صورة الأرض التُقطت من على علو 36,000 km، وتم تحسينها باستخدام الحاسوب. وتظهر في الصورة الأمريكيتان الشمالية والجنوبية بوضوح، كما تظهر السماء من على هذا العلو سوداء اللون (أما لماذا نرى السماء زرقاء من سطح الأرض، فقد نوقش ذلك في الفصل 24). سوف نبدأ هذا الفصل بتعلم بعض الأساسيات عن العلم ونظرياته والقياس ووحداته.
وسنتعلم أيضًا كيفية إجراء التقدير بسرعة.

الفصل 1

مقدمة، القياس والتقدير

تُعدّ الفيزياء العلم الأساسي بين العلوم جميعها، وهو علم يتناول سلوك المادة وتركيبها. ويقسم مجال الفيزياء عادة إلى **الفيزياء الكلاسيكية** التي تتضمن الحركة، والسوائل، والحرارة، والصوت، والضوء، والكهرباء، والمغناطيسية، أما القسم الآخر فهو **الفيزياء الحديثة**، وتتضمن موضوعات النسبية، والتركيب الذري، والمادة المكثفة، والفيزياء النووية والجسيمات الأولية، والكونيات وفيزياء الفلك. وقبل البدء بدراسة الفيزياء نفسها، دعنا ننظر بإيجاز كيف أن هذا النشاط الشامل الذي يسمى (علمًا) ومن ضمنه الفيزياء يمارس في الحقيقية.

1-1 طبيعة العلم

إن الهدف الرئيس للعلوم جميعها بما فيها الفيزياء هو البحث عن ترتيب ما لمشاهداتنا للعالم من حولنا. يعتقد كثير من الناس أن العلم عملية ميكانيكية لجمع الحقائق وابتكار النظريات، ولكنه في الحقيقة ليس بهذه السهولة؛ فالعلم عمل مبدع يشبه من نواح عديدة الأعمال الإبداعية للعقل البشري.

الشكل 1-1 يقف أرسطو، الشخصية الرئيسة (يرتدي الملابس الزرقاء) في هذه الصورة عند أعلى الدرج (والشخص الذي بجانبه أفلاطون). رسم هذه الصورة رفائيل سنة 1510 تقريبًا، وهي تمثل عصر النهضة المشهور لمدرسة أثينا. ويظهر في هذه الصورة التي تُعدّ إحدى التحف الفنية إقليدس (يرسم دائرة عند أسفل يمين الصورة) وبطليموس (أقصى يمين الصورة) وكذلك فيثاغورس وسقراط وديوجينس.

المشاهدة والتجربة

من أهم ميزات العلم **مشاهدة** الأحداث وملاحظتها، ويتضمن ذلك تصميم التجارب وإجراءها. وتتطلب المشاهدة خيالًا واسعًا؛ حيث لا يمكن للعلماء أبداً تضمين كل شيء في وصف مشاهداتهم. ولذلك يجب على العلماء وضع أحكام حول طبيعة الأشياء التي لها علاقة بمشاهداتهم وتجاربهم. فعلى سبيل المثال، كيف استطاع عالمان عظيمان مثل أرسطو (384-322 قبل الميلاد – الشكل1-1) وغاليليو (1564-1642 الشكل 2-17) تفسير الحركة على سطح أفقي. لقد لاحظ أرسطو أن الأجسام التي على سطح الأرض (أو على سطح طاولة)، تتأثر بداية بقوة دفع، ومن ثَمَّ تتباطأ دائمًا، وأخيرًا تقف. وهكذا استنتج أرسطو أن الحالة الطبيعية للأجسام هي السكون. أعاد غاليليو دراسة الحركة الأفقية في بداية العام 1600s، وتخيل أنه إذا أهمل الاحتكاك بين الجسم الذي تؤثر فيه القوة والسطح الأفقي الذي يتحرك عليه الجسم فإن الجسم يستمر في حركته على نحو غير محدد من غير أن يتوقف. واستنتج من ثَمَّ أن الحالة الحركية للجسم هي حالة طبيعية مثل تلك التي يمتلكها في حالة السكون. وبهذا التصور، أوجد غاليليو مفهومنا الحديث للحركة (الفصول 4,3,2) بالرغم من أن غاليليو توصل إليه نظريًا من غير أن يتخلص من الاحتكاك في أثناء التجربة.

الحركة أمر طبيعي مثل السكون

النظريات

إن المشاهدة، والتجريب الدقيق، والقياس هي جانب من العملية العلمية، أما الجانب الآخر فهو الاختراع أو إيجاد **النظريات** التي تفسر المشاهدات وترتبها. فلا يمكن أن تُشتق النظريات مباشرة من المشاهدات، ولكن المشاهدات قد توحي بنظرية. ويتم قبول النظريات أو رفضها على أساس التجربة والمشاهدة.

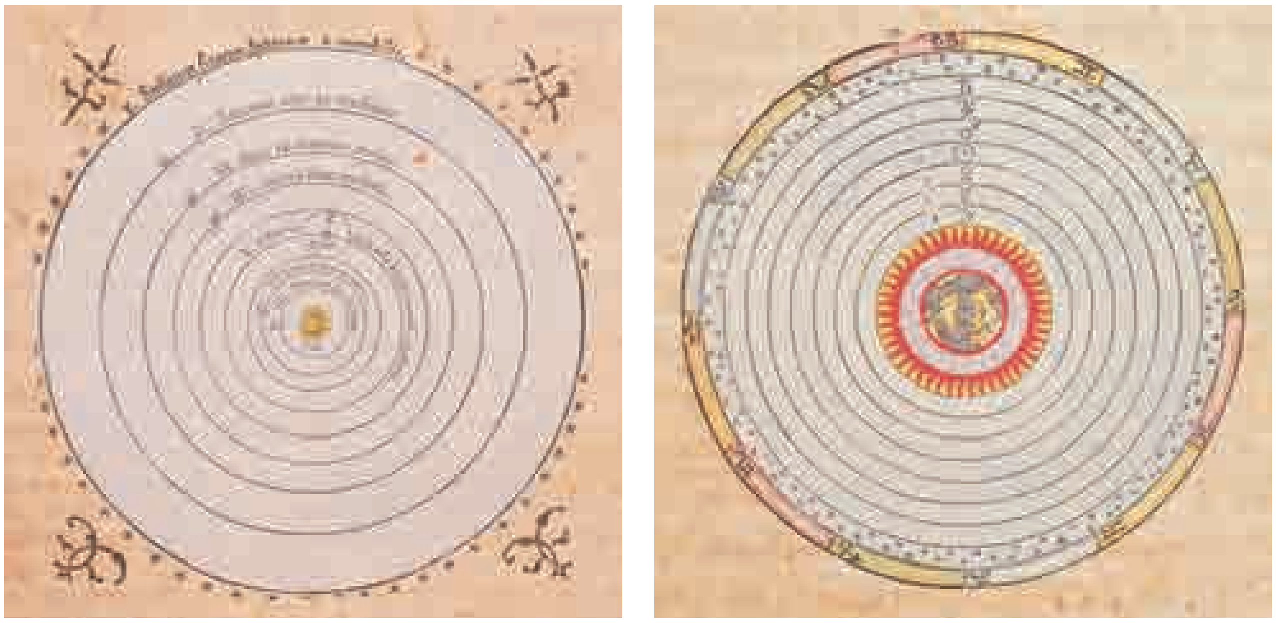
وتعد النظرية إلهامًا من العقل البشري، فعلى سبيل المثال، إن الفكرة التي تقول بأن المادة مكونة من ذرات (النظرية الذرية) لم يتم التوصل إليها من خلال المشاهدة المباشرة للذرات- فلا يمكن رؤية الذرات مباشرة، ولكنها نبعت من عقول مبدعة. وكذلك الحال، فإن نظرية النسبية والنظرية الكهرومغناطيسية للضوء وقانون نيوتن في الجذب العام كلها نتائج للخيال البشري.

يمكننا مقارنة نظريات العلم الرائعة كإنجازات إبداعية بالأعمال المهمة في الفن والأدب. ولكن كيف يختلف العلم عن الأعمال الإبداعية الأخرى؟ إن أحد أهم هذه الاختلافات هو أن العلم يشترط اختبار الأفكار والنظريات بالتجربة للتأكد من تنبؤاتها. ولكن النظريات لا تثبت بالاختبار، والسبب في ذلك عدم وجود جهاز قياس مثالي؛ أي أنه لا يمكن التأكد من صحة النظرية بالضبط. وعلاوة على ذلك لا يمكن اختبار النظرية لكل مجموعة من الظروف المحتملة. وعليه، فإنه لا يمكن إثبات أي نظرية على نحو مطلق. وفي الحقيقة فإن تاريخ العلم يخبرنا بأن هناك نظريات دامت أزمنة طويلة ثم حلت مكانها نظريات أخرى جديدة.

اختبار النظرية

قبول النظرية

يقبل العلماء النظرية الجديدة في بعض الحالات؛ لأن تنبؤاتها تتفق كمّيًا مع التجربة على نحو أفضل من تلك التي للنظرية القديمة.



(ب) (أ)

الشكل 1-2 (أ) يمثّل وجهة نظر بطليموس التي تقول إن الأرض مركز الكون. لاحظ وجود العناصر الأربعة للقدماء في المركز، وهي: الأرض، والماء، والهواء (الغيوم حول الأرض) والنار. تمثل الدوائر مع الرموز القمر وعطارد، والزهرة، والشمس، والمريخ، والمشتري، وزحل، ثم النجوم الثابتة وعلامات للبروج. (ب) تمثيل وجهة نظر كوبرنيكوس للكون؛ حيث تبدو الشمس مركزًا له (انظر الفصل 5).

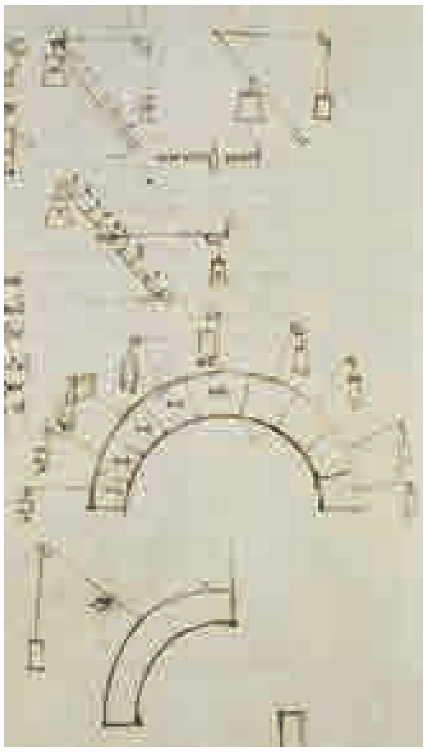
وتقبل النظرية الجديدة في حالات عديدة إذا قدمت تفسيرًا لعدد كبير من الظواهر أكثر مما قدمته النظرية القديمة؛ فعلى سبيل المثال، لم تكن نظرية كوبرنيكوس التي تعد الشمس مركز الكون (الشكل 1-2 ب) أكثر دقة من نظرية بطليموس التي ترى أن الأرض مركز الكون (الشكل 1-2 أ) من حيث التنبؤ بحركة الأجرام السماوية (الشمس، القمر، الكواكب). وقد كان لنظرية كوبرنيكوس نتائج لم تكن لنظرية بطليموس، مثل التنبؤ بمراحل ظهور كوكب الزهرة التي تشبه تلك التي للقمر. إن النظرية البسيطة والقيمة التي توحد العديد من الظواهر المتنوعة وتفسرها تكون أكثر فائدة بالنسبة للعالم. وهذه الميزة بالإضافة إلى الاتفاق الكمّي لها أثر كبير في قبول النظرية.

إن الميزة المهمة لأي نظرية هي كيف يمكن أن تتنبأ بالظواهر كميًّا وبفاعلية. ومن وجهة النظر هذه، فإن النظرية الجديدة تبدو في أغلب الأحيان تطويرًا بسيطًا للنظرية القديمة. وعلى سبيل المثال، تقدم نظرية آينشتاين النسبية تنبؤات تختلف قليلًا عن النظريات القديمة لغاليليو ونيوتن وخصوصًا في مواقف الحياة اليومية. ولكن تنبؤاتها أفضل في حالة السرعات العالية التي تقترب من سرعة الضوء. وليس التنبؤ الكمّي فقط هو النتيجة المهمة للنظرية، وإنما تغيُّر نظرتنا إلى العالم الذي يحيط بنا أيضًا؛ فقد تغيرت مفاهيمنا تمامًا عن الفضاء والزمن نتيجة لنظرية النسبية، فأصبحنا نرى الكتلة والطاقة كيانًا واحدًا (من خلال المعادلة المشهورة $E = mc^2$).

