الفيزياء

كتاب الطالب

المستوى العاشر

PHYSICS
STUDENT BOOK

GRADE
10

الفصل الدراسي الأول - الجزء الأول
FIRST SEMESTER - PART 1
2021 - 2022

(نسخة تجريبية - Trial version)

© وزارة التعليم والتعليم العالي في دولة قطر

يخضع هذا الكتاب لقانون حقوق الطباعة والنشر، ويخضع للاستثناء التشريعي المسموح به قانونًا ولأحكام التراخيص ذات الصلة.

لا يجوز نسخ أي جزء من هذا الكتاب من دون الحصول على الإذن المكتوب من وزارة التعليم والتعليم العالي في دولة قطر.

تمّ إعداد الكتاب بالتّعاون مع شركة تكنولاب.

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

التّرجمة: مطبعة جامعة كامبريدج.

الطبعة التجريبية 2022-2021 م

النشيد الوطني

قَسَـمًا بِمَـنْ رَفَـعَ السَّـمَاءْ قَسَـمًا بِمَـنْ نَشَـرَ الضِّـيَاءْ
قَطَـرٌ سَتَبْـقَى حُـرَّةً تَسْمُـو بِـرُوحِ الأَوْفِـيـاءْ
سِـيرُوا عَـلَى نَـهْـجِ الأُلَـى وَعَـلَى ضِيَـاءِ الأَنْبِـيَاءْ
قَطَـرٌ بِقَـلْـبِي سِـيرَةٌ عِـزٌّ وَأَمْجَـادُ الإِبَـاءْ
قَطَـرُ الرِّجَـالِ الأَوَّلِـين حُمَـاتُنَـا يَـوْمَ النِّـدَاءْ
وَحَمَـائِـمٌ يَـوْمَ السَّـلاَمْ جَـوَارِحٌ يَـوْمَ الفِـدَاءْ

المراجعة والتّدقيق العلميّ والتّربويّ:

إدارة التوجيه التربوي

خبرات تربويّة وأكاديميّة من المدارس

الإشراف العلميّ والتربويّ:

إدارة المناهج الدّراسيّة ومصادر التّعلّم

الفيزياء

المقدّمة

يعدّ كتاب الطّالب مصدرًا مثيرًا لاهتمام الطلّاب من ضمن سلسلة كتب العلوم لدولة قطر، فهو يستهدف جميع المعارف والمهارات الّتي يحتاجها الطلّاب 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 الطّلّاب 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 للطّلّاب، في كلّ درسٍ، للتّحقّق الذّاتيّ من معارفهم ولممارسة قدرتهم على حلّ المشكلات.

- احتواء كلّ وحدة على تقويم للدّرس وتقويم للوحدة، وهو ما يمكّن الطّلّاب 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 الطُّلّاب 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

الصّفّ
10

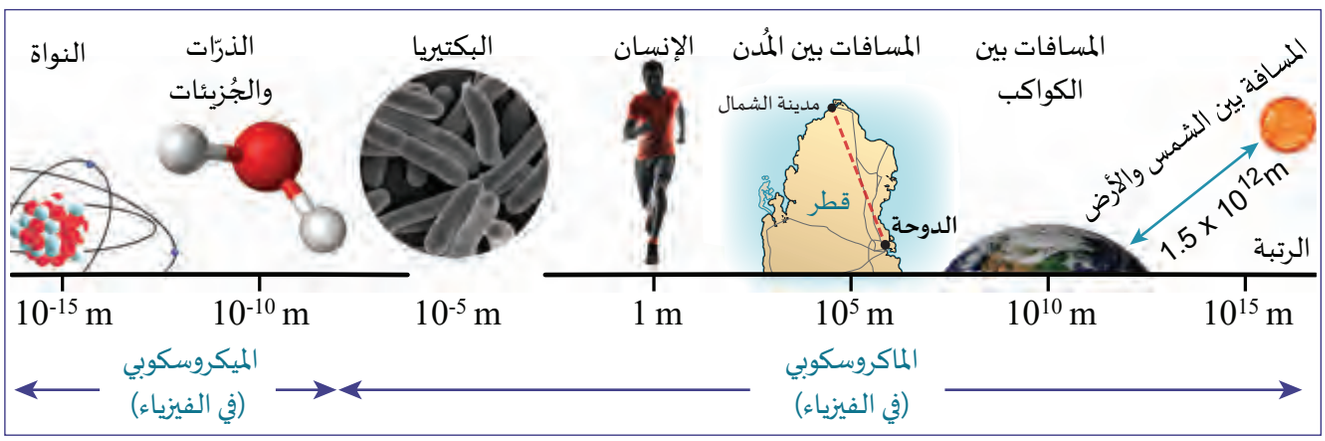
الفصل الدّراسي 1

الفيزياء

ماذا ستتعلّم من هذا الكتاب

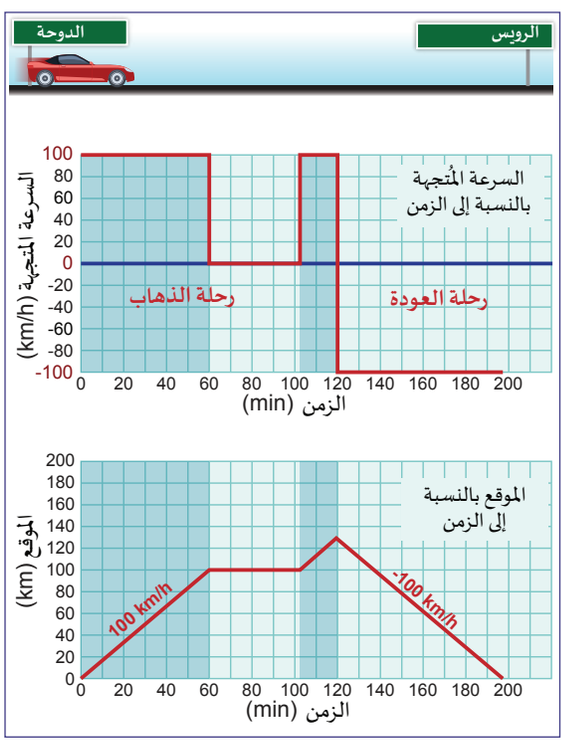
يتمحور العلم حول فهم الكون الفيزيائي الذي يحيط بنا. وتُعد القُدرة على القياس والاتّصال مع ما نُلاحظ واحدة من الأدوات العلميّة المُهمة التي تُساعدنا على الفهم. تُستخدم في الفيزياء سبع كمّيات فيزيائيّة هي: الكتلة، المسافة، الزمن، التيار الكهربائي، درجة الحرارة، شدّة الاضاءة، كمية المادة. جميعها كميّات فيزيائيّة تُقاس وتُسجّل بوحدات النظام الدولي (SI)، نذكر منها: الكيلوجرام (الكتلة)، والمتر (المسافة)، والثانية (الزمن).

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



تهتم الفيزياء بالمسافات من داخل الذرّة وحتى حجم الكون.

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

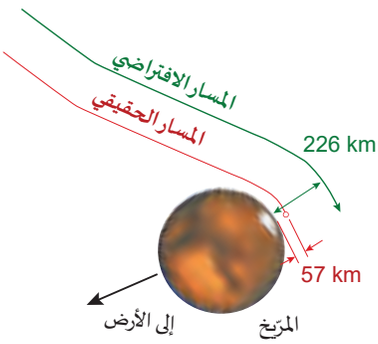


تُعد المُخطّطات البيانية لكل من الموقع والسرعة إحدى الطرائق التي تُمثّل فيها الحركة.

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 الصفّ بفرصة مناقشة المفاهيم والمعلومات.

شريط الأفكار المهمّة

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

تحديد النقاط الرّئيسة وتذكُّرها.

العلاقات والمعادلات

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

مُثِّلت علاقات الكمّيات 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.

$V_{\text{كرة}} = \frac{4\pi r^3}{3}$

المطلوب: الحجم بوحدة m^3

العلاقات: 1 m = 100 cm

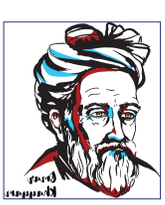
الحل: وحدة الحجم وحدة مُشتقّة تتضمّن وحدات أساسية للمسافة التكعيبيّة. لذلك سنقوم بحساب الحجم بوحدة cm^3، ثمّ نقوم بتحويلها إلى وحدة m^3 بإعادة ترتيب العلاقات بحيث تُختصَر الوحدات، مع مُلاحظة أننا سنضرب بالعلاقة 1 m = 100 cm ثلاث مرّات لأننا سنحوّل من cm^3 إلى m^3.

تُظهر الأمثلة جميع خطوات الحلّ والتفسير للحصول على حسابات صحيحة.

