1 Chapter One الباب الأول

Physics and Physical Quantities الفيزياء والكميات الفيزيائية

1-1: Introduction مقدمة

الفيزياء كلمة يونانية الأصل معناها معرفة الطبيعة، ولذلك فهي علم يسعى لدراسة الكون بما فيه من مادة matter وطاقة energy، وتفاعلاتهما، وما ينتج عن ذلك من ظواهر متكررة. ويعتمد علم الفيزياء في مسعاه على الملاحظة والتجربة والتفكير النظري بهدف صياغة نظريات تساعد في فهم مكونات هذا الكون وتفسير سلوك هذه المكونات ومحاولة التحكم من أصغر جزء في الكون مثل مكونات نواة الذّرة إلى الأجرام السماوية والمجرات، فعلى سبيل المثال، أدى فهم طبيعة الكهرباء والمغناطيسية والعلاقة بينهما إلى إنتاج العديد من الأجهزة مثل المحركات الكهربائية والمولدات الكهربائية وأدوات الإنارة وأجهزة الاتصالات، وكذلك أدت نظرية ميكانيكا الكم التي ساعدت في فهم وتفسير سلوك مكونات الذّرة إلى إنتاج المجهر الإلكتروني والأجهزة المساعدة في التشخيصات الطبية.

وتعد الفيزياء من حيث الأهمية أحد أهم العلوم الأساسية، فالأفكار والمفاهيم التي تقدمها الفيزياء ضرورية لكافة تخصصات العلوم والهندسة والتكنولوجيا، فأساسيات هذه التخصصات تؤخذ من المبادئ الأولية الأساسية لعلم الفيزياء، ولذلك ترى مقرر أساسيات الفيزياء في الدراسة الجامعية في فرعي العلوم والهندسة أول مقرر يدرسه الطالب، فهو يشكل الأساس المعرفي والسلوك العلمي للعديد من مقررات الفيزياء والهندسة اللاحقة. وتعد الفيزياء من حيث الأهمية أيضاً أنها تقدم إجابات مقنعة للتساؤلات التي يبديها الإنسان العادي غير المتخصص في فهم الظواهر والأحداث التي يشاهدها في حياته اليومية أو الأطول من اليومية، أو فهم طبيعة عمل الأجهزة التي يستعملها في حياته، فهذا العلم وثيق الصلة بحياة الناس، فكل ظاهرة نشاهدها في الطبيعة يرتبط فهمها وتفسيرها بالفيزياء، وكل منتج تكنولوجي نستعمله في حياتنا وفي أعمالنا يرتبط وجوده بعلم الفيزياء أيضاً.

الشكل (1-1) مجموعة من الصور تبين ما قدمه علم الفيزياء من أفكار للإنسانية.

ينقسم مجال عمل الفيزياء إلى مجالين هما الفيزياء الكلاسيكية، والفيزياء الحديثة. الفيزياء الكلاسيكية تدرس المادة والطاقة وتفاعلاتهما على المستوى الجاهري، وتدرس أيضاً حركة الأجسام المادية بسرعات معتدلة أقل بكثير جداً من سرعة الضوء، وتشتمل على مواضيع مثل دراسة حركة الأجسام الصلبة، والسائلة، ودراسة طبيعة الصوت وسلوكه، وسلوك الضوء الظاهري، والكهرباء والمغناطيسية، والحرارة.

أما الفيزياء الحديثة، فتتضمن نظريتين، هما نظرية فيزياء الكم، والنظرية النسبية. تدرس نظرية فيزياء الكم المادة والطاقة وتفاعلاتهما على المستوى المجهري مثل حركة الالكترونات، التركيب الذري، والجسيمات الأولية، والفيزياء النووية. بينما تدرس النظرية النسبية المادة والطاقة وتفاعلاتهما عندما يتعلق الأمر بحركة الأجسام بسرعات قريبة من سرعة الضوء.

2-1:الكميات الفيزيائية Physical Quantities

يتطلب العمل مع الفيزياء تطبيق الطرق العلمية لدراسة الظاهرة الطبيعية. فإذا كان العامل باحثا، فإن الأمر يتطلب منه أن يقوم أولاً بالملاحظة، ثم يقوم بوضع الفرضيات المناسبة، ثم اختبارها تجريبياً؛ أو وضع نموذجاً تصوريا للتأكد من صحتها، ثم الإعلان عن الحقائق العلمية وصياغة القوانين والنظريات التي تحكم سلوك الظاهرة. أما إذا كان العامل طالباً، فإن الأمر يتطلب منه أولاً أن يقوم بالملاحظة، ثم اختيار النموذج المناسب؛ أو اختيار النظرية

D.K.ALKHALED

والقوانين المناسبة لتطبيقهما على الملاحظات المسجلة من أجل إيجاد نتائج صحيحة للمسألة المعروضة عليه.

إن أول عمل نقوم فيه في عملية الملاحظة هو أخذ القياسات الكمية المتكونة من أرقام، أو من أرقام ووحدات لوصف الظاهرة المدروسة. إن أي شيء يمكن أن يقاس بإعطائه رقماً، أو رقماً ووحدة نسميه في الفيزياء كمية فيزيائية. فالمسافة والكتلة والزمن والحجم والسرعة والشحنة الكهربائية والقوة ومعامل الاحتكاك ومعامل الانكسار كلها كميات فيزيائية. بعض الكميات الفيزيائية تعد أساسية وتشكل عوامل مميزة للأجسام بحيث نستطيع وصفها بصورة طبيعية، ونقيسها بمقارنتها بوحدات قياس نسميها وحدات قياس أساسية. والبعض الآخر لا نستطيع وصفها وقياسها إلا بواسطة أكثر من وحدة قياس أساسية، وهذه الكميات نسميها كميات فيزيائية مشتقة، ووحداتها نسميها وحدات مشتقة، وهذه التسمية جاءت اعتماداً على أن تلك الكميات صيغت بقوانين فيزيائية على شكل علاقات رياضية تربط ما بين كميات فيزيائية أساسية لتفسير سلوك الظواهر الطبيعية.

وقد تم اعتماد سبع كميات تشكل كميات أساسية في الفيزياء حسب النظام العالمي للوحدات أو **النظام الدولي** للوحدات SI units , وهذه الكميات مبينة في الجدول (1-1).

جدول (1-1) الوحدات الأساسية في النظام الدولي للوحدات

الكمية	الوحدة	رمز الوحدة
الطول Length	متر meter	m
الزمن Time	ثانية second	s
الكتلة (كمية المادة بالكيلوغرام) Mass (Amount of Matter)*	كيلوغرام kilogram	kg
التيار الكهربائي Electric current	أمبير amper	A
درجة الحرارة Temperature	كلفن Kelvin	K
كمية المادة بالمول Amount of substance (mole)	مول mole	mol
شدة الإضاءة Luminous intensity	شمعة candela	cd

* حاول أن تعرف الفرق في معاني الكلمات matter و material و substance

* عندما تكون القياسات على المستوى الذري، أو الجزيئي فإن الوحدة المستعملة في قياس الكتلة هي وحدة الكتل الذرية (و.ك.ذ), atomic mass unit (u)

$1u=1.6605\times10^{-27}$ kg

نلاحظ من الجدول أن التيار الكهربائي من ضمن قائمة الكميات الأساسية مع أننا نعرف أن التيار يساوي المعدل الزمني لتغير الشحنة الكهربائية, والمفروض أن تكون الشحنة الكهربائية من

D.K.ALKHALED

ضمن القائمة بدلاً عن التيار الكهربائي. ولكن خبراء النظام العالمي اعتمدوا التيار الكهربائي نظراً لأهمية استعماله وسهولة قياسه.