2-1 الفيزياء وعلاقتها مع المجالات الأخرى

لقد كان العلم لوقت طويل وحدة متكاملة تقريبًا ويعرف بالفلسفة الطبيعية. ولكن قبل قرن أو اثنين أصبحت الفروق بين الفيزياء والكيمياء وحتى علوم الحياة واضحة. وأما الفرق الواضح الذي نراه اليوم بين الفنون والعلوم فهو الفرق نفسه الذي كان سائدًا بينهما إلى قرون عدة خلت. ولا عجب في ذلك، إذ إن تطور الفيزياء أثّر في المجالات الأخرى وتأثر بها. لقد وجد على سبيل المثال أن دفاتر ملاحظات (الشكل 1-3) ليوناردو دفنشي - وهو باحث ومهندس، وأعظم فنان في عصر النهضة - تحتوي على أول مراجع للقوى التي تؤثر في البناء؛ على الرغم من رؤيتنا بأن هذا الموضوع يقع حاليًّا ضمن الفيزياء بالإضافة إلى علاقته بالعمارة وفن البناء.

الشكل 1-3 دراسات على القوى في الإنشاءات قام بها ليوناردو دفنشي (1452-1519).



(ب) (أ)

الشكل 1-4 (أ) بنيت هذه القناة الرومانية قبل 2000 سنة، وما زالت باقية مكانها. (ب) انهيار مركز هارتفورد المدني في عام 1978 بعد سنتين فقط على بنائه.

إن البداية المبكرة للبحث في الكهرباء - التي أدت إلى اكتشاف البطارية الكهربائية والتيار الكهربائي - بدأ بها عالم بوظائف أعضاء الجسم يُدعى لويجي جلفاني في القرن الثامن عشر. لاحظ جلفاني ارتعاش أرجل الضفادع استجابة لشرارة كهربائية تعرضت لها، ثم لاحظ أن العضلات تنقبض عندما تلامس معدنين مختلفين (الفصل 18). وقد سميت هذه الظاهرة في البداية *(كهرباء الحيوان)*، وبعد ذلك بقليل، أصبح واضحاً أن التيار الكهربائي يمكن أن ينشأ بغياب الحيوان.

تنطبق الفيزياء على الكثير من المجالات

تستخدم الفيزياء في العديد من المجالات؛ فعلى سبيل المثال، قد يجد عالم الحيوان أن الفيزياء مفيدة في فهم كيف تتمكن بعض أنواع الكلاب والحيوانات الأخرى من العيش تحت الأرض من غير أن تختنق. كما أن المعالج الطبيعي يؤدي عمله بفاعلية أكبر إذا كان على اطلاع بمبادئ تأثير القوى داخل الجسم البشري ومركز ثقله. كما أن معرفة مبادئ تشغيل المعدات البصرية والإلكترونية مفيدة للغاية في مجالات عديدة. ويهتم علماء الحياة ومصممو العمارة على حد سواء بطبيعة الحرارة التي تفقدها الكائنات الحية أو تكسبها، حيث تنعكس سلبًا أو إيجابًا على راحتها. ربما ليس من الضروري أن يقوم مصمم بناء ما بحساب أبعاد الأنابيب المستخدمة في نظام التدفئة أو حتى حساب القوى التي يشتمل عليها البناء، ومعرفة مدى تحمّله ليبقى قائمًا (الشكل 1-4)، ولكن عليه أن يعرف المبادئ الأساسية لهذه التحليلات حتى يتمكن من عمل تصميم واقعي كي يتواصل على نحو فاعل مع المهندس الاستشاري والاختصاصيين الآخرين. ومن وجهة نظر نفسية أو جمالية أيضًا، فإن مصمم البناء يجب أن يكون مدركًا للقوى التي يشتمل عليها البناء؛ لأن عدم استقراره قد يسبب الإزعاج لأولئك الذين يجب أن يعيشوا أو يعملوا فيه. كما وترتبط الفيزياء على نحو واسع مع مجالات أخرى. وفي الفصول القادمة سنناقش العديد من مثل هذه التطبيقات في أثناء قيامنا بالهدف الرئيس، وهو شرح الفيزياء الأساسية.

3-1 النماذج والنظريات والقوانين

النماذج

عندما يحاول العلماء فهم مجموعة معينة من الظواهر، فإنهم يستعملون **نموذجًا** ما. ومن الناحية العلمية يمثل النموذج تناظراً أو تخيلاً عقلياً للظواهر بدلالة شيء آخر مألوف لدينا. ومن الأمثلة على ذلك النموذج الموجي للضوء، فلا يمكن أن نرى أمواج الضوء كما نرى أمواج الماء؛ ومن ثَمَّ فإنه من الضروري اعتبار الضوء مكوّناً من أمواج؛ لأن التجارب تدل على أن الضوء يسلك في جوانب عديدة سلوك أمواج الماء.

إن الغاية من النموذج هي تزويدنا بصورة بصرية أو عقلية تقريبية- شيء نعتمد عليه- عندما لا نستطيع فهم أو رؤية حقيقة ما يحدث. وفي أغلب الأحيان تمكننا النماذج من فهم الظواهر بعمق: فقد يؤدي التناظر مع نظام مألوف (على سبيل المثال موجات الماء في المثال السابق) إلى إجراء تجارب جديدة، وقد يزودنا أيضًا ببعض الأفكار حول ظواهر أخرى ذات علاقة من الممكن أن تحدث.

النظريات (مقابل النماذج)

وفي الحقيقة، هناك اختلاف بين **النظرية** والنموذج: فالنموذج يكون عادة بسيطًا نسبيًّا، ويعطي تركيبًا مشابهًا للظواهر التي ندرسها. أما **النظرية** فهي أكثر شمولاً وتفصيلاً من النموذج، وتعطي تنبؤات كمية ذات دقة عالية وقابلة للاختبار أيضًا. وعلى أي حال، يجب عدم الخلط بين النموذج أو النظرية والنظام الحقيقي أو الظواهر نفسها.

القوانين

والمبادئ

يقدم العلماء **القانون** على نحو مختصر ومفيد، ولكن بعبارات عامة، عن كيفية سلوك الظواهر الطبيعية (على سبيل المثال قانون حفظ الطاقة). وأحيانًا يتم عرض العبارة من خلال معادلة أو علاقة رياضية تربط بين كميات (مثل قانون نيوتن الثاني $F = ma$). وحتى تسمى العبارة قانوناً، يجب أن يتم إثباتها تجريبيًا، وعلى مجال واسع من الظواهر التي نشاهدها. أما العبارات غير العامة، فيستخدم مصطلح قاعدة لوصفها (مثل قاعدة أرخميدس). تختلف القوانين العلمية التي تتصف بالطابع الوصفي عن القوانين السياسية التي تتسم بالطابع التصويري. فالقوانين السياسية تبيّن كيف يجب أن يكون سلوكنا، في حين أن القوانين العلمية تصف لنا سلوك الطبيعية كما هو. وليس كيف **يجب أن** يكون. وكما هو الحال بالنسبة للنظريات، لا يمكن اختبار القوانين لعدد غير محدد من الحالات المتنوعة والمحتملة؛ ولذلك لا يمكن التأكد من صحة أي قانون على نحو مطلق. ونستخدم مصطلح (قانون) عندما تختبر صحته على مجال واسع من الحالات، وكذلك عندما يتم فهم الحالات الاستثنائية وحدود تطبيقه على نحو واضح. ويفترض العلماء عادة صحة القوانين والنظريات كأساس لعملهم على أن يكونوا يقظين في حال اكتشاف معلومات جديدة قد تغير صحة أي قانون أو نظرية.

4-1 القياس وعدم اليقين (مبدأ الريبة) والأرقام المعنوية

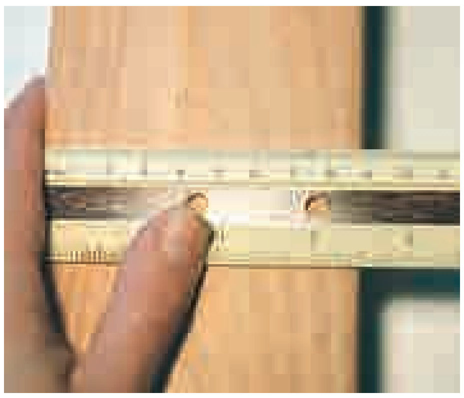
يبذل العلماء قصارى جهودهم لفهم العالم الذي يحيط بنا من خلال إيجاد علاقات رياضية تربط بين كميات فيزيائية يمكن قياسها.

عدم اليقين (مبدأ الريبة)

هناك عدم يقين في كل قياس.

تمثل الأقيسة الصحيحة والدقيقة جزءاً مهماً من الفيزياء. ولعدم وجود قياس دقيق ومطلق، فهناك عدم يقين في كل قياس. ومن بين أهم مصادر عدم الدقة، عدا عن الأخطاء الشخصية، محدودية الدقة في أجهزة القياس وعدم القدرة على قراءتها بعد جزء ما من أصغر تدريج عليه. فإذا استخدمنا على سبيل المثال مسطرة مدرجة بالسنتيمترات لقياس عرض لوح خشبي (الشكل 1-5) فيمكننا القول بأن قراءتنا دقيقة لغاية 0.1 cm (1 mm) وهو أصغر تدريج على المسطرة، بالرغم من أن نصف هذه القيمة قد يكون صحيحاً. وسبب ذلك هو أننا لا نستطيع تقدير قراءة المسطرة بين أصغر تدريجات عليها، إضافة إلى أن صناعة المسطرة نفسها قد لا تكون دقيقة*.

الشكل 1-5 قياس عرض لوح خشبي باستخدام مسطرة مدرجة بالسنتيمترات. الدقة في القياس 1 mm ± .



* هناك فرق تقني بين دقة القياس وصحة القياس؛ حيث يشير المعنى الحرفي للدقة إلى إمكانية تكرار القياس باستعمال جهاز معين. فعلى سبيل المثال، إذا قست عرض لوح خشبي عدة مرات وحصلت على نتائج مثل 8.82 cm، 8.78 cm، 8.85 cm، 8.81 cm، (محاولاً في كل مرة تقدير أفضل قراءة بين العلامات التي تدل على 0.1 cm) في هذه الحالة يمكنك القول بأن الأقيسة تعطي دقة أفضل بقليل من 0.1 cm. أما صحة القياس فتدل على مدى قرب القيمة المقيسة من القيمة الحقيقة. وإذا صنعت المسطرة الموضحة في (الشكل1-5) بنسبة خطأ 2% فإن صحة قياسها لعرض اللوح الخشبي (حوالي 8.8 cm) تكون حوالي 2% من 8.8 cm، أو 0.2 cm ± تقريبًا. ويأخذ تقدير عدم التحديد بالحسبان كلاً من دقة القياس وصحته.

بيان عدم اليقين

عند عرض نتيجة قياس ما، فإنه من الضروري **بيان عدم اليقين في القياس**. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تكتب نتيجة قياس عرض اللوح الخشبي كما يأتي: 8.8 ± 0.1 cm ؛ حيث يمثل عدم اليقين في القياس بـ ± 0.1 cm (ويقرأ زائد أو ناقص 0.1 cm). ومن ثَمَّ فإن القيمة الحقيقية لعرض اللوح تقع على الأرجح بين8.7 و 8.9 cm أما **النسبة المئوية لعدم اليقين** فتمثل النسبة بين عدم اليقين إلى القيمة المقيسة مضروبة في 100%. فإذا كان القياس 8.8 وعدم التحديد 0.1 cm فإن النسبة المئوية في عدم اليقين تساوي:

$$\frac{0.1}{8.8} \times 100\% \approx 1\%$$

حيث يعني الرمز ≈ يساوي تقريبًا.

افتراض عدم اليقين

وغالبًا ما تكتب القيمة المقيسة من غير الإشارة إلى عدم اليقين على نحو واضح. وفي مثل هذه الحالات نفترض أن عدم اليقين يمثل وحدة أو وحدات قليلة من آخر منزلة في القيمة المقيسة. وعليه، فإذا كانت القيمة المقيسة لعرض اللوح 8.8 cm فإن عدم اليقين يفترض أن يكون 0.1 cm أو 0.2 cm. إن من المهم في مثل هذه الحالة عدم كتابة القراءة 8.80 cm؛ لأن ذلك يتضمن أن عدم اليقين في حدود 0.01 cm ، وهذا يعني أنه من المحتمل أن يكون عرض اللوح بين8.79 cm. و 8.81 cm ولكنه في الحقيقة يقع بين 8.7 cm و8.9 cm.

المثال المفاهيمي 1-1 **هل الماسة لك؟** طلبت إليك إحدى زميلاتك استعارة ماستك الثمينة كي تريها لعائلتها. وبما أنك قلقة على الماسة، فقد قمت بوزنها باستعمال ميزان، فكانت قراءته 8.17 g، وعدم اليقين في قراءته ±0.05 g. وبعد أن أعادتها زميلتك في اليوم التالي، قمت بوزنها فكانت قراءة الميزان 8.09 g. فهل هذه هي ماستك؟

الإجابة: إن قراءات الميزان قياسات ليس من الضروري أن تعطي القيمة (الصحيحة) للكتلة: فكل قياس يمكن أن يكون أكثر أو أقل حتى 0.05 g أو ما يقاربها. إن الكتلة الحقيقة لماستك تقع على الأرجح بين 8.12 g و 8.22 g. والكتلة الحقيقة للماسة بعد أن أعادتها زميلتك تقع على الأرجح بين 8.04 g و 8.04 g. وهذه القيم تتداخل مع بعضها، لذلك ليس هناك سبب قوي للشك في أن الماسة التي أعيدت هي ليست ماستك على الأقل كما تظهرها قراءات الميزان.