العلم والعلماء

ضوء على العلماء

عمر الخيّام: 1048-1131



الشكل 1-20 صورة مرسومة للعالم 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 قُدُراته الاستثنائية، فأرسله إلى أحد أعظم المُعلّمين في المنطقة، الإمام مُوفّق 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

الفيزياء

الأنشطة والمراجعة والتّقويم

الأنشطة

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

نشاط 1-2 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 g 10، و g 20، و g 30 ، زنبرك، 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.

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^{8} m/s
2. أيٌّ من الآتي نعبّر عن قياسه باستخدام وحدة مُشتقّة؟
   a. طول الباب
   b. مساحة الغُرفة

مراجعة الوحدة

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

الوحدة 1
مراجعة الوحدة

الدرس 1-1: النظام الدولي للوحدات (SI)

- طُوِّر النظام الدولي للوحدات International System of Units (SI) ليضع معيارًا موحّدًا للاستخدامات التجارية 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 مُتعدّد

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 يتضمّن هامش خطأ نسبي 3%، فما هامش الخطأ المُطلق لكتلة الشخص؟
26. 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؟

مخطّط المادّة

الوحدة 1 الكميّات الفيزيائيّة وهامش الخطأ في القياسات العمليّة

تتمثّل وحدات النظام الدولي (SI) في الوحدات المعياريّة 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، ودقة الوضوح 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.

جدول المحتويات

الوحدة 1 الكميّات الفيزيائيّة وهامش الخطأ في القياسات العمليّة 2

الدرس 1-1 النظام الدولي للوحدات (SI) 4

الدرس 1-2 القياسات 16

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

1 الوحدة

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 كمّيات من الأبعاد المجهرية (الميكروسكوبية) والأبعاد الجهرية (الماكروسكوبية).

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 تنفيذ القياسات يظهر هامش الخطأ على شكل زيادة أو نقصان؛ ولهذا لا تكون الحسابات مؤكّدة.

الأنشطة والتجارب

1-1 استخدام النظام الدولي للوحدات (SI)

2-1 أخذ 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

النظام الدولي للوحدات (SI)	International System of Units (SI)
الوحدات الأساسية	Fundamental units
الوحدات المُشتقة	Derived units
الجهري (الماكروسكوبي)	Macroscopic
المجهري (الميكروسكوبي)	Microscopic
رتبة المقدار	Order of magnitude
الجزء العشري	Mantissa
الصيغة العلميّة	Scientific notation
الأُس	Exponent
بادئات النظام الدولي	SI Prefixes

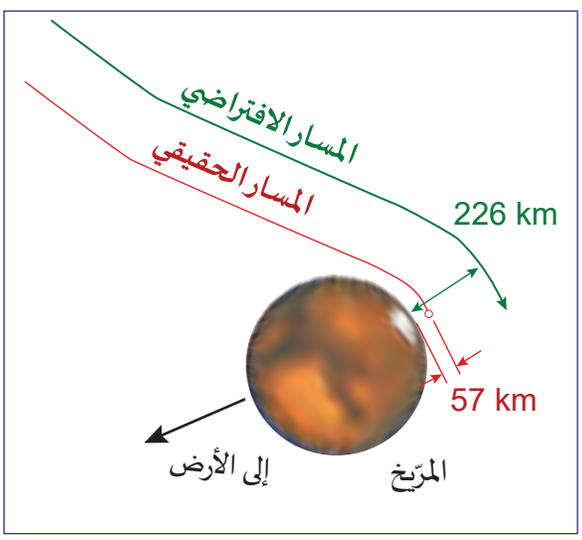
وحدات القياس البريطانية

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 المُعتَمِد على المتر وكأنه يُستخدَم في كل مكان. حيث أصبح عدّاد السرعة في السيّارة ،مثلًا، يُقرأ بوحدة km/hr في الكثير من الدول. وغدت 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 زُوّدت به المركبة الفضائية من مُصنّعيها 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 بالمركبة الفضائية 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، من 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 بوساطة 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	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.

ومن الجدير بالذكر أنّ السرعة هي كمّية مُشتقّة، ولها وحدة مُشتقّة أيضًا، وبما أنّ السرعة هي قسمة المسافة المقطوعة مقسومة على الزمن، وبما أنّ وحدة المسافة في النظام الدولي هي المتر m، ووحدة الزمن هي الثانية s، فإنّ الوحدة المُشتقّة للسرعة هي المتر مقسومًا على الثانية (m/s). وهناك الكثير من الوحدات المُشتقّة كوحدة نيوتن (N) التي تُعادل kgm/s^2، ووحدة الجول المستخدمة للطاقة، والتي تُعادل kgm^2/s^2.

مثال 1

مطلوب منك أن تشتقّ وحدة قياس السرعة، إذا علمت أن السرعة هي ناتج قسمة المسافة على الزمن.

المطلوب: وحدة قياس السرعة.

المُعطيات: $\text{السرعة} = \dfrac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$

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

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

مثال 2

التسارُع كمّية مُشتقّة، وهي تغيُّر السرعة مقسومًا على الزمن الذي يحدث فيه هذا التغيُّر. ومطلوب منك أن تشتقّ وحدة قياس التسارُع.

المطلوب: وحدة قياس التسارُع.

المُعطيات: $\text{التسارُع} = \dfrac{\text{السرعة}}{\text{الزمن}}$

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

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

مثال 3

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

المطلوب: وحدات القوة

المُعطيات: القوة = التسارع × الكتلة

الحل: لتحديد الوحدات نقوم بضرب وحدة التسارُع وهي $1\ \text{m/s}^2$ في وحدة الكتلة في النظام الدولي وهي 1 kg.

$$unit\ of\ (F) = unit\ of\ (m) \times unit\ of\ (a) = \left(1\ \text{kg}\right)\left(\frac{1\ \text{m}}{1\ \text{s}^2}\right) = \frac{1\ \text{kg·m}}{1\ \text{s}^2} = 1\ \text{kg·m/s}^2$$

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

العلاقات: 1 km = 1000 m, 1 h = 3600 s

الحل: وحدة السرعة هي وحدة مُشتقّة تتضمّن وحدات أساسية للمسافة والزمن. لذلك سنقوم بإعادة ترتيب العلاقات بحيث نختصر الوحدات، ونحصل في النهاية على وحدتَي m و s.

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

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

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.

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

$$\frac{5575\ \cancel{\text{cm}^3}}{1}\left(\frac{1\ \text{m}}{100\ \cancel{\text{cm}}}\right)\left(\frac{1\ \text{m}}{100\ \cancel{\text{cm}}}\right)\left(\frac{1\ \text{m}}{100\ \cancel{\text{cm}}}\right) = \frac{5575}{1000000}\ \text{m}^3 = \boxed{0.005575\ \text{m}^3}$$

المقياس المجهري (الميكروسكوبي) والمقياس الجهري (الماكروسكوبي)

طرح الإنسان لآلاف السنين تساؤلات عن طبيعة الكهرباء، والضوء، والحرارة. فقد رأى أرسطو أنّ النار هي عنصر كما الماء، والهواء، والتراب، وأنّ مكانها الطبيعي هو الشمس، الأمر الذي يُفسّر برأيه ارتفاع الدخان. وبعد ما يزيد على 2300 سنة، أصبح بين أيدينا تفسير دقيق لجميع الحقائق المُشاهدَة. وأصبح لكل من الكهرباء، والضوء، والحرارة من الملاحظة والتجريب في البنية الميكروسكوبية لكل من المادة والطاقة.

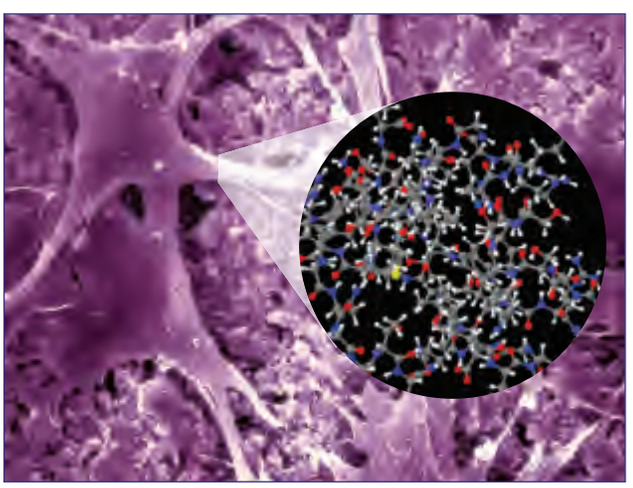
المقياس الجهري (الماكروسكوبي)

استخدم علماء الفيزياء مفهوم المقياس لوصف القياسات النسبية للأشياء. فعندما تؤثّر بقوة دفع على عربة لتصعد مُنحدرًا فإنَّ بإمكانك مُلاحظة انتقال للطاقة خلال حركة العربة إلى الأعلى (**الشكل 1-3**)، وهذا مثال على الشُغل المبذول في المقياس الماكروسكوبي. يشير **المقياس الماكروسكوبي Macroscopic** إلى الأشياء التي يمكن لمسها والإحساس بها مباشرةً. فالصخور، وعربات التسوّق، وبُقع الغبار، والكواكب، جميعها أجسام ماكروسكوبية، والمقياس الماكروسكوبي هو مقياس الحياة العادية، ويبدأ تقريبًا من $\frac{1}{100}$ ملّيمتر إلى ما هو أكبر.

