KINGDOM OF BAHRAIN

Ministry of Education

مَمْلَكَةُ البَحْرَيْن

وَزَارَةُ التَّرْبِيَةِ وَالتَّعْلِيم

فيز 102

الفيزياء 1

للمرحلة الثانوية

فيز 102

قررت وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين اعتماد هذا الكتاب لتدريس الفيزياء 1 بمدارسها الثانوية

إدارة سياسات وتطوير المناهج

الفيزياء 1

للمرحلة الثانوية

الطبعة الثالثة
1442 هـ - 2020 م

منهاجي
متعة التعليم الهادف

التأليف والتطوير

فريق متخصّص من وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين.

www.macmillanmh.com

English Edition Copyright © 2008 the McGraw-Hill Companies, Inc.
All rights reserved.

Arabic Edition is published by Obeikan under agreement with
The McGraw-Hill Companies, Inc. © 2008.

حقوق الطبعة الإنجليزية محفوظة لشركة ماجروهل ©2009م.

الطبعة العربية: مجموعة العبيكان للاستثمار
وفقًا لاتفاقيتها مع شركة ماجروهل ©2008/1429هـ.

لا يسمح بإعادة إصدار هذا الكتاب أو نقله في أي شكل أو واسطة، سواءً أكانت إلكترونية أو ميكانيكية، بما في ذلك التصوير بالنسخ «فوتوكوبي»، أو التسجيل، أو التخزين والاسترجاع، دون إذن خطي من الناشر.

حضرة صاحب الجلالة الملك حمد بن عيسى آل خليفة

ملك مملكة البحرين المعظم

المقدمة

بسم الله الرحمن الرحيم

يأتي اهتمام مملكة البحرين بتطوير مناهج التعليم وتحديثها في إطار الخطة العامة للمملكة، وسعيها إلى مواكبة التطورات العالمية على مختلف الأصعدة.

ويأتي كتاب الفيزياء 1 في إطار مشروع تطوير مناهج الرياضيات والعلوم، الذي يهدف إلى إحداث تطور نوعي في تعليم وتعلم هاتين المادتين، يكون للطالب فيه الدور الرئيس والمحوري. ويشتمل هذا الكتاب على أربعة فصول هي: مدخل إلى علم الفيزياء، وتمثيل الحركة، والحركة المتسارعة، والقوى في بُعد واحد.

عُرض محتوى الكتاب بأسلوب شيق اعتمدت فيه كافة المعايير التي تحقق ذلك، من تنظيم تربوي فاعل يعكس توجهات المنهج وفلسفته، واشتماله على أنشطة متنوعة المستوى، تتسم بإمكانية تنفيذها من قبل الطلاب، وتراعي في الوقت نفسه مبدأ الفروق الفردية بينهم، إلى صور وأشكالٍ ورسومٍ توضيحية معبرة تعكس طبيعة الفصل، مع الحرص على مبدأ التقويم التكويني في فصوله ودروسه المختلفة.

وقد أكدت فلسفة الكتاب أهمية إكساب الطالب المنهجية العلمية في التفكير والعمل، وتزويده بالمهارات العقلية والعملية الضرورية، ومنها التجارب الاستهلالية، والتجارب، ومختبر الفيزياء، والإثراء، بالإضافة إلى حرصها على ربط المعرفة مع واقع الحياة، ومن ذلك ربطها بالرياضيات والمجتمع.

ويرافق الكتابَ كراسةُ التجارب العملية؛ ويؤملُ أن يساهم تنفيذها في تعميق المعرفة العلمية لدى الطالب، وإكسابه المهارات العلمية في مجال العلوم والتقنية، إضافة إلى تنمية ميوله الإيجابية نحو العلم والعلماء.

والله نسأل أن يحقق الكتاب الأهداف المتوخاة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

قائمة المحتويات

الفصل 1

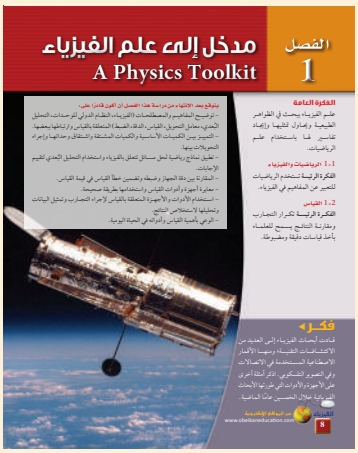
مدخل إلى علم الفيزياء 8

تجربة استهلالية 9

1-1 الرياضيات والفيزياء 9

1-2 القيـاس 16

التقويم 22



الفصل 2

تمثيل الحركة 26

تجربة استهلالية 27

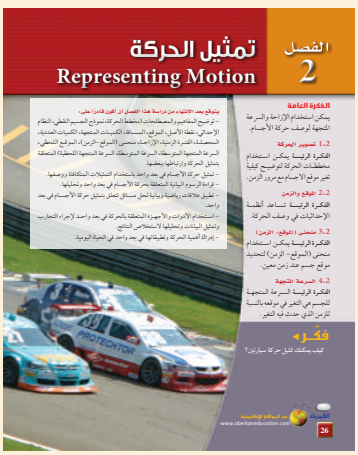
2-1 تصوير الحركة 27

2-2 الموقع والزمن 30

2-3 منحنى (الموقع - الزمن) 34

2-4 السرعة المتجهة 39

التقويم 48



قائمة المحتويات

الفصل 3

الحركة المتسارعة 52

تجربة استهلالية 53

3-1 التسارع (العجلة) 53

3-2 الحركة بتسارع منتظم 64

3-3 السقوط الحر 73

التقويم 79

الفصل 4

القوى في بُعد واحد 86

تجربة استهلالية 87

4-1 القوة والحركة 87

4-2 الوزن والقوة المعيقة 97

4-3 قانون نيوتن الثالث 104

التقويم 115

مصادر تعليمية للطالب 119

دليل الرياضيات 120

المصطلحات 133

الفصل 1

مدخل إلى علم الفيزياء
A Physics Toolkit

الفكرة العامة

علم الفيزياء يبحث في الظواهر الطبيعية ويحاول تمثيلها وإيجاد تفاسير لها باستخدام علم الرياضيات.

1-1 الرياضيات والفيزياء

الفكرة الرئيسة تستخدم الرياضيات للتعبير عن المفاهيم في الفيزياء.

1-2 القياس

الفكرة الرئيسة تكرار التجارب ومقارنة النتائج يسمح للعلماء بأخذ قياسات دقيقة ومضبوطة.

يتوقع بعد الإنتهاء من دراسة هذا الفصل أن أكون قادرًا على:

- توضيح المفاهيم والمصطلحات (الفيزياء، النظام الدولي للوحدات، التحليل البُعدي، معامل التحويل، القياس، الدقة، الضبط) المتعلقة بالقياس وارتباطها ببعضها.
- التمييز بين الكميات الأساسية والكميات المشتقة واشتقاق وحداتها وإجراء التحويلات بينها.
- تطبيق نماذج رياضية لحل مسائل تتعلق بالفيزياء واستخدام التحليل البُعدي لتقييم الإجابات.
- المقارنة بين دقة الجهاز وضبطه وتضمين خطأ القياس في قيمة القياس.
- معايرة أجهزة وأدوات القياس واستخدامها بطريقة صحيحة.
- استخدام الأدوات والأجهزة المتعلقة بالقياس لإجراء التجارب وتمثيل البيانات وتحليلها لاستخلاص النتائج.
- الوعي بأهمية القياس وأدواته في الحياة اليومية.

فكر

قادت أبحاث الفيزياء إلى العديد من الاكتشافات التقنية؛ ومنها الأقمار الاصطناعية المستخدمة في الاتصالات وفي التصوير التلسكوبي. اذكر أمثلة أخرى على الأجهزة والأدوات التي طورتها الأبحاث الفيزيائية خلال الخمسين عامًا الماضية.

تجربة استهلالية

هل تسقط جميع الأجسام بالمعدل نفسه؟

سؤال التجربة كيف يؤثر وزن الجسم في سرعة سقوطه؟

الخطوات

اشتملت كتابات الفيلسوف الإغريقي أرسطو على دراسات لبعض نظريات علم الفيزياء التي كان لها تأثير كبير في أواخر القرون الوسطى. اعتقد أرسطو أن الوزن عامل مؤثر في سرعة سقوط الجسم، وأن سرعة سقوط الجسم تزداد مع ازدياد وزنه.

1. ألصق أربع قطع نقد معدنية (من فئة 100 فلسًا) معًا باستخدام شريط لاصق.
2. ضع القطع النقدية الملتصقة على راحة يدك، ثم ضع إلى جوارها قطعة نقد منفردة.
3. **لاحظ** من خلال دفع القطع لراحة يدك، أيها أثقل: القطع الملتصقة أم القطعة المنفردة؟
4. **لاحظ** أسقط القطع جميعها من يدك في الوقت نفسه، ثم لاحظ حركتها. أيهما يصل سطح الأرض أولًا؟

التحليل

وفقاً لنظرية أرسطو، ما سرعة سقوط قطعة النقد المنفردة مقارنة بالنقود الملتصقة؟ ماذا تستنتج؟

التفكير الناقد وضّح تأثير كل من الخصائص التالية في سرعة سقوط الجسم: الحجم، الكتلة، الوزن، اللون، الشكل.

الفيزياء في حياتك

إذا رميت كرة نحو الأعلى فكيف تحدد الارتفاع الذي تصله والزمن الذي تستغرقه وهي في الهواء؟ وكيف تحدد سرعة المظلي في أثناء قفزه في الهواء؟ يستخدم الفيزيائيون الرياضيات لمساعدتهم للإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها حول الحركة، والقوى، والطاقة والمادة.

تساؤلات جوهرية:

- لماذا يستخدم العلماء النظام الدولي للوحدات؟
- كيف يساعد التحليل البُعدي في تقييم الإجابة؟

المفردات:

- الفيزياء
- النظام الدولي للوحدات
- التحليل البُعدي
- معامل التحويل

ما الذي يخطر ببالك عندما ترى أو تسمع كلمة «فيزياء»؟ يتخيل كثير من الناس سبورة كُتبت عليها معادلات رياضية فيزيائية مثل:

$$d = \frac{1}{2}at^2 + v_o t + d_o \text{ ،} I = \frac{V}{R} \text{ ،} E = mc^2$$

ولربما تتخيل علماء وباحثين يرتدون معطف المختبر الأبيض، أو قد تتخيّل وجوهًا شهيرة في عالم الفيزياء مثل ألبرت آينشتاين أو إسحق نيوتن وغيرهما، وقد تُفكر في الكثير من التطبيقات التقنية الحديثة التي طوّرها علم الفيزياء، ومنها الأقمار الاصطناعية، والكمبيوتر المحمول، وأشعة الليزر، وغيرها.

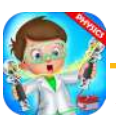
ما الفيزياء؟ What is Physics?

الفيزيـاء فـرع مـن فـروع العلـم يُعنـى بدراسـة العالَـم الطبيعـي: الطاقـة، والمادة، وكيفيـة ارتباطهمـا. فعلمـاء الفيزياء يدرسـون طبيعة حركة الجسـيمات الصغيرة مثل الإلكترونات وحركة الأجسـام الكبيرة مثل الصواريـخ، والطاقة، وتركيب المادة بدءًا بالإلكترون وانتهاءً بالكون. إن الهدف من دراسة هذا الكتاب هو مساعدتك على فهم العالم الفيزيائي من حولك.

يعمـل دارسـو الفيزيـاء فـي مجالات ومهـن عديـدة؛ فالبعض منهـم يعمـل باحثًا في الجامعـات والكليـات أو فـي المصانع ومراكـز الأبحاث، والبعض الآخـر يعمل في المجـالات الأخـرى المرتبطـة مـع علـم الفيزيـاء، ومنها الفلـك، والهندسـة، وعلم الكمبيوتر، والتعليم، والصيدلة. وهناك آخرون يسـتخدمون مهارات حل المشكلات الفيزيائية في مجالات الأعمال التجارية والمالية وغيرها.

الرياضيات في الفيزياء Mathematics in Physics

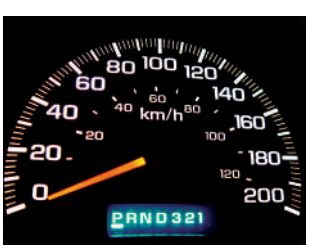
تسـتخدم الفيزياء الرياضيـات باعتبارها لغة قادرة على التعبير عـن القوانين والظواهر الفيزيائية بشـكل واضـح ومفهوم. وفي علـم الفيزياء تمثل المعـادلات الرياضية أداة مهمـة لنمذجة المشـاهدات، ووضع التوقعات لتفسـير الظواهـر الفيزيائية المختلفة. فبالعودة إلى التجربة الاستهلالية تستطيع أن تتوقع أنه عند إسقاط قطع النقد المعدنية فإنها تسـقط في اتجاه الأرض. ولكن بأية سـرعة تسقط؟ وعلام تعتمد؟ يمكن التعبير عـن سـقوط القطـع المعدنية بنمـاذج مختلفة يعطي كل منهـا إجابة مختلفـة عن تغير السـرعة في أثناء السـقوط؟ وبحسـاب سـرعة الجسـم السـاقط يمكنك مقارنة نتائج التجربـة بما توقعته في النماذج السـابقة، ممـا يتيح لك اختيار أفضلها، والشـروع في تطوير نموذج رياضي جديد يستطيع التعبير عن الظاهرة الفيزيائية بشكل أفضل.



التجربة العملية

ما نوع القياسات التي يمكن إجراؤهـا لإيجـاد سـرعة مركبة؟

هل هذا منطقي؟ تستخدم أحيانًا وحدات غير مألوفة، وتحتاج إلى التقدير للتحقق من أن الإجابة منطقية من الناحية الرياضية. وفي أحيان أخرى تستطيع التحقق من أن الإجابة تتوافق مع خبرتك كما هو واضح من **الشكل 1–1**. عندما تتعامل مع تجربة الأجسام الساقطة تَحقق من أن زمن سقوط الجسم الذي تحسبه يتوافق مع خبرتك. فمثلًا هل تحتاج الكرة النحاسية التي تسقط من ارتفاع 5 m، إلى 0.002 s أم إلى 17 s حتى تصل إلى سطح الأرض؟ كلا الإجابتين غير منطقية.



الشكل 1–1 ما مدى القيم المنطقية لسرعة سيارة؟

النظام الدولي للوحدات SI Units

لتعميم النتائج بشكل مفهوم من قبل جميع الناس من المفيد استخدام وحدات قياس متفق عليها. ويعد **النظام الدولي للوحدات** النظامَ الأوسع انتشارًا في جميع أنحاء العالم، ويرمز له بـ (SI) وهي الأحرف الأولى للمصطلح الفرنسي Système international d'unités. ويتضمن هذا النظام سبع كميات أساسية موضحة في **الجدول 1–1**. وقد حددت وحدات هذه الكميات الأساسية باستخدام القياس المباشر، معتمدة على وحدات معيارية لكل من الطول، والزمن، والكتلة، كما هو موضح في **الشكل 2–1**. أما الوحدات الأخرى التي تسمى الوحدات المشتقة فيمكن اشتقاقها من وحدات الكميات الأساسية بطرائق مختلفة. فمثلاً تقاس الطاقة باستخدام وحدة Joule (J) حيث $1\ J = 1\ kg.m^2/s^2$، وتقاس الشحنة الكهربائية بوحدة Coulombs (C)، حيث $1C = 1\ A.s$.

الشكل 2-1 الوحدات المعيارية القديمة للكيلوجرام والمتر. وحاليًا يعرّف المتر بأنه المسافة التي يقطعها الضوء خلال $\frac{1}{299,792,458}$ ثانية، وتعرف الثانية بأنها 9,192,631,770 تذبذباً لتردد معين لإشعاع من ذرة السيزيوم. ويعتمد التعريف الجديد للكيلوجرام على ثابت بلانك وسرعة الضوء ووحدة الثانية. كما تم إعادة تعريف الأمبير، والكلفن، والمول، والكانديلا باستخدام القيم العددية الدقيقة لبعض الثوابت الفيزيائية.

جدول 1–1

الكميات الأساسية ووحدات قياسها ورموزها وأبعادها في النظام الدولي

الكمية الأساسية	الوحدة الأساسية	الرمز	الرمز الخاص للبعد
الطول length	meter	m	L
الكتلة mass	kilogram	kg	M
الزمن time	second	s	T
درجة الحرارة temperature	Kelvin	K	Θ
كمية المادة amount of substance	mole	mol	N
التيار الكهربائي electric current	ampere	A	I
شدة الإضاءة luminous intensity	candela	cd	J

لابد أنك تعلمت خلال دراسة الرياضيات أن تحويل المتر إلى كيلومتر أسهل من تحويل القدم إلى ميل. إن سهولة التحويل بين الوحدات ميزة أخرى من ميزات النظام الدولي. وللتحويل بين وحدات النظام الدولي نضرب أو نقسم على عشرة مرفوعًا إلى قوة ملائمة. وهنالك مجموعة "بادئات" تُستَخدم في تحويل وحدات النظام الدولي باستخدام قوة مناسبة للعدد 10 كما هو موضح في **الجدول 2–1**.

جدول 2–1				
البادئات المستخدمة مع وحدات النظام الدولي				
البادئة	الرمز	المضروب فيه	القوة	مثال
femto - فيمتو	f	0.000000000000001	10^{-15}	femtosecond (fs)
pico -بيكو	p	0.000000000001	10^{-12}	picometer (pm)
nano - نانو	n	0.000000001	10^{-9}	nanometer (nm)
micro - مايكرو	μ	0.000001	10^{-6}	microgram (μg)
milli - ميللي	m	0.001	10^{-3}	milliamps (mA)
centi - سنتي	c	0.01	10^{-2}	centimeter (cm)
deci - ديسي	d	0.1	10^{-1}	deciliter (dL)
kilo - كيلو	k	1000	10^{3}	kilometer (km)
mega - ميجا	M	1000,000	10^{6}	megagram (Mg)
giga - جيجا	G	1000,000,000	10^{9}	gigameter (Gm)
tera - تيرا	T	1000,000,000,000	10^{12}	terahertz (THz)

التحليل البُعدي Dimensional Analysis

تتميز الكميات الفيزيائية الواصفة لظاهرة معينة بـالبُعد، فبُعد مقدار ما يشرح الطبيعة الفيزيائية لهذا المقدار، ومن الضروري التحكم بالمفاهيم الفيزيائية وأبعادها، ويكون ذلك باستخدام **التحليل البعدي**، إذ يسمح لنا بإيجاد العلاقات التي تربط بين هذه المفاهيم، أي وضع العلاقات والقوانين وتدارك الأخطاء المرتكبة عند كتابتها من خلال دراسة تجانسها، ويتم كتابة معادلة الأبعاد للتعبير الرمزي عن العلاقات بين الكميات الفيزيائية المختلفة، فالبعد أو معادلة الأبعاد للكتلة m تكتب على الشكل [m].

والكميات الفيزيائية مشتقة في الأصل من سبع كميات أساسية، وسنعطي لكل منها رمزًا كبعد خاص لها، وباقي أبعاد الكميات الأخرى تعطى بدلالتها لاحظ **الجدول 1–1**.

وحتى تكون العلاقة الرياضية أو القانون ممكناً، يجب أن تتساوى أبعاد طرفي المعادلة، مع مراعاة أن القيم العددية الثابتة ليس لها أبعاد، وعدم ارتباط أبعاد الكميات الفيزيائية بمقاديرها، فمثلاً في معادلة المسافة $d=v\times t$ تكون أبعاد الطرف الأيسر:

$$[d]=L$$

وأبعاد الطرف الأيمن:

$$[v]\times[t]=(L/T)\times T=L$$

بما أن أبعاد طرفي المعادلة متساوية، فإن المعادلة قد تكون ممكنة.

مثـال 1

اسـتخدام المسـافة والزمن لقياس السـرعة قطعت سـيارة مسـافة 434 km خلال زمن مقداره 4.5 h، احسـب متوسط سرعة السيارة.

1 تحليل المسألة

سرعة السيارة غير معلومة، الكميات المعلومة هي المسافة التي قطعتها السيارة والزمن اللازم لذلك، استخدم العلاقة التي تربط بين السرعة والمسافة والزمن لإيجاد سرعة السيارة.

المعلوم	المجهول
المسافة = 434 km	السرعة= ؟؟؟
الزمن= 4.5 h	

2 إيجاد الكمية المجهولة

اكتب العلاقة كمعادلة رياضية $d=v\times t$

اكتب العلاقة لإيجاد السرعة $v=\frac{d}{t}$

بالتعويض عن d=434 km ، t=4.5 h $v=\frac{434\ \text{km}}{4.5\ \text{h}}$

احسب الناتج $v=96.4\ \text{km/h}$

3 تقويم الجواب

افحص جوابك عن طريق استخدام جوابك لمعرفة المسافة التي قطعتها السيارة

$d=v\times t=96.4\ \text{km/h}\times 4.5\ \text{h}=434\ \text{km}$

المسافة المقطوعة ووحدة قياسها توافق ما ذكر في نص المثال، وهذا يعني أن حساب السرعة كان صحيحًا.

مسائل تدريبية

أعد كتابة المعادلات المستخدمة في حل المسائل التالية، ثم احسب المجهول.

1. إذا تحرك جسم من السكون بتسارع منتظم a فإن سرعته v تُعْطَى بعد زمن مقداره t بالعلاقة $v_f = at$.
ما تسارع دراجة تتحرك من السكون فتصل سرعتها إلى 6 m/s خلال زمن قدره 4 s؟

2. يُحسب الضغط P المؤثر في سطح ما بقسمة مقدار القوة F على مساحة السطح A حيث $P=\frac{F}{A}$. فإذا أثر رجل وزنه 520 N يقف على الأرض بضغط مقداره $632500\ \text{N/m}^2$، فما مساحة نعلي الرجل؟

معامل التحويل يستخدم تحليل الوحدات في إيجاد معامل التحويل، و**معامل التحويل** هو معامل ضرب يساوي واحدًا صحيحًا (1). على سبيل المثال 1 kg =1000 g، ومن هنا تستطيع بناء معامل التحويل التالي:

$$1 = \frac{1\ \text{kg}}{1000\ \text{g}}$$

أو $$1 = \frac{1000\ \text{g}}{1\ \text{kg}}$$

نستطيع اختيار معامل التحويل الذي يجعل الوحدات تشطب بعضها مقابل بعض، بحيث نحصل على الإجابة بالوحدة الصحيحة، فمثلاً لتحويل 1.34 kg من الحديد إلى grams (g) فإننا نقوم بما يلي:

$$1.34\ \text{kg}\left(\frac{1000\ \text{g}}{1\ \text{kg}}\right) = 1340\ \text{g}$$

وقد تحتاج أيضًا إلى عمل سلسلة من التحويلات، فلتحويل 43 km/h إلى m/s مثلاً نقوم بما يلي:

$$\left(\frac{43\ \text{km}}{1\ \text{h}}\right)\left(\frac{1000\ \text{m}}{1\ \text{km}}\right)\left(\frac{1\ \text{h}}{60\ \text{min}}\right)\left(\frac{1\ \text{min}}{60\ \text{s}}\right) = 12\ \text{m/s}$$

مثـال 2

معامل التحويل حوّل 1.8 h إلى وحدة الثواني (s).

1 تحليل المسألة

تحديد عدد الدقائق في 1 h

تحديد عدد الثواني في 1 min

المعلوم	المجهول
الزمن بوحدة h	الزمن بوحدة s

2 إيجاد معامل التحويل

معامل التحويل الأول $1 = \frac{1\ \text{h}}{60\ \text{min}}$ أو $1 = \frac{60\ \text{min}}{1\ \text{h}}$

معامل التحويل الثاني $1 = \frac{1\ \text{min}}{60\ \text{s}}$ أو $1 = \frac{60\ \text{s}}{1\ \text{min}}$

إيجاد عدد الثواني

نختار معامل التحويل الذي يجعل الوحدات تشطب بعضها مقابل بعض

$$1.8\ \text{h} = 1.8\ \text{h}\left(\frac{60\ \text{min}}{1\ \text{h}}\right)\left(\frac{60\ \text{s}}{1\ \text{min}}\right)$$

$$= 6480\ \text{s}$$

3 تقويم الجواب

هل جوابك منطقي؟ من المنطقي أن يكون عدد الثواني أكبر من عدد الساعات.

مسائل تدريبية

3. كم MHz في 750 kHz ؟
4. كم ثانية في السنة الكبيسة (السنة الكبيسة تساوي 366 يومًا)؟
5. حوّل السرعة 5.30 m/s إلى km/h.

1-1 مراجعة

6. **رياضيات** لماذا توصف المفاهيم في الفيزياء بوساطة المعادلات الرياضية؟

7. **مغناطيسية** تحسب القوة المؤثرة على شحنة تتحرك في مجال مغناطيسي من العلاقة $F = Bqv$ حيث:

   F القوة المؤثرة بوحدة $kg.m/s^2$

   q الشحنة بوحدة A.s

   v السرعة بوحدة m/s

   B شدة المجال المغناطيسي بوحدة T (tesla) .

   ما وحدة **T** مُعبرًا عنها بالوحدات أعلاه؟

8. **مغناطيسية** أعد كتابة المعادلة: $F = Bqv$ للحصول على v بدلالة كل من F ، و q ، و B.

9. **التفكير الناقد** القيمة المقبولة لتسارع الجاذبية الأرضية هي $9.80\ m/s^2$، وفي تجربة لقياسها باستخدام البندول حصلت على قيمة $9.4\ m/s^2$، هل تقبل هذه القيمة؟ فسّر إجابتك.

1-2 القياس Measurement

الفيزياء في حياتك

هناك العديد من الأدوات التي تستخدم في القياس؛ فالساعة تقيس الزمن، والمسطرة تقيس المسافة، ومقياس السرعة في المركبة يقيس سرعتها، ما الأدوات الأخرى التي تستخدمها في قياساتك؟

تساؤلات جوهرية:

- ما الفرق بين الدقة والضبط؟
- ما المصدر المشترك للأخطاء التي تنتج في القياس؟

المفردات:

- القياس
- دقة القياس
- الضبط
- اختلاف زاوية النظر.

عندما تزور الطبيب لإجراء الفحوصات الطبيّة فإنه يقوم بإجراء عدّة قياسات، منها درجة حرارة جسمك، وطولك، ووزنك، وضغط دمك، ومعدل دقات قلبك، وحتى نظرك يقاس ويعبّر عنه بأرقام، كما يتم أخذ عينة من الدم لإجراء بعض القياسات، ومنها مستوى الحديد أو الكولسترول في الدم. فالقياسات تحول مشاهداتنا إلى مقادير كمية يمكن التعبير عنها بوساطة الأرقام؛ فلا يقال إن ضغط الدم -عند شخص- جيدٌ إلى حد ما، بل يقال إن ضغط دمه $\frac{110}{60}$، وهو الحد الأدنى المقبول لضغط الدم في الإنسان.

القياس عبارة عن مقارنة كمية مجهولة بأخرى مرجعية (معيارية). فعلى سبيل المثال، إذا قِستَ كتلة عربة ذات عجلات، فإن الكمية المجهولة هي كتلة العربة، والكمية المعيارية هي kilogram (kg) علمًا بأن الكتلة تقاس باستخدام الميزان النابضي أو الميزان ذي الكفتين. وفي تجربة قياس التغير الواردة لاحقًا، يمثل التغير في طول النابض الكمية المجهولة بينما يمثل meter (m) الكمية المعيارية.

الدقة مقابل الضبط Precision Versus Accuracy

تمثل كل من الدقة والضبط خاصيتين من خصائص القيم المقيسة. ففي تجربة قياس التغير قام ثلاثة طلاب بإجراء التجربة أكثر من مرة، مستخدمين نوابض متشابهة، ولها الطول نفسه، حيث علق كل منهم حلقتين معدنيتين وكرر التجربة مسجلا عدة قياسات.

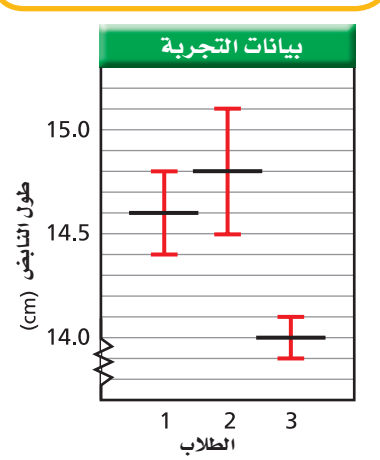
عندما أجرى الطالب الأول التجربة مرتان كانت قياسات طول النابض 14.8 cm ، 14.4 cm، ومتوسط قياساته 14.6 cm (**انظر الشكل 3-1**).

كرر الطالبان الثاني والثالث الخطوات نفسها، وكانت النتائج كما يلي:

- قياسات الطالب الأول: (14.6 ± 0.2) cm.
- قياسات الطالب الثاني: (14.8 ± 0.3) cm.
- قياسات الطالب الثالث: (14.0 ± 0.1) cm.

ما مقدار كل من دقة وضبط القياسات في التجربة السابقة؟ تسمى درجة الإتقان في القياس **دقة القياس**. إن قياسات الطالب الثالث هي الأكثر دقة، وبهامش خطأ مقداره ±0.1 cm، بينما كانت قياسات الطالبين الآخرين أقل دقة، وبهامش خطأ أكبر.

وتعتمد الدقة على كل من الأداة والطريقة المستخدمة في القياس. وعمومًا، كلما كانت الأداة ذات تدريجات بقيم أصغر كانت القياسات أكثر دقة، ودقة قياس الأداة تساوي نصف قيمة أصغر تدريج في الأداة.



الشكل 3-1 نتائج قياس طول النابض، حيث تمثل الأعمدة الحمراء هامش الخطأ. فهل تتطابق هذه القياسات؟

تجربة

قياس التغير

اجمع خمس حلقات معدنية متماثلة، ونابضًا يستطيل بشكل ملحوظ عندما نعلق به حلقة معدنية.

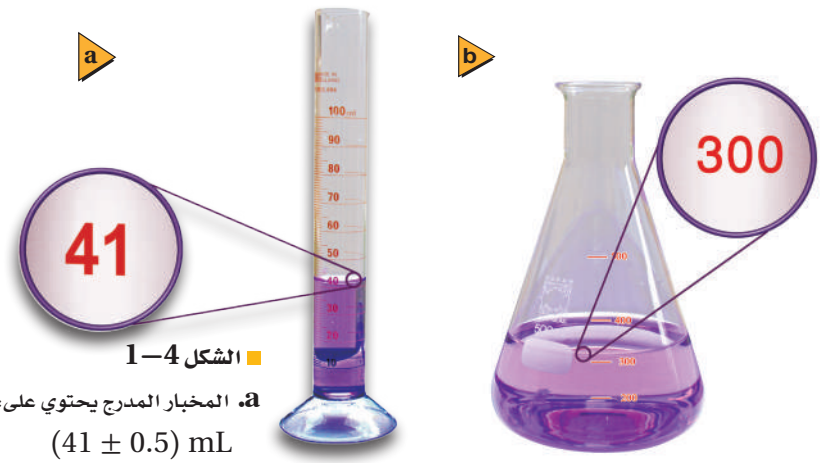
1. **قس** طول النابض الأصلي، وطوله عند تعليق: حلقة، ثم حلقتين، ثم ثلاث حلقات معدنية به.
2. **ارسم بيانيًّا** العلاقة بين طول النابض والكتلة المعلقة به.
3. **توقع** طول النابض عند تعليق أربع ثم خمس حلقات به.
4. **اختبر** توقعاتك.

التحليل والاستنتاج

5. صف شكل الرسم البياني، وكيف تستخدمه لتوقع طولين جديدين؟

فعلى سبيل المثال، يقسم المخبار المدرج في **الشكل a 1–4** إلى تدريجات يساوي كل منها 1 mL، وتستطيع من خلال هذه الأداة أن تقيس بدقة تصل إلى 0.5 mL، ومن جهة أخرى فإن أصغر تدريج في الدورق المبيّن في **الشكل b 1–4** هو 100 mL، ما دقة القياس لهذا الدورق؟

ما دقة قياساتك عندما أجريت تجربة النابض مع الحلقات المختلفة؟



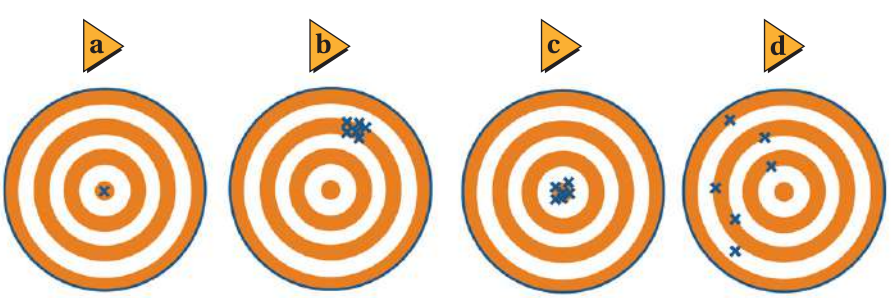
الشكل 1–4

a. المخبار المدرج يحتوي على: (41 ± 0.5) mL

b. الدورق يحتوي على: (300 ± 50)mL.

يصف **الضبط** اتفاق نتائج القياس مع القيمة المرجعية في القياس؛ أي القيمة المعتمدة من قبل خبراء مؤهلين، فإذا كانت القياسات متقاربة مع بعضها تكون الدقة عالية، وإذا كانت بعيدة عن القيمة المرجعية يكون الضبط قليلًا، ففي تجربة قياس التغير السابقة وعلى إفتراض أن طول النابض 14.9 cm وفقًا لقياس المعلم، فإن قياس الطالب الثاني سيكون الأكثر ضبطًا.

يمكن تمثيل الدقة والضبط باستخدام لعبة رمي السهام فعندما يكون السهم في المركز فهذا يشير إلى ضبط كبير لاحظ **الشكل 5a–1**، وعندما تكون الأسهم متقاربة وبعيدة عن المركز تكون الدقة عالية والضبط قليل لاحظ **الشكل 5b–1**، وإذا كانت الأسهم متقاربة وقريبة من المركز، تكون الدقة عالية وكذلك الضبط لاحظ **الشكل 5c–1**، أما إذا كانت الأسهم متباعدة وبعيدة عن المركز، فإن الدقة تكون قليلة وكذلك الضبط لاحظ **الشكل 5d–1**.



الشكل 5–1

a. السهم في المركز = ضبط عالي

b. الأسهم بعيدة عن المركز= ضبط قليل
الأسهم متقاربة من بعضها = دقة عالية

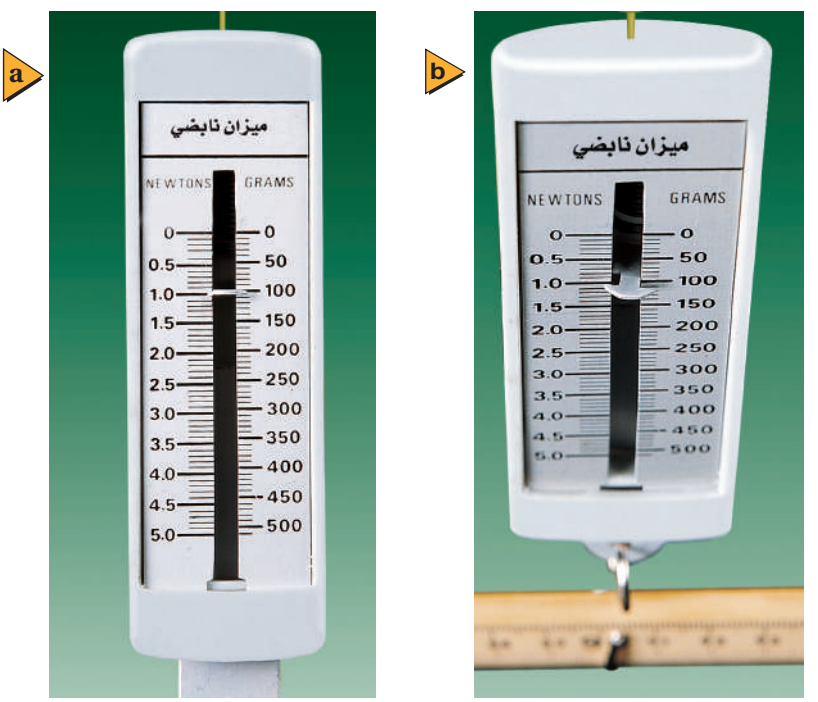
c. الأسهم في المركز = ضبط عالي
الأسهم متقاربة من بعضها = دقة عالية

d. الأسهم بعيدة عن المركز= ضبط قليل
الأسهم متباعدة عن بعضها = دقة قليلة

والطريقة الشائعة لاختبار الضبط في الجهاز تسمى معايرة النقطتين، وتتم أولاً بمعايرة صفر التدريج للجهاز، ثم بمعايرة الجهاز بحيث يعطي قيمة مضبوطة عندما يقيس كمية ذات قيمة معتمدة، انظر **الشكل 6–1**. ومن المستحسن إجراء الضبط الدوري للأجهزة في المختبر مثل الموازين والجلفانومترات وغيرها من أدوات القياس.

تقنيات القياس الجيد للوصول إلى مستوى الضبط المطلوب والدقة التي يسمح بها الجهاز، يجب أن تستخدم الأجهزة بصورة صحيحة، حتى لا يتم الوقوع في الخطأ المنتظم (الناتج عن أداة القياس) أو الخطأ غير المنتظم(الناتج عن الشخص المنفذ لعملية القياس) ومن أكثر الأخطاء غير المنتظمة شيوعاً ما ينتج عن الزاوية التي تؤخذ القراءة من خلالها؛ حيث يجب أن تقرأ التدريجات بالنظر عمودياً وبعين واحدة، كما هو موضح في **الشكل 7a–1** . أما إذا قرئ التدريج بشكل مائل كما هو موضح في **الشكل 7b–1** فإننا نحصل على قيمة مختلفة وغير مضبوطة، وينتج هذا عند النظر إليه من زوايا مختلفة. ويسمى " **اختلاف زاوية النظر Parallax** " وهو التغير الظاهري في موقع الجسم عند النظر إليه من زوايا مختلفة.

■ **الشكل 6–1** يختبر الضبط عن طريق قياس قيمة معلومة.



■ **الشكل 7–1** عند النظر إلى التدريج بشكل عمودي كما في **a** تكون قراءتك أضبط مما لو نظرت بشكل مائل كما في **b**.

تطبيق الفيزياء

قياس المسافة بين الأرض والقمر

تمكن العلماء من قياس المسافة بين القمر والأرض بدقة عن طريق إرسال أشعة ليزر في اتجاه القمر من خلال مناظير فلكية. تنعكس حزمة أشعة الليزر عن سطح عاكس وضع على سطح القمر وترتد عائدة إلى الأرض، مما مكن العلماء من قياس متوسط المسافة بين القمر والأرض وهي 385000 km، **بدقة تزيد عن واحد بالمليار.**

وباستخدام تقنية الليزر هذه اكتشف العلماء أن القمر يبتعد عن الأرض سنويًّا بمعدل 3.8 cm/yr **تقريبًا.**

1-2 مراجعة

10. مغناطيسية بروتون شحنته 1.6×10^{-19} A.s يتحرك بسرعة 2.4×10^{5} m/s عموديًّا على مجال مغناطيسي شدته 4.5 T، لحساب القوة المغناطيسية المؤثرة في البروتون:

a. عوض بالقيم في المعادلة $F = Bqv$، وتثبَّت من صحة المعادلة باستخدام التحليل البعدي.

b. احسب مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في البروتون.

11. الأدوات مسطرتان الأولى معدنية ساخنة مدرجة بالملّيمترات، والأخرى معدنية في درجة حرارة الغرفة ومدرجة بالسنتميترات، كيف تقارن بينهما من حيث الدقة والضبط؟

12. التفكير الناقد كتب زميلك في تقريره أن متوسط الزمن اللازم لحركة جسم دورة كاملة في مسار دائري هو 65.414 s، وقد سجلت هذه القراءة عن طريق قياس زمن 7 دورات باستخدام ساعة دقتها 0.1 s، ما مدى ثقتك بالنتيجة المدوّنة في التقرير؟ وضح إجابتك.

التجربة العملية:

كيف تؤثر أداة القياس في دقة وضبط القياس؟

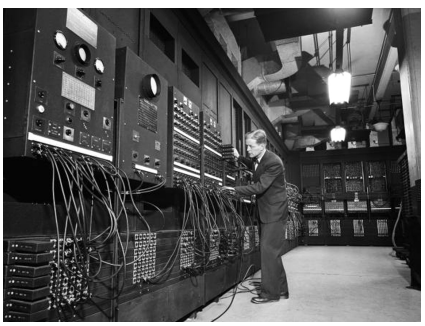
تقنية المستقبل

تاريخ تطور الحاسوب

Computer History and Growth

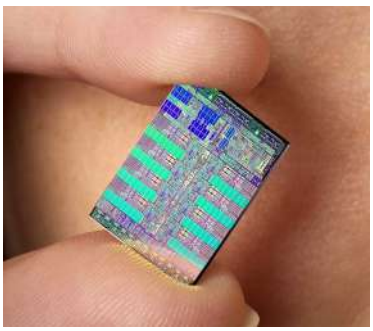
عندما تستخدم برامج الحاسوب أو تبعث برسائل إلكترونية فإن كل بكسل (pixel) منها يتطلب من الحاسوب حل عدة مئات من المعادلات الرياضية بسرعة هائلة، والتي لا تستغرق إلا أجزاء من المليار من الثانية.

الجيل الأول من الحواسيب كان بمقدرة الحواسيب الأولى حل المعادلات المعقدة، لكنها كانت تستغرق وقتًا طويلا؛ حيث كان علماء الحاسوب آنذاك يواجهون تحديات حقيقية في تحويل الصور إلى صيغ يستطيع الحاسوب معالجتها.



لقد كان حجوم الحواسيب ضخمة جدًّا، فهي تحوي الكثير من الأسلاك والترانزستورات كما هو موضح بالصورة أعلاه. إن سرعة مرور التيار الكهربائي خلال هذه الأسلاك لا يتجاوز $\frac{2}{3}$ سرعة الضوء، ونظرًا لطول الأسلاك المستخدمة فإنه يلزم التيار الكهربائي فترة زمنية طويلة ليمر خلالها.

الذاكرة: كانت صناعة ذاكرة الجيل الأول من الحواسيب مكلفة جدًّا، وكما تعلم فإن زيادة سعة الذاكرة يجعل الحاسوب يعمل بصورة أسرع؛ فصناعة ذاكرة بسعة 1byte كان يتطلب 8 دوائر كهربائية، وهذا يعني أنه لصناعة ذاكرة بسعة 1024bytes (1kb) والتي تعتبر سعة ضئيلة في وقتنا الحاضر، يحتاج إلى 8192 دائرة كهربائية.



ولعله من الطريف أن تعلم أن سعة ذاكرة الحاسوب الذي كان على متن سفينة أبوللو الفضائية والتي هبطت على سطح القمر كانت لا تتجاوز 64 kb.

في عام 1960م قام مجموعة من العلماء باختراع الدوائر التكاملية التي ساهمت في تقليل حجم الدوائر الحاسوبية وتكلفتها كثيرًا، وصغر حجم الحاسوب مع زيادة سعته. واليوم تصنع ترانزستورات الرقاقات الإلكترونية بأحجام صغيرة جدًّا، كما تقلص حجم الحاسوب وقل سعره، حتى أن الهاتف المتحرك يحتوي على تقنيات حاسوبية أكبر كثيرًا من الكمبيوترات المركزية العملاقة التي كانت تستخدم خلال عام 1970م.

دليل الدراسة

1–1 الرياضيات والفيزياء Mathematics and Physics

المفردات

- الفيزياء
- النظـام الدولـيّ للوحدات
- التحليل البُعدي
- معامل التحويل

الفكرة الرئيسة: تستخدم الرياضيات للتعبير عن المفاهيم في الفيزياء.

- علم دراسة المادة والطاقة والعلاقة بينهما.
- يستخدم العلماء النظام الدولي للوحدات لمشاركة الآخرين نتائج تجاربهم.
- يستخدم التحليل البُعدي للتحقق من أن وحدات الإجابة صحيحة.
- يختار معامل التحويل بحيث يجعل الوحدات تشطب بعضها البعض.

1–2 القياس Measurement

المفردات

- القياس
- دقة القياس
- الضبط
- اختلاف زاوية النظر

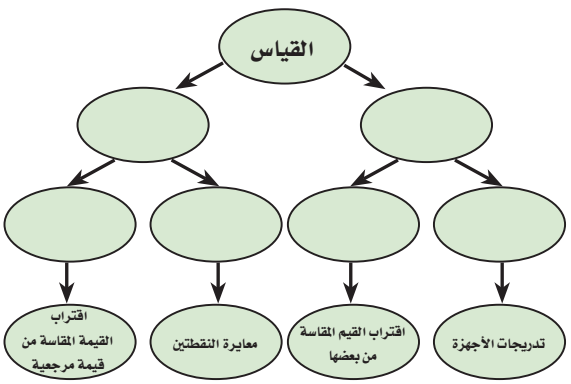
الفكـرة الرئيسـة: تكرار التجارب ومقارنـة النتائج يسمح للعلمـاء بأخذ قياسات دقيقة ومضبوطة.

- عبارة عن مقارنة كمية مجهولة بأخرى معيارية.
- درجة الإتقان في القياس.
- يصـف الضبـط كيف تتفـق نتائج القياس مـع القيمـة المرجعيّـة (المعيارية) في القياس.
- التغير الظاهري في موقع الجسم عند النظر إليه من زوايا مختلفة.

خريطة المفاهيم

13. أكمل خريطة المفاهيم الآتية باستخدام المصطلحات التالية:

الدقة – الضبط – دقة الجهاز – دقة القياس – ضبط الجهاز – ضبط القياس



إتقان المفاهيم

14. ما أهمية الرياضيات في علم الفيزياء؟

15. ما النظام الدولي للوحدات؟

16. ماذا يطلق على قيم المتر التالية:

a. $\frac{1}{100}$ m b. $\frac{1}{1000}$ m c. 1000 m

17. اختبر المعادلات التالية واشرح سبب عدم امتلاك كل منها للخصائص اللازمة لوصف مفهوم السرعة:

a. $\Delta x + \Delta t$

b. $\Delta x - \Delta t$

c. $\Delta x \times \Delta t$

d. $\frac{\Delta t}{\Delta x}$

تطبيق المفاهيم

18. **الكثافة** تُعرف الكثافة بأنها كتلة وحدة الحجوم وتساوي الكتلة مقسومة على الحجم.

a. ما وحدة الكثافة في النظام الدولي؟

b. هل وحدة الكثافة أساسية أم مشتقة؟

19. قام طالبان بقياس سرعة الضوء، فحصل الأول على $(3.001 \pm 0.001) \times 10^8$ m/s، وحصل الثاني على $(2.999 \pm 0.006) \times 10^8$ m/s.

a. أيهما أكثر دقة؟

b. أيهما أكثر ضبطًا؟ علمًا بأن القيمة المعيارية لسرعة الضوء هي: 2.99792458×10^8 m/s

20. قاست ثلاث طالبات كل منهما على حدة كثافة قطعة من الرصاص ثلاث مرات، وكانت نتائجهن على النحو الآتي:

1 – سارا: 11.33 g/cm³، 11.35 g/cm³، 11.32 g/cm³

2 – راما: 11.43 g/cm³، 11.44 g/cm³، 11.42 g/cm³

3 – رهف: 11.55 g/cm³، 11.34 g/cm³، 11.04 g/cm³

إذا علمت أن كثافة الرصاص المرجعية(المعيارية) 11.34 g/cm³، أجب عما يلي:

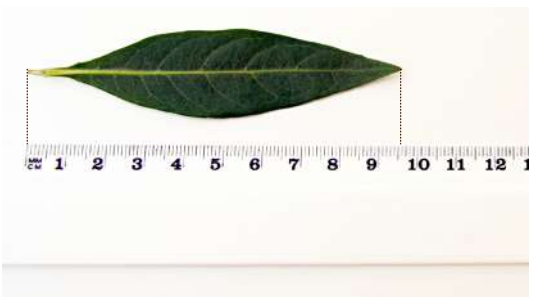
أ– أي القياسات كانت الأكثر دقة؟

ب– أي القياسات كانت الأكثر ضبطًا؟

ج– أي القياسات ليست مضبوطة وغير دقيقة؟

تقـويـم الفصل - 1

21. مـا طول ورقة الشـجر المبينة في الشـكل 8–1، ضمِّن إجابتك خطأ القياس؟



■ الشكل 8–1

إتقان حل المسائل

1-1 الرياضيات والفيزياء

22. يُعبَّر عن مقدار قوة جذب الأرض للجسـم بالعلاقة $F = mg$ ، حيث تمثل m كتلة الجسـم و g التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية ($g = 9.80\ m/s^2$).

a. أوجد القوة المؤثرة في جسم كتلته 41.63 kg

b. إذا كـانـت القـــوة المـؤثـــرة فـي جـسـم هـي 632 kg .m /s²، فما كتلة هذا الجسم؟

23. يـقـــاس الضـغـط بـوحـدة الباســكـال Pa حيث 1 Pa =1 kg/m.s²، هـل التعبيـر التالي يمثل قياسًـا للضغط بوحدات صحيحة؟

$$\frac{(0.55\ kg)(2.1\ m/s)}{9.80\ m/s^2}$$

24. ما معامل التحويل اللازم لتحويل كلٍ مما يلي:

a. mm إلى dm

b. min إلى وحدة s

c. km /h إلى وحدة m /s

1-2 القياس

25. حوّل كلًّا مما يلي إلى متر:

a. 42.3 cm

b. 6.2 pm

c. 21 km

d. 0.023 mm

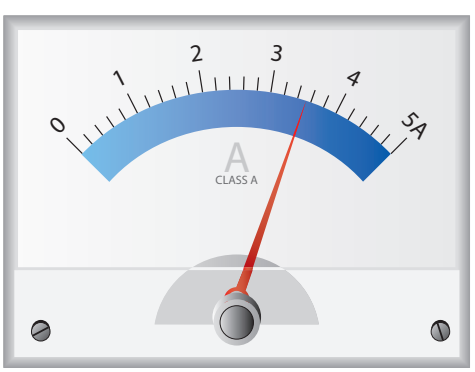
e. 214 µm

f. 57 nm

26. مـا دقـة القياس التي تسـتطيع الحصـول عليها من الميزان الموضح في الشكل 9–1؟

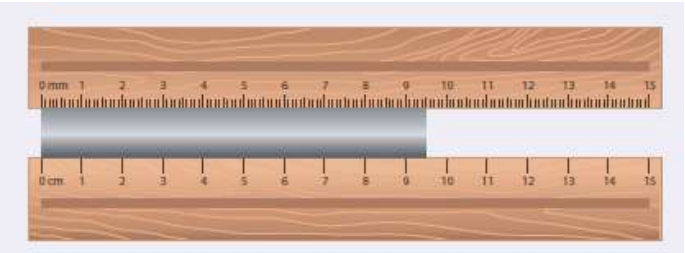
■ الشكل 9–1

27. اقـرأ القيـاس الموضح في الشـكل 10–1، وضمِّن خطأ القياس في الإجابة.