في هذا الكتاب سنكون معنيين بهذا النظام، وبثلاث كميات أساسية منه هي الطول l لقياس المسافة ووحدة قياسه هي المتر m ، والكتلة m ووحدة قياسها هي الكيلوغرام كغم kg ، والزمن t ووحدة قياسه هي الثانية s. ويرمز لهذا النظام في بعض الأحيان بالرمز mks - system. وتنبع أهمية هذا النظام كونه يستعمل النظام العشري لقياس الطول والكتلة، فالنظام العشري يسهل عملية الحسابات لاستخدامه الصيغة الأسية للرقم عشرة للتعبير عن الأرقام، ويعمل على تسهيل تغيير الوحدة الكبيرة إلى صغيرة؛ أو الصغيرة إلى كبيرة. وإضافة إلى ذلك فهو يستعمل ألفاظاً أو حروفاً مختصرة تسمى بادئات للدلالة على الأرقام الصغيرة؛ أو الكبيرة كما هو مبين في الجدول (1-2).

يوجد نظامين آخرين لقياس تلك الكميات هما **النظام الجاوسي Gaussian** وهو يستعمل وحدات القياس الفرعية الأصغر للطول والكتلة ويرمز له بالرمز cgs - system حيث c تشير إلى السنتيمتر cm ، و g تشير إلى الغرام. **والنظام الهندسي البريطاني British engineering system**، وهذا النظام يستعمل وحدة القدم foot (ft) لقياس الطول، ووحدة السلاق slug لقياس الكتلة، أو الباوند pound لقياس القوة. والجدول (1-3) يبين بعض وحدات النظام البريطاني وما يقابلها في النظام العالمي لاستخدامها في عملية التحويلات.

جدول (1-2) بعض بادئات النظام العالمي للصيغة الأسية للرقم عشرة مع أمثلة توضيحية.

الرقم	الصيغة الأسية	البادئة واختصارها	مثال
0.000000000001	10^{-12}	pico p بيكو	1PF=1picofarad=10^{-12} farad
0. 000000001	10^{-9}	nano n نانو	1ns=1nanosecond=10^{-9} sec
0. 000001	10^{-6}	micro µ ميكرو	1µA=1microamper=10^{-6} A
0. 001	10^{-3}	milli m ملي	1mm=1millimeter=10^{-3} m
0. 01	10^{-2}	centi c سنتي	1cm=1centimeter=10^{-2} m
1000	10^{3}	kilo k كيلو	1kg=1kilogram=10^{3}grams(g)
1000000	10^{6}	mega M ميغا	1MW=1megawatt=10^{6}watts
1000000000	10^{9}	giga G غيغا	1GHz=1gigaHertz=10^{9} Hz
1000000000000	10^{12}	tera T تيرا	1THz=1teraHertz=10^{6}Hz

مشروع عربي لوضع تعليمية لمواضيع أساسيات فيزياء ٢٠١ Physics 101 (محتوى عربي مع برمجيات تعليمية باللغتين العربية والإنجليزية)

الجدول (1-3) بعض وحدات النظام البريطاني وما يقابلها في النظام العالمي

الوحدة في النظام البريطاني		علاقة الوحدات ببعضها	ما يقابلها في النظام العالمي
البوصة	inche (in)		1in=2.54cm
القدم	foot (ft)	1ft=12in	1ft=30.45cm
الياردة	yard (yr)	1yr=3ft	1yr=91.44cm
الميل	mile (mi)	1mi=1760yr	1mi=1.6093km
الأونصة*	ounce (oz)		1oz≡28.35gram
الباوند*	pound(lb)	1lb=16oz	1lb≡453.6gram
السلاق*	slug	1slug≡32.2lb	1slug=14.6kg

* يجب الانتباه إلى أن الأونصة والباوند وحدتي وزن, أما السلاق فهو وحدة كتلة.

الإشارة ≡ تعني تكافئ

إن الكميات الأساسية التي نستخدمها في علم الميكانيكا هي الكتلة، والطول، والزمن. فهذه الكميات تشكل وعينا وإحساسنا بالحركة.

يوجد في الفيزياء بعض الكميات لها وحدات مكونة من الوحدات الأساسية ولكنها تشتهر بأسماء خاصة ، ومثال على هذه الكميات الطاقة energy ووحدتها $kg.m^2/s^2$ ولكنها تشتهر بوحدة خاصة هي الجول joule وتختصر بالحرف J . والجدول (1-4) يبين بعض الكميات الفيزيائية التي تشتهر بأسماء خاصة.

الجدول (1-4) بعض الكميات الفيزيائية التي تشتهر بوحدات خاصة.

الكمية	الوحدة	الوحدة الخاصة ورمزها
الطاقة energy	$kg.m^2/s^2$	Joule (J)
القوة force	$kg.m/s^2$ (in mks-system) $g.cm/s^2$ (in cgs-system)	newton (N) in mks-system dyne in cgs- system
التردد frequency	cycles/s	hertz (Hz) هيرتز
القدرة power	$J/s= kg.m^2/s^3$	watt (W)
الشحنة charge	A.s	coulomb (C) كولوم
اللزوجة viscosity	$dyne.s/cm^2$ in cgs- system	poise (P) in cgs- system (بواز)
الضغط pressure	N/m^2 in mks-system	Pascal (Pa) in mks-system (باسكال)

D.K.ALKHALED

3-1:تحويل الوحدات Converting Units

يتطلب في بعض الأحيان تحويل الوحدات من نظام إلى نظام آخر، أو من وحدات صغيرة إلى وحدات كبيرة أو العكس في نفس النظام. إن تحويل الوحدات يُعد من الأولويات الاستراتيجية لحل المسألة. ويتم التحويل ببساطة على اعتبار أن أي رقم؛ أو أي تعبير رياضي يمكن أن نضربه بمعامل ضرب يساوي واحد دون أن تتغير قيمته. معامل الضرب يسمى معامل تحويل الوحدة unit factor أو conversion factor ويكون اختياره حسب طبيعة التحويل. فعلى سبيل المثال:

$$1\text{inch} = 2.54\,\text{cm}$$

$$\text{conversion factor or unit factor} = \frac{1\,\text{inch}}{2.54\,\text{cm}} = \frac{2.54\,\text{cm}}{1\,\text{inch}}$$

Physics 101 فيزياء

$$1\text{m} = 1000\,\text{mm}$$

$$\text{unit factor} = \frac{1\,\text{m}}{1000\,\text{mm}} = \frac{1000\,\text{mm}}{1\,\text{m}}$$

وهنا لا بد من الإشارة إلى أننا نستطيع التعامل مع الوحدات على أنها كميات جبرية نستطيع اختصارها بالحذف لنحصل في النهاية على المقدار والوحدة المناسبتين. وتتم عملية التحويل بكتابة الكمية المراد تحويلها ثم إشارة = ثم الكمية المراد تحويلها مرة أخرى ثم إشارة الضرب ثم معامل التحويل أو عدة معاملات تحويل مناسبة بحيث نستطيع اختصارها لنحصل في النهاية على المقدار والوحدة المناسبتين.