الأرقام المعنوية

ما الارقام المعنوية؟

يسمى عدد الأرقام الموثوق بها في عدد ما بعدد **الأرقام المعنوية**: وعليه فهناك أربعة أرقام معنوية في العدد 23.21 cm أما عدد الأرقام المعنوية في العدد 0.062 cm فهو اثنان فقط (الأصفار التي في العدد الأخير هي مجرد حاملة مكان تبين أين يجب أن توضع الفاصلة العشرية). وقد لا يكون دائمًا عدد الأرقام المعنوية واضحاً. فإذا أخذنا على سبيل المثال العدد 80، فهل هناك رقم معنوي واحد أو رقمان؟ فإذا قلنا إن المسافة بين مدينتين **حوالي** 80 km ، فإن هناك رقماً معنوياً واحداً (وهو 8) لأن الصفر مجرد حامل مكان. أما إذا كانت المسافة 80 km **بالضبط** وبدقة من 1 إلى 2 km، فإن العدد 80 يحتوي على رقمين معنويين*. في حين إذا كانت المسافة 80 km بالضبط وعدم التحديد $\pm$ 0.1 km فإنها تكتب 80.0 km.

عند إجراء القياسات أو عمل الحسابات تجنب وضع أرقام كثيرة في الحل النهائي أكثر مما ينبغي. فعلى سبيل المثال، لحساب مساحة مستطيل أبعاده 11.3 cm في 6.8 cm فإن نتيجة الضرب 76.84 cm^2. ومن الواضح أن هذا الحل ليس دقيقًا لغاية 0.01 cm^2 لأنها من الممكن أن تكون (استعمل عدم اليقين المفترض لكل قياس) بين $11.2\ cm \times 6.7\ cm = 75.04\ cm^2$ و $11.4\ cm \times 6.9\ cm = 78.66\ cm^2$. وفي أحسن الأحوال يمكننا كتابة الحل 77cm^2 الذي يتضمن عدم تحديد يتراوح بين 1 و 2 cm^2. ومن ثَمَّ يجب إهمال الرقمين الآخرين (في العدد 76.84 cm^2) لأنهما ليسا رقمين معنويين. وكقاعدة عامة تقريبية (تؤخذ بالحسبان في حال عدم وجود تفاصيل عن عدم اليقين) يمكننا القول: «إن عدد الأرقام المعنوية في النتيجة النهائية لعملية الضرب أو القسمة يجب أن يساوي عددها في أقل الأعداد (المستعملة في العملية) أرقامًا معنوية» وفي مثالنا السابق نجد أن العدد 6.8 cm له أقل عدد من الأرقام المعنوية (اثنان فقط)؛ لذلك فإن النتيجة النهائية 76.84 cm^2 يجب أن تقرب إلى 77 cm^2.

حل المسألة

يجب أن يكون عدد الأرقام المعنوية في النتيجة النهائية مساويًا لأقل عدد أرقام معنوية في القيم المدخلة.

* إذا كان للعدد 80 رقمان معنويان، فإن بعضهم يفضل كتابته بوجود فاصلة عشرية؛ أي .80، ولكننا لا نقوم بذلك عادة، وعليه فإن عدد الأرقام المعنوية في العدد 80 يبقى غامضاً إلا إذا ذُكر شيء متعلق به، مثل كلمة حوالي (يعني 10 ± 80) أو قريباً جداً، أو بالضبط (يعني 1 ± 80).

التمرين أ: مستطيل أبعاده 4.5 cm في 3.25 cm، فإن مساحته بالشكل الصحيح تساوي:
(أ) $14.625\ cm^2$ (ب) $14.63\ cm^2$ (ج) $14.6\ cm^2$ (د) $15\ cm^2$

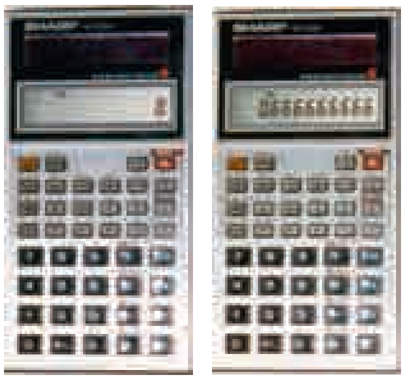
عند جمع الأعداد أو طرحها يجب ألا تكون النتيجة النهائية أكثر دقة من العدد الأقل دقة. على سبيل المثال: إن نتيجة طرح 0.57 من 3.6 هي 3.0 (وليس 3.03). عند استعمال آلة حاسبة، تذكر أن الأرقام التي تحصل عليها قد لا تكون كلها معنوية. فعند قسمة 2.0 على 3.0 يكون الحل المناسب 0.67 وليس 0.666666666. وهكذا فإن الأرقام الواردة في نتيجة ما يجب أن تكون كلها أرقامًا معنوية. و على أي حال. للحصول على أدق نتيجة يجب أن تضيف رقمًا معنويًا أو أكثر في أثناء إجراء الحسابات. ثم تقوم بتقريب النتيجة النهائية. *(عند استعمال آلة حاسبة يمكنك إبقاء كل الأرقام ضمن النتائج المتوسطة).* لاحظ كذلك أن الآلة الحاسبة تعطي أحيانًا أرقاماً معنوية أقل مما يجب. فعلى سبيل المثال، عند إجراء عملية الضرب 3.2×2.5 فإن الحل الذي قد تعطيه الآلة الحاسبة هو 8. ولكن الحل الصحيح يجب أن يشتمل على رقمين معنويين؛ لذلك فإن الحل المناسب هو 8.0 (الشكل 1-6).

التمرين (ب): هل للعددين 0.00324 و 0.00056 العدد نفسه من الأرقام المعنوية؟ توخَّ الحذر حتى لا تخلط بين الأرقام المعنوية وعدد المنازل العشرية.

التمرين (جـ): بين عدد الأرقام المعنوية وعدد المنازل العشرية لكل عدد من الأعداد الآتية
(أ) 1.23 (ب) 0.123 (جـ) 0.0123

تنويه !
تخطئ الآلات الحاسبة في الأرقام المعنوية.

حل المسألة
سجل العدد المناسب من الأرقام المعنوية فقط في النتيجة النهائية. أضف أرقاماً عشرية في أثناء عملية الحساب.


(أ) (ب)

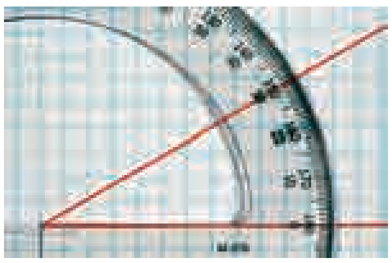
الشكل 1-6 هاتان الحاسبتان تبينان عدداً غير صحيح للأرقام المعنوية. في (أ) 2.0 قسم على 3.0. النتيجة النهائية الصحيحة يجب أن تكون 0.67. في (ب) ضرب العدد 2.5 في 3.2. النتيجة الصحيحة 8.0.

المثال المفاهيمي 1-2 **الأرقام المعنوية** استخدمت منقلة لقياس زاوية ما فكانت 30^o (الشكل 1-7) . (أ) ما عدد الأرقام المعنوية الذي تدونه لهذا القياس؟
(ب) استخدم آلة حاسبة لإيجاد جيب تمام الزاوية التي قمت بقياسها.

الحل (أ) إذا نظرت إلى المنقلة، فسترى أن الدقة في قياسك لزاوية ما حوالي درجة واحدة (بالتأكيد ليس 0.1^o)، لذلك يمكنك أن تدوّن رقمين معنويين؛ أي 30^o (وليس 30.0^o). (ب) إذا أدخلت $\cos 30^o$ إلى آلة حاسبة فستحصل على رقم مثل 0.866025403. على أي حال، بما أن الزاوية التي أدخلتها مكونة من رقمين معنويين فإن جيب تمام هذه الزوية يكتب بالشكل الصحيح 0.87؛ أي يجب أن تقرب إجابتك إلى رقمين معنويين.

ملحوظة: سنناقش في (الفصل 3) الدوال المثلثية، مثل جيب التمام.

الشكل 1-7 المثال 1-2 استعمال منقلة لقياس زاوية ما.



التدوين العلمي

تكتب الأعداد عمومًا بدلالة القوى للعدد عشرة أو بالتدوين العلمي، فعلى سبيل المثال يكتب العدد 36,900 هكذا 3.69×10^4 والعدد 0.0021 هكذا 2.1×10^{-3}. ومن فوائد التدوين العلمي (تمت مناقشته في الملحق أ) أنه يسمح لعدد الأرقام المعنوية أن يظهر على نحو واضح. ليس واضحًا فيما إذا كان العدد 36,900 يشتمل على ثلاثة أو أربعة أو خمسة أرقام معنوية. ويمكن تجنب مثل هذا الغموض باستخدام التدوين لقوى العدد عشرة: إذا كان العدد معروفاً بدقة ثلاثة أرقام معنوية فيُكتب 3.69×10^4، ولكن إذا كان معروفاً بدقة أربعة أرقام فيُكتب 3.690×10^4.

* الخطأ المئوي

إن قاعدة الأرقام المعنوية هي للتقريب فقط، وفي بعض الحالات قد تقلل من تقدير دقة الحل. لقسمة 97 على 92، نجد أن:

$$\frac{97}{92} = 1.05 \approx 1.1.$$

إن كل عدد من العددين 97 و 92 له رقمان معنويان؛ ولذلك فإن القاعدة تعطي الحل 1.1. وبالرغم من ذلك فإن كل عدد من العددين 97 و 92 يتضمن على عدم يقين ± 1 إذا لم يذكر عدم اليقين آخر. ومن ثَمَّ فإن 92 ± 1 و 97 ± 1 يتضمن كل منهما دقة حول 1% $(1/92 \approx 0.01 = 1\%)$. لكن النتيجة النهائية لرقمين معنويين هي 1.1 وتتضمن عدم يقين ± 0.1، وهو ما يمثل $0.1/1.1 \approx 0.1 \approx 10\%$. وفي مثل هذه الحالة من الأفضل إعطاء الحل كما هو ودون تقريب؛ أي: 1.05 (الذي يحتوي على ثلاثة أرقام معنوية). لماذا؟ لأن 1.05 يتضمن عدم تحديد ± 0.01 وهو ما يمثل $0.01/1.05 \approx 0.01 \approx 1\%$ أي عدم اليقين نفسه الذي للأعداد الأصلية 92 و 97.

اقتراح : استخدم قاعدة الأرقام المعنوية، وخذ بالحسبان النسبة المئوية في عدم اليقين، ثُمَّ أضف رقماً عشرياً إضافياً إذا كان ذلك يقدم تقديراً أكثر واقعية لعدم اليقين هذا.

5-1 الوحدات والمعايير والنظام الدولي للوحدات

تقاس أي كمية بالنسبة إلى معيار أو **وحدة معينة**، ويجب تحديد هذه الوحدة بجانب القيمة العددية للكمية المقيسة؛ فعلى سبيل المثال: يمكننا قياس الطول بوحدات مثل البوصات، أو الأقدام، أو الأميال، أو في النظام المتري بالسنتيمترات أو الأمتار، أو الكيلومترات. إن تحديد طول جسم معين بالعدد 18.6 يكون بلا معنى؛ حيث يجب ذكر وحدة القياس التي تتبع العدد، لأن 18.6 مترًا تختلف تمامًا عن 18.6 بوصة أو عن 18.6 ميلمترًا. إن أي وحدة قياس نستعملها مثل المتر للمسافة أو الثانية للزمن، نحتاج إلى تعريفها بواسطة معيار معين يُعرّف **بالضبط** ما هو المتر أو الثانية. ومن المهم أن تكون المعايير التي تم اختيارها في متناول اليد، بحيث يمكن لأي شخص يحتاج إلى إجراء قياس دقيق جدًا الرجوع إلى المعيار الذي في المختبر.

