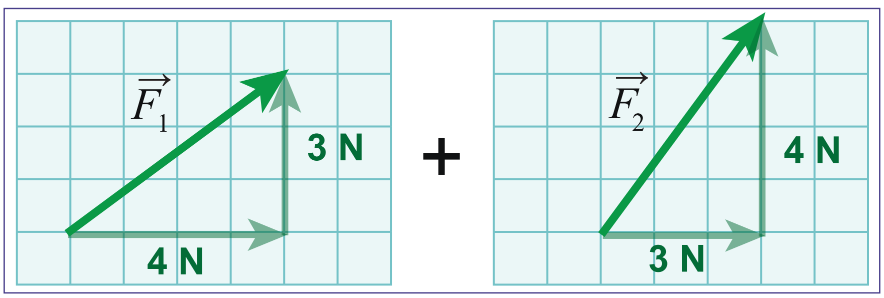
.5 زاوية المُتّجه R تساوي: $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right)$



الشكل 2-25 جمع المتّجهين A و B.

مثال 15

أوجد مجموع (محصلة) متجهي القوتين 1F و 2F واحسب قياس زاوية القوة المحصلة. مستعينًا **بالشكل 2-26**



الشكل 2-26 إيجاد مُتّجه المحصلّة.

المطلوب: مقدار المحصلّة وزاويتها؛ $F = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$.

المُعطيات: $F_{1x} = 4\ \text{N};\ F_{1y} = 3\ \text{N};\ F_{2x} = 3\ \text{N};\ F_{2y} = 4\ \text{N}$

العلاقات: $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right)$ ؛ $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$

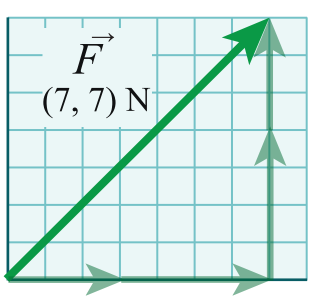
الحلّ:

$$R_x = F_{1x} + F_{2x} = 4 + 3 = 7\ \text{N}$$

$$R_y = F_{1y} + F_{2y} = 3 + 4 = 7\ \text{N}$$

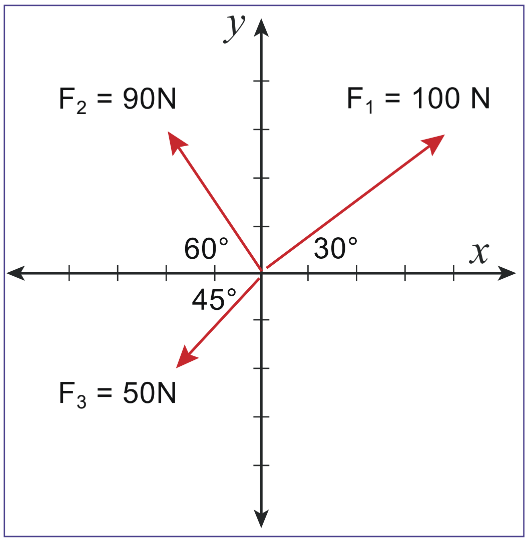
$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{7^2 + 7^2} = \boxed{9.9\ \text{N}}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{7}{7}\right) = \boxed{45°}$$



مثال 16

يتضمّن **الشكل 2-27** ثلاث قوى. استخدم المركّبتَين الأفقية والعمودية لكل قوة من أجل حساب المقدار والزاوية لمجموع المتّجهات الثلاثة.



الشكل 2-27 جمع ثلاثة متّجهات.

المطلوب: مقدار المُحصّلة وزاويتها $\vec{F} = \vec{F_1} + \vec{F_2} + \vec{F_3}$.

المُعطيات: $F_1 = 100$ N؛ $F_2 = 90$ N؛ $F_3 = 50$ N؛

العلاقات:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \text{ ؛}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right) \text{ ؛}$$

$F_x = F\cos\theta$؛

$F_y = F\sin\theta$؛

الحلّ:

$F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x}$

$= (100\cos30°) + (-90\cos60°) + (-50\cos45°) = 6.25$ N

$F_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y}$

$= (100\sin30°) + (90\sin60°) + (-50\sin45°) = 92.59$ N

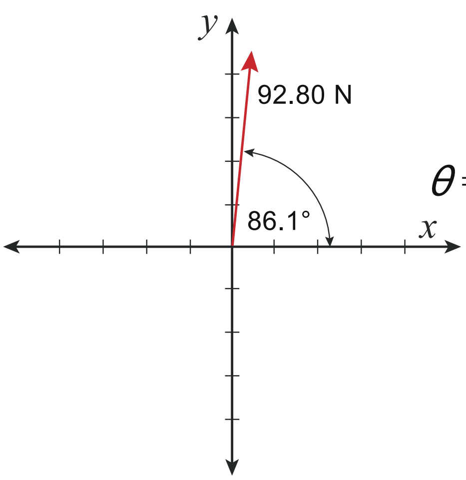
لإيجاد مقدار المحصلة:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(6.25)^2 + (92.59)^2}$$

$$= 92.80 \text{ m}$$

لحساب زاوية المحصلة:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{92.59}{6.25}\right) = 86.1°$$

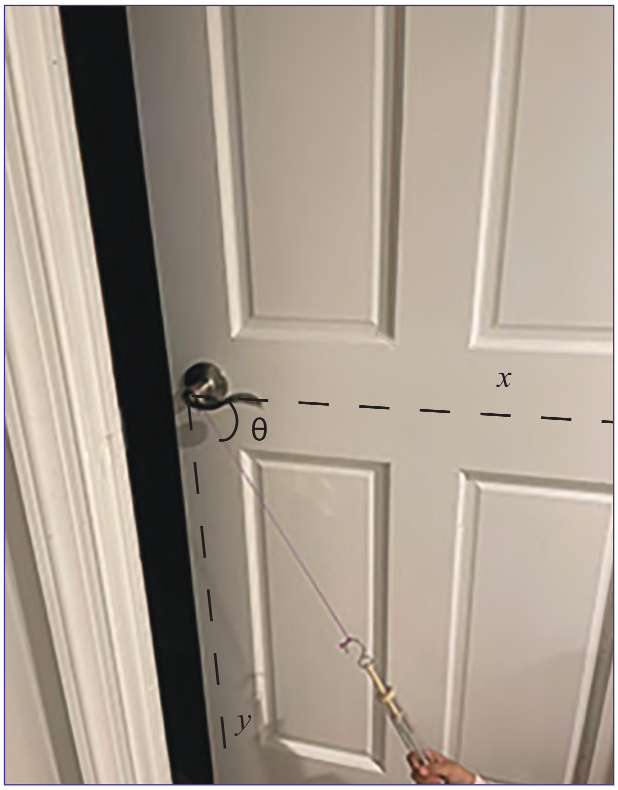


نشاط 2-1 القوة المؤثّرة على باب

سؤال الاستقصاء	ما مُركّبتَي القوة التي يتم التأثير بها لفتح باب؟
الموادّ المطلوبة	خيط، مقياس القوة (ميزان نابض)، باب، آلة حاسبة

الخطوات

1. اربط خيطًا بمقبض باب أو مقبض نافذة (يجب أن يكون الباب أو النافذة مفتوحَين قليلًا.
2. اصنع حلقة على الطرف الحرّ للباب أو النافذة وعلق بها الميزان نابضي.
3. شدّ مقياس القوة نحوك إلى أن يصبح الخيط مشدودًا ويصنع زاوية 30^{o} مع الباب المُستخدم.
4. شدّ الباب لإغلاقه باستخدام الميزان النابض، ولاحظ أن القوة تزداد.
5. لاحظ القوة المؤثّرة.
6. حلّل هذه القوة إلى مُركّبتَيها الأفقية والعمودية.
7. كرّر الخطوات من 3 إلى 5 باستخدام الزوايا 45^{o} و 60^{o} و 75^{o} و 90^{o}.



الشكل 2-28 مقياس القوة لفتح الباب.

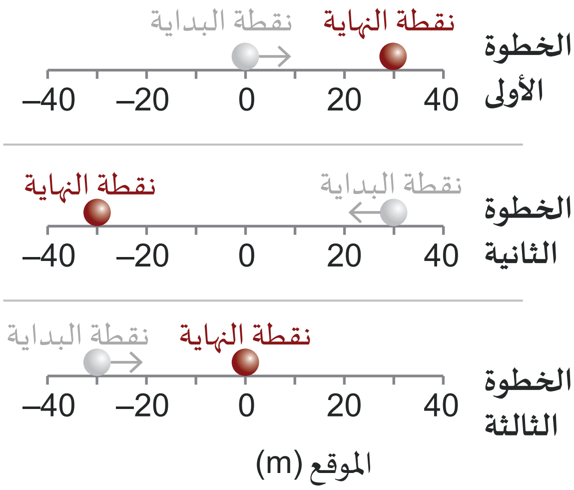
الأسئلة

a. ما الزاويةالتي يصعب فتح الباب بها؟
b. ما الزاوية التي يسهل فتح الباب بها؟
c. هل تمّ تمثيل صعوبة فتح الباب أو سهولته في نتائجك؟
d. كرّر الاستقصاء بزوايا أكبر من 90^{o}. هل يكون الأمر أسهل من المحاولات السابقة أم أصعب؟
e. أيّة زاوية لها أصغر مُركّبة أفقية؟
f. أيّة زاوية لها أكبر مُركّبة أفقية؟
g. أيّة زاوية لها أصغر مُركّبة عمودية؟
h. أيّة زاوية لها أكبر مُركّبة عمودية ؟

تقويم الدرس 1-2

1. صنّف الكميات في العبارات الآتية إلى مسافة أو إزاحة:
   a. جلس طالب على بعد 20 m من طاولة المعلّم.
   b. قاد سائق سيارته 5 km شمال محطّة القطار.
   c. دار رجل 6 km حول حديقة الوكرة العامة في مدينة الدوحة.
   d. ركل لاعب الكرة إلى بُعد 40 m.

2. من خلال الأشكال المجاورة وضح ما يلي:
   a. اكتب متّجه إزاحة الكرة في كل من خطوات الحركة الثلاث والموضّحة في الأشكال المجاورة.
   b. ما الإزاحة الكليّة للإزاحات الثلاث؟
   c. ما الإزاحة الحقيقية لحركة تبدأ ثمّ تنتهي عند الموضع نفسه؟

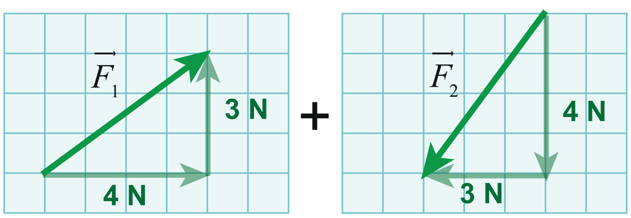


3. أوجد متّجه المُحصلة الناتج عن جمع متّجهات الإزاحة الثلاثة الآتية، وذلك بالطريقتَين البيانية والجبرية.
$d_1 = 50$ m شرقًا، $d_2 = 100$ m شمالاً، $d_3 = 50$ m غربًا.

4. احسب كلًّا من المقدار والزاوية (بالنسبة إلى المحور x)، والمُركّبتَين الأفقية والعمودية للمتّجه $d = (-20,20)$ m.

5. ما المُركّبتان الأفقية والعمودية لمتّجه إزاحة يصنع زاوية 30° مع المحور x، ومقداره 50 m؟

6. a. استخدم كلًّا من مُركبّتَي مُتّجه القوة الأفقية والعمودية، لتحسب مجموع $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$ المُبيّنتَين في الشكل المجاور. استخدم حساب المُركّبات وطريقة الرأس والذيل.
   عبّر عن ذلك بيانيًا وبالأرقام.
   b. احسب مقدار وزاوية المُتّجه $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$.



7. هل يمكن أن يكون لقوة واحدة مقدارها 100 N مركبة تساوي صفر في الاتّجاه الأفقي؟ إذا كان الأمر كذلك، فاشرح كيف يكون هذا ممكنًا.

الدرس 2-2

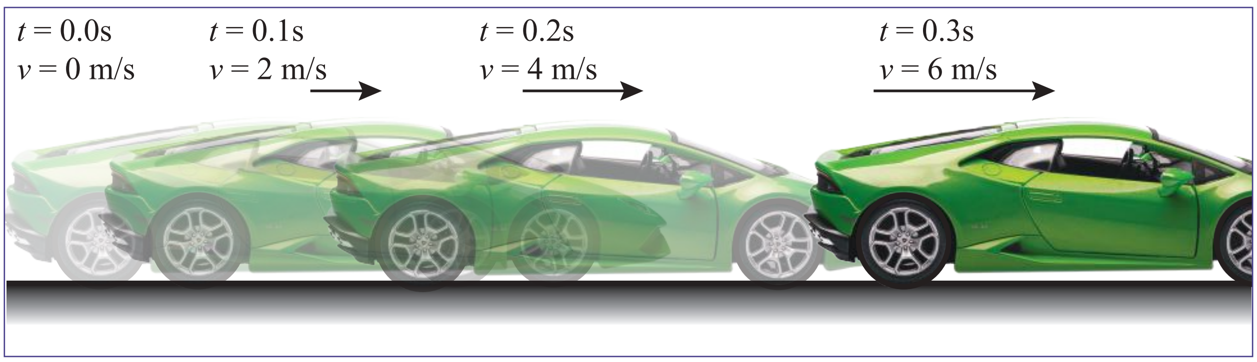
السرعة والسرعة المُتّجهة والتسارُع

Speed, Velocity, and Acceleration

المفردات

Speed	السرعة
Velocity	السرعة المتّجهة
Average velocity	السرعة المتجهة المتوسطة
Instantaneous velocity	السرعة المتّجهة اللحظية
Acceleration	التسارُع

يتنافس صانعو السيارات في تصنيع محرّكات تُكسب السيّارات أعلى تسارُع يمكن بلوغه، بدءًا من 0 إلى 100 km/h. غيّر اختراع السيارات الكهربائية والهجينة الطريقة التي يتحقّق بها التسارُع العالي، الذي يحتاج إلى قوّة كبيرة. تُنتج المحرّكات الكهربائية عزم دوران عالي بمجرّد بدء التشغيل، بينما تُنتج محرّكات البنزين عزم دوران كبيرًا عند الوصول إلى السرعة العالية فقط.



الشكل 2-29 يحدث التسارُع عندما تتغيّر السرعة بالنسبة إلى الزمن.

مخرجات التّعلُّم

P1003.2 يصف المقصود بالمفاهيم: المسافة، والإزاحة، والسرعة، والسرعة المتّجهة، والتسارُع.

P1003.3 يمثل كلًّا من المسافة، والإزاحة، والسرعة، والسرعة المتّجهة بيانًيا، ويفسر الرسوم البيانية التي تمثل هذه المفاهيم، بما في ذلك إيجاد الإزاحة كمساحة تحت مُنحنى السرعة - الزمن في الرسم البياني.

P1004.1 يشتق رياضيًا وبيانيًا، استنادًا إلى تعريفات السرعة المتّجهة والتسارُع، معادلات الحركة التي تمثل حركة جسم تسارُعه منتظم (ثابت) على خط مستقيم، ويستخدم هذه المعادلات في حل مسائل متعلقة بحركة الأجسام بتسارُع ثابت.

السرعة والسرعة المتّجهة

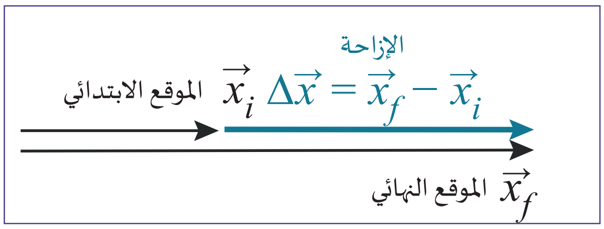
السرعة Speed هي كمّية قياسيّة تصف المسافة التي يقطعها الجسم المتحرّك خلال وحدة الزمن. كأن تتحرّك سيّارة بسرعة 13 m/s. تكون مُعادلة السرعة هي نسبة المسافة المقطوعة على الزمن (**المعادلة 5-2**).