Examples 1 change the following measurements: 6.5 km to mm. 2.5mm to cm. 4.7mm to m.	**مثال 1** حول القياسات التالية: 6.5 km to mm. 2.5mm to cm. 4.7mm to m.

$$6.5\,\text{km} = 6.5\,\text{km} \times \frac{1000\,\text{m}}{1\,\text{km}} \times \frac{1000\,\text{mm}}{1\,\text{m}} = 6.5 \times 10^{6}\,\text{mm}.$$

$$2.5\,\text{mm} = 2.5\,\text{mm} \times \frac{1\,\text{cm}}{10\,\text{mm}} = 0.25\,\text{cm}.$$

$$4.7\,\text{mm} = 4.7\,\text{mm} \times \frac{1\,\text{m}}{1000\,\text{mm}} = 4.7 \times 10^{-3}\,\text{m}$$

Examples 2 change the following measurements: 6.0 in to centimeters. 2.4 ft to inches. 4.7m to feet.	**مثال 2** حول القياسات التالية: 6.0 in to centimeters. 2.4 ft to inches. 4.7m to feet.

$$6.00\,\text{in} = 6.00\,\text{in} \times \frac{2.54\,\text{cm}}{1\,\text{in}} = 15.2\,\text{cm}$$

$$2.4\ \text{ft} = 2.4\ \text{ft} \times \frac{12\,\text{in}}{1\,\text{ft}} = 29\,\text{in}$$

$$4.70\,\text{m} = 4.70\,\text{m} \times \frac{100\,\text{cm}}{1\,\text{m}} \times \frac{1\,\text{in}}{2.54\,\text{cm}} \times \frac{1\,\text{ft}}{12\,\text{in}} = 15.4\,\text{ft}$$

D.K.ALKHALED

Examples 3 If the posted speed limit is 90 km/hr. What is this speed (a) in meters per second m/s and (b) in mi/hr.

مثال 3 إذا كانت إشارة السرعة القصوى على الطريق تساوي 90 km/hr ما مقدار هذه السرعة بوحدة (أ) m/s. (ب) mile/hr.

(a) (أ)

$$90\,\text{km/hr} = \frac{90\,\text{km}}{1\,\text{hr}} \times \frac{1000\,\text{m}}{1\,\text{km}} \times \frac{1\,\text{hr}}{3600\,\text{s}}$$
$$= 25\,\text{m/s}$$

(b) (ب)

$$90\,\text{km/hr} = \frac{90\,\text{km}}{1\,\text{hr}} \times \frac{1\,\text{mi}}{1.6\,\text{km}}$$
$$= 56\,\text{mi/hr}$$

Examples 4 The density of mercury is 13.6g/cm^3 in cgs-system. What is The density of mercury in mks-system.

مثال 4 إن كثافة الزئبق ρ_{Hg} تساوي $13.6\ \text{g/cm}^3$ حسب النظام cgs. ماهي كثافة الزئبق حسب النظام mks .

$$\rho_{Hg} = \frac{13.6\,\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{(100\,\text{cm})^3}{(1\text{m})^3} \times \frac{1\text{kg}}{1000\,\text{g}}$$
$$= \frac{13.6\,\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{1\times10^6\,\text{cm}^3}{1\text{m}^3} \times \frac{1\text{kg}}{1000\,\text{g}}$$
$$= 1.36\times10^4\,\text{kg/m}^3$$

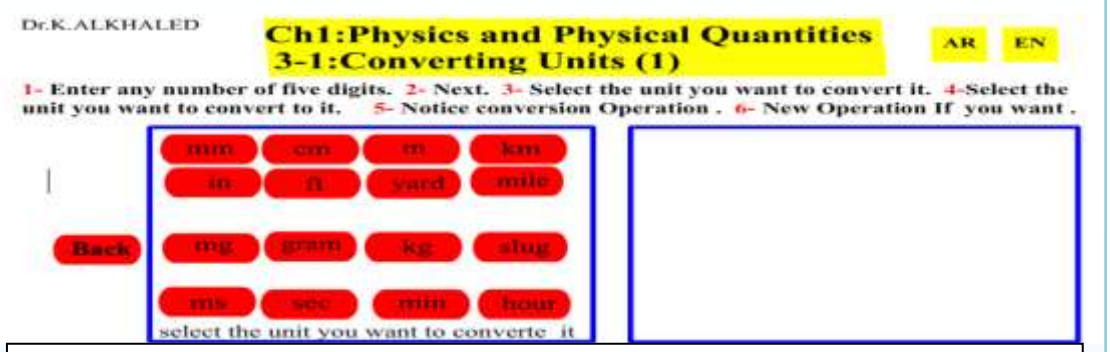
D.K.ALKHALED

لمزيدٍ من عمليات التحويل، ندعوكم للرجوع إلى البرمجية الأولى والبرمجية الثانية بالنقر على أي منهما.

البرمجية الأولى بعنوان: تحويل الوحدات (1) converting units .

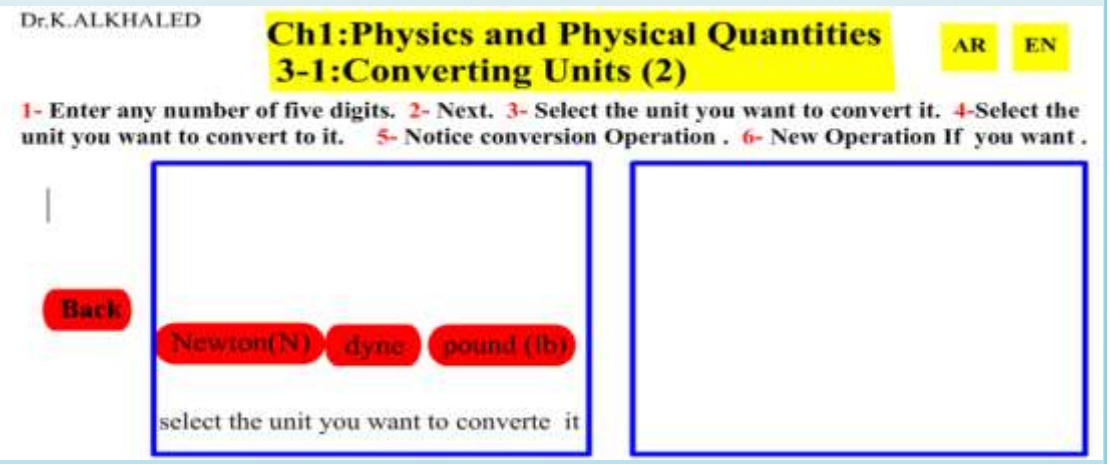
البرمجية الأولى بعنوان: تحويل الوحدات (2) converting units .