الشكل 1-3 بذل الشغل في المقياس الماكروسكوبي.

المقياس المجهري (الميكروسكوبي)

يكمن في داخل عالمنا المرئي (الماكروسكوبي) عالم ميكروسكوبي من الذرّات والجُسَيْمات. ويشير المقياس الميكروسكوبي في الفيزياء إلى الحجم الذي يتراوح بين ذرّة وأصغر (**الشكل 1-4**)، فحجم الذرّة متناهٍ في الصغر إلى درجة تكون فيها بقعة غبار مشتملة على مليارات الذرّات، مع الإشارة إلى أنّ قُطر الذرّة يبلغ 10^{-10} m تقريبًا. في مجال الفيزياء، ينطبق العالم **الميكروسكوبي Microscopic** على أشياء أصغر من أن تكون مرئيّة بوساطة المجهر البصري العادي. فكمّيات كالحرارة ودرجة الحرارة يمكن تفسيرها فقط من خلال السلوك في المقياس الميكروسكوبي.



الشكل 1-4 الذرّات وجُزيئات المادة في المقياس الميكروسكوبي.

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 بوساطة الضبط بدلًا من استخدام التقدير. 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 يبدو أسهل كتابة ومن دون ارتكاب أيّ خطأ.

1-1	الصيغة العلميّة	N	الجُزء العُشري
	العدد $= N \times 10^{n}$	n	الأُس

أمثلة

a) رقم أكبر من 1 (1500)

الأُس

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

الجُزء العُشري

b) رقم أصغر من 1 (0.0015)

الأُس

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

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: ($1 \times 10^{-3} = 1 \div 10^{3} = 1 \div 1000 = 1$). لكن لا تعني الإشارة السالبة في أُسّ 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

العلاقات:

العدد $= N \times 10^{n}$

الحلّ:

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}.

c. تُحرّك الفاصلة 13 رتبة إلى اليمين لكتابة العدد بالصيغة الممتدة: 37 500 000 000 000

مثال 7

يتكوّن ملح الطعام من حُبيبات مكعّبة الشكل. بحسب البنيّة البلّورية. حدّد 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

المُعطى: 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 نطبّق 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 مُحيطها 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: $6378\ km \times \frac{1000\ m}{1\ km} = 6378000\ m$

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

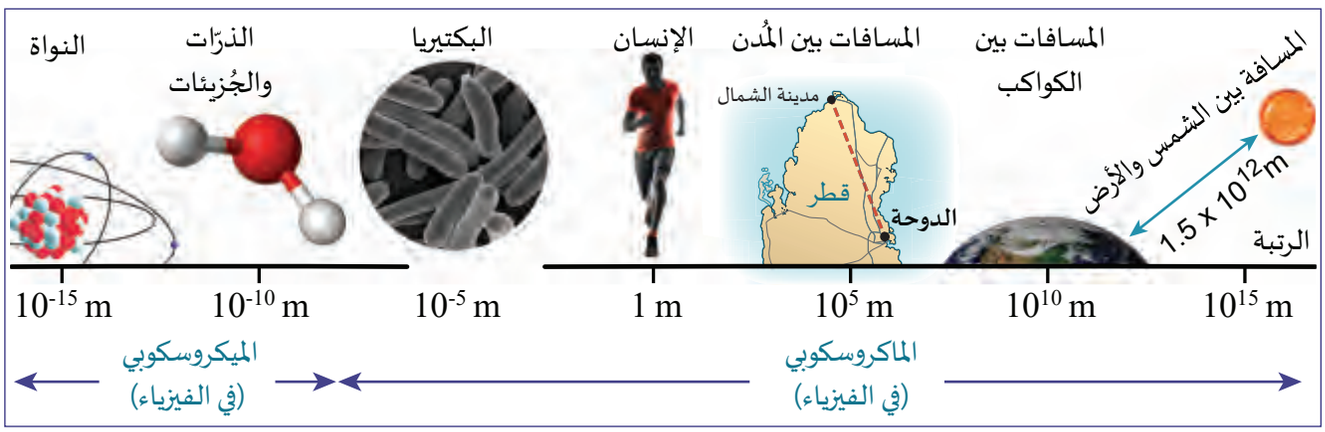
b. لكتابة هذا المقدار في الصيغة العلميّة، نُلاحظ أنّ الجزء العُشري سيكون 4.0074.

أقرب قُوّة من عشرة هي $10^7 = 10\ 000\ 000$، وبالتالي يكون:

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

رتبة المقدار

يُوضّح **الشكل 1-5** الاختلاف بين المقياس الميكروسكوبي والمقياس الماكروسكوبي. فعندما نناقش مثل هذه الأرقام الصغيرة أو الكبيرة، فإننا نفضّل أن نذكر مقدار الكمّية المطلوبة بقوة من 10. تُسمّى قيمة الكمّية في هذه الحالة **رتبة المقدار Order of magnitude**. وتكون نواة الذرّة مثلًا من رتبة المقدار 10^{-15} m.



الشكل 1-5 مقارنة بين المسافات الميكروسكوبية والمسافات الماكروسكوبية.

يُساعدنا **الجدول 1-2** على تصوّر المجال الواسع لرتب مقادير بعض الكمّيات الفيزيائية.

الجدول 1-2 رتبة المقدار في كل من الطول، والكتلة، والزمن.

الطول (m)	
المسافة من الأرض إلى أقرب نجم	10^{16}
المسافة من الأرض إلى الشمس	10^{11}
المسافة من الأرض إلى القمر	10^{7}
قُطر كوكب الأرض	10^{6}
قُطر البكتيريا	10^{-5}
قُطر ذرّة الهيدروجين	10^{-10}
قُطر البروتون	10^{-15}

الكتلة (kg)	
مجرّة درب التبّانة	10^{41}
الشمس	10^{30}
الأرض	10^{24}
القمر	10^{22}
البكتيريا	10^{-15}
ذرّة الهيدروجين	10^{-27}
البروتون	10^{-27}

الزمن (s)	
عمر الكون	10^{18}
عمر الأرض	10^{17}
سنة واحدة	10^{7}
يوم واحد	10^{5}
الفترة الزمنيّة لنبضة قلب	1
الفترة الزمنية لنبضة عصب	10^{-3}
الفترة الزمنية لعبور الضوء قُطر بروتون	10^{-24}

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"km". يُوضّح **الجدولان 1-3** و **1-4** بعض البادئات الأساسية.

الجدول 1-3 قائمة البادئات لأعداد أكبر من 1.

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

الجدول 1-4 قائمة البادئات لأعداد أصغر من 1.

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

مثال 9

يبلغ زمن الدورة المدارية لقمر المُشتري آيو 152854 s، وزمن الدورة المدارية لقمر المُشتري جانيميد 7.1546 أيام.

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.

المُعطى: زمن الدورة المدارية للقمر آيو = 152854 s.

زمن الدورة المدارية للقمر جانيميد = 7.1546 أيام.

العلاقات: 1 اليوم = 86400 ثانية.

الحلّ:

a.

$$\frac{7.1546 \text{ أيام}}{1}\left(\frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ أيام}}\right) = \frac{7.1546 \times 86400}{1} \text{ s} = 618157 \text{ s}$$

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

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

0.618 Ms (ميجا ثانية)

b. للقمر جانيميد زمن دوران مداري أطول لأنّ 618157 s > 152854 s.

نشاط 1-1 استخدام النظام الدولي للوحدات (SI)

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

خطوات التجربة

1. قُم بإجراء المهام الآتية في مجموعات، ثمّ اكتب القياسات في الجدول المُدرَج في ورقة العمل.
2. قِس طول كفّ يدك مُستخدمًا المسطرة، اكتب نتيجة القياس بوحدة cm.
3. حوّل القياس السابق إلى وحدات المتر، والكيلومتر، والملّيمتر، والميكرومتر.

الشكل 1-6 أدوات القياس.