الطول

معيار الطول (المتر)

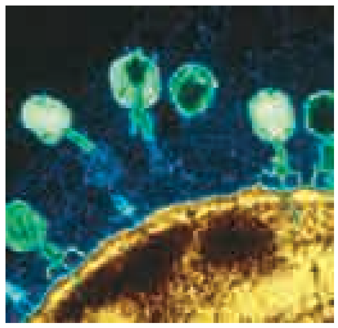
إن أول معيار دولي هو **المتر** (اختصاراً m)؛ حيث وُضع معيارٌ **للطول** من قبل الأكاديمية الفرنسية للعلوم في 1790. ولقد اختير المتر المعياري في الأصل كي يمثل جزءاً من عشرة ملايين من المسافة التي بين خط الاستواء وأي من القطبين*، وقد صمم قضيب من البلاتين ليمثل هذا الطول. (المتر الواحد تقريبًا يساوي المسافة من رأس أنفك إلى رأس أصابعك عندما تكون الذراع واليد ممدودتين إلى الخارج). وفي عام 1889، عُرّف المتر بدقة أكثر ليمثل المسافة بين علامتين محفورتين بدقة على قضيب خاص من سبيكة البلاتين والأريديوم. وفي عام 1960، أُعيد تعريف المتر للحصول على دقة كبيرة وقابلية إنتاج عالية ليساوي 1,650,763.73 طول موجة من ضوء برتقالي معين ينبعث من غاز الكربتون 86. وفي عام 1983، أُعيد تعريف المتر مرة أخرى، ولكن هذه المرة بدلالة سرعة الضوء (أفضل قيمة مقيسة لسرعة الضوء بدلالة التعريف القديم للمتر هي 299,792,458 m/s مع عدم يقين 1 m/s). والتعريف الجديد «المتر هو طول المسار الذي يقطعه الضوء في الفراغ خلال مدّة زمنية مقدارها 1/299,792,458 من الثانية»**.

إن الوحدات البريطانية للطول (بوصة، قدم، ميل) تُعرف الآن بدلالة المتر. فالبوصة مثلًا تعرف بدقة على أنها تساوي 2.45 سنتيمترًا (يكتب اختصارًا cm، حيث إن $1\ \text{cm} = 0.01\ \text{m}$). وهناك معاملات تحويل أخرى موجودة في الجدول الذي على الجانب الداخلي للغلاف الأمامي لهذا الكتاب. ويبين (الجدول 1-1) بعض الأطوال، من الصغيرة جدًا إلى الكبيرة جدًا، مقربة إلى أقرب قوة من قوى العدد 10. انظر أيضًا إلى (الشكل 1-8).

الجدول 1-1: بعض الأطوال والمسافات المثالية (رُتبة المقدار)

الطول (أو المسافة)	الأمتار (تقريبًا)
النيوترون أو البروتون (نصف قطر)	10^{-15} m
الذرة	10^{-10} m
الفيروس [انظر الشكل 1-8 أ]	10^{-7} m
الورقة (سُمك)	10^{-4} m
عرض أصبع اليد	10^{-2} m
طول ملعب كرة القدم	10^{2} m
ارتفاع قمة إفرست [انظر الشكل 1-8 ب]	10^{4} m
قطر الأرض	10^{7} m
الأرض إلى الشمس	10^{11} m
الأرض إلى أقرب نجم	10^{16} m
الأرض إلى أقرب مجرة	10^{22} m
الأرض إلى أبعد مجرة مرئية	10^{26} m

الشكل 1-8 بعض الأطوال: (أ) فيروسات (طولها حوالي 10^{-7} m) تهاجم خلية. (ب) ارتفاع قمة إفرست بدلالة القوة عشرة هو 10^{4} m (ولكي نكون دقيقين فإن الارتفاع 8850 m)



(أ)

(ب)

* تدل الأقيسة الحديثة لمحيط الأرض على أن الطول الذي قصد أقل بحوالي جزء من خمسين من 1%.

** بهذا التعريف الجديد للمتر، فإن القيمة الدقيقة لسرعة الضوء في الفراغ تساوي 299,792,458 m/s.

الجدول 1-2 : بعض الفترات الزمنية المثالية

المدّة الزمنية	الثواني (تقريبًا)
عمر جسيم أصغر من الذرة / غير مستقر	10^{-23} s
عمر عناصر مشعة	10^{-22} s $-$ 10^{28} s
عمر الميون	10^{-6} s
الزمن بين نبضات قلب الإنسان	10^{0} s (= 1 s)
اليوم	10^{5} s
السنة	3×10^{7} s
مدة حياة الإنسان	2×10^{9} s
التاريخ المسجل	10^{11} s
الجنس البشري على الأرض	10^{14} s
الحياة على الأرض	10^{17} s
عمر الكون	10^{18} s

الجدول 1-3 : بعض الكتل

الجسم	كيلوغرام(تقريبًا)
الإلكترون	10^{-30} kg
البروتون/ النيوترون	10^{-27} kg
جزيء DNA	10^{-17} kg
البكتيريا	10^{-15} kg
البعوضة	10^{-5} kg
الخوخ	10^{-1} kg
الإنسان	10^{2} kg
السفينة	10^{8} kg
الأرض	6×10^{24} kg
الشمس	2×10^{30} kg
المجرة	10^{41} kg

الزمن

إن الوحدة المعيارية **للزمن** هي **الثانية** (s)، ولسنوات عديدة عرفت الثانية بأنها تساوي 1/86,400 من متوسط اليوم الشمسي. وتعرف الثانية المعيارية الآن بدقة أكبر بدلالة تردد الإشعاع المنبعث من ذرات السيزيوم عند مرورها بين حالتين محدّدتين. [وبالتحديد، فإن الثانية الواحدة تعرف على أنها الزمن الذي يستغرقه هذا الإشعاع لعمل 9,192,631,770 ذبذبات]. ومن هذا التعريف، نجد أن هناك 60s في كل دقيقة (min) و60 دقيقة في كل ساعة (h). يبين (الجدول 1-2) مجالاً من الحقب الزمنية المقيسة مقربة إلى أقرب قوة للأساس عشرة.

الكتلة

إن الوحدة **المعيارية** للكتلة هي **الكيلوجرام** (kg). والكتلة المعيارية هي أسطوانة مصنوعة من البلاتين والأريديوم، وتعرف كتلتها بالضبط لتساوي 1 kg، وهي محفوظة في المركز الدولي للقياس والأوزان قرب باريس في فرنسا. يبين (الجدول 1-3) الكتل [وللغايات العلمية، فإن 1kg يزن تقريبًا 2.2 باوند (lb) على سطح الأرض]. وعندما نتعامل مع الذرات والجزيئات فإننا نستخدم وحدة الكتلة الذرية الموحدة (u) ونعبر عنها بدلالة الكيلوغرام كما يأتي:

$$1\ \text{u} = 1.6605 \times 10^{-27}\ \text{kg}.$$

وفي الفصول اللاحقة، سوف نناقش تعريفات وحدات معيارية لكميات فيزياء أخرى.

بادئات الوحدة

في النظام المتري، تعرف الوحدات الصغيرة والكبيرة بمضاعفات العدد 10 للوحدة المعيارية، وهو ما يجعل عملية الحساب سهلة. وعليه، فإن 1 كيلو متر (km) يساوي 1000 m، و 1cm يساوي $\frac{1}{100}$m ، و1mm يساوي $\frac{1}{1000}$ m أو $\frac{1}{10}$ cm وهكذا. يوضح (الجدول 1-4) البادئات سنتي (centi) وكيلو (kilo) وغيرها. ويمكن استعمال هذه البادئات ليس فقط لوحدات الطول، ولكن لوحدات أخرى مثل الحجم والكتلة، أو لأي وحدة مترية أخرى. فعلى سبيل المثال، السنتيلتر (cL) يساوي $\frac{1}{100}$ من اللتر (L) والكيلوجرام يساوي 1000 g.

الجدول 1-4: البادئات المترية (SI)

البادئة	الاختصار	القيمة
يوتا	Y	10^{24}
زيتا	Z	10^{21}
إكسا	E	10^{18}
بتا	P	10^{15}
تيرا	T	10^{12}
جيجا	G	10^{9}
ميجا	M	10^{6}
كيلو	k	10^{3}
هكتو	h	10^{2}
ديكا	da	10^{1}
ديسي	d	10^{-1}
سنتي	c	10^{-2}
ملي	m	10^{-3}
ميكرو *	μ	10^{-6}
نانو	n	10^{-9}
بيكو	p	10^{-12}
فيمتو	f	10^{-15}
أتو	a	10^{-18}
زيبتو	z	10^{-21}
يوكتا	y	10^{-24}

* μ حرف لاتيني (ميو)

أنظمة الوحدات

عندما نتعامل مع القوانين والمعادلات الفيزيائية، فإنه من المهم استخدام مجموعة من الوحدات تتوافق مع بعضها. فعلى مرّ السنين استخدمت أنظمة وحدات عديدة. أما اليوم، فإن **النظام الدولي** هو المهم. ويرمز إلى هذا النظام بـ SI من الفرنسية **Systeme International**. إن وحدة قياس الطول في هذا النظام هي المتر (meter) ووحدة قياس الكتلة هي الكيلوجرام (kilogram) ووحدة قياس الزمن هي الثانية (second)، ولهذا فقد سمي النظام (MKS).

أما النظام المعياري الآخر فهو نظام (**cgs**)، وفيه تكون الوحدات المعيارية للطول والكتلة والزمن هي السنتيمتر والغرام والثانية، على الترتيب، كما تم اختصارها في اسم النظام.

في حين أن المعايير في **النظام الهندسي البريطاني** هي القدم للطول، والباوند للقوة، والثانية للزمن.

حل المسألة

أستخدم دائماً مجموعة الوحدات المتوافقة مع بعضها.

النظام الدولي للوحدات

الجدول 1-5: الكميات الأساسية في النظام الدولي SI ووحداتها.

الكمية	الوحدة	اختصار الوحدة
الطول	متر	m
الزمن	ثانية	s
الكتلة	كيلوغرام	kg
التيار الكهربائي	أمبير	A
درجة الحرارة	كلفن	K
مقدار من المادة	مول	mol
شدة الإضاءة	كاندلا	cd

إن وحدات النظام الدولي (SI) هي الوحدات الرئيسة التي تستخدم في الوقت الحاضر في الأمور العلمية جميعها؛ لذا سوف نستخدم في هذا الكتاب وحدات SI على نحو حصري تقريبًا، بالرغم من أننا سوف نوضح وحدات النظام البريطاني و cgs لكميات مختلفة عندما نتطرق إليها.

الكميات الأساسية والمشتقة

تنقسم الكميات الفيزيائية إلى نوعين، أساسية ومشتقة، ومن ثَمَّ فإن الوحدات التي تناظر هذه الكميات تسمى أيضًا وحدات أساسية ووحدات مشتقة. يجب أن تعرف الكمية الأساسية بدلالة معيار. وللتبسيط يريد العلماء أقل عدد من الكميات الأساسية المحتملة لتتوافق مع الوصف الكامل لعالم الفيزياء، ولقد تبيّن أن عدد هذه الكميات سبعة والمستخدم منها في النظام الدولي (SI) موضح في (الجدول 1-5). ويمكن تعريف الكميات الأخرى بدلالة هذه الكميات الأساسية السبع*؛ ولذلك فإنها تعرف بالكميات المشتقة. ومن الأمثلة على الكميات المشتقة السرعةُ القياسيةُ؛ وهي عبارة عن المسافة مقسومة على الزمن اللازم لقطع تلك المسافة. يحتوي الجدول المثبت على الجانب الداخلي للغلاف الأمامي للكتاب على العديد من الكميات المشتقة ووحداتها بدلالة الوحدات الأساسية. ولتعريف أيّ كمية، سواء أكانت أساسية أم مشتقة، يمكننا تحديد قاعدة أو نهج ما، وهو ما يسمى بالتعريف العملي.

6-1 تحويل الوحدات

تحتوي أيّ كمية نقوم بقياسها كالطول، والسرعة القياسية، والتيار الكهربائي على عدد ووحدة قياس. وفي أغلب الأحيان تعطى كمية ما بوحدة قياس معينة، ثم يُطلب التعبير عنها بوحدات أخرى. لنفرض على سبيل المثال أننا قسنا عرض طاولة ووجد أنه يساوي 21.5 بوصة (inches) ونريد التعبير عنه بدلالة السنتيمتر. في مثل هذه الحالة، يجب أن نستخدم معامل تحويل كما يأتي:

$$1 \text{ in.} = 2.54 \text{ cm}$$

ويكتب بطريقة أخرى كما يأتي:

$$1 = 2.54 \text{ cm/in.}$$

وبما أن الضرب في واحد لا يغير أي شيء، فإن عرض الطاولة بالسنتيمتر يساوي:

$$21.5 \text{ inches} = (21.5 \cancel{\text{in.}}) \times \left(2.54 \frac{\text{cm}}{\cancel{\text{in.}}}\right) = 54.6 \text{ cm}.$$

لاحظ كيف تم حذف الوحدات. وهناك جدول في الصفحات التقديمية للكتاب يحتوي على تحويلات لوحدات مختلفة. والأمثلة الآتية توضح بعض التحويلات.

المثال 3-1 **أعلى القمم** ترتفع القمم الأربع عشرة الأعلى في العالم أكثر من 8000 m عن مستوى سطح البحر (الشكل 1-9 والجدول 1-6)، ولذلك تسمى بالقمم ذات الثمانية الآف متر. قمة ارتفاعها 8000 m عن مستوى سطح البحر، احسب ارتفاعها بالقدم.