صورة عن واجهة البرمجية الأولى وهي بعنوان تحويل الوحدات (1) **converting units**



وهذه الواجهة تظهر بعد أن تدخل الرقم الذي ترغب به حسب التعليمة ١. المطلوب منك من خلال هذه الواجهة وحدة للرقم تختارها من القائمة الظاهرة أمامك. في اللحظة التي تختار فيها وحدة من هذه القائمة تظهر لك قائمة أخرى في المربع الأزرق المجاور والمطلوب منك أن تختار منها وحدة ترغب بالتحويل إليها وبهذا تكون عملية التحويل قد انتهت، ولكن عليك عزيزي الطالب أن تفكر بمعامل التحويل. فهذه البرمجية تعد آلة حاسبة تسهل عليك حساب تحويل القياسات، وفي نفس الوقت تهدف إلى أن تعلمك معامل التحويل وكيفية التحويل. وحتى تتقن عملية التحويل تحقق من الحسابات بنفسك. توجد في البرمجية بعض التحويلات لا يحتاجها الطالب، أو قد تكون غير مهمة.

صورة عن واجهة البرمجية الثانية وهي بعنوان تحويل اوحدات (2) **converting units**



وهذه الواجهة تظهر بعد أن تدخل الرقم الذي ترغب به حسب التعليمة ١. المطلوب منك من خلال هذه الواجهة وحدة للرقم تختارها من القائمة الظاهرة أمامك. في اللحظة التي تختار فيها وحدة من هذه القائمة تظهر لك قائمة أخرى في المربع الأزرق المجاور والمطلوب منك أن تختار منها وحدة ترغب بالتحويل إليها وبهذا تكون عملية التحويل قد انتهت، ولكن عليك عزيزي الطالب أن تفكر بمعامل التحويل. فهذه البرمجية تعد آلة حاسبة تسهل عليك حساب تحويل القياسات، وفي نفس الوقت تهدف إلى أن تعلمك معامل التحويل وكيفية التحويل. وحتى تتقن عملية التحويل تحقق من الحسابات بنفسك.

4-1:الأبعاد والتحليل البعدي Dimensions and Dimensional Analysis

كلمة بعد Dimension لها معنى خاص في الفيزياء، وقد يختلف عن معناها في اللغة المتداولة بين الناس، ومعناها هنا له علاقة بالكميات الفيزيائية، فالكمية الفيزيائية التي نصفها برقم ووحدة قياس نسميها كمية فيزيائية بعدية، Dimensional Physical Quantity بغض النظر عن نظام القياس المستخدم، فالمسافة إذا قيست بوحدة القدم؛ أو المتر؛ أو السنتيمتر تبقى مسافة وبعدها هو الطول، ونرمز له بالرمز L. وكذلك الأمر بالنسبة للكتلة m حيث تبقى كتلة بغض النظر إن قيست بالغرام أم بالكيلوغرام أم بالسلاق، ونرمز لبعدها بالرمز M. أما الزمن t إن قيس بالثانية أم بالساعة يبقى زمن، ونرمز لبعده بالرمز T . وكما ينطبق هذا الكلام على الكميات الأساسية، فإنه ينطبق على الكميات المشتقة حتى وإن كانت المعادلة مختلفة في حالات كثيرة. فعلى سبيل المثال تكون مساحة مثلث قاعدته b وارتفاعه h $A=\frac{1}{2}bh$. بينما دائرة نصف قطرها r تكون مساحتها $A=\pi r^2$. إن المعادلتين مختلفتين، ولكن بعد المساحة يبقى في الحالتين مربع بعد الطول، أو L^2 .

أما الكمية الفيزيائية التي نصفها برقم دون وحدة قياس فنسميها كمية فيزيائية غير بعدية Dimensionless Physical Quantity, وتكون هذه الكمية غير قابلة للتحويل من نظام وحدات إلى نظام آخر, وحتى في النظام العالمي لا يمكن أن يكون لها مضاعفات أو أجزاء, وهذه الكميات تكون ناتجة عن النسبة بين كميتين لهما نفس البعد ونفس الوحدة, مثل معامل الاحتكاك, ومعامل الانكسار, وقيم النسب المثلثية.

Physics 101
فيزياء
(محتوى عربي مع برمجيات تعليمية باللغتين العربية والإنجليزية)
الدكتور خالد محمود الخالد

التحليل البعدي

يفيدنا وصف الكميات الفيزيائية بطريقة الأبعاد إلى التأكد من صحة العلاقات الفيزيائية الرياضية التي تربط ما بين الكميات الفيزيائية المختلفة. فعلماء الفيزياء يؤكدون أن قوانين الفيزياء تمتلك بنية ثابتة مستقلة تماماً عن نظم القياس التي يستخدمها الملاحظ، **أي إن الكميات الفيزيائية على جهتي المعادلة يجب أن يكون لها نفس الأبعاد، ونفس وحدات النظام الواحد، ونفس أجزاء الوحدات المستعملة، وهذا يعني تحويل الوحدات على جانبي المعادلة لكي تكون متطابقة**. وتجدر الإشارة إلى أن استعمال تحليل الأبعاد هذا لا يشكل دليلاً على صحة القوانين الفيزيائية، وإنما يشكل دليلاً على صحة التأكد من القوانين الفيزيائية، فالتأكد من صحة القوانين الفيزيائية مسؤولية التحليل الرياضي أولاً.

D.K.ALKHALED

لقد تم الاتفاق على استعمال القوسين[ ] للإشارة إلى بعد الكمية الفيزيائية في عملية التحليل البعدي، فبعد الكتلة m هو M ويكتب على الصورة $[m]=\mathrm{M}$. وبعد الزمن t هو T ويكتب على الصورة $[t]=\mathrm{T}$. وبعد المساحة هو مربع بعد المسافة؛ أو L^2 ، ويكتب على الصورة $[A]=\mathrm{L}^2$. وبعد السرعة هو بعد مسافة مقسوماً على بعد زمن، ويكتب على الصورة $[v]=\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{T}}$، وهكذا على بقية الكميات الفيزيائية البعدية. والجدول (1-5) يبين وحدة وأبعاد بعض الكميات الفيزيائية.

الجدول (1-5) وحدة وأبعاد بعض الكميات الفيزيائية.

الكمية	الوحدة Unit	الأبعاد Dimensions
السرعة velocity	m/s	L/T
التسارع acceleration	m/s^2	L/T^2
القوة force	(N) or $kg.m/s^2$ (in mks-system) (Dyne) or $g.cm/s^2$ (in cgs-system)	ML/T^2
المساحة area	m^2	L^2
الحجم volume	m^3	L^3
الكثافة Density	Kg/m^3	M/L^3
التردد frequency	hertz or (cycles/s Hz)	1/T
الطاقة energy	Joule(J) or $kg.m^2/s^2$ (in mks-system)	ML^2/T^2
القدرة power	watt (W) =J/s or $kg.m^2/s^3$	ML^2/T^3

D.K.ALKHALED

مثال 1 سرعة سيارة لجسم ما أعطيت بالمعادلة $v = At^3 + Bt$ حيث t ترمز للزمن. (أ) ما هو بعد A وما هي وحدة A حسب النظام العالمي؟	**Examples 1** The speed v of an object is given by the equation $v = At^3 + Bt$,where t refers to time. What are the dimensions and SI unit of A?

من المعادلة $v = At^3 + Bt$ نستنتج أن بعد At^3 يجب أن يساوي بعد v

$$[v] = [At^3] = \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{T}}$$

$$[A]\mathrm{T}^3 = \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{T}}$$

وبترتيب المعادلة لنحصل على بعد A

$$[A] = \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{T}^4}$$

ومنها نستنتج أن وحدة A تكون $\mathrm{m/s^4}$.