4. قِس عرض الطاولة مُستخدمًا العصا المترية، ثمّ اكتب نتيجة القياس بوحدة المتر.
5. حوّل القياس السابق إلى وحدات السنتيمتر، والكيلومتر، والملّيمتر، والميكرومتر.
6. قِس كتلة محفظة الأقلام مستخدمًا الميزان واكتب النتيجة بوحدة الجرام.
7. حوّل القياس السابق إلى وحدتَيْ الكيلوجرام، والملّيجرام.
8. قِس كتلة حقيبتك المدرسيّة مُستخدمًا الميزان واكتب النتيجة 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

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 مُشتقّة؟
   a. طول الباب
   b. مساحة الغُرفة
   c. درجة حرارة الغُرفة
   d. شدّة إضاءة المصباح

3. ما رتبة المقدار التقديريّة لكتلة كل من الأجسام الآتية:
   a. محفظة أقلام
   b. كُرة قدم
   c. سيّارة
   d. حقيبتك المدرسية

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

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

6. صف ثلاثة أجسام تنتمي إلى المقياس الميكروسكوبي وثلاثة أخرى تنتمي إلى المقياس الماكروسكوبي.

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

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

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

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

11. قَاسَ عالِم كتل خمسة أجسام مُعيّنة. اكتب هذه القياسات مُستخدمًا الصيغة العلميّة:
    450000 g، 0.00089 g ، 98.34 g ، 2340 g ، 0.0925 g.

12. اكتب المقدار 250 ملّيجرامًا بوحدة الكيلوجرام.

13. اكتب المقدار 4250 نانومترًا بوحدة المتر.

14. اكتب المقدار 0.00036 m بوحدة الملّيمتر.

الدرس 1-2
القياسات
Measurements

يدّعي 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 عن العلم، الظنّ بأنّه يُقدّم إجابات كمّية 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 التقدير أفضل إجابة ممكنة.

الشكل 1-7 صورة مجرة حلزونية.

مخرجات التّعلُّم

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

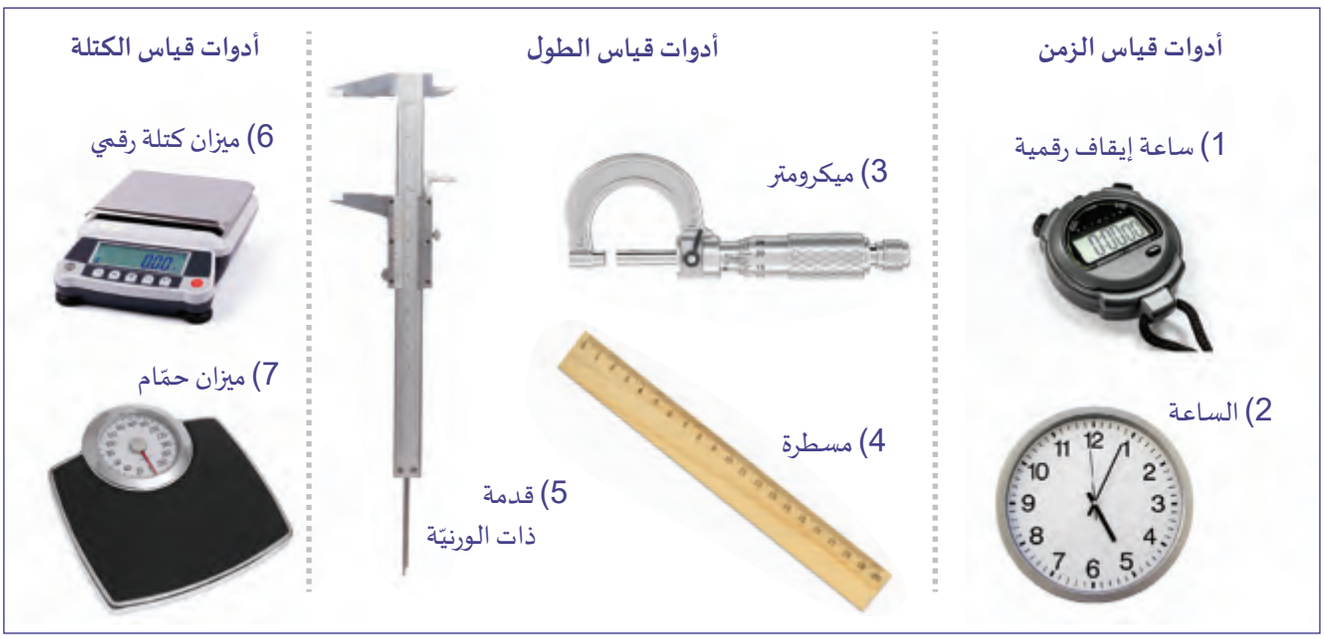
P1002.2 يحسب هامش الخطأ المطلق والمئوي في النتائج التجريبية بأساليب مختلفة، بما في ذلك الحد الأقصى والحد الأدنى لميل الخط المستقيم في الرسم البياني.

المفردات

Resolution	دقّة الوضوح
Precision	الدقّة
Accuracy	الضبط
Systematic error	الخطأ المُنتظم
Random error	الخطأ العشوائي
Average	المتوسِّط
Absolute uncertainty	هامش الخطأ المُطلق
Percentage uncertainty	هامش الخطأ المئوي
Error bars	أعمدة الخطأ
Best fit line	أفضل خط مَيل

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 1-8 الأدوات المُستخدمة لقياس الزمن والطول والكتلة.

يقاس طول الجسم باستخدام أدوات مُتعدّدة (**الشكل 1-8**)، لكنَّ لا بدّ من اختيار أداة تناسب مدى الأطوال والدقّة المطلوبة. فالمسطرة الصغيرة والعصا المترية والميكرومتر 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 الميكرومتر، إذ تُستخدم القدمة ذات الورنية في قياس أقطار الأجسام الدائرية الصغيرة، كالأنابيب مثلًا. ويُستخدم الميكرومتر في قياس قُطر سلك أو سُمْك ورقة.

ويمكننا لقياس الكتلة استخدام ميزان الكتلة الرقمي، أو الميزان ثلاثي الأذرع، أو ميزان الحمّام. يُوضّح الشكل 1-8 بعضًا من تلك الأدوات. ومن المهم لاختيار الأداة المُناسبة معرفة إن كانت كتلة الجسم المُراد قياسه تقع ضمن مدى الأداة. فميزان الكتلة المخبري يقيس عادةً كمّيات لا تتجاوز كتلتها 500 g. أما ميزان الحمّام فمُناسب لقياس كتلة الإنسان، لأنّه يستطيع قياس كتلة تصل إلى 300 kg.

جِد مدى الكتلة التي يُمكن قياسها باستخدام الموازين 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 9-1**). تُستخدم ساعة الإيقاف اليدوية مؤشّرات دوّارة بمقياس مُنفصل للساعات والدقائق والثواني. أما ساعة الإيقاف الرقمية فتعرض الساعات والدقائق والثواني وفق الصيغة الآتية: HH:MM:SS.SS.

الشكل 9-1 كيفيّة قراءة ساعة الإيقاف اليدوية وساعة الإيقاف الرقمية.

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.

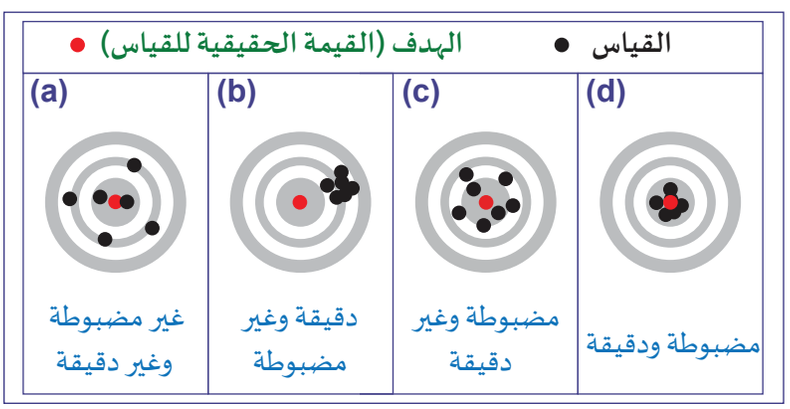
$$\frac{3\ \cancel{\text{h}}}{1}\left(\frac{3600\ \text{s}}{1\ \cancel{\text{h}}}\right)+\frac{10\ \cancel{\text{m}}}{1}\left(\frac{60\ \text{s}}{1\ \cancel{\text{m}}}\right)+37.1\ \text{s}=10800\ \text{s}+600\ \text{s}+37.1\ \text{s}$$
$$=\boxed{11437.1\ \text{s}}$$

القياس وهامش الخطأ

نهدف من القياس إلى 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 فرق بين القيمة المقاسة والقيمة الحقيقية، سواء كان ذلك بالزيادة او النقصان (-/+) وهو ما نُسمّيه بهامش الخطأ.