5-2	السرعة		
	$v = \dfrac{d}{t}$	v	السرعة (m/s)
		d	المسافة (m)
		t	الزمن (s)

أمّا وحدة السرعة فهي وحدة مسافة لكل وحدة زمن. فإذا افترضنا أنك قطعتَ 190 km في ساعتَين، يكون متوسّط سرعتك 190 km مقسومة على ساعتَين أو 95 km/h. وهذه السرعة تساوي 26.4 m/s.

$$v = \frac{190 \text{ km}}{2 \text{ h}} = 95 \text{ km/h} \qquad \left(\frac{95\ \cancel{\text{km}}}{1\ \cancel{\text{h}}}\right)\left(\frac{1000 \text{ m}}{1\ \cancel{\text{km}}}\right)\left(\frac{1\ \cancel{\text{h}}}{3600 \text{ s}}\right) = 26.4 \text{ m/s}$$

يُعبّر عادةً عن متّجه الإزاحة رياضيًا وفق الصيغة $\Delta\vec{x}$. حيث يُعبّر الرمز "Δ" عن "التغيّر في" ويُلفظ "دلتا". وبما أنّ $\vec{x}$ هي الموقع، فإنّ $\Delta\vec{x}$ تعني "التغيّر في الموقع" أو $\vec{x}_f - \vec{x}_i$ (**الشكل 30-2**). لذلك قد تكون $\Delta\vec{x}$ موجبة وقد تكون سالبة.



الشكل 30-2 الإزاحة $\Delta\vec{x}$.

السُرعة المتّجهة Velocity، $\vec{v}$، هي متّجه مُكافئ للسرعة، يصف سرعة الجسم واتّجاهه، كأن تتحرّك سيّارة بسرعة 13 m/s نحو الشمال. لنفترض أنّ الحركة تحدث على مسار مستقيم، عندئذ تُحدّد إشارة السرعة المتّجهة اتّجاه الحركة. فسيّارة تتحرّك بسرعة متّجهة 10 m/s-، يكون اتّجاه حركتها مُعاكسًا لسيّارة تتحرّك بسرعة 10 m/s+. تُستخدم **المُعادلة 6-2** لحساب السرعة المتّجهة، الذي يُساوي متّجه الإزاحة مقسومًا على الزمن. وغالبًا ما يُوصف على أنّه التغير في الموقع مقسومًا على الزمن.

> السرعة هي مقدار السرعة المتجهة الذي قد يكون موجبًا وقد يكون صفرًا.

6-2	السرعة المتّجهة		
	$\vec{v} = \dfrac{\Delta\vec{x}}{\Delta t}$	$\vec{v}$	السرعة المتّجهة (m/s)
		$\Delta\vec{x}$	متّجه الإزاحة (التغير في الموقع). (m)
		Δt	التغيّر في الزمن (s)

الزمن الابتدائي

من الملائم في كثير من أسئلة الفيزياء ضبط الزمن الابتدائي t_i على الصفر. وفي مثل هذه الحالات، تصبح الفترة الزمنية $\Delta t = t$، ويمكن أيضًا كتابة الموقع الابتدائي (عند اللحظة الابتدائية) x_i، أو $x = x_0$.

الموقع الابتدائي

عندما يبدأ الجسم حركته من نقطة الأصل، أو عندما لا يرد ذكر الموقع الابتدائي في المسألة، فإننا نعتبر $x_i = 0$.

اشرح الفرق بين السرعة والسرعة المتّجهة.

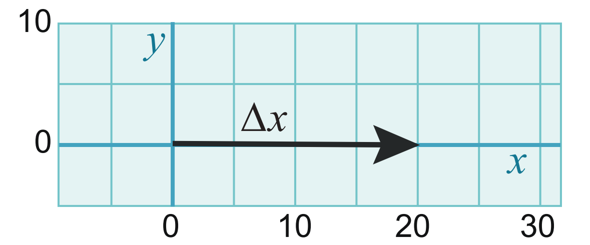
هل يمكن أن تعتمد السرعة المتّجهة على المسافة بدلًا من الإزاحة؟

لماذا لا يمكن أن تكون السرعة سالبة؟

الاختلاف بين السرعة والسرعة المتّجهة

تختلف السرعة عن السرعة المتّجهة في الفيزياء وسبب ذلك أنّ السرعة كمّية قياسيّة، في حين أنّ السُرعة المتّجهة كمّية متّجهة. لكنّ يتمّ تجاهل مثل هذا الاختلاف في حلّ بعض المسائل ومثال ذلك الجسم المُتحرّك في مسار مستقيم وباتّجاه واحد (**الشكل 2-31**). حيث تكون السرعة (v)، هي السرعة المتّجهة ($\vec{v}$).

وتكون أيضًا كل من السرعة والسرعة المتّجهة متكافئتَين عندما لا يكون هناك حركة على الإطلاق ضمن المُدة الزمنية المطلوبة بحيث $v = 0$.

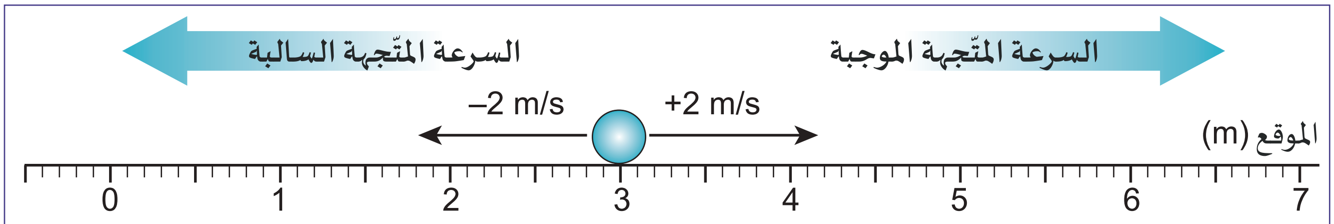


$$v = \frac{d}{t} \qquad \vec{v} = \frac{\Delta\vec{x}}{t}$$

الشكل 2-31 مساواة السرعة والسرعة المتجهة

هل السرعة المتّجهة موجبة أم سالبة؟

قد تكون السرعة المتّجهة موجبة وقد تكون سالبة وفقًا لكيفية اختيار تعريف الاتّجاه. فإذا عُرّفت الحركة إلى اليمين بأنها موجبة، فإن السرعة المتّجهة السالبة، مثل 2 m/s-، تصف الحركة إلى اليسار (**الشكل 2-32**). ومن المهم أن ندرك أن هذا خيار وليس قاعدة فيزيائية.



الشكل 2-32 اختيار السرعة المتّجهة الموجبة أو السالبة.

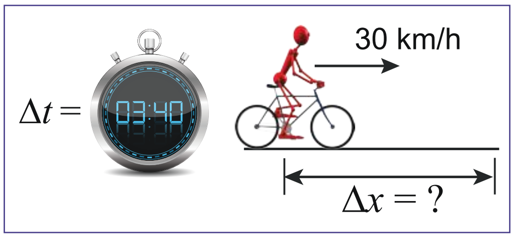
تعبّر السرعة عن مقدار السرعة المتّجهة ولا يمكن أن تكون سالبة.

السرعة الثابتة

تتضمّن أسئلة كثيرة عبارة «السرعة القياسية الثابتة» أو عبارة «السرعة المتّجهة الثابتة». وتعني كل منهما أن قيمة السرعة (v) لا تتغيّر مع مرور الزمن. فإذا كان لجسم ما «سرعة ثابتة» مقدارها 10 m/s مثلاً، فإن السرعة تبقى 10 m/s في مختلف الأزمنة خلال حركته.

مثال 17

قاد أحد الركّاب درّاجته باتّجاه الشرق لمدة 3 min و 40 s بسرعة 30 km/h. كم مترًا قَطع راكب الدرّاجة؟



الشكل 2-33 كم مترًا قطع راكب الدرّاجة؟

المطلوب: المسافة Δx بوحدة المتر.

المعطيات: $v = 30\ \text{km/h};\ t = 3\ \text{min},\ 40\ \text{s}$

العلاقات: $\Delta x = v\ \Delta t$

الحل: يجب أن تكون الوحدات مُتّسقة بتحويل السرعة إلى m/s والزمن إلى ثوانٍ.

$$\frac{30\ \text{km}}{\text{h}}\left(\frac{1000\ \text{m}}{\text{km}}\right)\left(\frac{1\ \text{h}}{3600\ \text{s}}\right) = 8.33\ \text{m/s}$$

$$3\ \text{min}\left(\frac{60\ \text{s}}{1\ \text{min}}\right) = 180\ \text{s}$$

$$\Delta t = 180\ \text{s} + 40\ \text{s} = 220\ \text{s}$$

$$\Delta x = v\Delta t = (8.33\ \text{m/s})(220\ \text{s}) = \boxed{1833\ \text{m}}$$

مثال 18

ينتقل روبوت إلى اليمين بسرعة 0.5 m/s لمدّة 15 s، ثم ينتقل إلى اليسار بسرعة 0.3 m/s لمدّة 18 s. ما الموقع النهائي للروبوت إذا بدأ حركته عند $x_i = 0$؟

المطلوب: الموقع النهائي $x_i = ?$.

المعطيات: $t_1 : v_1 = 0.5\ \text{m/s}\ ;15\ \text{s}$

$t_2 : v_2 = 0.3\ \text{m/s}\ ;18\ \text{s}$

$x_i = 0$

العلاقات: $\Delta x = v\ \Delta t$

الحل: يُحلّ هذا السؤال بحساب الإزاحتَين ثم جمعهما.

$$\Delta x_1 = v_1\Delta t_1 = (0.5\ \text{m/s})(15\ \text{s}) = 7.5\ \text{m}$$

$$\Delta x_2 = v_2\Delta t_2 = (-0.3\ \text{m/s})(18\ \text{s}) = -5.4\ \text{m}$$

$$\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2 = 7.5\ \text{m} - 5.4\ \text{m} = 2.1\ \text{m}$$

الموقع النهائي للروبوت منذ أن بدأ من الموقع $x_i = 0$:

$$x_f = 0 + \Delta x = 2.1\ \text{m}$$

الموقع النهائي للروبوت يساوي $\boxed{+2.1\ \text{m}}$

مثال 19

ركل لاعب كرةً باتجاه اليمين فانطلقت بسرعة ثابتة مقدارها 15 m/s, فاصطدمت بجدار على بُعد 12 m عن اللاعب، ثم ارتدت باتجاه اللاعب بسرعة ثابتة مقدارها 10m/s. احسب زمن ذهاب الكرة إلى الجدار وعودتها إلى اللاعب.

المطلوب: $\Delta t = ?$

المعطيات: $\Delta x_1 = 12\text{m},\ \Delta x_2 = -12\text{ m},\ v_1 = 15\text{ m/s},\ v_2 = -10\text{m/s}$

العلاقات: $\Delta x = v\Delta t$

الحل: $\Delta x = v\Delta t$

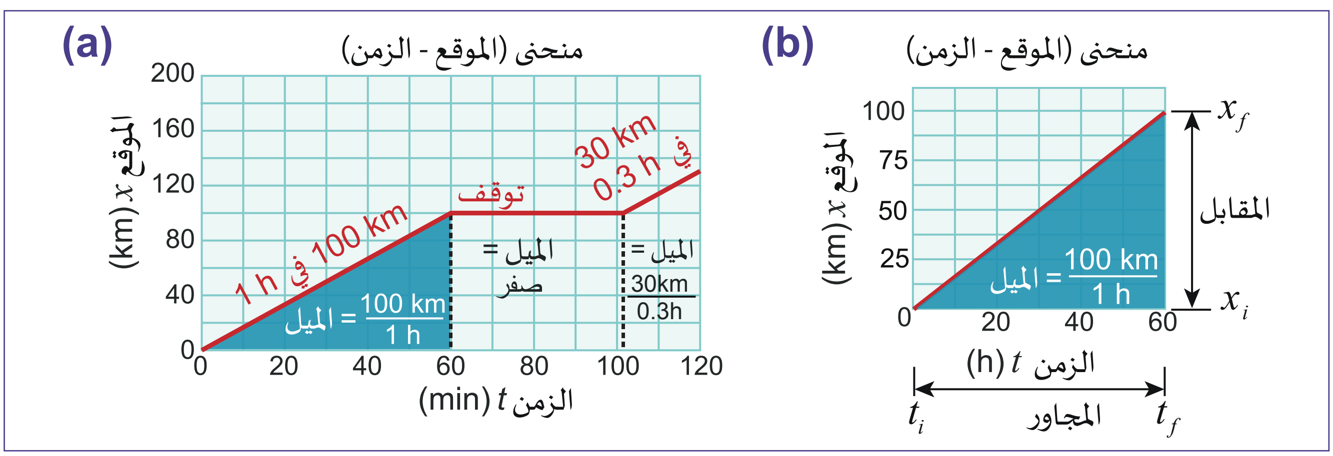
$$\Delta t_1 = \frac{\Delta x_1}{v_1} = \frac{12\text{ m}}{15\text{ m/s}} = 0.8\text{s}$$

$$\Delta t_2 = \frac{\Delta x_2}{v_2} = \frac{12\text{ m}}{10\text{ m/s}} = 1.2\text{s}$$

$$t = \Delta t_1 + \Delta t_2 = 0.8+1.2=2\text{s}$$

مُنحنى (الموقع – الزمن)

يُعدّ الرسم البياني طريقة مفيدة لتوضيح الحركة التي تتغيّر فيها الإزاحة أو الموقع مع الزمن. تخيَّل رحلة بين الدوحة والرويس اللتين تفصل بينهما مسافة 130 km، وأنت تقود سيّارتك بسرعة 100 km/h لمدّة ساعة واحدة، وتستريح لمدّة 42 min، ثم تستأنف قيادتها لمدة 18 min أخرى بالسرعة نفسها. فتكون قد قطعت 130 km على مدار ساعتَين؛ لذلك، يبلغ متوسّط سرعتك 130 km ÷ 2 h = 65 km/h.



الشكل 2-34 (a) مُنحنى (الموقع – الزمن) لرحلة من الدوحة إلى الرويس. (b) المَيل خلال الساعة الأولى من الرحلة.

يُعدّ مُنحنى (الموقع – الزمن) نموذجًا لتمثيل الحركة بالرسم، كما هو مبيّن في (**الشكل 2-34 a**). يبيّن نموذج الرسم البياني التغيّر في الموقع x على المحور العمودي والزمن t على المحور الأفقي، وقد قُسّمت فيه الحركة إلى ثلاث مراحل. إذا اعتبرنا أنّ نقطة الأصل هي الدوحة، فيكون الموقع قد تغيّر في الساعة الأولى من صفر إلى 100 km، ولم يتغيّر الموقع خلال (0.7 h) 42 min التالية، ما يعني أنّ السيّارة قد توقّفت. ويُمثّل ذلك على الرسم البياني بخط مستقيم أفقي. بعد ذلك تقطع السيارة 30 km خلال (0.3 h) 18 min ، وتكون سرعتها 100 km/h. ويُمثّل ذلك على الرسم بخط مستقيم ذي مَيل موجب.

ميل منحنى (الموقع - الزمن)

يمثّل مَيل المنحنى التغيّر على طول المحور العمودي مقسومًا على التغيّر على طول المحور الأفقي. يُحسب مَيل الرسم البياني باستخدام إحداثيات x و y كالآتي:

$$\text{v السرعة المتجهة = الميل} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

عند تحليل المَيل في (**الشكل 2-34 b**)، يمكننا تعويض قيَم الموقع في إحداثيات y، وقيَم الزمن في إحداثيات x.

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

يمثل ميل منحنى (الموقع- الزمن) السرعة المتجهة.

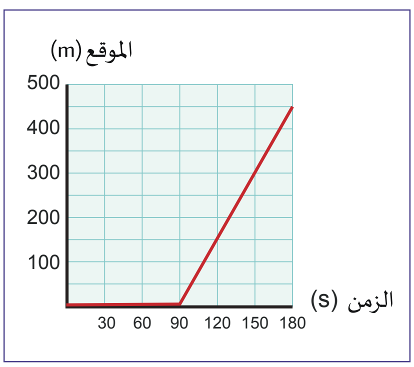
مثال 20

توقفت سيارة في نقطة تمثل الموقع الابتدائي، لمدة من الزمن، ثم تحركت بسرعة متجهة ثابتة، ومثلت حركتها بالشكل المجاور. أوجد سرعة السيارة المتجهة: **a.** عند اللحظة (t=120 s) ، **b.** خلال الزمن كاملًا 180 s.