مثال 2 كمية فيزيائية بعدها $\mathrm{ML^2/T^2}$. ما هي وحدة هذه الكمية الفيزيائية؟	**Examples 2** The dimensions of a physical quantity are $\mathrm{ML^2/T^2}$. What is the unit of this physical quantity?

$$[\text{physical quantity}] = \frac{\mathrm{M\,L^2}}{\mathrm{T^2}}$$

ومنها نستنتج أن وحدة هذه الكمية الفيزيائية هي $\mathrm{kg\,m^2/s^2}$ ، أو $\mathrm{kg\,(m/s)^2}$.

D.K.ALKHALED

Examples 3 Newton's law of universal gravitation is represented by $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$,where F is the force, m_1 and m_2 are masses, and r is a length. What are the dimensions and SI unit of G?	**مثال 3** قانون الجب العام لنيوتن يعطى بالعلاقة $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$ حيث F ترمز للقوة ، و m_1،m_2 كتلتين، و r ترمز للمسافة. ما هو بعد الثابت G، وما هي وحدة الثابت G حسب النظام العالمي؟

بإعادة ترتيب المعادلة لمعرفة G بدلالة المتغيرات الأخرى نحصل على

$$G = \frac{F\, r^2}{m_1 m_2}$$

ويكون بعد G

$$[G] = \frac{[F][r^2]}{[m_1][m_2]} =$$

ولكن بعد F هو

$$[F] = \mathrm{M}\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{T}^2}$$

وبعد r^2 هو

$$[r^2] = [r]^2 = \mathrm{L}^2$$

وبعد كل m هو

$$[m_1] = \mathrm{M} \quad ، \quad [m_2] = \mathrm{M}$$

وبالتالي يكون بعد G

$$[G] = \frac{\mathrm{M}\,\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{T}^2}\,\mathrm{L}^2}{\mathrm{M}\,\mathrm{M}} = \frac{\mathrm{L}^3}{\mathrm{M}\mathrm{T}^2}$$

ومنها نستنتج أن وحدة G تكون $\mathrm{m}^3/\mathrm{kg.\,s}^2$

ملاحظة مهمة لإدراك طبيعة الرموز: الحرف الصغير العادي يشير إلى الوحدة، والحرف الكبير العادي يشير إلى البعد، بينما الحروف المائلة تشير إلى رموز الكميات الفيزيائية.

D.K.ALKHALED

5-1: القياسات وعدم التأكيد Measurements and Uncertainty

البيانات التي يمكن الوثوق بها وثوقاً تاماً هي البيانات الناتجة عن تعداد أشياء ليس لها أجزاء, مثل عدد الطلبة المسجلين في مساق الفيزياء, أو عدد طلبة كلية الهندسة. أما البيانات الناتجة عن استخدام أداة قياس فلا يمكن الوثوق بها أو تأكيدها بشكل تام, وسبب ذلك أنها تحتوي على أجزاء لا نستطيع أن نعرف القيمة بين كل جزأين. فعملية القياس تُجرى باستخدام أدوات قياس مدرجة بوحدات معينة تبدأ من الصفر, ويشار إلى كل وحدة قياس بخط على أداة القياس, وبين كل خطين يوجد فراغ من وحدات القياس. فعندما نقيس طول قطعة من الخشب مثلاً نضع أحد طرفيها عند الخط الصفري ونراقب عند أي خط يكون طرفها الآخر, فإذا كان بين تدريجين فإننا لا نستطيع معرفة قيمة القياس معرفة تامة, ومن هنا ينشأ عدم التأكيد, أو عدم الدقة في القياس, أو أخطاء القياس Error, وهذا يؤثر على درجة قبول نتيجة القياس, أو دقة القياس accuracy. وقد ينشأ عن عملية القياس أغلاط Mistake ناتجة عن ضعف في مصنوعية أداة القياس, أو ضعف في مهارة الشخص الذي يقيس, ولكن هذا لا يعبر عن معقولية القياس, أو درجة قبول نتيجة القياس. إن الأغلاط التي تنشأ عن القياس هي بالمفهوم الأجنبي Wrong وليس Error.

إن الذي يعبر عن درجة قبول نتيجة القياس هو مفهوم دقة القياس accuracy وهذا المفهوم يشير إلى درجة قرب القياس من القيمة التي من المفترض أن تكون صحيحة بشكل تام. مفهوم دقة القياس يرتبط بمفهومين أساسيين في عملية القياس, هما: (1) دقة أداة القياس precision وهذا المفهوم يشير إلى أصغر وحدة قياس مدرجة بها أداة القياس, و(2) الأرقام المعنوية significant figures, وهذا المفهوم يشير إلى عدد منازل الرقم المسجل من عملية القياس بدرجة معقولة. ولا مانع من أن تشتمل الأرقام المعنوية على الأجزاء المؤكدة من عملية القياس إضافة إلى منزلة مشكوك بصحتها تكون مقدرة بطريقة صحيحة من قِبَل الشخص الذي يقوم بالقياس كجزء من عشرة من أصغر وحدة قياس مدرجة بها أداة القياس بحيث يكون القياس المقدر بدرجة معقولة ضمن مدى أقرب قراءة معقولة لعدد صحيح من تدريج الأداة ± الخطأ في القياس. والخطأ في القياس الناتج عن هذه الأداة يكون نصف أصغر تدريج مدرجة بها الأداة.

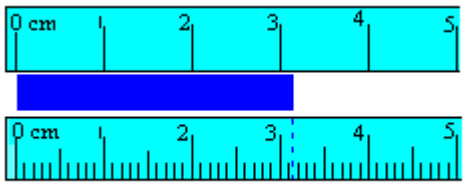
الخطأ في القياس = ½(دقة أداة القياس)

ويكون القياس على أنه ضمن المدى

قرب قراءة معقولة لعدد صحيح من تدريج الأداة ± الخطأ في القياس

ولا مانع من أن يُسَجَل القياس تقديراً بحيث يكون ضمن ذلك المدى، ويفضل ذلك إذا كانت هناك مهارة في القياس. ولتوضيح ذلك دعنا نأخذ المثال التالي:

افرض أننا استخدمنا مسطرة1 مدرجة بالسنتيمترات لقياس طول قطعة خشبية كما في الشكل (2). **دقة هذه المسطرة1 هي 1cm,** ويكون الخطأ في القياس الناتج عنها يساوي ±0.5 cm



شكل (2)

ولذلك نقرأ قيمة القياس على أنها 3cm كأفضل قراءة معقولة. ويكون القياس ضمن المدى 3.0±0.5cm, أي إن قيمة القياس تتراوح ما بين المدى (2.5 cm - 3.5 cm). ولكن إذا كانت لدينا المهارة لتسجيل القياس فلا مانع من أن نسجل القياس على أنه 3cm مؤكدة وجزء من عشرة من دقة الأداة غير مؤكدة, وبالتالي تكون قيمة القياس بدرجة معقولة أو تقريبية 3.2cm وبعدد 2 من الأرقام المعنوية, والرقم 2 الذي تحته خط هو الرقم المشكوك به. فقيمة القياس 3.2cm هي القيمة التقديرية المعقولة, وهي تأتي ضمن المدى (2.5 cm - 3.5 cm).