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

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



الشكل 1-10 دقّة القياسات وضبط أداة القياس وأثرهما على نتائج القياس.

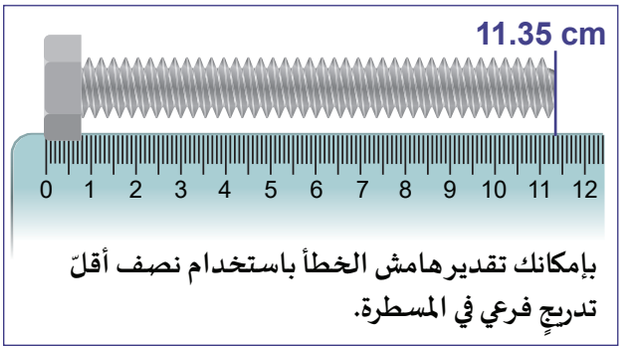
يُوضّح **الشكل 1-10** دقّة القياس وضبط أداة القياس بعرض مثال للتصويب في الرماية، حيث يوجد الهدف (البقعة الحمراء) والذي يمثل القيمة الحقيقية للكمّية المقاسة في مركز اللوحة. بينما تنتشر الرميات (البقع السوداء) التي تمثل القياسات المختلفة في باقي اللوحة وبتوزيعات مختلفة.

- المحاولة a تتّصف بعدم الدقّة وعدم الضبط؛ ذلك أنّ الرميات غير دقيقة لعدم تقارُبها، 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 الهدف يدلّ على أنها غير دقيقة.
- المحاولة d تتّصف بالدقة والضبط؛ ذلك أنّ الرميات دقيقة لتقارُبها، 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.

انظر جيّدًا إلى المسطرة المُوضّحة في **الشكل 1-11**. 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 ±0.05 cm. لذلك نعتبر أنّ ±0.05 cm هو **هامش الخطأ المُطلق Absolute uncertainty**. وبالتالي نكتب القياس الكامل مع هامش الخطأ cm (11.35 ± 0.05).



الشكل 1-11 تقدير القياس بناءً على أصغر تدريج.

- **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 1-12** قياس كتلة بواسطة ميزان رقمي.

a. ما مقدار دقّة الوضوح للميزان؟

b. ما هامش الخطأ المُطلق للقياس؟

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

الشكل 1-12 قياس كتلة بواسطة الميزان الرقمي.

الحلّ:

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

b. هامش الخطأ المُطلق هو ± 0.5 g.

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

مثال 12

يُوضّح **الشكل 1-13** 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.

a. ما الزمن المقاس؟

b. ما مدى الأزمنة التي سُتعطيها النتيجة المُبيّنة؟

c. ما هامش الخطأ المُطلق للقياس؟

الشكل 1-13 ساعة إيقاف يدويّة.

الحلّ:

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 s)، و (50.2 s)، لذلك نعتبرها (50.1 s) يكون القياس 3 دقائق و 50.1 s.

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

c. هامش الخطأ المُطلق هو $\pm$ 0.1 s.

هامش الخطأ النسبي

يمكن أن يعبّر عن هامش الخطأ كنسبة مئوية للقيمة المقاسة ويُسمّى "**هامش الخطأ النسبي**" **Relative uncertainty**. إذا كانت ΔA هي هامش الخطأ المُطلق، فإنّ بالإمكان حساب هامش الخطأ المئوي بوساطة **المُعادلة 1-2**.

2-1	هامش الخطأ المئوي	ΔA	هامش الخطأ المُطلق
	$\text{هامش الخطأ المئوي} = \frac{\Delta A}{A} \times 100\%$	A	القيمة المقاسة

تصادفنا حالات عديدة في الحياة اليومية تُعطى فيها القيَم بالإضافة إلى هامش الخطأ المئوي.

- عندما تُعبّىء الوقود لسيّارتك، تكون المضخّات مضبوطة لتقيس كمية الوقود بهامش خطأ 0.3% ±. يعني ذلك أنّك، إذا دفعت مالاً لشراء 40 لترًا من الوقود، فسوف تحصل على كمّية تتراوح بين 39.88 لترًا و 40.12 لترًا.
- يُفترَض مُعايرة عدّاد السرعة في السيّارة ليكون مضبوطًا بحدود 10%. يعني ذلك أنك عندما تقود بسرعة 80 km/h فإنّ السرعة الفعليّة للسيّارة تتراوح بين 72 km/h و 88 km/h.

مثال 13

يزوّد الميزان المُستخدم في البقالة بمُلصق فحص يُثبت أنّه قد اختُبر ليكون له هامش خطأ نسبي أقصى يبلغ 2%. فإذا قمت بشراء 4 kg من الفاكهة، فكم سيكون مدى كتلة الفاكهة التي اشتريتها؟

المطلوب: أقلّ وأقصى كتلة من الفاكهة التي اشتريتها.

المُعطى: القيمة المقاسة هي 4 kg وهامش الخطأ المئوي هو 2%±.

العلاقات:

$$\text{هامش الخطأ } \% = \frac{\Delta A}{A}$$

الحلّ:

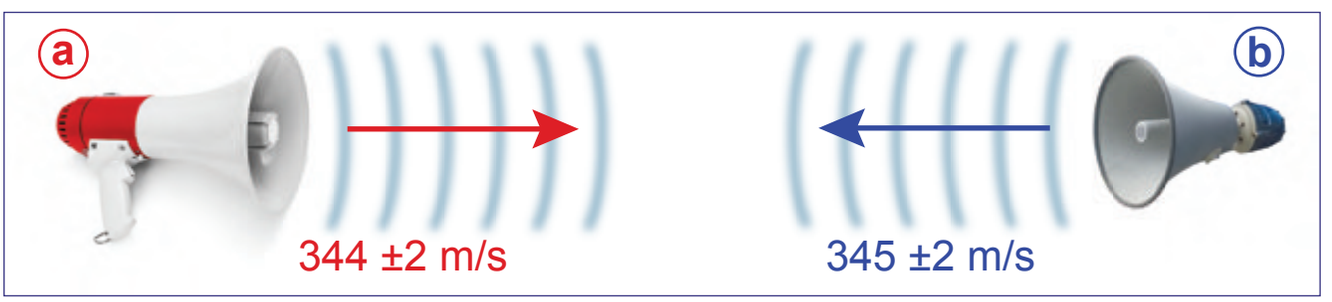
$$\text{هامش الخطأ } \% = \frac{\Delta A}{A} \longrightarrow \Delta A = (A)(\text{هامش الخطأ } \%)$$
$$= (4\text{ kg})(0.02)$$
$$= 0.08\text{ kg}$$

هامش الخطأ المُطلق هو 0.08 kg، وبالتالي تكون الكتلة المُحتملة هي من 3.92 kg إلى 4.08 kg.

الدلالة

لتحقيق الهدف من التجارب العلميّة والاختبارات الهندسية تُجرى القياسات حيث يمكن مقارنة القياسات العلميّة مع ما تقدّمه النظريّة من توقُّعات. كأنّ تتوقّع نظريّة أن تكون سرعة الصوت 343.25 m/s عند ضغط جوي مُعيّن. وغالبًا ما تُقارن القياسات الهندسية مع المواصفات للتحقّق من أنّ هذه الآلة أو تلك تعمل بشكل جيّد. فقد تُصمّم مضخة لدفع الماء بتدفق (100 L/s)، ثم تُجرى قياسات هندسية عليها لمقارنة إنجازها مع مواصفات التصميم.

كيف يمكن للعلماء والمهندسين مُقارنة قيمتَين رُغم أنّ جميع القياسات لها هامش خطأ؟ لنفترض أننا أجرينا تجربتَين مُختلفتَين تخضعان للشروط نفسها، وذلك لقياس سرعة الصوت لكن في بلدَين مُختلفَين. تُظهر إحدى التجربتَين أننا حصلنا على قياس لسرعة الصوت مقداره 345 ± 2 m/s، بينما تُظهر التجربة الأخرى مقدار 344 ± 2 m/s. هل يعني ذلك أن النتيجتَين مُتطابقتان أم أنّهما مُختلفتان (**الشكل 1-14**)؟



الشكل 1-14 تجربتان مُختلفتان قليلاً في القيمة.

رياضيًّا نجد أنّ العددَين 344 و 345 مُختلفان. لكن تبدو النتيجتان رغم ذلك، مُتماثلتَين من الناحية العلميّة، لأنّ الفرق بينهما أقلّ من هامش الخطأ. لذلك يمكن القول إن النتيجتَين تختلفان إذا كان الفرق بينهما أكبر من هامش الخطأ. يكون الفرق ذا **دلالة Significant** إذا كان مقداره أكبر من هامش الخطأ.

