الوحدة الثالثة

الحركة المتسارعة

٣-١ معنى التسارع $(\vec{a})$ و ٣-٢ وحدات قياس التسارع

التسارع: هو معدل تغير السرعة المتجهة لجسم ما.

أي أن التسارع يساوي التغير في السرعة المتجهة مقسوما على الزمن.

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v} - \vec{u}}{t}$$

حيث $(\vec{u})$ هي السرعة المتجهة الابتدائية و $(\vec{v})$ هي السرعة المتجهة النهائية.

وعندما تكون الحركة في اتجاه واحد تصبح المعادلة:

$$a = \frac{v - u}{t}$$

والتسارع كمية متجهة لأنه مرتبط بالسرعة المتجهة. ووحدته تعطى دائما بالوحدة القياسية في النظام الدولي للوحدات: $m\ s^{-2}$.

بعض الأمثلة لجسم يتسارع:

تزايد مقدار السرعة المتجهة - تناقص مقدار السرعة المتجهة - بدء الحركة من السكون - توقف جسم متحرك - تغير اتجاه الحركة.

مثال

١. يتباطأ قطار من $(60\ m\ s^{-1})$ إلى $(20\ m\ s^{-1})$ خلال $(50\ s)$. احسب مقدار تباطؤ القطار.

الخطوة ١: ابدأ بكتابة ما تعرفه، ثم ما تريد أن تعرفه.

السرعة الابتدائية: $u = 60\ m\ s^{-1}$

السرعة النهائية: $v = 20\ m\ s^{-1}$

الزمن: $t = 50\ s$

تباطؤ القطار: $a = ?$

الخطوة ٢: انتبه! ستكون السرعة النهائية للقطار أقلّ من سرعته الابتدائية، ولضمان وصولك إلى

الإجابة الصحيحة استخدم المعادلة الآتية لحساب (a):

$$a = \frac{v - u}{t}$$

$$= \frac{20 - 60}{50} = \frac{-40}{50}$$

$$a = -0.80\ m\ s^{-2}$$

تدلّ الإشارة السالبة (تسارع سالب) على أن سرعة القطار تتناقص أي أنه يتباطأ، ومقدار التباطؤ يساوي $(0.80\ m\ s^{-2})$.

أسئلة

١) تتسارع سيارة ابتداءً من السكون، فتصل سرعتها المتجهة إلى ($18\ m\ s^{-1}$) بعد مضي ($6.0\ s$). احسب تسارعها.

٢) يضغط محمود برفق على فرامل سيارته، فتتباطأ سرعتها من ($23\ m\ s^{-1}$) إلى ($11\ m\ s^{-1}$) خلال ($20\ s$). احسب تباطؤ السيارة. (لاحظ أن السيارة تتباطأ، لذلك يكون تسارعها سالبًا).

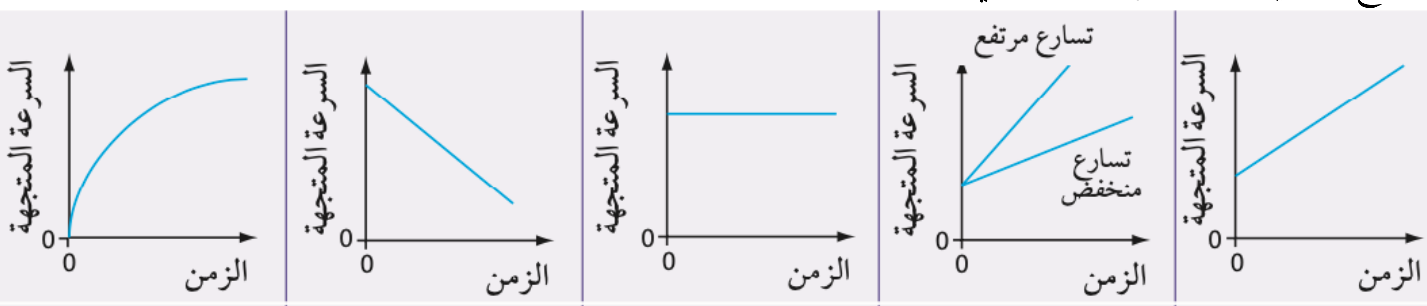
٣) أُسقِط حجر من أعلى جرف صخري، فتسارع بمقدار ($9.81\ m\ s^{-2}$)، فما مقدار سرعته:

أ. بعد ($1.0\ s$)؟

ب. بعد ($3.0\ s$)؟

٣-٣ استنتاج التسارع

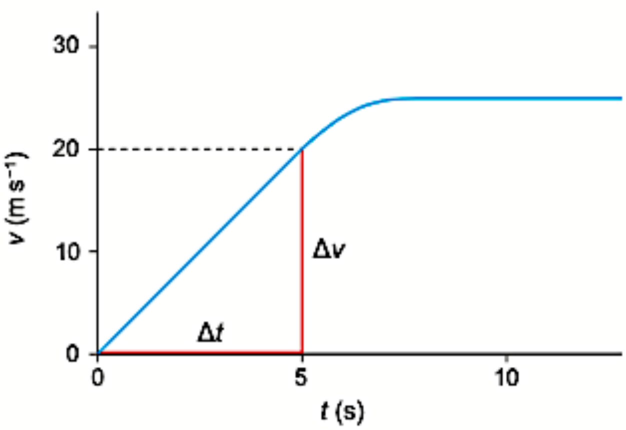
التسارع يساوي **ميل** منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة - الزمن).



يبيّن الخطّ المستقيم والميل الموجب أن التسارع ثابت وموجب.	كلما ازداد الميل، ازداد التسارع.	عندما تكون السرعة ثابتة، فإن التسارع يكون صفرًا ($a = 0$).	تتناقص سرعة الجسم ويبيّن الميل السالب تباطؤًا (a سالب).	تغيّر الميل يعني أن التسارع يتغير.

في الشكل المقابل: بحساب ميل الخط المستقيم (أي خلال الجزء الأول من المنحنى) نحصل على التسارع.

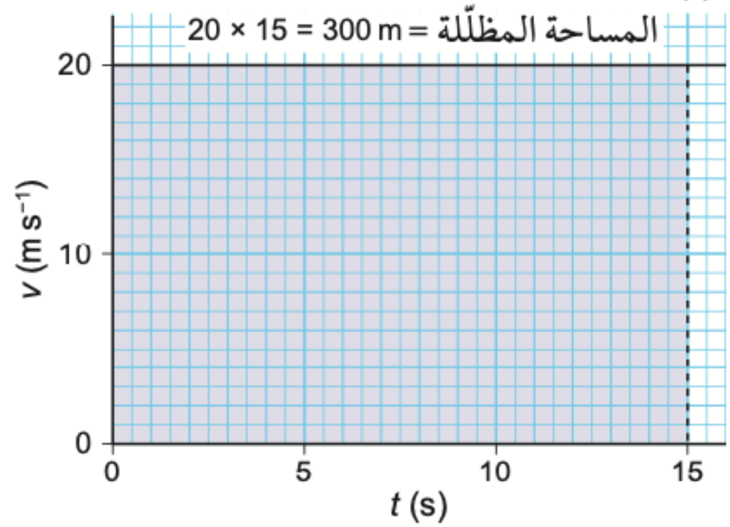
$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{20 - 0}{5 - 0} = 4.0\ \text{m s}^{-2}$$