أما المسطرة 2 المدرجة بالمليمترات, فدقتها 1mm أو 0.1cm, ويكون الخطأ في القياس الناتج عنها يساوي ±0.5 mm أو ±0.05 cm. فإذا استخدمناها لقياس طول نفس القطعة الخشبية فإننا نقرأ القياس على أنه 3.1cm كأفضل قراءة معقولة. ويكون القياس ضمن المدى 3.1±0.05cm , أي إن قيمة القياس تتراوح ما بين المدى (3.05 cm - 3.15 cm). ولكن إذا كانت لدينا المهارة لتسجيل القياس فلا مانع من أن نسجل القياس على أنه 3.1cm مؤكد وجزء من عشرة من ال 0.1cm غير مؤكد, وبالتالي تكون قيمة القياس بدرجة معقولة تقديرية 3.13cm وبعدد 3 من الأرقام المعنوية, والرقم الذي تحته خط 0.03 هو الرقم المشكوك به. فقيمة القياس 3.13cm هي القيمة التقديرية وهي تأتي ضمن المدى (3.05 cm - 3.15 cm)

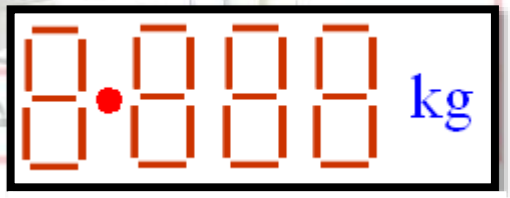
إن الأرقام المعنوية مرتبطة بدقة أداة القياس precision, وتؤثر على دقة القياس accuracy, فزيادة الأرقام المعنوية تكون دلالة على زيادة دقة القياس.

لاحظ أننا بزيادة الأرقام نقترب من القيمة التي من المفترض أن تكون صحيحة بشكل تام. لذلك نستطيع أن نقول أن دقة القياس accuracy تعبر عن درجة اقترابنا من القيمة الحقيقية.

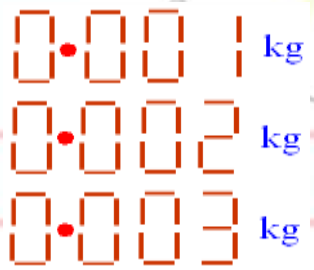
إن الكلام عن دقة أدوات القياس المدرجة بخطوط ينطبق على أدوات القياس المدرجة بأرقام digital instruments. ولكن باستعمال أدوات القياس الرقمية تكون آخر منزلة من جهة اليمين مشكوك بصحتها, ولا نستطيع وضع المنزلة المشكوك بصحتها, أي لا نستطيع أن نُقَرِب. دعنا نوضح ذلك.

إن الخطأ في القياس الناتج عن أدوات القياس الرقمية =± ½ (دقة أداة القياس)

فإذا أحذنا أداة القياس المبينة الشكل (a-3) نرى أن أصغر وحدة قياس يمكن أن نقيسه بهذه الأداة هي 0.001kg أو 1g الشكل (b-3), وهذه القيمة هي دقة أداة القياس precision. لاحظ كيف يَعِد هذا الميزان, الشكل (b-3). فإذا استخدمنا هذه الأداة لقياس كتلة جسم ما وكانت قيمة القياس الظاهرة على شاشة الميزان هي 2.457kg فنعتبر أن هذه القيمة هي القيمة المعقولة رغم وجود بعض الشك فيها, فربما تكون القيمة الصحيحة تماماً هي 2.4574kg, أو أي قيمة بين 2.4575kg و 2.4565kg ولكن هذه الأداة لا تستطيع أن تظهر لنا الأرقام بين 0.001kg و 0.002kg, والجهاز يقوم بالتقريب تلقائياً. إن الخطأ في القياس الناتج عن هذه الأداة يساوي ±0.0005kg, وبالتالي نعتبر أن المنزلة 7 هي المنزلة الأخيرة وهي المشكوك بصحتها , والمنزلة التي بعدها من جهة اليمين لا نستطيع معرفتها, وتكون قيمة القياس 2.457kg وبعدد 4 من الأرقام المعنوية (البند التالي سيكون عن العمليات الحسابية على الأرقام المعنوية), وبخطأ مقداره زائد أو ناقص دقة أداة القياس ±0.0005kg .



الشكل (a-3) شاشة ميزان كتلة رقمي دقتة تساوي 0.001 kg .

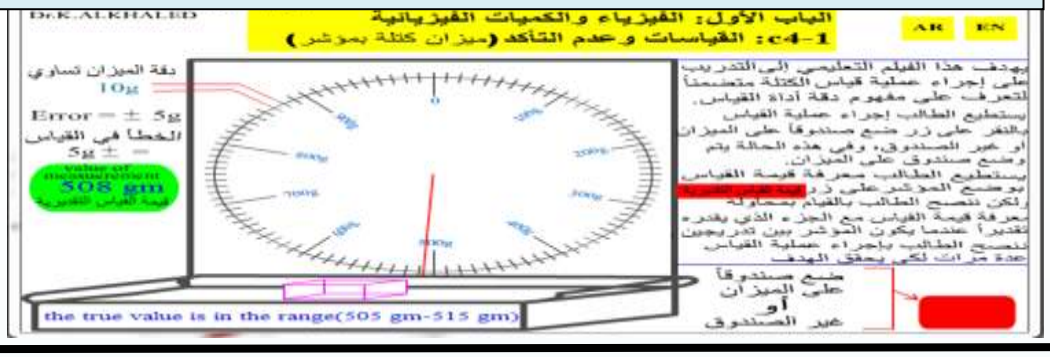


الشكل (b-3) تدريج ميزان الكتلة الرقمي

فإذا استخدمنا ميزان حساس بمؤشر وليس رقمي, فقد نستطيع تقريب قيمة القياس على أنه 2.4574kg وهي قيمة تقريبية ما بين المدى (2.4575 kg - 2.4565 kg). إن الميزان الرقمي لا يسمح لنا بتقدير الرقم المشكوك فيه بينما الميزان ذو المؤشر يتيح لن التقدير. ولفهم ذلك شاهد فيلم فلاش (البرمجية الرابعة). **ولمزيدٍ من التوضيح لمفهومي دقة القياس accuracy ودقة أداة القياس precision ، ندعوكم للرجوع إلى البرمجية الثالثة، والبرمجية الرابعة، والبرمجية الخامسة، والبرمجية السادسة بالنقر على أي منهم.**

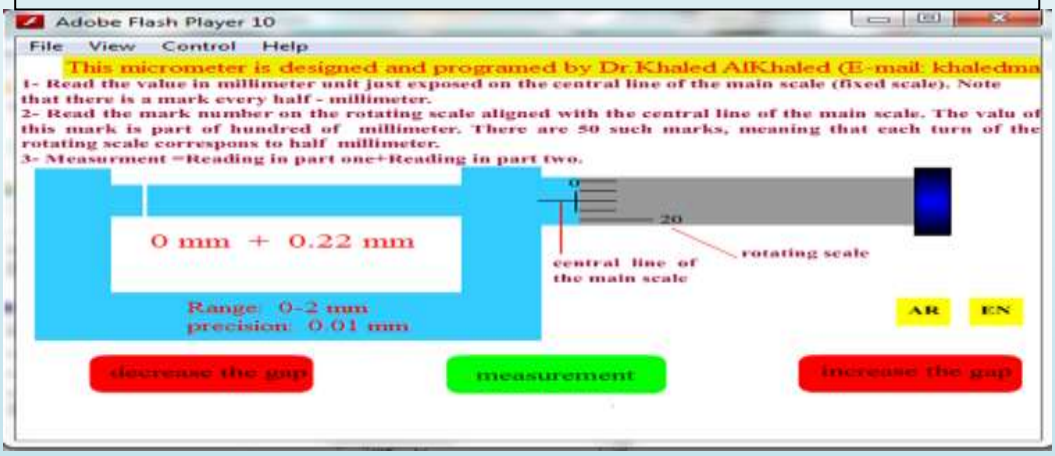
D.K.ALKHALED

صورة عن واجهة البرمجية الثالثة وهى بعنوان ميزان كتلة بمؤشر **Pointer Mass Balance**