المطلوب: **a.** السرعة المتجهة اللحظية، **b.** السرعة اللحظية المتوسطة.

المعطيات: بيانات الشكل (الزمن والموقع)

العلاقات: الميل = $\frac{\Delta x}{\Delta t}$



الشكل 2-35

الحل: **a .** السرعة المتجهة اللحظية تساوي ميل المماس.

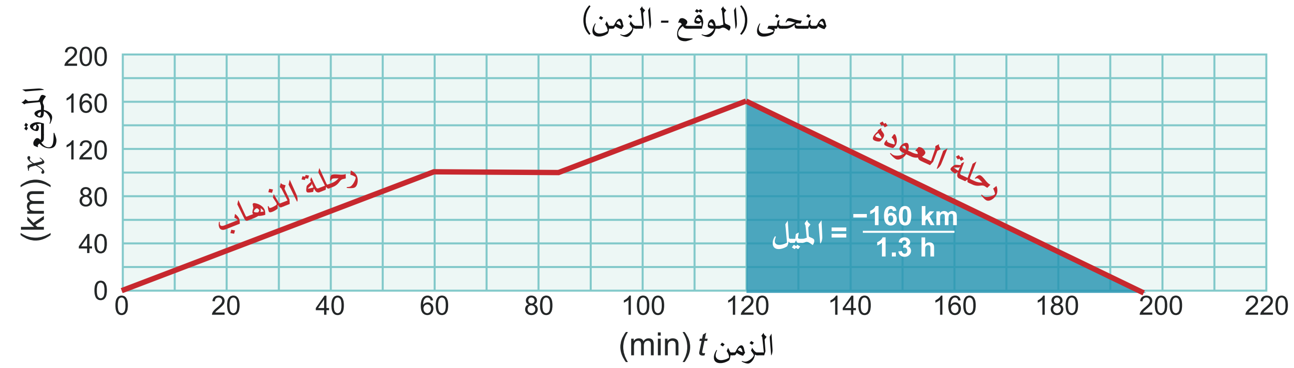
$$v = slope = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{450-0}{180-90} = 5\ \text{m/s}$$

b . السرعة المتجهة المتوسطة تساوي الإزاحة الكلية على الزمن الكلي.

$$v_{avg} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{450-0}{180-0} = 2.5\ \text{m/s}$$

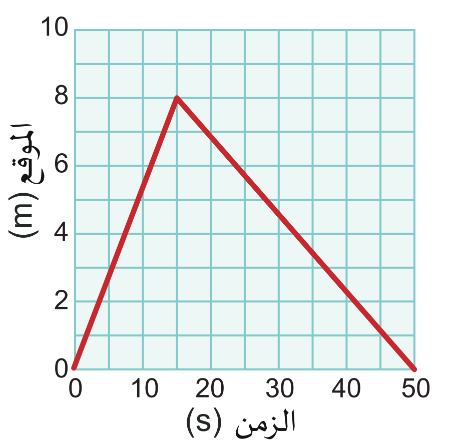
مُنحنى (الموقع – الزمن) للحركة إلى الخلف

لنفترض أنّك قرّرت العودة إلى الدوحة بعد وصولك إلى الرويس. يبيّن مُنحنى (الموقع - الزمن) في (**الشكل 2-36**) رحلة العودة كخطّ منحدر إلى أسفل يبدأ عند 120 min وحتى t = 195 min (المساحة المُظلّلة). يُسمّى هذا الخط بالمَيل السالب، لأن الموقع يتناقص إلى الصفر مع ازدياد الزمن، لكن حسب الرسم البياني يكون للموقع قيمة موجبة. لذلك يُشير المَيل السالب إلى أنّ الرحلة هي باتّجاه نقطة الأصل.



الشكل 2-36 رحلة من الدوحة إلى الرويس والعودة إلى الدوحة.

مثال 21



الشكل 2-37 مُنحنى (الموقع - الزمن).

يبيّن الرسم البياني في **الشكل 2-37** التغيّر في موقع فتى يركب درّاجة.

a. احسب السرعة المتّجهة للفتى في 15 s الأولى.

b. احسب السرعة المتّجهة للفتى في أثناء رحلة العودة.

المطلوب: **a.** السرعة المتّجهة، للفتى في 15 s الأولى.

b. السرعة المتّجهة للفتى في أثناء رحلة العودة.

المُعطيات: زمن الذهاب: $t_i = 0\ \text{s}, t_f = 15\ \text{s}$

موقع الذهاب: $x_i = 0\ \text{m}, x_f = 8\ \text{m}$

زمن العودة: $t_i = 15\ \text{s}, t_f = 50\ \text{s}$

موقع العودة: $x_i = 8\ \text{m}, x_f = 0\ \text{m}$

العلاقات: السرعة المتجهة = المَيل $\quad v = \dfrac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \dfrac{\Delta x}{\Delta t}$

الحل: **a.** لحلّ هذا السؤال، سنحسب المَيل.

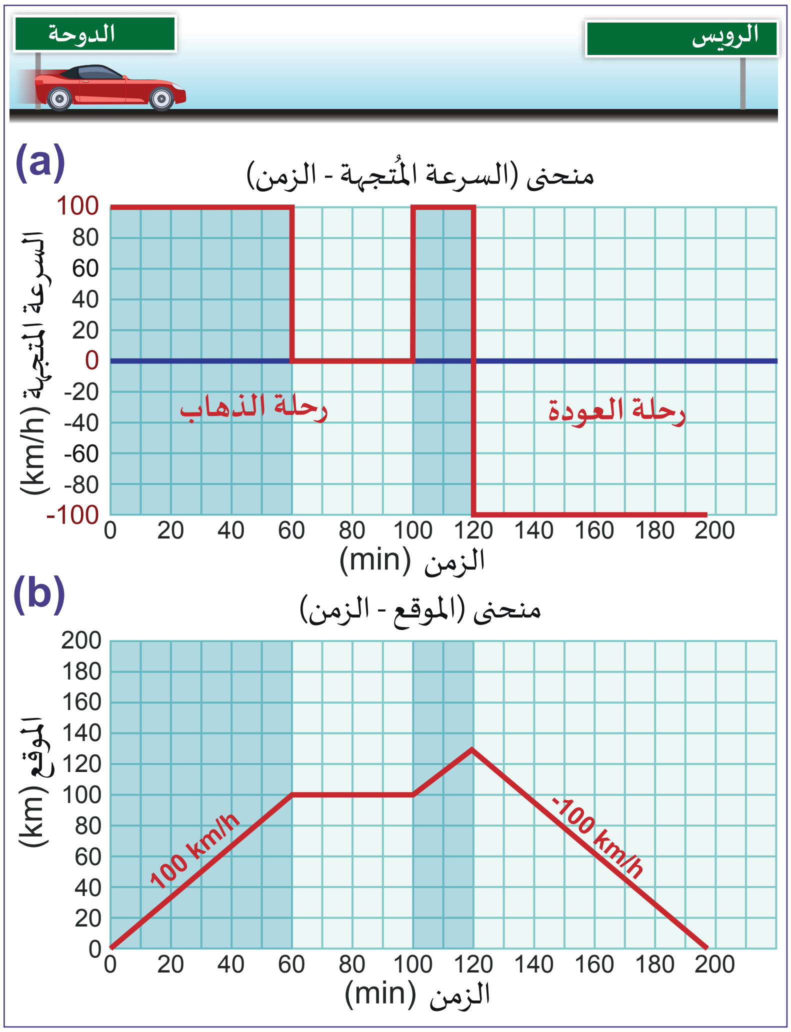
$$v = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{8-0}{15-0} = \boxed{0.53\ \text{m/s}}$$

b.

$$v = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{0-8}{50-15} = \boxed{-0.23\ \text{m/s}}$$

مُنحنى (السرعة المتّجهة - الزمن)

يُوضّح مُنحنى (السرعة المتّجهة - الزمن) السرعة المتّجهة على المحور الرأسي والزمن على المحور الأفقي. يُوضّح **(الشكل 2-38 a)** مُنحنى (السرعة المتّجهة-الزمن) للرحلة من الدوحة إلى الرويس. ويُوضّح **(الشكل 2-38 b)** الحركة نفسها في مُنحنى (الموقع - الزمن). يمكن تحليل هذه الرسوم البيانية معًا. حيث يُظهر مُنحنى (السرعة المتّجهة - الزمن) كيفية تغيّر السرعة المتّجهة. وفي المقابل يدلّ الخطّ الأفقي المستقيم على أن السرعة المتّجهة للسيّارة في أثناء الحركة بقيت ثابتة. كذلك يُظهر الرسم البياني الحركة في الاتّجاه المعاكس بسرعة متّجهة سالبة.



الشكل 2-38 (a) مُنحنى (السرعة المتّجهة - الزمن)؛ (b) مُنحنى (الموقع - الزمن).

مقارنة مُنحنى (السرعة المتّجهة - الزمن) مع مُنحنى (الموقع - الزمن).

تبدو الحركة في كلا الرسمَين البيانيَّين في **(الشكل 2-38)** هي نفسها، لكن الطريقة التي تظهر بها الحركة مختلفة تمامًا. ومن المهمّ معرفة الاختلافات لتجنّب الالتباس:

a. السرعة الثابتة تظهر على منحنى (الموقع- الزمن) كخط مستقيم مائل، بينما تظهر على منحنى (السرعة المتّجهة - الزمن) على شكل خط أفقي.

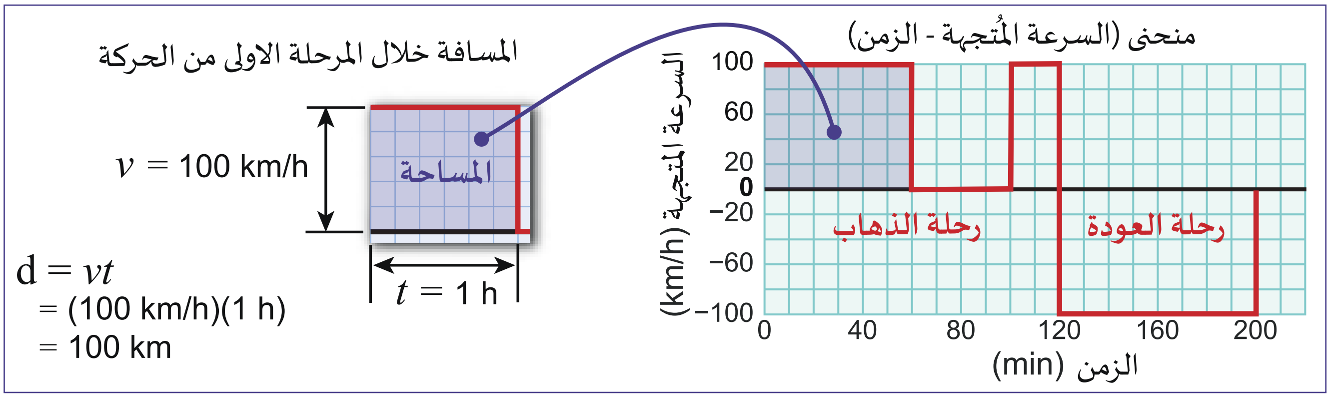
b. مَيل مُنحنى (الموقع - الزمن) يساوي قيمة مُنحنى (السرعة المتّجهة - الزمن) في الفترة الزمنية نفسها. وخلال الساعة الأولى في هذا المثال، كان المَيل على مُنحنى (الموقع - الزمن) هو 100 km/h، وهذه هي قيمة مُنحنى (السرعة المتّجهة - الزمن) خلال هذه الساعة.

c. السرعة التي تساوي صفرًا على مُنحنى (السرعة المتّجهة - الزمن) تقع على المحور x، حيث قيمة y تساوي 0 km/h.

المسافة من مُنحنى (السرعة المتّجهة - الزمن)

حساب المساحة في المرحلة الاولى من الرحلة

تمثّل المساحة تحت مُنحنى (السُرعة المتّجهة-الزمن) المسافة المقطوعة. وتُحسب بتطبيق العلاقة المسافة = السرعة المتّجهة × الزمن. تُمثّل السُرعة المتّجهة الارتفاع في مُنحنى (السرعة المتّجهة-الزمن) ويُمثّل الزمن في العرض. ويُعدّ المستطيل المُظلّل في منحنى (السرعة المتّجهة-الزمن) والمُوضّح في **الشكل 2-39**، هو المساحة بين الخط الذي يمثّل السرعة ومحور الزمن حيث $v = 0$. تبلغ مساحة هذا المستطيل 100 km، وهي المسافة المقطوعة بين اللحظتَين $t = 0$ و $t = 60$ min (1 h).



الشكل 2-39 المساحة الواقعة تحت مُنحنى (السرعة المتّجهة - الزمن).

حساب المساحة في المرحلة الثانية من الرحلة

يمكن معرفة المسافة بإيجاد المساحة تحت المنحنى من اللحظة (t=60 min (1 h)) إلى اللحظة (t=100 min (1.67 h))، حيث كانت السرعة صفرًا، لذلك تكون المسافة (وهي مساحة مستطيل ارتفاعه صفر وعرضه 40 min) تساوي صفرًا.

حساب المسافة في المرحلة الثالثة من الرحلة

يمكن حساب المسافة في المرحلة الثالثة من الرحلة بإيجاد المساحة الواقعة أسفل المُنحنى. لقد استغرقت الرحلة في هذا الجزء 20 min (0.33 h) بسرعة 100 km/h. نحسب:

$$d = vt = (100\ km/h)(0.33\ h) = 33\ km$$

حساب المسافةالمرحلة الرابعة من الرحلة (رحلة العودة)

استغرقت رحلة العودة 80 min (1.33h)، أي 1.33 ساعة، وبسرعة 100 km/h، وبالتالي تكون المسافة:

$$d = vt = (100\ km/h)(1.33\ h) = 133\ km$$

المساحة تحت منحنى (السرعة المتّجهة - الزمن) تمثّل المسافة.

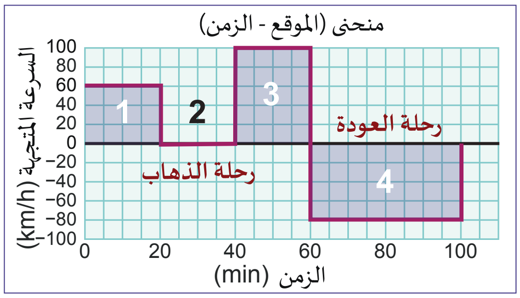
ربط المُنحنيَيْن

تعلّمنا الآن أن هناك طريقتين مهمّتين للربط بين مُنحنى (الموقع - الزمن) ومُنحنى (السرعة المتّجهة – الزمن):

1. مَيل مُنحنى (الموقع - الزمن) هو السرعة المتّجهة.
2. مساحة المنطقة الواقعة تحت مُنحنى (السرعة المتّجهة – الزمن) تُمثّل المسافة المقطوعة.

مثال 22

يبين **الشكل 2-40** رحلة سيارة في مرحلتي الذهاب والعودة. احسب المسافة المقطوعة. هل رحلة الذهاب مماثلة لرحلة العودة؟ اكتب إجابتك مُقرّبة إلى أقرب كيلومتر.



الشكل 2-40 مُنحنى (السرعة المتّجهة-الزمن).