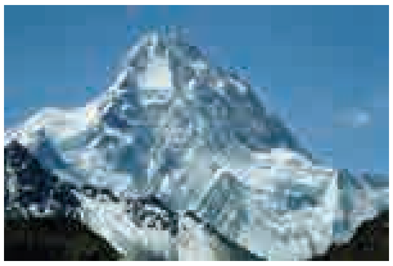
النهج: نحتاج ببساطة إلى تحويل المتر الى قدم؛ ولذلك نبدأ بمعامل التحويل الدقيق 1 in. = 2.54 cm أي أن 1 in. = 2.5400 cm لأي عدد من الأرقام المعنوية

الإجابة: القدم يساوي 12 بوصة، ولذلك يمكن كتابة ما يلي:

$$1 \text{ ft} = (12 \cancel{\text{in.}})\left(2.54 \frac{\text{cm}}{\cancel{\text{in.}}}\right) = 30.48 \text{ cm} = 0.3048 \text{ m}$$

تم حذف الوحدات، والنتيجة التي حصلنا عليها صحيحية. ويمكن إعادة كتابة

الشكل 1-9 ثاني أعلى قمة في العالم (تسمى K2)، وهي أصعب قمة من بين القمم ذات الثمانية الآف متر. تظهر هذه القمة K2 من الجانب الشمالي (الصين)، والغلاف الخارجي للكتاب يظهرها من جهة الجنوب (باكستان). المثال 1-3.



تطبيق الفيزياء
أعلى قمم العالم

* الاستثناء الوحيد للزاوية (زوايا نصف قطرية - انظر الفصل الثامن والزاوية المجسمة (زوايا نصف قطرية مجسمة). حيث لا يوجد إجماع على ماهيه هذه الكميات، هل هي أساسية أم مشتقة؟

هذه المعادلة لنحصل على عدد الأقدام في كل متر واحد

$$1\ \mathrm{m} = \frac{1\ \mathrm{ft}}{0.3048} = 3.28084\ \mathrm{ft}.$$

نضرب الآن هذه المعادلة في $8,000.0$ (لنحصل على خمسة أرقام معنوية).

$$8,000.0\ \mathrm{m} = (8,000.0\ \cancel{\mathrm{m}})\left(3.28084\ \frac{\mathrm{ft}}{\cancel{\mathrm{m}}}\right) = 26,247\ \mathrm{ft}.$$

لذا، فإن الارتفاع $8000\ \mathrm{m}$ يساوي $26,247\ \mathrm{ft}$ عن مستوى سطح البحر.

ملحوظة: كان بإمكاننا عمل هذا التحويل في سطر واحد.

$$8000\ \mathrm{m} = (8000\ \cancel{\mathrm{m}})\left(\frac{100\ \cancel{\mathrm{cm}}}{1\ \cancel{\mathrm{m}}}\right)\left(\frac{1\ \cancel{\mathrm{in.}}}{2.54\ \cancel{\mathrm{cm}}}\right)\left(\frac{1\ \mathrm{ft}}{12\ \cancel{\mathrm{in.}}}\right) = 26,247\ \mathrm{ft}.$$

وهكذا، فإن مفتاح الحل هو الضرب في معاملات التحويل، كل منها يساوي واحدًا $(=1.0000)$ والتأكد من حذف الوحدات المتشابهة.

التمرين د: هناك أربع عشرة قمة فقط في العالم يزيد ارتفاعها عن ثمانية الآف متر (انظر إلى المثال 1-3). يوضح (الجدول 1-6) أسماء هذه القمم وارتفاع كل واحدة منها. تقع هذه القمم ضمن سلسلة جبال الهمالايا في كلّ من الهند، والباكستان، والتبت، والصين. حدد ارتفاع أعلى ثلاث قمم في العالم بوحدة القدم.

جدول 1-6: القمم ذات ثمانية آلاف متر

القمة	الارتفاع (m)
Mt. Everest	8850
K2	8611
Kangchenjunga	8586
Lhotse	8516
Makalu	8462
Cho Oyu	8201
Dhaulagiri	8167
Manaslu	8156
Nanga Parbat	8125
Annapurna	8091
Gasherbrum I	8068
Broad Peak	8047
Gasherbrum II	8035
Shisha Pangma	8013

المثال 1-4: مساحة رقاقة شبه موصلة رقاقة سيلكون مساحتها $1.25\ \mathrm{in}^2$، أوجد مساحتها بـ cm 2.

النهج: نستخدم معامل التحويل $1\mathrm{in} = 2.54\ \mathrm{cm}$ نفسه. ولكن في هذه الحالة يجب أن نستخدمه مرتين.

الإجابة: بما أن $1\mathrm{in.} = 2.54\ \mathrm{cm}$ فإن

$1\ \mathrm{in.}^2 = (2.54\ \mathrm{cm})^2 = 6.45\ \mathrm{cm}^2$ وهكذا نجد أن

$$1.25\ \mathrm{in.}^2 = (1.25\ \mathrm{in.}^2)\left(2.54\ \frac{\mathrm{cm}}{\mathrm{in.}}\right)^2 = (1.25\ \cancel{\mathrm{in.}^2})\left(6.45\ \frac{\mathrm{cm}^2}{\cancel{\mathrm{in.}^2}}\right) = 8.06\ \mathrm{cm}^2$$

المثال 1-5: إذا كانت السرعة محددة بـ 55 ميلًا لكل ساعة (تكتب اختصارًا mph أو $(\mathrm{mi/h})$، فجد هذه السرعة: (أ) بالمتر لكل ثانية $(\mathrm{m/s})$ (ب) بالكيلومتر لكل ساعة $(\mathrm{km/h})$؟

النهج: نستخدم معامل التحويل $1\mathrm{in.} = 2.54\ \mathrm{cm}$، مع الأخذ بالحسبان أن هناك $5280\ \mathrm{ft}$ في كل $1\mathrm{mile}$ و $12\mathrm{in}$ في كل $1\ \mathrm{ft}$، وكذلك فإن الساعة الواحدة تحتوي على عدد ثوانٍ مقداره $(60\ \mathrm{min/h}) \times (60\ \mathrm{s/min}) = 3600\ \mathrm{s/h}$

الحل: (أ) يمكن أن نكتب الآن $1\mathrm{mile}$ كما يأتي:

$$1\ \mathrm{mi} = (5280\ \cancel{\mathrm{ft}})\left(12\ \frac{\cancel{\mathrm{in.}}}{\cancel{\mathrm{ft}}}\right)\left(2.54\ \frac{\cancel{\mathrm{cm}}}{\cancel{\mathrm{in.}}}\right)\left(\frac{1\ \mathrm{m}}{100\ \cancel{\mathrm{cm}}}\right) = 1609\ \mathrm{m}$$

لاحظ أن كل معامل تحويل يساوي واحدًا، وكذلك فإن الساعة الواحدة تحتوي على $3600\mathrm{s}$. لذلك فإن:

معامل التحويل =1

$$55\ \frac{\mathrm{mi}}{\mathrm{h}} = \left(55\ \frac{\cancel{\mathrm{mi}}}{\cancel{\mathrm{h}}}\right)\left(1609\ \frac{\mathrm{m}}{\cancel{\mathrm{mi}}}\right)\left(\frac{1\ \cancel{\mathrm{h}}}{3600\ \mathrm{s}}\right) = 25\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

حيث قرّبنا لرقمين معنويين.(ب) نستخدم الآن $1\ \mathrm{mi} = 1609\ \mathrm{m} = 1.609\ \mathrm{km}$ ومن ثَمَّ فإن:

$$55\ \frac{\mathrm{mi}}{\mathrm{h}} = \left(55\ \frac{\cancel{\mathrm{mi}}}{\mathrm{h}}\right)\left(1.609\ \frac{\mathrm{km}}{\cancel{\mathrm{mi}}}\right) = 88\ \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$$

ملحوظة: إن تحويلات الوحدة هذه مفيدة وسهلة الاستعمال، ويمكنك دائمًا الحصول عليها من الجدول الذي في الصفحات التقديمية لهذا الكتاب.

التمرين هـ يقود شخص سيارته بسرعة $15\ \mathrm{m/s}$ في منطقة السرعة فيها محددة بـ $35\ \mathrm{mi/h}$، هل يتجاوز هذا الشخص السرعة المحددة؟

حل المسألة

يكون تحويل الوحدة خطأ إذا لم تحذف الوحدات مع بعضها.

عندما تغير الوحدات، يمكنك تجنب الخطأ في استعمال معاملات التحويل، وذلك بالتأكد من أن الوحدات قد اختُصرت على النحو الصحيح. فعلى سبيل المثال: عندما حوّلنا $1\ \mathrm{mi}$ إلى $1609\ \mathrm{m}$ في (المثال 1 - 5 (أ))، إذا استخدمنا بالخطأ معامل التحويل $\frac{100\ \mathrm{cm}}{1\ \mathrm{m}}$ بدلاً من $\frac{1\ \mathrm{m}}{100\ \mathrm{cm}}$، فلا يمكن عندها حذف وحدات السنتيمتر، ومن ثَمَّ فإن الحل لا يمكن أن يكون بالأمتار.

1-7 رتبة المقدار: تقدير سريع

أحيانًا، نهتم فقط بالقيمة التقريبية لكمية ما، والسبب في ذلك أن حساب القيمة الصحيحة قد يحتاج إلى وقت أكثر مما يجب، أو أننا نحتاج إلى معلومات إضافية غير متوافرة. وفي حالات أخرى، ربما نريد عمل تقدير تقريبي فقط للتأكد من حساب صحيح حصلنا عليه من آلة حاسبة، وأننا لم نرتكب أخطاء عندما أدخلنا الأعداد.

ويمكن عمل تقدير تقريبي من خلال تقريب الأعداد جميعها، إلى رقم معنوي واحد مع قوته للعدد 10، وبعد إجراء عملية الحساب، احتفظ برقم معنوي واحد فقط. يسمى مثل هذا التقدير بـ (تقدير رتبة المقدار)، ويمكن أن يكون صحيحاً ضمن قوة من العدد 10، وفي أغلب الأحيان أفضل من ذلك. وفي الحقيقة فإن مصطلح رتبة المقدار يسمى أحيانًا قوة العدد 10.

حل المسألة

كيف تعمل تقديرًا تقريبيًا

تطبيق الفيزياء

تقدير الحجم (أو الكتلة) للبحيرة

أنظر الشكل **1-10**

المثال 1-6 قدّر حجم بحيرة

قدرّ كم تبلغ كمية الماء الموجود في بحيرة دائرية الشكل تقريبًا، كما في (الشكل 1-10أ)، وقطرها حوالي 1 km، إذا علمت أن متوسط عمقها حوالي 10 m.

النهج: لا توجد بحيرة دائرية تمامًا، كما لا يمكن أن يكون قاع البحيرة مستويًا، ولكننا نقوم بعملية تقدير فقط. لتقدير الحجم: نستخدم نموذجاً بسيطاً يمثل البحيرة على شكل أسطوانة، ثم نضرب متوسط عمق البحيرة في مساحة سطح قاعدتها الدائرية تقريبًا (الشكل 1-10 ب).

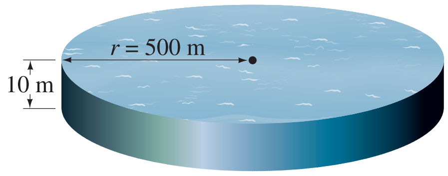
الحل: إن حجم الأسطوانة V يساوي حاصل ضرب الارتفاع h في مساحة قاعدتها: $V = h\pi r^2$، حيث r نصف قطر قاعدتها الدائرية.*

إن نصف القطر r يساوي $\frac{1}{2}\text{km} = 500\text{ m}$، ومن ثَمَّ فإن حجمها تقريبًا:

$$V = h\pi r^2 \approx (10\text{ m}) \times (3) \times (5 \times 10^2\text{ m})^2 \approx 8 \times 10^6\text{ m}^3 \approx 10^7\text{ m}^3$$

حيث قربت π إلى 3. لذلك فإن الحجم من رتبة 10^7m^3 أي عشرة مليون متر مكعب. وبسبب التقديرات التي قمنا بها في أثناء عملية الحساب، فإن تقدير رتبة المقدار 10^7m^3 ربما يكون أفضل من الرقم $8 \times 10^6\text{ m}^3$.

(أ)



(ب)

الشكل 1-10 (المثال 1-6 أ) كم كمية الماء في هذه البحيرة؟ (الصورة لإحدى بحيرات راي في نيفادا - كاليفورنيا).(ب) نموذج يمثل البحيرة على شكل أسطوانة. [كان يمكن القيام بخطوة إضافية أخرى لتقدير كتلة أو وزن كمية الماء في البحيرة. وحيث إن كثافة الماء 1000 kg/m^3 كما سنرى لاحقًا، فإن كتلة الماء في هذه البحيرة حوالي $(10^3\text{ kg/m}^3)(10^7\text{ m}^3) \approx 10^{10}\text{ kg}$, أي حوالي عشرة مليارات كيلو غرام أو عشرة ملايين طن متري. (الطن المتري يساوي 1000 kg؛ أي حوالي 2200 lbs، وعليه، فإنه أكبر قليلاً من الطن البريطاني الذي يساوي 2000 lbs)].