■ الشكل 10–1

28. إقـرأ القياس الموضح في **الشـكل 11–1**، وضمن خطأ القياس في إجابتك لكل مقياس.



الشكل 11– 1

مراجعة عامة

29. تـتـكــون قـطــرة الـمــاء فـــي المتـوســط مـن 1.7×10^{21} جزيء. إذا كان الماء يتبخر بمعدل مليون جزيء في الثانية، فاحسـب الزمن اللازم لتبخر قطرة الماء تمامًا.

التفكير الناقد

30. **صمـم تجربة** إلى أي ارتفاع تسـتطيع رمي كرة؟ مـا المتغيـرات التـي مـن المحتمـل أن تؤثر في إجابة هذا السؤال؟

الكتابة في الفيزياء

31. اكتـب مقالة عن تاريخ الفيزيـاء توضح فيها كيفية تغير الأفكار حول موضوع أو كشـف علمي ما مع مـرور الزمـن. تأكد من إدراج إسـهامات العلماء، وتقويـم أثرها في تطور الفكـر العلمي، وفي واقع الحياة.

32. وضـح كيـف أن تحسـين الدقة في قيـاس الزمن يـؤدي إلى دقة أكثر في التوقعـات المتعلقة بكيفية سقوط الجسم.

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

1. استخدم عالمَا مختبر تقنية التأريخ بالكربون المشع، لتحديد عمر رمحين خشبيين اكتشفاهما في الكهف نفسه. وجد العالم A أن عمر الرمح الأول هو 2250 ± 40 years، ووجد العالم B أن عمر الرمح الثاني هو 2215 ± 50 years أي الخيارات التالية صحيح؟

(A) قياس العالم A أكثر ضبطًا من قياس العالم B

(B) قياس العالم A أقل ضبطًا من قياس العالم B

(C) قياس العالم A أكثر دقة من قياس العالم B

(D) قياس العالم A أقل دقة من قياس العالم B

2. أي القيم أدناه تساوي 86.2 cm؟

(A) 8.62 m (C) 8.62×10^{-4} km

(B) 0.862 mm (D) 862 dm

3. إذا أعطيت المسافة بوحدة km والسرعة بوحدة m/s أي العمليات أدناه تعبر عن ايجاد الزمن بالثواني (s)؟

(A) ضرب المسافة في السرعة، ثم ضرب الناتج في 1000

(B) قسمة المسافة على السرعة، ثم ضرب الناتج في 1000

(C) قسمة المسافة على السرعة، ثم قسمة الناتج على 1000

(D) ضرب المسافة في السرعة، ثم قسمة الناتج على 1000

4. أي الصيغ الآتية مكافئة للعلاقة $d = \frac{m}{V}$؟

(A) $V = \frac{m}{d}$ (C) $V = \frac{md}{V}$

(B) $V = dm$ (D) $V = \frac{d}{m}$

الأسئلة الممتدة

5. تُريد حساب التسارع بوحدة m/s^2، فإذا كانت القوة مقيسة بوحدة N، والكتلة بوحدة g، حيث $1\ N = 1\ kg.m/s^2$، اجب عما يلي:

a. أعد كتابة المعادلة $F = ma$ بحيث تعطي قيمة التسارع a بدلالة m و F.

b. ما معامل التحويل اللازم لتحويل grams إلى kilograms؟

c. إذا أثرت قوة مقدارها 2.7 N في جسم كتلته 350 g، ما المعادلة التي تستخدمها في حساب التسارع، مضمنًا معامل التحويل؟

إرشاد

حاول أن تتخطى

قد ترغب في تخطي المسائل الصعبة وتعود إليها لاحقًا، إن إجابتك عن الأسئلة السهلة، قد تساعدك على الإجابة عن الأسئلة التي تخطيتها، كما تضمن لك الحصول على المزيد من الدرجات في نتيجتك النهائية.

الفصل 2

تمثيل الحركة
Representing Motion

يتوقع بعد الإنتهاء من دراسة هذا الفصل أن أكون قادرًا على:

- توضيح المفاهيم والمصطلحات (مخطط الحركة، نموذج الجسيم النقطي، النظام الإحداثي، نقطة الأصل، الموقع، المسافة، الكميات المتجهة، الكميات العددية، المحصلة، الفترة الزمنية، الإزاحة، منحنى (الموقع-الزمن)، الموقع اللحظي، السرعة المتجهة المتوسطة، السرعة المتوسطة، السرعة المتجهة اللحظية) المتعلقة بتمثيل الحركة وارتباطها ببعضها.
- تمثيل حركة الأجسام في بعد واحد باستخدام التمثيلات المتكافئة ووصفها.
- قراءة الرسوم البيانية المتعلقة بحركة الأجسام في بعد واحد وتحليلها.
- تطبيق علاقات رياضية وبيانية لحل مسائل تتعلق بتمثيل حركة الأجسام في بعد واحد.
- استخدام الأدوات والأجهزة المتعلقة بالحركة في بعد واحد لإجراء التجارب وتمثيل البيانات وتحليلها لاستخلاص النتائج.
- إدراك أهمية الحركة وتطبيقاتها في بعد واحد في الحياة اليومية.

الفكرة العامة

يمكن استخدام الإزاحة والسرعة المتجهة لوصف حركة الأجسام.

2-1 تصوير الحركة

الفكرة الرئيسة يمكن استخدام مخططات الحركة لتوضيح كيفية تغير موقع الاجسام مع مرور الزمن.

2-2 الموقع والزمن

الفكرة الرئيسة تساعد أنظمة الإحداثيات في وصف الحركة.

2-3 منحنى (الموقع- الزمن)

الفكرة الرئيسة يمكن استخدام منحنى (الموقع- الزمن) لتحديد موقع جسم عند زمن معين.

2-4 السرعة المتجهة

الفكرة الرئيسة السرعة المتجهة للجسم هي التغير في موقعه بالنسبة للزمن الذي حدث فيه التغير.

فكّر

كيف يمكنك تمثيل حركة سيارتين؟

تجربة استهلالية

أي السيارتين أسرع؟

سؤال التجربة في سباق بين سيارتي لعبة، هل يمكنك أن تبين أيهما أسرع؟

الخطوات

1. أحضر سيارتي لعبة تعملان بانضغاط النابض، وضعهما على طاولة المختبر، أو على أي سطح آخر يقترحه المعلم.
2. حدد خطًّا لبداية السباق.
3. قم بتعبئة نابضي السيارتين، ثم أطلقهما من خط البداية في اللحظة نفسها.
4. لاحظ حركة السيارتين عن قرب لتحدد أيهما أسرع.
5. كرر الخطوات السابقة، لدعم استنتاجك في تحديد السيارة الأسرع.

التحليل

ما البيانات التي جمعتها لتثبت أيّ السيارتين كانت أسرع؟ ما البيانات الأخرى التي يمكن أن تجمعها لإثبات الفكرة السابقة؟

التفكير الناقد اكتب تعريفًا إجرائيًّا (عمليًّا) للسرعة المتوسطة.

2-1 تصوير الحركة Picturing Motion

الفيزياء في حياتك

يمكن للفيزيائيين توظيف اللقطات المتتابعة لحركة جسم في حساب التغيرات الحادثة في الموقع والسرعة.

تساؤلات جوهرية:

- كيف تُمثل حركة الأجسام بمخططات الحركة؟
- كيف يُستخدم نموذج الجسيم النقطي لتمثيل حركة الأجسام؟

المفردات:

- مخطط الحركة التصويري
- نموذج الجسيم النقطي

إن البحث في حركة الأجسام من الموضوعات المهمة التي شغلت أذهان العلماء منذ أقدم العصور، حيث تشكل الحركة عنصرًا مهمًا في حياة الإنسان وبيئته، وستقوم في هذا الفصل بدراسة أنماط الحركة باستخدام الرسوم ومخططات الحركة والرسوم البيانية، وكذلك المعادلات الرياضية. إن هذه المفاهيم تساعدك في تحديد سرعة الجسم، وإلى أي بُعد سيتحرك؟ وما إذا كان الجسم يتسارع أو يتباطأ، أو كان ساكنًا أو متحركًا بسرعة منتظمة. إن إدراك الحركة أمر غريزي؛ فعيناك تنتبهان غريزيًّا للأجسام المتحركة أكثر مما تنتبه للأجسام الساكنة؛ فالحركة موجودة في كل مكان حولنا، بدءًا من القوارب السريعة إلى النسمات الخفيفة والغيوم البطيئة. علمًا بأن مفهومي الحركة والسكون هما مفهومان نسبيان وليس هناك سكون مطلق أو حركة مطلقة.

أنواع الحركة Kinds of Motion

ما الذي يتبادر إلى ذهنك عندما تسمع كلمة حركة، أو سيارة مسرعة، أو ركوب العجلة الدوارة في متنزه الألعاب، أو كرة قدم ترتفع فوق سياج المنزل، أو طفل يتأرجح إلى الأمام وإلى الخلف بشكل منتظم؟

عندما يتحرك جسم ما فإن موقعه يتغير كما في **الشكل 1–2**، ويمكن أن يحدث هذا التغير وفق مسار في خط مستقيم وتسمى الحركة في خط مستقيم، أو دائرة وتسمى الحركة الدائرية، أو على شكل اهتزاز (تأرجح) وتسمى الحركة الاهتزازية.

بعض أنواع الحركة التي تم ذكرها سابقًا تبدو أكثر تعقيدًا من غيرها. وعند البدء في دراسة مجال جديد فيُحَسن أن نبدأ بالأمور التي تبدو أقل تعقيدًا. لذا سنبدأ هذا الفصل بدراسة الحركة في خط مستقيم.

ولوصف حركة أي جسم يجب معرفة أين ومتى شغل الجسم مكانًا ما؟ فوصف الحركة يرتبط بالمكان والزمان.

الشكل 1–2 يغير راكب الدراجة الهوائية موقعه في أثناء حركته. وفي هذه الصورة كانت آلة التصوير مركزة على الراكب، لذا فالخلفية غير الواضحة تدل على أن موقع الراكب قد تغير.

مخططات الحركة Motion Diagrams

مخطط الحركة التصويري يمكن تمثيل حركة عداء بالتقاط سلسلة من الصور المتتابعة التي تظهر مواقع العداء في فترات زمنية متساوية، يظهر **الشكل 2–2** كيف تبدو الصور المتتابعة لعداء. لاحظ أن العداء يظهر في موقع مختلف في كل صورة، بينما يبقى كل شيء في خلفية الصور في المكان نفسه. وهذا يدل (ضمن المنظور) على أن العداء هو المتحرك الوحيد بالنسبة لما حوله.

افترض أنك رتبت الصور المتتابعة في **الشكل 2–2** ، وجمعتها في صورة واحدة تظهر مواقع جسم متحرك في فترات زمنية متساوية كما في **الشكل 3–2**، ويطلق عندئذ على هذا الترتيب مصطلح **مخطط الحركة التصويري**.

الشكل 2–2 إذا ربطت موقع العدّاء مع الخلفية في كل صورة في فترات زمنية متساوية، ستستنتج أنه في حالة حركة.

نمـوذج الجسـيم النقطي يسـهل تتبُّع مسـار حركة العـدّاء عند تجاهـل حركة الأذرع والأرجـل، كما يمكن تجاهل جسـم العداء كله والاكتفاء بالتركيـز على نقطة صغيرة مفـردة فـي مركز جسـمه. وبتمثيل حركة العـدّاء بسلسـلة متتابعة من النقـاط المفردة يمكنـك الحصـول على **نموذج الجسـيم النقطـي**، كما هو موضح في الجزء السـفلي من **الشكل 3–2**. وحتى تستخدم النموذج الجسيمي النقطي بنجاح فإن حجم الجسم يجب أن يكون صغيرًا جدًّا مقارنة بالمسافة التي يتحركها الجسم.

الشكل 3–2 إن ترتيب سلسلة من الصور المتلاحقة الملتقطة في فترات زمنية منتظمة، وجمعها في صورة واحدة، يُعطي مخطط الحركة التصويري للعدّاء. كما أن اختزال حركة العدّاء إلى نقاط مفردة متتابعة ينتج لنا نموذجًا جسيميًّا نقطيًّا لحركته.

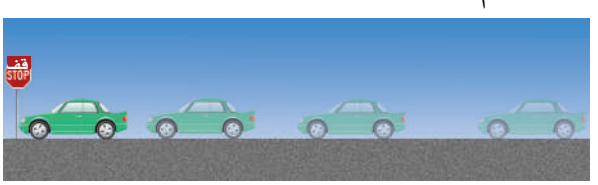
2-1 مراجعة

1. **مخطـط الحركـة لدرّاج** ارسـم نموذج الجسـيم النقطـي لراكـب دراجـة هوائيـة يتحرك بسـرعة منتظمة.

2. **مخطـط الحركة لطائر** ارسـم نموذج الجسـيم النقطـي لطائـر في أثنـاء طيرانه كما في **الشـكل 4–2**، ما النقطة التي اخترتها على جسـم الطائر لتمثله؟

الشكل 4–2

3. **مخطـط الحركـة لسـيارة** ارسـم نموذج الجسـيم النقطي لسيارة ستتوقف عند إشارة مرورية، كما في **الشكل 5–2**. حدد النقطة التي اخترتها على جسم السيارة لتمثيلها.



الشكل 5–2

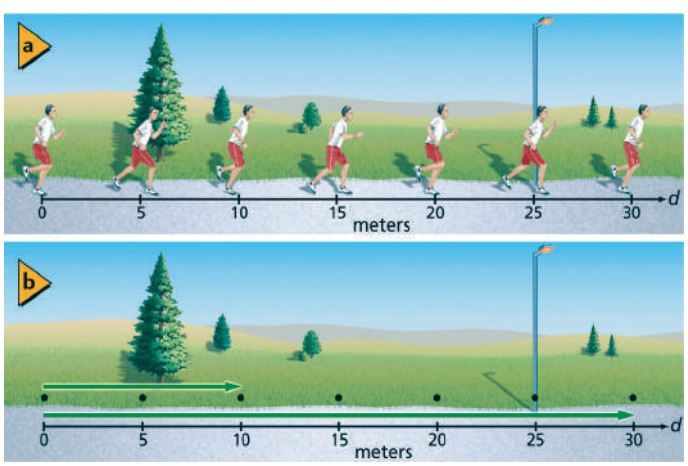
4. **التفكير الناقد** ارسـم نموذج الجسـيم النقطي لعدّاءيـن في سـباق فـي الحالة التي يصـل فيها الأول خـط النهاية ويكون الآخر قـد قطع ثلاثة أرباع مسافة السباق فقط.

هل من الممكن أخذ قياسات المسافة والزمن من مخططات الحركة كمخطط حركة العدّاء؟ قبل التقاط الصور يمكنك وضع شريط قياس متري على الأرض على طول مسار العدّاء، ليرشدك إلى مكان العدّاء في كل صورة، ووضع ساعة وقف ضمن المنظر الذي تصوره الكاميرا ليعيِّن لك الزمن. لكن أين يجب أن تضع بداية شريط القياس؟ ومتى يجب أن تبدأ تشغيل ساعة الوقف؟

أنظمة الإحداثيات Coordinate Systems

عندما تقرر أين تضع النهاية الصفرية لشريط القياس، ومتى تشغل ساعة الوقف، ستكون قد حددت **النظام الإحداثي** الذي يعين موقع نقطة الأصل بالنسبة للمتغير الذي تدرسه، والاتجاه الذي تتزايد فيه قيم هذا المتغير. إن **نقطة الأصل** هي النقطة التي تكون عندها قيمة كل من المتغيرين صفرًا . ونقطة الأصل في مثال العدّاء، تم تمثيلها بالنهاية الصفرية لشريط القياس، الذي يمكن وضعه على بعد 6 m عن يسار الشجرة. والحركة هنا تتم في خط مستقيم، لذا فإن شريط القياس يتم وضعه على امتداد هذا الخط المستقيم الذي يمثل أحد محوري النظام الإحداثي. من المحتمل أن تضع شريط القياس بحيث يزداد تدريج المقياس المتري عن يمين الصفر، كما أن وضعه في الاتجاه المعاكس صحيح أيضًا. في **الشكل a 6–2** نقطة الأصل للنظام الإحداثي تقع في جهة اليسار.

يمكنك أن تعيِّن بُعد العدّاء عن نقطة الأصل عند لحظة معينة على مخطط الحركة، وذلك برسم سهم من نقطة الأصل إلى النقطة التي تمثل موقع العدّاء في هذه اللحظة، كما هو مبين في **الشكل b 6–2**. وهذا السهم يمثل **موقع** العدّاء، حيث يدل طول السهم على بعد الجسم عن نقطة الأصل، وهو يتجه دوما من نقطة الأصل إلى موقع الجسم المتحرك.



الشكل 6–2 في هذه الأشكال التوضيحية للحركة، تقع نقطة الأصل إلى اليسار، **a**. القيم الموجبة للمسافة تمتد أفقيا إلى اليمين.
b. السهمان المرسومان من نقطة الأصل إلى نقطتين يحددان موقعا العدّاء، في زمنين مختلفين.

الفيزياء في حياتك

هل استخدمت الخرائط الموجودة في جوالك للوصول لوجهة معينة؟ تظهر هذه الخرائط المسافة والاتجاه والزمن للوصول لموقع معين، إنك تحتاج إلى اتجاهات واضحة للوصول إلى وجهتك.

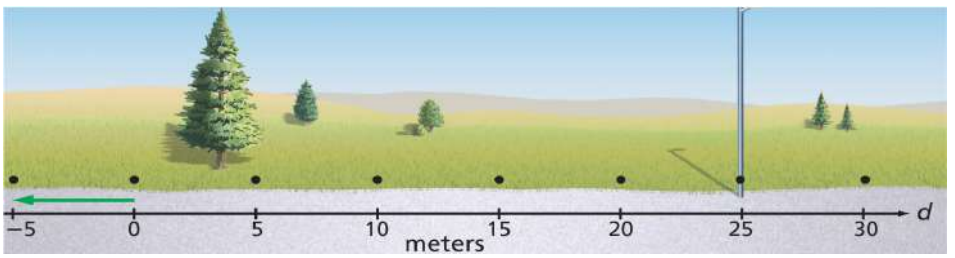
تساؤلات جوهرية:

- ما أنظمة الإحداثيات؟
- كيف يؤثر اختيار أنظمة الإحداثيات في إشارة موقع الجسم؟
- كيف تقاس الفترة الزمنية؟
- ما الإزاحة؟
- كيف تساعد مخططات الحركة في الإجابة عن الأسئلة المتعلقة بموقع الجسم أو إزاحته؟

المفردات:

- النظام الاحداثي
- نقطة الأصل
- الموقع
- المسافة
- الكميات المتجهة
- الكميات العددية
- المحصلة
- الفترة الزمنية
- الإزاحة

لكـن، هـل هناك موقع سـالب؟ افترض أنـك اخترت نظامًـا إحداثيًّا كالـذي وضعته، واخترت نقطة الأصل على بعد 4 m يسـار الشـجرة على محور المسـافة الذي يمتد في الاتجاه الموجب نحو اليمين، فإن الموقع الذي يبعد 9 m إلى يسار الشجرة يبعد 5 m إلى يسار نقطة الأصل ويكون موقعه سالبًا. كما يظهر في **الشكل 7–2**.



■ **الشكل 7–2** السهم المرسوم على مخطط الحركة يشير إلى موقع سالب.

المختبر الافتراضي:
توضيح مفهوم الموقع – الزمن.

الكميات الفيزيائية المتجهة والكميات الفيزيائية العددية

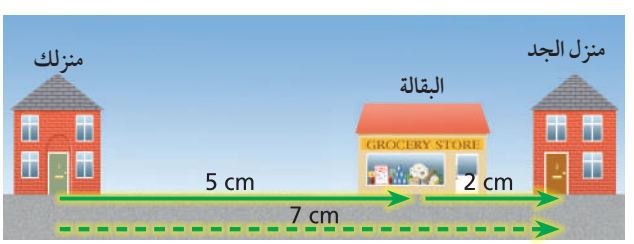
الكميـات الفيزيائية التي يتطلب تعيينها تحديد مقدارها واتجاهها وفقًا لنقطة الإسـناد، مثل الإزاحة والقوة تسمى **كميات متجهة**، ويمكن تمثيلها بوساطة الأسهم. وغالبًا ما يُعبّر عن هذه الكميات بوضع سـهم فوق رمز الكمية الفيزيائية للدلالة على أنها متجهة مثل: ($\vec{F}$ و $\vec{a}$). وسـنعتمد في هذا الكتاب حروف البنط العريض (**Bold**) للدلالة على الكميـات المتجهـة. أما الكميات الفيزيائيـة التي يكفي لتعيينها تحديـد مقدارها فقط، مثل **المسافة**، والزمن، ودرجة الحرارة فتسمى **كميات عددية**.

جمع وطرح الكميات المتجهة فكر في حل المسألة التالية: طلبت إليك والدتك شراء بعض الأشياء وأخذها إلى منزل جدك، فمشيت مسافة 0.5 km نحو الشرق من بيتك إلى البقالة، وقمت بالشـراء، ثم مشـيت مسافة 0.2 km نحو الشرق إلى منزل جدك. ما بعدك عن نقطة الأصل (منزلك) في نهاية رحلتك؟ الجواب هو:

$$\underset{\text{شرقًا}}{0.5\ \text{km}} + \underset{\text{شرقًا}}{0.2\ \text{km}} = \underset{\text{شرقًا}}{0.7\ \text{km}}$$

يسمى المتجه الذي يمثل مجموع متجـهـين آخـرين متجه **المحصلة**، وهو يتجه دائمًا من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الآخر.

ويمكنك حل المسـألة بيانيًّا، وذلك باسـتخدام مسطرة، لقياس ورسم كل متجه، على أن يكون طول المتجه متناسـبًا مع مقدار الكمية التي يمثلها، وذلك باختيار مقياس رسـم مناسـب. فعلى سـبيل المثال ربمـا تجعل كل 1 cm على الورقة يمثـل 0.1 km . يوضح **الشـكل 8–2** كلا المتجهين في رحلتك إلى منزل جدك، وهما مرسـومان بمقياس 1 cm لكل 0.1 km، والمتجه الذي يمثل مجموع المتجهين مبين بخط متقطع طوله 7 cm، ووفق مقياس الرسم فإنك على بعد 0.7 km إلى الشرق من نقطة الأصل عند نهاية رحلتك.



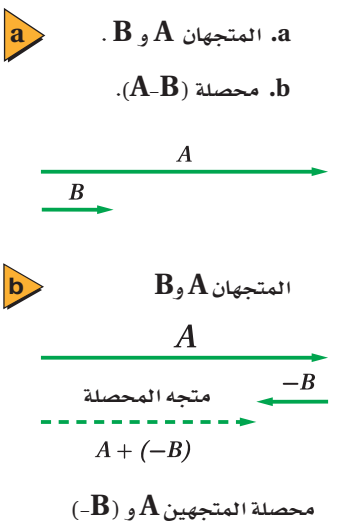
■ **الشكل 8–2** يُجمع متجهان بوضع رأس الأول ملامسًا لذيل الثاني. تبدأ المحصلة من ذيل المتجه الأول وتنتهي في رأس المتجه الثاني.

التجربة العملية:
كيف يختلف مخطط الحركة لسيارة سريعة عنه لسيارة بطيئة.

كيف تطرح الكميات المتجهة؟ لطرح متجه من آخر اعكس اتجاه المتجه المراد طرحه، ثم اجمعهما. وذلك لأن:

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

يبين الشكل a 9–2 متجهين، الأول A طوله 4 cm ويتجه نحو الشرق، والثاني B طوله 1 cm ويتجه نحو الشرق أيضًا. أما **الشكل b 9–2** فيبين المتجه $-B$ وطوله 1cm، والذي يتجه نحو الغرب. وتظهر محصلة المتجهين A و $(-B)$ ويمثلها متجه طوله 3 cm ويتجه نحو الشرق.



■ **الشكل 9–2**
a. المتجهان A و B .
b. محصلة (A-B).

الفترة الزمنية والإزاحة Time Interval and Displacement

عند تحليل حركة العدّاء كما هو مبين في **الشكل 10–2** تحتاج إلى معرفة الزمن الذي استغرقه العداء للانتقال من الشجرة إلى عمود الإنارة. يمكن إيجاد هذه الفترة الزمنية بحساب الفرق بين قراءتي ساعة الوقف في كل موقع. اختر الرمز t_i للزمن عندما كان العدّاء عند الشجرة، والرمز t_f للزمن عندما صار عند عمود الإنارة. الفرق بين زمنين يسمى **فترة زمنية** ويرمز لها بالرمز Δt حيث:

الفترة الزمنية $\Delta t = t_f - t_i$

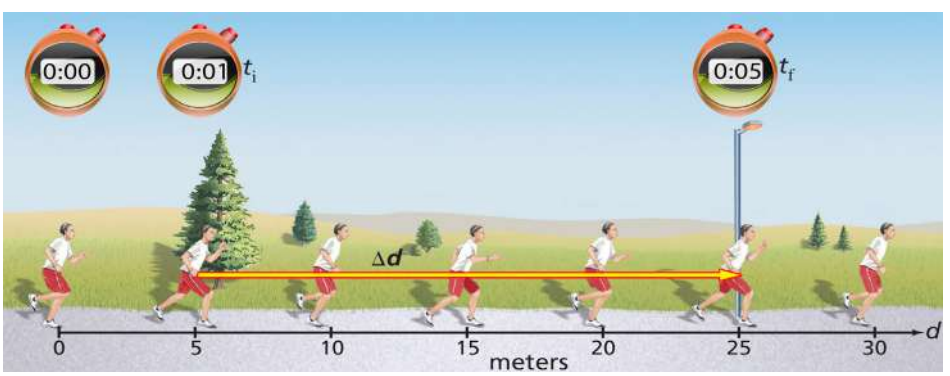
الفترة الزمنية تساوي الزمن النهائي مطروحًا منه الزمن الابتدائي.

دلالة اللون
• متجهات الإزاحة تظهر باللون الأخضر.

وفي مثال العدّاء، يكون الزمن الذي يستغرقه العدّاء للذهاب من الشجرة إلى عمود الإنارة هو:

$$t_f - t_i = 5.0\ \text{s} - 1.0\ \text{s} = 4.0\ \text{s}$$

ولكن كيف تَغير موقع العدّاء عندما ركض من الشجرة حتى عمود الإنارة؟ يستخدم الرمز d لتمثيل موقع العداء.



■ **الشكل 10–2** يمكنك أن تلاحظ أن العدّاء استغرق أربع ثوانٍ ليركض من الشجرة إلى عمود الإنارة. المتجه من الموقع 1 إلى الموقع 2 يشير إلى اتجاه ومقدار الإزاحة خلال هذه الفترة الزمنية.

الموقع في الفيزياء يعبر عنه بسهم ذيله في نقطة الأصل ورأسه في مكان الجسم؛ أما **الإزاحة** فهي كمية فيزيائية متجهة، وتمثل مقدار التغير الذي يحدث لموقع الجسم في اتجاه معين. ويرمز للإزاحة بالرمز $\Delta \boldsymbol{d}$ وتمثل بسهم يشير ذيله إلى موقع بداية الحركة، بينما يشير رأسه إلى موقع نهايتها، كما أن طول السهم يمثل مقدار المسافة التي قطعها الجسم في اتجاه معين، وهو الاتجاه الذي يشير إليه السهم.

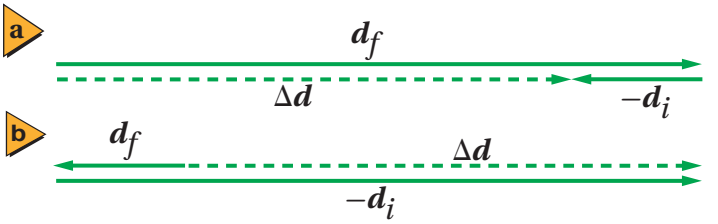
كما تحسب الإزاحة رياضيًّا بالعلاقة:

$$\Delta \boldsymbol{d} = \boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i$$

الإزاحة $\Delta \boldsymbol{d}$ تساوي متجه الموقع النهائي $\boldsymbol{d}_f$ مطروحًا منه متجه الموقع الابتدائي $\boldsymbol{d}_i$

ويمكن إيجاد طول واتجاه متجه الإزاحة $\Delta \boldsymbol{d}$ برسم متجه الموقع $\boldsymbol{d}_f$ ، ومتجه الموقع $-\boldsymbol{d}_i$ والذي يكون اتجاهه بعكس اتجاه متجه الموقع $\boldsymbol{d}_i$، لاحظ **الشكل 11–2**، ثم نقله بحيث يكون ذيله عند رأس متجه الموقع d_f ويتم جمعهما معًا.

فإزاحة العداء $\Delta \boldsymbol{d}$ في أثناء حركته من الشجرة إلى عمود الإنارة تساوي $25.0\text{m} - 5.0\text{ m} = 20.0\text{ m}$، والإزاحة بوصفها متجهًا تختلف عن المسافة بوصفها كمية عددية؛ فالإزاحة تعبر عن كل من المسافة والاتجاه.



الشكل 11–2 يمكن حساب إزاحة العدّاء خلال الثواني الأربع بطرح $\boldsymbol{d}_i$ من $\boldsymbol{d}_f$. في الشكل (a) تقع نقطة الأصل (الشجرة) إلى اليسار، أما في الشكل (b) فتقع نقطة الأصل (العمود) عن اليمين. وبغض النظر عن اختيارك النظام الإحداثي فإن قيمة واتجاه متجه الإزاحة $\Delta \boldsymbol{d}$ لا تتغير.

2-2 مراجعة

5. **الإزاحة** يمثل الشكل التالي النموذج الجسيمي النقطي لحركة سيارة على طريق سريع، وقد حددت نقطة الانطلاق كالتالي:

من هنا • • • • • • إلى هناك

أعد رسم هذا النموذج الجسيمي النقطي، وارسم متجهًا يمثل إزاحة السيارة من نقطة البداية حتى نهاية الفترة الزمنية الثالثة.

6. **الإزاحة** يمثل النموذج الجسيمي النقطي أدناه حركة طالب يسير من بيته إلى المدرسة:

البيت • • • • • • • • • • المدرسة

أعد رسم الشكل وارسم متجهات لتمثيل الإزاحة بين كل نقطتين.

7. **الموقع** قارن طالبان بين متجهي الموقع اللذين قاما برسمهما على مخطط للحركة لتحديد موقع جسم متحرك في اللحظة نفسها، فوجدا أن المتجهين المرسومين لا يشيران إلى الاتجاه نفسه. فسر ذلك.

8. **التفكير الناقد** تتحرك سيارة في خط مستقيم من البقالة إلى مكتب البريد، ولتمثيل حركتها استخدمت نظامًا إحداثيًّا، نقطة الأصل فيه البقالة، واتجاه حركة السيارة هو الاتجاه الموجب. أما زميلك فاستخدم نظامًا إحداثيًّا، نقطة الأصل فيه مكتب البريد، والاتجاه المعاكس لحركة السيارة هو الموجب. هل ستتفقان على كل من موقع السيارة والإزاحة والمسافة والفترة الزمنية التي استغرقتها الرحلة؟ وضح ذلك.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني
www.obeikaneduction.com

2-3 منحنى (الموقع - الزمن) Position - Time Graph

الفيزياء في حياتك

تظهر الرسوم البيانية التغيرات عبر الزمن، فعلى سبيل المثال، فيمكن لرسم بياني أن يظهر التغيرات في أسعار النفط خلال سنوات عدة، وبالمثل يمكن لمنحنى (الموقع-الزمن) أن يظهر تغير موقع عداء مع الزمن خلال مشاركته في سباق لتحليل أدائه.

تساؤلات جوهرية:

- ما المعلومات التي يقدمها منحنى (الموقع- الزمن)؟
- كيف يستخدم منحنى(الموقع - الزمن) لتفسير إزاحة الجسم أو موقعه؟
- ما الغرض من استخدام التمثيلات المتكافئة للحركة؟

المفردات:

- منحنى (الموقع- الزمن)
- الموقع اللحظي

عندما نقوم بتحليل الحركة من نوع أكثر تعقيدًا من الأمثلة التي تم تناولها ودراستها، من المفيد تمثيل حركة الجسم بطرائق متنوعة. وكما لاحظت، فإن مخطط الحركة يحتوي على معلومات مفيدة حول موقع الجسم في أزمنة مختلفة، ويمكن استخدامه في تحديد إزاحة الجسم خلال فترات زمنية محددة، كما أن الرسوم البيانية لموقع الجسم-الزمن تتضمن هذه المعلومات أيضًا.

استخدام الرسم البياني لتحديد الموقع والزمن

Using a Graph to Find Out Where and When

يمكن استخدام مخطط حركة العداء في **الشكل 10–2** لتحديد موقع العدَّاء في كل لحظة من حركته، وتجسيدها كما في **الجدول 1–2**.

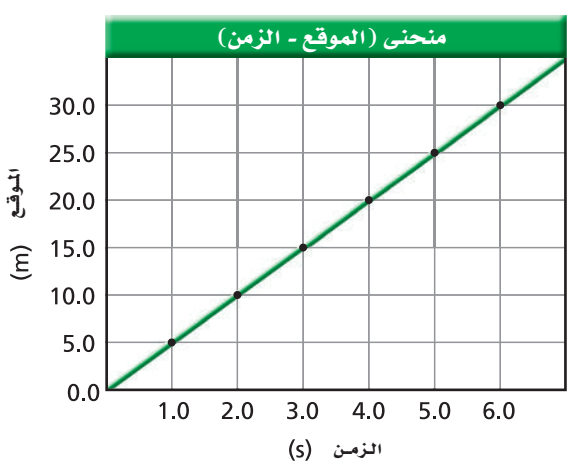
كما يمكن عرض البيانات الواردة في **الجدول 1–2** في رسم بياني بتحديد إحداثيات الزمن على المحور الأفقي (x)، وإحداثيات الموقع على المحور الرأسي (y)، وهو ما يُسمى **منحنى(الموقع–الزمن)**. ويُظهر الرسم البياني في **الشكل 12–2** حركة العدّاء. ولرسم هذا الخط البياني نحدد أولًا مواقع العدّاء بدلالة الزمن، ثم نرسم أفضل خط مستقيم يمر بأغلب النقاط.

يبين الخط البياني مواقع العدَّاء في الأزمنة المبينة في الجدول، وحتى لو لم تتوافر بيانات مباشرةً تبين متى كان العدّاء على بعد 30.0 m من نقطة البداية، أو أين كان عند الزمن $t = 4.5\ s$، فيمكنك استخدام الرسم البياني لتحديد قيم تقريبية لذلك.

ما الزمن الذي مكثه العدّاء في كل موقع؟ ربما تجيب: لحظة واحدة. لكن ما طول هذه اللحظة؟ إذا اعتبرنا اللحظة مقدارًا زمنيًّا متناهيًا في الصغر (تقارب الصفر) فعندئذ نستطيع القول إن العدّاء لم يكن يتحرك خلالها. والرمز ***d*** يمثل **الموقع اللحظي** للعدّاء.

الجدول 1–2

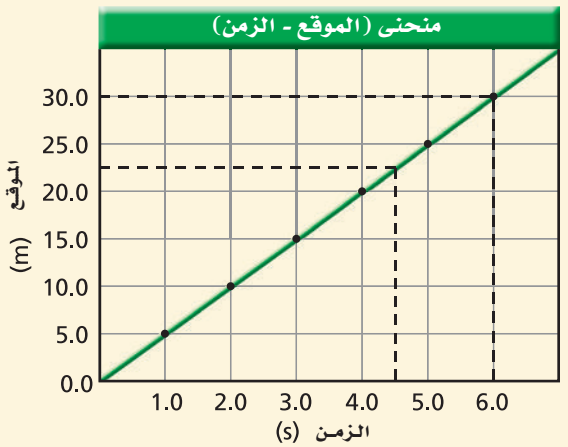
الموقع-الزمن	
الزمن t (s)	الموقع d (m)
0.0	0.0
1.0	5.0
2.0	10.0
3.0	15.0
4.0	20.0
5.0	25.0
6.0	30.0



الشكل 12–2 يمكننا رسم منحنى الموقع-الزمن للعدّاء بتحديد نقطة موقعه في كل فترة زمنية في أثناء حركته، وبعد تعيين هذه النقاط نرسم خط التطابق الأفضل.

مثـال 1

يوضح الرسـم البياني المجاور حركة عدّاء. متى يصل العدّاء إلى بعد 30.0 m عن نقطة البداية؟ أين يكون بعد مضي 4.5 s ؟



1 تحليل المسألة

أعد صياغة الأسئلة.

السؤال 1: متى كان العدّاء على بعد 30.0 m عن نقطة البداية؟

السؤال 2: ما موقع العدّاء بعد مضي 4.5 s؟

2 إيجاد الكمية المجهولة

السؤال الأول

تفحص الرسـم البياني، وحدد نقطـة تقاطع محور الموقع مع خـط أفقـي يمر بالنقطـة 30.0 m، ثم حدد نقطـة تقاطع الخط العمودي المرسوم من تلك النقطة مع محور الزمن، تجد أن مقدار t هو 6.0 s

السؤال الثاني

حدد نقطة تقاطع محور الزمن مع خط عمودي عند 4.5 s (تقع بين 4.0 s و 5.0 s في الرسم البياني)، ثم حدد نقطة تقاطع الخط الأفقي المرسوم من تلك النقطة مع محور الموقع، تجد أن قيمة d تساوي 22.5 m تقريبًا.

مسائل تدريبية

استعن **بالشكل 13–2** في حل المسائل من 9 إلى 11:

9. صف حركة السيارة الممثلة في الرسم البياني.

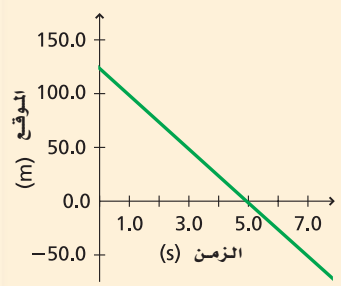
10. ارسم نموذج الجسيم النقطي الذي يتوافق مع الرسم البياني.

11. أجب عن الأسئلة الآتية حول حركة السيارة:

(افترض أن الاتجاه الموجب في اتجاه الشرق والاتجاه السالب في اتجاه الغرب).

a. متى كانت السيارة على بعد 25.0 m شرق نقطة الأصل؟

b. أين كانت السيارة عند 1.0 s ؟



الشكل 13–2

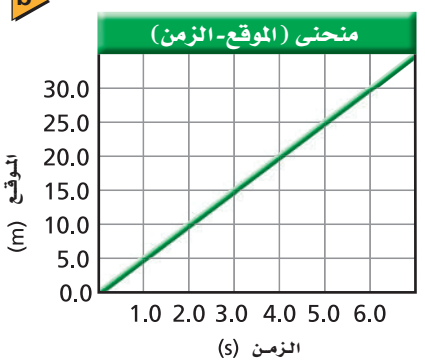
التمثيلات المتكافئة كما هو مبين في **الشكل 14–2** هناك طرائق مختلفة لوصف الحركة: بالكلمات، والصور (مخططات الحركة التصويرية)، ونموذج الجسيم النقطي، وجداول البيانات، ومنحنيات (الموقع–الزمن)، وهذه جميعها طرائق متكافئة، أي أنها تحتوي على المعلومات نفسها حول حركة العدّاء. ومع ذلك فقد يكون بعض هذه الطرائق أكثر فائدة من الأخرى، وفقًا لما تريد معرفته عن الحركة.

a

الجدول 2–2

الموقع-الزمن	
الزمن (s)	الموقع (m)
0.0	0.0
1.0	5.0
2.0	10.0
3.0	15.0
4.0	20.0
5.0	25.0
6.0	30.0

b



c

الشكل 14–2

a. جدول البيانات.

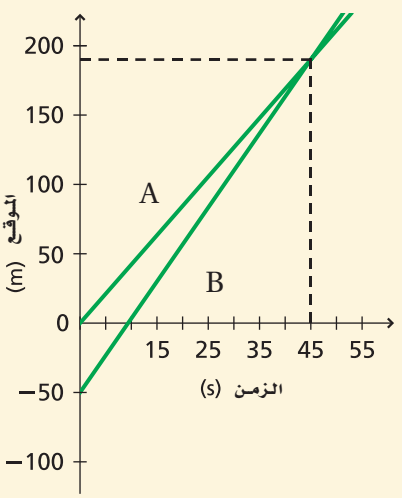
b. منحنى (الموقع - الزمن).

c. النموذج الجسيمي النقطي لحركة الجسم نفسه.

دراسة حركة عدة أجسام يمكنك استخدام منحنى (الموقع – الزمن) لتمثيل حركة عدة أجسام، ويظهر في **المثال 2** منحنى (الموقع – الزمن) لعداءين في سباق، ويكون العداءان في الموقع نفسه عندما يتقاطع الخطان الممثلان لحركتيهما.

مثال 2

يمثل الرسم البياني المجاور منحنى (الموقع–الزمن) لحركة عدّاءين A و B. متى وأين يتجاوز العدّاء B العدّاء A؟



1 تحليل المسألة

أعد صياغة السؤال

عند أي زمن يكون العدّاءان A و B في الموقع نفسه؟

2 إيجاد الكمية المجهولة

تفحص الرسم البياني لإيجاد نقطة تقاطع الخط البياني الممثل لحركة A مع الخط البياني الممثل لحركة B، يتقاطع هذان الخطان عند اللحظة 45 s، وعلى بعد حوالي 190 m، وهذا يعني أن العدّاء B يتجاوز العدّاء A على بعد 190 m من نقطة الأصل، وبعد 45 s من مرور العدّاء A بها.

مسائل تدريبية

للإجابة عن المسائل 13–12 ارجع إلى الشكل في مثال 2.

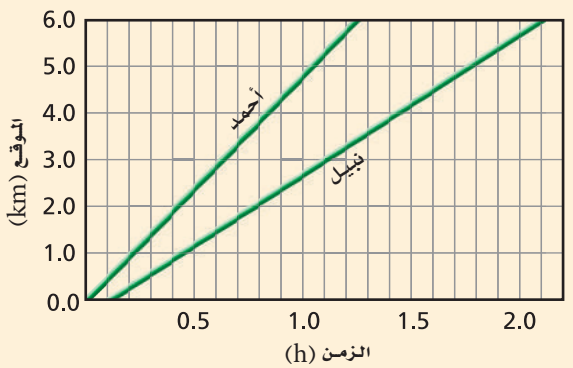
12. أين كان العدّاء B عندما كان العدّاء A عند النقطة 0.0 m؟

13. ما المسافة الفاصلة بين العدّاء A والعدّاء B في اللحظة $t = 20.0\ s$؟

14. خرج أحمد في نزهة مشيًا على الأقدام في ممشى دوحة عراد، وبعد وقت ما بدأ صديقه نبيل السير خلفه، وقد تم تمثيل حركتهما بمنحنى (الموقع–الزمن) المبين في الشكل المجاور.

a. ما الزمن الذي سار خلاله أحمد قبل بدء نبيل المشي؟

b. هل سيلحق نبيل بأحمد ؟ فسر ذلك.



مسألة تحدٍّ

يستمتع كل من ماجد ويوسف وناصر بممارسة الرياضة على طريق يمتد بمحاذاة منتزه الأمير خليفة بن سلمان، حيث بدأ يوسف الركض بسرعة منتظمة مقدارها 8 km /h من أمام بوابة المنتزه باتجاه إشارة ميناء الشيخ سلمان بن حمد في تمام الساعة 11:30 صباحًا، وفي اللحظة ذاتها ومن المكان نفسه بدأ ناصر المشي بسرعة منتظمة مقدارها 6 km /h باتجاه المنتزه، أما ماجد فانطلق بدراجته عند الساعة 11:36 صباحًا من موقع إشارة ميناء الشيخ سلمان بن حمد باتجاه المنتزه الذي يبعد 2.5 km عن المنتزه بسرعة منتظمة مقدارها 12km /h، أجب عما يلي:

1. ارسم منحنى (الموقع–الزمن) لكلٍ من الأشخاص الثلاثة.

2. متى يلتقي يوسف وماجد؟

3. ما المسافة التي تفصل ناصر عن يوسف وماجد عند التقائهما؟

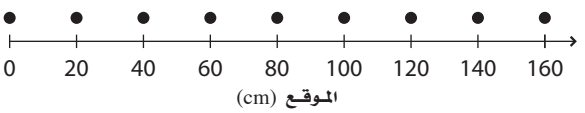
التجربة العملية

مـا العلاقـة بيـن المسـافة والزمـن فـي حالـة جسـم يتحرك بسرعة منتظمة؟

كما لاحظت سـابقًا، يمكنك تمثيل حركة أكثر من جسـم فـي منحنى واحد للموقع–الزمـن. ونقطـة تقاطع الخطيـن البيانيين تخبرك متى يكون الجسـمان في الموقع نفسـه. لكن هل هذا يعني أنهما سيتصادمان؟ ليس بالضرورة. فعلى سبيل المثال، إذا كان هذان الجسمان عداءين، ولكل منهما ممر خاص به، فإنهما لن يتصادما.

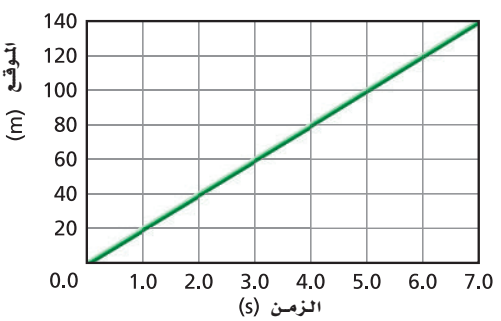
2-3 مراجعة

15. منحنى (الموقع-الزمـن) يمثل النموذج الجسـيمي النقطـي فـي **الشـكل 15–2** طفـلًا يزحـف علـى أرضيـة غرفـة. مثِّـلْ حركتـه باسـتخدام منحنـى (الموقع–الزمـن)، علمًـا بـأن الفتـرة الزمنيـة بيـن كل نقطتيـن متتاليتيـن تسـاوي 1s .



الشكل 15–2

16. مخطط الحركـة يبيـن **الشـكل 16–2** منحنـى (الموقع–الزمن) لحركة قرص مطاطي ينزلق على بركة متجمدة في لعبة الهوكي.



الشكل 16–2

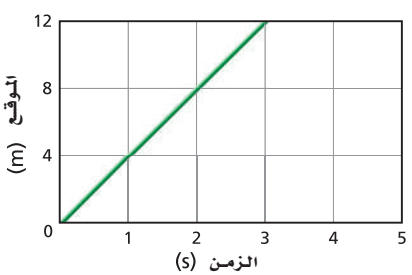
*استخدم الرسـم البياني في **الشـكل 16–2** لرسم النمـوذج الجسـيمي النقطـي لحركـة قرص وحل المسائل 17–19.*

17. الزمن متـى كان القـرص علـى بعـد 10.0 m عن نقطة الأصل؟

18. المسـافة حدد المسـافة التي قطعهـا القرص بين اللحظتين 0.0 s و 5.0 s

19. الفترة الزمنية حدد الزمن الذي استغرقه القرص ليتحرك من موقع يبعد 40 m عن نقطة الأصل إلى موقع يبعد 80 m عنها.

20. التفكيـر الناقد تفحـص كلًّا مـن النمـوذج الجسـيمي النقطـي ومنحنـى (الموقع–الزمـن) الموضحيـن فـي **الشـكل 17–2**. هـل يصفـان الحركـة نفسـها؟ كيـف تعرف ذلـك؟ علمًـا بأن الفتـرات الزمنية فـي النموذج الجسـيمي النقطي تساوي 2 s .