المطلوب: **a.** المسافة المقطوعة

b. هل رحلة الذهاب مماثلة لرحلة العودة

المعطيات: t_1=20 min, t_2=20 min, t_3=20 min, t_4=40 min

v_1 =60 km/h, v_2=0, v_3= 100 km/h, v_4=-80 km/h

العلاقات: $d = vt$

الحلّ: **a . 1.** المدّة الزمنية في الجزء الأول من الرسم البياني:

$$t = 20\text{ min} \times \frac{1\text{ h}}{60\text{ min}} = \frac{20}{60} = 0.33\text{ h}$$

السرعة المتجهة تساوي (60 km/h)، فتكون المسافة المقطوعة كما يأتي:

$$d = vt = (60\text{ km/h})(0.33\text{ h}) = 20\text{ km}$$

2. المدّة الزمنية في الجزء الثاني من الرسم البياني:

$$t = 20\text{ min} \times \frac{1\text{ h}}{60\text{ min}} = \frac{20}{60} = 0.33\text{ h}$$

السرعة المتجهة تساوي صفرًا، فتكون المسافة المقطوعة كما يأتي:

$$d = vt = (0\text{ km/h})(0.33\text{ h}) = 0\text{ km}$$

3. المدّة الزمنية في الجزء الثالث من الرسم البياني:

$$t = 20\text{ min} \times \frac{1\text{ h}}{60\text{ min}} = \frac{20}{60} = 0.33\text{ h}$$

السرعة المتجهة تساوي(100 km/h)، فتكون المسافة المقطوعة كما يأتي:

$$d = vt = (100\text{ km/h})(0.33\text{ h}) = 33\text{ km}$$

4. يمثّل الجزء الرابع من الرسم البياني رحلة العودة والمدّة الزمنية فيه تساوي:

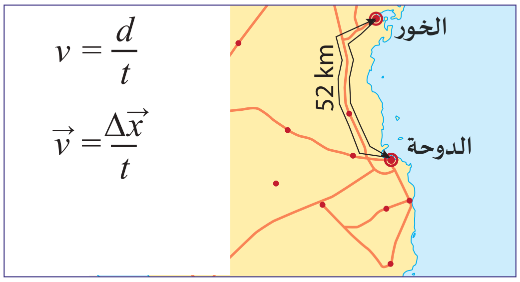
$$t = 40\text{ min} \times \frac{1\text{ h}}{60\text{ min}} = \frac{20}{60} = 0.67\text{ h}$$

السرعة المتجهة تساوي(-80 km/h)، بإهمال الإشارة السالبة يكون مقدار المسافة المقطوعة في رحلة العودة كما يأتي:

$$d = vt = (80\text{ km/h})(0.67\text{ h}) = 53\text{ km}$$

b. تُظهر الحسابات أنّ المسافة المقطوعة خلال رحلة الذهاب هي $20\text{ km} + 33\text{ km} = \boxed{53\text{ km}}$ وهي أيضًا المسافة المقطوعة نفسها خلال رحلة العودة.

السُرعة المتوسّطة Average speed هي المسافة الكلّيّة المقطوعة مقسومة على الزمن الكلّي اللازم. فإذا كنت تحتاج إلى ساعة واحدة لقطع مسافة 52 km من الدوحة إلى الخور ، فسوف تبلغ سرعتك المتوسّطة 52 km/h.



الشكل 2-42 تختلف السرعة المتوسّطة عن السرعة المتّجهة المتوسّطة.

إلاّ أنّ سرعتك الفعليّة طوال الرحلة لن تكون 52 km/h. ذلك أنّك ستُضطر إلى التوقُّف عند إشارات المرور لتصبح سرعتك صفرًا. وقد تصل سرعتك في بعض اللحظات إلى 100 km/h. تُسمّى السرعة الفعليّة التي تتحرّك بها في لحظة مُعيّنة **السُرعة اللحظيّة Instantaneous speed**، وهي التي تظهر على عدّاد سرعة السيّارة، لتتغيّر من لحظة إلى أخرى.

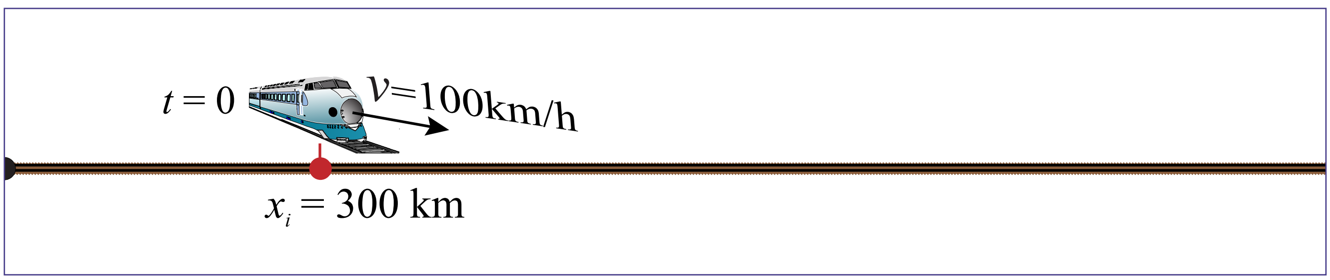
السرعة المُتجهة المتوسّطة Average velocity هي الإزاحة الكليّة مقسومة على الزمن الكُلّي، وهي كمّية مُتّجهة لأن الإزاحة هي كمّية مُتجهة. أما **السرعة المُتّجهة اللحظيّة Instantaneous velocity** فهي السرعة المُتّجهة عند أي لحظة. وقد تختلف السرعة المتوسّطة عن السرعة المُتّجهة المتوسّطة.

فعندما يقطع سائق رحلته من الدوحة إلى الخور ذهابًا وإيابًا خلال ساعتين، تكون سرعته 52 km/h، أما سرعته المتّجهة المتوسطة فتكون صفرًا، لأنه يعود إلى الموقع نفسه الذي انطلق منه، وبالتالي تكون $\Delta x = 0$ ، وستُعطي معادلة السرعة ومُعادلة السرعة المتّجهة نتيجة مختلفة. لذلك يجب قراءة السؤال بعناية لتحديد المُعادلة المناسبة لاستخدامها.

تختلف السرعة المتوسّطة عن السرعة المتّجهة إذا طرأ انعطاف على الحركة.

مثال 23

يغادر قطار محطّة تقع على بعد 300 km من بداية المسار. كم كيلومترًا يبعد القطار عن بداية المسار بعد 8 h علمًا أنه يتحرك بسرعة 100 km/h؟



الشكل 2-41 يبعد القطار مسافة 300 km عن بداية المسار.

المطلوب: الموقع النهائي $x_f = ?$

المعطيات: الموقع الابتدائي، $x_i = 300$ km؛ السرعة المتّجهة، $v = 100$ km/h؛ الزمن $t = 8\ h$.

العلاقات: $x_f = x_i + vt$

الحل: الوحدات متّسقة:

$$x_f = 300 \text{ km} + (100 \text{ km/h})(8 \text{ h}) = \boxed{1{,}100 \text{ km}}$$

التسارُع

لا شيء يتحرّك بسرعة ثابتة في الحياة اليومية. وغالبًا ما تتحرّك الأجسام بتسارُع أو بتباطؤ. حتى السيّارة التي تعمل بنظام تثبيت السرعة فإنّها تتسارُع وتتباطأ بمقادير صغيرة للتعامُل مع الطرق غير المستوية. وعندما تتسارُع السيّارة من السكون، يكون هذا التغيّر في السرعة ملحوظًا بشكل واضح.

توصف هذه التغيّرات في السرعة المتّجهة بالتسارُع. يُعرَّف **التسارُع Acceleration** بأنه معدّل التغيّر في السرعة المتّجهة، ويُعبّر عنه رياضيًا **بالمعادلة 7-2**. ويعدّ كميّة متّجهة وبالتالي تدلّ الإشارة على الاتّجاه. وتشير Δv في **المعادلة 7-2** إلى التغيّر في السرعة المتّجهة، ويمكن كذلك كتابتها على الشكل $\Delta v = v_f - v_i$. وبالمثل، فإن التغيّر في الزمن هو $\Delta t = t_f - t_i$.

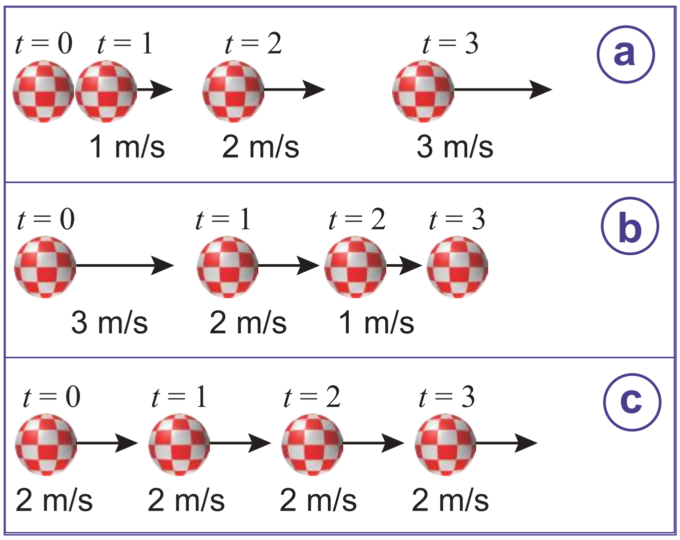
7-2	**التسارُع**		
	$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$	a	التسارُع (m/s^2)
		Δv	التغيّر في السرعة المتّجهة (m/s)
		Δt	التغيّر في الزمن (s)

يُوضّح **الشكل 43-2** حركة بالاتّجاه الموجب؛ بتسارُع موجب، وتسارُع سالب، وبانعدام التسارُع.

a. يدلّ التسارُع الموجب على أن السرعة المتّجة الموجب تزداد.

b. ويدلّ التسارُع السالب على أنّ السرعة المتّجة الموجب تتناقص.

c. أما عندما يكون التسارع مساويًا للصفر، فإن الجسم يحافظ على حركته بسرعة متجهة ثابتة، لا تتغير مع الزمن.



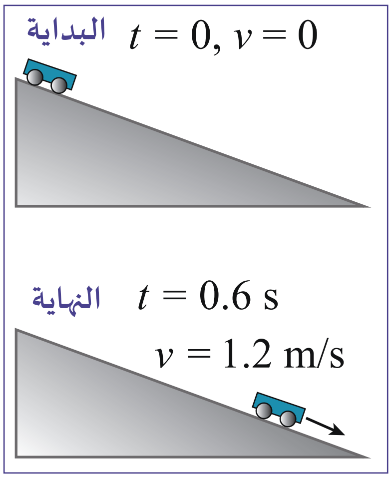
الشكل 43-2 أمثلة مُختلفة على التسارُع.

يكون التسارُع موجبًا أو سالبًا. وعندما يكون مقدار التسارُع $+ 4\ m/s^2$، يعني أنّ السرعة المتّجهة تزداد في كل ثانية بمقدار $4\ m/s$، وتكون السرعة المتّجهة للسيّارة التي تبدأ من السكون، بعد ثانية واحدة $4\ m/s$، وتُصبح بعد ثانيتَين $8\ m/s$ وهكذا. أما تسارُع $- 4\ m/s^2$، فيعني أنّ السرعة تقلّ كل ثانية بمقدار $4\ m/s$ كل ثانية. أي يُمكننا أن نقول بأنّ الحركة مُتباطئة عندما يكون متّجه التسارُع في اتّجاه مُعاكس للسرعة المتجهة.

تُعتبَر وحدات التسارُع وحدات سرعة مقسومة على وحدات زمن. ويُعدّ التسارُع كمّية مشتقّة، لأن وحدة النظام الدولي SI للمسافة هي المتر وللزمن الثانية. يدلّ ذلك على أنّ وحدة SI للتسارُع هي m/s في كل ثانية، أي m/s^2. وتعني وحدة متر لكل ثانية تربيع إلى أن السرعة تتغيّر بمقدار متر واحد في الثانية في كل ثانية.

مثال 24

ما تسارع عربة تتحرّك إلى أسفل تلّ، إذا بدأت الحركة من السكون، ووصلت إلى سرعة 1.2 m/s بعد 0.6 s؟



الشكل 2-44 حركة العربة بتسارع

المطلوب: التسارع a

المعطيات: التغيّر في السرعة $\Delta v = 1.2$ m/s؛ الفترة الزمنية $\Delta t = 0.6$ s؛

العلاقات:
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

الحل:
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{1.2 \text{ m/s}}{0.6 \text{ s}} = \boxed{2 \text{ m/s}^2}$$

مثال 25

ينطلق صاروخ من السكون فيتحرك مدّة عشر ثوانٍ بتسارُع ثابت مقداره 80 m/s^2. ما السرعة المُتّجهة النهائية للصاروخ؟

المطلوب: السرعة v

المعطيات: التسارع $a = 80 \text{ m/s}^2$، الفترة الزمنيّة $\Delta t = 10$ s.

العلاقات:
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

الحل:
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \longrightarrow \Delta v = v_f - v_i \longrightarrow a = \frac{v_f - v_i}{\Delta t}$$
$$v_f = v_i + a\Delta t = 0 + (80 \text{ m/s}^2)(10 \text{ s}) = \boxed{800 \text{ m/s}}$$

مثال 26

تتحرّك طائرة من السكون بتسارُع ثابت مقداره 5 m/s^2. كم تحتاج الطائرة من الزمن لتبلغ سرعة 95 m/s اللازمة للإقلاع؟

المطلوب: الزمن t

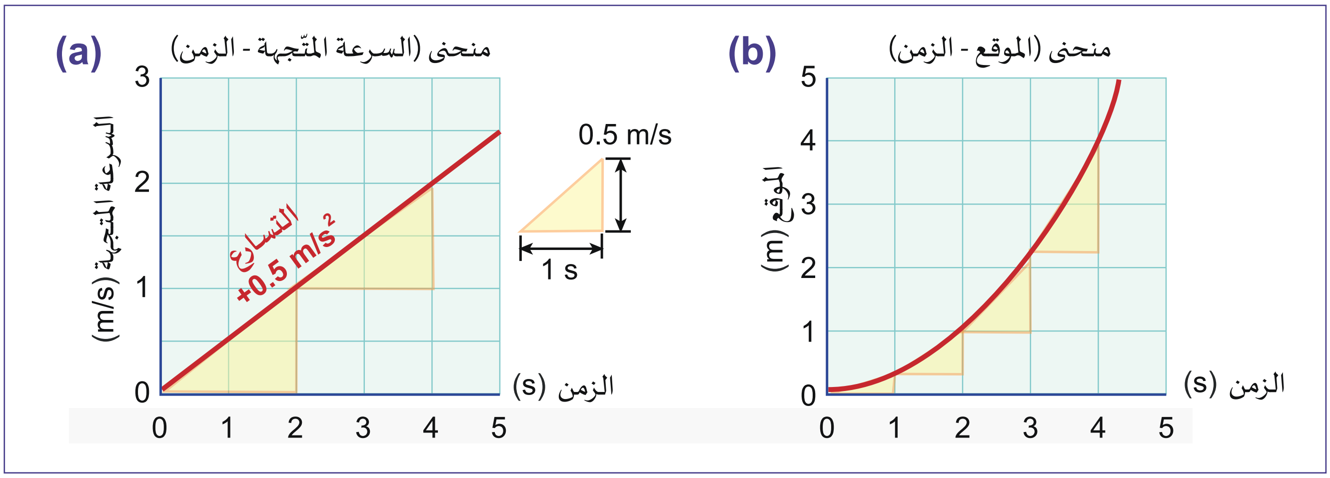
المعطيات: التسارع $a = 5 \text{ m/s}^2$، التغيُّر في السرعة المُتّجهة $\Delta v = 95$ m/s.

العلاقات:
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

الحل:
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \longrightarrow \Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{95 \text{ m/s}}{5 \text{ m/s}^2} = \boxed{19 \text{ s}}$$

التسارُع في الرسوم البيانية للحركة

تمثّل الرسوم البيانية في (**الشكل 2-45**) حالة **التسارُع الثابت Constant acceleration**، وهو يعني أن السرعة تتغيّر بالمقدار نفسه في كلّ ثانية. يُنتج مُنحنى (السرعة المتّجهة – الزمن) للتسارُع الثابت خطًّا مستقيمًا ثابت المَيل كما في (**الشكل 2-45 a**). أما مُنحنى (الموقع – الزمن) للتسارُع الثابت فيُنتج خطًّا منحنيًا، لأنّ المَيل يتغيّر مع الزمن، فيُشير إلى وجود تغيُّر في السرعة (أي تغيُّر في مَيل منحنى الموقع -الزمن) (**الشكل 2-45 b**).



الشكل 2-45 (a) تسارُع ثابت على مُنحنى (السرعة المتّجهة – الزمن)،(b) تسارُع ثابت على مُنحنى (الموقع – الزمن).

يتّخذ التسارُع على مُنحنى (الموقع – الزمن) شكلًا منحنيًا.

التسارُع على مُنحنى (السرعة المتّجهة – الزمن)

يكون التسارُع على مُنحنى (السرعة المتّجهة – الزمن) مساويًا لمَيل الرسم البياني. تزداد السرعة المتّجهة في الرسم البياني الظاهر أعلاه بمقدار $0.5\ m/s$ في $1\ s$. وهذا يُعادل تسارُعًا مقداره 0.5 متر في الثانية في كل ثانية أي $0.5\ m/s^2$.