تُعد النتيجتان مُتماثلتَين ما لم يكن الفرق بينهما أكبر من هامش الخطأ.

مثال 14

تتوقّع نظرية نيوتن في الجاذبيّة أن تكون سرعة نجم بعيد 15254 m/s. قام رائد فضاء بقياس سرعة النجم فوجدها 14995 ± 300 m/s.

هل نتيجة رائد الفضاء متوافقة مع نظرية نيوتن أم لا؟

الحل: تتوافق نتيجة رائد الفضاء مع نظرية نيوتن، لأن الفرق أقلّ من هامش خطأ القياس.

أخذ المتوسّط لتقليل هامش الخطأ

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

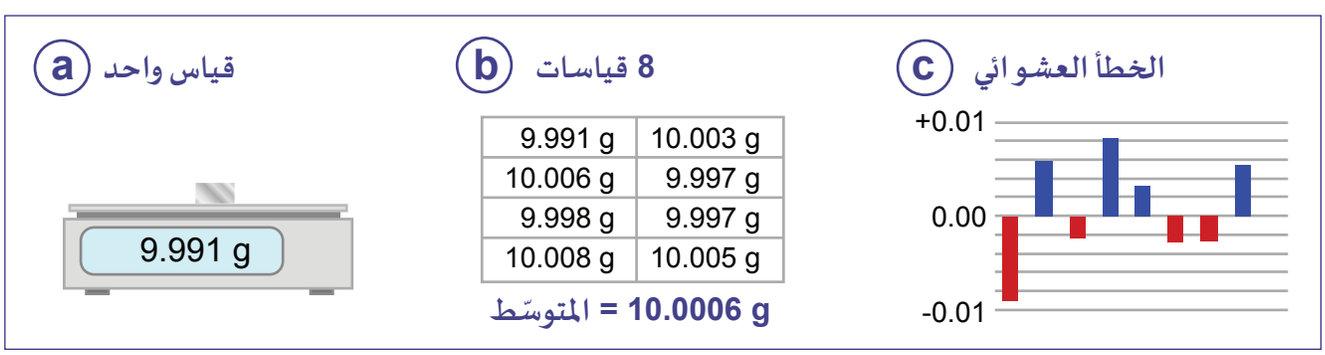
- **الخطأ المُنتظم Systematic error**، ويحدث بسبب الأدوات المُستخدمة في القياس والتي لا تكون دقيقة، كاستخدام شريط قياس مُتمدّد أو ميزان ليس مضبوطًا على الصفر بشكل صحيح. حيث تؤثّر الأخطاء المُنتظمة على نتيجة القياس بالاتجاه نفسه. فالشريط المُتمدّد سيُعطي قراءة لمقدار المسافة أقلّ دائمًا من مقدار المسافة الفعليّة.
- **الخطأ العشوائي Random error**، ويحدث بسبب عوامل عديدة. وقد يجعل نتيجة أي عملية قياس أكبر من القيمة الفعلية، أو أصغر. 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 **المتوسّط 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 القيَم الكبيرة والقيَم الصغيرة والمتوسّط.

المتوسّط هو أفضل تقدير للقيمة الحقيقية.

الفرق بين المُتوسّط وكل من القيمة الأكبر والقيمة الأصغر يعطي تقديرًا لهامش الخطأ.



الشكل 1-15 مثال على أخذ المتوسّط لعدّة قياسات.

يُوضّح **الشكل 1-15** تجربة نموذجية يُستخدم فيها المتوسِّط لتقليل الخطأ. علمًا أنّ القيمة الحقيقية هي 10.000 g.

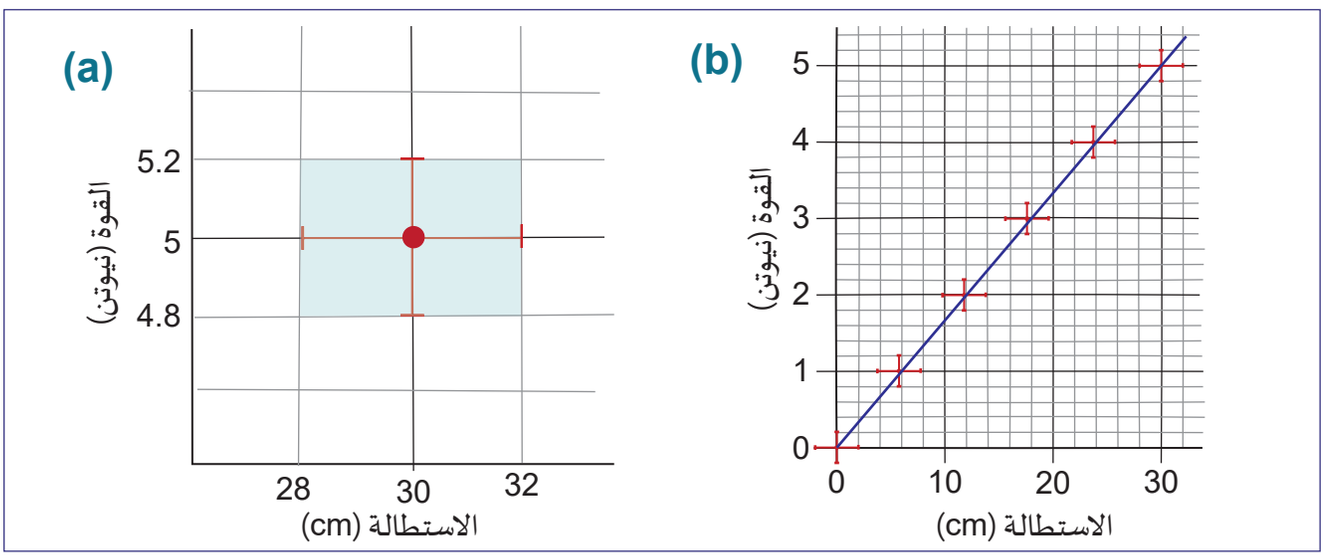
a. يبلغ القياس المنفرد 9.991 g.

b. يساوي متوسط 8 قياسات 10.0006 g. وهو أكبر بمقدار 0.0006 g من القيمة الحقيقية. فالمتوسّط هو أفضل تقدير للقيمة الحقيقية. يمكنك مُلاحظة أن أكبر انحراف عن المتوسّط هو للقيمة (10.008 g) ويساوي 0.009 g. لذلك فإنّ التقدير الجيد لهامش الخطأ هو ±0.009 g.

c. يكون المتوسِّط أكثر دِقّة، لأن الأخطاء العشوائية في كِلا الاتِّجاهين تُلغي بعضها جُزئيًا عند حساب المتوسِّط.

الرسم البياني باستخدام هامش الخطأ

تُعدّ أفضل طريقة لتمثيل مجموعة من البيانات التجريبية رسم المُخطّطات البيانية. إذا كانت البيانات تتضمّن هوامش للخطأ، فيجب تضمينها في هذه الرسومات البيانية. تُستخدَم **أعمدة الخطأ Error bars** لتمثيل هوامش الخطأ في الرسوم البيانية. يعرض **الشكل 1-16** البيانات من تجربة الكتلة والنابض حيث تسبِّب القوة الناتجة عن كتلة مُعلّقة استطالة للنابض. يبلغ هامش الخطأ في قياس القوة N ±0.2، أما هامش الخطأ في جهاز قياس الاستطالة الذي يستخدمه الطالب فيساوي cm ±0.2. يُوضِّح **الشكل 1-16 a** النقطة المرسومة (N (0.2 ± 5)، cm (2 ± 30)). تُمثّل المنطقة المُظلّلة الموضع الذي تقع فيه القيمة الحقيقية للنتيجة. يعرض **الشكل 1-16 b** **أفضل خط مَيل Best fit line** وهو يمر عبر مُعظم النقاط في الرسم البياني. والنتائج تقع على خطّ مستقيم.



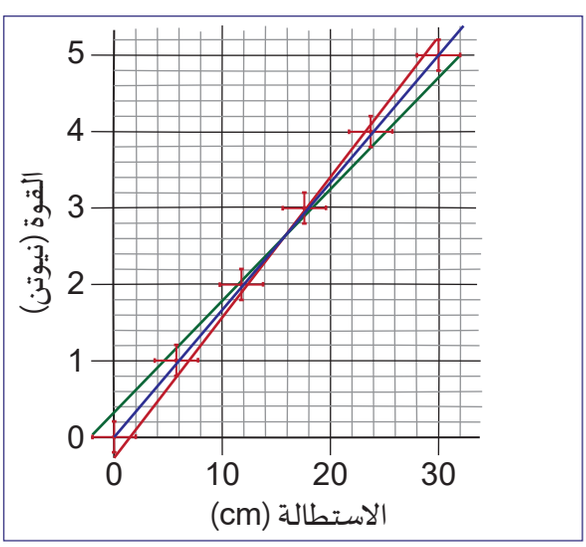
الشكل 1-16 (a) رسم نقطة مع أعمدة الخطأ؛ (b) نتائج تجربة تُوضّح أعمدة الخطأ.