الشكل 17–2

2-4 السرعة المتجهة Velocity

تعلمت كيف تستعمل مخطط الحركة لتبين حركة جسم. كيف يمكنك قياس سرعة حركته؟ يمكنك تحديد تغير الموقع والزمن اللازم لذلك، باستخدام أدوات منها شريط القياس المتري وساعة الوقف، ومن ثم استخدام هذه البيانات لوصف معدل تغير الحركة.

السرعة المتجهة Velocity

افترض أنك مثلت حركة عدّاءين على مخطط حركة واحد، كما هو مبين في **الشكل a 18–2**، وبالانتقال من صورة إلى الصورة التي تليها، يمكنك أن ترى أن موقع العدّاء ذي السروال الأحمر يتغير بمقدار أكبر من تغير موقع العدّاء ذي السروال الأبيض؛ بمعنى أن مقدار الإزاحة للعداء ذي السروال الأحمر أكبر لأنه يتحرك بسرعة أكبر، أي يقطع مسافة أكبر من تلك التي يقطعها اللاعب ذي السروال الأبيض خلال المدة الزمنية نفسها. و إذا افترضنا أن كلًّا منهما قد قطع مسافة 100.0 m، فإن الفترة الزمنية Δt التي استغرقها العدّاء ذي السروال الأحمر ستكون أقل من تلك التي استغرقها زميله.

السرعة المتجهة المتوسطة Average velocity من مثال العدّاءين، يمكنك أن تلاحظ أننا نحتاج إلى معرفة كلٍّ من الإزاحة Δd والفترة الزمنية Δt من أجل حساب السرعة المتجهة لجسم متحرك. ولكن كيف يمكن الربط بينهما؟ تفحص الخطين البيانيين اللذين يمثلان حركتي العدّاءين في منحنى (الموقع–الزمن). انظر **الشكل b 18–2**، ستلاحظ أن ميل الخط البياني للعدّاء ذي السروال الأحمر أكثر انحدارًا من ميل الخط البياني للعدّاء ذي السروال الأبيض، ويدل الميل أو الانحدار الأكبر على أن مقدار التغير في الإزاحة أكبر خلال الفترة الزمنية نفسها.

الشكل a 18–2 إزاحة العدّاء ذي السروال الأحمر أكبر من إزاحة العدّاء ذي اللباس الأبيض خلال الفترات الزمنية الثلاث، لأن الأول يتحرك أسرع من الثاني.

الفيزياء في حياتك

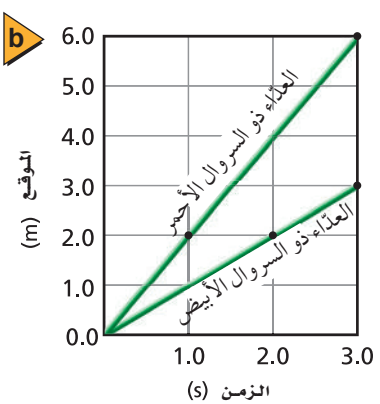
تتحرك الحلزونات بسرعة أقل بكثير من سرعة أنثى النمر، ويمكن ملاحظة ذلك من خلال رصد حركتها خلال فترة زمنية معينة، فأنثى النمر تقطع 30 m خلال الثانية الواحدة، في حين يقطع الحلزون 1 cm في الوقت نفسه.

تساؤلات جوهرية:

- ما السرعة المتجهة؟
- ما الفرق بين السرعة المتجهة والسرعة المنتظمة؟
- كيف يمكن تحديد السرعة المتجهة لجسم من منحنى (الموقع – الزمن)؟

المفردات:

- السرعة المتجهة المتوسطة
- السرعة المتوسطة
- السرعة المتجهة اللحظية



الشكل b 18–2 يمثل منحنى (الموقع-الزمن) حركة كل من العدّاءين، والنقاط المستخدمة لحساب ميل كل خط.

دلالة اللون

- متجهات السرعة باللون **الأحمر**.
- متجهات الإزاحة باللون **الأخضر**.

يمكن إيجاد كل من مَيلي الخطين البيانيين الممثلين لحركة العدّاءين في **الشكل 18b–2** كما يلي:

العداء ذو اللباس الأحمر	العداء ذو اللباس الأبيض
ميل الخط البياني $= \frac{d_f - d_i}{t_f - t_i}$	ميل الخط البياني $= \frac{d_f - d_i}{t_f - t_i}$
$= \frac{(6.0 - 2.0)\text{m}}{(3.0 - 1.0)\text{s}}$	$= \frac{(3.0 - 2.0)\text{m}}{(3.0 - 2.0)\text{s}}$
$= 2.0\ \text{m/s}$	$= 1.0\ \text{m/s}$

هناك أشياء مهمة تجدر ملاحظتها في هذه المقارنة. أولاً: ميل الخط البياني للعدّاء الأسرع يكون أكبر رقميًّا، لذا من المعقول أن يعبر هذا الرقم عن متوسط السرعة المتجهة، وكذلك متوسط السرعة.

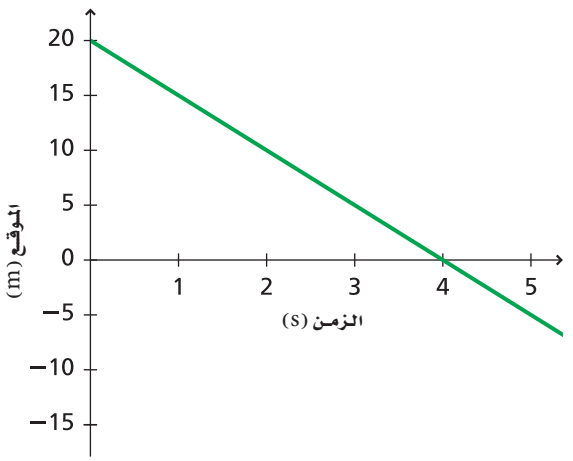
ثانيًا: وحدات الميل هي (m/s)، وبكلمات أخرى، فإن الميل، يخبرنا كم مترًا تحرك العدّاء خلال ثانية واحدة. وعند التفكير في طريقة حساب الميل ستلاحظ أن الميل هو التغير في الموقع مقسومًا على الفترة الزمنية التي حدث فيها هذا التغير، أي $\frac{\boldsymbol{d_f - d_i}}{t_f - t_i}$ أو $\frac{\Delta \boldsymbol{d}}{\Delta t}$. وعندما تزداد قيمة المتجه $\Delta \boldsymbol{d}$ فإن الميل يزداد، ويقل عندما تزداد Δt. إن هذا يتفق مع التفسير السابق لحركة العدّاءين الأحمر والأبيض.

يمثل ميل الخط البياني في منحنى (الموقع–الزمن) لأي جسم متحرك **السرعةَ المتجهة المتوسطة** لهذا الجسم، ويُكتب على شكل نسبة بين التغير في الموقع والفترة الزمنية التي حدث فيها هذا التغير.

السرعةَ المتجهة المتوسطة $\bar{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{d}}{\Delta t} = \frac{\boldsymbol{d_f - d_i}}{t_f - t_i}$

وتُعرف السرعة المتجهة المتوسطة بأنها التغير في الموقع مقسومًا على مقدار الفترة الزمنية التي حدث خلالها هذا التغير.

من الأخطاء الشائعة القول بأن ميل الخط البياني لمنحنى (الموقع–الزمن) يمثل السرعة المنتظمة للجسم. تأمل ميل هذا الخط البياني في **الشكل 19–2**. إن ميله يساوي (−5.0 m/s)، وهو كمية تشير إلى كلٍّ من المقدار والاتجاه (تذكر أن السرعة المتجهة المتوسطة هي كمية لها مقدار واتجاه). وفي الحقيقة إن ميل الخط البياني لمنحنى (الموقع–الزمن) يدل على السرعة المتجهة المتوسطة للجسم وليس على سرعته المنتظمة. عند تأمل **الشكل 19–2** مرة أخرى، تجد أن ميل الخط البياني هو (−5.0 m/s)، وبذلك، فإن السرعة المتجهة للجسم هي (−5.0 m/s)، وهذا يعني أن الجسم انطلق من موقع موجب متجهًا نحو نقطة الأصل، وأنه يتحرك في الاتجاه السالب بمعدل 5.0 m/s

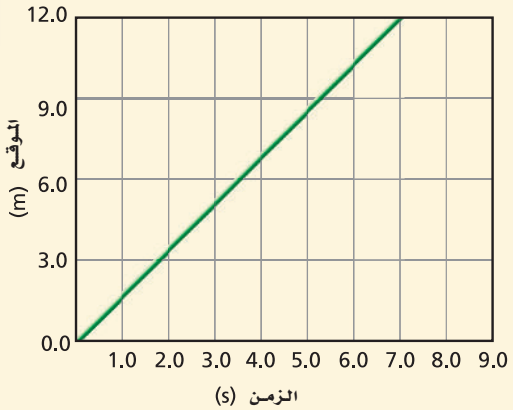


الشكل 19–2 يتحرك الجسم الممثلة حركته هنا في الاتجاه السالب بمعدل 5.0 m/s

السرعة المتوسطة Average speed تعبّر القيمة المطلقة لميل الخط البياني لمنحنى (الموقع–الزمن) عن **السرعة المتوسطة** للجسم، أي مقدار سرعة الجسم، و يرمز لها بالرمز $\bar{v}$. أما السرعة المتجهة المتوسطة $\vec{\bar{v}}$ فتعبّر عن كل من قيمة السرعة المتوسطة للجسم والإتجاه الذي يتحرك فيه. وهي في المثال الموضح في **الشكل 19–2** إما 5.0 m/s (في الاتجاه السالب) أو −5.0 m/s ، وبذلك تكون السرعة المتوسطة |−5.0 m/s| = 5.0 m/s، تذكر أنه إذا تحرك جسم ما في الاتجاه السالب، فإن إزاحته تكون سالبة، وسرعته المتجهة المتوسطة تكون سالبة وهذا يعني أن سرعة الجسم المتجهة يكون لها إشارة إزاحة الجسم نفسها دائمًا.

مثـال 3

يبين الرسم البياني حركة طالب يركب لوح تزلج عبر ممر مهمل الاحتكاك. ما سرعته المتجهة المتوسطة؟ وما سرعته المتوسطة؟



1 تحليل المسألة ورسمها

تفحص النظام الإحداثي للرسم البياني.

المعلوم	المجهول
متغير d	$\overline{v} = ?$ $\overline{v} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد السرعة المتجهة المتوسطة باستخدام نقطتين على الخط البياني.

بالتعويض عن: $d_2 = 12.0\ \text{m}, d_1 = 6.0\ \text{m}, t_2 = 7.0\ \text{s}, t_1 = 3.5\ \text{s}$

$$\overline{v} = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1}$$

$$\overline{v} = \frac{12.0 - 6.0}{7.0 - 3.5}$$

$\overline{v} = 1.7\ \text{m/s}$ في الاتجاه الموجب

أما السرعة المتوسطة فتساوي القيمة المطلقة للسرعة المتجهة المتوسطة أي $\overline{v} = 1.7\ \text{m/s}$

3 تقويم الجواب

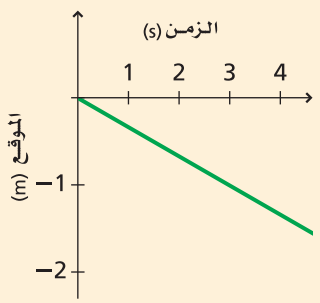
- **هل الوحدات صحيحة؟** نعم؛ فالوحدة m/s هي وحدة قياس كل من السرعة المتجهة والسرعة.
- **هل للإشارات أي معنى؟** نعم. الإشارة الموجبة للسرعة المتجهة المتوسطة تتفق مع النظام الإحداثي. ولا يحدد اتجاه للسرعة المتوسطة.

مسائل تدريبية

21. يصف الرسم البياني في **الشكل 20–2** حركة سفينة في البحر. اعتبر الاتجاه الموجب للحركة هو اتجاه الجنوب.

a. ما السرعة المتوسطة للسفينة؟

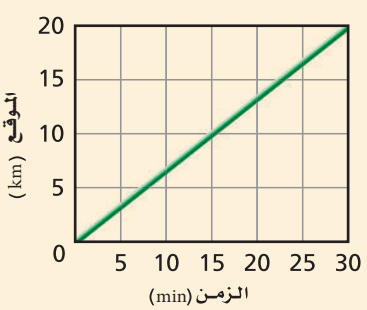
b. ما السرعة المتجهة المتوسطة للسفينة؟



الشكل 20–2

22. الرسم البياني في **الشكل 21–2** يمثل حركة دراجة هوائية، احسب كلًّا من السرعة المتوسطة، والسرعة المتجهة المتوسطة للدراجة، ثم صف حركتها بالكلمات.

23. تتحرك دراجة بسرعة منتظمة مقدارها 0.55 m/s، ارسم نموذج الجسيم النقطي للدراجة، ومنحنًى بيانيًّا للموقع–الزمن، تبين فيهما حركة الدراجة لمسافة 19.8 m.



الشكل 21–2

السرعة المتجهة اللحظية Instantaneous Velocity

لماذا أطلقنا على الكمية $\frac{\Delta d}{\Delta t}$ السرعة المتجهة المتوسطة، ولم نسمِّها ببساطة السرعة المتجهة؟ لا تتحرك معظم الأجسام بسرعة منتظمة، فمثلاً يبدأ القارب رحلته من السكون ثم تزداد سرعته، ويمكن لهذه السرعة أن تبقى منتظمة فترة ما ثم تبدأ بالتباطؤ، إن من الممكن هنا تحديد السرعة المتجهة المتوسطة. والتي يمكن حسابها بقسمة الإزاحة الكلية على الفترة الزمنية التي حدثت الإزاحة خلالها. أما السرعة المتجهة للجسم عند لحظة معينة فتسمى **السرعة المتجهة اللحظية**. وسنرمز لها بالرمز $\boldsymbol{v}$ ، ومن الجدير بالذكر أن مقياس السرعة في السيارة يشير إلى مقدار السرعة اللحظية.

تمثيل السرعة المتجهة المتوسطة على مخططات الحركة
Average Velocity on Motion Diagrams

كيف يمكنك تعيين السرعة المتجهة المتوسطة على مخطط الحركة؟ إن مخطط الحركة ليس رسمًا بيانيًّا دقيقًا للسرعة المتجهة المتوسطة، وإنما يمكن استخدامه في تعيين اتجاه ومقدار السرعة المتجهة المتوسطة. تخيل سيارتين تسيران على طريق بسرعتين منتظمتين مختلفتين، وتقوم كاميرا فيديو بتسجيل حركتهما بمعدل صورة كل ثانية، وتخيل أنه في مؤخرة كل سيارة فرشاة دهان تهبط آليًّا كل ثانية، لترسم خطًّا على الأرض لمدة نصف ثانية. من المنطقي أن تستطيع السيارة الأسرع رسم خط أطول، وتشبه الخطوط التي رسمتها فرشاتا الدهان على الأرض المتجهاتِ التي نرسمها على مخطط الحركة لتمثيل السرعة.

استخدام المعادلات عندما ترسم خطًّا بيانيًّا مستقيمًا فإنك تستطيع التعبير عنه بوساطة معادلة، ومن الأفضل أحيانًا استخدام مثل هذه المعادلة بدلاً من الرسم البياني من أجل حل المسائل. تفحص مرة أخرى الرسم البياني في **الشكل 19–2** الذي يمثل جسمًا يتحرك بسرعة متجهة (−5.0 m/s)، ولعلك درست سابقًا أن أي خط مستقيم يمكن تمثيله بالصيغة الرياضية $y = mx + b$، حيث y هي الكمية التي نُعينها على المحور الرأسي، و m هي ميل الخط المستقيم، و x هي الكمية التي نُعينها على المحور الأفقي، و b هي نقطة تقاطع الخط المستقيم مع المحور الرأسي.

المختبر الافتراضي:
متجهات السرعة اللحظية.

تجربة

متجهات السرعة اللحظية

1. اربط خيطًا طوله 1m مع كتلة ذات خطاف.
2. أمسك بيدك طرف الخيط الذي تتعلق الكتلة في نهايته.
3. اسحب الكتلة بحذر إلى أحد الجوانب، ثم اتركها.
4. **لاحظ** الحركة، والسرعة، واتجاه حركة الكتلة لعدة اهتزازات.
5. أوقف الكتلة عن الاهتزاز.
6. ارسم شكلًا توضيحيًّا تبين فيه متجهات السرعة اللحظية عند النقاط التالية: قمة الاهتزازة، نقطة المنتصف بين القمة والقاع، قاع الاهتزازة، نقطة المنتصف بين القاع والقمة، والقمة مرة أخرى.

التحليل والاستنتاج

7. أين كانت السرعة المتجهة أكبر ما يمكن؟
8. أين كانت السرعة المتجهة أقل ما يمكن؟
9. **وضح** كيف يمكن قياس السرعة المتوسطة باستخدام المتجهات؟

الجدول 3–2

مقارنة الخطوط المستقيمة مع منحنيات الموقع-الزمن

المتغير العام	المتغير المعين للحركة	القيمة في شكل 19-2
y	d	
m	$\bar{v}$	-5.0 m/s
x	t	
b	d_i	20.0 m

في **الشكل 19–2** الكمية المُعيّنة على المحور الرأسي هي الموقع، وتُمثَّلُ بالمتغير d. والكمية المُعينة على المحور الأفقي هي الزمن، وتُمثَّلُ بالمتغير t. أما ميل الخط المستقيم ($-5.0\ m/s$) فيمثل السرعة المتجهة المتوسطة للجسم $\bar{v}$، ونقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الرأسي هي $20.0\ m$ ، ترى ما الذي يمثله المقدار $20.0\ m$؟ من تفحص الرسم البياني والتفكير في كيفية تحرك الجسم تستنتج أن الجسم كان في موقع يبعُد $20.0\ m$ عن نقطة الأصل عندما $t = 0.0$ ، ويُعرف هذا **بالموقع الابتدائي للجسم**، ويرمز له بالرمز d_i .

يبين **الجدول 3–2** مقارنة بين المتغيرات العامة لمعادلة الخط المستقيم، والمتغيرات الخاصة بالحركة، وتُبين كذلك القيم العددية لكل من الثابتين في هذه المعادلة، وبالإعتماد على المعلومات المبينة في **الجدول 3–2** فإن المعادلة $y=mx+b$ أصبحت $d = \bar{v}\,t + d_i$، وبتعويض قيم الثوابت تصبح:

$$d=(-5.0\ m/s)t+20.0\ m$$

تصف هذه المعادلة الحركة الممثلة **بالشكل 19–2** . ويمكنك أن تختبر هذه المعادلة بإعطاء قيمة لـ t في المعادلة وحساب d . ويجب أن تحصل على القيمة نفسها لـ d عندما تعوض القيمة السابقة لـ t في الرسم البياني.

معادلة الحركة للسرعة المتجهة المتوسطة هي:

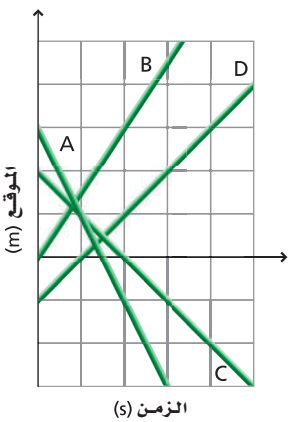
$$d = \bar{v}\,t + d_i$$

موقع الجسم المتحرك يساوي حاصل ضرب السرعة المتجهة المتوسطة في الزمن مضافًا إليه قيمة الموقع الابتدائي للجسم.

تستطيع الآن تمثيل الحركة باستخدام الكلمات، ومخططات الحركة التصويرية، ومخططات الجسيم النقطية، وجداول البيانات، ومنحنيات (الموقع–الزمن)، وكذلك باستخدام معادلة الحركة.

استخدم **الشكل 22–2** في حل المسائل 26–24

24. السرعة المتوسطة رتب منحنيات (الموقع-الزمن) وفق السرعة المتوسطة للجسم، من الأكبر إلى الأصغر، وأشر إلى الروابط إن وجدت.



الشكل 22–2

25. السرعة المتجهة المتوسطة رتب المنحنيات وفق السرعة المتجهة المتوسطة من السرعة الأكبر إلى السرعة الأقل.

26. الموقع الابتدائي رتب الخطوط البيانية بحسب الموقع الابتدائي للجسم (بدءًا بأكبر قيمة موجبة وانتهاء بأكبر قيمة سالبة).

هل سيكون ترتيبك مختلفًا إذا طلب إليك أن ترتبها بحسب المسافة الابتدائية للجسم من نقطة الأصل؟

27. السرعة المتوسطة، والسرعة المتجهة المتوسطة وضح العلاقة بين السرعة المتوسطة والسرعة المتجهة المتوسطة.

28. التفكير الناقد في حل المسائل الفيزيائية، من المهم عمل نماذج مصورة ونماذج فيزيائية قبل البدء في حل معادلة ما. لماذا ؟

الدقة في قياس الزمن Accurate Time

افترض أن ساعة الحائط في صفك كانت تشير إلى 9:00، في الوقت الذي تشير فيه ساعتك إلى 8:55، بينما تشير ساعة زميلك إلى 9:05. ترى أي الساعات الثلاث أضبط في تحديد الوقت؟ إن تحديد الوقت أمر ضروري في حياتنا اليومية؛ فالجرس المدرسي الذي يقرع كل صباح وفي نهاية كل حصة دراسية، يتم التحكم فيه بالساعة. لذا إذا أردت أن تكون في الصف في الوقت المحدد، فلابد أن تضبط ساعتك مع الساعة التي يتم بها التحكم في هذا الجرس، إن عمليات السفر عبر الفضاء والنقل والاتصالات والملاحة بأنظمة GPS تعتمد على ساعات ذات دقة وضبط متناهيين، ومن هنا تأتي الحاجة إلى ساعات معيارية موثوقة مثل ساعة السيزيوم المعيارية.

ساعة السيزيوم المعيارية هي إحدى الساعات الذرية التي تلبي هذه الحاجة؛ فهي تعمل على قياس عدد الذبذبات، أي عدد المرات التي تغير فيها الذرة المستخدمة في الساعة مستوى طاقتها، والتي تحدث بسرعة كبيرة وبانتظام، وهي بذلك تستخدم لتعيين الثانية المعيارية 1s التي تساوي الزمن الذي تستغرقه 9192631770 ذبذبة.

إن مستوى الطاقة الخارجي لذرة السيزيوم يحتوي إلكترونًا واحدًا يدور مغزليًّا، ويسلك سلوك مغناطيس متناه في الصغر. وكذلك الحال بالنسبة لنواتها، حيث يدور كل من الإلكترون والنواة معًا، بحيث تصطف كل من الأقطاب المتشابهة لهما مرة، والأقطاب المختلفة مرة أخرى. فإذا اصطفت الأقطاب المتشابهة تكون ذرة السيزيوم في مستوى من مستويات الطاقة، بينما إذا اصطفت الأقطاب المختلفة تكون الذرة في مستوى طاقة آخر.

كيف تعمل ساعة السيزيوم؟ تتركب ساعة السيزيوم من ذرات السيزيوم، وجهاز للذبذبات مصنوع من كريستال الكوارتز يولد موجات ميكروية، وعندما يتساوى تردد الموجات الميكروية للجهاز مع تردد ذرات السيزيوم فإن عددًا كبيرًا من ذرات السيزيوم تغير من مستويات طاقتها. ولما كان تردد السيزيوم يعادل 9192631770 ذبذبة فهذا يعني أنه يوجد 9192631770 تغيرًا بين مستويات طاقة ذرات السيزيوم في كل ثانية. ومن هنا تأتي دقة قياس الوقت بهذه الساعة.

التوسع في البحث

1. **ابحث** ما العمليات التي تحتاج إلى القياس الدقيق للوقت؟
2. **حلل واستنتج** لماذا يعد القياس البالغ الدقة للوقت أساسًا في الملاحة الفضائية؟

2-1 تصوير الحركة Picturing Motion

المفردات
- مخطط الحركة التصويري
- نموذج الجسيم النقطي

الفكرة الرئيسة: يمكن استخدام الإزاحة والسرعة المتجهة لوصف حركة الأجسام.
- يبين مخطط الحركة التصويري موقع جسم خلال أزمنة متعاقبة.
- في نموذج الجسيم النقطي يستبدل الجسم في مخطط الحركة بمجموعة من النقاط المفردة المتتالية.

2-2 الموقع والزمن Position and Time

المفردات
- النظام الإحداثي
- نقطة الأصل
- الفترة الزمنية
- الموقع
- المسافة
- الكميات المتجهة
- الكميات العددية
- المحصلة
- الإزاحة

الفكرة الرئيسة: تساعد أنظمة الإحداثيات في وصف الحركة.
- نظام يستخدم لوصف الحركة، بحيث يحدد لك موقع نقطة الأصل للمتغير الذي تدرسه، والاتجاه الذي تتزايد فيه قيم المتغير.
- الفترة الزمنية تمثل الفرق بين زمنين $\Delta t = t_f - t_i$
- المتجه المرسوم من نقطة الأصل إلى الجسم يشير إلى موقع الجسم.
- الإزاحة هي كمية فيزيائية متجهة تمثل مقدار التغير الذي يحدث لموقع الجسم في اتجاه معين.

$$\Delta \boldsymbol{d} = \boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i$$

2-3 منحنى (الموقع-الزمن) Position-Time graph

المفردات
- منحنى (الموقع-الزمن)
- الموقع اللحظي

الفكرة الرئيسة: يمكن استخدام منحنى (الموقع- الزمن) لتحديد موقع جسم عند زمن معين.
- يمكن استخدام منحنيات الموقع-الزمن لإيجاد السرعة المتجهة، وموقع الجسم، وكذلك في معرفة أين ومتى يتقابل جسمان.
- موقع الجسم عند لحظة زمنية معينة.

2-4 السرعة المتجهة Velocity

المفردات
- السرعة المتجهة المتوسطة
- السرعة المتوسطة
- السرعة المتجهة اللحظية

الفكرة الرئيسة: السرعة المتجهة للجسم هي التغير في موقعه بالنسبة للزمن الذي حدث فيه التغير.
- ميل الخط البياني لمنحنى (الموقع-الزمن) لجسم هو السرعة المتجهة المتوسطة لحركة الجسم.

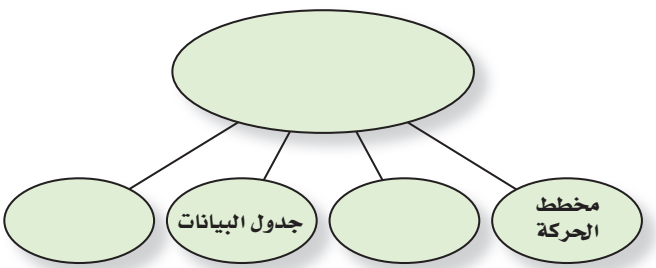
$$\overline{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{d}}{\Delta t} = \frac{\boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i}{t_f - t_i}$$

- القيمة المطلقة للسرعة المتجهة المتوسطة. تمثل السرعة المتوسطة للجسم.
- الموقع الابتدائي للجسم $\boldsymbol{d}_i$ وسرعته المتجهة المتوسطة $\overline{\boldsymbol{v}}$ وإزاحته $\boldsymbol{d}$ والزمن t ويرتبطان بعضهما ببعض بالمعادلة: $\boldsymbol{d} = \overline{\boldsymbol{v}} t + \boldsymbol{d}_i$
- مقدار سرعة الجسم واتجاه حركته عند لحظة معينة.

خريطة المفاهيم

29. أكمل خريطة المفاهيم المبينة باستخدام المصطلحات التالية:

الكلمات، التمثيلات المتكافئة، منحنى (الموقع-الزمن).



إتقان المفاهيم

30. ما الهدف من رسم مخطط الحركة؟

31. متى يمكن معاملة الجسم كجسيم نقطي؟

32. كيف يمكنك استخدام ساعة حائط لتعيين فترة زمنية؟

33. **خط التزلج** وضح كيف يمكنك أن تستخدم منحنى (الموقع-الزمن) لمتزلجين على مسار التزلج؛ لتحديد ما إذا كان أحدهما سيتجاوز الآخر؟ ومتى؟

34. **المشي و الركض** إذا غادر منزلكم شخصان في الوقت نفسه، أحدهما يركض والآخر يمشي، وتحركا في الاتجاه نفسه بسرعتين متجهتين منتظمتين. صف منحنى (الموقع-الزمن) لكل منهما.

35. إذا علمت موقع جسم متحرك عند نقطتين في مسار حركته، وكذلك الزمن الذي استغرقه الجسم للوصول من النقطة الأولى إلى الأخرى، هل يمكنك تعيين سرعته المتجهة اللحظية، وسرعته المتجهة المتوسطة؟ فسر ذلك.

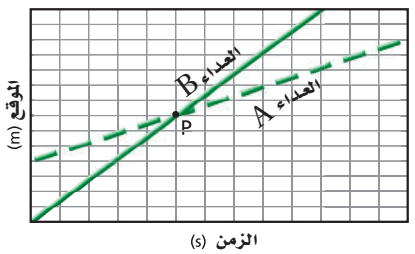
تطبيق المفاهيم

36. يمثل **الشكل 2-23** رسمًا بيانيًّا لحركة عدّاءين.

a. صف موقع العدّاء A بالنسبة للعدّاء B بحسب التقاطع مع المحور الرأسي.

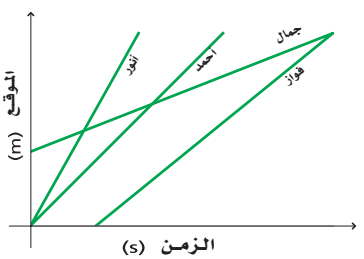
b. أي العدّاءين أسرع؟

c. ماذا يحدث عند النقطة P وما يليها؟



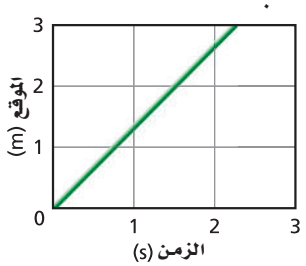
الشكل 2-23

37. يبين منحنى (الموقع-الزمن) في **الشكل 2-24** حركة أربعة من الطلبة في طريق عودتهم من المدرسة. رتب الطلبة حسب السرعة المتجهة المتوسطة من الأبطأ إلى الأسرع.



الشكل 2-24

38. يمثل الشكل **2-25** منحنى (الموقع-الزمن) لأرنب يهرب من كلب.



الشكل 2-25

a. وضح كيف يختلف هذا الرسم البياني إذا ركض الأرنب بضعفي سرعته.

b. صف كيف يختلف هذا الرسم إذا ركض الأرنب في الاتجاه المعاكس.

إتقان حل المسائل

39. تقـود الطالبـة أسـماء دراجتهـا الهوائيـة بسـرعة منتظمـة مقدارها 4.0 m/s مدة 5.0 s، ما المسـافة التي قطعتها خلال هذه المدة؟

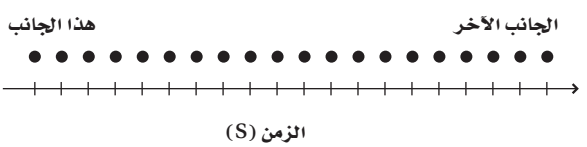
40. **علـم الفلـك** يصـل الضـوء مـن الشـمس إلـى الأرض فـي 8.3 min، فـإذا كانـت سـرعة الضوء 3.00×10^{8} m/s فما بعد الأرض عن الشمس؟

41. تتحرك سـيارة في شارع بسرعة 55 km/h، وفجأة ركض أمامها طفل ليعبر الشـارع، فإذا لزم السائق 0.75 s ليسـتجيب ويضغـط علـى الفرامـل، فمـا المسـافة التـي تحركتهـا السـيارة قبـل أن تبدأ في التباطؤ؟

42. **قيـادة السيـارة** إذا قـاد والـدك سـيارته بسـرعة 90.0 km/h ، بينمـا قـاد صديقه سـيارته بسـرعة 95.0 km/h، فسـبق والدَك في الوصول إلى نهاية الرحلـة. فما الزمن الذي سـينتظره صديق والدك في نهاية الرحلة التي يبلغ طولها 50.0 km ؟

مراجعة عامة

43. يبين **الشـكل 2–26** نموذجًا جسيميًّا نقطيًّا لحركة ولـد يعبر طريقًـا بصـورة عرضية. ارسـم منحنى (الموقع–الزمـن) المكافـئ للنمـوذج، واكتـب المعادلـة التـي تصـف حركـة الولـد، علمًـا بـأن الفترات الزمنية هي 0.1 s .



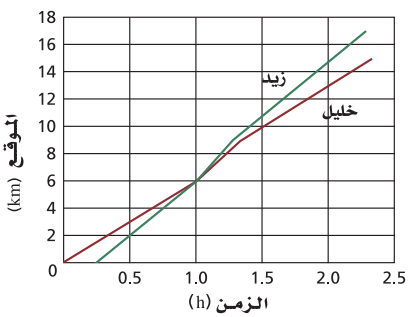
الشكل 2–26

44. يبين **الشـكل 2–27** منحنى (الموقع–الزمن) لحركة كل من زيد وخليل وهما يجدفان في قاربين عبر نهر.

a. عند أي زمن كان زيد وخليل في المكان نفسه؟

b. ما الزمن الذي يسـتغرقه زيد في التجديف قبل أن يتجاوز خليلًا؟

c. في أي موقع من النهر يوجد تيار سريع؟



الشكل 2–27

45. غادرت السـيارتان A و B المدرسـة عندما كانت قـراءة سـاعة الوقـف صفـرًا، وكانـت السـيارة A تتحـرك بسـرعة منتظمـة وقدرهـا 75 km/h، والسيارة B تتحرك بسرعة منتظمة 85 km /h:

a. ارسـم منحنـى (الموقع–الزمـن) لحركـة كل مـن السـيارتين. ما بعد كل منهما عن المدرسـة عندما تشير ساعة الوقف إلى 2.0 h؟ حدد ذلك على رسمك البياني.

b. إذا مـرت كلتـا السـيارتين بمحطـة وقـود تبعـد 120 km عـن المدرسـة، فمتـى تمـر كل سـيارة بالمحطة؟ حدد ذلك على الرسم.

46. ارسـم منحنـى (الموقع–الزمـن) لسـيارتين A و B تسـيران نحـو الشـاطئ الـذي يبعـد 50 km عـن المدرسـة. عنـد السـاعة 12:00 pm تحركـت السـيارة A بسرعة 40 km/h من متجر يبعد 40 km عن الشاطئ، بينما تحركت السيارة B من المدرسة عنـد السـاعة 12:30 pm بسـرعة 100 km/h، متى تصل كل من السيارتين A و B إلى الشاطئ؟

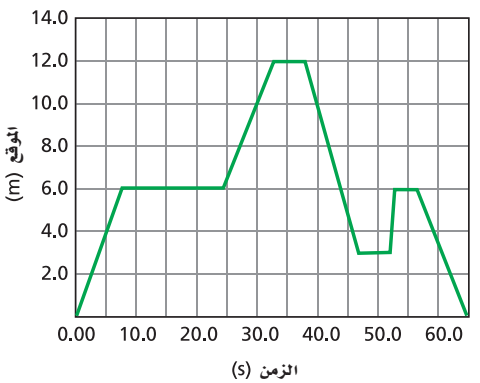
تقويم الفصل - 2

47. يبين **الشكل 28–2** منحنى (الموقع–الزمن) لحركة علي ذهابا وإيابا في ممر. افترض أن نقطة الأصل عند أحد طرفي الممر.

a. اكتب فقرة تصف حركة علي في الممر، بحيث تتطابق مع الحركة الممثلة في الرسم البياني أدناه.

b. متى كان موقع علي على بعد 6.0 m عن نقطة الأصل؟

c. ما الزمن بين لحظة دخول علي في الممر، ووصوله إلى موقع يبعد 12.0 m عن نقطة الأصل؟ ما السرعة المتجهة المتوسطة لعلي خلال الفترة الزمنية (37 s – 46 s)؟



الشكل 28–2

48. تصميم تجربة تنطلق دراجة نارية أمام منزل يعتقد أصحابه أنها تتجاوز حدود السرعة المسموح بها وهي 40 km/h، صف تجربة بسيطة يمكنك إجراؤها لتقرر ما إذا كانت هذه الدراجة تتجاوز السرعة المحددة فعلًا عندما تمر أمام المنزل.

49. تفسير الرسوم البيانية هل يمكن أن تُمَثل العلاقة البيانية بين الموقع والزمن لجسم بخط أفقي أو رأسي؟ إذا كانت إجابتك "نعم" فصف بالكلمات هذه الحركة.

التفكير الناقد

50. وقف طلبة شعبة الفيزياء في صف واحد، وكانت المسافة بين كل طالبين 25 m، واستخدموا ساعات وقف لقياس الزمن الذي تمر عنده سيارة تتحرك على طريق رئيس أمام كل منهم. وتم تدوين البيانات في **الجدول 4–2**.

ارسم منحنى (الموقع–الزمن) مستخدمًا البيانات الواردة في الجدول، ثم أوجد ميل الخط البياني في المنحنى، واستنتج سرعة السيارة.

الجدول 4-2

الموقع-الزمن

الزمن (s)	الموقع (m)
0.0	0.0
1.3	25.0
2.7	50.0
3.6	75.0
5.1	100.0
5.9	125.0
7.0	150.0
8.6	175.0
10.3	200.0

الكتابة في الفيزياء

51. حدد علماء الفيزياء سرعة الضوء بـ 3.00×10^{8} m/s كيف توصلوا إلى هذا العدد؟ اقرأ حول سلسلة التجارب التي أجريت لتعيين سرعة الضوء، ثم صف كيف تطورت التقنيات التجريبية لتجعل نتائج التجارب أكثر دقة.

52. اكتب تقريراً حول مشاركات وإنجازات الرياضيين البحرينيين في سباق الرجل الحديدي.

مراجعة تراكمية

53. حول كلًا من قياسات الزمن التالية إلى ما يعادلها بالثواني:

a. 58 ns

b. 0.046 Gs

c. 9270 ms

d. 12.3 ks

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

1. أي العبارات التالية تعبر بشكل صحيح عن النموذج الجسيمي النقطي لحركة طائرة تقلع من مطار؟

Ⓐ تكوِّنُ النقاط نمطًا وتفصل بينها مسافات متساوية.

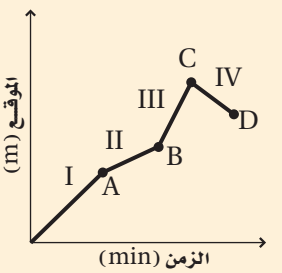
Ⓑ تكون النقاط متباعدة في البداية، ثم تتقارب مع تسارع الطائرة.

Ⓒ تكون النقاط متقاربة في البداية، ثم تتباعد مع تسارع الطائرة.

Ⓓ تكون النقاط متقاربة في البداية، ثم تتباعد ثم تتقارب مرة أخرى عندما تستوي الطائرة وتتحرك بالسرعة العادية للطيران.

يبين الرسم البياني حركة شخص يركب دراجة هوائية.

استخدم هذا الرسم للإجابة عن الأسئلة 4–2 .



2. متى بلغت السرعة المتجهة للدراجة أقصى قيمة لها ؟

Ⓐ في الفترة I
Ⓑ في الفترة III
Ⓒ عند النقطة C
Ⓓ عند النقطة B

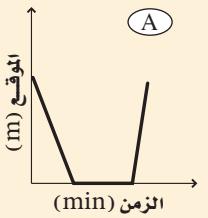
3. ما الموقع الذي تكون عنده الدراجة أبعد ما يمكن عن نقطة البداية؟

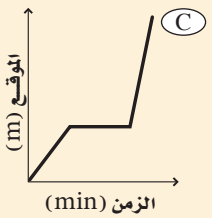
Ⓐ النقطة A
Ⓑ النقطة B
Ⓒ النقطة C
Ⓓ النقطة D

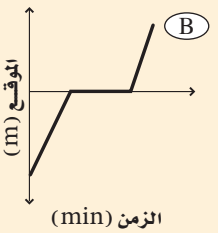
4. في أي فترة زمنية قطع راكب الدراجة المسافة الأكبر؟

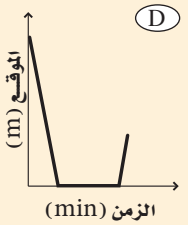
Ⓐ الفترة I
Ⓑ الفترة II
Ⓒ الفترة III
Ⓓ الفترة IV

5. هبط سنجاب عن شجرة ارتفاعها 8 m بسرعة منتظمة خلال 1.5 min، وانتظر عند أسفل الشجرة مدة 2.3 min، فجأة صدر صوت مرتفع سبب فرار السنجاب بسرعة إلى أعلى الشجرة، فبلغ الموقع نفسه الذي انطلق منه خلال 0.1 min، أي الرسوم البيانية التالية يمثل بدقة الإزاحة الرأسية للسنجاب مقيسة من قاعدة الشجرة؟ (نقطة الأصل تقع عند قاعدة الشجرة).

Ⓐ


Ⓒ


Ⓑ


Ⓓ


الأسئلة الممتدة

6. احسب الإزاحة الكلية لمتسابق في متاهة، إذا سلك المسار التالي داخل المتاهة:

البداية: 1.0 m شمالاً، 0.3 m شرقًا، 0.8 m جنوبًا، 0.4 m شرقًا، النهاية.

✓ إرشاد

الأدوات اللازمة

أحضر جميع الأدوات اللازمة للامتحان: أقلام رصاص، أقلام حبر زرقاء وسوداء، ممحاة، سائل للتصحيح، مبراة، مسطرة، آلة حاسبة، منقلة.

الفصل 3

الحركة المتسارعة
Accelerated Motion

يتوقع بعد الإنتهاء من دراسة هذا الفصل أن أكون قادرًا على:

- توضيح المفاهيم والمصطلحات (منحنى (السرعة المتجهة-الزمن)، التسارع، التسارع المنتظم، التسارع المتوسط، التسارع اللحظي، السقوط الحر، التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية) المتعلقة بالحركة المتسارعة وارتباطها ببعضها.
- استخدام التمثيلات المتكافئة لوصف الحركة المتسارعة وتحليل بياناتها واستخلاص النتائج.
- تطبيق علاقات بيانية ورياضية لحل مسائل تتعلق بالحركة المتسارعة.
- استخدام الأدوات والأجهزة المتعلقة بالحركة المتسارعة لإجراء التجارب وتمثيل البيانات وتحليلها لاستخلاص النتائج.
- إدراك أهمية الحركة المتسارعة وتطبيقاتها في الحياة اليومية.

الفكرة العامة

التسارع هو المعدل الزمني للتغير في السرعة المتجهة للجسم.

3-1 التسارع (العجلة)

الفكرة الرئيسة يتسارع الجسم عندما تتغير سرعته المتجهة مع الزمن، وهذا يعني؛ عندما تزداد سرعته، أو تقل، أو يتغير اتجاهها.

3-2 الحركة بتسارع منتظم

الفكرة الرئيسة يمكن وصف حركة الجسم المتحرك بتسارع منتظم من خلال المنحنيات ومعادلات الحركة.

3-3 السقوط الحر

الفكرة الرئيسة تسارع الجسم الذي يسقط سقوطاً حراً ينتج عن الجاذبية فقط.

فكر

يقف سائق سيارة السباق عند خط البداية، وعندما يضيء اللون الأخضر ينطلق السائق بأقصى سرعة. كيف يتغير موقع السيارة في أثناء تزايد سرعتها؟ وكيف تتغير سرعة السيارة بمرور الزمن؟

تجربة استهلالية

هل تبدو جميع أنواع الحركة بالشكل نفسه عند تمثيلها بيانيًا؟

سؤال التجربة كيف يمكن مقارنة الرسم البياني الذي يبين حركة سيارة ذات سرعة منتظمة بالرسم البياني لحركة سيارة تتزايد سرعتها؟

الخطوات

1. أحضر سيارتي لعبة تعملان بنابض، وضع لوحًا خشبيًّا مناسبًا فوق سطح الطاولة لتمثيل مسار تتحرك عليه السيارتان.
2. ثبت جرس توقيت في أحد طرفي اللوح الخشبي.
3. قص قطعة من الشريط الورقي (للمؤقت) طولها 50 cm وأدخلها في المؤقت، ثم ألصق الطرف الآخر بالسيارة رقم 1.
4. دوِّن رقم السيارة على الشريط، وشغِّل جرس التوقيت، وأطلق السيارة.
5. ارفع الطرف الثاني للوح الخشبي بمقدار 8–10 cm بوضع مكعبات خشبية أسفل طرفه.
6. كرر الخطوات 5–3 باستخدام السيارة رقم 2، وإطلاقها بعد تشغيل الجرس.
7. **تسجيل البيانات وتنظيمها** حدد ثاني نقطة داكنة (سوداء) على شريط المؤقت على أنها الصفر. قم بقياس المسافة بين نقطة الصفر، وكلٍّ من النقاط الأخرى خلال عشر فترات زمنية، ثم دوِّن القراءات.
8. **عمل الرسوم البيانية واستخدامها** مثِّل بيانيًّا المسافة الكلية مع رقم الفترة الزمنية. عين القراءات لكلتا السيارتين على الرسم نفسه. دوّن رقم السيارة على الرسم البياني الذي يمثلها.

التحليل

أي السيارتين تحركت بسرعة منتظمة؟
أيهما ازدادت سرعتها؟ وضح كيف توصلت إلى ذلك من خلال تفحصك شريط المؤقت.

التفكير الناقد صف شكل كل من الرسمين البيانيين. ماعلاقة شكل الخط البياني بنوع الحركة التي تمت مشاهدتها؟

3-1 التسارع (العجلة) Acceleration

الفيزياء في حياتك

حينما تبدأ الطائرة حركتها على المدرج تتغير سرعتها من 5 m /s إلى 300 m /s ، وحين تبدأ بالإقلاع فإنك تشعر بضغط المقعد على ظهرك خلال التسارع الكبير للطائرة.

تساؤلات جوهرية :

- كيف يختلف التسارع عن السرعة المتجهة؟
- ما المعلومات التي يوفرها منحنى (السرعة المتجهة– الزمن)؟

المفردات:

- منحنى (السرعة المتجهة– الزمن)
- التسارع المنتظم
- التسارع اللحظي
- التسارع المتوسط

الحركة المنتظمة من أبسط أنواع الحركة. وكما درست في الفصل الثاني فإن الجسم الذي يتحرك حركة منتظمة، يسير في خط مستقيم وبسرعة منتظمة. ولعلك تدرك من خبراتك اليومية أن عددًا قليلاً من الأجسام يتحرك بهذه الطريقة طوال الوقت.

في هذا الفصل ستزيد معلوماتك في هذا المجال، بتعرُّف نوع أكثر تعقيدًا للحركة. وستدرس حالات تتغير خلالها سرعة الجسم، بينما يبقى مساره مستقيمًا. وستدرس كذلك أمثلة السيارات التي تتزايد أو تتناقص سرعتها، والأجسام في أثناء سقوطها، والأجسام المقذوفة رأسيًّا إلى أعلى.

تجربة

سباق الكرة الفولاذية

إذا سقطت كرتان من الفولاذ في اللحظة نفسها من قمة منحدر، فهل تتقاربان أو تتباعدان في أثناء تدحرجهما؟

1. اعمل منحدرًا طوله 1 متر (مستوىً مائلاً)
2. **حدد** علامة على بعد 40 cm من قمة المنحدر، وعلامة أخرى على بعد 80 cm من القمة أيضًا.
3. **توقع** ما إذا كانت الكرتان ستتقاربان أو تتباعدان في أثناء هبوطهما المنحدر.
4. أطلق الكرة الأولى من قمة المنحدر، وفي الوقت نفسه أطلق الأخرى من العلامة التي تبعد 40 cm عن القمة.
5. ثم أطلق إحدى الكرتين من قمة المنحدر، وعندما تصل عند العلامة 40 cm، أطلق الأخرى من القمة أيضًا.

التحليل والاستنتاج

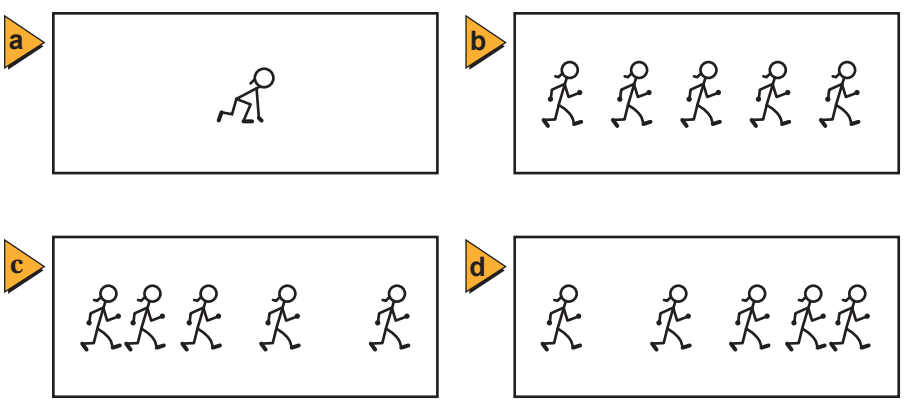
6. **فسِّر** مشاهداتك مستخدمًا مصطلحات السرعة.
7. هل كان للكرتين الفولاذيتين السرعة نفسها في أثناء تدحرجهما على المنحدر؟ وضح ذلك.
8. هل كان لهما التسارع نفسه؟ وضح ذلك.