- يشير المَيل الموجب على مُنحنى (السرعة المتّجهة – الزمن) إلى أن التسارُع موجب والسرعة المتجهة تصبح موجبة أكثر كل ثانية.
- ويشير المَيل السالب على مُنحنى (السرعة المتّجهة – الزمن) إلى أن التسارُع سالب والسرعة المتجهة تصبح سالبة أكثر كل ثانية.

للتعرف إلى نوع الحركة إن كانت متسارعة أو متباطئة، وإن كانت لليمين أو اليسار، نتبع نظام الإشارات الآتي:

- في الحركة المتسارعة نحو اليمين، تكون إشارة السرعة المتجهة وإشارة التسارع موجبتين.
- في الحركة المتباطئة نحو اليمين، تكون إشارة السرعة المتجهة موجبة وإشارة التسارع سالبة.
- في الحركة المتسارعة نحو اليسار، تكون إشارة السرعة المتجهة وإشارة التسارع سالبتين.
- في الحركة المتباطئة نحو اليسار، تكون إشارة السرعة المتجهة سالبة وإشارة التسارع موجبة.

المَيل على منحنى (السرعة المتّجهة - الزمن) يساوي التسارُع.

مثال 27

احسب التسارُع من خلال الرسم البياني في **الشكل 2-46**.

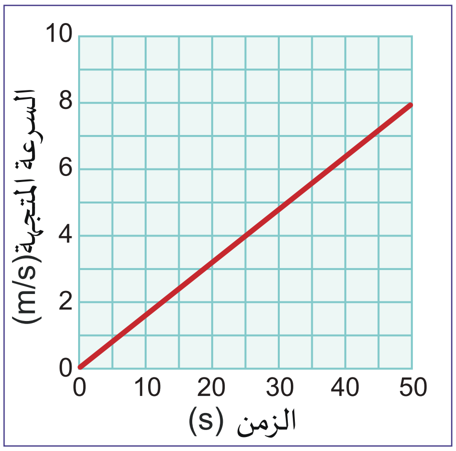
المطلوب: التسارُع a

المعطيات: المنحنى البياني ، الميل الثابت

العلاقات: $a = \text{الميل} = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$

الحل: يتّضح لنا من خلال الرسم البياني أنّ كلًّا من السرعة الابتدائية والزمن الابتدائي يساوي الصفر. أما السرعة النهائية فهي $8\ \text{m/s}$ والزمن النهائي فهو $t_f = 50\ \text{s}$.

$$a = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} = \frac{8\ \text{m/s} - 0\ \text{m/s}}{50\ \text{s} - 0\ \text{s}} = \boxed{0.16\ \text{m/s}^2}$$



الشكل 2-46 الرسم البياني (السرعة المتجهة -الزمن)

مثال 28

يتحرك روبوت تجريبي بتسارع $2\ m/s^2$ لمدة 5 s، ثم يتوقف عن التسارُع لمدة 5 s، ثم يتحرك بتسارع $-2\ m/s^2$ لمدة 5 s.

a. ارسم مُنحنى السرعة المُتّجهة بالنسبة إلى الزمن.

b. احسب المسافة التي تحرّكها الروبوت خلال 15 s.

المطلوب: مُنحنى السرعة المُتّجهة بالنسبة إلى الزمن، المسافة التي تحرّكها الروبوت خلال 15 s

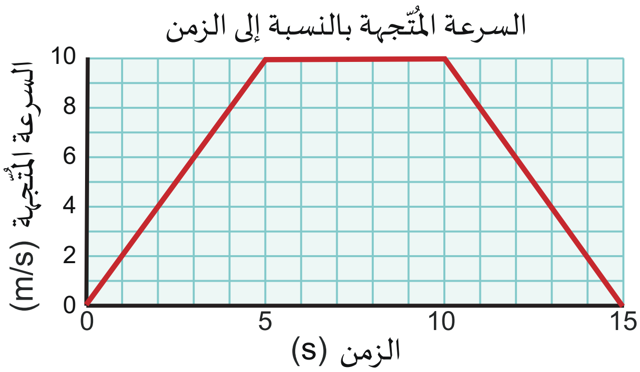
المعطيات: $a = 2 m/s^2$ لمُدّة 5 s، ثمّ $a = 0$ لمُدّة 5 s، ثمّ $a = -2\ m/s^2$ لمُدّة 5 s.

العلاقات: المسافة هي المساحة أسفل مُنحنى السرعة - الزمن.

الحلّ:

a. تزداد السرعة المُتّجهة بمُعدّل 2 m/s كل ثانية مدّة 5 s.

- لتبقى بعدها السرعة المُتّجهة ثابتة مدّة 5 s.
- ثمّ تتناقص السرعة المُتّجهة بمعدّل 2 m/s كل ثانية لمُدّة 5 s.



b. لرسم مُنحنى الموقع بالنسبة إلى الزمن تلزمنا معرفة المسافة المقطوعة خلال كل فترة من الفترات الزمنية الثلاث. ويمكن حسابها من خلال المساحات الثلاث الواقعة أسفل مُنحنى السرعة المُتّجهة بالنسبة إلى الزمن.

(0 - 5) s

$$d = \tfrac{1}{2}\, b \times h$$
$$= (0.5)(5\ s)(10\ m/s) = 25\ m$$

(5 - 10) s

$$d = b \times h$$
$$= (5\ s)(10\ m/s) = 50\ m$$

(10 - 15) s

$$d = \tfrac{1}{2}\, b \times h$$
$$= (0.5)(5\ s)(10\ m/s) = 25\ m$$

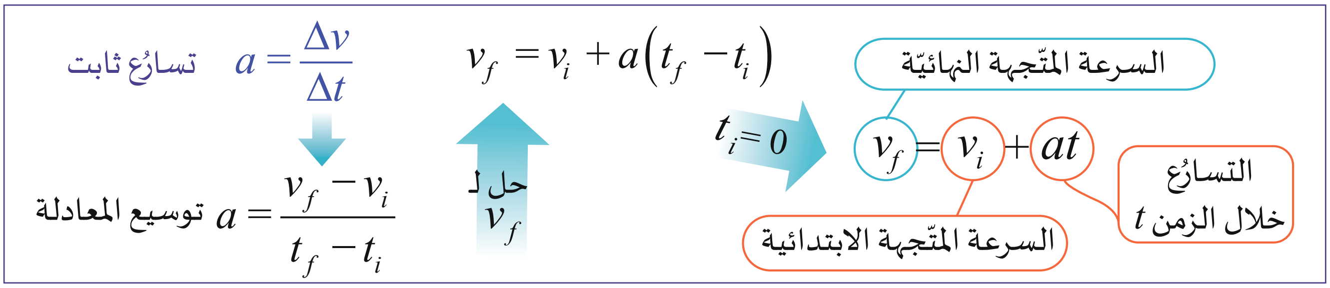
المسافة الكلّية المقطوعة:

$$25\ m + 50\ m + 25\ m = \boxed{100\ m}$$

الحركة المُتسارِعة المُنتظمة

السرعة المتجهة في الحركة المتسارعة

عندما يكون التسارُع ثابتًا، يمكن استخدام معادلة التسارُع لحساب السرعة المتّجهة.



الشكل 2-47 اشتقاق السرعة المتّجهة عندما يكون التسارُع ثابتًا.

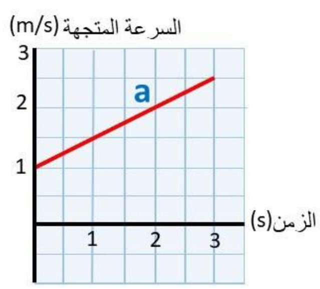
نلاحظ أنّ إعادة ترتيب المعادلة في **الشكل 2-47** تقودنا إلى إيجاد السرعة المتّجهة النهائية عندما تكون كل من السرعة المتّجهة الابتدائية والزمن اللازم والتسارُع الثابت جميعها معروفة. نرى أن Δt تساوي t لأننا نفترض أن الزمن الابتدائي يساوي 0. والمعادلة الجديدة لحساب السرعة المتّجهة عندما يكون التسارُع الثابت معروفًا يُعبّر عنها **بالمعادلة 2-8**.

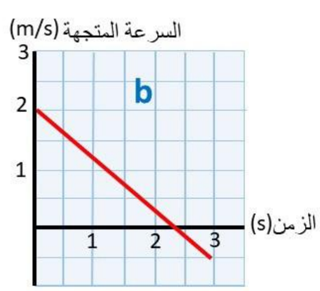
8-2	السرعة المتّجهة في التسارُع المُنتظم		
		v_f	السرعة المُتّجهة النهائيّة (m/s)
	$v_f = v_i + at$	v_i	السرعة المتّجهة الابتدائية (m/s)
		a	التسارُع (m/s^2)
		t	الزمن (s)

مثال 29

a. تتحرّك عربة بسرعة 1 m/s فتصل إلى طريقٍ منحدرٍ في أسفل تلّ، فتتحرّك عليه بتسارُع $0.5\ m/s^2$. ما سرعة العربة بعد 3 s من بدء تسارُعها؟

b. تتحرّك عربة بسرعة 2 m/s على طول سطح مستوٍ، فتصل إلى طريقٍ منحدرٍ أعلى تلّ، فتتحرّك عليه بتسارُع $-0.5\ m/s^2$. ما سرعة العربة بعد 3 s من بدء صعود التلّ؟





المطلوب: السرعة المتّجهة v

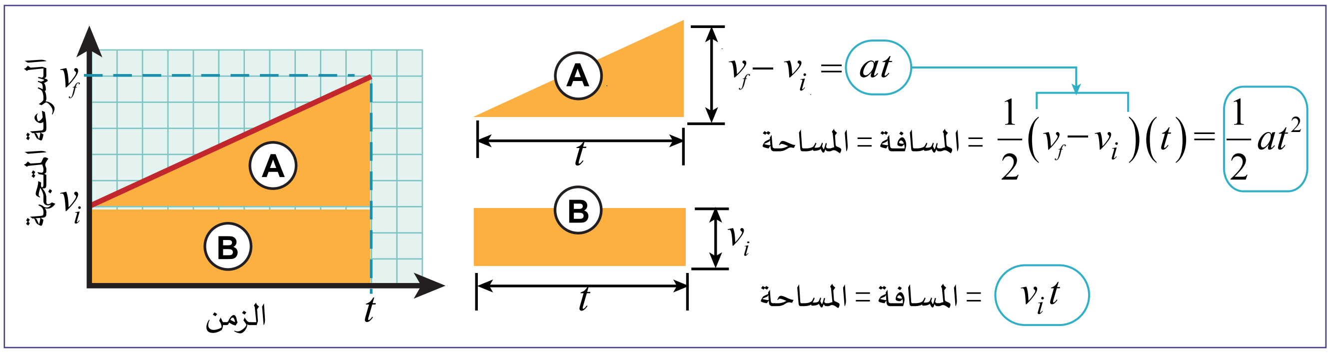
المُعطيات: **a.** السرعة الابتدائية $v_i = 1$ m/s
التسارُع $a = 0.5\ m/s^2$، والزمن $t = 3$ s.
b. السرعة الإبتدائيّة $v_i = 2$ m/s
التسارُع $a = -0.5\ m/s^2$، والزمن $t = 3$ s.

العلاقات: $v_f = v_i + at$

الحلّ: **a.** $v_f = (1) + (0.5)(3) = \boxed{2.5\ m/s}$
b. $v_f = (2) + (-0.5)(3) = \boxed{0.5\ m/s}$

الموقع في الحركة المُتسارِعة

إذا طبّقنا ما تعلّمناه عن الموقع والسرعة المتّجهة والزمن والتسارُع، يمكننا تطوير معادلة واحدة تربط بين تلك الكمّيات جميعها. تخيّل جسمًا متحرّكًا بسرعة متّجهة ابتدائية v_i ويخضع لتسارُع ثابت، كما في (**الشكل 2-53**). سوف تزداد السرعة المتّجهة في الزمن t من v_i إلى v_f وتكون المسافة المقطوعة على مُنحنى (السرعة المتّجهة – الزمن) مساوية للمساحة الواقعة في أسفل مُنحنى الرسم البياني. وبالتالي، فإنّ المسافة التي يقطعها الجسم بين الزمن t = 0 والزمن t في هذه الحالة هي المساحة المظلّلة على الرسم البياني.



الشكل 2-48 اشتقاق المسافة عندما يكون التسارُع ثابتًا.

تُقسم المساحة تحت مُنحنى (السرعة المتّجهة – الزمن) إلى شكلَين: مثلّث ومستطيل.

مساحة المثلّث = $\frac{1}{2}$ القاعدة × الارتفاع. في المثلّث A تكون هذه المساحة $\frac{1}{2}(v_f - v_i)\,t$.

ونحن نعلم أيضًا أن التغيّر في السرعة المتّجهة هو التسارُع × الزمن، لذلك، فإنّ $v_f - v_i = at$. إذن، مساحة المثلّث A هي $\frac{1}{2}at^2$.

وإذا علمنا أنّ مساحة المستطيل B هي $v_i t$، والمساحة تحت مُنحنى (السرعة المتّجهة – الزمن) تساوي المسافة، فإنّ إضافة مساحة المثلّث إلى مساحة المستطيل تعطينا النتيجة الآتية:

$$d = v_i t + \frac{1}{2}at^2$$

تمكّننا هذه المعادلة من حساب المسافة الكلّية للرحلة. ومع ذلك، فإن المسافة الكلّية المقطوعة هي $d = x_f - x_i$.

9-2	**الموقع في الحركة المُتسارُعة**		
	$x_f = x_i + v_i t + \frac{1}{2}at^2$	x_f	الموقع النهائي (m)
		x_i	الموقع الابتدائي (m)
		v_i	السرعة المتّجهة الابتدائية (m/s)
		a	التسارُع (m/s^2)
		t	الزمن (s)

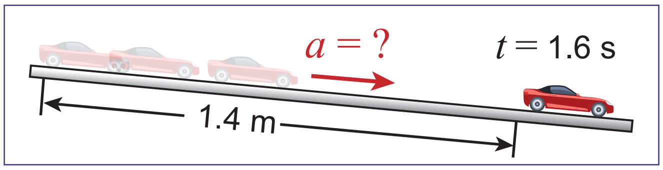
يؤدّي تعويض هذا التعبير عن المسافة إلى **المعادلة 9-2**، والتي تربط الموقع النهائي x_f في أيّ زمن t بالموقع الابتدائي

لاحظ أن معادلة الموقع النهائي لجسم ما بسبب الحركة المُتسارِعة هو مجموع الموقع الابتدائي والمسافات المقطوعة.

- x_i هو الموقع الابتدائي للجسم.
- $v_i t$ هي المسافة المقطوعة بسرعة ثابتة.
- ½ at^2 هي المسافة الإضافية التي تُقطع بسبب التسارُع.

مثال 30

تبدأ سيّارة لعبة الحركة من السكون عند قمّة سطح مائل. ما التسارُع، إذا قطعت السيّارة 1.4 m على المُنحدَر في 1.6 s؟



الشكل 2-49 رسم توضيحي للمثال.

المطلوب: التسارُع a

المعطيات: $x = 1.4$ m، الزمن t = 1.6 s، $v_i = 0,\ x_i = 0,$

العلاقات: $x_f = x_i + v_i t + \frac{1}{2} at^2$

الحل: كل من السرعة المتّجهة الابتدائية والموقع يساوي الصفر.

$$x_f = x_i + v_i t + \frac{1}{2} at^2$$

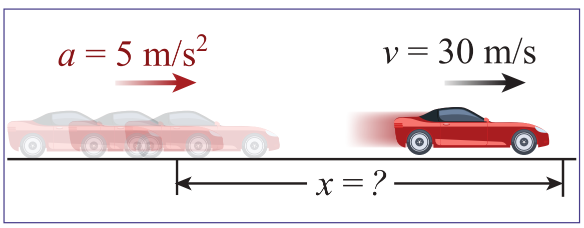
$$(1.4\text{m}) = 0\text{ m} + (0\text{ m/s})(1.6\text{ s}) + \frac{1}{2}(a\text{ m/s}^2)(1.6\text{ s})^2$$

$$2(1.4)\text{m} = (a\text{ m/s}^2)(1.6\text{ s})^2$$

$$a = \frac{2(1.4)\text{m}}{(1.6\text{ s})^2} = 1.09\text{ m/s}^2$$

مثال 31

تبدأ سيّارة الحركة من السكون بتسارُع ثابت 5 m/s^2. ما المسافة التي تقطعها السيّارة قبل أن تصل سرعتها إلى 30 m/s؟



الشكل 2-50 رسم توضيحي للمثال.