رسم الخطوط بالحدّ الأقصى والحدّ الأدنى للمَيل

يُعتبر مَيل المُنحنى عاملاً مُهمًّا في التجربة، لذلك نحتاج إلى طريقة لتحديد هامش خطأ المَيل. تتمثّل أبسط طريقة في رسم خطَّين:

- خطّ مستقيم بحد أقصى من المَيل يمرّ في أعمدة الخطأ لجميع النقاط.
- خطّ مستقيم بِحَدْ أدنى من المَيل يمرّ في أعمدة الخطأ لجميع النقاط.

يُوضّح **الشكل 1-17** مثالاً على مستقيم بحدّ أقصى من المَيل (المستقيم الأحمر)، ومستقيم آخر بحدّ أدنى من المَيل (المستقيم الأخضر) للبيانات الواردة في **الشكل 1-16**. يبلغ هامش الخطأ في المَيل ± نصف الفرق بين المَيلَين.



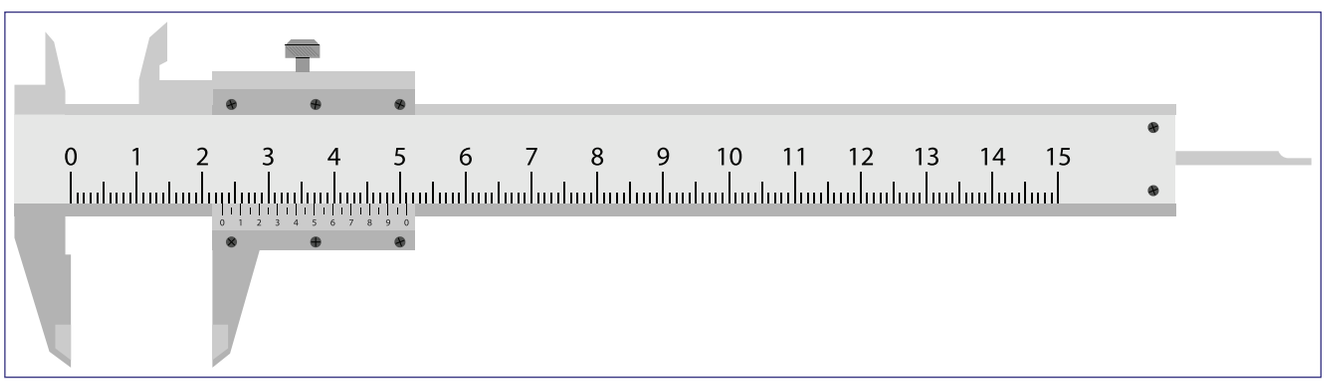
الشكل 1-17 إيجاد الحد الأقصى والحد الأدنى لمَيل المستقيم باستخدام أعمدة الخطأ.

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 والميكرومتر.

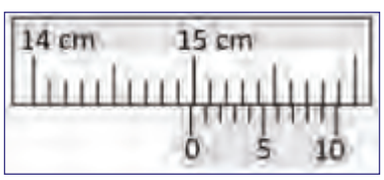
القدمةُ ذات الورنية Vernier caliper: أداة تستخدم لقياس الأبعاد الصغيرة، تحتوي على تدريجَين: أحدهما ثابت والثاني متحرّك. تبلغ المسافة بين علامتَين في التدريج الثابت 1 mm، بينما يزوّدنا التدريج المُتحرّك بأجزاء الملّيمتر، حيث تبلغ المسافة بين كل علامتَين 0.1 mm. لذلك يكون مقدار هامش الخطأ في قراءة القدمة ذات الورنيّة هو 0.1 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 1-18 أداة القدمة ذات الورنية.

مثال 15



يوضّح الشكل المجاور تدريج القدمة ذات الورنية، الذي تظهر عليه نتيجة قياس قطر أنبوب صغير. اقرأ القياس، ثم حدّد مجال القياسات التي يتضمّنها هامش الخطأ في القدمة ذات الورنية.

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

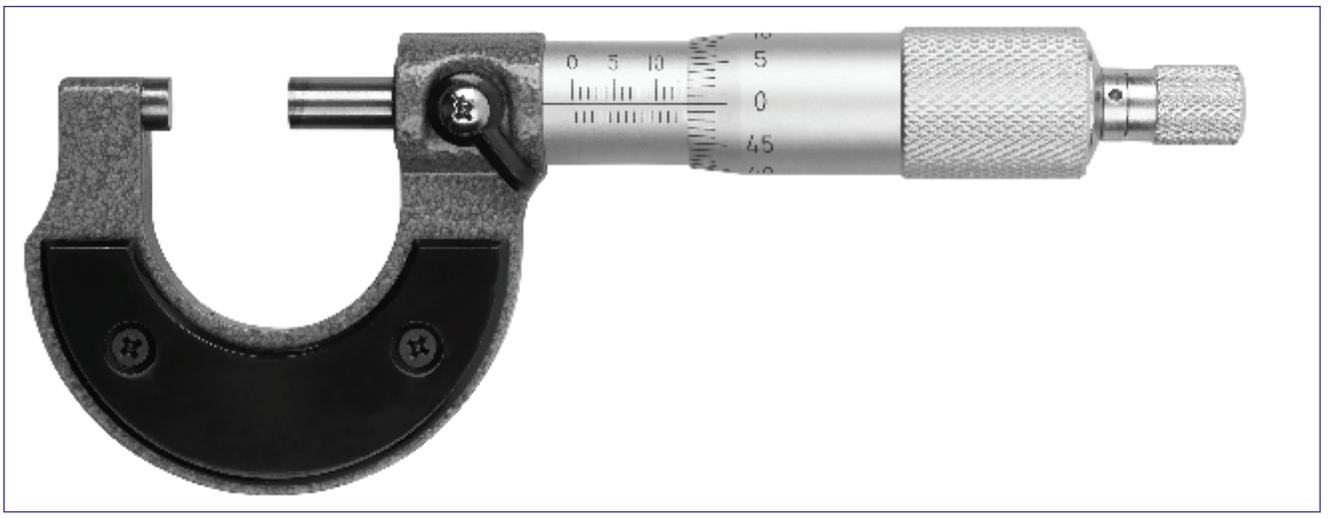
المُعطى: الشكل.

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 mm + 0.8 mm = 149.8 mm

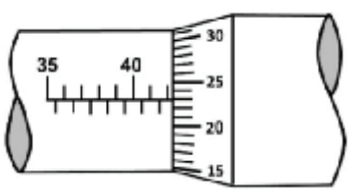
وبما أنّ أصغر تدريج في القدمة ذات الورنية هو 0.1 mm فإن هامش الخطأ فيها يساوي ± 0.05 mm، وبذلك يكون مدى المسافة الذي تعبّر عنه القراءة هو من 149.75 mm إلى 149.85 mm.

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 الميكرومتر 0.005 mm ±. تستخدم هذه الأداة لقياس الأطوال والأقطار الصغيرة جدًّا.



الشكل 1-19 أداة الميكروميتر.

مثال 16



يوضّح الشكل المجاور تدريج أداة الميكرومتر، الذي تظهر عليه نتيجة قياس سمْك قطعة من الفولاذ. اقرأ القياس، ثم حدّد مجال القياسات التي يتضمّنها هامش الخطأ في الميكرومتر.

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

المُعطى: الشكل.

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

$$42\ mm + 0.23\ mm = 42.23\ mm$$

وبما أنّ أصغر تدريج في الميكرومتر 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 أخذ القياسات

سؤال الاستقصاء	كيف يمكننا إدراج هامش الخطأ عند إجراء قياسات بسيطة؟
الموادّ 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 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 الميكرومتر. 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 زنبرك 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 وخطَّي الحدّ الأعلى والحدّ الأدنى للمَيل.

تقويم الدرس 2-1

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

2. ما الأداة المناسبة لقياس الأطوال الآتية:

a. سمْك كتاب.

b. سمْك ورقة.

c. كتلة خاتم من المجوهرات.

3. قام ثلاثة طلاب بقياس كتلة مُكعّب مصنوع من الرصاص كتلته الحقيقية 12 G، فحصلوا على النتائج 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.