الحركة غير المنتظمة Non-uniform Motion

تستطيع أن تشعر بالفرق بين الحركة المنتظمة والحركة غير المنتظمة؛ فالحركة المنتظمة تمتاز بسلاستها؛ فإذا أغمضت عينيك لم تشعر بالحركة. وعلى النقيض من ذلك، عندما تتحرك على مسار منحنٍ أو صعودًا وهبوطًا كما هو الحال عند ركوب العجلة الدوراة في متنزه الألعاب تشعر بأنك تُدفع أو تُسحب.

تأمل مخططات الحركة المبينة في **الشكل 1–3**. كيف تصف حركة العداء في كل حالة؟ ما المعلومات التي تتضمنها مخططات الحركة التي يمكن استخدامها للتمييز بين الحالات المختلفة للحركة؟

إن أهم ما يجب عليك ملاحظته في هذه المخططات هو المسافة بين المواقع المتعاقبة للعدّاء. وكما درست في الفصل الثاني أن الأجسام غير المتحركة في خلفية مخططات الحركة لا تغير مواقعها، وحيث إنه توجد صورة واحدة فقط للعدّاء في **الشكل 1–3 a** فإنك تستنتج أن الجسم في حالة سكون. وفي **الشكل 1–3 b** يظهر مخطط الحركة للجسم أن المسافات بين صور العدّاء في الرسم متساوية؛ لذا فإن العدَّاء يتحرك بسرعة منتظمة. أما في مخططي الحركة الآخرين، فتتغير المسافة بين المواقع المتتالية؛ فإذا كان التغير في الموقع يكبر تدريجيًّا فهذا يعني أن العدّاء يزيد من سرعته كما في **الشكل 1–3 c**. أما إذا كان التغير في الموقع يقل، كما في الشكل **1–3 d**، فإن العدَّاء يتباطأ.



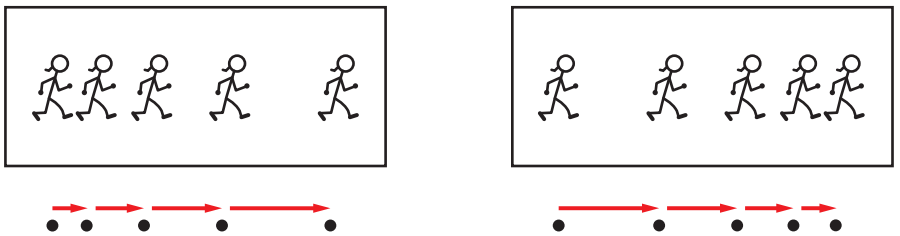
الشكل 1–3 بملاحظة المسافة التي يتحركها العداء خلال فترات زمنية متساوية يمكنك أن تحدد إن كان العداء:

a. يقف ساكنًا

b. يتحرك بسرعة منتظمة

c. يتسارع

d. يتباطأ



الشكل 2–3 النموذج الجسيمي النقطي الذي يمثل مخطط الحركة لعداء يوضح التغير في سرعته من خلال التغير في المسافات الفاصلة بين نقاط الموقع؛ وكذلك من خلال التغير في أطوال متجهات السرعة.

كيف يبدو مخطط الحركة باستخدام النموذج الجسيمي النقطي لجسم تتغير سرعته؟

يبين **الشكل 2–3** مخطط الحركة باستخدام النموذج الجسيمي النقطي أسفل مخططات الحركة لتمثيل حالة العدَّاء عندما تزداد سرعته، وعندما تتباطأ سرعته. هناك مؤشران رئيسان يعبِّران عن التغير في السرعة في هذا النمط من مخططات الحركة، هما: التغير في أطوال المسافات بين النقاط، والفرق بين أطوال متجهات السرعة. فإذا كان الجسم يزيد من سرعته، فإن النقاط تتباعد أكثر ويكون متجه السرعة التالي أطول من سابقه. أما إذا كان الجسم يُبطئ من سرعته فإن النقاط تتقارب ويكون المتجه التالي أقصر. إن كلا النوعين من مخططات الحركة يعطي تصورًا عن كيفية تغير سرعة جسم ما.

التسارع في مخططات الحركة

Acceleration on a Motion Diagram

دلالة اللون

- متجهات التسارع تظهر باللون البنفسجي.
- متجهات السرعة تظهر باللون الأحمر.
- متجهات الإزاحة تظهر باللون الأخضر.

لكي يعطي مخطط الحركة صورة كاملة عن حركة جسم، يجب أن يحتوي على معلومات تمثل التسارع. ويمكن أن يتم ذلك من خلال احتوائه على متجهات التسارع المتوسط التي تبين كيف تتغير السرعة. لتحديد طول واتجاه متجه التسارع المتوسط اطرح متجهي سرعة متتاليين ($\Delta \boldsymbol{v}$)، ثم اقسم على الفترة الزمنية (Δt). فكما هو مبين في الشكلين **3–3 a،b** فإن:

$$\Delta \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_f - \boldsymbol{v}_i = \boldsymbol{v}_f + (-\boldsymbol{v}_i)$$

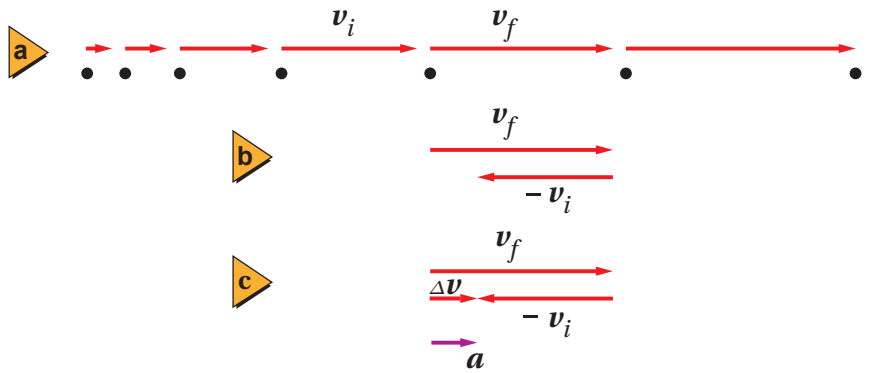
وبالقسمة على Δt نحصل على :

$$\bar{\boldsymbol{a}} = \frac{(\boldsymbol{v}_f - \boldsymbol{v}_i)}{\Delta t}$$

في الشكلين **3–3 a،b** تكون الفترة الزمنية (Δt) مساوية 1 s، لذلك يكون التسارع المتوسط

$$\bar{\boldsymbol{a}} = \frac{(\boldsymbol{v}_f - \boldsymbol{v}_i)}{1\ \text{s}}$$

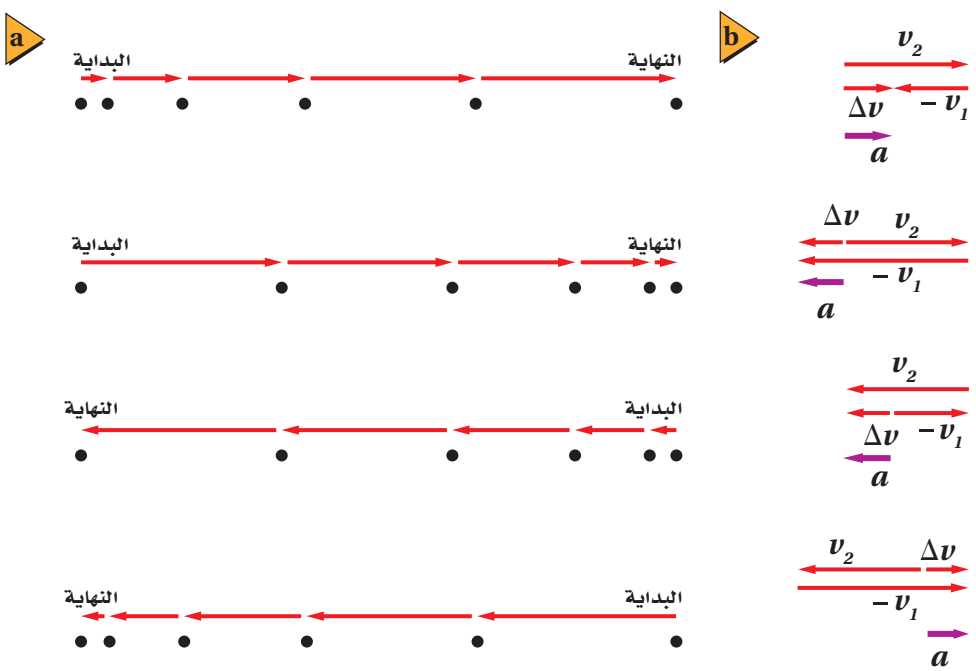
المتجه الذي يظهر باللون البنفسجي في الشكل **3–3 c** ، هو التسارع المتوسط خلال تلك الفترة الزمنية، أما السرعتان $\boldsymbol{v}_i$ و $\boldsymbol{v}_f$ فتشيران إلى السرعة عند بداية فترة زمنية محددة، وعند نهايتها.



الشكل 3–3 يحسب متجه التسارع المتوسط خلال فترة زمنية محددة بإيجاد الفرق بين متجهي السرعة المتتاليين في تلك الفترة.

التسارع الموجب والتسارع السالب
Positive and Negative Acceleration

تأمل الحالات الأربع الموضحة في **الشكل a 4–3**، حيث يبين مخطط الحركة الأول حركة جسم تزداد سرعته في الاتجاه الموجب المتمثل بالاتجاه نحو اليمين، ويبين المخطط الثاني حركة جسم تتناقص سرعته في الاتجاه الموجب، ويبين المخطط الثالث حركة جسم تتزايد سرعته في الاتجاه السالب، بينما المخطط الرابع يبين جسمًا تتناقص سرعته ويتحرك في الاتجاه السالب. ويبين **الشكل b 4–3** متجهات السرعة خلال الفترة الزمنية الثالثة في كل مخطط للحركة، والاتجاه العكسي لمتجهات السرعة خلال الفترة الثانية ومتجهات التسارع المتوافقة معها. بافتراض أن الفترة الزمنية Δt تساوي 1s.



الشكل 4–3

a. تمثل النماذج الجسمية النقطية أربع طرائق محتملة للحركة في مسار مستقيم بتسارع منتظم.

b. عندما تكون متجهات السرعة ومتجهات التسارع تشير إلى الاتجاه نفسه تزداد سرعة الجسم. أما عندما تشير إلى اتجاهات متعاكسة فإن الجسم يتباطأ.

في الوضعين الأول والثالث عندما يزيد الجسم سرعته، يكون لكل من متجهات السرعة والتسارع الاتجاه نفسه. أما في الوضعين الآخرين عندما يكون متجه التسارع في الاتجاه المعاكس لمتجهات السرعة فإن الجسم يتباطأ. ولكي تحدد ما إذا كان الجسم سيتسارع أم سيتباطأ، أنت بحاجة إلى معرفة كل من اتجاه سرعة الجسم واتجاه تسارعه.

وعليه، يكون للجسم تسارع موجب عندما يكون اتجاه متجه التسارع في الاتجاه الموجب للحركة، وقد يكون الجسم متسارعًا أو متباطئًا، ويكون للجسم تسارع سالب عندما يكون اتجاه متجه التسارع في الاتجاه السالب للحركة، وقد يكون الجسم متسارعًا أو متباطئًا.

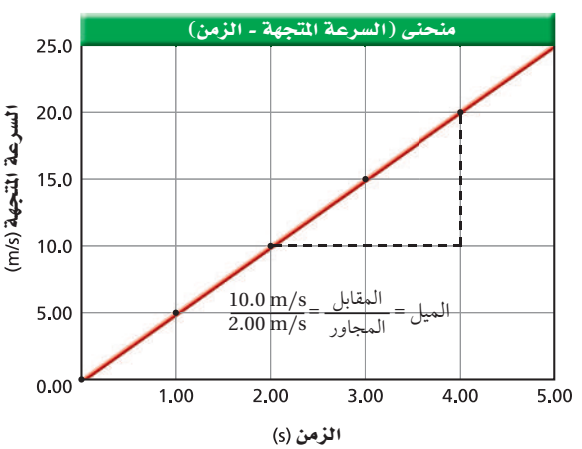
منحنى السرعة المتجهة–الزمن Velocity-Time Graph

من المفيد أن نمثل بيانيًّا العلاقة بين السرعة والزمن فيما يسمى **منحنى (السرعة المتجهة–الزمن)**. يوضح **الجدول 1–3** بيانات حركة سيارة تنطلق من السكون، وتتزايد سرعتها في أثناء سيرها على طريق مستقيم.

يبين **الشكل 5–3** الرسم البياني للسرعة المتجهة–الزمن، حيث تم اختيار الاتجاه الموجب في اتجاه حركة السيارة. لاحظ أن الرسم البياني عبارة عن خط مستقيم، وهذا يعني أن سرعة السيارة تتزايد بمعدل منتظم. ويمكن إيجاد المعدل الذي تتغير فيه سرعة السيارة بحساب ميل الخط المستقيم في منحنى (السرعة المتجهة–الزمن).

الجدول 1–3

السرعة المتجهة - الزمن	
الزمن (s)	السرعة المتجهة (m/s)
0.00	0.00
1.00	5.00
2.00	10.0
3.00	15.0
4.00	20.0
5.00	25.0

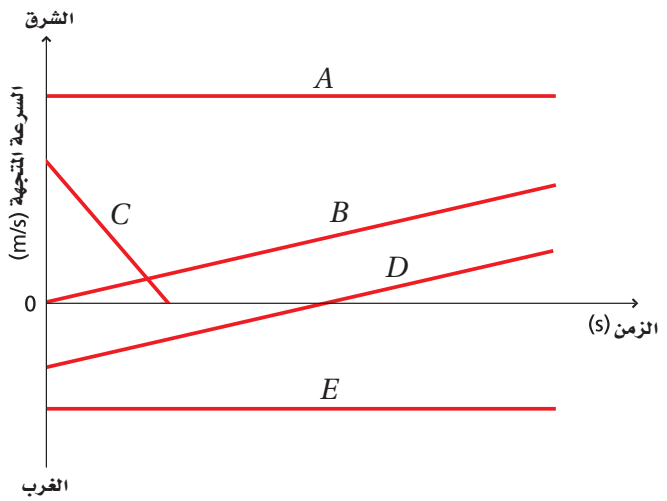


الشكل 5–3 يمثل ميل الخط البياني لمنحنى (السرعة المتجهة – الزمن) تسارع الجسم.

كما يتضح من الرسم البياني أن الميل يساوي $\left(\frac{10.0\ m/s}{2.00\ s}\right)$، أو $5.00\ m/s^2$، وهذا يعني أنه في كل ثانية تزداد سرعة السيارة بمقدار 5.00 m/s، ويعرف المعدل الزمني الذي تتغير فيه سرعة جسم **بتسارع الجسم**، ويرمز له بالرمز ***a***. وعندما تتغير سرعة جسم بمعدل منتظم يكون له تسارع منتظم.

حساب التسارع من منحنى السرعة المتجهة –الزمن
Determining Acceleration from a v-t Graph

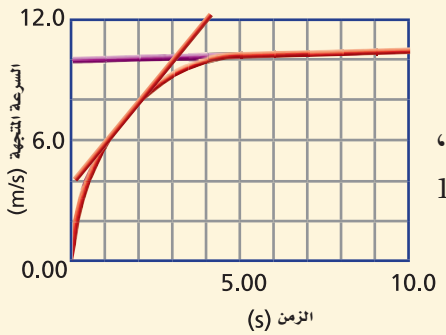
إن منحنيات (السرعة المتجهة– الزمن) الممثلة لحركة خمسة عدائين (*A,B,C,D,E*) في **الشكل 6–3** تشتمل على معلومات عن سرعة وتسارع كل عدّاء. وبملاحظة التغير في سرعة كل عدّاء، ستجد أن العدَّاءين *A* و *E* لا تتغير سرعتهما في أثناء الحركة، هذا يعني أن تسارع كل منهما يساوي صفرًا، بينما سرعة العدَّاء *B* تتزايد بانتظام، وهذا يعني أنه يتحرك بتسارع موجب في عكس حركة العداء *C* الذي تلاحظ أن سرعته موجبة وتتناقص بانتظام؛ أي أنه يتحرك بتسارع سالب. أما العداء *D* فتلاحظ أن سرعته تتغير بانتظام، حيث تتناقص سرعته من قيمة سالبة إلى الصفر، ثم تتزايد سرعته عندما تصبح موجبة.



الشكل 6–3 الرسمان البيانيان *A* و *E* يبينان الحركة بسرعة منتظمة في اتجاهين متعاكسين (التسارع يساوي صفرًا)، والرسم *B* يبين سرعةً متجهةً موجبةً وتسارعًا موجبًا. والرسم *C* يبين سرعةً متجهةً موجبةً وتسارعًا سالبًا. والرسم *D* يبين حركة **بتسارع** موجب منتظم، بحيث يخفض السرعة المتجهة عندما تكون سالبةً، ويزيدها عندما تكون موجبةً.

مثـال 1

السرعة والتسارع كيف تصف سرعة العدَّاء وتسارعه من خلال منحنى (السرعة المتجهة –الزمن) المبين في الشكل ؟



1 تحليل المسألة

• تفحـص الرسـم البيانـي تلاحـظ أن سـرعة العداء بدأت مـن الصفر، وتزايدت بسـرعة خلال الثواني الأولى، وعندما بلغت حوالي 10.0 m/s أصبحت ثابتة تقريبًا.

المعلوم	المجهول
متغير = v	$a = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

ارسم مماسًّا للمنحنى عند الزمن $t = 1.0\ s$ ، ثم ارسم مماسًّا آخر عند الزمن $t = 5.0\ s$

أوجد التسارع a عند 1.0 s

$$\text{الميل} = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}$$

ميل الخط عند 1.0 s يساوي التسارع

$$a = \frac{10.0\ m/s - 4.0\ m/s}{3.0\ s - 0.00\ s} = 2.0\ m/s^2$$

أوجد التسارع عند 5.0 s

ميل الخط عند 5.0 s يساوي التسارع

$$a = \frac{10.3\ m/s - 10.0\ m/s}{10.0\ s - 0.00\ s} = 0.030\ m/s^2$$

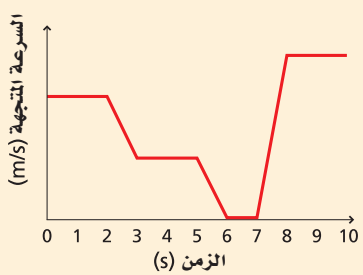
التسـارع غيـر منتظم لأنـه يتغير من $2.0\ m/s^2$ في اللحظة 1.0 s ، إلـى $0.03\ m/s^2$ في اللحظة 5.0 s ، في الاتجاه الموجب لأن كلتا القيمتين موجبة.

3 تقويم الجواب

• **هل الوحدات صحيحة؟** يقاس التسارع بوحدة m/s^2.

مسائل تدريبية

1. يبيـن **الشـكل 7–3** منحنـى (السـرعة المتجهـة –الزمـن) لجزء من حركة أحمد في حديقة الأمير خليفة الكبرى بالرفاع الشرقي. ارسم مخطـط الحركة للحركـة الممثلة في الرسـم البياني، وأكمله برسـم متجهات السرعة.



الشكل 7–3

2. تركـض قطة داخل منـزل، ثم تبطئ من سـرعتها وتنزلق على أرضية خشـنة بتسـارع منتظم حتى تتوقف، ارسـم نموذج الجسـيم النقطي لحركة القطة، واستخدم متجهات السرعة لرسم متجه التسارع.

التسارع المتوسط والتسارع اللحظي
Average and Instantaneous Acceleration

التسـارع المتوسط لجسم هو التغير في السرعة خلال فترة زمنية مقيسة، مقسومًا علـى هـذه الفتـرة الزمنية، ويقاس التسـارع المتوسـط بوحدة m/s^2. أمـا التغير في السـرعة عند لحظة زمنية محددة فيسمى **التسـارع اللحظي**. ويمكن إيجاد التسارع اللحظي لجسم برسم خط مماسي لمنحنى (السرعة المتجهة–الزمن) عند اللحظة الزمنية التي تود حساب التسارع عندها، وميل هذا الخط يساوي التسارع اللحظي.

حساب التسارع كيف يمكنك أن تحسب التسارع رياضيًّا؟ المعادلة التالية تعبّر عن التسـارع المتوسـط باعتباره ميل الخط البياني لمنحنى (السرعة المتجهة–الزمن)، ويرمز له بالرمز $\bar{a}$.

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

التسارع المتوسط يساوي التغير في السرعة مقسومًا على الزمن الذي حدث خلاله هذا التغير.

افترض أنك تتحرك باتجاه جدار بسـرعة 4 m/s، ثـم تحركت بعيدًا عن الجدار بالاتجـاه المعاكس بسـرعة 4 m/s واسـتغرق ذلك زمنًا مقداره 10 s، ما تسـارعك المتوسط بافتراض أن الاتجاه الموجب في اتجاه الجدار؟

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

$$= \frac{(-4.0\ \text{m/s}) - (4.0\ \text{m/s})}{10.0\ \text{s}} = \frac{-8\ \text{m/s}}{10.0\ \text{s}} = -0.80\ \text{m/s}^2$$

تشير الإشارة السالبة إلى أن اتجاه التسارع بعيدًا عن الجدار.

مسائل تدريبية

3. استعن **بالشكل 8–3** الذي يوضح منحنى (السرعة المتجهة – الزمن)لقطار لعبة، للإجابة عن الأسئلة التالية:

a. متى كان القطار يتحرك بسرعة منتظمة؟

b. خلال أي فترات زمنية كان تسارع القطار موجبًا؟

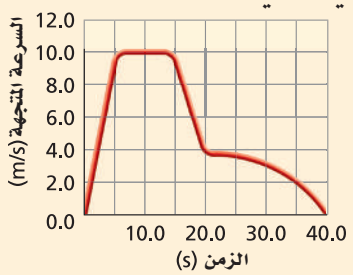
c. متى اكتسب القطار أكبر تسارع سالب؟

4. استعن **بالشكل 8–3** لإيجاد التسارع المتوسط للقطار خلال الفترات الزمنية التالية:

a. من 0.0 s إلى 5.0 s

b. من 15.0 s إلى 20.0 s

c. من 0.0 s إلى 40.0 s



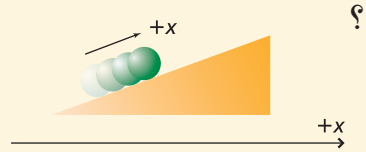
الشكل 8–3

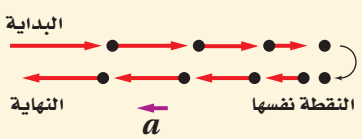
مثال 2

التسارع صف حركة كرة تتدحرج صاعدة مستوى مائلاً بسرعة ابتدائية 2.50 m/s، وتتباطأ لمدة 5.00 s، ثم تقف للحظة، ثم تتدحرج هابطة المستوى المائل، فتزداد سرعتها تدريجيًّا. فإذا تم اختيار الاتجاه الموجب في اتجاه المستوى المائل إلى أعلى، ونقطة الأصل عند نقطة بدء الحركة، فما تسارع الكرة عندما تتدحرج صاعدة المستوى المائل؟ وما إشارة تسارعها عند تدحرجها هابطة من أعلى المستوى؟

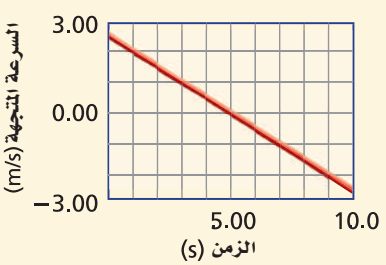
1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم النموذج الجسمي النقطي للحركة.
- ارسم نظامًا إحداثيًا بالاعتماد على النموذج الجسيمي للحركة.





المعلوم	المجهول
$v_i = +2.5\ \text{m/s}$	$a = ?$
$t = 5.00\ \text{s}$ عندما $v_f = 0.00\ \text{m/s}$	



2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد مقدار تسارع الكرة أثناء صعودها المستوى المائل.

تابع مثـال 2

عوض لإيجاد التغير في السرعة والزمن المستغرق لحدوث هذا التغير

$$\Delta v = v_f - v_i$$

$$= 0.00\ \text{m/s} - 2.50\ \text{m/s} = -2.50\ \text{m/s}$$

بالتعويض عن $v_f = 0.00\ \text{m/s}$, $v_i = 2.50\ \text{m/s}$

$$\Delta t = t_f - t_i$$

$$= 5.00\ s - 0.00\ s = 5.00\ s$$

بالتعويض عن $t_f = 5.00\ \text{s}$, $t_i = 0.00\ \text{m/s}$

أوجد التسارع

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

$$= \frac{-2.5\ \text{m/s}}{5.00\ \text{s}} = -0.500\ \text{m/s}^2$$

بالتعويض عن $\Delta t = 5.00\ \text{s}$, $\Delta v = -2.50\ \text{m/s}$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** التسارع يقاس بوحدة m/s^2.
- **هـل للاتجاهـات معنى؟** خـلال الثواني الخمس الأولـى (0.00 s–5.00 s)، كان اتجاه التسـارع في عكس اتجاه السرعة المتجهة، والكرة تتباطأ.

وتكون إشارة التسارع موجبة أي أن التسارع $0.500\ \text{m/s}^2$ في اتجاه أسفل المستوى المائل

مسائل تدريبية

5. تتحرك سيارة بسرعة 3.0 m/s باتجاه الشرق وبعد مرور 2.50 s استدار السائق وتحرك باتجاه الغرب بسرعة 4.5 m/s، فما التسارع المتوسط للسيارة باعتبار اتجاه الغرب هو الاتجاه الموجب؟

6. حافلة تسير بسرعة 25 m/s، ضغط السائق على الفرامل فتوقفت بعد 3.0 s. أجب عما يلي:

a. ما التسارع المتوسط للحافلة في أثناء الضغط على الفرامل؟

b. كيف يتغير التسارع المتوسط للحافلة إذا استغرقت ضعف الفترة الزمنية السابقة للتوقف؟

7. كان خالد يعدو بسرعة 3.5 m/s نحو موقف حافلة لمدة 2.0 min، وفجأة نظر إلى ساعته فلاحظ أن لديه متسـعًا من الوقت قبل وصول الحافلة، فأبطأ سـرعة عدوه خلال الثواني العشر التالية إلى 0.75 m/s، ما تسارعه المتوسط خلال هذه الثواني العشر؟

تتشـابه السرعة المتجهة والتسارع في أنهما عبارة عن معدل تغيّر؛ فالتسارع هو المعدل الزمنيّ لتغيّر السرعة، والسرعة هي المعدل الزمني لتغيّر الإزاحة، ولكن لكلٍ من السرعة والتسارع قيم متوسطة وقيم لحظية، وستتعلم لاحقًا في هذا الفصل أن المسـاحة تحت منحنى (السـرعة المتجهة – الزمن) تمثل إزاحة الجسم، وأن المساحة تحت منحنى (التسارع – الزمن) تمثل سرعة الجسم.

3-1 مراجعة

8. منحنى (السرعة-الزمن) ما المعلومات التي يمكن استخلاصها من منحنى (السرعة–الزمن).

9. منحنيات الموقع-الزمن، والسرعة المتجهة-الزمن انطلق عدّائين من مكانين مختلفين بسرعة منتظمة لكل منهما مقدارها 7.5 m/s في اتجاه الشرق، وعند الزمن $t = 0$، كان أحدهما على بعد 15 m إلى الشرق من نقطة الأصل، والآخر على بعد 15 m غربها، أجب عما يلي:

a. ارسم الخطين البيانيين الممثلين لحركة العدّاءين في منحنى (الموقع–الزمن)؟

b. ارسم الخطين البيانيين الممثلين لحركة العدّاءين في منحنى (السرعة المتجهة –الزمن)؟ ثم وضح الفرق بينهما.

10. السرعة وضح كيف يمكنك استخدام منحنى (السرعة المتجهة– الزمن)، لتحديد الزمن الذي يتحرك عنده الجسم بسرعة معينة.

11. منحنى (السرعة-الزمن) مثّل بيانيًّا منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) لحركة سيارة تسير في اتجاه الشرق بسرعة 25 m/s لمدة 100 s، ثم في اتجاه الغرب بسرعة 25 m/s لمدة 100 s أخرى.

12. السرعة المتوسطة والتسارع المتوسط يتحرك قارب بسرعة 2.0 m/s في عكس اتجاه جريان نهر، ثم يدور حول نفسه وينطلق في اتجاه جريان النهر بسرعة 4.0 m/s، فإذا كان الزمن الذي استغرقه القارب في الدوران 8.0 s، ما التسارع المتوسط للقارب؟

13. التفكير الناقد ضبط شرطي مرور سائقًا يسير بسرعة تزيد بمقدار 32 km/h عن حد السرعة المسموح به لحظة تجاوزه سيارة أخرى تنطلق بسرعة أقل. سجل الشرطي على كلا السائقين إشعار مخالفة لتجاوز السرعة. وقد أصدر القاضي حكمًا على كلا السائقين. وتم اتخاذ الحكم استنادًا إلى فرضية تقول إن كلتا السيارتين كانتا تسيران بالسرعة نفسها لأنه تم ملاحظتهما عندما كانت الأولى خلف الثانية.

هل كان كل من القاضي وشرطي المرور على صواب؟ وضح ذلك برسم مخطط للحركة، ورسم منحنى (الموقع–الزمن).

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني obeikaneduction.com

3-2 الحركة بتسارع منتظم Motion with Constant Acceleration

لقد تعلمت أنه يمكن إيجاد الموقع الجديد لجسم متحرك بعد مرور فترة زمنية من خلال معرفة الموقع الإبتدائي للجسم وسرعته المتجهة المتوسطة، ويمكن بالطريقة نفسها إيجاد السرعة المتجهة للجسم بعد مضي فترة زمنية من معرفة السرعة المتجهة الإبتدائية والتسارع المتوسط للجسم.

السرعة بدلالة التسارع المتوسط
Velocity with Average Acceleration

يمكنك استخدام التسارع المتوسط لجسم خلال فترة زمنية، لتعيين مقدار التغير في سرعته خلال هذا الزمن، ويعرف التسارع المتوسط بـ $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ويمكن إعادة كتابته بالصورة:

$$\Delta v = \bar{a}\,\Delta t$$

$$v_f - v_i = \bar{a}\,\Delta t$$

لذا فإن العلاقة بين السرعة النهائية والتسارع المتوسط يمكن كتابتها على النحو التالي:

$$v_f = v_i + \bar{a}\,\Delta t$$

السرعة النهائية تساوي السرعة الابتدائية مضافًا إليها حاصل ضرب التسارع المتوسط في الفترة الزمنية.

في الحالات التي يكون فيها التسارع منتظمًا، يكون التسارع المتوسط $\bar{a}$ هو التسارع اللحظي a نفسه. وهناك حالات يكون فيها التسارع غير منتظم، من مثل حركة البندول أو غيرها من الحركات التي تخضع لقوى غير منتظمة.

الفيزياء في حياتك

تخيل سيارة تسير في طريق معبد، وفجأة شاهد السائق عائقاً يسد طريقه، هل بإمكان السائق أن يتوقف في التوقيت المناسب؟ إن كل ذلك يعتمد على فعالية كوابح السيارة في إبطاء حركتها.

تساؤلات جوهرية :

- كيف توضح منحنيات (الموقع- الزمن) و (السرعة المتجهة-الزمن) الحركة بتسارع منتظم؟
- كيف تحدد إزاحة جسم متحرك من منحنى (السرعة المتجهة-الزمن)؟
- ما العلاقة بين الموقع، السرعة المتجهة، التسارع مع الزمن؟

مسائل تدريبية

14. تتحرك كرة جولف إلى أعلى تل في اتجاه حفرة الجولف ، افترض أن الاتجاه نحو الحفرة هو الاتجاه الموجب، أجب عما يلي:

a. إذا انطلقت كرة الجولف بسرعة 2.0m/s، وتباطأت بمعدل منتظم $0.50\,m/s^2$، فما سرعتها بعد مضي 2.0s؟

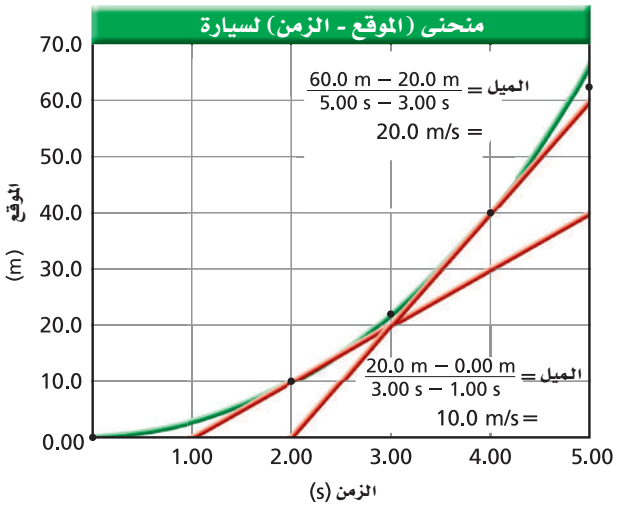
b. ما سرعة كرة الجولف إذا استمر التسارع المنتظم لمدة 6.0 s؟

c. صف حركة كرة الجولف بالكلمات، ثم باستخدام مخطط الحركة.

15. تتباطأ سرعة سيارة من 22 m/s بمعدل منتظم مقداره $2.1\ m/s^2$. ما الزمن الذي تحتاج إليه السيارة قبل أن تسير بسرعة 3.0 m/s؟

الجدول 2–3

بيانات (الموقع-الزمن) لسيارة	
الزمن (s)	الموقع (m)
0.00	0.00
1.00	2.50
2.00	10.0
3.00	22.5
4.00	40.0
5.00	62.5



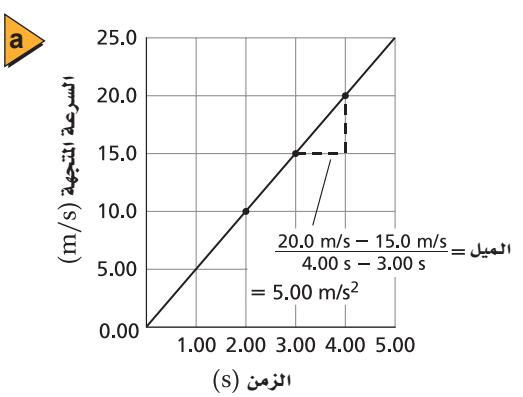
■ **الشكل 9–3** يزداد ميل الخط البياني في منحنى (الموقع-الزمن) لسيارة تتحرك بتسارع منتظم، كلما زاد زمن الحركة.

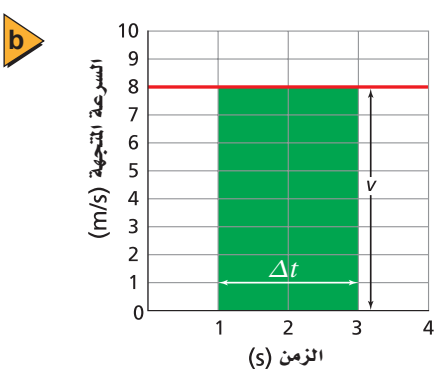
الموقع بدلالة التسارع المنتظم
Position with Constant Acceleration

التجربة العملية:
كيف تتدحرج الكرة؟

توصلت إلى أن الجسم الذي يتحرك بتسارع منتظم يغير سرعته بمعدل منتظم. ولكن كيف يتغير موقع الجسم المتحرك بتسارع منتظم؟ يبين **الجدول 2–3** بيانات الموقع عند فترات زمنية مختلفة لسيارة تتحرك بتسارع منتظم، وقد مثلت بيانات الجدول بالرسم البياني الموضح في **الشكل 9–3**، حيث يظهر من الرسم البياني أن حركة السيارة غير منتظمة؛ فالإزاحات خلال فترات زمنية متساوية على الرسم تصير أكبر فأكبر. لاحظ كذلك أن ميل الخط في **الشكل 9–3** يزداد كلما زاد الزمن. ويمكن استخدام ميل الخطوط من منحنى (الموقع–الزمن) لرسم منحنى (السرعة المتجهة –الزمن).

لاحظ أن ميل كل من الخطوط الموضحة في **الشكل 9–3** يطابق السرعة الممثلة بيانيًّا في **الشكل a 10–3**. لكن لا تستطيع رسم منحنى الموقع–الزمن باستخدام منحنى (السرعة المتجهة–الزمن)؛ لأن الأخير لا يحتوي على أي معلومات حول موقع الجسم. ومع ذلك فهو يحتوي على معلومات عن إزاحته.



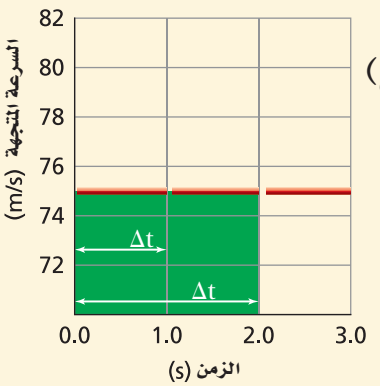


■ **الشكل 10–3**
a. يمثل ميل كل من مماسات منحنى (الموقع-الزمن) في **الشكل 9–3** قيم (السرعة المتجهة–الزمن).
b. الإزاحة خلال فترة زمنية معينة تساوي عدديًّا المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة – الزمن).

يوضح **الشكل 3–10 b** منحنى (السرعة المتجهة– الزمن) لجسم يتحرك بسرعة منتظمة، وبدراسة الشكل تحت الخط البياني للمنحنى (المستطيل المظلل) تجد أن سرعة الجسم v تمثل طول المستطيل، بينما الفترة الزمنية لحركة الجسم Δt تمثل عرض المستطيل، لذا فإن مساحة المستطيل هي $v\,\Delta t$ أو Δd ، أي أن المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) تساوي عدديًّا إزاحة الجسم.

مثال 3

يبين الرسم البياني أدناه منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) لحركة طائرة، أوجد إزاحة الطائرة خلال الفترة الزمنية $\Delta t = 1.0\ s$، ثم خلال الفترة الزمنية $\Delta t = 2.0\ s$.



1 تحليل المسألة

- الإزاحة عدديًا تساوي المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة –الزمن)
- تبدأ الفترة الزمنية من اللحظة $t = 0.0$

المعلوم	المجهول
$v = +75\ m/s$	$\Delta d = ?$
$t = 1.0\ s$	
$t = 2.0\ s$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد الإزاحة خلال 1.0 s

بالتعويض عن $v = +75 m/s, \Delta t = 1.0\ s$

$$d = vt$$
$$= (+75\ m/s)\ (1.0\ s)\ = +75 m$$

أوجد الإزاحة خلال 2.0 s

بالتعويض عن $v = +75\ m/s,\ \Delta t = 2.0\ s$

$$\Delta d = v\Delta t$$
$$= (+75\ m/s)\ (2.0\ s) = +150\ m$$

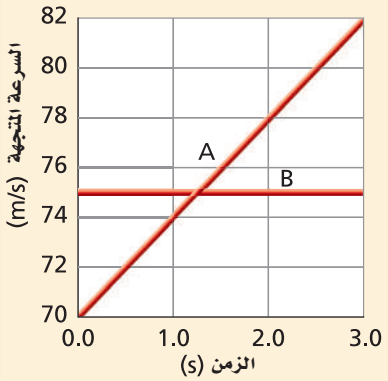
3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الإزاحة تقاس بالأمتار.
- **هل للإشارات معنى؟** الإشارات الموجبة تتفق مع الرسم البياني.
- **هل الجواب منطقي؟** قطع مسافة مساوية تقريبًا لطول ملعب كرة قدم خلال ثانيتين واقعي بالنسبة لسرعة الطائرة.

مسائل تدريبية

16. استخدم **الشكل 11–3** لتعيين سرعة كل من الطائرتين A و B عند كل من الأزمنة التالية:

a. 1.0 s **b.** 2.0 s **c.** 2.5 s



الشكل 11–3

17. تسير سيارة بسرعة منتظمة قدرها 25 m/s لمدة 10.0 min، ثم ينفد منها الوقود، فيسير السائق على قدميه في الاتجاه نفسه بسرعة 1.5 m/s لمدة 20.0 min ليصل إلى أقرب محطة وقود. فإذا استغرق السائق 2.0 min لملء جالون من البنزين، ثم سار عائدًا إلى السيارة بسرعة 1.2 m/s، وأخيرًا تحرك بالسيارة إلى البيت بسرعة 25 m/s في اتجاه معاكس لاتجاه رحلته الأصلية، اجب عما يلي:

a. ارسم منحنى (السرعة المتجهة –الزمن) معتمدًا الثانية وحدة للزمن.

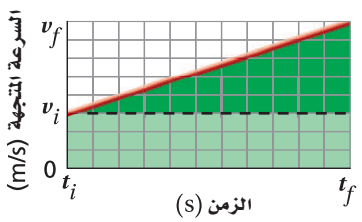
إرشاد: *احسب المسافة التي قطعها السائق إلى محطة الوقود، لإيجاد الزمن الذي استغرقه حتى يعود إلى السيارة.*

b. ارسم منحنى (الموقع–الزمن) باستخدام المساحات تحت منحنى (السرعة المتجهة –الزمن).

توصلت سابقًا أنه يمكن إيجاد الإزاحة من منحنى (السرعة المتجهة– الزمن) لجسم يتحرك بتسارع منتظم مبتدئًا بسرعة ابتدائية v_i، وذلك بحساب المساحة تحت المنحنى. ففي **الشكل 12–3** تحسب الإزاحة Δd بتقسيم المساحة تحت المنحنى إلى مستطيل ومثلث .

يمكن إيجاد مساحة المستطيل بوساطة العلاقة: $\Delta d_{\text{مستطيل}} = v_i \Delta t$

وإيجاد مساحة المثلث بالعلاقة: $\Delta d_{\text{مثلث}} = \frac{1}{2} \Delta v \Delta t$



الشكل 12–3 يمكن إيجاد إزاحة جسم يتحرك بتسارع منتظم بحساب المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة - الزمن).

ولأن التسارع المتوسط $\overline{a}$ يساوي $\frac{\Delta v}{\Delta t}$، فإن المساحة الكلية تحت المنحنى تساوي:

$$\Delta d = \Delta d_{\text{مستطيل}} + \Delta d_{\text{مثلث}} = v_i (\Delta t) + \frac{1}{2} \overline{a} (\Delta t)^2$$

وعندما يكون الموقع الإبتدائي d_i أو النهائي d_f للجسم معلومًا، فإن المعادلة يمكن كتابتها بالصورة التالية:

$$d_f - d_i = v_i (\Delta t) + \frac{1}{2} \overline{a} (\Delta t)^2$$

أو $$d_f = d_i + v_i (\Delta t) + \frac{1}{2} \overline{a} (\Delta t)^2$$

فإذا كان الزمن الابتدائي هو $t_i = 0$ فإن الموقع بدلالة التسارع المتوسط يُحسب بالعلاقة التالية:

$$d_f = d_i + v_i t_f + \frac{1}{2} \bar{a} \ t_f^2$$

ويمكن ربط الموقع والسرعة، والتسارع المنتظم في علاقة لا تتضمن الزمن. وذلك بإعادة ترتيب المعادلة $v_f = v_i + \bar{a} \ t_f$ لتعطي (t_f):

$$t_f = \frac{v_f - v_i}{\bar{a}}$$

وبالتعويض عن قيمة (t_f) في المعادلة $d_f = d_i + v_i t_f + \frac{1}{2} \bar{a} \ t_f^2$ تحصل على:

$$d_f = d_i + v_i \left(\frac{v_f - v_i}{\bar{a}} \right) + \frac{1}{2} \bar{a} \left(\frac{v_f - v_i}{\bar{a}} \right)^2$$

وهذه المعادلة يمكن حلها لإيجاد السرعة النهائية v_f عند أي زمن t_f ، حيث إن السرعة بدلالة التسارع المنتظم:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2 \bar{a} \ (d_f - d_i)$$

ويمكن تلخيص المعادلات الثلاث للحركة بتسارع منتظم كما في **الجدول 3–3:**

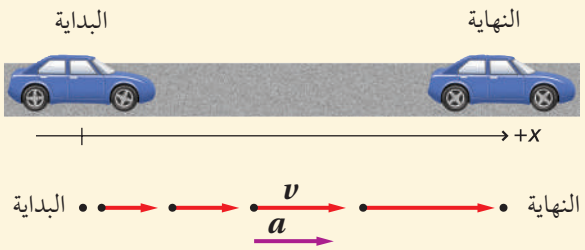
الجدول 3–3

معادلات الحركة في حالة التسارع المنتظم

المعادلة	المتغيرات	الشروط الابتدائية
$v_f = v_i + \bar{a} \ t_f$	$t_f \ , \ v_f \ , \ \bar{a}$	v_i
$d_f = d_i + v_i t_f + \frac{1}{2} \bar{a} \ t_f^2$	$t_f \ , \ d_f , \ \bar{a}$	$d_i \ , \ v_i$
$v_f^2 = v_i^2 + 2 \bar{a} \ (d_f - d_i)$	$d_f \ , \ v_f \ , \ \bar{a}$	$d_i \ , \ v_i$

مثـال 4

انطلقـت سـيارة من السـكون بتسـارع منتظم مقـداره $3.5\ m/s^2$، ما المسـافة التي تكون قد قطعتهـا عندما تصل سرعتها إلى $25\ m/s$؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثِّل المسألة بالرسم.
- عين محاور الإحداثيات.
- ارسم مخططًا للحركة.

المعلوم	المجهول
$d_i = 0.00\ m$	$d_f = ?$
$v_i = 0.00\ m/s$	
$v_f = 25\ m/s$	
$\overline{a} = a = 3.5\ m/s^2$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

لإيجاد : d_f

$$v_f^2 = v_i^2 + 2\overline{a}\ (d_f - d_i)$$

$$d_f = d_i + \frac{v_f^2 - v_i^2}{2\overline{a}}$$

بالتعويض عن $d_i = 0.00\ m$, $v_f = 25\ m/s$
$v_i = 0.00\ m/s$, $\overline{a} = 3.5\ m/s^2$

$$= 0.00\ m + \frac{(25\ m/s)^2 - (0.00\ m/s)^2}{2(3.5\ m/s^2)} = 89\ m$$

$$= 89\ m$$

3 تقويم الجـواب

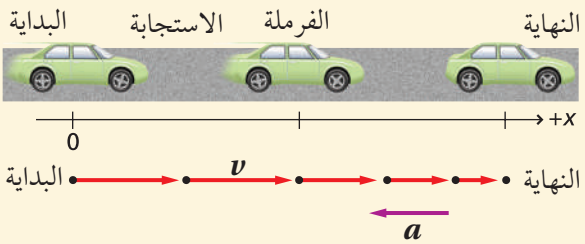
- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الإزاحة بوحدة المتر m.
- **هل للإشارة دلالة؟** الإشارة الموجبة تتفق مع كل من النموذج التصويري، والنموذج الجسيمي النقطي.
- **هل الجواب منطقي؟** تبدو الإزاحة كبيرةً ولكن السرعة (25 m/s) كبيرة أيضًا، لذلك فالنتيجة معقولة.

مثـال 5

مسـافتا الاسـتجابة والفرملة يقود محمد سـيارة بسـرعة منتظمة مقدارها 25 m/s، وفجأة رأى طفلًا يركض في الشـارع. فإذا كان زمن الاسـتجابة اللازم ليدوس على الفرامل هو 0.45 s، فتباطأت السـيارة بتسارع منتظم 8.5m/s^2 حتى توقفت، ما المسافة الكلية التي قطعتها السيارة قبل أن تقف؟

تحليل المسألة ورسمها

- مثِّل المسألة بالرسم.
- اعتبر أن اتجاه سير السيارة هو الاتجاه الموجب.
- ارسم مخططًا للحركة، وعيِّن عليه $\boldsymbol{v}$ و $\boldsymbol{a}$.



المعلوم	المجهول
$v_{\text{الاستجابة}} = 25\ \text{m/s}$	$d_{\text{الاستجابة}} = ?$
$t_{\text{الاستجابة}} = 0.45\ \text{s}$	$d_{\text{الفرملة}} = ?$
$\overline{a} = a_{\text{الكلية}} = (-8.5\ \text{m/s}^2)$	$d_{\text{الكلية}} = ?$
$v_{i\,\text{الفرملة}} = 25\ \text{m/s}$	
$v_{f\,\text{الفرملة}} = 0.00\ \text{m/s}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

الاستجابة : أوجد المسافة التي تتحركها السيارة بسرعة منتظمة

$$d_{\text{الاستجابة}} = v_{\text{الاستجابة}}\ t_{\text{الاستجابة}}$$
$$= (25\ \text{m/s})\ (0.45\ \text{s}) = 11\ \text{m}$$

الفرملة: أوجد المسافة التي تتحركها السيارة في أثناء عملية الفرملة حتى الوقوف.

$$v_{f\,\text{الفرملة}}^2 = v_{\text{الاستجابة}}^2 + 2a_{\text{الفرملة}}\ (d_{\text{الفرملة}})$$

$$d_{\text{الفرملة}} = \frac{v_{f\,\text{الفرملة}}^2 - v_{\text{الاستجابة}}^2}{2a_{\text{الفرملة}}}$$

بالتعويض عن $v_{f\,\text{الفرملة}} = 0.00\ \text{m/s}$, $a_{\text{الفرملة}} = (-8.5\ \text{m/s}^2)$

$v_{\text{الاستجابة}} = 25\ \text{m/s}$

$$= \frac{(0.00\ \text{m/s})^2 - (25\ \text{m/s})^2}{2(-8.5\ \text{m/s}^2)} = 37\ \text{m}$$

المسافة الكلية تساوي مجموع مسافة الاستجابة ومسافة الفرملة

أوجد المسافة الكلية ($d_{\text{الكلية}}$):

$$d_{\text{الكلية}} = d_{\text{الاستجابة}} + d_{\text{الفرملة}}$$
$$= 11\text{m} + 37\ \text{m} = 48\ \text{m}$$

بالتعويض عن $d_{\text{الاستجابة}} = 11\ \text{m}$, $d_{\text{الفرملة}} = 37\ \text{m}$

3 تقويم الجـواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس المسافة بوحدة المتر(m).
- **هل للإشارات معنى؟** كل من $d_{\text{الاستجابة}}$ و $d_{\text{الفرملة}}$ موجبة؛ لأنها في اتجاه الحركة نفسه.
- **هل الجواب منطقي؟** مسافة الفرملة صغيرة، لكنها منطقية؛ لأن مقدار التسارع كبير.