المطلوب: المسافة x

المعطيات: التسارُع $a = 5\text{ m/s}^2$؛ $v_i = 0$

السرعة النهائية $v_f = 30$ m/s

العلاقات: $v_f = v_i + at \quad , \quad x_f = x_i + v_i t + \frac{1}{2} at^2$

الحل: السرعة الابتدائية صفر.

$$t = \frac{v_f - v_i}{a} = \frac{30\text{ m/s} - 0\text{ m/s}}{5\text{m/s}^2} = 6\text{ s}$$

$$x_f = x_i + v_i t + \frac{1}{2} at^2$$

$$x_f = 0\text{ m} + (0\text{ m/s})(6\text{ s}) + \frac{1}{2}(5\text{ m/s}^2)(6\text{ s})^2 = 90\text{ m}$$

السرعة المتّجة النهائية في الحركة المُتسارِعة

تسمح لنا المعادلة الأخيرة بإيجاد السرعة المتّجه النهائية لجسم يتحرّك بحركة مُتسارُعة عندما لا يكون الزمن معلومًا. يمكن الحصول على هذه المعادلة من خلال تعديل **المعادلة 2-11** كالآتي:

$$x_f = x_i + \frac{1}{2}\left(v_i + v_f\right)t \Rightarrow 2\left(x - x_i\right) = \left(v_i + v_f\right)t$$

سنقوم هنا بجعل هذه المعادلة مُستقلّة عن الزمن، لذلك نعيد كتابة تعريف التسارُع لحلّها من أجل الزمن:

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

ثمّ نقوم بتعويضها من أجل التسارُع فنحصل على:

$$2\left(x_f - x_i\right) = \left(v_i + v_f\right)\left(\frac{v_f - v_i}{a}\right) \Rightarrow 2\left(x_f - x_i\right) = \frac{v_f^2 - v_i^2}{a} \Rightarrow 2a\left(x_f - x_i\right) = v_f^2 - v_i^2$$

وبإجراء ترتيب للمعادلة نحصل على **المعادلة 2-10**. تُفيد هذه المعادلة في إيجاد السرعة النهائية بمعلومية المسافة.

10-2	السرعة النهائية بمعلومية المسافة	v_f	السرعة المتجهة النهائية (m/s)
	$v_f^2 = v_i^2 + 2a\left(x_f - x_i\right)$	v_i	السرعة المتجهة الابتدائية (m/s)
		a	التسارُع (m/s^2)
		x_f	الموقع النهائي (m)
		x_i	الموقع الابتدائي (m)

مثال 32

تحتاج سيّارة إلى التسارُع من وضع التوقف، على طول مُنحدر مسافة 150 m لتبلغ سرعة 25 m/s على الطريق المروري. ما تسارُع السيّارة؟

المطلوب: التسارُع a

المعطيات:
السرعة المتجهة الابتدائية $v_i = 0\ m/s$
السرعة المتجهة النهائيّة $v_f = 25\ m/s$
الإزاحة $x_f - x_i = 150$ m

العلاقات: $v_f^2 = v_i^2 + 2a\left(x_f - x_i\right)$

الحل: نقوم بتعديل المعادلة ثمّ حلّها من أجل التسارُع:

$$a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2\left(x_f - x_i\right)} = \frac{(25\,\text{m/s})^2 - (0\,\text{m/s})^2}{2(150\ \text{m})} = \boxed{2.1\ \text{m/s}^2}$$

مثال 33

تسقط كرة بشكل عمودي من السكون، لتصطدم بالأرض بعد أن تقطع مسافة 70 m. احسب سرعة الكُرة لحظة اصطدامها بالأرض، بافتراض أن تسارُعها ثابت مقداره $9.8\ m/s^2$، وهو ناتج عن الجاذبيّة الأرضيّة.

المطلوب: السرعة النهائية v_f

المعطيات: المسافة $d = -70m$ ، التسارع $a = -9.8\ m/s^2$ ، السرعة الابتدائية $v_i = 0\ m/s$

العلاقات: $v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i)$

الحل: عندما يتحرك جسم عموديًا تحت تأثير قوة الجاذبية فقط، يكون التسارع هو تسارع الناتج عن الجاذبيّة الأرضيّة ومقداره $9.8\ m/s^2$. ينطبق ذلك على الحركات القريبة من سطح الأرض.

يكون تسارع الجاذبية سالب دائما بسبب أن قوة الجاذبية تؤثر رأسيا للأسفل

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i) \longrightarrow v_f = \sqrt{v_i^2 + 2a(x_f - x_i)}$$

$$= \sqrt{0 + 2(-9.8)(-70)}$$

$$= \boxed{37.04\ \text{m/s}}$$

مثال 34

من أجل الحفاظ على راحة ركّاب الطائرة، يكون تسارُع الطائرة خلال الإقلاع بحد لا يتجاوز $3\ m/s^2$. ما طول المدرّج اللازم لبلوغ سرعة الإقلاع $67\ m/s$؟ اكتب إجابتك مُقرّبة إلى أقرب متر.

البداية ، $v_i = 0$, $t = 0$

الإقلاع ، $v_f = 67\ m/s,\ a = 3\ m/s^2$

المطلوب: المسافة d

المعطيات: $v_i = 0\ m/s,\ v_f = 67\ m/s,\ a = 3\ m/s^2$

العلاقات: $v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i)$

الحل:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i) \longrightarrow x_f - x_i = \frac{v_f^{\,2} - v_i^{\,2}}{2a}$$

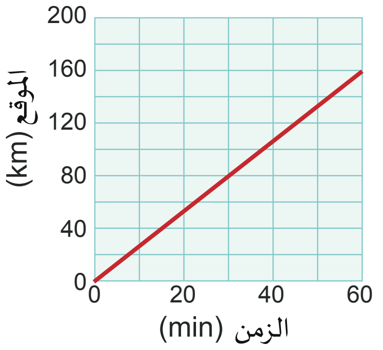
$$d = (x_f - x_f) = \frac{(67\ \text{m/s})^2 - (0\ \text{m/s})^2}{(2 \times 3)\ \text{m/s}^2} = \boxed{748\text{m}}$$

تقويم الدرس 2-2

1. ما الكمّية الفيزيائية التي تمثّلها المساحة تحت مُنحنى (السرعة المتّجهة – الزمن)؟

2. أجب عن الأسئلة التالية باستخدام منحنى (الموقع -الزمن) المجاور:

منحنى (الموقع - الزمن) لمركبة متحركة



   a. ما المسافة الكلّية التي قطعتها المركبة؟
   b. ما المسافة التي تقطعها المركبة في الدقائق 30 الأولى؟
   c. ما متوسّط سرعة المركبة؟
   d. ما المدة التي تلزم المركبة لكي تقطع مسافة 20 km؟

3. تتحرّك سيّارة بسرعة ثابتة مقدارها 125 km/h لمُدة 1.5 h. ثمّ تتوقف لمُدة 0.5 h، وتُكمل طريقها بسرعة ثابتة جديدة v_2 لمُدة 0.75 h.
   a. إذا كانت المسافة الكلّية التي قطعتها السيّارة 265 km، فما مقدار السرعة v_2؟
   b. ما السُرعة المتوسّطة للسيّارة خلال هذه الرحلة؟

4. يُرمى سهم مباشرة إلى الأعلى ليعود ويسقط على الأرض بعد 5 s. إذا علمت أنّ تسارُع السهم هو $9.8\ m/s^2$ باتّجاه الأسفل، احسب السرعة المتجهه الابتدائية للسهم .

5. إذا طار طائر بسرعة متّجهة ثابتة 125 m/s، فما تسارُعه في الثواني الخمس الأولى 5 s؟

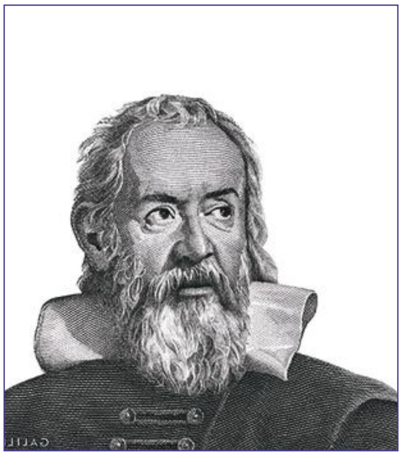
6. بدأت سيّارة حركتها بسرعة 15 m/s إلى أسفل تلّ بتسارُع $3\ m/s^2$ لمدة 4 s. ما السرعة المتّجهة التي تسير بها عند أسفل التلّ؟

7. تسير سيّارة بسرعة 15 m/s في خطّ مستقيم وبتسارُع $2\ m/s^2$ لمدة 5 s. ما مقدار السرعة المتجهه النهائية للسيارة ؟

8. حمار وحشي في حالة سكون يبعد 60 m عن أسد يعدو نحوه بسرعة مُنتظمة 17 m/s. إذا هرب الحمار بتسارُع $2\ m/s^2$، فهل سيتمكّن الأسد من الإمساك به؟

ضوء على العلماء

جاليليو جاليلي: 1564-1642



الشكل 2-51 جاليليو جاليلي (1564-1642).

عُرف العالم الإيطالي جاليليو جاليلي بإسهاماته في كثير من المجالات، بما في ذلك علم الحركة وعلم الفلك ومركزية الشمس. وقد لُقّب، بسبب خبراته المتنوّعة، بأسماء شتّى، منها: "أبو الفيزياء الحديثة" ، "أبو المنهج العلمي" ، و "أبو علم الفلك الرصدي".

ولد جاليليو في 15 فبراير 1564 في بيزا بإيطاليا، وقد انضمّ إلى جامعة بيزا عام 1581 لدراسة الطب. نمّى اهتمامه بالرياضيات وقرّر دراسة المواد الرياضية إلى جانب الفلسفة. لم ينه جاليليو تحصيله الجامعي، فبدأ بإعطاء دروس خصوصية في الرياضيات عام 1585، إضافة إلى دراسة الحركة.

بدأ جاليليو بإلقاء محاضرات حول ترتيب العالم، وكتب نظريات حول مراكز الجاذبية. وقد تمّ الاعتراف بعمله وأصبح رئيسًا لقسم الرياضيات في جامعة بيزا عام 1589. في ذلك الوقت أجرى جاليليو إحدى تجاربه الشهيرة، حيث ألقى أجسامًا من أعلى البرج المائل وخلَص إلى أن وزن الجسم لا يؤثّر على سرعة سقوطه. انحرفت أفكار جاليليو ومفاهيمه عن مفاهيم أرسطو، ما أثّر سلبًا على شعبيّته في الجامعة، فلم يُجدّد عقده، وانتقل إلى جامعة بادوا.

بدأ جاليليو العمل على العدسات وصنع تلسكوبات قوية جدًا، ودرس الأجرام السماوية. قاده ذلك إلى رسم مراحل القمر وتأليف كتاب عن النجوم التي اكتشفها. اكتشف أيضًا أربعة أقمار تدور حول المشتري. وقد أدّت هذه الاكتشافات إلى تعيين جاليليو عالمَ رياضيات وفيلسوفًا لدوق توسكانا الأكبر. وأثبتت الملاحظات الإضافية التي قدّمها أن الأرض ليست مركز الكون، بل هي مجرّد كوكب.

طوّر جاليليو أول ساعة بندول عام 1640. وفارق الحياة عام 1642 عن عمر يناهز 77 عامًا.

مراجعة الوحدة

الدرس 2-1: الكمّيات المُتّجهة والكمّيات القياسية

- تُعدّ الإزاحة والسرعة المتّجهة والتسارُع والقوى أمثلة على **الكمّيات المتّجهة (المتّجهات) Vectors**، لأن هذه الكمّيات توصف باستخدام الاتّجاه والمقدار.
- تُعدّ درجة الحرارة والكتلة والمسافة والزمن أمثلة على **الكمّيات القياسية Scalars**، لأن هذه الكمّيات تحتاج إلى قيمة عددية ووحدة قياس لوصفها و لا تحتاج في وصفها إلى اتجاه.
- يُستخدم **المقدار Magnitude** لوصف قياس الكمّية.
- تساعد **الإحداثيات Coordinates** في تحديد المواقع الدقيقة للأجسام.
- **الإزاحة Displacement** كمّية متّجهة تصف الحركة المستقيمة وتحدد الموقع واتّجاه الحركة من الموقع الأصلي.
- تُستخدم **طريقة الرأس والذيل Head-to-tail method** لإيجاد مجموع المتّجهات بيانيا.
- يحلّل المُتّجه إلى **مُركّبتَين Components** متعامدتَين، وتُعرف أيضًا بالمُركّبتَين الأفقية x والعمودية y.

الدرس 2-2: السرعة والسرعة المُتّجهة والتسارُع

- يمكن حساب **السرعة Speed** لجسم بقسمة المسافة المقطوعة على الزمن اللازم لقطع المسافة.
- **السرعة المتّجهة Velocity** هي كمّية متّجهة وتساوي النسبة بين التغيّر في الإزاحة والتغيّر في الزمن.
- تركّز **السرعة المتّجهة المتوسّطة Average velocity** على الرحلة بأكملها، وتتجاهل التغييرات الصغيرة في السرعات المتّجهة طوال الطريق.
- تصف **السرعة المتّجهة اللحظية Instantaneous velocity** السرعة عند لحظة زمنية معيّنة، ويمكن إيجادها بحساب مَيل منحنى (الموقع – الزمن) عند هذه اللحظة الزمنية.
- يُعرف التغيّر في السرعة المتّجهة مقسومًا على التغيّر في الزمن باسم **التسارُع Acceleration**.
- تكون مركبتا المتجه موجبتين أو سالبتين حسب موقع المتجه في نظام الإحداثيات، وفي أي من الأرباع.
- توصف الحركة في بُعد واحد بتسارع ثابت باستخدام معادلات رياضية، تتضمن الكميات: الزمن والموقع والسرعة المتجهة والتسارع، إضافة إلى معرفة السرعة الابتدائية والموقع الابتدائي للحركة.

اختيار من مُتعدِّد

.1 تتحرّك كرة على بُعد +5 m من نقطة البداية بمقدار -7 m. ما موقع الكرة النهائي؟

.a -2 m

.b 2 m

.c 7 m

.d 12 m

.2 تبدأ نملة من نقطة -5 m بالحركة 10 m إلى اليسار و 25 m إلى اليمين و 30 m إلى اليسار و 5 m إلى اليمين. فإذا كان المحور x الموجب إلى اليمين، فما الموقع النهائي للنملة والإزاحة الكلّية لها؟

.a الموقع: -15 m؛ الإزاحة: 70 m.

.b الموقع: 5 m؛ الإزاحة: 10 m.

.c الموقع: 5 m؛ الإزاحة: -70 m.

.d الموقع: -15 m؛ الإزاحة: -10 m.

.3 أيّ ممّا يأتي لا يُعدّ خاصّية للإزاحة؟

.a قد تكون الإزاحة سالبة.

.b تصف الإزاحة التغيّر في الموقع.

.c تساوي الإزاحة المسافة الكلّية التي يقطعها جسم ما في حركته.

.d تساوي الإزاحة الموقع النهائي لجسم ما مطروحًا منه الموقع الابتدائي للجسم.