* هناك علاقات رياضية مثل هذه للحجم والمساحة وغيرها موجودة في الصفحات التقديمية لهذا الكتاب.

ملحوظة: للتعبير عن النتيجة التي حصلنا عليها بدلالة الجالون (gallon) الأمريكي، فإننا بحاجة إلى معرفة معامل تحويل، وهو $1L = 10^{-3}\text{m}^3 \approx \frac{1}{4}$ gallon الذي يمكن الحصول عليه من الجدول الموجود في الصفحات التقديمية للكتاب. وبذلك نجد أن ما تحتويه البحيرة من ماء بوحدة الجالون يساوي

$$(10^7\ \text{m}^3)(1\ \text{gallon}/4 \times 10^{-3}\ \text{m}^3) \approx 2 \times 10^9\ \text{gallons}$$

حل المسألة

استخدم التماثل إن أمكن.

المثال 1-7 قدّر سمك صفحة

قدر سمك الصفحة الواحدة من هذا الكتاب.

النهج: قد تعتقد بداية أننا في حاجة إلى جهاز قياس خاص، مثل الميكرومتر (الشكل 1-11) لقياس سمك الصفحة، ومن الواضح أنه لا يمكننا استخدام المسطرة للقيام بذلك. وبحيلة بسيطة أو بالمصطلح الفيزيائي الإفادة من تماثل الصفحات، نفترض أن صفحات هذا الكتاب متماثلة ولها السمك نفسه.

الحل: يمكننا استخدام المسطرة لقياس سمك مئات من الصفحات في الحال. فإذا قمت بقياس سمك أول 500 صفحة من هذا الكتاب (من الصفحة 1 إلى الصفحة 500) فربما تحصل على قيمة قريبة من 1.5cm. لاحظ أن 500 صفحة تحسب على أساس وجه الصفحة وخلفها، وهو ما يعني أن هناك 250 ورقة، إذن، فسمك الورقة الواحدة يكون تقريبًا:

$$\frac{1.5\ \text{cm}}{250\ \text{pages}} \approx 6 \times 10^{-3}\ \text{cm} = 6 \times 10^{-2}\ \text{mm}$$

أي أقل من جزء من عشرة من مليمتر (0.1mm).

الشكل 1 - 11 المثال 1 - 7. ميكرومتر يستخدم لقياس سماكات صغيرة.

المثال 1-8 قدّر مجموع عدد نبضات القلب.

قدر مجموع عدد النبضات التي يقوم بها قلب الإنسان السليم خلال مدّة حياته.

النهج: إن معدل النبضات التي يقوم بها القلب السليم يساوي 70 نبضة لكل دقيقة. إلا أن هذا الرقم يرتفع كثيرًا في أثناء التمرين، وبذا قد يكون المتوسط المعقول مساويًا 80 نبضة لكل دقيقة.

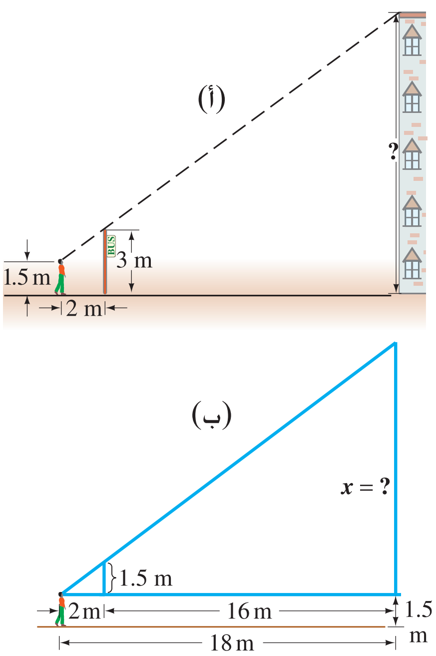
الحل: إذا افترضنا أن متوسط عمر الإنسان 70 سنة، وهو ما يعادل $\approx 2 \times 10^9\ \text{s}$ (انظر الجدول 1-2) فإن عدد النبضات يساوي

$$\left(80\ \frac{\text{beats}}{\text{min}}\right)\left(\frac{1\ \text{min}}{60\ \text{s}}\right)(2 \times 10^9\ \text{s}) \approx 3 \times 10^9,$$

أي حوالي 3 ترليونات نبضة.

دعنا الآن نأخذ مثالاً بسيطاً يبيّن كيف أن الرسم البياني مفيد للقيام بتقدير معين. لا يمكن التأكد على نحو كافٍ من أهمية عمل رسم بياني إلا عندما تحاول حل مسألة فيزيائية.

الشكل 1 - 12 المثال 1 - 9 الرسوم البيانية مفيدة في حل المسائل.



المثال 1-9 قدّر ارتفاع بواسطة علم حساب المثلثات.

قدر ارتفاع البناية الموضحة في (الشكل 1-12) بواسطة علم حساب المثلثات وبمساعدة عمود موقف الحافلات وصديقك.

النهج: اطلب من صديقك أن يقف بجانب العمود، وقدر ارتفاع العمود وليكن 3m. في الخطوة اللاحقة، ابتعد عن العمود حتى يصبح رأسه على خط واحد مع أعلى البناية، (الشكل 1-12أ). فإذا كان طولك 5 ft 6 in ، فإن عينيك سترتفع عن الأرض حوالي 1.5 m. وعندما مد صديقك ذراعيه جانبًا، لمست إحدى يديه العمود واليد الأخرى لمستك، فقدرت أن المسافة بينك وبين العمود تساوي 2m (الشكل 1-12 أ).

ثم بخطوة طويلة (1m≈) قست المسافة بين العمود وأسفل البناية فكانت 16 خطوة أو 16 m.

الحل: اعمل رسماً بيانياً كما في (الشكل 1-12 ب) مستخدماً القياسات التي حصلت عليها. يمكنك قياس الجانب الأخير من المثلث مباشرة من الرسم البياني فيكون حوالي 13 m. أو يمكنك استخدام تشابه المثلثات للحصول على الارتفاع x:

$$\frac{1.5\ \text{m}}{2\ \text{m}} = \frac{x}{18\ \text{m}} \quad \text{وبالتالي فإن:} \quad x \approx 13\tfrac{1}{2}\ \text{m}$$

أخيرًا، أضف ارتفاع عينيك عن سطح الأرض (1.5 m) لتحصل على النتيجة النهائية، فيكون ارتفاع البناية حوالي 15 m.

وهناك أسلوب آخر للتقدير؛ فقد اشتهر العالم أنريكوفيرمي بشرحه لطلبة الفيزياء؛ حيث كان يطلب منهم تقدير عدد ضابطي أوتار البيانو في مدينة مثل شيكاغو أو سان فرانسيسكو. للحصول على تقدير تقريبي لرتبة المقدار لعدد الأشخاص الذين يقومون بضبط أوتار الآت البيانو اليوم في مدينة سان فرانسيسكو التي يبلغ عدد سكانها 700,000 نسمة، نحتاج إلى تقدير عدد الآت البيانو المستخدمة، وعدد مرات ضبط كل آلة، وكم يمكن لضابط الأوتار أن ينجز يوميًا. لتقدير عدد آلات البيانو في سان فرانسيسكو يجب ملاحظة أن ليس كل شخص يمتلك بيانو. دعنا نخمن أن عائلة واحدة من كل 3 عائلات تمتلك بيانو، وهذا يعني شخصًا واحدًا من كل 12، على فرض أن متوسط عدد أفراد العائلة 4 أشخاص. فإذا استخدمنا رتبة المقدار، فإن شخصًا يمتلك بيانو من كل 10 أشخاص. وهذا بالتأكيد أكثر معقولية من بيانو لكل 100 شخص، أو بيانو لكل شخص. فإذا أخذنا ذلك بالحسبان فإن هناك 70,000 بيانو في مدينة سان فرانسيسكو. يحتاج ضابط أوتار البيانو إلى ساعة أو ساعتين لضبط بيانو واحد، لذلك دعنا نقدر أنه يضبط 4 أو 5 آلات في اليوم. كما أن البيانو يحتاج إلى أن يضبط مرة واحدة كل ستة أشهر أو كل سنة، فلتكن مرة واحدة كل سنة. وهكذا نجد أن ضابط أوتار البيانو الذي يضبط 4 آلات يوميًا، لمدة 5 أيام أسبوعيًا، لمدة 50 أسبوعًا سنويًا يستطيع ضبط أوتار 1000 آلة سنويًا. وحيث إننا قدرنا أن عدد آلات البيانو في سان فراسيسكو 70,000، فمعنى ذلك أن هناك 70 ضابط أوتار في هذه المدينة. وهذا بالطبع تقدير تقريبي فقط*. يخبرنا هذا النهج بأنه لا بدّ وأن يكون هناك أكثر بكثير من 10 أشخاص يقومون بضبط أوتار البيانو، ولكنه بالتأكيد لا يصل إلى 1000. أما إذا كنت تقدر عدد ميكانيكيي السيارات، فإن تقديرك سيكون مختلفاً.

تطبيق الفيزياء
تقدير عدد ضابطي أوتار البيانو في مدينة ما.

* 8-1 الأبعاد والتحليل البعدي**

عندما نتحدث عن أبعاد كمية فيزيائية، فإننا نعني نوع الوحدة المستخدمة لقياسها أو الكميات الأساسية المكونة لها. فعلى سبيل المثال، إن أبعاد المساحة هي دائمًا الطول تربيع، وتكتب اختصارًا باستعمال الأقواس المربعة $[L^2]$؛ حيث يمكن أن تكون الوحدة مترًا مربعًا، أو قدمًا مربعًا، أو سنتيمترًا مربعًا وهكذا. ومن جهة أخرى، يمكن قياس السرعة بوحدة km/h أو m/s أو mi/h ولكن أبعادها تبقى دائمًا الطول $[L]$ مقسومًا على الزمن $[T]$؛ أي $[L/T]$.

قد تختلف طريقة كتابة الصيغة الرياضية لكمية ما باختلاف الحالات، ولكن الأبعاد تبقى كما هي. فعلى سبيل المثال، إن مساحة مثلث قاعدته b وارتفاعه h هي $A = \frac{1}{2}bh$ ولكن مساحة دائرة نصف قطرها r هي $A = \pi r^2$. لاحظ اختلاف الصيغة الرياضية في الحالتين، إلا أن أبعاد المساحة في الحالتين تبقى كما هي $[L^2]$. كما يتم عادة تحديد أبعاد كمية ما بدلالة الكميات الأساسية وليس الكميات المشتقة. فعلى سبيل المثال: فإن القوة (كما سنرى لاحقًا) لها وحدة الكتلة $[M]$ مضروبة في وحدة التسارع $[L/T^2]$؛ أي أن أبعادها هي $[ML/T^2]$.

يمكن أن تستعمل الأبعاد على أنها عامل مساعد للتحقق من العلاقات الفيزيائية، ومثل هذا الإجراء يعرف عادة **بالتحليل البعدي**.*** وفي الحقيقة، فإنه يمكن استخدام الأبعاد للتأكد من أن العلاقة الفيزيائية خطأ. وتطبق قاعدة بسيطة، وهي: تجمع الكميات أو تطرح فقط إذا كان لها الأبعاد نفسها (لا يمكن جمع السنتيمترات إلى الساعات)، ويتضمن ذلك أن الكميات التي على جانبي إشارة المساواة في علاقة فيزيائية يجب أن يكون لها الأبعاد نفسها. (في الحسابات العددية أيضًا، يجب أن يكون لطرفي المعادلة وحدات القياس نفسها).

التحليل البعدي

لنفترض على سبيل المثال أنك قمت باشتقاق المعادلة $v = v_0 + \frac{1}{2}at^2$ حيث تمثل v سرعة الجسم بعد مرور زمن t على بدء الحركة، أما v_0 فتمثل السرعة الابتدائية للجسم في حين تمثل a تسارعه. دعنا الآن نختبر بعدية هذه المعادلة للكشف عن صحتها. لاحظ أن المعاملات مثل $\frac{1}{2}$ في هذه الحالة، لا تؤثر في اختبار البعدية.

* عند تدقيق الدليل التجاري لمدينة سان فرانسيسكو (جرت بعد إنهاء عملية الحساب) تبين أن عدد المسجلين 50. وقد يكون لدى الواحد منهم أكثر من موظف، ومن جهة أخرى، قد يقوم كل واحد منهم بتصليح آلة البيانو بالإضافة إلى ضبط أوتارها. وعلى أي حال من الأحوال فإن تقديرنا معقول.

** يمكن اعتبار بعض البنود في هذا الكتاب (مثل هذا البند) اختيارية حسب تقدير المدرس. انظر إلى المقدمة من أجل مزيد من التفاصيل.