مسائل تدريبية

18. يتحرك متزلج على لوح تزلج بسرعة منتظمة 1.75 m/s ، وعندما بدأ يصعد مستوى مائلاً تباطأت حركته وفق تسارع منتظم $0.20\ m/s^2$ إلى أن توقف، ما الزمن الذي استغرقه في صعود المستوى المائل؟

19. تسير سيارة سباق في حلبة بسرعة 44 m/s، وتتباطأ بمعدل منتظم بحيث تصل سرعتها إلى 22 m/s خلال 11 s، ما المسافة التي اجتازتها السيارة خلال هذا الزمن؟

20. يتحرك راكب دراجة هوائية وفق تسارع منتظم ليصل إلى سرعة مقدارها 7.5 m/s خلال 4.5 s، فإذا كانت إزاحة الدراجة خلال فترة التسارع تساوي 19 m، أوجد السرعة الابتدائية.

21. يتدرب خالد على ركوب الدراجة الهوائية، حيث يدفعه والده فيكتسب تسارعًا منتظمًا مقداره $0.50\ m/s^2$ لمدة 6.0 s، ثم يقود بعد ذلك خالد الدراجة بمفرده بسرعة 3.0 m/s مدة 6.0 s قبل أن يسقط أرضًا، ما مقدار إزاحة خالد؟

إرشاد: لحل هذه المسألة ارسم منحنى (السرعة المتجهة–الزمن)، ثم احسب المساحة المحصورة تحته.

22. بدأت ركوب دراجتك الهوائية من قمة تل، ثم هبطت منحدرها بتسارع منتظم $2.00\ m/s^2$ ، وعندما وصلت إلى قاعدة التل كانت سرعتك قد بلغت 18.0 m/s ، ثم واصلت استخدام دواسات الدراجة لتحافظ على هذه السرعة لمدة 1.00 min، ما بُعدك عن قمة التل منذ لحظة مغادرتها؟

كما تعلمت سابقًا، هناك عدة وسائل يمكنك استخدامها في حل مسائل الحركة في بعد واحد، منها: مخططات الحركة، والرسوم البيانية، والمعادلات الرياضية. وكلما اكتسبت المزيد من الخبرة، سيسهل عليك أن تقرر أي هذه الوسائل أكثر ملاءمة لحل مسألة ما.

23. التسارع أثناء قيادة رجل سيارته بسرعة 23 m/s شاهد غزالاً يجتاز الطريق، فاستخدم الفرامل عندما كان على بعد 210 m من الغزال. فإذا لم يتحرك الغزال، وتوقفت السيارة تمامًا قبل أن تمس جسمه، ما مقدار التسارع الذي أحدثته فرامل السيارة؟

24. الإزاحة إذا أُعطيت السرعة الابتدائية والنهائية والتسارع المنتظم لجسم، وطلب منك إيجاد الإزاحة، فما المعادلة التي ستستخدمها؟

25. المسافة بدأ متزلج حركته من السكون في خط مستقيم، وزادت سرعته إلى 5.0 m/s خلال 4.5 s، ثم استمر بالتزلج بهذه السرعة المنتظمة لمدة 4.5 s أخرى. ما المسافة الكلية التي تحركها المتزلج على مسار التزلج؟

26. السرعة النهائية تتسارع طائرة بانتظام من السكون بمعدل $5.0\ m/s^2$، ما سرعة الطائرة بعد قطعها مسافة $5.0 \times 10^2\ m$؟

27. السرعة النهائية تسارعت طائرة بانتظام من السكون بمعدل $5.0\ m/s^2$، لمدة 14 s، ما السرعة النهائية التي تكتسبها الطائرة؟

28. المسافة بدأت طائرة حركتها من السكون، وتسارعت بمقدار منتظم $3.00\ m/s^2$ لمدة 30.0 s قبل أن ترتفع عن سطح الأرض. احسب:

a. المسافة التي قطعتها الطائرة؟

b. سرعة الطائرة لحظة إقلاعها ؟

29. الرسوم البيانية يسير عداء نحو خط البداية بسرعة منتظمة، ويأخذ موقعه قبل بدء السباق، وينتظر حتى يسمع صوت طلقة البداية، ثم ينطلق فيتسارع حتى يصل إلى سرعة منتظمة. ثم يحافظ على هذه السرعة حتى يجتاز خط النهاية. وبعد ذلك يتباطأ إلى أن يمشي، فيستغرق في ذلك وقتًا أطول مما استغرقه لزيادة سرعته في بداية السباق.

مثّل حركة العداء باستخدام الرسم البياني لكل من منحنى (السرعة المتجهة–الزمن)، ومنحنى (الموقع–الزمن). ارسم الرسمين أحدهما فوق الآخر باستخدام مقياس الزمن نفسه. وبيّن على منحنى (الموقع–الزمن) مكان كل من نقطة البداية وخط النهاية.

30. التفكير الناقد صف كيف يمكنك أن تحسب تسارع سيارة، مبينًا أدوات القياس التي ستستخدمها.

أسقط ورقة صحيفة على الأرض. ثم لفها على شكل كرة متماسكة وأعد إسقاطها. أسقط حصاة بالطريقة نفسها، هل تسقط جميع الأجسام بالسرعة نفسها؟

لا يسقط الجسم الخفيف والمنبسط، مثل: ورقة الصحيفة المستوية أو ريشة الطائر، بالكيفية نفسها التي يسقط بها شيء ثقيل ومساحة سطحه صغيرة، مثل الحصاة. لماذا؟ عند سقوط جسم فإنه يصطدم بجزيئات الهواء، وتؤثر هذه التصادمات الضئيلة في سرعة هبوط الجسم الخفيف مثل الريشة بشكل أكبر من تأثيرها في هبوط أجسام أثقل نسبيًّا مثل الحصاة. إن المصطلح المستخدم لوصف حركة مثل هذه الأجسام هو **السقوط الحر**، وهو حركة جسم تحت تأثير الجاذبية الأرضية فقط، وبإهمال تأثير مقاومة الهواء.

الفيزياء في حياتك

في العروض الجوية، قبل أن يفتح المظليون مظلاتهم يقومون بالإمساك بأيدي بعضهم لتشكيل حلقات أفقية أثناء سقوطهم نحو الأرض. لماذا تكون الحلقات أفقية على الرغم من اختلاف كتلهم؟

تساؤلات جوهرية:

- ما هو تسارع السقوط الحر؟
- كيف يتحرك الجسم الساقط سقوطاً حراً؟

المفردات:

- السقوط الحر
- التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية
- زمن التحليق

التسارع في مجال الجاذبية الأرضية Acceleration Due to Gravity

قبل حوالي أربعمائة عام تقريبًا، أدرك جاليليو جاليلي أنه لكي يُحدث تقدمًا في دراسة حركة الأجسام الساقطة، يجب عليه إهمال تأثيرات المادة التي يسقط الجسم خلالها. وفي ذلك الزمن، لم يكن لدى جاليليو الوسائل التي تمكنه من أخذ بيانات موقع أو سرعة الأجسام الساقطة؛ لذا قام بدحرجة كرات على مستويات مائلة. ومع تخفيف الجاذبية الأرضية، استطاع الحصول على قياسات دقيقة باستخدام أدواته البسيطة.

استنتج جاليليو أن جميع الأجسام التي تسقط سقوطًا حرًّا يكون لها التسارع نفسه، بإهمال تأثير مقاومة الهواء، وأن هذا التسارع لا يتأثر بأي من: نوع مادة الجسم الساقط، أو وزن هذا الجسم، أو الارتفاع الذي أسقط منه ، أو كون الجسم قد أسقط أو قذف. ويرمز لتسارع الأجسام الساقطة بالرمز ***g***، وتزداد قيمة ***g*** بزيادة خط العرض وتقل عند الارتفاعات الكبيرة، والقيمة المتوسطة لها $9.80\ m/s^2$ ، كما يختلف تسارع الجاذبية من كوكب إلى آخر.

التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية هو تسارع جسم يسقط سقوطًا حرًّا نتيجة تأثير جاذبية الأرض عليه. فعند إسقاط صخرة تزداد سرعتها بمعدل 9.80 m/s كل 1s، ويعتمد اعتبار التسارع موجبًا أو سالبًا على النظام الإحداثي الذي يتم اتخاذه؛ فإذا كان النظام يعتبر الاتجاه إلى الأعلى موجبًا، فإن التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية عندئذ يساوي (***g*** -)، أما إذا اعتبر الاتجاه إلى الأسفل هو الاتجاه الموجب، فإن التسارع الناتج عن الجاذبية يساوي (***g***+) .

التجربة العملية:

كيف تتغير قيمة g من مكان لآخر؟

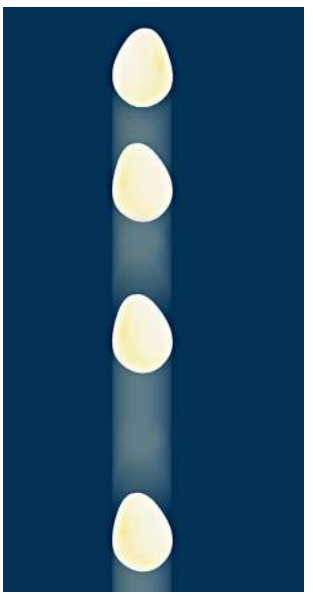
يبين **الشكل 13–3** صورة لبيضة تسقط سقوطًا حرًّا التقطت باستخدام تقانة خاصة، حيث الفترة الزمنية بين لقطتين متتاليتين هي 0.06s، وكما يظهر من الشكل أن الإزاحة

بين كل زوج من اللقطات تزداد، وهذا يعني أن السرعة تزداد. فإذا اعتبر الاتجاه إلى الأسفل الاتجاه الإحداثي الموجب، فإن السرعة تزداد بقيمة موجبة أكثر فأكثر.

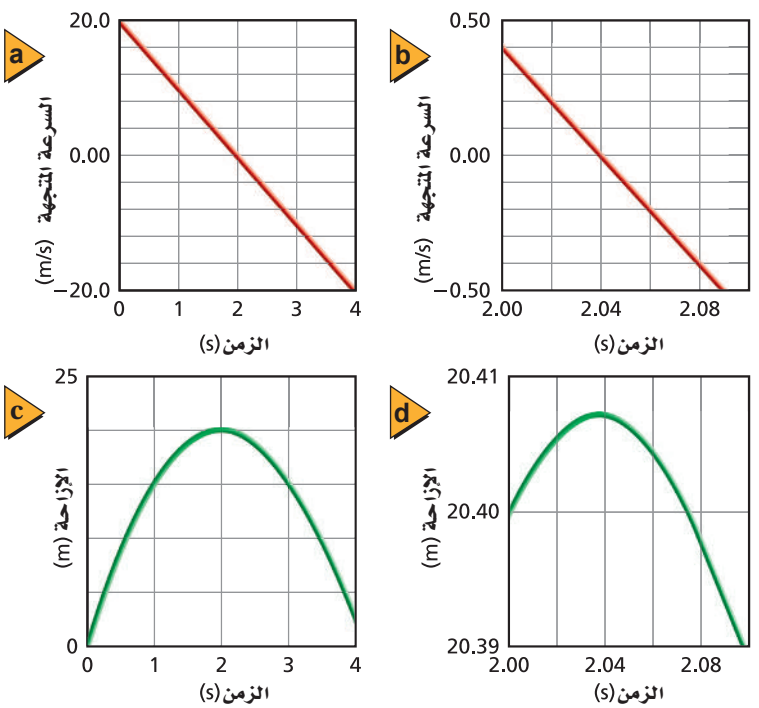
قذف كرة إلى الأعلى بدلاً من بيضة ساقطة، هل يمكن لهذه الصورة أن تعبر عن حركة كرة مقذوفة رأسيًّا إلى الأعلى؟ إذا اختير الاتجاه إلى الأعلى على أنه الموجب، فإن الكرة تغادر اليد بسرعة موجبة مثلاً 20.0 m/s، أما التسارع فيكون إلى الأسفل، أي أن التسارع يكون سالبًا، وهو يساوي $\boldsymbol{a} = (-\boldsymbol{g}) = (-9.80\ \text{m/s}^2)$، ولأن السرعة والتسارع في اتجاهين متعاكسين، فإن سرعة الكرة تتناقص، وهذا يتفق مع الصورة.

يبين منحنى (السرعة المتجهة – الزمن) في **الشكل a 14–3** تناقص سرعة الكرة بمعدل 9.80 m/s كل 1s، حتى تصل إلى الصفر عند 2.04 s، ثم يتحول اتجاه حركة الكرة إلى الأسفل، وتزداد سرعتها تدريجيًّا إلى أن تصل 20.0 m/s بعد 4.08 s من لحظة قذفها، ويسمى هذا الزمن **بزمن التحليق**، وهو الزمن الذي يقضيه الجسم المقذوف في الهواء من لحظة قذفه إلى لحظة وصوله المستوى الذي قذف منه. **والشكل b 14–3** يظهر لقطة مقربة لهذه الحركة .

لكن ما العلاقة بين إزاحة الكرة وسرعتها؟ يتبين من **الشكلين d ، c 14–3** أن الكرة تصل إلى أقصى ارتفاع لها في اللحظة التي تصبح فيها سرعتها مساوية للصفر. وإن تسارع الكرة عند أي نقطة يساوي مقدارًا ثابتًا $9.80\ \text{m/s}^2$ واتجاهه دائمًا نحو الأسفل.



الشكل 13–3 صورة ستروبية لبيضة تتسارع بمقدار $9.80\ \text{m/s}^2$ في أثناء السقوط الحر. فإذا تم اختيار الاتجاه إلى أسفل موجبًا، فإن كلاً من السرعة والتسارع لهذه البيضة التي تسقط سقوطًا حرًّا يكون موجبًا.



الشكل 14–3 في نظام إحداثي اتجاهه الموجب نحو الأعلى:
a و **b** تتناقص سرعة الكرة المقذوفة إلى الأعلى حتى تصبح صفرًا بعد زمن 2.04 s ثم تتزايد سرعتها في الاتجاه السالب أثناء سقوطها.
c و **d** يُظهر الرسمان البيانيان لمنحنى (الإزاحة – الزمن) ارتفاع الكرة في فترات زمنية مماثلة.

عندما يُسأل الناس عن تسارع جسم عند أقصى ارتفاع له أثناء تحليقه، فإنهم في العادة لا يأخذون وقتًا كافيًا لتحليل الموقف، فتكون إجابتهم بأن التسارع يساوي صفرًا، وهذا ليس صحيحًا بالطبع. فعند أقصى ارتفاع تكون سرعة الكرة مساوية للصفر، ولكن ماذا يحدث لو كان تسارعها أيضًا يساوي صفرًا؟ عندئذ لن تتغير سرعة الكرة، وستبقى 0.0 m/s، وإذا كانت هذه هي الحالة، فإن الكرة لن تكسب أي سرعة إلى الأسفل بل ستبقى ببساطة معلقة في الهواء عند أقصى ارتفاع لها. وبما أن الأجسام المقذوفة إلى أعلى لا تبقى معلقة، فسوف تستنتج أن تسارع الجسم عند نقطة أقصى ارتفاع لطيرانه يجب أن لا يساوي صفرًا، وأن اتجاهه يجب أن يكون إلى الأسفل.

مسائل تدريبية

31. أسقط عامل بناء عَرَضًا قطعة قرميد من سطح بناية، اجب عما يلي:

a. ما سرعة القطعة بعد 4.0 s؟

b. ما المسافة التي تقطعها القطعة خلال هذا الزمن؟

c. كيف تختلف إجابتك عن المسألة السابقة إذا قمت باختيار النظام الإحداثي بحيث يكون الاتجاه المعاكس هو الاتجاه الموجب.

32. يُسقط طالب كرة من نافذة ترتفع 3.5 m عن الرصيف. ما سرعتها لحظة ملامستها أرضية الرصيف؟

33. قذفت كرة تنس رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ابتدائية 22.5 m/s، احسب:

a. الارتفاع الذي وصلت اليه الكرة.

b. الزمن الذي استغرقته الكرة في الهواء للوصول إلى أقصى ارتفاع.

مسألة تحدٍّ

شاهدت بالونًا مملوءًا بالماء يسقط أمام نافذة صفك. فإذا استغرق البالون $t(s)$، ليسقط مسافة تساوي ارتفاع النافذة ومقدارها $y(m)$، وبفرض أن البالون بدأ حركته من السكون، ما الارتفاع الذي سقط منه قبل أن يصل إلى الحافة العليا للنافذة بدلالة كل من g و y و t وثوابت عددية.

3-3 مراجعة

34. أقصى ارتفاع، وزمن التحليق إذا كان تسارع الجاذبية على سطح المريخ يساوي $(\frac{1}{3})$ تسارع الجاذبية على سطح الأرض، فإذا قذفت كرة إلى أعلى من على سطح كلٍّ من المريخ والأرض بالسرعة نفسها، قارن بين:

a. أقصى ارتفاع تصله الكرة على كل من سطح المريخ وسطح الأرض.

b. زمني التحليق؟

35. السرعة والتسارع افرض أنك قذفت كرة إلى أعلى. صف التغيرات في كل من سرعة الكرة وتسارعها.

36. السرعة النهائية أسقط أخوك كرة من نافذة الطابق الثاني. فإذا التقطتها على بعد 4.3 m أسفل نقطة السقوط، احسب سرعة الكرة لحظة التقاطك لها؟

37. السرعة الابتدائية يتدرب طالب على ركل كرة رأسيًّا إلى أعلى. فإذا استغرقت الكرة من لحظة ركلها حتى عودتها واصطدامها بقدمه 3.0 s ، فما:

a. السرعة الابتدائية للكرة؟

b. الارتفاع الذي وصلت إليه الكرة؟

38. التفكير الناقد عند قذف كرة رأسيًّا إلى أعلى، تستمر في الارتفاع حتى تصل إلى موقع معين، ثم تسقط إلى أسفل، وتكون سرعتها اللحظية عند أقصى ارتفاع صفرًا. هل تتسارع الكرة عند أقصى ارتفاع؟ صمم تجربة لإثبات صحة أو خطأ إجابتك.

تمدد الزمن عند السرعات العالية
Time Dilation at High Velocities

هل يمكن أن يمر الزمن بشكل مختلف في إطارين مرجعيين؟ وكيف يمكن أن يكون عمر أحد توأمين أكبر من عمر الآخر؟

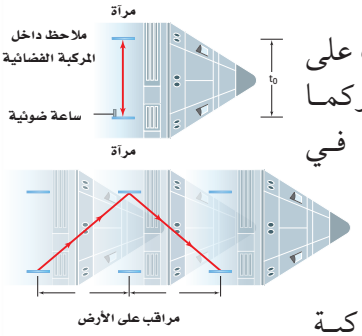
الساعة الضوئية Light Clock تأمل فكرة التجربة التالية باستعمال الساعة الضوئية.

الساعة الضوئية عبارة عن أنبوب رأسي، في كل من طرفيه مرآة مستوية. يتم إطلاق نبضة ضوئية قصيرة في إحدى نهايتي الأنبوب، بحيث ترتد داخله ذهابًا وإيابًا منعكسة عن المرآتين. ويقاس الزمن بوساطة تحديد عدد ارتدادات النبضة.

الساعة الضوئية مضبوطة لأن سرعة النبضة الضوئية(c) منتظمة دومًا، وهي تساوي 3×10^{8} m/s بغض النظر عن سرعة المصدر الضوئي أو المشاهد.

افرض أن هذه الساعة الضوئية قد وضعت في مركبة فضائية سريعة جدًّا... عندما تسير المركبة الفضائية بسرعات منخفضة، يرتد الشعاع الضوئي عموديًّا في داخل الأنبوب. وإذا تحركت المركبة بسرعة أكبر، سيستمر الشعاع الضوئي في الارتداد رأسيًّا كما يراه المراقب في المركبة الفضائية، أما بالنسبة لمراقب يقف ساكنًا على سطح الأرض، فإن النبضة الضوئية تتحرك وفق مسار مائل بسبب حركة المركبة الفضائية، وهكذا فإن الشعاع الضوئي – بالنسبة للمراقب الأرضي الساكن– يتحرك مسافة أكبر. ولما كانت المسافة تعطى بالعلاقة المسافة=السرعة × الزمن، وسرعة النبضة الضوئية c، أو سرعة الضوء منتظمة دومًا بالنسبة لأي مراقب، فإن ازدياد المسافة بالنسبة للمراقب الأرضي الساكن تعني أن الزمن هو الذي يجب أن يزداد في الطرف الثاني للمعادلة حتى تبقى صحيحة. أي أن المراقب الأرضي الساكن يرى أن الساعة في المركبة المتحركة تسير أبطأ من الساعة نفسها على الأرض!

افرض أن زمن (نبضة) تكة الساعة الضوئية كما يراها المراقب على الأرض هي t_s، وكما يراها المراقب في المركبة الفضائية t_o، وطول أنبوب الساعة الضوئية ct_o وسرعة المركبة الفضائية v وسرعة الضوء c.



في كل تكة تتحرك المركبة مقدار vt_s، وتتحرك نبضة الضوء مقدار ct_o وهذا يقود إلى المعادلة التالية:

$$t_s = \frac{t_o}{\sqrt{1-\left(\frac{v^2}{c^2}\right)}}$$

بالنسبة للمراقب الساكن، كلما اقتربت قيمة v من c، أصبح زمن التكة أبطأ. أما بالنسبة للمراقب في المركبة، فإن الساعة تحافظ على وقتها الصحيح (المضبوط).

التمدد الزمني Time Dilation تدعى هذه الظاهرة تمدد الزمن، وهي تنطبق على كل العمليات المرتبطة بالزمن على متن السفن الفضائية. وعلى سبيل المثال سيمضي العمر الحيوي بشكل أكثر بطئًا في المركبة الفضائية عما هو عليه على الأرض. لذا، فإذا كان المراقب في المركبة الفضائية هو أحد توأمين، فسيكون عمره أقل من عمر التوأم الآخر على الأرض، وتسمى هذه الظاهرة معضلة التوائم.

أوحت ظاهرة التمدد الزمني بأفكار خيالية كثيرة حول السفر في الفضاء، فإذا كان بإمكان سفينة فضائية السفر بسرعات قريبة من سرعة الضوء فإن الرحلات إلى النجوم البعيدة جدًّا قد تصبح ممكنة لأنها ستستغرق بضع سنوات فقط بالنسبة لرواد الفضاء الذين على متنها.

دليل الدراسة

3-1 التسارع (العجلة) Acceleration

المفردات

- منحنى (السرعة المتجهة–الزمن)
- التسارع المنتظم
- التسارع المتوسط
- التسارع اللحظي

الفكرة الرئيسة: يتسارع الجسم عندما تتغير سرعته المتجهة، وهذا يعني؛ عندما تزداد سرعته، أو تقل، أو يتغير اتجاهه.

- يمكن استخدام منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) لإيجاد سرعة وتسارع جسم.
- يمكن استخدام كل من منحنيات (السرعة المتجهة–الزمن) ومخططات الحركة لتحديد إشارة تسارُع الجسم.
- عندما تتغير سرعة جسم بمعدل منتظم فإن له تسارعًا منتظمًا.
- التسارع المتوسط لجسم يساوي ميل الخط البياني لمنحنى السرعة المتجهة –الزمن.

$$\overline{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

- تدل متجهات التسارع المتوسط في مخطط الحركة على مقدار واتجاه التسارع المتوسط خلال فترة زمنية ما.
- عندما يكون التسارع والسرعة في الاتجاه نفسه تزداد سرعة الجسم، وعندما يكونان متعاكسين في الاتجاه تتناقص سرعته.

3-2 الحركة بتسارع منتظم Motion with Constant Acceleration

الفكرة الرئيسة: يمكن وصف حركة الجسم المتحرك بتسارع منتظم من خلال المنحنيات ومعادلات الحركة.

- إذا عُلم التسارع المنتظم للجسم خلال فترة زمنية ما، أمكن إيجاد التغير في السرعة خلال هذا الزمن $v_f = v_i + a\,\Delta t$
- المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة –الزمن) لجسم متحرك تساوي مقدار إزاحته.
- في الحركة بتسارع منتظم، توجد علاقة بين كل من الموقع، والسرعة، والتسارع، والزمن، وهي: $d_f = d_i + v_i t_f + \frac{1}{2} a t_f^2$
- يمكن إيجاد سرعة جسم يتحرك بتسارع منتظم باستخدام المعادلة التالية:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a(d_f - d_i)$$

3-3 السقوط الحر Free Fall

المفردات

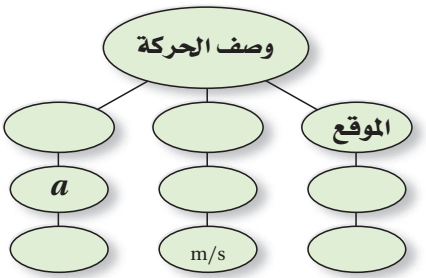
- السقوط الحر
- التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية
- زمن التحليق

الفكرة الرئيسة: تسارع الجسم الذي يسقط سقوطاً حراً ينتج عن الجاذبية فقط.

- التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية يساوي $9.80\ m/s^2$ في اتجاه الأسفل، وتعتمد إشارته في المعادلات على النظام الإحداثي الذي تم اختياره.
- يمكن استخدام معادلات الحركة بتسارع منتظم في حل مسائل تشمل الأجسام التي تسقط سقوطًا حرًّا.

خريطة المفاهيم

39. أكمل خريطة المفاهيم التالية باستعمال الرموز والمصطلحات التالية: m ، v ، m/s^2 ، d، التسارع، السرعة.



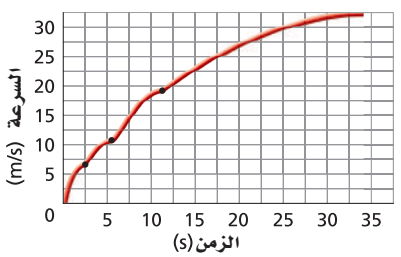
إتقان المفاهيم

40. أعط مثالاً على كل مما يلي:

a. جسم تتناقص سرعته وله تسارع موجب.

b. جسم تتزايد سرعته، و له تسارع سالب.

41. يبين **الشكل 15–3** منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) لسيارة تتحرك على طريق. صف كيف تتغير السرعة مع الزمن.



الشكل 15–3

42. هل يمكن أن يكون لسيارة تتحرك على طريق عام سرعة سالبة وتسارع موجب في الوقت نفسه؟ وضح ذلك. وهل يمكن أن تتغير إشارة سرعة السيارة في أثناء حركتها بتسارع منتظم؟ وضح ذلك.

43. هل يمكن أن تتغير سرعة جسم عندما يكون تسارعه منتظمًا؟ إذا أمكن ذلك فأعط مثالًا، وإذا لم يمكن، فوضح ذلك.

44. إذا كان منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) لجسم ما خطًّا مستقيمًا يوازي محور الزمن، ماذا يمكنك أن تستنتج عن تسارع الجسم؟

45. عند إسقاط كرتين متماثلتين في الحجم إحداهما من الألومنيوم والأخرى من الفولاذ من الارتفاع نفسه، فإنهما تصلان سطح الأرض عند اللحظة نفسها. لماذا؟

46. اذكر بعض الأمثلة على أجسام تسقط سقوطًا حرًّا ولا يمكن إهمال تأثير مقاومة الهواء عليها.

47. اذكر بعض الأمثلة لأجسام تسقط سقوطًا حرًّا يمكن إهمال تأثير مقاومة الهواء عليها.

تطبيق المفاهيم

48. هل للسيارة التي تتباطأ تسارع سالب دائمًا؟ فسر إجابتك.

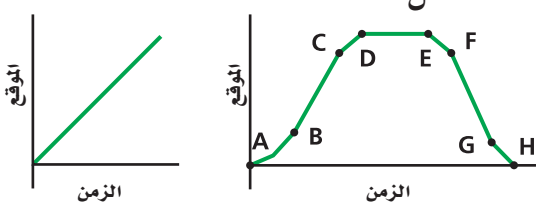
49. تتدحرج كرة الكريكيت بعد ضربها بالمضرب، ثم تتباطأ وتتوقف، هل لسرعة الكرة وتسارعها الإشارة نفسها؟

50. إذا كان تسارع جسم يساوي صفرًا، فهل هذا يعني أن سرعته تساوي صفرًا؟ أعط مثالًا.

51. إذا كانت سرعة جسم عند لحظة ما تساوي صفرًا، فهل من الضروري أن يساوي تسارعه صفرًا؟ أعط مثالًا.

52. إذا أعطيت جدولاً يبين سرعة جسم عند أزمنة مختلفة، كيف يمكنك أن تكتشف إذا كان التسارع منتظمًا أم غير منتظم؟

53. وضح كيف ستسير بحيث تمثل حركتك كل من منحنيي (الموقع-الزمن) الموضحين في **الشكل 16-3**.

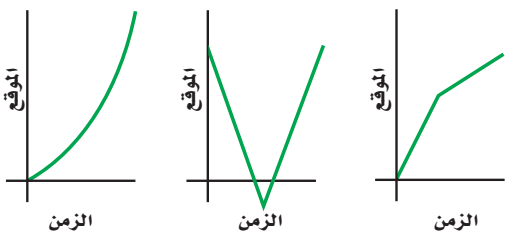


الشكل 16-3

54. تظهر في منحنى (السرعة المتجهة - الزمن) في **الشكل 15-3** ثلاثة مقاطع نتجت عندما غير السائق ناقل الحركة. صف التغيرات في سرعة السيارة المتجهة وتسارعها أثناء المقطع الأول. هل التسارع قبل لحظة تغيير الناقل أكبر أم أصغر من التسارع في اللحظة التي تلي التغيير؟ وضح إجابتك.

55. استخدم الرسم البياني في **الشكل 15-3** لتعيين الفترة الزمنية التي يكون التسارع خلالها أكبر ما يمكن، والفترة الزمنية التي يكون التسارع خلالها أصغر ما يمكن.

56. ارسم منحنى (السرعة المتجهة-الزمن) لكل من الرسوم البيانية في الشكل **17-3**.



الشكل 17-3

57. التسارع الناتج عن جاذبية القمر (g_m) يساوي $\frac{1}{6}$ التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية (g).

a. إذا أسقطت كرة من ارتفاع ما على سطح القمر، فهل ستصطدم بسطح القمر بسرعة أكبر، أو تساوي، أو تقل عن سرعة الكرة نفسها إذا أسقطت من الارتفاع نفسه على سطح الأرض؟

b. هل الزمن الذي تستغرقه الكرة لتصل إلى سطح القمر سيكون أكبر، أم أقل، أم مساويًا للزمن الذي تستغرقه للوصول إلى سطح الأرض؟

58. أسقطت الصخرة A من تلة، وفي اللحظة نفسها قذفت الصخرة B للأعلى من الموقع نفسه، اجب عما يلي:

a. أي الصخرتين ستكون سرعتها أكبر لحظة الوصول إلى قاع التلة؟

b. أي الصخرتين لها تسارع أكبر؟

c. أيهما تصل أولًا؟

اتقان حل المسائل

3–1 التسارع

59. تحركت سيارة لمدة 2.0 h بسرعة 40.0 km/h، ثم تحركت لمدة 2.0 h أخرى بسرعة 60.0 km/h وبالاتجاه نفسه، اجب عما يلي:

a. ما السرعة المتجهة المتوسطة للسيارة؟

b. ما السرعة المتجهة المتوسطة للسيارة إذا قطعت مسافة 1.0×10^2 km بسرعة 40.0 km/h ومسافة أخرى 1.0×10^2 km بسرعة 60.0 km/h؟

60. سيارة سرعتها 22 m/s تسارعت بانتظام بمعدل $1.6\ m/s^2$ لمدة 6.8 s، ما سرعتها النهائية؟

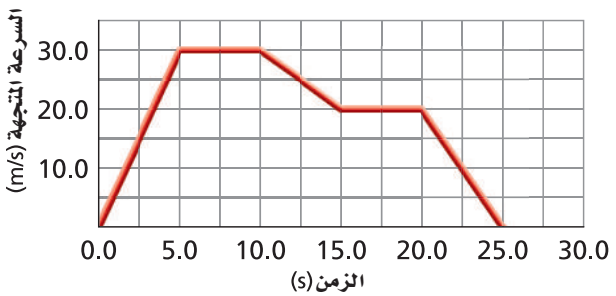
61. بالاستعانة **بالشكل 18–3** أوجد تسارع الجسم المتحرك في الأزمنة التالية:

a. خلال الثواني الخمس الأولى من الرحلة 5.0 s.

b. بين 5.0 s و 10.0 s

c. بين 10.0 s و 15.0 s

d. بين 20.0 s و 25.0 s



الشكل 18–3

62. احسب السرعة النهائية لبروتون سرعته الابتدائية 2.35×10^5 m/s تم التأثير عليه بحيث يتسارع بانتظام في مجال كهربائي بمعدل $(-1.10 \times 10^{12}\ m/s^2)$ ولمدة 1.50×10^{-7}s

63. إذا كانت السيارة A تستطيع أن تزيد سرعتها من 0 m/s إلى 17.9 m/s خلال 4.0 s، والسيارة B يمكنها أن تتسارع من 0 m/s إلى 22.4 m/s خلال 3.5 s، والسيارة C من 0 m/s إلى 26.8 m/s خلال 6.0 s، رتب السيارات الثلاث من الأكبر تسارعًا إلى الأقل، مع الإشارة إلى أي علاقة قد تربط بين تسارع كل منها.

الجدول 4–3

السرعة المتجهة - الزمن

الزمن (s)	السرعة المتجهة (m/s)
0.00	4.00
1.00	8.00
2.00	12.0
3.00	14.0
4.00	16.0
5.00	16.0
6.00	14.0
7.00	12.0
8.00	8.00
9.00	4.00
10.0	0.00
11.0	-4.00
12.0	-8.00

64. ارسم منحنى (السرعة المتجهة – الزمن) باستخدام البيانات في **الجدول 4–3**، وأجب عن الأسئلة التالية:

a. خلال أي الفترات الزمنية:

– تزداد سرعة الجسم. – تقل سرعة الجسم.

b. متى يعكس الجسم اتجاه حركته؟

c. كيف يختلف التسارع المتوسط للجسم في الفترة الزمنية بين 0.0 s و 2.0 s عن التسارع المتوسط في الفترة الزمنية بين 7.0 s و 12.0 s؟

3–2 الحركة بتسارع منتظم

65. استعن **بالشكل 18–3** لإيجاد المسافة المقطوعة خلال الفترات الزمنية الآتية:

a. $t = 0.0\ s$ إلى $t = 5.0\ s$

b. $t=5.0\ s$ إلى $t=10.0\ s$

c. $t=10.0\ s$ إلى $t=15.0\ s$

d. $t=0.0\ s$ إلى $t=25.0\ s$

66. سيارة سباق يمكنها أن تتباطأ بتسارع منتظم ($11\ m/s^2$). أجب عما يأتي:

a. إذا كانت السيارة منطلقة بسرعة 55 m/s، فما المسافة التي تقطعها بالأمتار قبل أن تقف؟

b. ما المسافة التي تقطعها السيارة قبل أن تقف إذا كانت سرعتها ضعفي السرعة السابقة؟

67. ما المسافة التي تطيرها طائرة خلال 15 s، بينما تتغير سرعتها بمعدل منتظم من 145 m/s إلى 75 m/s ؟

68. تتحرك سيارة شرطة من السكون وبتسارع منتظم مقداره $7.0\ m/s^2$ لتلحق بسيارة تتجاوز الحد المسموح به، وتسير بسرعة منتظمة مقدارها 30.0 m/s، كم تكون سرعة سيارة الشرطة عندما تلحق بالسيارة المخالفة؟

69. شاهد سائق سيارة تسير بسرعة 90.0 km/h فجأة أضواء حاجز على بعد 40.0 m أمامه، فإذا استغرق السائق 0.75 s حتى يضغط على الفرامل، وكان التسارع المتوسط للسيارة في أثناء ضغطه على الفرامل يساوي $-10.0\ m/s^2$

a. حدد إذا كانت السيارة ستصطدم بالحاجز أم لا؟

b. ما أقصى سرعة يمكن أن تسير بها السيارة دون أن تصطدم بالحاجز؟ (بفرض أن التسارع لم يتغير).

3–3 السقوط الحر

70. أسقط رائد فضاء ريشة من نقطة على ارتفاع 1.2 m فوق سطح القمر. فإذا كان تسارع الجاذبية على سطح القمر $1.62\ m/s^2$، ما الزمن الذي تستغرقه الريشة حتى تصطدم بسطح القمر؟

71. يسقط حجر سقوطًا حرًّا، ما سرعته بعد 8.0 s؟ وما إزاحته؟

72. قذفت كرة بسرعة 2.0 m/s رأسيًّا في اتجاه الأسفل من نافذة منزل، ما سرعتها حين تصل إلى رصيف المشاة الذي يبعد 2.5 m عن نقطة القذف؟

73. في السؤال السابق، إذا قذفت الكرة رأسيًّا إلى أعلى بدلاً من الأسفل، فما السرعة التي تصل بها الكرة إلى الرصيف؟

74. إذا قذفت كرة مضرب في الهواء والتقطتها بعد 2.2 s، فأجب عما يأتي:

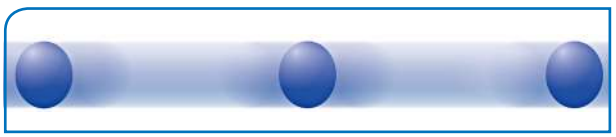
a. ما الارتفاع الذي وصلت إليه الكرة؟

b. ما السرعة الابتدائية للكرة؟

مراجعة عامة

75. سفينة فضائية تتحرك بتسارع منتظم وتتغير سرعتها من 65.0 m/s إلى 162.0 m/s خلال 10.0 s، ما المسافة التي ستقطعها؟

76. يبين **الشكل 19–3** صورة ستروبية لكرة تتحرك أفقيًّا. ما المعلومات التي تحتاجها حول الصورة وما القياسات التي ستجريها حتى تقدر التسارع؟



الشكل 19–3

77. بالون أرصاد جوية يطير على ارتفاع ثابت فوق سطح الأرض، سقطت منه بعض الأدوات نحو الأرض. فإذا اصطدمت بالأرض بسرعة (−73.5 m/s)، ما الارتفاع الذي سقطت منه هذه الأدوات؟

78. تتغير سرعة سيارة خلال فترة زمنية مقدارها 8.0 s كما يبين ذلك **الجدول 5–3**.

a. مثّل بيانيًّا العلاقة بين السرعة المتجهة–الزمن.

b. ما إزاحة السيارة خلال ثمان ثوان ؟

c. أوجد ميل الخط البياني بين الثانية $t = 0.0\ s$ و $t = 4.0\ s$. ماذا يمثل هذا الميل؟

d. أوجد ميل الخط البياني بين $t = 5.0\ s$ و $t =$ 7.0 s ما الذي يدل عليه هذا الميل؟

الجدول 5–3

السرعة المتجهة - الزمن

الزمن (s)	السرعة المتجهة (m/s)
0.0	0.0
1.0	4.0
2.0	8.0
3.0	12.0
4.0	16.0
5.0	20.0
6.0	20.0
7.0	20.0
8.0	20.0

79. توقفت شاحنة عند إشارة ضوئية، وعندما تحولت الإشارة إلى اللون الأخضر تسارعت الشاحنة بمقدار $2.5\ m/s^2$ ، وفي اللحظة نفسها تجاوزتها سيارة تتحرك بسرعة منتظمة $15\ m/s$، أين ومتى ستلحق الشاحنة بالسيارة؟

80. ترتفع طائرة مروحية رأسيًّا بسرعة $5.0\ m/s$، إذا أسقط كيس من حمولتها حتى وصل إلى سطح الأرض خلال $2\ s$، فاحسب:

a. سرعة الكيس لحظة وصوله إلى الأرض.

b. بُعد الكيس عن نقطة الإسقاط.

c. بُعد الكيس عن الطائرة لحظة وصوله إلى سطح الأرض.

التفكير الناقد

81. صمم تجربة لقياس المسافة التي يتحركها جسم متسارع خلال فترات زمنية متساوية باستخدام الأدوات التالية:

كاشف للحركة (CBL) (أو بوابة ضوئية)، عربة مختبر، خيط، بكرة، ماسك على شكل حرف C . ثم ارسم منحنى (السرعة المتجهة- الزمن) ومنحنى (الموقع - الزمن) باستخدام أثقال مختلفة. وضح كيف يؤثر الثقل في رسمك البياني.

82. أيهما له تسارع أكبر: سيارة تزيد سرعتها من $50\ km/h$ إلى $60\ km/h$، أم دراجة هوائية تنطلق من $0\ km/h$ إلى $10\ km/h$ خلال الفترة الزمنية نفسها؟ وضح إجابتك.

الكتابة في الفيزياء

83. ابحث في مساهمات جاليليو في الفيزياء.

84. ابحث في الحد الأقصى للتسارع الذي يتحمله الإنسان دون أن يفقد وعيه. ناقش كيف يؤثر هذا في تصميم ثلاثٍ من وسائل التسلية أو النقل.

85. اكتب تقريراً يتعلق بتمثيل المفاهيم الفيزيائية المرتبطة بالحركة المستقيمة، من مثل : المسافة، ومتجه الموقع، والإزاحة،.....) المرتبطة بحركة عداء في خط مستقيم ينحرك في أحد الأماكن المخصصة للمشي أو الجري في مملكة البحرين، من مثل : دوحة عراد، أو ستاد البحرين الوطني، مع إرفاق صور أو فيديوهات تبين ما تم إنجازه.

مراجعة تراكمية

86. المعادلة أدناه تصف حركة جسم:

$$d = (35.0\ m/s)\ t - 5.0\ m$$

ارسم منحنى (الموقع-الزمن) ومخطط الحركة، ثم اكتب مسألة فيزياء يمكن حلها باستخدام المعادلة.

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

1. تتدحرج كرة إلى أسفل تلّ بتسارع منتظم $2.0\ m/s^2$ فإذا بدأت الكرة حركتها من السكون واستغرقت 4.0 s قبل أن تتوقف، ما المسافة التي قطعتها الكرة قبل أن تتوقف؟ وما سرعتها؟

A) 8.0 m ، 2.0 m/s
B) 12 m ، 12 m/s
C) 16 m ، 8.0 m/s
D) 20 m ، 16 m/s

2. تتحرك سيارة بسرعة ابتدائية 80 km/h ، ثم تزداد سرعتها لتصل إلى 110 km/h، بعد أن تقطع مسافة 500 m، ما معدل تسارعها؟

A) $0.44\ m/s^2$
B) $8.4\ m/s^2$
C) $0.60\ m/s^2$
D) $9.80\ m/s^2$

3. سقط إصيص زهور من شرفة ترتفع 85 m عن أرضية الشارع، ما الزمن الذي استغرقه في السقوط قبل أن يصطدم بالأرض؟

A) 4.2 s
B) 8.3 s
C) 8.7 s
D) 17 s

4. أسقط متسلق جبال حجرًا، ولاحظ زميله عند أسفل الجبل أن الحجر يحتاج إلى 3.20 s حتى يصل إلى سطح الأرض، ما الارتفاع الذي كان عنده المتسلق لحظة إسقاطه الحجر؟

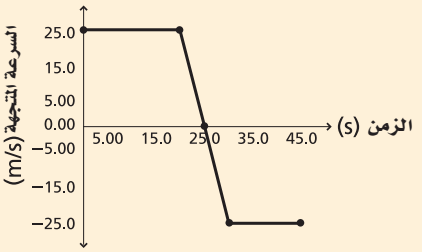
A) 15.0 m
B) 31.0 m
C) 50.0 m
D) 1.00×10^2 m

5. اقتربت سيارة منطلقة بسرعة 91.0 km/h من مطعم على بعد 30 m أمامها، وعندما ضغط السائق على الفرامل بقوة اكتسبت السيارة تسارعًا مقداره ($-6.40\ m/s^2$). ما المسافة التي قطعها السائق حتى توقف؟

A) 14.0 m
B) 29.0 m
C) 50.0 m
D) 1.00×10^2 m

6. يمثل الرسم البياني التالي حركة شاحنة، ما الإزاحة الكلية للشاحنة؟ افرض أن الاتجاه الموجب نحو الشمال.

A) 150 m جنوبًا
B) 125 m شمالًا
C) 300 m شمالا
D) 600 m جنوبًا



7. يمكن حساب التسارع اللحظي لجسم يتحرك وفق تسارع متغير بحساب:

A) ميل مماس منحنى (المسافة–الزمن) عند نقطة ما.
B) المساحة تحت منحنى (المسافة–الزمن).
C) المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة–الزمن).
D) ميل المماس لمنحنى (السرعة المتجهة–الزمن).

الأسئلة الممتدة

8. مثِّل النتائج في الجدول أدناه بيانيًّا، ثم أوجد من الرسم كلًّا من التسارع والإزاحة بعد 12.0 s:

الزمن (s)	السرعة المتجهة (m/s)
0.00	8.10
6.00	36.9
9.00	51.3
12.00	65.7

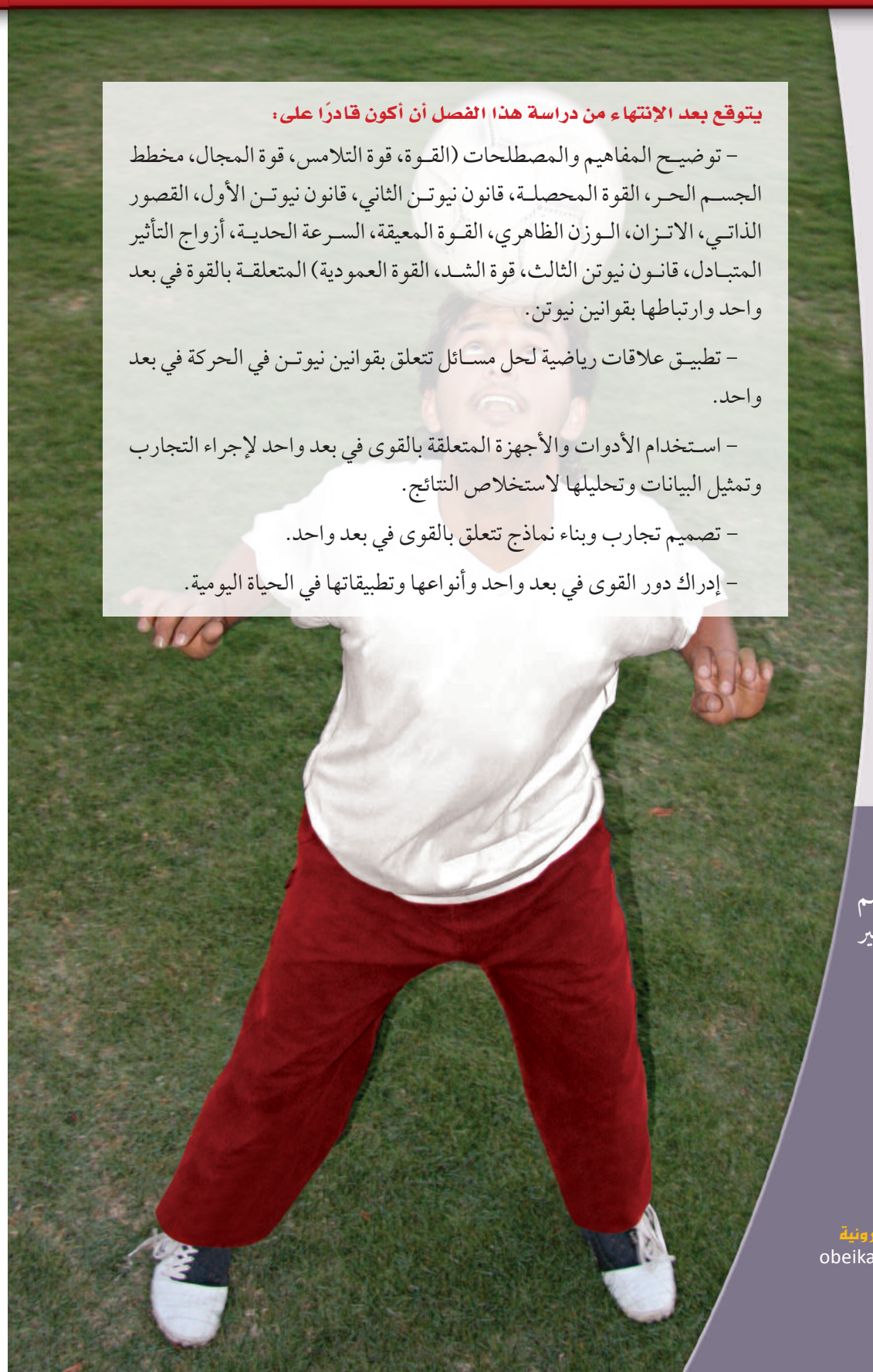
✓ إرشاد

الجداول

إذا اشتمل سؤال امتحان على جدول، فعليك قراءته. اقرأ العنوان، ورؤوس الأعمدة، وبداية الصف، ثم اقرأ السؤال، وفسّر البيانات الموجودة في الجدول.