.4 يسير طالب 5 m إلى اليمين لمدة 6 s ثم 3 m إلى اليسار لمدة 4 s التالية. ما السرعة المتّجهة المتوسّطة له في رحلته كاملةً؟

.a 0.10 m/s

.b 0.20 m/s

.c 0.33 m/s

.d 0.80 m/s

.5 أي ممّا يأتي كمّية متّجهة؟

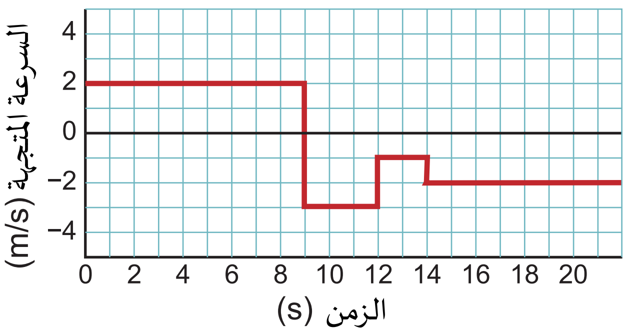
.a الكتلة

.b الإزاحة

.c المسافة

.d درجة الحرارة

6. يبيّن الشكل مُنحنى (السرعة المتّجهة – الزمن) لجزء من سباق الإحماء لأحد الطلاب. ما مجموع إزاحة الطالب؟



a. -45 m

b. -9 m

c. 9 m

d. 45 m

7. ماذا يُمثّل مَيل مُنحنى (الموقع – الزمن)؟

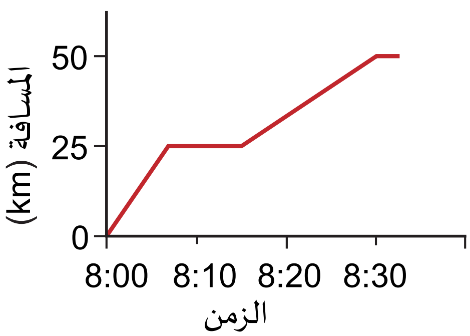
a. التسارُع

b. الزمن

c. الإزاحة

d. السرعة المتّجهة

8. يقود رجل سيارته إلى العمل بدءًا من الساعة الثامنة. أيٌّ مما يأتي هو التفسير المُرجَّح لمُنحنى (الموقع – الزمن) لقيادته، كما في الشكل المجاور؟



a. توقّف في منتصف الطريق إلى العمل لتناول الإفطار. وبعد ذلك أدرك أنه تأخّر، فأسرع في المسافة المتبقّية.

b. بعد أن ذهب إلى منتصف الطريق، كان عليه العودة إلى المنزل لأخذ شيء نسيه.

c. رأى الرجل في منتصف الطريق إلى العمل ضابط شرطة على الطريق السريع فأبطأ، ثمّ أكمل قيادته بدون حوادث.

d. تمّ توقيف الرجل في منتصف الطريق إلى العمل بسبب تجاوزه السرعة القصوى المحدّدة. وبعد مخالفته، قاد سيارته بالسرعة المحدّدة.

الدرس 2-1: الكمّيات المُتّجهة والكمّيات القياسية

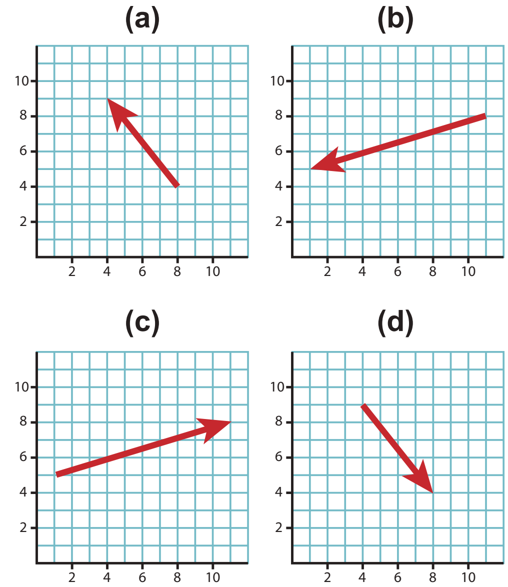
9. ما العلاقة بين المسافة والإزاحة؟

10. صف موقفًا يتحرّك فيه شخص مسافة 100 m مع أنّ إزاحته تساوي الصفر.

11. أنت تسير 10 km شمالًا و20 km جنوبًا و5 km شمالًا. خذ الشمال على أنه اتّجاه y الموجب، حدّد متّجه الموقع الذي يصف موقعك على المحور y.

تقويم الوحدة

12. ليكن لدينا المتّجه $\vec{X} = (3, 4)$ ، والمتّجه $\vec{Y} = (-7, 1)$. أيُّ رسم بياني يبيّن $\vec{Y} - \vec{X}$؟



13. تسير بدءًا من $x_i = -5\ \text{m}$ يمينًا $10\ \text{m}$ ثم يسارًا لمسافة $3\ \text{m}$. يصبح موقعك النهائي x_f. خذ اليمين على أنه اتّجاه x الموجب، صف متّجه الإزاحة $\vec{d_t}$ الذي يصف التغيّر الكلّي للموقع.

14. ما المسافة التي تقطعها من موقع البداية، إذا اتّجهت $12\ \text{m}$ شمالًا، ثم $18\ \text{m}$ شرقًا، ثم $9\ \text{m}$ غربًا؟

15. ما المسافة التي تقطعها إذا ركضت $80\ \text{m}$ باتّجاه 45° شمال الشرق؟

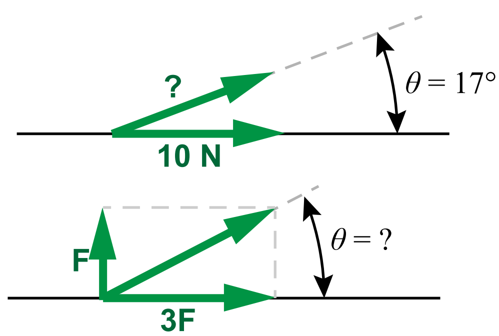
16. احسب مقدار القوّة التي تكون مركّبتاها الافقية والعمودية: $F_x = 12\ \text{N}$ ،$F_y = 16\ \text{N}$.

17. يطير طائر بسرعة $20\ \text{m/s}$ باتّجاه 60° شمال الشرق. احسب مُركّبتَي السرعة المتّجهة للطائر.

18. ما المُركّبة العموديّة لقوّة مقدارها $64\ \text{N}$ وتصنع زاوية 53° فوق المحور الأفقي؟

19. ما السرعة المتجهه لجسم يتحرّك مسافة $80\ \text{m}$ باتّجاه الشمال و $20\ \text{m}$ باتّجاه الغرب خلال $3\ \text{s}$؟

20. كم سيبلغ مقدار قوّة تصنع زاوية 17° فوق المحور الأفقي، لكي تكون مُركّبتها الأفقيّة $10\ \text{N}$؟



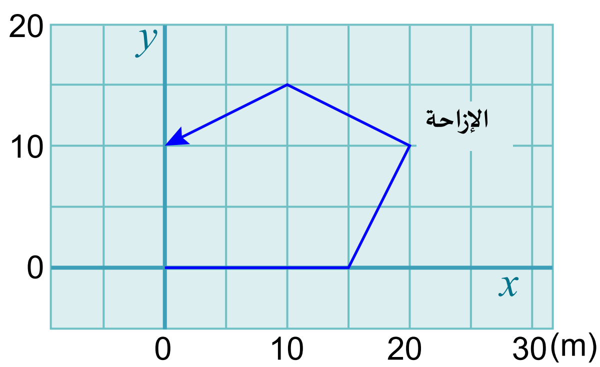
21. ما الزاوية التي يجب تطبيق قوّة عندها بحيث تكون مُركّبتها الأفقية أكبر ثلاث مرّات من مُركّبتها العمودية؟

*** 22.** لنفترض أنّك تتحرّك 4 m إلى الشرق، ثم تنعطف وتتحرّك 3 m إلى الشمال خلال 5 s. أما صديقك فيتحرّك مسافة 5 m بزاوية 36.9° شمال الشرق خلال 5 s. من سيكون له سرعة متوسّطة أكبر؟ من سيكون له سرعة متجهة متوسطة أكبر؟

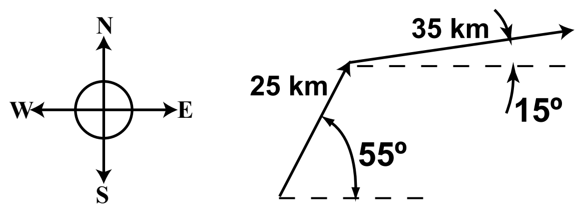
*** 23.** تُحلّق طائرة بسرعة 100 m/s في أجواء بلا رياح. كم يجب أن تكون الزاوية التي توجّه عندها الطائرة، إذا أراد قائدها توجيهها نحو الشمال، عندما تتعرّض لرياح سرعتها 10 m/s واتّجاهها نحو الشرق؟

*** 24.** يستطيع سبّاح السباحة بسرعة 3 m/s في مياه ساكنة لينتقل إلى الضفة المُعاكسة لنهر بعرض 30 m. كم ستكون المسافة التي سينحرف إليها في اتّجاه مجرى النهر نتيجة تعرُّضه لتيّار ماء عمودي سرعته 2 m/s.

*** 25.** احسب المُحصّلة للإزاحة المُوضحّة في الشكل الآتي باستخدام المُركّبتَين الأفقية والعمودية.



*** 26.** احسب المُركّبتَين الأفقية والعمودية للإزاحتَين المُوضحّتَين في الشكل الآتي، ثمّ احسب المُحصلة وفق صيغة المُركّبات.



الدرس 2-2: السرعة والسرعة المُتّجهة والتسارُع

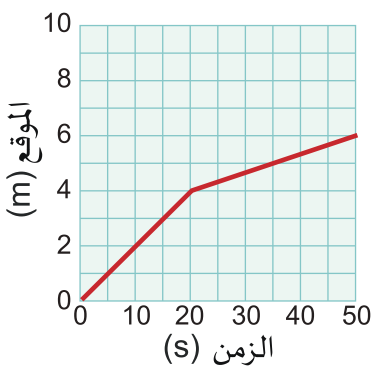
27. ماذا يمثّل مَيل مُنحنى (الموقع – الزمن)؟

28. كيف تجد المسافة المقطوعة على مُنحنى (السرعة المتّجهة – الزمن)؟

29. يبيّن مُنحنى (الموقع – الزمن) أن رحلة رجل إلى العمل هي خطّ مستقيم أفقي يبدأ عند $t_1=3\text{h}$ وينتهي عند $t_2 = 5\text{ h}$. ماذا يعني ذلك؟

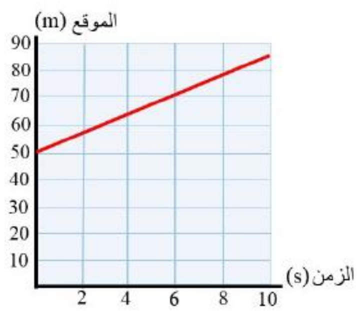
30. يجري طالب بسرعة 3 m/s عندما يعبر من باب زجاجي فيتوقف خلال 0.5 s. ما تسارُع الطالب؟

31. ما المسافة التي يقطعها الجسم في أوّل 35 s على مُنحنى (الموقع – الزمن) إلى اليسار؟



32. يُعدّ الفهد أسرع حيوان على الأرض، فهو يعدو بسرعة 30 m/s. هل تستحق سيارة تسير بسرعة الفهد الحصول على مخالفة سرعة على طريق سريع حيث الحدّ الأقصى للسرعة 100 km/h؟

33. يتحرّك راكب درّاجة على بعد 50 m من تقاطُع. وبعد عشر ثوانٍ، يصبح راكب الدراجة على بعد 85 m من التقاطع نفسه. ما مَيل مُنحنى (الموقع – الزمن) المبين في الشكل المجاور، بعد 5 s من بدء حركته؟



34. يبدأ جسم حركته من الموقع 5 m فيتحرك لمدة 3 s بسرعة متّجهة 9 m/s -. ما الموقع النهائي الذي سيصل إليه؟

35. ما المدّة التي يستغرقها راكب درّاجة لقطع مسافة 8 km بسرعة 12 km/h؟

36. يمارس لاعب رياضة القفز الطويل، فيجري من السكون بتسارع 4 m/s^2 ، ما الزمن اللازم له حتى يبلغ سرعة نهائية 9 m/s ؟

37. صف شكل مُنحنى (المسافة - الزمن) عندما يتحرك الجسم بتسارع ثابت؟

38. أيٌّ ممّا يأتي يمكن وصفه بسرعة متّجهة ابتدائية موجبة وتسارُع ثابت سالب؟

a. تُستخدم المكابح في سيّارة تسير بسرعة 30 km/h لتقليل سرعتها إلى 20 km/h.

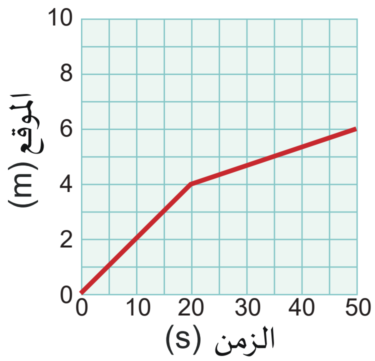
b. تبدأ سيّارة الحركة من السكون إلى الوراء بسرعة تزداد تدريجيًّا.

39. كان فتى يقود دراجته الهوائية بسرعة 10 m/s عندما بدأ بالتباطؤ بمُعدّل 1.5 m/s^2.

a. كم استغرق الفتى من الزمن حتّى توقّف؟

b. ما المسافة التي قطعها خلال تلك المُدّة؟

40. أجب عن الأسئلة الآتية بناءً على مُنحنى (الموقع – الزمن) الآتي.



a. ما السرعة المتّجهة المتوسّطة في الفترة الزمنية الكاملة 50 s المبيّنة في الرسم البياني؟

b. ما السرعة القصوى المبيّنة في الرسم البياني؟

c. ما المسافة الكلّية المقطوعة بين t = 0 s و t = 50 s؟

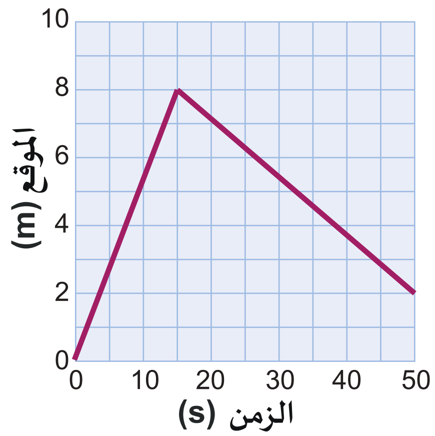
d. ما الموقع النهائي عند t = 50 s؟

e. كيف يُقارَن بين التسارُع عند t = 10 s والتسارُع عند t = 30 s؟

41. تبدأ غوّاصة بالصعود إلى سطح المحيط، بتسارُع $1.7\ m/s^2$ في 5 s الأولى. كم تبلغ سرعتها المتّجهة بعد 3.2 s من بدء الحركة؟

42. ما متوسّط تسارُع الفهد الذي يبدأ حركته من السكون وتصل سرعته إلى 27 m/s بعد 3 s؟ هل يكون تسارُعه أكبر أم أقل من تسارُع سيّارة رياضية يمكنها الانتقال من 0 إلى 97 km/h في 4 s؟

43. أجب عن الأسئلة الآتية بناءً على مُنحنى (الموقع-الزمن) المقابل.



a. ما السرعة المتجهة المتوسطة خلال كامل الفترة الزمنية 50 s؟

b. ما السُرعة القُصوى المُبيّنة في المُنحنى؟

c. ما المسافة الكلّية المقطوعة بين $t = 0$ و $t = 50$ s؟

d. ما الموقع النهائي عند $t = 50$ s؟

e. كيف يمكن مُقارنة التسارُع عند اللحظة $t = 10$ s مع التسارُع عند اللحظة t = 30 s؟

44. تتحرّك سيارة مسافة 100 m خلال تباطؤها إلى 8 m/s خلال 5 s. ما سرعتها الابتدائية؟ ما مقدار تسارُعها؟

الشكر والتقدير

جميع الرسوم الفنية الواردة في هذا العمل صمَّمتها شركة تطوير العلوم والتكنولوجيا والهندسة والرياضيات (STEM) في الولايات المتحدة الأميركية. وهي وحدها تملك الحق القانوني لإجازة استخدام تلك الرسوم.

يشكر المؤلفون والناشرون المصادر الآتية على السماح لهم باستخدام ملكياتهم الفكرية كما أنهم ممتنون لهم لموافقتهم على نشر الصور.