الكتل المقاسة	
102 s	105 s
105 s	99 s
93 s	96 s

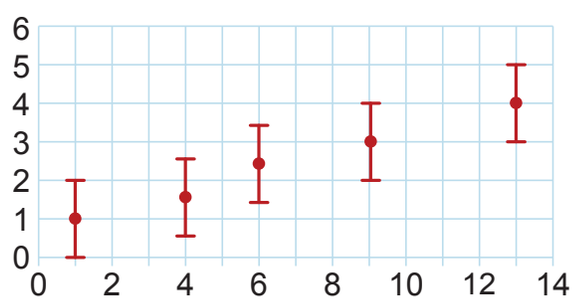
a. ما المتوسّط مقرّبًا إلى أقرب 0.1 s؟

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

6. تُجرى تجربتان لقياس كثافتَي مادّتَين غير معلومتَين. تمتلك المادة A كثافة $5.263 \pm 0.02\ g/cm^3$، وتمتلك المادة B كثافة $5.251 \pm 0.02\ g/cm^3$. هل تدعم القياسات النتيجة القائلة بأنّ المادتين مُختلفتان، أم تدعم النتيجة القائلة بأنّ المادّتَين من النوع نفسه؟ اشرح إجابتك.

7. ما الفرق بين الخطأ المُنتظم والخطأ العشوائي؟

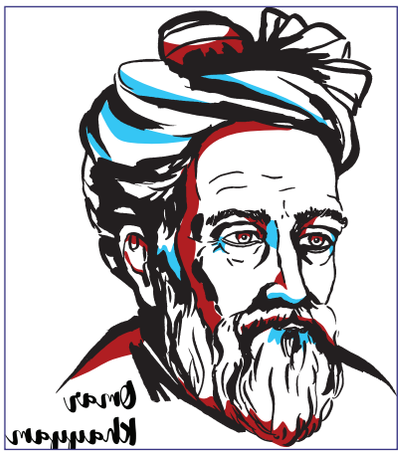
8. ما أقصى قيمة وأدنى قيمة لمَيل الخط في المُخطّط.



ضوء على العلماء

عمر الخيّام: 1048-1131

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.



الشكل 1-20 صورة مرسومة للعالِم عُمر الخيّام.

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 International System of Units (SI)** 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**.
- لا يُمكن رؤية الأجسام التي تنتمي إلى **المقياس المجهري (الميكروسكوبي) Microscopic** بالعين المُجرّدة، ويُمكن مُشاهدتها بوساطة المِجهر.
- **رتبة المقدار Order of Magnitude** للعدد 20000 هي 4، لأننا نستطيع التعبير عنه وفق الصيغة 10^4.
- **الصيغة العلميّة Scientafic notaion** للعدد 20000 هي 2×10^4.
- يُستخدم **الأُسّ Exponent** لتحويل أيّ عدد كبير أو صغير إلى الصيغة العلميّة. يدُلّ الأُسّ على الخانات العُشرية التي يجب تحريكها.

الدرس 1-2: القياسات

- تعدّ القياسات أو نتائج القياس **دقيقة Precise** إذا كانت مُتقاربة مع محاولات مُتكرّرة.
- **الضبط Accuracy** هو وصف لمدى قرب القيمة المقاسة من القيمة الفعليّة.
- يُساعد هامش **الخطأ المُطلق Absolute uncertainty** للقياس على تحديد الضبط في عمليّة القياس.
- يؤخذ بالحسبان هامش **الخطأ المئوي Percentage uncertainty** عند إجراء العمليات الحسابيّة.
- يُمكننا تمثيل هامش الخطأ في الرسومات البيانيّة باستخدام **أعمدة الخطأ Error bars**.
- يجب أن يمر **أفضل خط مَيل Best fit line** عبر أكبر عدد من نقاط الرسم في الرسم البياني.

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. كم تبلغ رتبة المقدار التقديريّة لـ 70 عامًا؟
   a. 1
   b. 10
   c. 100
   d. 1000

5. زمن الدورة القمريّة يُساوي 30 يومًا تقريبًا. يُصادف اليوم تاريخ الميلاد الثاني لجاسم. كم يبلغ عدد الدورات القمرية تقريبًا التي أكملها القمر في الفترة التي عاشها جاسم؟
   a. 60
   b. 24
   c. 15
   d. 182

6. أيٌّ الكميّات الآتية كمّية مُشتقّة؟
   a. الكتلة
   b. الكثافة
   c. شدّة التيار الكهربائي
   d. درجة الحرارة

7. إذا أردنا قياس سرعة كرة تتدحرج على سطحٍ مائل، فما مجموعة القياسات الأكثر دقّة إذا كانت سرعة الكرة 4 m/s؟
   a. 11 m/s ,13 m/s ,3.4 m/s ,2.0 m/s
   b. 3.10 m/s ,3.15 m/s ,2.92 m/s ,2.90 m/s
   c. 5.0 m/s ,5.5 m/s ,3.2 m/s ,3.0 m/s
   d. 4.10 m/s ,4.15 m/s ,4.00 m/s ,3.90 m/s

8. 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.

9. 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 تمثل أقصى انحراف عن المتوسّط؟
   a. $1.1\ m/s^2$
   b. $1.5\ m/s^2$
   c. $1.4\ m/s^2$
   d. $1.6\ m/s^2$

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

a. 0.5 g
b. 1.0 g
c. 5.0 g
d. 10.0 g

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

الدرس 1-1: النظام الدولي للوحدات (SI)

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

12. ضع الأشياء الآتية بترتيب تصاعُدي حسب حجمها:

a. كرة بيسبول
b. ذرّة ذهب
c. جُزيء الأمونيا
d. أبو ذنيبة
e. نجم يُشبه الشمس

13. ضع الفترات الزمنية الآتية ضمن ترتيب تصاعُدي حسب الفترة الزمنية لحدوثها.

a. نبضة القلب عند شخص بالغ.
b. رفرفة واحدة لجناح الطائر الطنّان في أثناء تحليقه.
c. دورة كاملة للأرض حول محورها.
d. دورة كاملة لكوكب عُطارد في مداره حول الشمس.
e. مُدّة الحصّة الصفّيّة الواحدة.

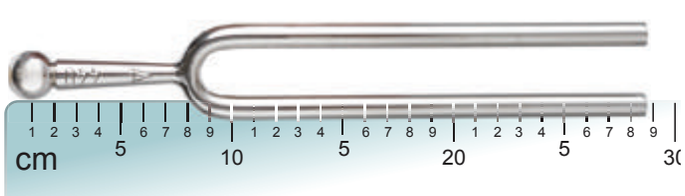
14. اكتب الرقم 0.00000000000345 وفق الصيغة العلميّة.

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

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

الدرس 1-2: القياسات

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



18. 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

19. صف على الأقل ثلاثة أسباب مُختلفة لهوامش الخطأ في بيانات مقاسة.

20. قمنا بقياس قوّتَين، فوجدنا أنّ مقدار كلّ منهما هو 110 ± 5 N و 50 ± 3 N. احسب مجموع هاتَين القوّتين، ثمّ اكتب هامش الخطأ لهذا المجموع في إجابتك.

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

22.* ارسم رسمًا بيانيًا للنتائج المعروضة في الجدول الآتي. أضف أعمدة الخطأ ثمّ ارسم خطَّي الحدّ الأدنى والأقصى للمَيل.

الموضع (m) $x \pm 0.3$	السرعة v (m/s)
0.0	4.0
5.0	3.0
10.0	2.0
15.0	1.0
20.0	0.0

23.* ينتج عن مضخّة وقود هامش خطأ نسبي أقصى 2 %. ما أدنى كمّية وأقصى كمّية من الوقود ستحصل عليها إذا كانت المضخّة تضخّ 60 لترًا؟

24.* 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 المقاسة
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. ما هامش الخطأ النسبي؟

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

d. هل يجتاز هذا الميزان الفحص إذا كان الحد الأقصى للخطأ النسبي المسموح به هو 2%؟

*25. يُعطي ميزان الحمّام قراءة كتلة شخص 70 kg. إذا كان المقياس يتضمّن هامش خطأ نسبي 3%، فما هامش الخطأ المُطلق لكتلة الشخص؟

*26. 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.

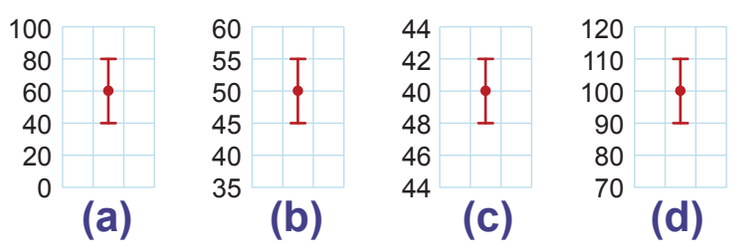
b. ما متوسّط القياسات العشرة؟

c. ما هامش الخطأ التقديري للمتوسِّط؟

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

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

28. أي من الآتي يُظهر بشكل صحيح أعمدة الخطأ ±5%؟



الشكروالتقدير

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, Iotan/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;