الفصل 4

القوى في بُعد واحد
Forces in One Dimension



الفكرة العامة

القوة المحصلة تسبب التغير في الحركة.

4-1 القوة والحركة

الفكرة الرئيسة القوة دفع أو سحب.

4-2 الوزن والقوة المعيقة

الفكرة الرئيسة يمكن استخدام قانون نيوتن الثاني لتوضيح حركة الأجسام الساقطة.

4-3 قانون نيوتن الثالث

الفكرة الرئيسة تتواجد القوى دائماً بشكل أزواج تأثير متبادل.

يتوقع بعد الإنتهاء من دراسة هذا الفصل أن أكون قادرًا على:

- توضيح المفاهيم والمصطلحات (القوة، قوة التلامس، قوة المجال، مخطط الجسم الحر، القوة المحصلة، قانون نيوتن الثاني، قانون نيوتن الأول، القصور الذاتي، الاتزان، الوزن الظاهري، القوة المعيقة، السرعة الحدية، أزواج التأثير المتبادل، قانون نيوتن الثالث، قوة الشد، القوة العمودية) المتعلقة بالقوة في بعد واحد وارتباطها بقوانين نيوتن.
- تطبيق علاقات رياضية لحل مسائل تتعلق بقوانين نيوتن في الحركة في بعد واحد.
- استخدام الأدوات والأجهزة المتعلقة بالقوى في بعد واحد لإجراء التجارب وتمثيل البيانات وتحليلها لاستخلاص النتائج.
- تصميم تجارب وبناء نماذج تتعلق بالقوى في بعد واحد.
- إدراك دور القوى في بعد واحد وأنواعها وتطبيقاتها في الحياة اليومية.

فكر

ما الذي يجعل كرة القدم، أو أي جسم آخر يتوقف، أو يبدأ الحركة، أو يغير اتجاهه؟

تجربة استهلالية

ما القوة الأكبر؟

سؤال التجربة ما القوى التي يمكن أن تؤثر في جسم معلق بخيط؟

الخطوات

1. اربط قطعة من حبلٍ سميك حول منتصف الكتاب، ثم اربط خيطًا في منتصف الحبل في الجهة العلوية للكتاب، واربط خيطًا آخر من الجهة السفلية للكتاب كما هو موضح في الشكل أدناه.
2. أمسك نهاية الخيط العلوي ودع الكتاب يتدلى في الهواء، ثم اطلب إلى زميلك أن يسحب نهاية الخيط السفلي ببطء وثبات لأسفل. سجل ملاحظاتك. **تحذير: قف بحيث تكون قدماك بعيدتين عن مكان سقوط الكتاب.**
3. استبدل الخيط الذي انقطع وكرر الخطوة 2، لكن في هذه المرة اطلب إلى زميلك سحب الخيط السفلي بسرعة وبقوة أكبر. سجل ملاحظاتك.

التحليل

أي الخيطين انقطع في الخطوة 2؟ لماذا؟ أي الخيطين انقطع في الخطوة 3؟ لماذا؟

التفكير الناقد ارسم مخططًا توضيحيًّا للتجربة، واستخدم الأسهم لتوضيح القوى المؤثرة في الكتاب.

الفيزياء في حياتك

لبدء حركة لوح التزلج على سطح مستوٍ ينبغي أن تدفع الأرض بقدمك، أما إذا كنت على منحدر فأنك ستتحرك نحو أسفل المنحدر بفعل الجاذبية، في كلا الحالتين فإن قوى غير متوازنة سببت حركة اللوح.

تساؤلات جوهرية:

- ما القوة؟
- ما العلاقة بين القوة والتسارع؟
- كيف تتأثر حركة الجسم عندما تكون محصلة القوى المؤثرة فيه صفراً؟

المفردات:

- القوة
- قوة التلامس
- قوة المجال
- مخطط الجسم الحر
- القوة المحصلة
- قانون نيوتن الثاني
- قانون نيوتن الأول
- القصور الذاتي
- الاتزان

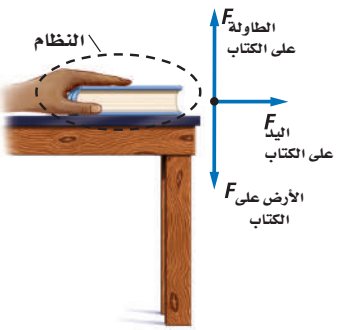
تصور قطارًا يتحرك بسرعة 80 km/h، وفجأةً شاهد السائق شاحنة متوقفة على سكة الحديد، فاستعمل الفرامل في محاولة لإيقاف القطار قبل أن يصطدم بالشاحنة، وبما أن الفرامل تتسبب في تسارع معاكس لاتجاه السرعة، فإن القطار يبطئ سرعته. واستطاع السائق أن يوقف القطار قبل اصطدامه بالشاحنة بمسافة قصيرة جدًّا. ماذا يحدث لو كان القطار يسير بسرعة 100 km/h بدلاً من 80 km/h؟ ما الذي يجب عمله حتى لا يصطدم بالشاحنة؟ إن التسارع الذي تحدثه فرامل القطار يجب أن يكون أكبر حتى يقف خلال زمن أقل، وهذا الاحتمال يشبه الحالة التي يسير فيها القطار بسرعة 80 km/h، ويكون أكثر قربًا من الشاحنة عندما يبدأ سائقه باستعمال الفرامل.

القوة والحركة Force and Motion

مـا الذي جعـل القطار يبطئ حركته؟ تؤثر القوة في الجسـم إما بدفعه أو بسـحبه، فتزيد سـرعته أو تبطئها أو تغير اتجاه حركته. وعندما يسـتخدم سائق القطار الفرامل فإنهـا تؤثر في عجلات القطـار بقوة تجعله يبطئ حركته. وبنـاءً على تعريف كلٍّ من السـرعة والتسـارع، يمكن القول أن القوة المؤثرة في جسـم ما تغير سرعته؛ أي أنها تكسبه تسارعًا.

افترض أن كتابًا يسـتقر على سـطح طاولة، كيف يمكنك أن تجعله يتحرك؟ هناك احتمالان: فإما أن تدفعه وإما أن تسحبه. الدفع أو السحب قوتان تؤثران في الكتاب، وكلمـا زاد الدفـع عليه أثر بشـكل أكبر في حركته. ولاتجاه القـوة المؤثرة أيضًا تأثير رئيس في حركة الجسم ، فإذا دفعت الكتاب نحو اليمين سيتحرك في اتجاه يختلف عـن الاتجاه الـذي كان سـيتحرك فيه فيما لو دفعته نحو اليسـار. وسـوف نسـتخدم الرمز ***F*** للتعبير عن القوة المتجهة (مقدار القوة واتجاهها).

مـن الضروري عند دراسـة تأثير القوة فـي الحركة، تحديد الجسـم الذي تؤثر فيه القوى. ويطلق على هذا الجسم اسم "النظام"، وكل ما يحيط به ويؤثر فيه بقوة يسمى المحيـط الخارجـي. فالكتاب المبين في **الشـكل 1–4** يمثل النظـام، في حين تمثل اليـد، والجاذبيـة الأرضيـة أجزاءً من المحيـط الخارجي الذي يمكـن أن يتفاعل مع الكتاب عن طريق الدفع أو السحب، ويؤدي إلى احتمال تغيير حركته.



الشكل 1–4 الكتاب هنا يُمثل النظام، وتؤثر كل من الطاولة واليـد والأرض (مـن خلال الجاذبية الأرضية) بقوى في الكتاب.

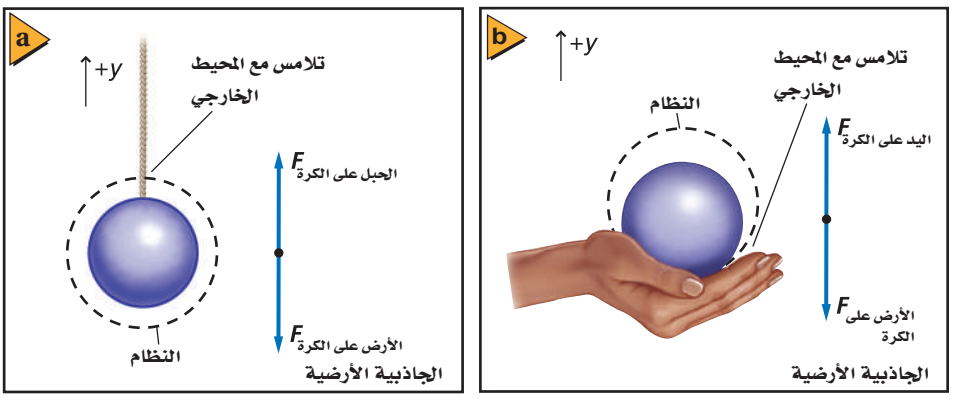
قوى التلامس وقوى المجال
Contact Forces and Field Forces

تتولـد **قوة التلامس** عندما يلامس جسـم منِ المحيـط الخارجي النظام، ويؤثر فيه بقـوة. فعندما تحمـل كتاب الفيزياء تؤثر يـدك فيه بقوة تلامس، أمـا إذا وضعته على الطاولـة، فـإن قوة التلامس بين يدك والكتاب تتلاشـى، بينمـا الطاولة الآن هي التي تؤثر في الكتاب بقوة تلامس.

وهنـاك طرائق أخـرى لتغيير حركة الكتـاب، فمن الممكن أن تجعله يسـقط نحو الأرض، وفـي هـذه الحالـة فإنه يتسـارع بسـبب الجاذبيـة الأرضية كما درسـت في الفصـل الثالـث. إن قوة الجاذبية الأرضية هي التي تتسـبب في هذا التسـارع، وتؤثر في الكتاب سـواء كان في حالة تلامس مع الأرض أم لا، ويطلق على مثل هذه القوة ومثيلاتها اسم **قوة المجال**، وهي تؤثر في الأجسام بقوى جذب أو تنافر بغض النظر عـن وجـود تلامـس فيما بينهـا أم لا. وهناك أمثلة أخـرى على هذا النـوع من القوى كالقوى المغناطيسية.

ولكل قوة سـبب معين يمكن تحديده يسـمى المسبب. وحتى يمكن تحديد القوة يجب معرفة المسبب الذي يولدها ، والنظام الذي تؤثر فيه هذه القوة.

فعلى سبيل المثال: عندما تدفع الكتاب فإن يدك (المسبب) تؤثر بقوة في الكتاب (النظـام)، وهكذا فإن عدم وجود كل من المسـبب والنظـام يعني عدم وجود قوة. فماذا عن الجاذبية الأرضية؟ إذا تركت الكتاب يسقط من يدك فإن المسبب هو كتلة الأرض التي تؤثر بقوة مجال في الكتاب.



■ **الشكل 2–4** لعمل نموذج فيزيائي للقوى المؤثرة في جسم، استخدم نموذج الجسيم النقطي، وارسم سهمًا لتمثيل كل قوة من القوى المؤثرة في الجسم ، ثم سمِّ القوة ومسببها.

مخططات الجسم الحر إذا كان استخدام النماذج التصويرية ومخططات الحركة مهمًّا في حل مسـائل الحركة، فإنه مهم أيضًا في تحليل الكيفية التي تؤثر بها القوى فـي حركـة الأجسـام. وأول خطوة في حل أي مسـألة هي عمل نمـوذج تصويري. فعلى سـبيل المثال، لتمثيل القوى المؤثرة في كرة مربوطة بوسـاطة خيط، أو تستند إلى راحة يدك، ارسم مخططات توضح كل حالة، كما في **الشكلين a 2–4 و b 2–4** ، ثم ارسـم دائرة حول النظـام وحدد المواقع التي تؤثر فيهـا قوى التلامس، وقوى المجال.

لتمثيل القوى المؤثرة في الكرة الموضحة في **الشكلين a 2–4 و b 2–4** فيزيائيًّا، اسـتخدم نموذج الجسـيم النقطي: مثّل الجسـم بنقطة، ومن ثم مثّل كل قوة بسـهم أزرق يشـير إلـى الاتجاه الذي تؤثـر فيه هذه القوة، مراعيًا أن يكون طول كل سـهم متناسـبًا مـع مقدار القوة. غالبًا يتم رسـم هذه المخططات قبـل معرفة مقدار جميع القوى، وبإمكانك اللجوء إلى التقدير في مثل هذه الحالات. ارسـم الأسـهم دائمًا بحيث تشـير اتجاهاتها بعيدًا عن الجسـم حتى عندما تمثل قوة دفع، واحرص على تسـمية كل منها. اسـتعمل الرمز ***F*** مع تحديد كل من المسبب، والجسم الذي تؤثر فيـه القوة أسـفل الرمز، واختر اتجاهًا موجبًا تشـير إليه بوضـوح في مخططك. يتم اختيـار الاتجـاه الموجـب عادة في اتجـاه القوة الأكبر، فهذا يُسـهِّل حل المسـألة، وذلـك بتقليل عدد القيم السـالبة في عملية الحسـاب. ويسـمى مثل هـذا النموذج الفيزيائي الذي يمثل القوى المؤثرة في جسم ما **مخطط الجسم الحر**.

مسائل تدريبية

حدد النظام، وارسم نموذج الجسيم النقطي، ومخطط الجسم الحر لكل من الحالات الآتية بتمثيل جميع القوى، وتعيين اتجاه التسارع، والقوة المحصلة، مراعيًا رسم المتجهات بأطوال مناسبة:

1. هبوط مظلي خلال الهواء، وبسرعة متجهة منتظمة (يؤثر الهواء في المظلي بقوة نحو الأعلى).

2. سلك يسحب صندوقًا بسرعة منتظمة، على سطح أفقي (يؤثر السطح بقوة تقاوم حركة الصندوق).

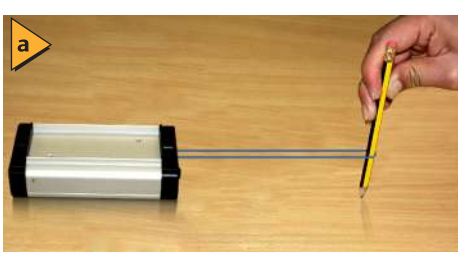
3. إنزال دلو بوساطة حبل بسرعة منتظمة (أهمل مقاومة الهواء).

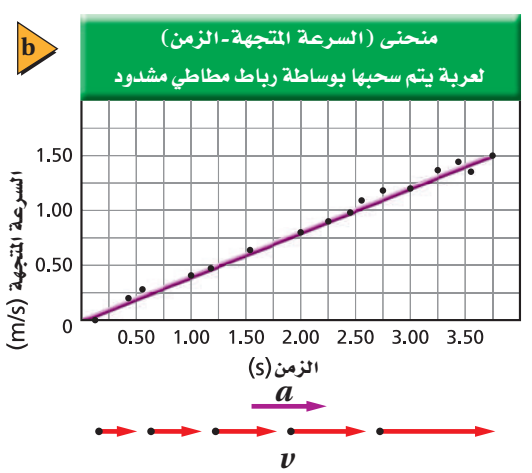
القوة والتسارع Force and Acceleration

كيف يتحرك الجسم عندما تؤثر فيه قوة أو أكثر؟ إحدى الطرائق للإجابة عن هذا السؤال هي إجراء التجارب. ابدأ بقوة وحيدة تؤثر أفقيًّا في جسم. بإمكانك أيضًا تقليل التعقيدات الناتجة عن احتكاك الجسم مع السطح، وذلك بإجراء التجربة على سطح أملس مثل الجليد أو طاولة ذات سطح أملس، واستعمال جسم ذي عجلات تدور بسهولة، مما يقلل من مقاومة الحركة.

ولتحديد العلاقة بين كل من القوة والتسارع، والسرعة المتجهة، تحتاج إلى التأثير في جسم ما بقوة ثابتة باتجاه معين. لكن، كيف يمكنك التأثير بمثل هذه القوة ؟

يؤثر الرباط المطاطي المشدود بقوة سحب، وكلما شددته أكثر زادت القوة التي يؤثر بها. وإذا كنت تشده دائمًا بالمقدار نفسه، فإنك تؤثر بالقوة نفسها. يبين **الشكل a 3–4** رباطًا مطاطيًّا مشدودًا بمقدار ثابت 1 cm، يسحب عربة ذات مقاومة قليلة. بإجراء هذه التجربة وتحديد السرعة المتجهة للعربة خلال فترة زمنية محددة، تستطيع عمل رسم بياني يشبه ذلك الموضح في **الشكل b 3–4**، هل يختلف هذا الرسم البياني عما توقعته؟ ماذا تلاحظ بالنسبة للسرعة المتجهة؟ لاحظ أن الزيادة الثابتة في السرعة المتجهة هي نتيجة للتسارع المنتظم الذي منحه الرباط المطاطي المشدود للعربة.

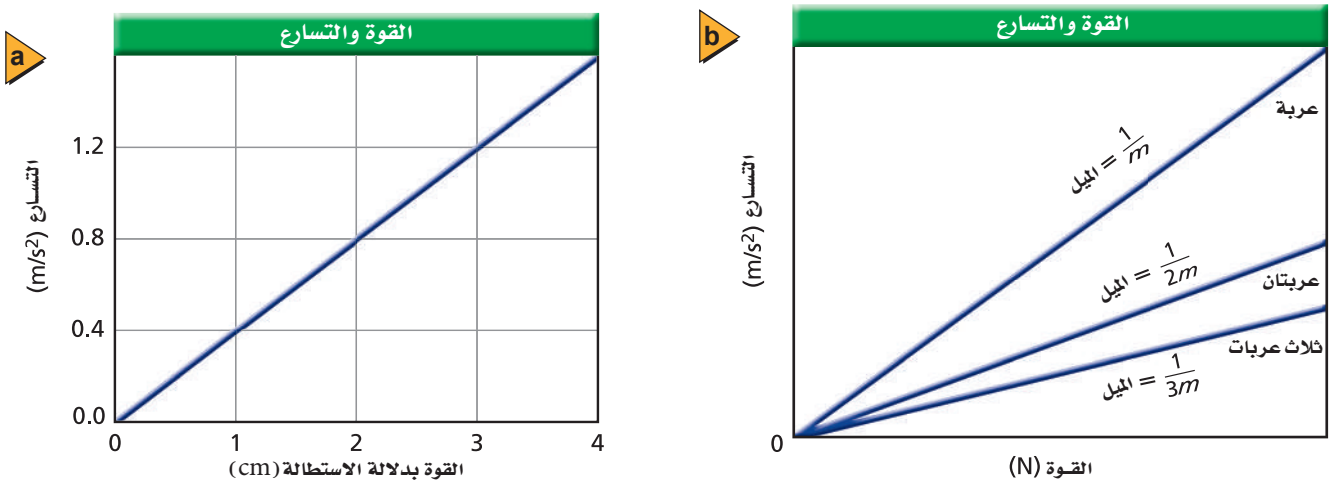




الشكل 3–4

a. يؤثر الرباط المطاطي المشدود بقوة ثابتة في العربة التي صممت لتكون مقاومتها قليلة.

b. يمكنك رسم حركة العربة بيانيًّا والتي يتضح أنها علاقة خطية.



الشكل 4–4

a. يبين الرسم البياني أنه كلما زادت القوة زاد التسارع.

b. ميل الرسم البياني (القوة – التسارع) يعتمد على عدد العربات.

كيف يعتمد هذا التسارع على القوة؟ للإجابة عن ذلك؛ أعد التجربة بحيث يكون الرباط المطاطي مشدودًا بمقدار ثابت 2 cm. ثم كرر التجربة مع شد الرباط المطاطي أكثر في كل مرة. مثّل بيانيًّا منحنى (السرعة المتجهة– الزمن) لكل من التجارب السابقة، ستلاحظ أن تلك المخططات تشبه ذاك المبين في **الشكل 4–3 b** . احسب التسارع، ثم مثّل بيانيًّا قيمة كل من التسارع والقوة، لكل المحاولات التي قمت بها، وبذلك تحصل على الرسم البياني للقوة–التسارع كما في **الشكل 4–4 a** . ما العلاقة بين القوة والتسارع؟ العلاقة خطية؛ فكلما كانت القوة أكبر كان التسارع الناتج أكبر، ويمكن التعبير عن هذه العلاقة باستخدام معادلة الخط المستقيم $y = mx + b$.

ما المعنى الفيزيائي لميل كل من الخطوط البيانية في **الشكل 4–4 b** ؟ وماذا يحدث إذا تغير الجسم؟ يبين **الشكل 4–4 b** العلاقة البيانية بين القوة والتسارع لعربة واحدة، ولعربتين فوق بعضهما، ولثلاث عربات فوق بعضها. ويظهر الرسم البياني أنه إذا لم تتغير القوة المؤثرة، فإن تسارع العربتين سينخفض إلى $\frac{1}{2}$ تسارع العربة الواحدة، و تسارع العربات الثلاث إلى $\frac{1}{3}$ تسارع العربة الواحدة. وهذا يعني أنه كلما زاد عدد العربات، فإننا نحتاج إلى قوةٍ أكبر للحصول على التسارع نفسه، ويعتمد ميل كل من الخطوط في **الشكل 4–4b** على عدد العربات؛ أي أنه يعتمد على مجموع كتلها، فإذا عُرِّف الميل k بأنه مقلوب الكتلة $\frac{1}{m}$ ، ومن العلاقة الخطية بين القوى والتسارع نجد أن:

$$\boldsymbol{a} \propto \boldsymbol{F}$$

$$\boldsymbol{a} = k \times \boldsymbol{F} \qquad k \text{ وبالتعويض عن قيمة}$$

$$\boldsymbol{a} = \frac{1}{m} \times \boldsymbol{F}$$

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a} \qquad \text{أي أن}$$

ما الوحدات المستخدمة لقياس القوة؟ تعلم أن $F = ma$ ، أي أن وحدة القوة هي $1\ kg.m/s^2$، أو ما اصطلح على تسميته "نيوتن"، ويرمز له بالرمز N، ويعرف بالقوة التي تؤثر في جسم كتلته 1 kg فتكسبه تسارعًا مقداره $1\ m/s^2$ في اتجاهها .يوضح **الجدول 1–4** مقادير بعض القوى.

الجدول 1-4

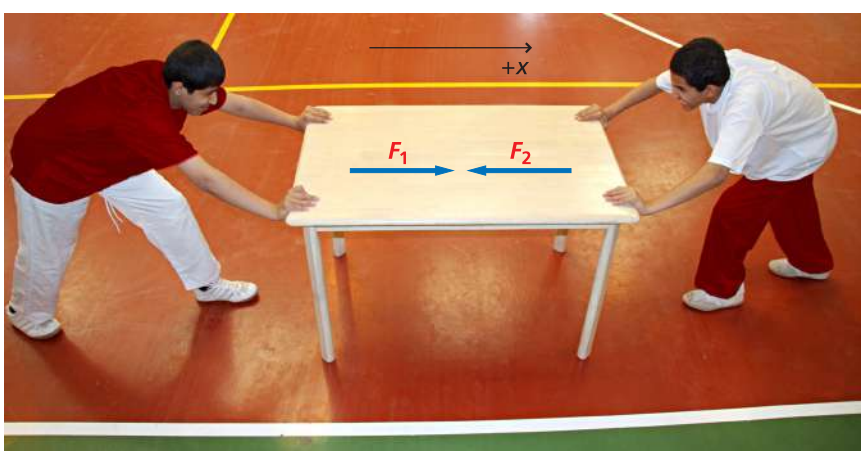
القوى الشائعة

الوصف	F (N)
قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في قطعة معدنية صغيرة	0.05
قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في 0.45 kg من السكر	4.4
قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في شخص كتلته 70 kg	686
القوة المؤثرة في سيارة تتسارع	3000
قوة محرك صاروخ	5,000,000

جمع (تركيب) القوى Combining Forces

ماذا يحدث إذا دفعت أنت وزميلك طاولة، فأثر كلٌّ منكما فيها بقوة مقدارها 100 N ؟ إذا دفع كلاكما الطاولة في الاتجاه نفسه، فإنها ستكتسب تسارعًا أكبر مما لو دفعها كل منكما في اتجاه ضد اتجاه الآخر. وفي الحقيقة، عندما تدفعان الطاولة في الاتجاه نفسه فإنها تكتسب ضعفي التسارع الذي يمكن أن تحصل عليه لو أثر فيها أحدكما بمفرده بقوة 100 N، أما عندما تدفعان الطاولة في اتجاهين متعاكسين، وبالمقدار نفسه من القوة (كما هو موضح في **الشكل a 5–4**) فلن تتحرك.

a



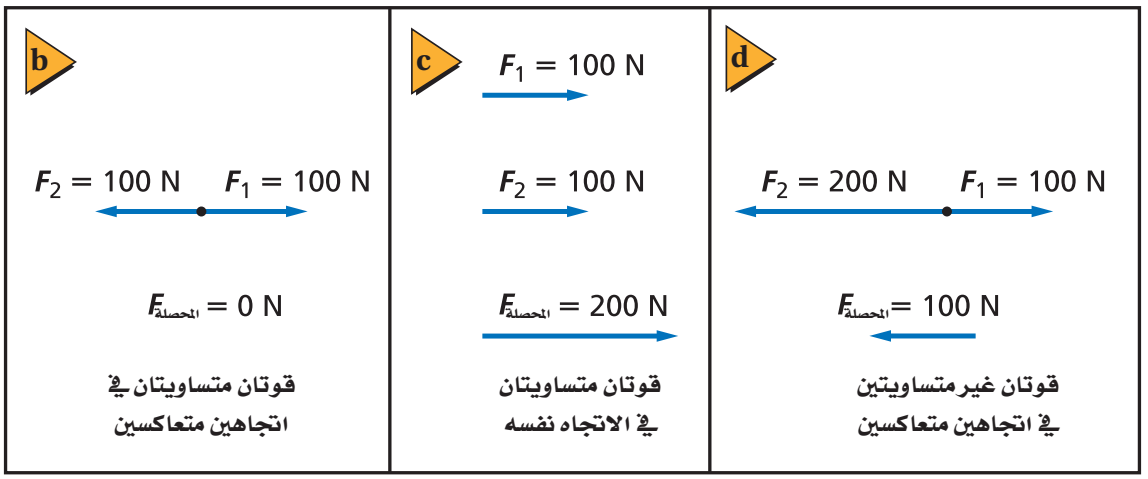
الشكل 5–4

a. دفع الطاولة بقوتين متساويتين ومتعاكستين في الاتجاه.

b. القوة المحصلة لقوتين متساويتين في اتجاهين متعاكسين = صفر.

c. القوة المحصلة لقوتين متساويتين في الاتجاه نفسه = مجموعهما.

d. القوة المحصلة لقوتين غير متساويتين في اتجاهين متعاكسين = الفرق بينهما.



يبين كل من **الشكلين b 5–4** و **c 5–4** مخطط الجسم الحر لكلتا الحالتين، كما يبين **الشكل d 5–4** مخطط الجسم الحر للحالة التي يقوم فيها زميلك بدفع الطاولة في الاتجاه المعاكس، بقوة تعادل ضعفي قوتك. لاحظ المتجه في أسفل كل مخطط، والذي يمثل النتيجة الكلية للقوتين. عندما تكون متجهات القوة في الاتجاه نفسه يمكنك استبدالها بمتجه واحد طوله يساوي مجموع أطوالها، وعندما تكون القوى في اتجاهات متعاكسة، فإن طول المتجه الناتج يساوي الفرق بين طولي المتجهين. ويطلق على مجموع المتجهات لجميع القوى التي تؤثر في الجسم اسم **القوة المحصلة** ($F_{\text{المحصلة}}$).

بإمكانك كذلك تحليل الحالة رياضيًّا. لنفترض أنك دفعت الطاولة في الاتجاه الموجب بقوة 100 N، في **الشكل b 5–4** يقوم زميلك بالدفع بقوة سالبة مقدارها 100 N، وبجمع القوتين نحصل على قوة محصلة مقدارها 0 N، وهذا يعني أن الجسم لا يتحرك (لا يتسارع)، أما في **الشكل c 5–4** فإن قوة الدفع التي يؤثر بها كل منكما تساوي 100 N، وبالتالي فإن القوة المحصلة تساوي 200 N وهي تؤثر بالاتجاه الموجب، وهو اتجاه تسارع الطاولة. وأما في **الشكل d 5–4** فإن القوة التي يؤثر بها زميلك تساوي (200 N−)، ولذلك فإن القوة المحصلة تساوي (100 N−)، وبالتالي فإن الطاولة ستتسارع في الاتجاه السالب.

قانون نيوتن الثاني Newton's Second Law

بإمكانك إجراء سلسلة من التجارب تقوم فيها أنت وزميلك بتغيير القوة المحصلة التي تؤثر في الطاولة وقياس التسارع في كل حالة، ستجد أن تسارع الطاولة يتناسب طرديًّا مع القوة المحصلة المؤثرة فيها، وعكسيًّا مع كتلتها $a = \frac{F_{\text{المحصلة}}}{m}$. فإذا كانت القوة المحصلة التي تؤثران بها معًا في الطاولة تساوي 100 N، فإن الطاولة ستتسارع بالمقدار نفسه الذي كانت ستتسارع به لو أثرت فيها وحدك بقوة تساوي 100 N، واستنادًا إلى ذلك يمكن إعادة كتابة العلاقة الرياضية بين كل من القوة والكتلة والتسارع بدلالة القوة المحصلة، وهو ما يُعرف **بقانون نيوتن الثاني**، الذي يُمثل بالمعادلة التالية:

قانون نيوتن الثاني $a = \frac{F_{\text{المحصلة}}}{m}$

تسارع الجسم يساوي محصلة القوى المؤثرة فيه مقسومة على كتلة الجسم.

لاحظ أن قانون نيوتن الثاني يمكن إعادة صياغته بالشكل: $F = ma$ والذي درسته سابقًا. إذا كانت كتلة الطاولة التي دفعتها أنت وزميلك 15.0 kg، ودفع كلٌّ منكما بقوة 50.0 N وفي الاتجاه نفسه، فما تسارع الطاولة؟ لإيجاد ذلك، احسب القوة المحصلة 50.0 N + 50.0 N = 100.0 N، ثم طبق قانون نيوتن الثاني بقسمة القوة المحصلة 100.0 N على كتلة الطاولة 15.0 kg، تحصل على تسارع يساوي $6.67\ m/s^2$

هناك إستراتيجية مفيدة لتحديد كيف تعتمد حركة جسم ما على القوى المؤثرة فيه، أولاً، حدد جميع القوى التي تؤثر في الجسم، ثم ارسم مخطط الجسم الحر مبينًا الاتجاه والمقدار لكل قوة تؤثر في النظام، ثم اجمع القوى لإيجاد القوة المحصلة، واستعمل قانون نيوتن الثاني لحساب التسارع، وعند الضرورة استعمل الكينماتيكا (علم الحركة) لإيجاد السرعة المتجهة أو موقع الجسم.

تطبيق الفيزياء

مصادم الهيدرونات الكبير

معجل جسيمات يستخدم لدراسة الجسيمات ما دون الذرية، حيث يتم تسريع (تعجيل) شعاعين من الجسيمات إلى طاقات عالية لتصبح سرعتها قريبة جداً من سرعة الضوء، ثم توجه نحو حلقة المسرّع بوساطة حقل مغناطيسي قوي لتتصادم مع بعضها البعض.

مسائل تدريبية

4. قوتان أفقيتان إحداهما 225 N والأخرى 165 N، تؤثران في قارب في الاتجاه نفسه. أوجد القوة الأفقية المحصلة التي تؤثر في القارب مقدارًا واتجاهًا.
5. إذا أثرت القوتان السابقتان في القارب في اتجاهين متعاكسين، ما القوة الأفقية المحصلة التي تؤثر فيه؟ تأكد من تحديد اتجاه القوة المحصلة.
6. يحاول ثلاثة كلاب سحب مزلجة على الثلج؛ أحدها يسحب نحو الغرب بقوة 35 N، والثاني يسحب نحو الغرب أيضًا بقوة 42 N، أما الأخير فيسحب نحو الشرق بقوة 53 N، احسب القوة المحصلة التي تؤثر في المزلجة.

قانون نيوتن الأول Newton's First Law

كيف تكون حركة الجسم عندما تؤثر فيه قوة محصلة مقدارها صفرًا؟ من المعروف أن الجسم الساكن يبقى في موقعه؛ لأن القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفرًا.

افترض كرة تتدحرج على سطح أفقي، ما الفترة الزمنية التي تستمر فيها بالدحرجة؟ تعتمد هذه الفترة على نوع السطح، فإذا دُحرجت الكرة على سجادة خشنة مقاومتها كبيرة، فإنها سرعان ما تتوقف عن الحركة، وتصبح في حالة سكون، أما إذا كان السطح أملس ذا مقاومة قليلة مثل أرضية لعبة البولينج، فإنها ستتدحرج لفترة زمنية أطول، مع تناقص تدريجي في سرعتها المتجهة، وقد قام نيوتن بصياغة ماسبق في ما يسمى **قانون نيوتن الأول** يبقى الجسم على حالته من حيث السكون أو الحركة المنتظمة في خط مستقيم ما لم تؤثر عليه قوة محصلة تغير من حالته.

القصور الذاتي يسمى قانون نيوتن الأول أحيانًا قانون القصور الذاتي، فهل القصور قوة؟ لا؛ **فالقصور** هو ممانعة الجسم لأي تغيير في حالته من حيث السكون أو الحركة. فإذا كان الجسم ساكنًا فإنه يميل إلى أن يبقى كذلك، وإذا كان متحركًا بسرعة متجهة ثابتة فإنه يميل إلى الاستمرار في اتجاه حركته نفسه وبالسرعة نفسها.

الاتزان وفقًا لقانون نيوتن الأول ، فإن القوة المحصلة هي السبب في تغيير السرعة المتجهة لجسم ما، فإذا كانت القوة المحصلة المؤثرة في جسم ما تساوي صفرًا، يكون الجسم في حالة **اتزان**. وهكذا يكون الجسم في حالة اتزان إذا كان ساكنًا، أو متحركًا بسرعة منتظمة. لاحظ أن سكون الجسم هو حالة خاصة من حركته بسرعة منتظمة، تكون فيها سرعته مساوية للصفر، يُعرّف قانون نيوتن الأول القوة المحصلة على أنها كل ما يُحدث اضطرابًا في حالة الاتزان، لذلك، فإنه إذا كان مقدار القوة المحصلة التي تؤثر على جسم يساوي صفرًا، فإنه لن يتعرض لأي تغيير في مقدار سرعته أو اتجاهه، وبالتالي سيبقى في حالة اتزان.

عند فهم وتطبيق قانوني نيوتن الأول والثاني ستتمكن من تحديد مقادير القوى التي تتعامل معها نسبيًّا، حتى في الحالات التي لا يوجد فيها أرقام، راجع **الجدول 2–4**، الذي يحتوي على بعض أنواع القوى التي ستتعامل معها في دراستك للفيزياء، ويرجع أصل جميع هذه القوى إلى القوة الكهرومغناطيسية باستثناء قوة الوزن.

تطبيق الفيزياء

دفع محرك المكوك

تقوم محركات مكوك الفضاء الرئيسة بتزويد المكوك بقوة دفع تقدر بـ 1.6 million N، وتستمد هذه المحركات طاقتها من عملية احتراق الهيدروجين والأكسجين.

الجدول 2–4			
بعض أنواع القوى			
القوة	الرمز	التعريف	الاتجاه
الاحتكاك (*Friction*)	F_f	قوة تلامس بين الأسطح تؤثر في اتجاه معاكس للحركة الانزلاقية.	موازية للسطح في عكس اتجاه الحركة الانزلاقية.
العمودية (*Normal*)	F_N	قوة تلامس يؤثر بها سطح عموديًا على جسم ما	عمودية على السطح.
النابض (*Spring*)	F_{sp}	قوة الاسترداد: أي قوة الدفع أو السحب التي يؤثر بها نابض في جسم ما.	في عكس اتجاه إزاحة الجسم.
الشد (*Tension*)	F_T	القوة التي يؤثر بها خيط أو حبل أو سلك في جسم متصل به، وتؤدي إلى سحبه.	تؤثر عند نقطة الاتصال باتجاه مواز للخيط أو الحبل أو السلك، ومبتعدة عن الجسم.
الدفع (*Thrust*)	F_{thrust}	القوى التي تحرك أجسامًا مثل الصاروخ والطائرة والسيارة والأشخاص.	في اتجاه تسارع الجسم عند إهمال المقاومة.
الوزن (*Weight*)	F_g	قوة مجال تنتج عن جاذبية الكوكب للجسم مثلاً الأرض والجسم.	نحو الأسفل باتجاه مركز الكوكب.

4-1 مراجعة

7. **القوة** حدد إذا كان كل من الوزن، والكتلة، والقصور الذاتي، والدفع باليد، والدفع، والمقاومة، ومقاومة الهواء، وقوة النابض، والتسارع:

a. قوة تلامس **b**. قوة مجال **c**. ليست قوة

8. **القصور الذاتي** هل يمكن أن تشعر بالقصور الذاتي لقلم رصاص أو كتاب؟ إذا كنت تستطيع، فصف ذلك.

9. **مخطط الجسم الحر** ارسم مخطط الجسم الحر لكيس مليء بالسكر ترفعه بيدك بسرعة منتظمة. حدد النظام، وسمّ جميع القوى مع مسبباتها، وارسم أسهمًا بأطوال مناسبة.

10. **مخطط الجسم الحر** ارسم مخطط الجسم الحر لدلو ماء يُرفع بوساطة حبل بسرعة متناقصة. حدد النظام، ثم سمّ جميع القوى مع مسبباتها، وارسم أسهمًا بأطوال مناسبة.

11. **اتجاه السرعة المتجهة** إذا دفعت كتابًا متحركًا، فهل يعني هذا أن سرعته المتجهة ستكون في اتجاه القوة التي أثرت بها؟

12. **التفكير الناقد** تؤثر قوة مقدارها 1 N في مكعب خشبي وتكسبه تسارعًا معلومًا تحت تأثيرها، وعندما تؤثر القوة نفسها في مكعب آخر تكسبه تسارعًا أكبر بثلاثة أمثال. ماذا تستنتج عن النسبة بين كتلتي هذين المكعبين؟

عبر المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني obeikaneduction.com

الوزن Weight

تأمَّل كلًّا من النموذجين: التصويري والفيزيائي لكرة معدنية تسقط سقوطًا حرًّا في **الشكل 6–4**. ما القوى التي تؤثر في الكرة؟ بما أن الكرة لا تلمس أي شيء، وبافتراض أن مقاومة الهواء مهملة، فإن القوة الوحيدة التي تؤثر فيها هي وزنها F_g، وحيث إن تسارع الكرة هو تسارع الجاذبية الأرضية g، فإن القانون الثاني لنيوتن يصبح $F_g = mg$. ولعلك لاحظت من خلال العلاقة السابقة أن القوة والتسارع يؤثران نحو الأسفل، وأن مقدار وزن الجسم يساوي كتلته مضروبة في التسارع الذي يكتسبه نتيجةً للسقوط الحر. ومن الضروري أن تدرك أن قوة الجاذبية الأرضية تؤثر في الجسم حتى لو لم يسقط سقوطًا حرًّا.

وهذه النتيجة صحيحة على الأرض، وعلى أي كوكب آخر، بالرغم من أن مقدار تسارع الجاذبية يختلف من كوكب لآخر، ونظرًا لأن قيمته على سطح القمر أقل بكثير منها على سطح الأرض؛ لذا فإن وزن رواد الفضاء على سطح القمر يصبح أقل بكثير منه على سطح الأرض رغم أن كتلهم لم تتغير، لأن الكتلة هي مقدار ما في الجسم من مادة.

الموازين تحتوي بعض الموازين المنزلية على نوابض، وعندما تقف على الميزان، يؤثر فيك بقوة نحو الأعلى لأنك تلامسه. وبما أنك لا تتسارع، إذن فالقوة المحصلة المؤثرة فيك تساوي صفرًا، وهذا يعني أن قوة النابض F_{sp} التي تدفعك نحو الأعلى تساوي مقدار قوة وزنك F_g التي تؤثر فيك نحو الأسفل، كما هو مبين في **الشكل 7–4**، وتُحدد قراءة الميزان بوساطة القوة التي تؤثر بها نوابضه فيك، وبالتالي فإن ما يقيسه الميزان المنزلي هو الوزن لا الكتلة، فإذا كنت على كوكب آخر فإن مقدار انضغاط النابض سيختلف، وبالتالي ستكون قراءته مختلفة. ولأن الوزن قوة فإن الوحدة المستخدمة للتعبير عنه هي النيوتن N.

الفيزياء في حياتك

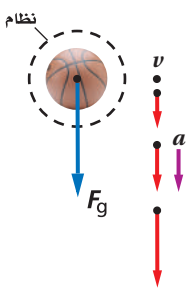
إذا ركبت مرة لعبة الافعوانية، فإنك ستشعر بفقدان وزنك عند مرورك أعلى المرتفع، ولكن قوة الجاذبية في قمة المرتفع هي نفسها عند قاعه، إذن لماذا نشعر بفقدان الوزن.

تساؤلات جوهرية:

- كيف يرتبط الوزن مع كتلة الجسم؟
- كيف يختلف الوزن الظاهري عن الوزن الحقيقي؟
- ما تأثير مقاومة الهواء على حركة الاجسام الساقطة؟

المفردات:

- الوزن الظاهري
- القوة المعيقة
- السرعة الحدية



الشكل 6–4 القوة المحصلة المؤثرة في الكرة هي قوة الوزن F_g.

الشكل 7–4

a. إن قوة النابض التي تؤثر نحو الأعلى في الميزان المنزلي تساوي مقدار قوة وزنك عندما تقف فوقه.

b. يبين مخطط الجسم الحر أن النظام متزن لأن قوة النابض تساوي وزنك.

مثـال 1

يتعـرض مركب شـراعي لقوتين الأولـى 1000 باتجاه الشـرق، والثانية 2400 N باتجاه الغـرب، فإذا كانت كتلة المركب وما فيه 200 kg، ما التسارع الذي يتحرك به المركب؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطط الحالة.
- حدد المركب باعتبارها "النظام"، واعتبر اتجاه الشرق هو الاتجاه الموجب.
- ارسم مخطط الجسم الحر، وسمّ جميع القوى.

المعلوم	المجهول
$m = 200\ \text{kg}$	$a = ?$
$F_1 = 1000\ \text{N}$	
$F_2 = 2400\ \text{N}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

$$F_{\text{المحصلة}} = F_1 + (-F_2)$$

استخدم قانون نيوتن الثاني $a = \dfrac{F_{\text{المحصلة}}}{m}$

$$a = \frac{F_1 + (-F_2)}{m}$$

بالتعويض عن $F_2 = 2400\ \text{N}$ و $F_1 = 1000\ \text{N}$، $m = 200\ \text{kg}$

$$a = \frac{1000\ \text{N} - 2400\ \text{N}}{200\ \text{kg}}$$

$$= -7\ \text{m/s}^2 \quad (7\ \text{m/s}^2 \text{ في اتجاه الغرب})$$

3 تقويم الجـواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** m/s^2 هي الوحدة الصحيحة للتسارع.
- **هل الإشـارات منطقية؟** التسـارع في الاتجاه السـالب، وهـو متوقع لأن مقدار القوة نحـو الغرب أكبر من مقدار القوة نحو الشرق.
- **هل الجواب منطقي؟** إن مقدار التسارع منطقي.

مسائل تدريبية

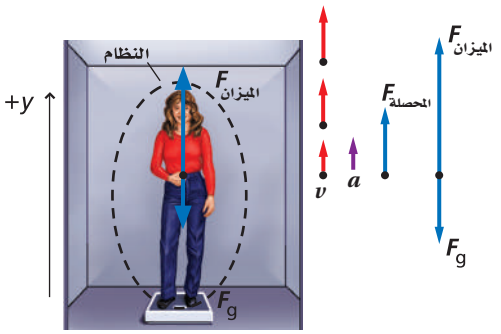
الشكل 8–4

13. يتعلم أحمد التزلج على الجليد، ويسـاعده أبوه بأن يسـحبه بحيث يكتسـب تسـارعًا مقداره $0.80\ \text{m/s}^2$، فإذا كانت كتلة أحمد 27.2 kg، فما قوة الأب التي يسحبه بها؟ (أهمل المقاومة بين الجليد وحذاء التزلج).

14. تمسـك أمل وسـارة معًا بقطعة حبل كتلتها 0.75 kg، وتشد كل منهما في الاتجاه المعاكس للأخرى. فإذا سحبت أمل بقوة 16.0 N ، وتسارع الحبل بالمقدار $1.25\ \text{m/s}^2$ مبتعدًا عنها، ما القوة التي تسحب بها سارة الحبل؟

15. يبين **الشكل 8–4** قطعة مكعب كتلتها 1.2 kg، وكرة كتلتها 3.0 kg، ما قراءة كل من الميزانين؟ (أهمل كتلة الميزانين).

الـوزن الظاهـري ما الـوزن؟ تُعرف قـوة الوزن على أنهـا $F_g = mg$، وتعتبر قيمة g ثابتة تقريبًا على سـطح الأرض أو بالقرب منه، ولذلك فإن وزن الجسـم لا يتغير كثيرًا بالقرب من سطح الأرض. تعلمت أن الميزان المنزلي يقرأ وزنك بشـكل صحيـح، إذا كانت القوة الوحيدة التـي تؤثـر فيك نحـو الأعلى ناتجـة عنه. لكـن، ماذا يقـرأ الميزان لو وقفـت عليـه بقدم واحـدة بينما القـدم الأخرى علـى الأرض؟ أو إذا ضغـط زميلك على كتفيك نحو الأسـفل أو ضغط على مرفقيك نحو الأعلـى؟ في هذه الحالات سـتكون هناك قوى تلامس أخـرى تؤثر فيك، وبالتالي فإن قراءة الميزان غير صحيحة.



الشكل 9–4 إذا وقفت على ميزان داخل مصعد يتسارع نحو الأعلى، فإن الميزان يؤثر نحو الأعلى بقوة أكبر من قوة وزنك التي تكون نحو الأسفل.

ماذا يحدث لوزنك إذا وقفت على ميزان داخل مصعد؟ مادام المصعد متزنًا فإن الميزان يقـرأ وزنـك، وماذا يقـرأ الميزان إذا تسـارع المصعد نحـو الأعلى؟ يبين **الشـكل 9–4** النموذجيـن التصويري والفيزيائي لهذه الحالة، فأنت تمثـل النظام، والاتجاه الموجب نحو الأعلى.

بمـا أن النظام يتسـارع نحو الأعلى، فإن القـوة التي يؤثر بها الميـزان نحو الأعلى يجـب أن تكـون أكبـر من القوة التـي يؤثر بها وزنك نحو الأسـفل، لذلـك فإن قراءة الميزان ستكون أكبر من وزنك وستشعر بأنك أثقل، وأن أرضية المصعد تضغط على قدميك. من جهة أخرى إذا كنت في مصعد يتسارع نحو الأسفل ستشعر أنك أخف، و سـتكون قراءة الميزان أقل من وزنك الحقيقي. وتسـمى القوة التي يؤثر بها الميزان **الوزن الظاهري**.

التجربة العملية

مـا القـوى المؤثـرة في جسـم يتحرك في الاتجاه الرأسـي بالنسـبة لسـطح الأرض؟

استراتيجية حل المسائل

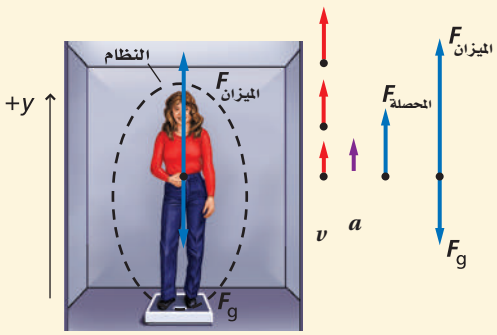
القوة والحركة

عند حل مسائل القوة والحركة استخدم الاستراتيجيات التالية:

1. اقرأ المسألة بعناية وارسم نموذجًا تصويريًّا.
2. ضع دائرة حول النظام واختر نظامًا إحداثيًّا.
3. حدد الكميات المعلومة والمجهولة.
4. اعمل نموذجًا فيزيائيًّا، وذلك برسـم مخطط للحركة يبين اتجاه التسارع، وارسم مخطط الجسم الحر لبيان القوة المحصلة.
5. استخدم قوانين نيوتن للربط بين كل من التسارع والقوة المحصلة.
6. أعد ترتيب المعادلة لحل المسألة، ولإيجاد المجهول.
7. عوض الكميات المعلومة مع وحداتها في المعادلة، وأوجد الإجابة.
8. اختبر نتائجك للتأكد من أنها منطقية.