Illustration: Muhammad Farouk/Shutterstock; Photo: DnD-Production/Shutterstock; 3D image: FXartist/Shutterstock; Illustration: Alexander Sergeevich/Shutterstock; Stamp art: spatuletail/Shutterstock; Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design Illustration: Designua/Shutterstock; Photo: Rabbitmindphoto/Shutterstcock; Illustration: Andrey Suslov/Shutterstock; Illustration: zffoto/Shutterstock; Photo: Ken Stocker/Shutterstock; Photo: Kobkit Chamchod/ Shutterstock 1218821710; Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design Photo: Nobuhiro Asada/ Shutterstock; Photo: AjayTvm/Shutterstock; 3D Image: ktsdesign/Shutterstock; Photo: Abdelrahman Hassanein/ Shutterstock; 3D image: KateStudio/Shutterstock; Photo illustration: adike/Shutterstock; 3D image: Giovanni Cancemi/ Shutterstock; 3D Illustration: Axel_Kock/Shutterstock; Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design 3D Illustration: Image Craft/Shutterstock; Photo: ThePowerPlant/Shutterstock; Photo: pogonici/Shutterstock; Photo Ton Photographer 7824/Shutterstock; Illustration: elenabsl/Shutterstock; Photo: David Evison/Shutterstock; Photo: Augustine Bin Jumat/Shutterstock; Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design Illustration: Muhammad Farouk/Shutterstock 1800616687, DnD-Production/Shutterstock 278922299, 3D image: VFXartist/Shutterstock 1483410965, illustration: Alexander Sergeevich/Shutterstock 1230374893, Stamp art: spatuletail/Shutterstock 1812900445, Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design, Illustration: Designua/Shutterstock 1472540423, photo: Rabbitmindphoto/Shutterstcok 1487654072, Illustration: Andrey Suslov/Shutterstock 589410938, Illustration: zffoto/Shutterstock 389695105, Photo: Ken Stocker/Shutterstock 1082226821, Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design , Photo: Nobuhiro Asada/Shutterstock, 144455530, Photo: AjayTvm/Shutterstock 757231510, 3D Image: ktsdesign/Shutterstock 430949605, Photo: Abdelrahman Hassanein/Shutterstock 1230989149, 3D image: KateStudio/Shutterstock 1159868263, Photo illustration: adike/Shutterstock 1036533352, 3D image: Giovanni Cancemi/Shutterstock 76423743, 3D Illustration: Axel_Kock/Shutterstock 1625661736, Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design, 3D Illustration: Image Craft/Shutterstock 1466789552, ThePowerPlant/Shutterstock 1652355403, Photo: pogonici/Shutterstock 262939175, Photo Ton Photographer 7824/Shutterstock 1074125777, Illustration: elenabsl/Shutterstock 1567621081, Photo: David Evison/Shutterstock 77061922, Photo: Augustine Bin Jumat/Shutterstock71913914, Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design

Janaka Dharmasena / Shutterstock, Nasky/ Shutterstock, adike/ Shutterstock, Richard Peterson/ Shutterstock, stihii/ Shutterstock, NoPainNoGain/ Shutterstock, Teguh Mujiono/ Shutterstock, Improvisor/ Shutterstock, Jose Luis Calvo/ Shutterstock, Rattiya Thongdumhyu/ Shutterstock, Peter Hermes Furian/ Shutterstock, Sebastian Kaulitzki/ Shutterstock, VectorMine/ Shutterstock, bsd/ Shutterstock, Blamb/ Shutterstock, MikeMartin / Shutterstock, Photographee.eu/ Shutterstock, Jason Boyce/ Shutterstock, Maridav, Eugene Onischenko/ Shutterstock, CI Photos/ Shutterstock, Sergey Nivens, Vasyl Shulga/ Shutterstock, Sea Wave, Tanya Sid/ Shutterstock, belushi, / Shutterstock,Birger Olovson, Dionisvera/ Shutterstock

1.28 sportpoint / Shutterstock,ChrisVanLennepPhoto, Jacob Lund, sattahipbeach,/Shutterstock, Catalin Grigoriu/ Shutterstock, Designua/Shutterstock, LightField Studios/Shutterstock, lotan/Shutterstock, Designua/Shutterstock, Pawel Graczyk/Shutterstock, Studio BKK/Shutterstock, Kateryna Kon/Shutterstock, GraphicsRF/Shutterstock, nayef hammouri/Shutterstock, adike/Shutterstock, Maridav/Shutterstock, Lukas Budinsky , Jacob Lund/Shutterstock, iPreech Studio/Shutterstock, ChiccoDodiFC/Shutterstock, Blazej Lyjak/Shutterstock, design36/Shutterstock, udaix/ Shutterstock, Animashka, electra/Shutterstock, Viktoria_P/Shutterstock, Thomas C. Altman/Altman Science, Emre Terim, Aksanaku/Shutterstock, Blamb/Shutterstock, Tefi/Shutterstock, icsnaps/Shutterstock, Artemida-psy/ Shutterstock, OLESHKO GANNA/ Shutterstock Aninna/Shutterstock, Public Domain/Shutterstock, Public domain/ Shutterstock, Juan Gaertner/Shutterstock, Andrey_Popov/Shutterstock, iambasic_Studio/Shutterstock, Sirirat/ Shutterstock, ibreakstock/Shutterstock, Belish, Arthur Didyk/Shutterstock, Yenyu Shih, Eugene Onischenko/ Shutterstock, Robert Przybysz/Shutterstock, matimix/Shutterstock, Alex Kravtsov/Shutterstock,Babka/Shutterstock, Makalex69/Shutterstock, illustrator graphic/Shutterstock, OSTILL is Franck Camhi, Eugene Onischenko, /Shutterstock, Sergey Nivens/Shutterstock, Alan Freed/Shutterstock, Microgen/Shutterstock,Alfredo Ottonello/Shutterstock, Dmitrydesign/Shutterstock, ZouZou (jumping/Shutterstock, alphaspirit/Shutterstock, George Rudy/Shutterstock, Kati Finell/Shutterstock, haeryung stock images/Shutterstock, sportpoint/Shutterstock, Gwoeli/Shutterstock, Fauad A. Saad/Shutterstock, Oksana Volina/Shutterstock, VectorMine/Shutterstock, sportoakimirka/Shutterstock, Sergii Chemov/ homydesign/ Ivan Sm/Shutterstock, vectorfusionart/Shutterstock, Inspiring/Shutterstock, courtyardpix/ Shutterstock, Designua/Shutterstock, Toa55/ Digital Storm/Shutterstock, David Prahi/ mezzotint/ brizmaker/ Shutterstock, Fauad A. Saad/Shutterstock, yanik88/ sportpoint/ Andrea Izzotti/Shutterstock, sezer66/ Thomas C. Altman sportpoint/Shutterstock, Mauricio Graiki/Shutterstock, Swapan Photography/ Shawn Hampel/ cloki/ Dan Thornberg/Shutterstock, Georgios Kollidas/Shutterstock, Lia Koltyrina/Shutterstock, matsabe/Shutterstock, Ksenia Raykova/Shutterstock, Bill McKelvie/Shutterstock, Andrey Burmakin/ kuruneko/ ZoranOrcik/Shutterstock, Imagesines/ Shutterstock, Diagram/Shutterstock, HelloRF Zcool/ Andrey Burmakin//Shutterstock, Alex Kravtsov/ sirtravelalot/ Suzanna Tucker/Shutterstock, Graph/Shutterstock, Gwoeii/Shutterstock, Graph/ Oleksii Sidorov/Shutterstock, sizov/ LUKinMEDIA/Shutterstock, BUY THIS/Shutterstock, Stock image/Shutterstock, TLaoPhotography/Shutterstock, TASER/Shutterstock, Roger costa morera/Shutterstock, Preto Perola/ HomeArt/Shutterstock, topimages/ NDT/ KKulikov/Shutterstock, OSTILL is Franck Camhi/ Wikipedia Ljupco Smokovski/ Alexander Kirch/ Stefan Schurr/ Jonah_H/Shutterstock, Brocreative/ Motion Arts/ Dan Thornberg/Shutterstock, Thomas C. Altman/Altman Science,

faboi/ TASER/ faboi/Shutterstock, Miriam Doerr Martin Frommherz/ Bjoern Wylezich/Shutterstock, Inna Bigun/ Shutterstock, Steven_Mol/Shutterstock, goffkein.pro/Shutterstock, EugenePut/ RomanVX/Shutterstock, fotoliza/ Shutterstock, IDKFA/Shutterstock, Yosanon Y/ VarnakovR/Shutterstock, Rost9/ Tyler Boyes/ Dimarion/Shutterstock, Maridav/Shutterstock, Dmitry Markov152/Shutterstock, Rudenkois/Shutterstock, Patthana Nirangkul/Shutterstock, KpixMining/ Moon Light PhotoStudio//Shutterstock, -V-/ koya979/ amfroey/ Andrey Armyagov/Shutterstock, Billion Photos/Shutterstock, Christopher Boswell/ DenisVolkov/Shutterstock, Hein Nouwens/ Dragance137/Shutterstock, Everett Collection/ BrunoRosa/ sportspoint/Shutterstock, Dennis van de Water/Shutterstock, Michael Rolands/ Shutterstock,Thomas C. Altman/Altman Science marekuliasz/ Melinda Nagy/Shutterstock, Brostock/ Digital Storm/ Shutterstock, D.Pimborough/ SolidMaks/ Stanislaw Mikulski/Shutterstock, Wikipedia, Dainis Derics/Shutterstock, Doug Lemke/Shutterstock, dotshock/Shutterstock, Dmitry Yashkin/Shutterstock, Jose L. Stephens/Shutterstock, PCHT/Shutterstock, Chokniti Khongchum/Shutterstock, BlueRingMedia/Shutterstock, Quick Shot/ J_K/ Vibrant ImageStudio/Shutterstock, Thomas C. Altman/Altman ScienceStudioMolekuul/Shutterstock, OlegD/Shutterstock, Rudmer Zwerver/Shutterstock, Fouad A. Saad/ dioch/Shutterstock, Magcom/ StudioMolekuul/Shutterstock, Trooper2000/Shutterstock, kwanchai.c/ inewsfoto/ Chamille White/Shutterstock, Fotokostic/Shutterstock, LuckyStep/ Shutterstock, Prill/Shutterstock, Shine Nucha/ Toa55/ Idambies/Shutterstock, Chokniti Khongchum/ Perception 7/ Shutterstock, AlexLMX/Shutterstock, Iricat/ petrroudny43/ Yuriy Seleznev/Shutterstock,

Shaijo/Shutterstock, Patrick Salsbury/ Altman Science, BalLi8Tic/Shutterstock, losmandarinas/Shutterstock, Wlad74/Shutterstock, Dudarev Mikhail/Shutterstock, VectorMine/Shutterstock, Michael Stifter/Shutterstock, Tom Wang/Shutterstock, Everett Historical/Shutterstock, PhotoHouse/Shutterstock, Callipso/Shutterstock, alice-photo/ Shutterstock, udaix/Shutterstock, Designua/Shutterstock, magnetix/Shutterstock, enzozo/Shutterstock, Designua/ Shutterstock, Vshivkova/Shutterstock, ktsdesign/Shutterstock, angellodeco/Shutterstock, Billion Photos/Shutterstock, Ody_Stocker/Shutterstock, kanyanat wongsa/Shutterstock, Zita/Shutterstock, Aha-Soft/Shutterstock, Gorodenkoff/ Shutterstock, Designua/Shutterstock, Katy Pack/ nevodka/Shutterstock, Rattiy Thongdumhyu/Shutterstock, Kateryna Kon/Shutterstock, Juan Gaertner/Shutterstock, Elena Pavlovich/ Shawn Hempel/Shutterstock, Spectral-Design/ Shutterstock, Katiekk/Shutterstock, Natali_Mis/Shutterstock, OSweetNature/Shutterstock, Soleil Nordic/Shutterstock, Dmitry Kalinovsky/ elenabsl/Shutterstock, Lorna Roberts/ THAIFINN/Shutterstock, DrimaFilm/Shutterstock, Mari-Leaf/Shutterstock, 3d_man/Shutterstock, Designua/Shutterstock, Nathan Devery/Shutterstock, gritsalak karalak/ Shutterstock, Olga Rudyk/Shutterstock, petrroudny43/Shutterstock, Kapitosh/Shutterstock, Nate troyer/Shutterstock, machimorales/Shutterstock, acceptphoto/Shutterstock, Tomasz Klejdysz/Shutterstock, Kaentian Street/Shutterstock, Designua/Shutterstock, Sawat Benyenngam/Shutterstock, JIANG HONGYAN/ Mvolodmyr/Shutterstock, Dr Morley Read/Shutterstock, symbiot/ sigit wiyono/ Linas T/Shutterstock, Thomas C. Altman/Altman Science, Fourleaflover/ Shutterstock, igorstevanovic/ HEDADZI PE/CHAN/nexusby/Shutterstock, Panchenko Vladimir/Shutterstock,

Peter Hermes Furian/Shutterstock, Everett Historical/Shutterstock, OSweetNature/Shutterstock, Triff/Shutterstock, Fouad A. Saad/Shutterstock, KanKhem/Shutterstock, Cq photo juy/Shutterstock, CandMe/Shutterstock, dani3315/ vrx/ /Shutterstock, Mishakov Valery/ sivVector/Shutterstock, Efman/Shutterstock, Art-Perfect/Shutterstock, Negro Elkha/Shutterstock, Designua/Shutterstock, Benson HE/ udaix/Shutterstock, Fouad A. Saad/Shutterstock, BetterPhoto/Shutterstock, Mega Pixel/Shutterstock, StudioMolekuul/ /Shutterstock, urfin/Shutterstock, kondr. konst/Shutterstock, suteelak phundang/ shltz/Shutterstock, Aonprom Photo/Shutterstock, Andrew Balcombe/ Don Mammoser/ Vladimir Gjorgiev/Shutterstock, Richard Whitcombe/Shutterstock, Chase Dekker/Shutterstock, paulynn/ Anna Hoychuk/ Dalibro/Shutterstock, Yana Gershanik/ Lalandrew/Shutterstock, Alaettin YILDIRIM/ Shutterstock, Matej Kastelic/Shutterstock, Poring Studio/Shutterstock, g_dasha/Shutterstock, Billion Photos/ Shutterstock, shtukicrew/Shutterstock, Amy Newton-McConnel/ Ongkan/Shutterstock, bonchan/Shutterstock, MITstudio/Shutterstock,

200dgr/Shutterstock, SpelaG91/ UlrikaArt/ Luis Echeverri Urrea/Shutterstock, Rich Carey/Shutterstock, Davdeka/ Shutterstock, Newman Studio/Shutterstock,

gstraub/Shutterstock; Jenny_Tr/Shutterstock; Fer Gregory/Shutterstock; Crystal-K/Shutterstock; 3Dsculptor/ Shutterstock; ibreakstock/Shutterstock; BeataGFX/Shutterstock; ZikG/Shutterstock; focal point/Shutterstock; u3d/ Shutterstock; Bob Morse/Morse Scientific Inc ;Tuba Rehman/Shutterstock; Arpon Pongkasetkam/Shutterstock; JPC-PROD/Shutterstock; Lutsenko_Oleksandr/Shutterstock; gstraub/Shutterstock; ggw/Shutterstock; Kim Christensen/Shutterstock; Blue Lemon Photo Shutterstock; StudioMolekuul/Shutterstock; botazsolti/Shutterstock; Kriengsak tarasri/Shutterstock; David Plo Caviedes/Shutterstock, Toltemara/Shutterstock; sasha2109/Shutterstock; LeysanI/Shutterstock; ggw/Shutterstock; Ajamal/Shutterstock; helfei/Shutterstock; Fablok/Shutterstock; gogoiso/ Shutterstock; HAFIZULLAHYATIM/Shutterstock; ninikas/Shutterstock; Monkey Business Images/Shutterstock; public domain , Surasak_Photo/Shutterstock; White_Fox/Shutterstock; chemistrygod/Shutterstock; SUWIT NGAOKAEW/ Shutterstock; Bob Morse/Morse Scientific, Inc.; StudioMolekuul/Shutterstock; Rabbitmindphoto/Shutterstock; petrroudny43/Shutterstock; kesipun/Shutterstock; wellphoto/Shutterstock; Toa55/Shutterstock; PNOIARSA/ Shutterstock; ggw/Shutterstock; Rattiya Thongdumhyu/Shutterstock; Satienpong P/Shutterstock; DariaRen/ Shutterstock; tanewpix168/Shutterstock;