*** التقنيات التي وضعت في الفقرات القليلة الآتية قد تبدو أكثر وضوحًا بعد أن تدرس بضعة فصول من هذا الكتاب. إن قراءة هذا البند الآن تعطيك فكرة عامة عن الموضوع، ويمكن أن تعود إليه عند الحاجة.

نكتب الآن المعادلة البعدية الآتية، مع ملاحظة أن بعدية السرعة هي $[L/T]$ وبعدية التسارع (كما سنرى لاحقًا) هي $[L/T^2]$:

$$\left[\frac{L}{T}\right] \stackrel{?}{=} \left[\frac{L}{T}\right] + \left[\frac{L}{T^2}\right][T^2]$$
$$\stackrel{?}{=} \left[\frac{L}{T}\right] + [L]$$

نلاحظ أن الأبعاد غير صحيحة؛ حيث إن الكميات التي على الجانب الأيمن للمعادلة ليس لها الأبعاد نفسها، وهكذا نستنتج أن خطأً ما قد ارتكب عند اشتقاق المعادلة الأصلية. وحتى لو كان هذا الاختبار البعدي صحيحاً فإنه لا يثبت أن المعادلة صحيحة. فعلى سبيل المثال: قد يكون العامل الحسابي (مثل $\frac{1}{2}$ أو 2π)، الذي ليس له بعدية خطأ. ومن ثَمَّ فإن الاختبار البعدي يستطيع أن يخبرنا فقط فيما إذا كانت المعادلة غير صحيحة، ولكنه لا يستطيع أن يخبرنا إنها صحيحة تمامًا. يمكن استخدام التحليل البعدي كاختبار سريع للكشف عن معادلة ما غير متأكد من صحتها. لنفترض على سبيل المثال أنك لا تتذكر فيما إذا كانت معادلة الزمن الدوري T لبندول (الزمن اللازم حتى يتأرجح ذهابًا وإيابًا مرة واحدة) بسيط طوله l هل هي $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ أم $T = 2\pi\sqrt{g/l}$ ؛ حيث g تسارع الجاذبية الأرضية وبعديتها مثل التسارع $[L/T^2]$. (سوف يتم اشتقاق المعادلة الصحيحة في (الفصل 11)، ولكن ما يهمنا الآن أنك لا تتذكر هل تشتمل على l/g او g/l)، يبين التحليل البعدي أن (l/g) هي الصحيحة كما يأتي:-

$$[T] = \sqrt{\frac{[L]}{[L/T^2]}} = \sqrt{[T^2]} = [T]$$

في حين أن (g/l) غير صحيحة؛ حيث إن:

$$[T] \neq \sqrt{\frac{[L/T^2]}{[L]}} = \sqrt{\frac{1}{[T^2]}} = \frac{1}{[T]}$$

لاحظ أن الثابت 2π ليس له أبعاد، وبذا لا يمكن اختبار بعديته.

ملخص

[تقدم الخلاصة التي في نهاية كل فصل من هذا الكتاب لمحة عامة ومختصرة عن الأفكار الرئيسة في الفصل. ولا يمكن أن تكون الخلاصة كافية لفهم المادة التي يمكن **تحقيقها** من خلال قراءة تفاصيل الفصل].

الفيزياء محاولة إبداعية مثل العلوم الأخرى؛ فهي ليست مجرد جمع للحقائق. تبتكر النظريات المهمة بهدف توضيح المشاهدات. وتقبل النظريات بعد أن يتم اختبارها من خلال مقارنة تنبؤاتها مع نتائج تجارب حقيقية؛ ولا يمكن على نحو عام إثبات النظرية بالمعنى المطلق.

في أغلب الأحيان، يبتكر العلماء نماذج للظواهر الفيزيائية، **فالنموذج** عبارة عن صورة ذهنية أو قياس تمثيلي يساعد على وصف الظواهر بدلالة شيء ما معروف مسبقًا. إن النظرية التي غالبًا ما تطوّر من نموذج هي أكثر عمقًا وتعقيدًا من النموذج البسيط.

القانون العلمي تعبير بسيط يوضع غالبًا على شكل معادلة تصف كمياً مجالاً واسعاً من الظواهر.

تؤدي **القياسات** دورًا حاسمًا في الفيزياء، ولكنها لا يمكن أن تكون دقيقة على نحو تام. إن من المهم التحديد في القياس، إما بتوضيحه مباشرة باستعمال الرمز $\pm$ و / أو الاحتفاظ فقط بالعدد الصحيح من الأرقام المعنوية.

تحدد **الكميات الفيزيائية** دائمًا بالنسبة إلى معيار معين أو وحدة قياس؛ حيث يجب دائمًا ذكر الوحدة المستعملة في القياس. إن الوحدات المستعملة حاليًا والمتفق عليها من قِبَل العلماء هي **وحدات النظام الدولي** (SI). وفي هذا النظام فإن الوحدة المعيارية للطول هي المتر، **وللكتلة الكيلو غرام**، وللزمن الثانية.

عند تحويل الوحدات يجب تدقيق معاملات التحويل جميعها حتى يكون اختصار الوحدات صحيحاً.

إن عمل تقريب مناسب **لتقدير** رتبة المقدار مفيد للغاية في العلوم وفي حياتنا اليومية كذلك.

[تشير أبعاد كمية ما إلى مجموعة الكميات الأساسية المكونة لها. فعلى سبيل المثال، فإن أبعاد السرعة هي: $\left[\frac{\text{الطول}}{\text{الزمن}}\right]$ أو $[L/T]$. إن تحليل الكميات المختلفة في علاقة رياضية بدلالة أبعادها فقط ***(نهج التحليل البعدي)*** يمكننا من الكشف عن صيغتها الصحيحة].

أسئلــة

1. ما ميزات وعيوب استعمال قدم شخص ما معيارًا؟ ناقش الحالتين: (أ) قدم شخص معين (ب) قدم أي شخص. تذكر أن من فوائد المعايير الأساسية أنه يمكن الوصول إليها (ومن ثمَّ سهولة المقارنة معها) وأنها ثابته (لا تتغير) وغير قابلة للإتلاف، ويمكن إعادة إنتاجها.
2. عندما تسافر على طريق سريع بين الجبال فربما تشاهد إشارات تدل على الارتفاع ((914 m (3000 ft). يدعي منتقدو النظام المتري أن مثل هذه الأعداد تبين أن النظام المتري كثير التعقيد. كيف تعدل مثل هذه الإشارات لكي تكون متوافقة مع التحوّل إلى النظام المتري؟
3. من الخطأ التفكير أنه كلما زاد عدد الأرقام التي تمثل إجابتك زادت دقتها، لماذا؟
4. ما الخطأ في إشارة الطريق الآتية Memphis 7 mi (11.263 km)؟
5. حتى يكون الحل كاملاً، فإنه من الضروري تحديد وحدات القياس، لماذا؟
6. ناقش كيف يمكن أن تستعمل فكرة التماثل لتقدير عدد الكرات الزجاجية التي في وعاء سعته لتر واحد.
7. قست نصف قطر دولاب فكان 4.16 cm، ولتحصل على قطر الدولاب؛ فقد ضربت نصف القطر في 2. فهل يجب أن تكتب النتيجة 8cm أم 8.32cm؟ برر إجابتك.
8. اكتب جيب الزاوية 30.0^o بحيث تحتوي إجابتك على العدد الصحيح فقط من الأرقام المعنوية.
9. تتطلب وصفة صنع السوفلية(حلوى فرنسية) أن تكون المكونات محددة بالضبط، أو أن السوفلية لن تنتفخ عند وضعها في الفرن. تحتاج إلى 6 بيضات كبيرة، وقد تتفاوت حجوم البيضات بمقدار 10% حسب مواصفات ما. ما الذي تفهمه من ذلك بخصوص الدقة المطلوبة في قياس المكونات الأخرى؟
10. اكتب قائمة بالافتراضات التي تفيدك في تحديد عدد ميكانيكيي السيارات في: (أ) سان فرانسيسكو (ب) مدينتك الأصلية، ثم أجرِ عملية التقدير.

مسائـل

[رتبت المسائل التي في نهاية كل فصل حسب درجة صعوبتها؛ I أو II أو III؛ حيث يمثل الرمز (I) المسائل التي تكون سهلة، أما المستوى III فيمثل المسائل التي تعني على نحو أساسي نوعاً من التحدي لأذكى الطلاب. ورتبت المسائل كذلك حسب البنود، وهذا يعني أن القارئ يجب أن يقرأ ذلك البند وما سبقه وليس البند فقط؛ حيث تعتمد المسائل في أغلب الأحيان على المادة السابقة. يشتمل كل فصل أيضًا على مسائل عامة لم ترتب حسب البنود ولم تحدد درجة صعوبتها].

1-4 القياس وعدم اليقين والأرقام المعنوية

(ملحوظة: افترض في المسائل جميعها أن عددًا ما مثل 6.4 دقيق لغاية 0.1 ±، والعدد الذي مثل 950 دقيق لغاية 10 ± إلا إذا ذكر أن هذا العدد دقيق أو قريب من 950 وفي هذه الحالة نفترض أنه 950 ± 1).

1. (I) يعتقد بأن عمر الكون حوالي 14 مليار سنة. اعتمد رقمين معنويين فقط واكتب هذا العدد بدلالة قوى العدد 10: (أ) بالسنوات (ب) بالثواني.
2. (I) كم عدد الأرقام المعنوية في كل عدد من الأعداد الآتية: (أ) 214، (ب) 81.60، (جـ) 7.03، (د) 0.03، (هـ) 0.0086، (و) 3236، (ز) 8700؟
3. (I) اكتب الأعداد الآتية بدلالة قوى العدد عشرة: (أ) 1.156، (ب) 21.8، (جـ) 0.0068، (د) 27.635، (هـ) 0.219، (و) 444.
4. (I) اكتب الأعداد الآتية بحيث تحتوي على العدد الصحيح من الأصفار: (أ) 8.69×10^4، (ب) 9.1×10^3، (جـ) 8.8×10^{-1}، (د) 4.76×10^2، (هـ) 3.62×10^{-5}.
5. (II) ما هي - تقريبًا - النسبة المئوية في عدم اليقين للقياس $1.57m^2$؟
6. (II) ما النسبة المئوية في عدم اليقين للقياس 3.76 ± 0.25 m؟
7. (II) يبلغ عدم اليقين في الحقب الزمنية التي تقاس بواسطة ساعة التوقيت حوالي 0.2 s، بسبب زمن رد الفعل البشري عند لحظات البدء والتوقف. ما النسبة المئوية في عدم اليقين لتوقيت ساعة اليد لكل قياس مما يأتي: (أ) 5 s، (ب) 50 s، (جـ) 5 min؟
8. (II) اجمع ما يأتي:
$$(9.2 \times 10^3\,s) + (8.3 \times 10^4\,s) + (0.008 \times 10^6\,s)$$
9. (II) جد حاصل ضرب 2.079×10^2 m في 0.082×10^{-1} آخذاً في الحسبان الأرقام المعنوية.
10. (III) ما مساحة دائرة نصف قطرها 3.8×10^4 cm؟ وما قيمة عدم اليقين تقريبًا فيها؟
11. (III) ما هي بالتقريب النسبة المئوية في عدم اليقين لحجم كرة الشاطئ الكروية التي نصف قطرها $r = 2.86 \pm 0.09$ m

5-1 الوحدات والمعايير والنظام الدولي للوحدات وتحويل الوحدات

12. (I) اكتب الأعداد الآتية أعدادًا عشرية كاملة بالوحدات المعيارية: (أ) 286.6 mm، (ب) 85 μV، (جـ) 760 mg، (د) 60.0 ps، (هـ) 22.5 fm (و) 2.50 gigavolts .
13. (I) اكتب ما يأتي مستخدمًا بادئات الوحدة التي في (الجدول 1-4): (أ) 1×10^6 v، (ب) 2×10^{-6} m، (جـ) 6×10^3 d، (د) 18×10^2 دولار، (هـ) 8×10^{-9} جزء.
14. (I) حدد طولك بالأمتار وكتلتك بالكيلوجرام.
15. (I) متوسط بعد الشمس عن الأرض يساوي 93 مليون ميل. كم يساوي هذا البعد بالأمتار؟ عبر عن ذلك مستخدمًا: (أ) قوى العدد عشرة (ب) بادئة مترية.
16. (II) ما معامل التحويل بين كل مما يأتي: (أ) ft^2, yd^2، (ب) m^2 , ft^2؟
17. (II) تسير طائرة بسرعة 950 km/h، كم تحتاج من الوقت لقطع مسافة 1.00 km.
18. (II) يبلغ قطر الذرة حوالي 1.0×10^{-10} m (أ) كم يساوي بالبوصات؟ (ب) كم - تقريبًا - عدد الذرات التي توجد في خط طوله 1.0-cm؟

19. (II) اكتب عملية الجمع الآتية مستخدمًا العدد الصحيح من الأرقام المعنوية: $1.80\ m + 142.5\ cm + 5.34 \times 10^5\ \mu m$.