مثـال 2

الوزن الحقيقي والوزن الظاهري بفرض أن شـخصًا ما يقف على ميزان في مصعد، وأن كتلته تسـاوي 75.0 kg، في البداية كان المصعد سـاكنًا، ومن ثَمّ تسـارع للأعلى بمقدار $2.00\ m/s^2$ لمدة 2.00 s، ومن ثم تابع حركته باتجاه الأعلى بسـرعة منتظمـة. هـل سـتكون قـراءة الميزان أثنـاء تسـارع المصعـد أكبر، أم مساوية، أم أقل من القراءة التي سجلها عندما كان المصعد ساكنًا؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطط الحالة للمسألة.
- اختر نظامًا إحداثيًّا، يكون فيه الاتجاه الموجب كما هو موضح في الرسم.
- ارسم مخطط الحركة لكل من a و v.
- ارسـم مخطط الجسـم الحر. لاحظ أن اتجاه محصلة القوى في اتجاه التسـارع نفسه، وهذا يعني أن القوة للأعلى أكبر من القوة للأسفل.

المعلوم	المجهول
$m = 75.0\ kg$ ، $a = 2.00\ m/s^2$	$F_{\text{الميزان}} = ?$
$t = 2.00\ s$ ، $g = 9.80\ m/s^2$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

F_g سالبة لأنها في الاتجاه السالب للنظام الإحداثي

لحساب $F_{\text{الميزان}}$ نستخدم

- عندما يكون المصعد في حالة سكون

المصعد لا يتسارع لذلك $F_{\text{المحصلة}} = 0.00\ N$

بالتعويض عن $F_{\text{المحصلة}} = 0.0$

بالتعويض عن $F_g = mg$

بالتعويض عن $m = 75.0\ kg$ ، $g = 9.80\ m/s^2$

- عندما يتسارع المصعد

$$F_{\text{المحصلة}} = ma$$

$$F_{\text{المحصلة}} = F_{\text{الميزان}} + (-F_g)$$

$$F_{\text{الميزان}} = F_{\text{المحصلة}} + F_g$$

$$\begin{aligned} F_{\text{الميزان}} &= F_{\text{المحصلة}} + F_g \\ &= F_g \\ &= mg \\ &= (75.0\ kg)\ (9.80 m/s^2) \\ &= 735\ N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{الميزان}} &= F_{\text{المحصلة}} + F_g \\ &= ma + mg \\ &= m\ (a + g) \\ &= 75.0\ kg\ (2.00\ m/s^2 + 9.80\ m/s^2) \\ &= 885\ N \end{aligned}$$

3 تقويم الجـواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $kg.m/s^2$ هي وحدة القوة (النيوتن).
- **هل الإشارة معقولة؟** تتفق الإشارة الموجبة مع النظام الإحداثي.
- **هـل الجـواب منطقي؟** إن قـراءة الميزان $F_{\text{الميزان}}$ أثناء تسـارع المصعد أكبـر من قيمتها عندمـا يكون المصعد ساكنًا، لذلك فإن المقدار واقعي.

مسائل تدريبية

16. يبين ميزانك المنزلي أن وزنك 585 N، أجب عما يأتي:

a. ما كتلتك؟

b. كم ستكون قراءة الميزان نفسه على سطح القمر؟ (تسارع الجاذبية على القمر = $1.6\ m/s^2$) .

17. استخدم نتائج **المثال 2** للإجابة عن مسائل حول ميزان داخل مصعد. ما القوة التي يؤثر بها الميزان في شخص يقف داخله، في الحالات التالية:

a. يتحرك المصعد بسرعة منتظمة.

b. يتباطأ المصعد بمعدل $2.00\ m/s^2$ في أثناء حركته نحو الأعلى.

c. تزداد سرعته بمعدل $2.00\ m/s^2$ في أثناء حركته نحو الأسفل.

d. يتحرك المصعد في اتجاه الأسفل بسرعة منتظمة.

e. يتباطأ المصعد بمقدار ثابت حتى يتوقف.

القوة المعيقة Drag Force

تؤثر دقائق الهواء في الأجسام التي تتحرك خلاله بقوى كبيرة، ويمكن في حالات معينة اهمال هذه القوى والتعامل مع الجسم بمعزل عنها.

إلاّ أنه في الواقع عندما يتحرك جسم خلال وسط مائع مثل الهواء أو الماء، فإن المائع يؤثر فيه بقوة معيقة وفي اتجاه يعاكس حركته. و يمكن تعريف **القوة المعيقة** F_d بأنها قوة الممانعة التي يؤثر بها مائع في جسم يتحرك خلاله. وتعتمد هذه القوة على حركة الجسم؛ فكلما زادت سرعة الجسم زاد مقدار هذه القوة، كما تعتمد على خصائص الجسم مثل شكله وحجمه، وخصائص المائع مثل لزوجته ودرجة حرارته.

مسـألة تحدٍّ

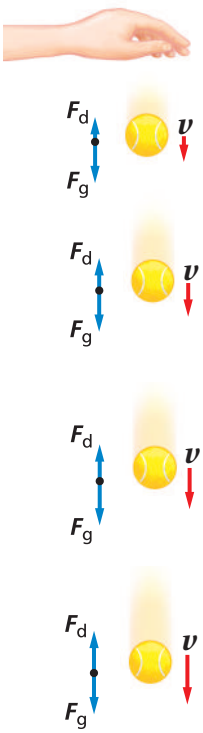
تنطلـق عربـة كتلتهـا 0.50 kg ، وتعبر من خلال بوابة ضوئية بسـرعة ابتدائية مقدارهـا 0.25 m/s، وتؤثر فيها لحظة عبورها قوة ثابتة مقدارها 0.4 N في اتجاه حركتها نفسه.

1. ما تسارع العربة؟
2. إذا استغرقت العربة 1.3 s لحين عبورها للبوابة الثانية، ما المسافة بين البوابتين؟
3. إذا أثرت قوة مقدارها 0.40 N على العربة بوسـاطة خيط رُبط بالعربة، ومرر طرفه الآخر فوق بكرة عديمة الاحتكاك، ثم ربط بكتلة تعليق m. ما مقدار كتلة التعليق m؟
4. اشتق معادلة الشد في الخيط بدلالة كل من كتلة العربة m ، وكتلة التعليق M ، وتسارع الجاذبية الأرضية g.

السرعة الحدية إذا سقطت كرة تنس الطاولة كما في **الشكل 10–4**، فإن سرعتها المتجهة تكون صغيرة في البداية ، وبالتالي تكون القوة المعيقة المؤثرة فيها صغيرة. وبما أن قوة الجاذبية الأرضية (اتجاهها نحو الأسـفل)، أكبر بكثير من القوة المعيقة (اتجاهها نحـو الأعلى)، فإن الكرة تتسـارع نحو الأسـفل. وكلما ازدادت السـرعة المتجهـة للكـرة، ازدادت معها القـوة المعيقة، إلى أن تتسـاوى القوتان فتصبح قيمة القـوة المحصلة المؤثـرة على الكرة مسـاوية للصفر، وكذلك تسـارعها، وهنا تتابع الكرة هبوطها بسـرعة منتظمة. وهذه السـرعة المنتظمة التي تصل إليها الكرة عندما تتساوى القوة المعيقة مع قوة الجاذبية الأرضية تسمى **السرعة الحدّية**.

وفي حالات سـقوط الأجسام الخفيفة ذات السطوح الكبيرة، يكون للقوة المعيقة تأثير ملحوظ في حركتها، وسرعان ما تصل هذه الأجسام إلى السرعة الحدّية.

أما الأجسام الثقيلة ذات السطوح الصغيرة، فيكون تأثرها بالقوة المعيقة أقل كثيرًا، علـى سـبيل المثال فإن السـرعة الحدّية لكرة تنس فـي الهواء 9 m/s، ولكرة السـلة 20 m/s، أمـا فـي حالـة كرة البيسـبول فتصل إلى 42 m/s، ولا بـد أنك قد لاحظت كيـف يقـوم المظليون بزيـادة أو تقليل سـرعتهم الحدية قبل أن تُفتـح مظلاتهم، من خلال تغيير اتجاه حركة أجسامهم وهيئاتها.



الشكل 10–4 تـزداد القوة المعيقة F_d للجسم الذي يسقط سقوطًا حـرًا كلما زادت سرعته. وعندما تصل القـوة المعيقة إلـى الحد الـذي تصبح فيه مساوية لقوة الجاذبية، يصبح تسارع الجسم صفرًا.

أما الجسم الذي يتخذ هيئة الصقر المجنح فله سرعة حدّية صغيرة جدًّا قد تصل إلى 6 m/s، وعندما يفتح المظلي مظلته فإن هيئته تتغير، ويصير جزءًا من جسم كبير (المظلي + المظلة)، وتؤثر فيه قوة معيقة كبيرة، وسرعته الحدية قليلة (5 m/s تقريبًا).

4-2 مراجعة

18. **جاذبية القمر** قارن بين القوة اللازمة لرفع صخرة كتلتها 10 kg على سطح الأرض، وتلك اللازمة لرفع الصخرة نفسها على سطح القمر. علمًا بأن تسارع الجاذبية على القمر يساوي $1.62\ m/s^2$

19. **الوزن الحقيقي والظاهري** إذا كنت تقف على ميزان في مصعد سريع يصعد بك إلى أعلى بناية، ثم يهبط بك إلى حيث انطلقت. خلال أي من مراحل رحلتك كان وزنك الظاهري مساويًا لوزنك الحقيقي؟ وأكثر من وزنك الحقيقي؟ وأقل من وزنك الحقيقي؟ ارسم مخطط الجسم الحر لكل حالة لدعم إجاباتك.

20. **التسارع** يقف شخص كتلته 65 kg فوق لوح تزلج على الجليد، فإذا اندفع هذا الشخص بقوة 9.0 N، فما تسارعه؟

21. **حركة المصعد** ركبت مصعدًا وأنت تمسك بميزان علق فيه جسم كتلته 1 kg، وعندما نظرت إلى الميزان كانت قراءته 9.3 N، ماذا تستنتج بشأن حركة المصعد في تلك اللحظة؟

22. **كتلة** تلعب نورة مع زميلتها لعبة شد الحبل. في لحظة ما خلال اللعبة سحبت نورة الحبل بقوة 22 N وسحبت زميلتها الطرف الآخر من الحبل بقوة معاكسة تساوي 19.5 N، فكان تسارع الحبل $6.25\ m/s^2$، ما كتلة الحبل؟

23. **تسارع** هبط مظلي بسرعة منتظمة متخذًا هيئة الصقر المجنح. هل يتسارع المظلي بعد فتح مظلته ؟ إذا كانت إجابتك نعم ففي أي اتجاه؟ فسر إجابتك باستخدام قوانين نيوتن.

24. **التفكير الناقد** يعمل حسن في مستودع، ومهمته تحميل المخزون في شاحنات حمولة كل منها 10000 N، يتم وضع الصناديق واحدًا تلو الآخر فوق حزام متحرك قليل الاحتكاك لينقلها إلى الميزان، وعند وضع أحد الصناديق الذي يزن 1000 N، تعطّل الميزان. اذكر طريقة يمكن بوساطتها تطبيق قوانين نيوتن لتحديد الكتل التقريبية للصناديق المتبقية .

4-3 قانون نيوتن الثالث Newton's Third Law

الفيزياء في حياتك

إذا جلست على كرسي بعجلات قريباً من حائط، ودفعت الحائط بقدميك، فإنك ستتحرك مبتعداً عن الحائط بتسارع، ما القوى غير المتوازنة التي سببت تسارعك؟

تساؤلات جوهرية:

- فيما يبحث قانون نيوتن الثالث؟
- ما القوة العمودية؟

المفردات:

- أزواج التأثير المتبادل
- قانون نيوتن الثالث
- قوة الشد
- القوة العمودية

عرفتَ أنه إذا أثر مسبب بقوة محصلة في جسم فإنه يتسارع، وعرفتَ أيضًا أن هذه القوة يمكن أن تكون قوة مجال أو قوة تلامس. لكن ما الذي يسبب القوة؟ إذا قربت مغناطيسين من بعضهما فإنك تشعر بأن كلًّا منهما يسحب الآخر أو يدفعه، وكذلك إذا ضغطت بقدمك على عتلة، فإنها تضغط على قدمك في الاتجاه المعاكس، لكن أيهما المسبب وأيهما الجسم؟

أزواج التأثير المتبادل Interaction Pairs

تصور أنك ارتديت حذاء التزلج بالإضافة إلى جميع ملابس الأمان المناسبة، وكذلك فعلَ صديقك، وتصور أنه يقف أمامك وقد أدار إليك ظهره، فإذا دفعته بيديك لكي يبدأ بالتزلج إلى الأمام، ما الذي يحدث لك؟ سوف تتحرك للخلف، لماذا؟ تذكر أن القوة تنتج عن تأثير متبادل بين جسمين، فأنت حين تدفع صديقك تتلامس معه، وتؤثر فيه بقوة تجعله يتحرك إلى الأمام، ونظرًا لأنه في حالة تلامس معك فإنه يؤثر فيك بقوة تؤدي إلى تغير في حركتك.

تكون القوى دائمًا على شكل أزواج. اعتبر نفسك (الطالب A) تمثل نظامًا، وأن صديقك (الطالب B) يمثل نظاماً آخر، ما القوى الأفقية التي تؤثر في كل من هذين النظامين؟ يبين **الشكل 11–4** مخطط الجسم الحر للنظامين، وبتأمل هذا المخطط ستلاحظ أن كل نظام يتلقى من النظام الآخر قوة تؤثر فيه.

القوتان $F_{\text{A على B}}$ و $F_{\text{B على A}}$ نسميهما **زوجي التأثير المتبادل**، وهما عبارة عن قوتين متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه، ويطلق عليهما أحيانًا قوتا: الفعل ورد الفعل، حيث لايمكن أن تظهر إحداهما دون الأخرى، وقد يشير ظاهر هذه العبارة إلى أن أحدهما يسبب الآخر، لكن هذا غير صحيح. فعلى سبيل المثال: لم تُنتج القوة التي دفعت بها صديقك القوةَ التي أثرت فيك ودفعتك إلى الخلف. فكلا القوتين نتجت عن التلامس بينكما.

الشكل 11–4 عندما تؤثر بقوة في صديقك لتدفعه للأمام، فإنه يؤثر فيك بقوة مساوية ومعاكسة، تحركك إلى الخلف.

استخدام قانون نيوتن الثالث Using Newton's Third Law

إن القوة التي تؤثر بها في صديقك تساوي في المقدار وتعاكس في الاتجاه القوة التي يؤثر بها صديقك فيك، وهذا يتلخص في **قانون نيوتن الثالث** الذي ينص على أن جميع القوى تظهر على شكل أزواج، وتؤثر قوتا كل زوج في جسمين مختلفين، وهما متساويتان في المقدار، ومتضادتان في الاتجاه.

قانون نيوتن الثالث $F_{\text{A على B}} = -F_{\text{B على A}}$

القوة التي يؤثر بها A في B تساوي في المقدار وتعاكس في الاتجاه القوة التي يؤثر بها B في A.

لنفترض أنك تمسك كتابًا بيدك، ارسم مخطط الجسم الحر الخاص بك، ومخططًا آخر للكتاب، هل هناك أزواج تأثير متبادل؟ عند تمييز أزواج التأثير المتبادل في مخططات الجسم الحر، يجب أن تدرك أن كلًّا منها يؤثر في جسم مختلف، ففي هذه الحالة يوجد فقط زوجا تفاعل $F_{\text{الكتاب على اليد}}$ و $F_{\text{اليد على الكتاب}}$.

لاحظ أيضًا أن لكل جسم وزنًا، وإذا كانت قوة الوزن نتيجة للتأثير المتبادل بين كل من الجسم وكتلة الأرض، فلاشك أن الجسم يؤثر بقوة في الأرض، وإذا كان الأمر كذلك، أفلا يجب أن تتسارع الأرض؟

ضع كرة قدم بحيث تستقر فوق الطاولة، والطاولة بدورها تستقر على الأرض كما في **الشكل 12–4**. أولاً، حلّل القوى المؤثرة في الكرة: تؤثر الطاولة في الكرة بقوة نحو الأعلى، وتؤثر كتلة الأرض في الكرة بقوة الجاذبية الأرضية، وبالرغم من أن هاتين القوتين متعاكستان في الاتجاه، وتؤثران في الجسم نفسه، إلا أنهما ليستا زوجي تأثير متبادل، بل مجرد قوتين تؤثران في الجسم نفسه.

الشكل 12–4 كرة قدم على طاولة موضوعة على الأرض. لاحظ أن الكرة والطاولة تشكلان زوجي تأثير متبادل، وكذلك الطاولة والأرض والكرة والأرض.

تجربة

لعبة شد الحبل

إذا كنت تلعب لعبة شد الحبل، وكان خصمك يكتفي بالإمساك بطرف الحبل دون أن يشده، كم تتوقع أن يكون مقدار القوة التي تؤثر بها في الحبل مقارنة بقوة خصمك؟

1. **توقع** كيف تقارن بين القوتين إذا تحرك الحبل نحوك؟
2. **اختبر** توقعك تحذير: لا تترك الحبل فجأة.

التحليل والاستنتاج

3. **قارن** بين القوة عند طرف الحبل من جهتك، والقوة في طرف الحبل الذي يمسك به خصمك. ما الذي حدث عندما بدأت بتحريك خصمك؟

لننظر الآن إلى الكرة والطاولة، فبالإضافة إلى القوة التي تؤثر بها الطاولة في الكرة نحو الأعلى، فإن الكرة تؤثر في الطاولة بقوة نحو الأسفل، وهذا يشكل زوجي تأثير متبادل، كما تشكل الكرة والأرض زوجي تأثير متبادل؛ لذلك فإن أزواج التأثير المتبادل للكرة على الطاولة هي:

$$F_{\text{الكرة على الطاولة}} = -F_{\text{الطاولة على الكرة}}$$

كذلك

$$F_{\text{الكرة على الأرض}} = -F_{\text{الأرض على الكرة}}$$

إن التسارع الذي تكتسبه الكرة الأرضية من قوة جسم يتفاعل معها، يكون عادة متناهيًا في الصغر، بحيث يتم التعامل مع الأرض باعتبارها جزءًا من المحيط الخارجي لذلك الجسم، لا باعتبارها نظامًا آخر.

استراتيجية حل المسائل

أزواج التأثير المتبادل

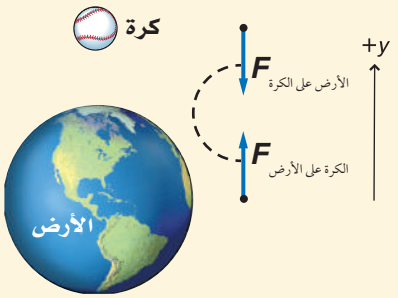
يمكنك الاستعانة بالاستراتيجيات الآتية في حل مسائل التأثير المتبادل بين نظامين مختلفين:

1. اعزل النظام أو الأنظمة عن المحيط الخارجي.
2. ارسم لكل نظام نموذجًا تصويريًّا، ونموذجًا فيزيائيًّا يشتمل على مخطط الجسم الحر، مع تحديد النظام الإحداثي.
3. صل بين كل زوجين من أزواج التأثير المتبادل بخط متقطع.
4. لإيجاد الإجابة، استخدم قانون نيوتن الثاني الذي يربط بين كل من القوة المحصلة والتسارع لكل نظام.
5. استخدم قانون نيوتن الثالث لكتابة معادلة تجمع بين مقادير قوى التأثير المتبادل، وَبيّن اتجاه كل قوة.
6. حل المسألة واختبر الوحدات والإشارات والمقادير للتأكد من كونها منطقية.

مثـال 3

تسارع الأرض عندما تسقط كرة كتلتها 0.18 kg يكون تسارعها في اتجاه الأرض مساويًا لتسارع الجاذبية الأرضية. ما القوة التي تؤثر بها الكرة في الأرض؟ وما التسـارع الذي تكتسـبه الأرض؟ علمًا بأن كتلة الأرض تسـاوي 60×10^{24} kg

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم مخطط الجسم الحر لكلا النظامين: الكرة والأرض.
- صل بين زوجي التأثير المتبادل بخط متقطع.

المعلوم	المجهول
$m_{\text{الكرة}} = 0.18\ \text{kg}$	$F_{\text{الكرة على الأرض}} = ?$
$m_{\text{الأرض}} = 6.0 \times 10^{24}\ \text{kg}$	$a_{\text{الأرض}} = ?$
$g = 9.80\ \text{m/s}^2$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

- استخدم القانون الثاني لنيوتن لإيجاد القوة التي تؤثر بها الأرض على الكرة:

$$F_{\text{الأرض على الكرة}} = m_{\text{كرة}}\, a = m_{\text{كرة}}(-g)$$

بالتعويض عن $m_{\text{كرة}} = 0.18\ \text{kg},\ g = 9.80\ \text{m/s}^2$

$$= (0.18\ \text{kg})\,(-9.80\ \text{m/s}^2) = -1.8\ \text{N}$$

- استخدم القانون الثالث لنيوتن لإيجاد القوة التي تؤثر بها الكرة على الأرض:

$$F_{\text{الكرة على الأرض}} = -F_{\text{الأرض على الكرة}}$$

بالتعويض عن $F_{\text{الأرض على الكرة}} = -1.8\ \text{N}$

$$= -(-1.8\ \text{N}) = +1.8\ \text{N}$$

- استخدم القانون الثاني لنيوتن لإيجاد التسارع الذي تكتسبه الأرض:

بالتعويض عن $m_{\text{الأرض}} = 6.0 \times 10^{24}\ \text{kg}$، $F_{\text{المحصلة}} = 1.80\ \text{N}$

$$a_{\text{الأرض}} = \frac{F_{\text{محصلة}}}{m_{\text{الأرض}}}$$

$$= \frac{1.8\ \text{N}}{6.0 \times 10^{24}\ \text{kg}}$$

$$= 2.9 \times 10^{-25}\ \text{m/s}^2 \quad \text{في اتجاه الكرة}$$

تقويم الجـواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يثبت تحليل الوحدات أن القوة تقاس بـ N والتسارع m/s^2.
- **هل الإشارات منطقية؟** يجب أن تكون إشارة كل من القوة والتسارع موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** بما أن كتلة الأرض كبيرة فالتسارع يجب أن يكون قليلاً.

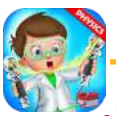
مسائل تدريبية

25. ترفع بيدك كرة بولينج خفيفة نسبيًّا بتسارع في اتجاه الأعلى، ما القوى المؤثرة في الكرة؟ وما القوى التي تؤثر بها الكرة؟

26. تسقط طوبة من فوق سقالة بناء، حدد القوى التي تؤثر في الطوبة، وتلك التي تؤثر بها الطوبة، ثم حدد الأجسام التي تؤثر فيها هذه القوى (بإهمال تأثير مقاومة الهواء).

الشكل 13–4

27. وضعت حقيبة سفر على عربة أمتعة ساكنة كما في **الشكل 13–4**، ارسم مخطط الجسم الحر لكل من الحقيبة والعربة، وبين أزواج التأثير المتبادل بينهما.



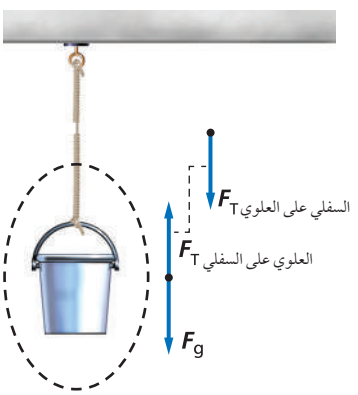
التجربة العملية:

ما القوى المؤثرة في عربات القطار؟

قوى الشد في الحبال والخيوط Forces of Ropes and Strings

قوة الشد اسم يطلق على القوة التي يؤثر بها خيط أو حبل. وللتبسيط سنفترض في هذا الكتاب أن كتل الحبال والخيوط مهملة.

ومن أجل فهم أكثر عمقًا لمصطلح الشد سندرس الحالة المبينة في **الشكل 14–4**، حيث يعلق دلو في نهاية حبل مثبت في السقف، ستلاحظ أن الحبل يوشك أن ينقطع عند المنتصف، وإذا انقطع الحبل، سيسقط الدلو، وهذا يعني وجود قوى تجعل طرف الحبل العلوي (قبل أن ينقطع) متماسكًا مع طرفه السفلي. نرمز إلى القوة التي يؤثر بها الطرف العلوي للحبل في الطرف السفلي بـ $F_{\text{العلوي على السفلي}}$ ، وهي بحسب قانون نيوتن الثالث جزء من زوجي تأثير متبادل ، أما الزوج الآخر فهو القوة التي يؤثر بها الطرف السفلي للحبل في الطرف العلوي: $F_{\text{السفلي على العلوي}}$، وهاتان القوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه كما في **الشكل 14–4**.



الشكل 14–4 الشد في الحبل يساوي مجموع أوزان جميع الأجسام المعلقة به.

يمكن أن تفكر في هذه الحالة بطريقة أخرى، فقبل أن ينقطع الحبل كان الدلو متزنًا، وهذا يعني أن قوة وزنه نحو الأسفل يجب أن تساوي في المقدار وتعاكس في الاتجاه قوة الشد فيه نحو الأعلى. الآن دعنا ننظر إلى تلك النقطة من الحبل التي تقع مباشرة فوق الدلو، وهي أيضًا في حالة اتزان. قوة الشد في الحبل أسفل هذه النقطة تسحب باتجاه الأسفل، وهي تساوي قوة الشد فيه أعلى هذه النقطة، وهي في اتجاه الأعلى. وينطبق ذلك على أي نقطة في الحبل، وبما أن الشد في الطرف السفلي للحبل يساوي وزن الدلو، فإن الشد في كل مكان في الحبل يساوي وزن الدلو كذلك، وهكذا فإن الشد في الحبل يساوي وزن جميع الأجسام التي تعلق في أسفله، وبما أن كتلة الحبل مهملة لذلك فإن الشد في أي مكان في الحبل يساوي وزن الدلو.

تعمل قوى الشد أيضًا في لعبة شد الحبل مثل تلك المبينة في **الشكل 15–4**، إذا أثر الفريق (A) الذي إلى اليسار بقوة 500 N ولم يتحرك الحبل(R)، فهذا يعني أن الفريق (B) الذي إلى اليمين يسحب الحبل أيضًا بقوة 500 N ما الشد في الحبل في مثل هذه الحالة؟ وإذا سحب كل فريق بقوة 500 N، هل سيكون الشد في الحبل 1000 N؟ للإجابة عن ذلك سندرس كلًا من نصفي الحبل على حدة. الطرف الأيسر لا يتحرك وهذا يعني أن القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفرًا، لذلك فإن:

$$F_{\text{A على R}} = F_{\text{اليسار على اليمين}} = 500\ \text{N}$$

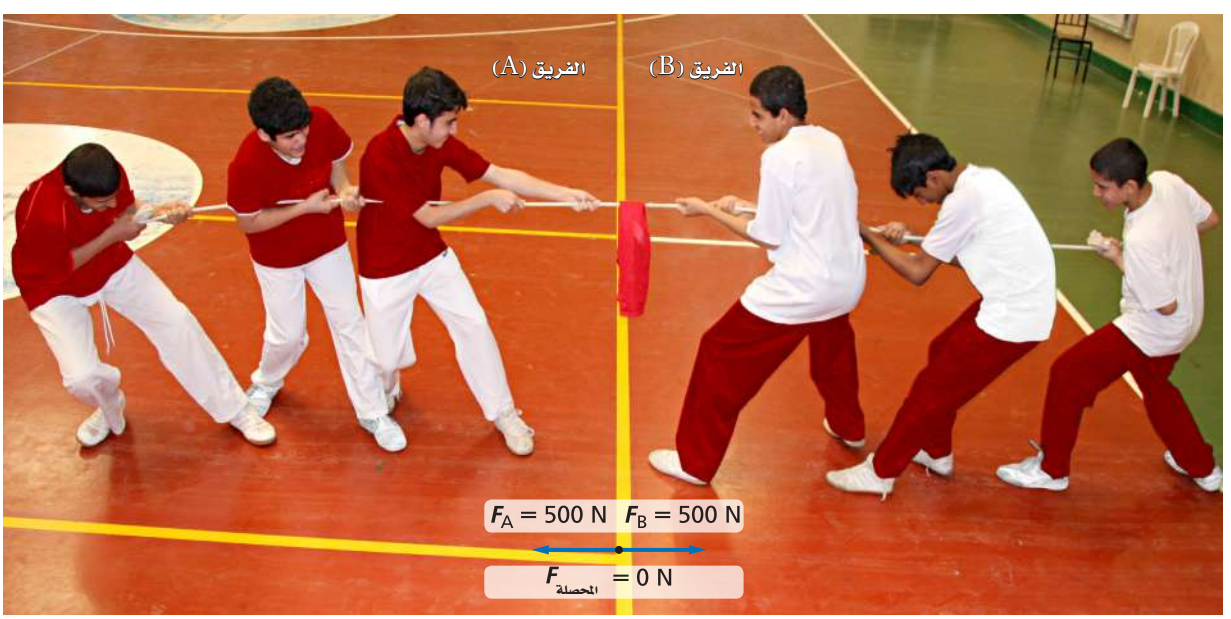
كما أن:

$$F_{\text{B على R}} = F_{\text{اليمين على اليسار}} = 500\ \text{N}$$

ولكن

$$F_{\text{اليمين على اليسار}} = F_{\text{اليسار على اليمين}}$$

تمثل كل من $F_{\text{اليسار على اليمين}}$ ، $F_{\text{اليمين على اليسار}}$ أحد زوجي التأثير المتبادل، لذلك فهما متساويتان في المقدار، ومتعاكستان في الاتجاه؛ أي أن الشد في كل طرفٍ من الحبل يساوي القوة التي يسحب بها كل فريق وتساوي 500 N



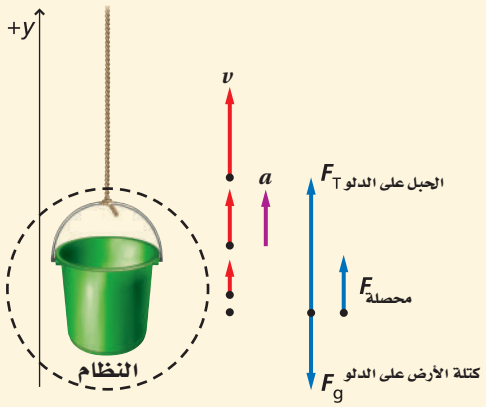
الشكل 15–4 في لعبة شد الحبل يؤثر كل فريق (من خلال الشد في الحبل) بقوة مساوية ومعاكسة للقوة التي يؤثر بها الفريق الآخر.

مثـال 4

يُرفع دلو كتلته 50.0 kg بوساطة حبل يستطيع تحمل قوة شد قصوى مقدارها 525 N، فإذا بدأ الدلو حركته من السكون، وأصبحت سرعته على ارتفاع 3.0 m تساوي 3.0 m/s، فهل هناك احتمال لانقطاع الحبل؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطط الحالة وبيِّن القوى التي تؤثر في النظام.
- كون نظامًا إحداثيًّا يكون فيه الاتجاه الموجب نحو الأعلى.
- ارسم مخططًا توضيحيًّا للحركة يشتمل على كلٍّ من v و a.
- ارسم مخطط الجسم الحر، وسمّ القوى.



المعلوم	المجهول
$m = 50.0\ kg$	$F_T = ?$
$v_i = 0.0\ m/s$	
$v_f = 3.0\ m/s$	
$d = 3.0m$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

تمثل $F_{محصلة}$ مجموع القوة الموجبة (F_T) التي يسحب بها الحبل في اتجاه الأعلى، وقوة الوزن السالبة ($-F_g$) التي تؤثر في اتجاه الأسفل.

$$F_{محصلة} = F_T + (-F_g)$$

$$F_T = F_{محصلة} + F_g$$

بالتعويض عن $F_{محصلة} = ma$, $F_g = mg$

$$= ma + mg$$

$$= m(a + g)$$

وبما أن قيم كل من v_i و v_f و d معلومة، يمكننا استخدام معادلة الحركة التالية لإيجاد التسارع a:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2ad$$

$$a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2d}$$

بالتعويض عن $v_i = 0.0$ m/s

$$a = \frac{v_f^2}{2d}$$

بالتعويض عن $a = \frac{v_f^2}{2d}$

$$F_T = m(a + g) = m\left(\frac{v_f^2}{2d} + g\right)$$

بالتعويض عن $m = 50.0$ kg , $v_f = 3.0$ m/s , $d = 3.0$ m , $g = 9.80$ m/s²

$$F_T = (50.0\ kg)\left(\frac{(3.0\ m/s)^2}{2(3.0\ m)} + (9.8\ m/s^2)\right) = 565\ N$$

وبالتالي فإن احتمال انقطاع الحبل وارد؛ لأن الشد تجاوز 525 N

3 تقويم الجـواب

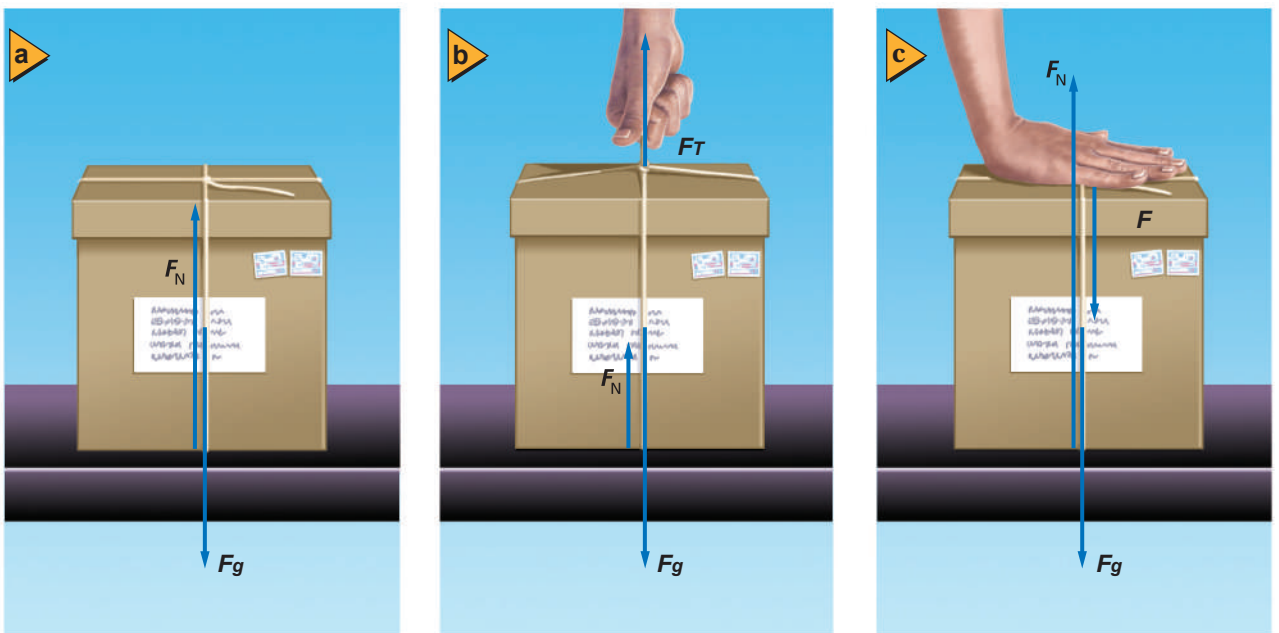
- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة القوة هي kg.m/s² ، وهي وحدة الـ N .
- **هل الإشارة منطقية؟** نعم؛ إذ يجب أن تكون القوة المؤثرة للأعلى موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** المقدار أكثر قليلاً من 490 N الذي يمثل وزن الدلو

$$F_g = mg = (50.0\ kg)(9.80\ m/s^2) = 490\ N$$

مسائل تدريبية

28. وضعت معدات في دلو فأصبحت كتلته 42 kg، فإذا رفع الدلو إلى سطح منزل بواسطة حبل يتحمل شدًّا لا يتجاوز 450 N، فما أقصى تسارع يمكن أن يكتسبه الدلو أثناء سحبه إلى أعلى السطح؟

29. حاول سالم وأحمد إصلاح عجلة دراجة، لكنهما واجها صعوبة كبيرة في نزع الإطار المطاطي عن العجلة، فقاما بسحبه معًا حيث سحب أحمد بقوة 23 N ، وسالم بقوة 31 N، عندها تمكنا من زحزحة الإطار. ما مقدار القوة بين الإطار والعجلة؟



القوة العمودية The Normal Force

عندما يتلامس جسمان فإن كلًّا منهما يؤثر في الآخر بقوة، فالصندوق الموضوع على سطح الطاولة، تؤثر فيه الجاذبية الأرضية بقوة في اتجاه الأسفل، وبالمقابل تؤثر فيه الطاولة بقوة في اتجاه الأعلى، وهذه القوة موجودة بالضرورة لأن الصندوق متزن. إن **القوة العمودية** هي قوة تلامس يؤثر بها سطح في جسم آخر، وتكون دائمًا عمودية على مستوى التلامس بين الجسمين. ولكن هل تكون هذه القوة دائمًا مساوية لوزن الجسم؟ انظر **الشكل 16a–4**، وماذا يحدث إذا ربطت الصندوق بخيط وسحبته قليلاً إلى الأعلى بقوة شد لاتكفي لرفع الصندوق عن الطاولة؟ انظر **الشكل 16b–4**. بتطبيق قانون نيوتن الثاني على الصندوق نجد أن:

$$F_N + F_T - F_g = ma = 0$$

■ **الشكل 16–4** القوة العمودية المؤثرة في جسم لا تساوي دائمًا وزنه.

a. القوة العمودية تساوي وزن الجسم.

b. القوة العمودية أقل من وزن الجسم.

c. القوة العمودية أكبر من وزن الجسم.

وبترتيب المعادلة نجد أن:

$$F_N = F - F_T$$

تلاحظ في هذه الحالة أن القوة العمودية التي تؤثر بها الطاولة في الصندوق أقل من وزن الصندوق F_g ، أما إذا ضغطت على الصندوق باتجاه الأسفل كما في **الشكل 16c–4** فستصبح القوة العمودية أكبر من وزن الصندوق، وبتطبيق قانون نيوتن الثاني على الصندوق وترتيب المعادلة تجد أن:

$$F_N = F + F_g$$

4-3 مراجعة

30. **القوة** أسند كتابًا إلى راحة يدك بحيث يكون مستقرًا ساكنًا. حدد القوى، وأزواج التأثير المتبادل التي تؤثر في الكتاب ؟

31. **القوة** إذا خفضتَ الكتاب الوارد في المسألة 30 بتحريك يدك للأسفل بسرعة متزايدة، هل يتغير أي من القوى، أو أزواج التأثير المتبادل المؤثرة في الكتاب؟ وضح ذلك.

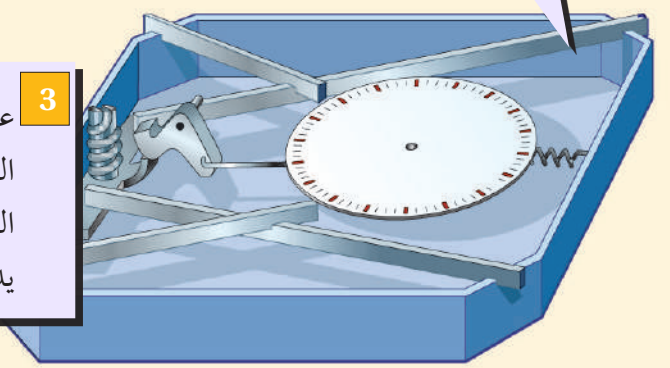
32. **الشد** تتدلى من السقف قطعة طوب مربوطة بحبل مهمل الكتلة، ومربوط بها من الأسفل قطعة طوب أخرى بوساطة حبل مهمل الكتلة أيضًا. ما الشد في كل من الحبلين إذا كانت كتلة كل قطعة 5.0 kg ؟

33. **الشد** في المسألة 32 غيّرت قطع الطوب بأخرى، وكانت كتلة قطعة الطوب السفلية تساوي 3.0 kg، والشد في الحبل العلوي 63.0 N، فاحسب كل من الشد في الحبل السفلي، وكتلة قطعة الطوب.

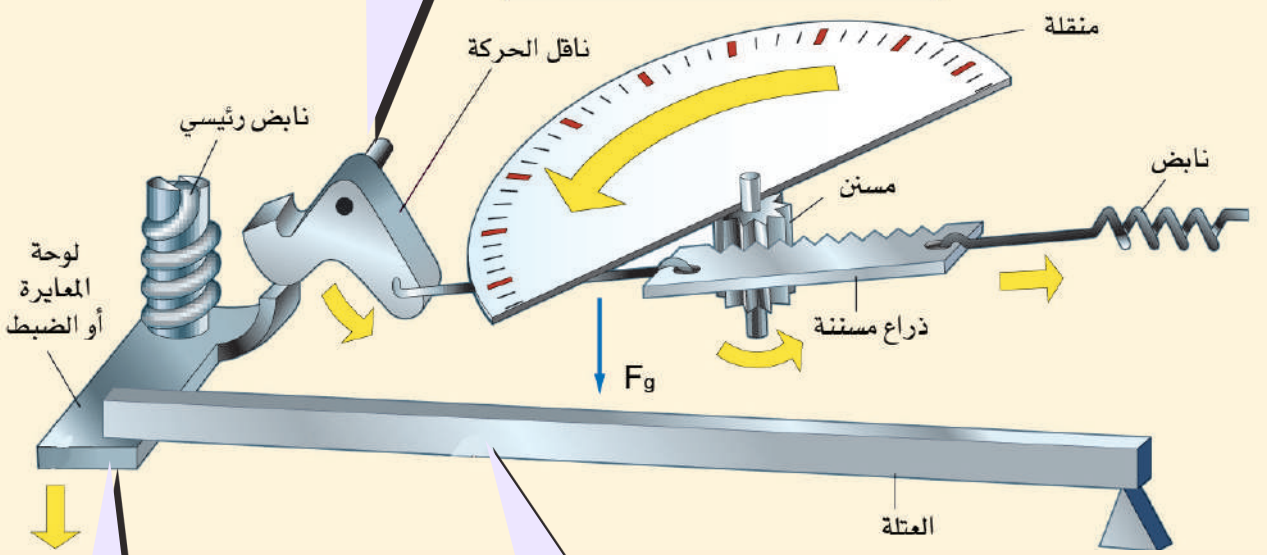
34. **القوة العمودية** يُسلم صالح صندوقًا كتلته 13 kg إلى شخص كتلته 61 kg يقف على منصة. ما القوة العمودية التي تؤثر بها المنصة في هذا الشخص؟

35. **التفكير الناقد** توضع ستارة بين فريقين لشد الحبل بحيث تمنع كل فريق من رؤية الفريق الآخر. فإذا ربط أحد الفريقين طرف الحبل الذي من جهته بشجرة، ما الشد المتولد في الحبل إذا سحب الفريق الآخر بقوة 500 N ؟ وضح ذلك.

1 هناك رافعتان (عتلتان) طويلتان وأخريان قصيرتان توصلان معًا، وهناك مساند في غطاء الميزان فوق العتلات لتوزيع الوزن عليها.



3 عندما تُدفع صفيحة الوزن إلى الأسفل من خلال الوزن الموجود على الميزان يدور المحور، مما يحرك الذراع المسننة التي يدير أسطوانة مسننة، وبالتالي يدور قرص الميزان.



2 ترتكز العتلتان الطويلتان على صفيحة الميزان التي تتصل بالنابض الأساسي. وعندما تقف على سطح الميزان فإن وزنك F_g يؤثر في العتلات التي تؤثر بدورها بقوة في الصفيحة المغايرة وتؤدي إلى استطالة النابض الرئيس.

4 عندما تكون قوة النابض الرئيس F_{sp} المتمدد تساوي F_g فإن الذراع الأسطوانية المسننة تثبت ولا تتحرك ويظهر وزنك على القرص المدرّج.

تفكير ناقد

1. كوِّن فرضية لا تؤثر معظم النوابض في الموازين المنزلية بقوة أكبر من 98 N. كيف تتجنب كسر الميزان إذا وقفت عليه؟

2. حل إذا كانت أكبر قراءة على الميزان 1068 N، والنابض يؤثر بقوة أقصاها 89 N، فما النسبة التي تستعملها العتلة؟

الفصل 4

دليل الدراسة

4-1 القوة والحركة Force and Motion

المفردات

- القوة
- قوة التلامس
- قوة المجال
- مخطط الجسم الحر
- القوة المحصلة
- قانون نيوتن الثاني
- قانون نيوتن الأول
- القصور الذاتي
- الاتزان

الفكرة الرئيسة: القوة دفع أو سحب.

- الجسم الذي يعاني من دفع أو سحب تؤثر فيه قوة لها مقدار واتجاه.
- تقسم القوى إلى: قوى تلامس، وقوى مجال.
- في مخطط الجسم الحر، ارسم دائمًا متجهات القوة بحيث تشير بعيدًا عن الجسم حتى لو كانت تمثل قوى دفع.
- لإيجاد القوة المحصلة نجمع القوى التي تؤثر في الجسم باعتبارها متجهات.
- ينص قانون نيوتن الثاني على أن تسارع نظام ما يساوي ناتج قسمة القوة المحصلة المؤثرة فيه على كتلته $a = \frac{F_{\text{المحصلة}}}{m}$
- ينص قانون نيوتن الأول على أن الجسم الساكن يبقى ساكنًا، والجسم المتحرك يبقى متحركًا في خط مستقيم وبسرعة منتظمة فقط إذا كانت القوة المحصلة المؤثرة في الجسم تساوي صفرًا.
- الجسم الذي تؤثر فيه قوة محصلة مقدارها صفر يكون متزنًا.

4-2 الوزن والقوة المعيقة Weight and Drag Force

المفردات

- الوزن الظاهري
- القوة المعيقة
- السرعة الحدية

الفكرة الرئيسة: يمكن استخدام قانون نيوتن الثاني لتوضيح حركة الأجسام الساقطة.

- يعتمد وزن جسم ما على التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية وكتلته.
- تأثير القوة المعيقة على جسم يحدد بوساطة حركة الجسم، وخصائص كل من الجسم والمائع.
- إذا وصلت سرعة جسم ساقط إلى حد أن القوة المعيقة تساوي وزنه، فإن الجسم يحتفظ بسرعة منتظمة تسمى السرعة الحدية.

4-3 قانون نيوتن الثالث Newton's Third Law

المفردات

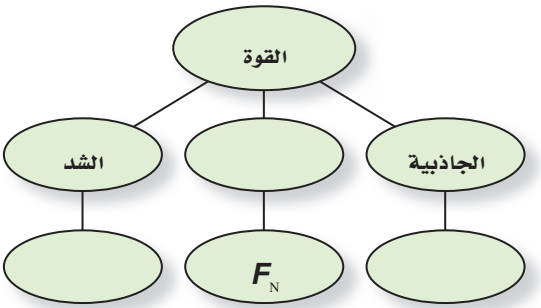
- أزواج التأثير المتبادل
- قانون نيوتن الثالث
- قوة الشد
- القوة العمودية

الفكرة الرئيسة: تتواجد القوى دائماً بشكل أزواج تأثير متبادل.

- في زوجي التأثير المتبادل القوة $F_{A\text{ على }B}$ ليست سببًا في نشوء القوة $F_{B\text{ على }A}$ فهما إما أن تكونا معًا أو لا توجدان على الإطلاق.
- لكل قوة فعل تؤثر في جسم قوة رد فعل تُؤثر في جسم آخر، وهاتان القوتان متساويتان في المقدار ومتضادتان في الاتجاه. $F_{A\text{ على }B} = -F_{B\text{ على }A}$
- الشد اسم يطلق على القوة التي يؤثر بها حبل أو خيط في جسم ما.
- قوة ناتجة عن تلامس جسمين، وتكون دائمًا عمودية على مستوى التلامس بينهما.

خريطة المفاهيم

36. أكمل خريطة المفاهيم التالية باستخدام ما يلي من المصطلحات والرموز: القوة العمودية، F_T، F_g



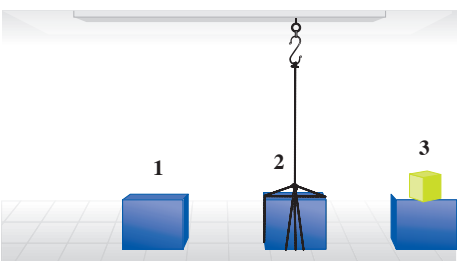
إتقان المفاهيم

37. افترض أن تسارع جسم ما يساوي صفرًا، فهل يعني هذا عدم وجود أية قوى تؤثر فيه؟

38. إذا كان كتابك متزنًا، ما القوى التي تؤثر فيه؟

39. تسقط صخرة من جسر إلى وادٍ، فتؤثر الأرض فيها بقوة جذب وتجعلها تتسارع إلى أسفل، وحسب قانون نيوتن الثالث فإن الصخرة تؤثر أيضًا في الأرض بقوة جذب، ولكن لا يبدو أن الأخيرة تتسارع إلى أعلى. فسر ذلك.

40. يبين **الشكل 17–4** كتلة في ثلاثة أوضاع مختلفة. رتب هذه الأوضاع حسب مقدار القوة العمودية بين الكتلة والسطح وذلك من الأكبر إلى الأصغر. أشر إلى أية علاقة بين نتائج الإجابة.



الشكل 17–4

41. **فسر** لماذا يكون الشد ثابتًا في كل نقاط حبل مهمل الكتلة؟

42. يقف طائر على قمة مبنى. ارسم مخطط الجسم الحر لكل من الطائر والمبنى. وأشر إلى أزواج التأثير المتبادل بين المخططين.