صورة عن واجهة البرمجية الرابعة وهى بعنوان ميزان كتلة رقمى **Digital Mass Balance**

صورة عن واجهة البرمجية الخامسة وهي الميكروميتر micrometer



صورة عن واجهة البرمجية السادسة وهي الكليبر (الورنية) caliper

6-1: العمليات الحسابية على القياسات باستخدام الأرقام المعنوية

Calculations on measurements using Significant Figures

قبل البدء بإجراء العمليات الحسابية على القياسات باستخدام الأرقام المعنوية لا بد من إزالة الغموض الذي يكتنف الطريقة التي نحسب بها الأرقام المعنوية وخاصة عندما يحتوي الرقم المسجل من عملية القياس على أصفار.

حساب عدد الأرقام المعنوية

1- جميع الأرقام الغير صفرية تحسب أرقام معنوية: 264.7m يحتوي على أربعة أرقام معنوية.

2- جميع الأصفار بين الأرقام المعنوية تحسب أرقام معنوية:300207m يحتوي على سبعة أرقام معنوية.

3- جميع الأصفار على يمين الفاصلة العشرية لا تحسب أرقام معنوية إلا إذا سبقها رقم معنوي قبل الفاصلة أو بعدها:

0.04600 يحتوي على أربعة أرقام معنوية وهي التي تحتها خط.

0.00046 يحتوي على رقمين معنويين.

2.00 يحتوي على ثلاثة أرقام معنوية وهي التي تحتها خط.

0.705 يحتوي على ثلاثة أرقام معنوية وهي التي تحتها خط.

4- العدد الذي لا يحتوي على فاصلة عشرية فجميع الأصفار على يمين آخر رقم معنوي لا تحسب أرقام معنوية. ولإزالة الغموض حول هذه النقطة نكتب العدد على صورة الصيغة الأسية للرقم عشرة. ولتوضيح هذه النقطة, إليك المثال التالي:

العدد 3000 نستطيع أن نكتبه على الصورة 3×10^3, ولذلك نقول أنه يحتوي على رقم معنوي واحد. ألا تلاحظ أن ذلك فيه منطق. فالعدد 3000 لا نستطيع أن نعرف ما الذي قبله وما الذي بعده, فربما العدد الذي قبله 2000 والعدد الذي بعده 4000 , ويصبح العدد 3000 بين العددين 2000 و 4000 وهذا قياس ليس دقيقاً, أليس كذلك؟.

ولكن إذا عرفنا أن العدد الذي قبله 2900 والعدد الذي بعده 3100 فيصبح القياس أكثر دقة, والعدد 3000 يمكننا كتابته على الصورة 3.0×10^3, وهذا العدد يحتوي على رقمين معنويين. وستتضح الصورة أكثر إذا عرفنا أن العدد الذي قبله 2990 والعدد الذي بعده 3110 فيصبح القياس أكثر دقة, أليس كذلك؟. والعدد 3000 يمكننا كتابته على الصورة 3.00×10^3, وهذا العدد

مشروع انتاج وحدات تعليمية لمواضيع أساسيات الفيزياء لمرحلة التعليم العام والجامعة
فيزياء Physics 101
(محتوى عربي مع برمجيات تعليمية باللغتين العربية والانجليزية)
الدكتور داود الخالد

D.K.ALKHALED

يحتوي على ثلاثة أرقام معنوية, وبالتأكيد أكثر دقة. ما رأيك إذا كان العدد الذي قبله 2999, والعدد الذي بعده 3001 ؟.

جمع أو طرح القياسات باستخدام الأرقام المعنوية

إذا أراد شخص قياس طول ورقة من النوع A4 بتقسيمها إلى جزأين, قاس الجزء الأول بمسطرة مدرجة بالميليمترات دقتها 1mm وقرأ طول هذا الجزء 290mm , وقدر الرقم المشكوك به 0.3mm, فسجل طول الجزء الأول 290.3mm, وقاس الجزء المتبقي بالكليبر دقته 0.1mm وسجل طول هذا الجزء 7.24mm, لاحظ أن الرقم الذي تحته خط قدره تقديراً, أي أنه مشكوك به. فهل يحق له أن يسجل طول الورقة 297. 54mm. إذا كان الجواب نعم فهذا يعني أن القياس كله قد تم بأداة دقتها 0.1mm, وطبعاً هذا لم يحصل, ولذلك لا بد أن نقرب هذا القياس ليتلاءم مع دقة الأداة ذات الدقة الأقل من بين الأداتين المستعملتين, أو الأدوات المستعملة إذا تم استعمال أكثر من أداتين. أسلوب التقريب المتبع هو النظر إلى الرقم المشكوك به, فإذا كان يساوي 5 أو أكثر زدنا واحد إلى الرقم الذي قبله, وإذا كان أقل من 5 فنبقي الرقم الذي قبله كما هو. ومن ذلك نستنتج أن طول الورقة يجب أن يُسَجل 297. 5mm .

وبشكل عام فإن الذي يحدد نتيجة جمع أو طرح القياسات هو الكمية التي نتجت عن الأداة التي دقتها أقل. ولتوضيح ذلك نأخذ الأمثلة التالية: (الأرقام الموجودة في الأمثلة موضوعة بدون وجود المنزلة المشكوك بصحتها).

Physics 101
الدكتور خالد محمود الخالد

D.K.ALKHALED

Examples 1 Add the measurements: 16.5 km; 122 km; 2.04 km; 0.653 km.	**مثال 1** اجمع القياسات التالية: 16.5 km; 122 km; 2.04 km; 0.653 km.

لاحظ أن جميع القياسات لها نفس الوحدة. والقياس الذي نتج عن الأداة التي دقتها أقل هو 122 km, ولذلك

$$\begin{aligned} 16.5 \quad & \text{km} \quad (\text{precision} = 0.1\,\text{km}) \\ 122 \quad & \text{km} \quad (\text{precision} = 1\,\text{km}) \\ 2.04 \quad & \text{km} \quad (\text{precision} = 0.01\,\text{km}) \\ 0.653 \quad & \text{km} \quad (\text{precision} = 0.001\,\text{km}) \\ \hline 141.193 \quad & \text{km} \Rightarrow 141 \quad \text{km} \quad (\text{precision} = 1\text{km}) \end{aligned}$$

وبتقريب هذه النتيجة لتتوافق مع قياس الأداة التي لها أقل دقة, وهي 122 km وقيست بأداة دقتها 1 km, وبالتالي يكون المجموع يساوي 141 km .