20. (II) اكتب معامل التحويل بين كل من: (أ) km/h و mi/h، (ب) m/s و ft/s، (جـ) km/h و m/s.

21. (II) بكم يزيد سباق الميل طولا (نسبة مئوية) عن سباق 1500-m (" الميل المتري").

22. (II) السنة الضوئية هي المسافة التي يقطعها الضوء في سنة (بسرعة=2.998×10^8 m/s). (أ) كم مترًا في السنة الضوئية. (ب) الوحدة الفلكية (AU) هي متوسط المسافة من الشمس إلى الأرض، وتساوي 1.50×10^8 km وحدة فلكية توجد في السنة الضوئية؟ (جـ) ما سرعة الضوء بدلالة AU/h؟

23. (III) يبلغ قطر القمر 3480 km (أ) ما مساحة سطح القمر؟ (ب) بكم مرة مساحة سطح الأرض أكبر من مساحة سطح القمر؟

7-1 تقدير رتبة المقدار

(ملحوظة: عند عمل تقدير تقريبي تذكر أنك تحتاج فقط إلى تقريب الأعداد الداخلة في عملية الحساب والنتيجة النهائية).

24. (I) قدر رتبة المقدار (قوى العدد 10) لكل من: (أ) 2800 (ب) 86.30×10^2 (جـ) 0.0076 (د) 15.0×10^8.

25. (II) قدر عدد الكتب التي يمكن أن ترتب في رفوف مكتبة كلية مساحة فضاء أرضيتها $3500\ m^2$. افترض ارتفاع 8 رفوف تتسع للكتب من الجانبين، ووجود ممرات عرض كل منها 1.5 m. افترض كذلك أن متوسط حجم الكتب مثل حجم هذا الكتاب.

26. (II) قدر عدد الساعات التي يحتاج إليها عداء للعدو بمعدل (10 km/h) عبر الولايات المتحدة من نيويورك إلى كاليفورنيا.

27. (II) قدر الزمن الذي يحتاج إليه شخص لجز عشب ملعب كرة قدم مستعملاً آلة جزِّ العشب المنزلية (الشكل 1-13). افترض أن آلة جزِّ العشب تتحرك بسرعة 1 km/h وعرضها 0.5 m.

الشكل 1-13 (المسألة 27).

28. (II) قدر عدد لترات الماء التي يشربها الإنسان في حياته.

29. (II) اعمل تقديرًا تقريبيًا لحجم جسمك بوحدة cm^3.

30. (II) اعمل تقديرًا تقريبيًا لحساب النسبة المئوية للمساحة التي تشغلها النوافذ من مساحة الجدران الخارجية لأحد المنازل التي في ضاحيتك.

31. (III) يدخل مطاط الإطارات التالفة إلى الغلاف الجوي كتلوث جزيئي. قدر كمية المطاط (بالكيلوجرام) التي تدخل في الهواء في الولايات المتحدة كل سنة. افترض أن سمك مطاط الإطار الجديد 1cm، وكثافة المطاط حوالي $1200\ kg/m^3$.

* 8-1 الأبعاد

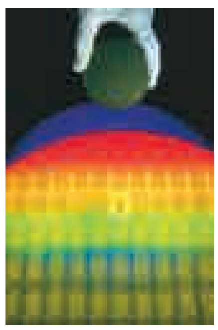
* **32.** (II) تعطى سرعة جسم ما بالمعادلة $v = At^3 - Bt$؛ حيث يمثل الرمز t الزمن. ما أبعاد كل من A و B.

* **33.** (II) قام ثلاثة طلاب باشتقاق المعادلات الآتية: (أ) $x = vt^2 + 2at$ (ب) $x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ (جـ) $x = v_0 t + 2at^2$ حيث x تمثل المسافة المقطوعة، v_0 السرعة الابتدائية عندما $t = 0$، v سرعة الجسم بعد مرور الزمن t على حركته، a التسارع (m/s^2). أي من هذه المعادلات قد تكون صحيحة حسب اختبار البعدية؟

مسائل عامة

34. تستعمل الأقمار الصناعية العالمية لتحديد المواقع (GPS) بدقة كبيرة. يعمل هذا النظام على تحديد المسافة بين المراقب وكل قمر من عدة أقمار تدور حول الأرض. إذا كانت المسافة بينك وبين أحد الأقمار 20,000 km، فما النسبة المئوية المطلوبة للدقة في المسافة إذا أردنا أن يكون عدم التحديد 2 m. كم عدد الأرقام المعنوية التي نحتاج إليها في المسافة؟

35. تحفر شرائح الحاسوب (الشكل 1-14) على رقاقات دائرية من السيليكون سمكها 0.60 mm جُزئت من أسطوانة مصمتة من بلورة السيليكون طولها 30 cm. إذا كانت كل رقاقة تتسع 100 شريحة، فما أقصى عدد من الشرائح التي يمكن إنتاجها من أسطوانة كاملة؟



الشكل **1 - 14** (المسألة 35). الرقاقة التي تمسكها اليد في أعلى الصورة تبين في الأسفل مكبرة ومضاءة بواسطة ضوء ملون. الجزء المرئي يمثل صفوفًا من الدارات المتكاملة (شرائح).

36. (أ) كم ثانية في السنة؟ (ب) كم نانو ثانية في السنة؟ (جـ) كم سنة في الثانية؟

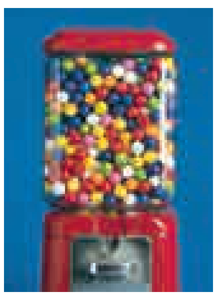
37. تحتوي رئة الإنسان البالغ على حوالي 300 مليون فجوة صغيرة جدًا تسمى حويصلات. قدر متوسط قطر الحويصلة الواحدة.

38. يعرف الهكتار الواحد على أنه يساوي $10^4\ m^2$، والفدان الواحد يساوي $4 \times 10^4\ ft^2$. كم فدانًا في الهكتار الواحد؟

39. استعمل (الجدول 1-3) لتقدير مجموع عدد البروتونات أو النيوترونات في: (أ) البكتيريا (ب) جزيء DNA (جـ) جسم الإنسان (د) مجرتنا.

40. قدر العدد الكلي لجالونات البنزين التي تستهلك سنويًا من مجموع سائقي السيارات في الولايات المتحدة.

41. قدر عدد كرات العلكة الموجودة في المكنة المبينة في (الشكل 1-15).



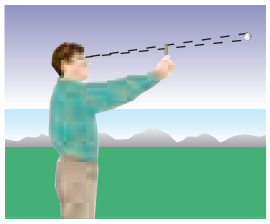
الشكل **1-15** (المسألة 41).
قدر عدد كرات العلكة الموجودة في المكنة.

42. تستعمل العائلة المكونة في المتوسط من أربعة أفراد $1200\ \mathrm{L}$ من الماء تقريبًا في اليوم. كم تفقد بحيرة تغطي مساحة منتظمة تبلغ $50\ \mathrm{km}^2$ من عمقها في السنة عندما تزود الماء لبلدة عدد سكانها 40,000 نسمة؟ اعتبر فقط استعمال السكان للماء، وأهمل التبخر وغيره.

43. ما كبر الطن؛ أي ما حجم شيء ما وزنه طن واحد؟ قدر قطر صخرة وزنها طن. قبل كل شيء، خمن أبعاد الصخرة، هل تكون $1\ \mathrm{ft}$ في $3\ \mathrm{ft}$ أم أن حجمها مثل السيارة؟ [تلميح: كتلة الصخرة لكل وحدة حجم تساوي 3 أضعاف ذاك الذي للماء، والذي بالطبع يساوي $1\mathrm{kg}$ لكل لتر ($10^3\ \mathrm{cm}^3$) أو $62\ \mathrm{lb}$ لكل قدم مكعب].

44. هطل المطر على مدينة طولها $8\ \mathrm{km}$ وعرضها $5\ \mathrm{km}$ نتيجة لعاصفة مطرية قوية، فكان معدله $1.0\ \mathrm{cm}$ خلال $2\ \mathrm{h}$. كم طنًا متريًا (1 طن متري $= 10^3\ \mathrm{kg}$) من الماء هطل على المدينة ؟ [كتلة $1\ \mathrm{cm}^3$ من الماء تساوي $1\ \mathrm{gram} = 10^{-3}\ \mathrm{kg}$] كم جالونًا من الماء تساوي هذه الكمية؟

45. أمسك قلم رصاص أمام عينيك، ثمّ اجعله في موقع ما بحيث إن طرف الثلم يحجب القمر فقط (الشكل 1-16). اعمل القياسات المناسبة لتقدير قطر القمر، مع العلم أن المسافة بين الأرض والقمر تساوي $3.8 \times 10^5\ \mathrm{km}$.



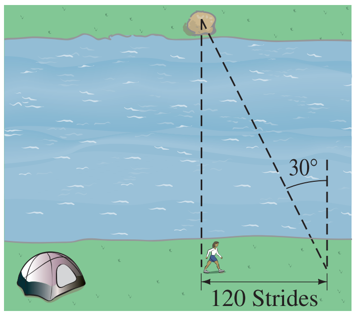
الشكل **1-16** (المسألة 45).
كم حجم القمر؟

46. قدر عدد الأيام التي تحتاج إليها كي تمشي حول العالم. افترض أنك تمشي في اليوم $10\ \mathrm{h}$ وبسرعة $4\ \mathrm{km/h}$.

47. كانت أبعاد السفينة التي بناها سيدنا نوح عليه السلام كما يأتي: طولها 300 ذراع، وعرضها 50 ذراعًا، وارتفاعها 30 ذراعًا؛ حيث كان الذراع يستخدم كوحدة قياس تساوي طول ساعد الإنسان؛ أي من الكوع وحتى رأس أطول إصبع في اليد. عبّر عن أبعاد السفينة بالأمتار، ثم قدّر حجمها. بوحدة m^3.

48. سكب لتر من الزيت في بحيرة راكدة. فإذا انتشر الزيت على نحو منتظم حتى كوّن بقعة زيت سماكتها جزيء واحد والجزيئات المتجاورة فيها تلامس بعضها فقط. قدّر قطر بقعة الزيت. افترض أن قطر جزيء الزيت يساوي $2 \times 10^{-10}\ \mathrm{m}$.

49. تخيم جين بجانب نهر عريض وتساءلت: كم يبلغ عرضه؟ حددت عموديًا صخرة كبيرة تقابلها مباشرة على الضفة الأخرى للنهر. ثم مشت عكس جريان الماء وقدرت أن الزاوية بينها وبين الصخرة التي ما زالت تراها بوضوح تساوي 30° باتجاه جريان الماء. (الشكل 1-17). كذلك قدرت جين أن طول خطوتها الواسعة تقريبًا ياردة واحدة، وأن المسافة التي تقطعها حتى تعود إلى المخيّم تساوي 120 خطوة. كم مترًا عرض النهر؟ وكم عرضه بالياردة؟



الشكل **1-17**
(المسألة 49)

50. يدعي صانع ساعات أن الساعة التي يصنعها لا تقدم أو تؤخر أكثر من 8 ثوانٍ في السنة. كم دقة هذه الساعة؟ عبر عن ذلك بالنسبة المئوية.

51. يبلغ قطر القمر $3480\ \mathrm{km}$، ما حجمه؟ وكم قمرًا مثله تحتاج حتى يساوي حجمها حجم الأرض؟

52. الإنجستروم (ويرمز إليه Å) وحدة طول تساوي $10^{-10}\ \mathrm{m}$، وهي رتبة المقدار نفسها التي للذرة. (أ) كم نانو مترًا يوجد في 1.0 إنجستروم؟ (ب) كم فيمتو مترا أو فيرميًا (وحدة طول شائعة الاستعمال في الفيزياء النووية) يوجد في 1.0 إنجستروم؟ كم إنجسترومًا يوجد في السنة الضوئية (انظر المسألة 22)؟

53. حدد النسبة المئوية في عدم اليقين للزاوية θ و جا θ وذلك عندما:

(أ) $\theta = 15.0^\circ \pm 0.5^\circ$

(ب) $\theta = 75.0^\circ \pm 0.5^\circ$

54. إذا بدأت بالمشي على طول أحد خطوط الطول للأرض، ثم مشيت حتى غيرت خط العرض بدقيقة واحدة من طول القوس (هناك 60 دقيقة في كل درجة)، فكم ميلاً سرت؟ تسمى هذه المسافة الميلَ البحري.

إجابات التمارين

(أ): د

(ب): لا: 3 ، 2

(جـ): كل عدد من الأعداد يحتوي على ثلاثة أرقام معنوية بالرغم من أن عدد المنازل العشرية أ- 2 ب- 3 جـ 4

(د): $28{,}251\mathrm{ft}, 29{,}035\mathrm{ft}$، $28{,}169\ \mathrm{ft}$ على الترتيب.

(هـ): لا: $15\ \mathrm{m/s} \approx 34\ \mathrm{mi/h}$