تطبيق المفاهيم

43. قذفت كرة في الهواء إلى الأعلى في خط مستقيم:

a. ارسم مخطط الجسم الحر للكرة عند ثلاث نقاط في مسار حركتها: في طريقها إلى الأعلى، وعند القمة، وفي طريقها إلى الأسفل، وحدد القوى التي تؤثر في الكرة.

b. ما سرعة الكرة عند أعلى نقطة وصلت إليها ؟

c. ما تسارع الكرة عند هذه النقطة؟

إتقان حل المسائل

4-1 القوة والحركة

44. ما القوة المحصلة التي تؤثر في كرة كتلتها 1.0 kg وتسقط سقوطًا حرًّا؟

45. تتباطأ سيارة كتلتها 2300 kg بمعدل $3.0\ m/s^2$ عندما تقترب من إشارة مرور. ما مقدار القوة المحصلة التي تجعلها تتباطأ وفق المعدل المذكور؟

4-2 استخدام قوانين نيوتن

46. ما وزنك بوحدة النيوتن؟

47. تزن دراجتك النارية الجديدة 2450 N، فما كتلتها بالكيلوجرام؟

48. وضع تلفاز كتلته 7.50 kg على ميزان نابض. إذا كانت قراءة الميزان 78.4 N، فما تسارع الجاذبية الأرضية في ذلك المكان؟

49. وضع ميزان داخل مصعد. ما القوة التي يؤثر بها الميزان في شخص يقف عليه كتلته 53 kg، وذلك في الحالات الآتية:

a. إذا تحرك المصعد بسرعة منتظمة إلى أعلى.

b. إذا تباطأ المصعد بمعدل $2.0\ m/s^2$ في أثناء حركته إلى أعلى.

c. إذا تسارع المصعد بمعدل $2.0\ m/s^2$ في أثناء حركته إلى أسفل.

d. إذا تحرك المصعد إلى أسفل بسرعة منتظمة.

e. إذا تباطأ المصعد في أثناء حركته إلى أسفل بتسارع منتظم حتى يتوقف.

50. **فلك** إذا كان تسارع الجاذبية على سطح عطارد يعادل 0.38 من قيمته على سطح الأرض:

a. ما وزن جسم كتلته 6.0 kg على سطح عطارد؟

b. إذا كان تسارع الجاذبية على سطح بلوتو يساوي 0.08 من مثيله على سطح عطارد، فما وزن كتلة 7.0 kg على سطح بلوتو؟

51. قفز غواص كتلته 65 kg من قمة برج ارتفاعه 10.0 m

a. أوجد سرعة الغواص لحظة ارتطامه بسطح الماء.

b. إذا توقف الغواص على بعد 2.0 m تحت سطح الماء، فأوجد محصلة القوة التي يؤثر بها الماء في الغواص.

52. بدأت سيارة سباق كتلتها 710 kg حركتها من السكون وقطعت مسافة 40.0 m في 3.0 s، فإذا كان تسارع السيارة منتظمًا خلال هذه الفترة، فما القوة المحصلة التي تؤثر فيها؟

4-3 قوى التأثير المتبادل

53. وضع مكعب من الحديد كتلته 6.0 kg على سطح مكعب آخر كتلته 7.0 kg يستقر بدوره على سطح طاولة أفقية، احسب:

a. مقدار واتجاه القوة التي يؤثر بها المكعب الذي كتلته 7.0 kg في المكعب الآخر.

b. مقدار واتجاه القوة التي يؤثر بها المكعب الذي كتلته 6.0 kg في المكعب الذي كتلته 7.0 kg

54. تسقط قطرة مطر كتلتها 2.45 mg على الأرض. فما مقدار القوة التي تؤثر بها في الأرض؟

55. يلعب شخصان لعبة شد الحبل، يقوم أحدهما وكتلته 90.0 kg بشد الحبل بحيث يكتسب الشخص الآخر وكتلته 55 kg تسارعًا مقداره $0.025\ m/s^2$ ، ما القوة التي يؤثر بها الحبل في الشخص ذي الكتلة الأكبر؟

56. تتسارع طائرة مروحية كتلتها 4500 kg إلى أعلى بمعدل $2.0\ m/s^2$ ، احسب القوة التي يؤثر بها الهواء في المراوح؟

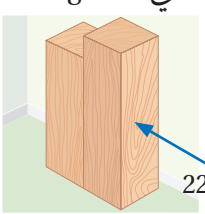
مراجعة عامة

57. يُدفع جسمان كتلة أحدهما 4.3 kg، وكتلة الآخر 5.4 kg بقوة أفقية مقدارها 22.5 N، على سطح مهمل الاحتكاك (انظر **الشكل 18–4**).

a. ما تسارع الجسمين؟

b. ما القوة التي يؤثر بها الجسم الذي كتلته 4.3 kg في الجسم الذي كتلته 5.4 kg؟

c. ما القوة التي يؤثر بها الجسم الذي كتلته 5.4 kg في الجسم الذي كتلته 4.3 kg؟

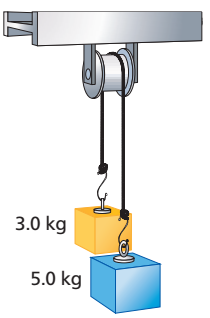


الشكل 18–4

58. جسمان كتلة الأول 5.0 kg، والثاني 3.0 kg ، مربوطان بحبل مهمل الكتلة (انظر **الشكل 19–4**). يمرر الحبل فوق بكرة ملساء مهملة الكتلة. فإذا انطلق الجسمان من السكون، أوجد ما يأتي:

a. الشد في الحبل.

b. تسارع الجسمين.



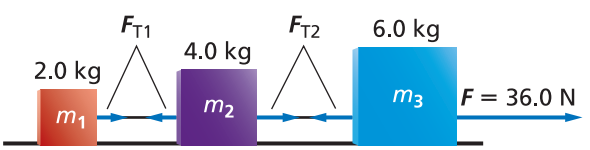
الشكل 19–4

التفكير الناقد

59. ثلاث كتل متصلة بوساطة خيوط مهملة الكتل، سحبت الكتل بقوة أفقية على سطح أملس كما في **الشكل 20–4**، أوجد:

a. تسارع كل كتلة.

b. قوة الشد في كل خيط.



الشكل 20–4

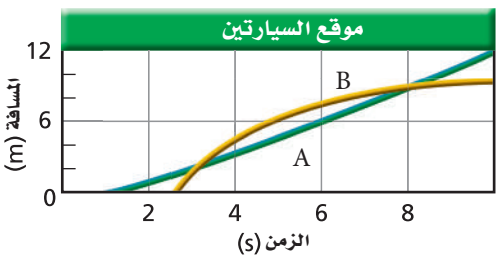
الكتابة في الفيزياء

60. ابحث عن إسهامات نيوتن في الفيزياء واكتب عن ذلك موضوعًا. هل تعتقد أن قوانينه الثلاثة في الحركة كانت من أهم إنجازاته؟ وضح إجابتك؟

مراجعة تراكمية

61. يبين **الشكل 21–4** الرسم البياني لمنحنى (الموقع–الزمن) لحركة سيارتين على الطريق.

a. عند أية لحظة تتجاوز إحدى السيارتين الأخرى؟



الشكل 21–4

b. أي السيارتين كانت تتحرك أسرع عند الزمن 7.0s؟

c. ما الزمن الذي تتساوى عنده السُّرعتان المتجهتان للسيارتين؟

d. ما الفترة الزمنية التي تتزايد خلالها سرعة السيارة B؟

e. ما الفترة الزمنية التي تتناقص خلالها سرعة السيارة B؟

62. بالرجوع إلى الشكل السابق، احسب السرعة اللحظية لكل مما يأتي:

a. السيارة B عند اللحظة 2.0 s؟

b. السيارة B عند اللحظة 9.0 s؟

c. السيارة A عند اللحظة 2.0 s؟

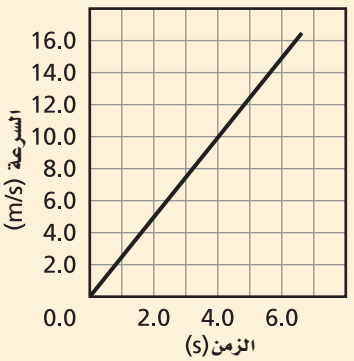
اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

1. ما تسارع السيارة الموضح بالرسم أدناه:

Ⓐ $0.20\ m/s^2$ Ⓒ $1.0\ m/s^2$

Ⓑ $0.40\ m/s^2$ Ⓓ $2.5\ m/s^2$



2. بالاعتماد على الرسم البياني أعلاه، ما المسافة التي قطعتها السيارة بعد 4 s؟

Ⓐ 13 m Ⓒ 80 m

Ⓑ 20 m Ⓓ 90 m

3. إذا تحركت السيارة في الرسم البياني أعلاه بتسارع منتظم، كم ستكون سرعتها المتجهة بعد 10 s؟

Ⓐ 90 km/h Ⓒ 10 km/h

Ⓑ 120 km/h Ⓓ 25 km/h

4. ما وزن مجس فضائي كتلته 225 kg على سطح القمر؟ (بفرض أن مقدار تسارع الجاذبية على القمر $1.62 m/s^2$).

Ⓐ 139 N Ⓒ 1.35×10^3 N

Ⓑ 364 N Ⓓ 2.21×10^3 N

5. يجلس طفل كتلته 45 kg في أرجوحة كتلتها 3.2 kg مربوطة إلى غصن شجرة، ما مقدار قوة الشد في حبل الأرجوحة؟

Ⓐ 3.1×10^2 N Ⓒ 4.5×10^2 N

Ⓑ 4.4×10^2 N Ⓓ 4.7×10^2 N

6. إذا تدلى غصن الشجرة في المسألة السابقة إلى أسفل بحيث تستند قدما الطفل على الأرض، وأصبحت قوة الشد في حبل الأرجوحة 220 N، ما مقدار القوة العمودية المؤثرة في قدمي الطفل؟

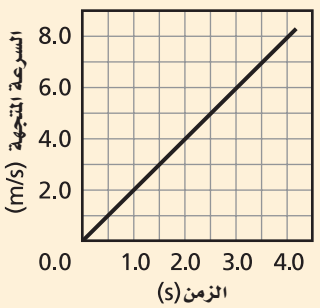
Ⓐ 2.2×10^2 N Ⓒ 4.3×10^2 N

Ⓑ 2.5×10^2 N Ⓓ 6.9×10^2 N

7. اعتمادًا على الرسم البياني أدناه، ما مقدار القوة المؤثرة في عربة كتلتها 16 kg؟

Ⓐ 4 N Ⓒ 16 N

Ⓑ 8 N Ⓓ 32 N



الأسئلة الممتدة

8. ارسم مخطط الجسم الحر لطفل يقف على ميزان في مصعد. ثم صف باستخدام الكلمات والمعادلات الرياضية ما يحدث لوزن الطفل الظاهري عندما: يتسارع المصعد إلى أعلى، ينزل المصعد بسرعة منتظمة إلى أسفل، وعندما يهبط المصعد بشكل حر إلى أسفل.

✓ إرشاد

حسن نتائجك

كي تحقق أفضل النتائج في اختبارك المقنن؛ فإنك بحاجة إلى توقع إجابة منطقية للسؤال. بعد ذلك أعد قراءة السؤال، وبعد التوصل إلى الإجابة النهائية قارنها بالنتيجة التي توصلت إليها وتوقعتها.

مصادر تعليمية للطالب

- دليل الرياضيات
- المصطلحات

الرموز symbols

Δ	التغير في الكمية	$a \times b$ ab $a(b)$	a مضروبة في b
$\pm$	زائد أو ناقص الكمية		
$\propto$	يتناسب مع		
$=$	يساوي		
$\approx$	تقريبًا يساوي	$a \div b$ a/b $\frac{a}{b}$	a مقسومة على b
$\cong$	تقريبًا يساوي		
$\leq$	أقل من أو يساوي	$\sqrt{a}$	الجذر التربيعي لـ a
$\geq$	أكبر من أو يساوي	$\lvert a \rvert$	القيمة المطلقة لـ a
$<<$	أقل بكثير من	$\log_b x$	لوغاريتم x بالنسبة إلى الأساس b
$\equiv$	يعرف كـ		

القياسات والأرقام المعنوية Measurement and Significant Digits

ارتباط الرياضيات بالفيزياء تعتبر الرياضيات لغة الفيزياء؛ فباستخدام الرياضيات يستطيع الفيزيائيون وصف العلاقات بين مجموعة من القياسات عن طريق المعادلات. ويرتبط كل قياس برمز معين في المعادلات الفيزيائية، وتسمى هذه الرموز بالمتغيرات.

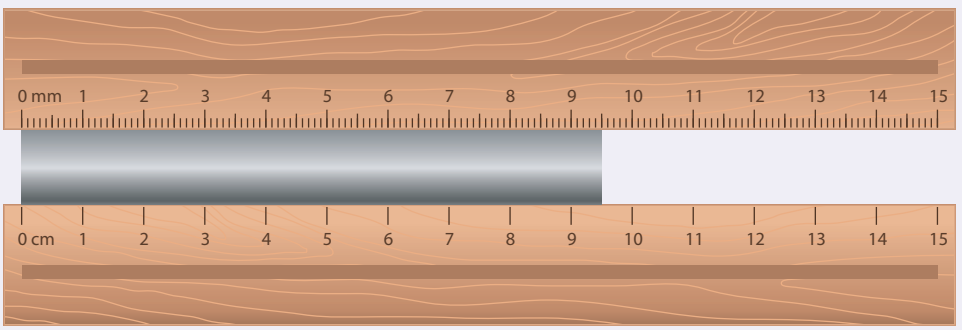
الأرقام المعنوية Significant Digits

إن جميع القياسات تقريبية وتُمثل بأرقام معنوية، بحيث يعبر عدد الأرقام المعنوية عن الدقة في القياس، وتعتبر الدقة مقياسًا للقيمة الحقيقية. ويعتمد عدد الأرقام المعنوية في القياس على الوحدة الأصغر في أداة القياس، بحيث يتم تقدير الرقم الأبعد إلى اليمين في نتيجة القياس.

مثال: ما الرقم المقدَّر لكل من مساطر القياس الموضحة في الشكل أدناه والمستخدمة لقياس طول القضيب الفلزي؟

باستخدام أداة القياس السفلية نجد أن طول القضيب الفلزي بين 9 cm و 10 cm. لذلك فإن القياس سوف يقدَّر إلى أقرب جزء عشري من السنتمتر، وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9 cm أو 10 cm فيجب عليك تسجيل نتيجة القياس 9.0 cm أو 10.0 cm.

وعند استخدام أداة القياس العليا، فإن نتيجة القياس تقع بين 9.5 cm و 9.6 cm، لذلك فإن القياس سوف يقدر إلى أقرب جزء مئوي من السنتمتر، وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9.5 cm أو 9.6 cm، فيجب عليك تسجيل القياس 9.50 cm أو 9.60 cm .



كل الأرقام غير الصفرية في القياسات أرقام معنوية. وبعض الأصفار أرقام معنوية وبعضها ليست معنوية، وكل الأرقام من اليسار وحتى الرقم الأخير من اليمين والمتضمنة الرقم الأول غير الصفري تعتبر أرقامًا معنوية.

استخدم القواعد الآتية عند تحديد عدد الأرقام المعنوية:

1. الأرقام غير الصفرية أرقام معنوية.
2. الأصفار الأخيرة بعد الفاصلة العشرية أرقام معنوية.
3. الأصفار بين رقمين معنويين أرقام معنوية.
4. الأصفار التي تستخدم بهدف حجز منازل فقط هي أرقام ليست معنوية.

مثال: حدد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

5.0 g يتضمن رقمين معنويين	استخدم القاعدتين 1و2
14.90 g يتضمن أربعة أرقام معنوية	استخدم القاعدتين 1و2
0.0 يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا	استخدم القاعدتين 2و4
300.00 mm يتضمن خمسة أرقام معنوية	استخدم القواعد 1و2و3
5.06s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استخدم القاعدتين 1و3
304s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استخدم القاعدتين 1و3
0.0060 mm يتضمن رقمين معنويين (6 والصفر الأخير)	استخدم القواعد 1و2و4
140 mm يتضمن رقمين معنويين (1و4 فقط)	استخدم القاعدتين 1و4

مسائل تدريبية

1. حدد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

a. 1405 m	d. 12.007 kg
b. 2.50 km	e. 5.8×10^{6} kg
c. 0.0034 m	f. 3.03×10^{-5} ml

هناك حالتان تُعتبر الأعداد فيهما دقيقة:

1. الأرقام الحسابية، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.
2. معادلات التحويل، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.

التقريب Rounding

يمكن تقريب العدد إلى خانة (منزلة) معينة (مثل المنزلة المئوية أو العشرية) أو إلى عدد معين من الأرقام المعنوية. وحتى تقوم بذلك حدد المنزلة المراد تقريبها، ثم استخدم القواعد الآتية:

1. عندما يكون الرقم الواقع على يسار العدد والمراد إسقاطه أقل من 5 يجب إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثَم يبقى الرقم الأخير في العدد المقرّب دون تغيير.
2. عندما يكون الرقم الواقع على يسار العدد والمراد إسقاطه أكبر من 5، يجب إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثم يزاد الرقم الأخير في العدد المقرّب بمقدار واحد.
3. عندما يكون الرقم الواقع على يسار العدد والمراد إسقاطه هو 5 متبوعًا برقم غير صفري، يتم إسقاط ذلك الرقم والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثم زيادة الرقم الأخير في العدد المقرب بمقدار واحد.
4. إذا كان الرقم الواقع إلى يمين الرقم المعنوي الأخير يساوي 5 ومتبوعًا بالصفر، أو لا يتبعه أي أرقام أخرى،فانظر إلى الرقم المعنوي الأخير: فإذا كان فرديًّا فزده بمقدار واحد، وإذا كان زوجيًّا فلا تقربه.

أمثلة: قرّب الأرقام الآتية للعدد المعيّن إلى الأرقام المعنوية:

8.7645 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.76	استخدم القاعدة 1
8.7676 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.77	استخدم القاعدة 2
8.7519 تقريبه إلى رقمين معنويين ينتج 8.8	استخدم القاعدة 3
92.350 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.4	استخدم القاعدة 4
92.25 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.2	استخدم القاعدة 4

مسائل تدريبية

2. قرّب كل رقم إلى عدد الأرقام المعنوية المتضمنة بين الأقواس فيما يأتي:

a. 1405 m (2)　　c. 0.0034 m (1)

b. 2.50 km (2)　　d. 12.007 kg (3)

إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية Operations with Significant Digits

عندما تستخدم الآلة الحاسبة، نفّذ العمليات الحسابية بأكبر قدر من الدقة التي تسمح بها الآلة الحاسبة، ثم قرب النتيجة إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية. يعتمد عدد الأرقام المعنوية في النتيجة على القياسات وعلى العمليات التي تجريها.

الجمع والطرح Addition and subtraction

انظر إلى الأرقام على يمين الفاصلة العشرية، وقرّب النتيجة لأصغر قيمة دقيقة بين القياسات، وهو العدد الأصغر من الأرقام الواقعة إلى يمين الفاصلة العشرية.

مثال: اجمع الأعداد 1.456 m ، 4.1 m و 20.3 m

القيم الأقل دقة هي 4.1 m و 20.3 m؛ لأن كليهما يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا واحد فقط يقع إلى يمين الفاصلة العشرية.

اجمع الأعداد

$$\begin{array}{r} 1.456\ \text{m} \\ 4.1\ \text{m} \\ +20.3\ \text{m} \\ \hline 25.856\ \text{m} \end{array}$$

وفي النتيجة فإن دقة حاصل عملية الجمع هي دقة الرقم المُضاف الأقل دقة.

قرب النتيجة إلى القيمة الأكبر 25.9m

الضرب و القسمة Multiplication and division

حدد عدد الأرقام المعنوية في كل عملية قياس. ونفذ العملية الحسابية، ثم قرّب النتيجة بحيث يكون عدد الأرقام المعنوي فيها مساويًّا لتلك الموجودة في قيمة القياس ذي الأرقام المعنوية الأقل.

مثال: جد حاصل ضرب الكميتين 20.1m و 3.6m

$$(20.1\ \text{m})(3.6\ \text{m})=72.36\ \text{m}^2$$

القيمة الأصغر الدقيقة هي 3.6m التي تتضمن رقمين معنويين. وحاصل عملية الضرب يجب أن يتضمن فقط عدد الأرقام المعنوية في العدد ذي الأرقام المعنوية الأقل.

قرّب النتيجة إلى رقمين معنويين 72m

مسائل تدريبية

3 . بسّط التعابير الرياضية الآتية مستخدمًا العدد الصحيح من الأرقام المعنوية:

a. 2.33km + 3.4 km + 5.012 km

b. 3.40 cm × 7.125 cm

c. 45g - 8.3g

d. 54m ÷ 6.5s

المجاميع Combination

عند إجراء الحسابات التي تتضمن عمليات الجمع والطرح والضرب والقسمة استخدم قاعدة عملية الضرب/ عملية القسمة.

أمثلة:

$$d=19m + (25.0\ m/s)(2.50\ s) + \frac{1}{2}(-10.0\ m/s^2)(2.50)^2$$

$$= 5.0\times10^1\ m$$

المقدار 19 m يتضمن رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن النتيجة رقمين معنويين.

$$\text{الميل} = \frac{70.0m - 10.0m}{29s - 11s}$$

$$m = 3.3\ m/s$$

29 s و 11s يتضمنان رقمين معنويين فقط في كل منهما، لذلك يجب أن تتضمن الإجابة رقمين معنويين فقط.

الحسابات المتعددة الخطوات Multistep Calculation

لا تُجرِ عملية تقريب الأرقام المعنوية خلال إجراء الحسابات المتعددة الخطوات. وبدلاً من ذلك، قم بالتقريب إلى العدد المعقول من المنازل العشرية، بشرط ألا تفقد دقة إجابتك. وعندما تصل إلى الخطوة النهائية في الحل فعليك أن تقرّب الجواب إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية.

لا تجر التقريب إلى $580N^2$ و $1300N^2$

لا تجر التقريب إلى $1800N^2$

النتيجة النهائية، هنا يجب أن نقرّب إلى رقمين معنويين

$$F = \sqrt{(24\ N)^2 + (36\ N)^2}$$

$$= \sqrt{576\ N^2 + 1296\ N^2}$$

$$= \sqrt{1872\ N^2}$$

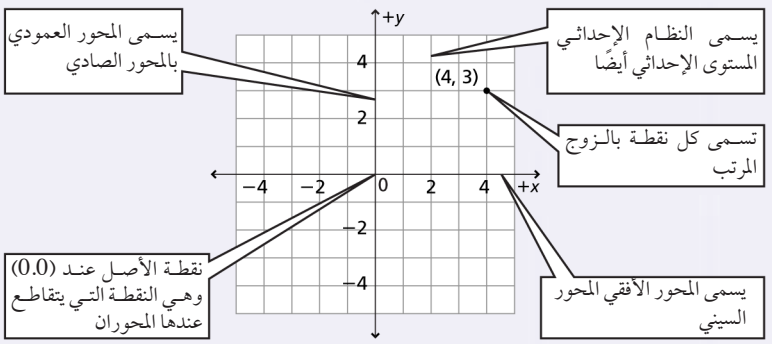
$$= 43\ N$$

التمثيل البياني للعلاقات Graphs of Relations

المستوى الإحداثي (الديكارتي) The Coordinate Plane

تعين النقاط بالنسبة إلى خطين مدرجين متعامدين يطلق على كل منهما اسم المحور، و يسمى خط الأعداد الأفقي المحور السيني (x). أما خط الأعداد العمودي فيسمى المحور الصادي (y). ويمثل المحور السيني عادة المتغير المستقل، فيما يمثل المحور العمودي المتغير التابع، بحيث تُمثّل النقطة بإحداثيين (x،y) يسميان أيضًا الزوج المرتب.

تَرد دائماً قيمة المتغير التابع (x) أولًا في الزوج المرتب الذي يمثل (0،0) نقطة الأصل، وهي النقطة التي يتقاطع عندها المحوران.

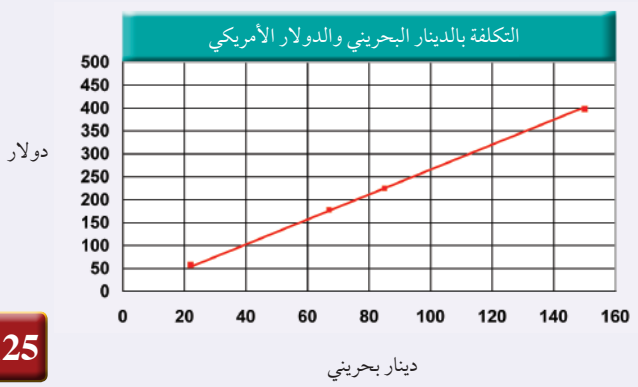


استخدام التمثيل البياني لتحديد العلاقة الرياضية Grahping Data to Determine Relationships

استخدم الخطوات الآتية لعمل رسوم بيانية:

1. ارسم محورين متعامدين.
2. حدّد المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة، وعيّن محور كل منهما مستخدمًا أسماء المتغيرات.
3. عيّن مدى البيانات لكل متغير، لتحديد المقياس المناسب لكل محور، ثم حدّد ورقّم المقاييس.
4. عيّن كل نقطة بيانيًا.
5. عندما تبدو لك البيانات واقعة على خط مستقيم واحد، ارسم الخط الأكثر ملاءمة خلال مجموعة النقاط. وعندما لا تقع النقاط على خط واحد، ارسم منحنى بيانيًا بسيطًا، بحيث يمر بأكبر عدد ممكن من النقاط. وعندما لا يبدو هناك أي ميل لاتجاه معين فلا ترسم خطًا أو منحنًى.
6. اكتب عنوانًا يصف بوضوح ماذا يمثل الرسم البياني.

نوع الخدمة	دينار	الدولار
الفندق (الإقامة)	150	398
الوجبات	85	225
الترفيه	67	178
المواصلات	22	58

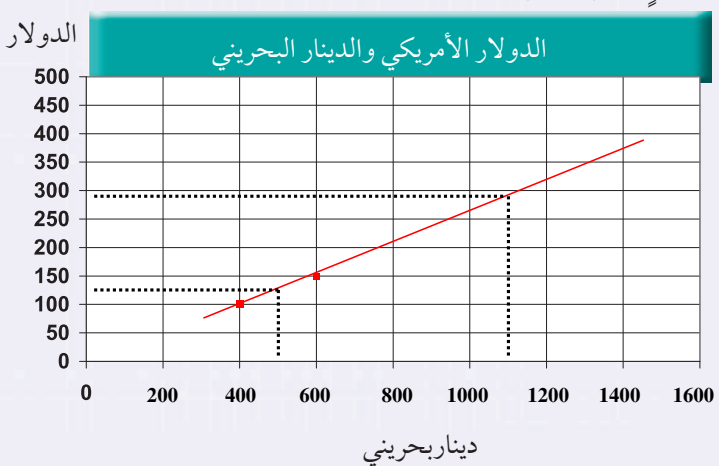


الاستيفاء والاستقراء Interpolating and Extrapolating

تستخدم طريقة الاستيفاء في تقدير قيمة تقع بين قيمتين معلومتين على الخط الممثل لعلاقة ما، في حين أن عملية تقدير قيمة تقع خارج مدى القيم المعلومة تسمى الاستقراء. إن معادلة الخط الممثل لعلاقة ما تساعدك في عمليتي الاستيفاء والاستقراء.

مثال: مستعينًا بالرسم البياني استخدم طريقة الاستيفاء لتقدير القيمة (السّعْر) المقابلة لـ 50 دينارًا.

حدد نقطتين على كل من جانبي القيمة 50 (40 دينار، 60 دينار)، ثم ارسم خطًّا مستمرًّا يصل بينهما.



ارسم الآن خطًّا متقطعًا عموديًّا من النقطة (50 دينار) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المرسوم، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا يصل إلى المحور الرأسي. سوف تجد أنه سيتقاطع معه عند القيمة 131 أو 132 دولارًا.

مثال2: استخدم الاستقراء لتحديد القيمة المقابلة لـ 1100 دينار.

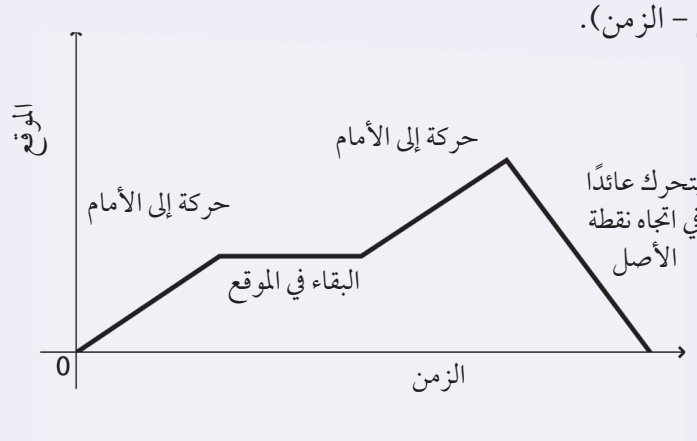
ارسم خطًّا متقطعًا من النقطة (1100 دينار) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المستمر الذي رسمته في المثال (1)، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا. ستجد أنه سيتقاطع مع المحور الرأسي عند النقطة 290 دولارًا.

تفسير الرسم البياني الخطي Interpreting Line Graphs

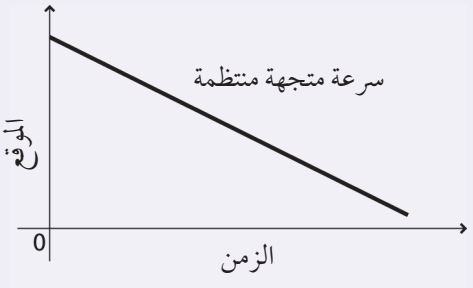
يوضح الرسم البياني الخطي العلاقة الخطية بين متغيرين، وهناك نوعان من الرسوم البيانية الخطية التي تصف الحركة. تستخدم عادة في الفيزياء.

ارتباط الرياضيات بالفيزياء

أ - يوضح الرسم البياني علاقة خطية متغيرة بين (الموقع - الزمن).



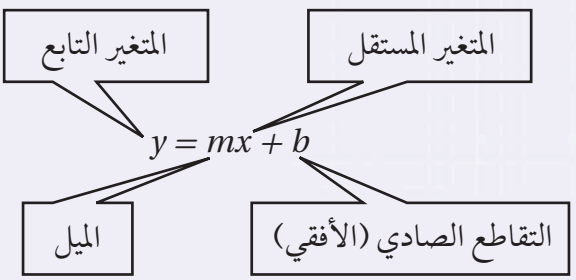
ب - يوضح الخط البياني علاقة خطية ثابتة بين متغيرين (الموقع - الزمن)



المعادلة الخطية Linear Equation

يمكن كتابة المعادلة الخطية بالشكل: $y = mx + b$.

حيث m ، b أعداد حقيقية، و(m) يمثل ميل الخط، و(b) يمثل التقاطع الصادي؛ وهي نقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الصادي.



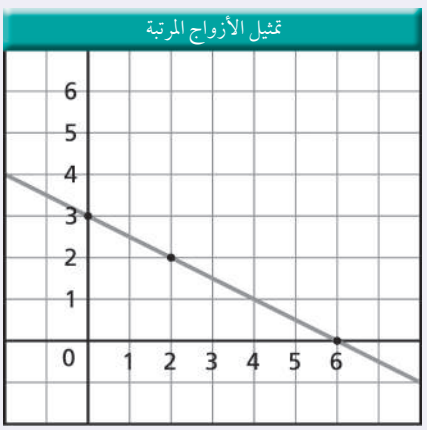
تمثل المعادلة الخطية بخط مستقيم، ولتمثيلها بيانيًّا، قم باختيار ثلاث قيم للمتغير المستقل (يلزم نقطتان فقط، والنقطة الثالثة تستخدم لإجراء اختبار). احسب القيم المقابلة للمتغير التابع، ثم عيّن زوجين مرتبين (x ، y)، وارسم أفضل خط يمر بجميع النقاط.

مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة

$$y = -\left(\frac{1}{2}\right)x + 3$$

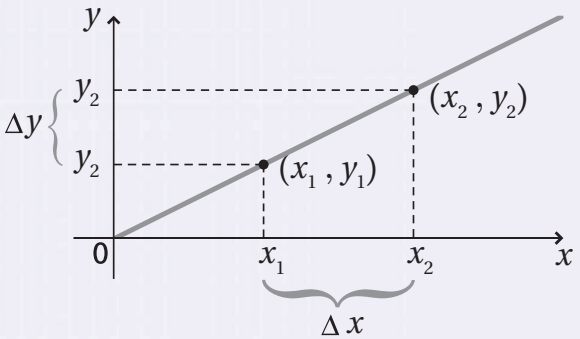
احسب ثلاثة أزواج مرتبة للحصول على نقاط لتعيينها.

الأزواج المرتبة	
x	y
0	3
2	2
6	0



الميل Slope

ميل الخط هو النسبة بين التغير في الإحداثيات الصادية، والتغير في الإحداثيات السينية، أو النسبة بين التغير العمودي (المقابل) والتغير الأفقي (المجاور)، وهذا الرقم يخبرك عن كيفية انحدار الخط البياني، ويمكن أن يكون رقمًا موجبًا أو سالبًا. ولإيجاد ميل الخط، قم باختيار نقطتين (x_1 , y_1) ، (x_2 , y_2)، ثم احسب الاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين السينيين ، والاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين الصاديين $\Delta y = (y_2 - y_1)$، ثم أوجد النسبة بين Δy و Δx .



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

التغير الطردي Direct variation

إذا احتوت المعادلة على ثابتٍ غير صفري m، بحيث كانت $y = mx$، فإن y تتغير طرديًّا بتغير x؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يزداد أيضًا، ويقال عندئذٍ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا طرديًّا. وهذه معادلة خطية على الصورة $y = mx + b$ حيث قيمة b صفر، ويمر الخط البياني من خلال نقطة الأصل $(0,0)$.

ارتباط الرياضيات بالفيزياء في معادلة قوة الاسترداد للنابض المثالي $\boldsymbol{F = -kx}$ ، حيث $\boldsymbol{F}$ قوة استرداد النابض، k ثابت النابض و x استطالة النابض، تتغير قوة استرداد النابض طرديًّا مع تغير استطالته؛ ولذلك تزداد قوة استرداد النابض عندما تزداد استطالة النابض.

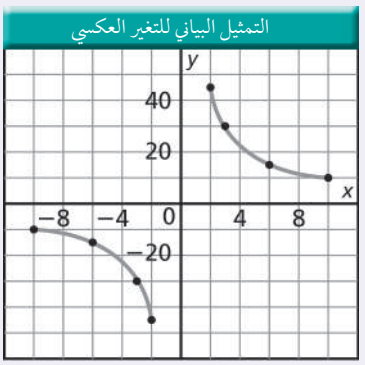
التغير العكسي Inverse Variation

إذا احتوت المعادلة على ثابت غير صفري m، بحيث كانت $y=m/x$ ، فإن y تتغير عكسيًّا بتغير x ؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يتناقص، ويقال عندئذ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا عكسيًّا. وهذه ليست معادلة خطية؛ لأنها تشتمل على حاصل ضرب متغيرين، والتمثيل البياني لعلاقة التناسب العكسي عبارة عن قطع زائد. ويمكن كتابة هذه العلاقة على الشكل:

$$xy = m$$
$$y = m\,\frac{1}{x}$$
$$y = \frac{m}{x}$$

مثال: مثِّل المعادلة $xy = 90$ بيانيًّا

الأزواج المرتبة	
x	y
-10	-9
-6	-15
-3	-30
-2	-45
2	45
3	30
6	15
10	9



ارتباط الرياضيات بالفيزياء في معادلة سرعة الموجة $\lambda = \frac{v}{f}$ ، حيث λ الطول الموجي، f التردد، و v سرعة الموجة، نجد أن الطول الموجي يتناسب عكسيًّا مع التردد؛ وهذا يعني أنه كلما ازداد تردد الموجة يقل طولها، أما v فتبقى قيمتها ثابتة.

التمثيل البياني للمعادلة التربيعية Quadratic Graph

الصيغة العامة للعلاقة التربيعية هي:

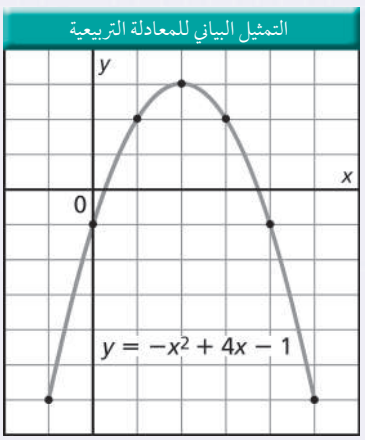
$$y = ax^2 + bx + c$$

حيث $a \neq 0$

التمثيل البياني للعلاقة التربيعية يكون على صورة قطع مكافئ، ويعتمد اتجاه فتحة هذا القطع على معامل مربع المتغير المستقل (a)، إذا كان موجبًا أو سالبًا.

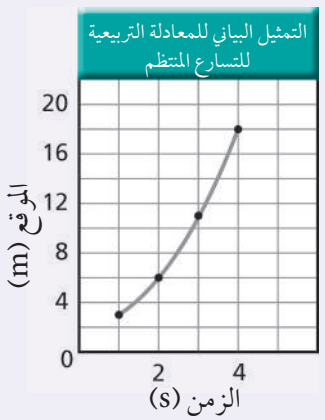
مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة $y = -x^2 + 4x - 1$

الأزواج المرتبة	
y	x
−6	−1
−1	0
2	1
3	2
2	3
−1	4
−6	5



ارتباط الرياضيات بالفيزياء عندما يكون منحنى (الموقع – الزمن) على شكل المنحنى البياني للمعادلة التربيعية فهذا يعني أنه يمثل جسمًا يتحرك بتسارع منتظم.

الأزواج المرتبة	
الزمن (s)	الموقع (m)
1	3
2	6
3	11
4	18



علم الهندسة والمثلثات (Geometry and Trigonometry)

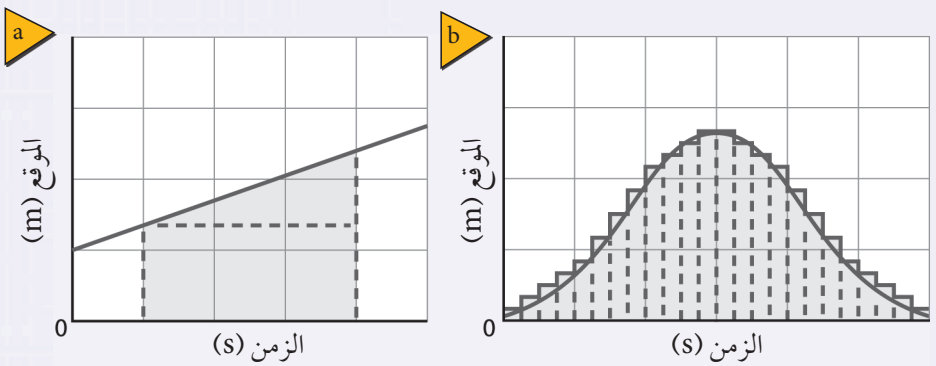
المحيط (Perimeter)، والمساحة (Area)، والحجم (Volume)

	المحيط وحدات خطية	المساحة وحدات مربعة	مساحة السطح وحدات مربعة	الحجم وحدات مكعبة
المربع الضلع a	$P=4a$	$A=a^2$		
المستطيل الطول l العرض w	$P=2l+2w$	$A=lw$		
المثلث القاعدة b الارتفاع h		$A=(\frac{1}{2})\,bh$		
المكعب الضلع a			$SA=6a^2$	$V=a^3$
الدائرة نصف القطر r	$C=2\pi r$	$A=\pi r^2$		
الأسطوانة نصف القطر r الارتفاع h			$SA=2\pi rh+2\pi r^2$	$V=\pi r^2 h$
الكرة نصف القطر r			$SA=4\pi r^2$	$V=(\frac{4}{3})\pi r^3$

ارتباط الرياضيات بالفيزياء ابحث في مسائل الفيزياء التي درستها عن أشكال هندسية، يمكن أن تكون ثلاثية الأبعاد أو ذات بعدين. ويمكن أن تمثل الأشكال ذات البعدين السرعة المتجهة أو متجهات الموقع.

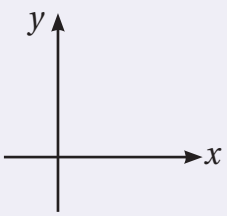
المساحة تحت المنحنى البياني Area Under a Graph

لحساب المساحة التقريبية الواقعة تحت المنحنى البياني، قسم المساحة إلى عدة أجزاء أصغر، ثم أوجد مساحة كل جزء مستخدمًا الصيغ الرياضية في الجدول السابق، لإيجاد المساحة التقريبية الواقعة تحت الخط البياني، قسم المساحة إلى: مستطيل ومثلث، كما هو موضح في الشكل a. ولإيجاد المساحة تحت المنحنى ارسم عدة مستطيلات من المحور السيني لغاية المنحنى كما في الشكل b. إن رسم مستطيلات أكثر ذات قاعدة أصغر تمنحنا دقة أكثر في حساب المساحة المطلوبة.



المساحة الإجمالية تساوي
المساحة1 + المساحة 2 + المساحة3 + ...

المساحة الإجمالية تساوي
مساحة المستطيل + مساحة المثلث

جدول دلالات الألوان	
متجهات الإزاحة ($\boldsymbol{d}$) Displacement vectors	
متجهات السرعة ($\boldsymbol{v}$) Velocity vectors	
متجهات التسارع ($\boldsymbol{a}$) Acceleration vectors	
متجهات القوة ($\boldsymbol{F}$) Force vectors	
المحاور الإحداثية Coordinates Axes	

المصطلحات

أ

الاتزان Equilibrium إذا كانت القوة المحصلة على جسم ما تساوي صفرًا، كان هذا الجسم في حالة اتزان.

الإزاحة Displacement كمية فيزيائية متجهة تمثل مقدار التغير الذي يحدث لموقع الجسم في اتجاه معين.

أزواج التأثير المتبادل Interaction pair زوجان من القوى المتساوية في المقدار والمتعاكسة في الاتجاه.

اختلاف زاوية النظر Parallax التغير الظاهري في موقع الجسم عند النظر إليه من زاوية مختلفة.

ت

التحليل البعدي Dimensional analysis عملية التحقق من العلاقات بين الكميات الفيزيائية بتحديد أبعادها.

التسارع اللحظي Instantaneous acceleration مقدار التغير في السرعة المتجهة للجسم في لحظة زمنية معينة.

التسارع المتوسط Average acceleration مقدار التغير في السرعة المتجهة للجسم خلال الفترة الزمنية المقيسة، وتقاس بوحدة m/s^2

التسارع المنتظم Constant acceleration معدل تغير السرعة المتجهة للجسم بمعدل زمني منتظم.

التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية Acceleration due to gravity تسارع الجسم في حالة السقوط الحر، والناتج عن تأثير جاذبية الأرض، وهو يساوي $g = 9.80\ m/s^2$ واتجاهه نحو مركز الأرض.

د

دقة القياس Precision خاصية من خصائص الكمية المقيسة، التي تصف درجة الإتقان في القياس.

ز

زمن التحليق Flight time وهو الزمن الذي يقضيه الجسم المقذوف في الهواء من لحظة قذفه إلى لحظة وصوله إلى المستوى الذي قذف منه.

س

السرعة الحدية Terminal velocity السرعة المنتظمة التي يصل إليها الجسم الساقط سقوطًا حرًّا، عندما تتساوى القوة المعيقة مع قوة الجاذبية.

المصطلحات

السرعة المتجهة اللحظية Instantaneous velocity مقدار سرعة الجسم، واتجاه حركته عند لحظة معينة.

السرعة المتجهة المتوسطة Average velocity التغير في موقع الجسم مقسومًا على الفترة الزمنية التي حدث التغير خلالها. وهي تساوي ميل الخط البياني في منحنى (الموقع –الزمن).

السرعة المتوسطة Average speed القيمة الحسابية لسرعة الجسم؛ وهي القيمة المطلقة لميل الخط البياني في منحنى (الموقع–الزمن) .

السقوط الحر Free fall حركة جسم تحت تأثير الجاذبية الأرضية فقط، وبإهمال تأثير مقاومة الهواء.

ض

الضبط Accuracy من خصائص الكمية المقيسة، وهو يصف مدى اتفاق نتائج القياس مع القيمة الحقيقية؛ أي القيمة المعتمدة المقيسة من خلال تجارب مخصصة ومن قبل خبراء مؤهلين.

ف

الفترة الزمنية Time interval الزمن النهائي مطروحًا منه الزمن الابتدائي.

الفيـــزياء physics فرع العلوم المعنّي بدراسة العالَم الطبيعي: الطاقة والمادة وكيفية ارتباطهما.

ق

قانون نيوتن الأول Newton's first law الجسم الساكن يبقى ساكنًا، والجسم المتحرك يبقى متحركًا في خط مستقيم وبسرعة منتظمة فقط، إذا كانت محصلة القوى المؤثرة فيه تساوي صفرًا.

قانون نيوتن الثالث Newton's third law جميع القوى تظهر على شكل أزواج، وقوّتا كل زوج تؤثران في جسمين مختلفين، وهما متساويتان في المقدار، ومتعاكستان في الاتجاه.

قانون نيوتن الثاني Newton's secand law تسارع الجسم يساوي محصلة القوى المؤثرة فيه مقسومة على كتلة الجسم.

القصور الذاتي Inertia خاصية للجسم لممانعة أي تغيير في حالته الحركية.

قوة الشد Tension اسم يطلق على القوة التي يؤثر بها خيط أو حبل في جسم ما.

القوة Force سحب أو دفع يؤثر في الأجسام ويسبب تغيرًا في الحركة مقدارًا واتجاهًا.

قوة التلامس Contact force قوة تتولد عندما يلامس جسم من المحيط الخارجي النظام.

القوة العمودية Normal force قوة تلامس يؤثر بها سطح بشكل عمودي في جسم آخر.

القوة المحصلة Net force القوة التي تعمل عمل مجموعة من القوى مقدارًا واتجاهًا وتساوي ناتج الجمع الاتجاهي جميع القوى المؤثرة في الجسم.

المصطلحات

قوة المجال Field force قوة تؤثر في الأجسام بغض النظر عن وجود تلامس فيما بينها؛ كالمغناطيسات التي تؤثر في الأجسام دون ملامستها.

القوة المعيقة Drag force هي قوة الممانعة التي يؤثر بها المائع في جسم يتحرك خلاله، وتعتمد على حركة الجسم وعلى خصائص كل من الجسم والمائع.

القياس Measurement المقارنة بين كمية مجهولة وأخرى معيارية.

ك

الكميات العددية (قياسية) Scalar quantities كميات فيزيائية تكون أعدادًا لا اتجاه لها.

الكميات المتجهة Vector quantities كميات فيزيائية لها مقدار واتجاه.

م

معامل التحويل Conversion Factor معامل ضرب يساوي واحدًا صحيحًا.

المتجهات Vectors كميات لها مقدار واتجاه مثل: الموقع والسرعة.

المحصلة Resultant المتجه الناتج عن جمع متجهين آخرين أو أكثر، وهو يشير دائمًا من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الآخر.

مخطط الحركة التصويري Picturing Motion diagram الصور المتتابعة التي تُظهر مواقع جسم متحرك في فترات زمنية متساوية.

مخطط الجسم الحر Free-body diagram نموذج فيزيائي يمثل القوى المؤثرة في نظام ما.

المسافة distance كمية عددية تصف بعد الجسم عن نقطة الأصل.

منحنى (السرعة المتجهة-الزمن) Velocity-time graph الرسم البياني الذي يمثل تغير السرعة المتجهة بدلالة الزمن، وتحديد إشارة تسارع الجسم المتحرك.

منحنى (الموقع-الزمن) Position - time graph رسم بياني يستخدم في تحديد موقع الجسم وحساب سرعته المتجهة، وتحديد نقاط التقاء جسمين متحركين. ويرسم بتثبيت بيانات الزمن على المحور الأفقي وبيانات الموقع على المحور الرأسي.

الموقع Position البُعد بين الجسم ونقطة الأصل، ويمكن أن يكون موجبًا أو سالبًا.

الموقع اللحظي Instantaneous position موقع الجسم عند لحظة زمنية معينة.

المصطلحات

ن

النظام الدولي للوحدات Système international d'unités نظام وحدات لقياس الكميات وهو الأشهر في العالم.

النظام الإحداثي Coordinate system نظام يستخدم لوصف الحركة بحيث يحدد موقع نقطة الصفر للمتغير المدروس، والاتجاه الذي تتزايد فيه قيم المتغير.

نقطة الأصل Origin هي النقطة التي تكون عندها قيمة كل من المتغيرين صفرًا.

نموذج الجسيم النقطي Particle model تمثيل لحركة الجسم بوساطة سلسلة متتابعة من النقاط المفردة.

و

الوزن الظاهري Apparent Weight مقدار القوة التي يضغط بها الجسم على السطح الموضوع عليه.

مطبعة أوال
awalpress

التعليم
مستقبل البحرين