Examples 1 Add the measurements: 16.53 m; 2.468 m; 1472 mm; 1350 cm.	**مثال 2** اجمع القياسات التالية: 16.53 m; 2.468 m; 1472 mm; 1350 cm.

أولاً لا بد من تحويل القياسات لتصبح لها نفس الوحدة, ولذلك

$$\begin{aligned} 1472\ \text{mm} &= 1.472\ \text{m} \\ 1350\ \text{cm} &= 13.5\ \text{m} \quad (\text{precision} = 0.1\text{m}) \end{aligned}$$

وبإجراء عملية الجمع نحصل على:

$$\begin{aligned} 16.53 \quad & \text{m} \quad (\text{precision} = 0.01\text{m}) \\ 2.468 \quad & \text{m} \quad (\text{precision} = 0.001\text{m}) \\ 13.5 \quad & \text{m} \quad (\text{precision} = 0.1\text{m}) \\ 1.472 \quad & \text{m} \quad (\text{precision} = 0.001\text{m}) \\ \hline 33.990 \quad & \text{m} \Rightarrow 34.0 \quad \text{m} \quad (\text{precision} = 0.1\text{m}) \end{aligned}$$

وبتقريب هذه النتيجة لتتوافق مع قياس الأداة التي لها أقل دقة, وهي هنا 13.5 m وقيست بأداة دقتها 0.1 m . وبالتالي يكون المجموع يساوي 34.0 m .

D.K.ALKHALED

مثال 3 اطرح القياس 3.60 kg من القياس 4362.7 g , أي 4362.7 g - 3.60 kg	**Examples٣** Subtract the measurements:4362.7 g - 3.60 kg

أولاً لا بد من تحويل القياسين ليصبحا لهما نفس الوحدة, ولتكن الجرام g, ولذلك

$$3.60\ \text{kg} = 3600\ \text{g} \quad (\text{precision} = 0.01\ \text{kg} = 10\ \text{g})$$

وبإجراء عملية الطرح نحصل على:

$$\begin{array}{lll} 4362.7 & \text{g} & (\text{precision} = 0.1\ \text{g}) \\ 3600 & \text{g} & (\text{precision} = 0.01\ \text{kg} = 10\ \text{g}) \\ \hline 762.7 & \text{g} \Rightarrow 760\ \text{g} & (\text{precision} = 10\ \text{g}) \end{array}$$

وبتقريب هذه النتيجة مع قياس الأداة التي لها أقل دقة, وهي هنا 3600 g ودقة الأداة 10 g. وبالتالي تكون النتيجة 760 g وليس 763 g لأن الدقة في 763 g تكون (1 g) .

ضرب أو قسمة القياسات باستخدام الأرقام المعنوية

إذا أردت أن تحسب مساحة قطعة كرتون مستطيلة الشكل باستخدام مسطرة مدرجة بالسنتيمترات دقتها 1cm, وبخطأ قياس ناتج عنها ± 0.05cm, وسجلت قياس الطول 45.6cm (ثلاثة أرقام معنوية), وقياس العرض 9.4cm (رقمين معنويين), فتكون مساحة الورقة تساوي 428.64cm^2 حسب قانون مساحة المستطيل, الطول ضرب العرض. فهل معنى ذلك أن زيادة الأرقام المعنوية في نتيجة حساب المساحة دليل على الدقة, فإذا كان كذلك, فمن أين حصلنا على هذه الدقة. طبعاً هذا الكلام عن زيادة الدقة غير صحيح, وليس له معنى, لأنه يجب أن لا تزيد دقة النتيجة عن دقة أي كمية داخلة في عملية الحساب. وبالتالي فإن عدد الأرقام المعنوية في نتيجة الحساب يجب أن يساوي عدد الأرقام المعنوية للكمية الأصغر الداخلة في حساب النتيجة, وللوصول إلى ذلك نتبع أسلوب التقريب على نتيجة الحساب, ونسجل المساحة على أنها تساوي 430cm^2 (رقمين معنويين) .

وما ينطبق على عملية الضرب ينطبق على عملية القسمة, ولمزيد من التوضيح نعرض الأمثلة التالية :

D.K.ALKHALED

Examples 1 Multiply the measurements:(16.7 m)(12.3 m).	**مثال 1** أضرب القياسات التالية: (16.7 m)(12.3 m).

لاحظ أن القياس 12.3 m يحوي ثلاثة أرقام معنوية ، وكذلك القياس 16.7 m

ولذلك لا بد أن تكون النتيجة تحوي ثلاثة أرقام معنوية فقط.

وبإجراء عملية الضرب نحصل على:

$$(16.7\text{m})(12.3\text{m}) = 205.41\text{m}^2$$

وبتقريب هذه النتيجة لتحوي ثلاثة أرقام معنوية نحصل على

$$(16.7\text{m})(12.3\text{m}) = 205\text{m}^2$$

فيزياء Physics 101

Examples 3 Multiply the measurements: (0.73 m)(25.7 m)(10.3 m).	**مثال 2** أضرب القياسات التالية: (0.73 m)(25.7 m)(10.3 m).

لاحظ أن القياس 0.73 m يحتوي على رقمين معنويين، والقياس 25.7 m يحتوي على ثلاثة أرقام معنوية ، وكذلك القياس 10.3 m، ولذلك لا بد أن تكون النتيجة تحتوي على رقمين معنويين.

وبإجراء عملية الضرب نحصل على:

$$(0.73\text{m})(25.7\text{m})(10.3\text{m}) = 193.2383\text{m}^3$$

وبتقريب هذه النتيجة لتحتوي على رقمين معنويين فقط نحصل على

$$(0.73\text{m})(25.7\text{m})(10.3\text{m}) = 190\,\text{m}^3$$ (رقمين معنويين)

D.K.ALKHALED

Examples 3 Find the valu of	**مثال 3** أوجد قيمة
$\frac{(48.2kg)(3.60m/s)^2}{4.30m}$	$\frac{(48.2kg)(3.60m/s)^2}{4.30m}$

لاحظ أن جميع القياسات تحتوي على ثلاثة أرقام معنوية.

وبإجراء عملية الضرب نحصل على:

$$\frac{(48.2kg)(3.60m/s)^2}{4.30m} = 145.27255 \ \frac{kg\ m}{s^2}$$

وبتقريب هذه النتيجة لتحتوي على ثلاثة أرقام معنوية فقط نحصل على

$$\frac{(48.2kg)(3.60m/s)^2}{4.30m} = 145 \ \frac{kg\ m}{s^2}$$ (ثلاثة أرقام معنوية)

ملاحظة1: عند إجراء عملية الضرب أو عملية القسمة على القياسات فليس من الضروري أن تكون الوحدات متشابهة. الوحدات يجب أن تكون متشابهة عند إجراء عملية الجمع أو عملية الطرح.

الدكتور خالد محمود الخالد

ملاحظة2: مضاعفات القياس أو الجذر التربيعي للقياس يجب أن يدور لنفس دقة القياس المعطى.

وفي ختام هذه الوحدة ندعوك عزيزي الطالب لمراسلتنا للاستيضاح عن أي مسألة تخص هذه الوحدة حيث ستكون مسائل نهاية الوحدة من اختيار الطالب نفسه ليكون بذلك محوراً مشاركاً وفاعلاً في العملية التعليمية.