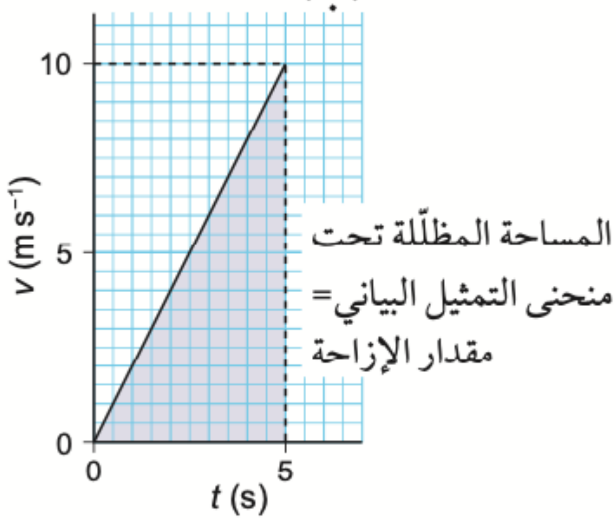
٣-٤ استنتاج مقدار الإزاحة

مقدار الإزاحة يساوي **المساحة تحت** منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة - الزمن).

(أ)



(ب)



- عندما تكون المساحة تحت المنحنى على شكل مثلث يكون: مقدار الإزاحة = $\frac{1}{2}$ × القاعدة × الارتفاع
- وعندما تكون على شكل مستطيل يكون: مقدار الإزاحة = الطول × العرض
- وعندما تكون غير ذلك فإننا نقسمها إلى مثلثات ومستطيلات، نجمع مساحاتهم لنحصل على مقدار الإزاحة.

أسئلة

٤ يقود محمد شاحنته بأقصى سرعة مسموح بها على طريق سريع، وبعد فترة من الزمن لفت انتباهه من بعيد وميض ضوء ينذر بخطر، فأبطأ سرعته تدريجيًا بتباطؤ منتظم حيث أدرك أن حادثًا قد وقع، الأمر الذي أجبره على التوقّف مع تباطؤ منتظم أكبر من التباطؤ السابق. ارسم منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة–الزمن) لحركة هذه الشاحنة.

٥ يبيّن الجدول ٣-١ كيفية تغيّر السرعة المتجهة لسائق درّاجة نارية أثناء تجربة السرعة على طول طريق مستقيم.

السرعة المتجهة (m s⁻¹)	0	15	30	30	20	10	0
الزمن (s)	0	5	10	15	20	25	30

الجدول ٣-١ بيانات السرعة المتجهة لسائق درّاجة نارية.

أ. ارسم منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة–الزمن) لسائق الدرّاجة.

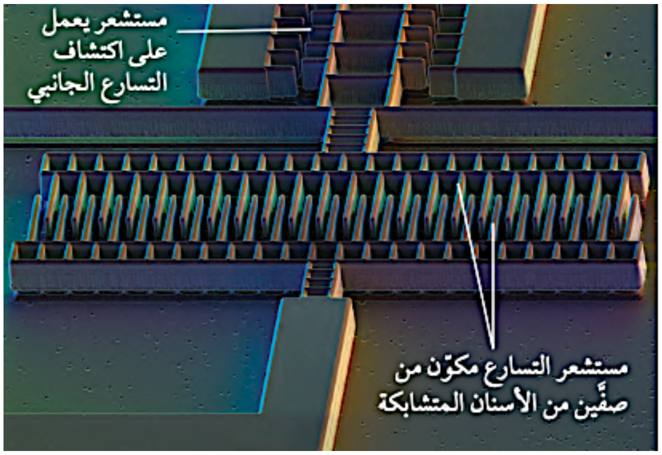
ب. استنتج من الجدول تسارع سائق الدرّاجة النارية خلال أوّل (10 s).

ج. تحقّق من إجابتك بإيجاد ميل خطّ التمثيل البياني خلال أول (10 s).

د. احسب تسارع سائق الدرّاجة النارية خلال آخر (15 s).

هـ. استخدم التمثيل البياني لإيجاد مقدار الإزاحة الكلّية المقطوعة خلال تجربة السرعة.

٣-٥ تطبيقات عملية على التسارع



يوجد مستشعر تسارع صغير جدا (ميكروي) داخل نظام السيارة لكشف التسارع والتباطؤ الكبيرين.

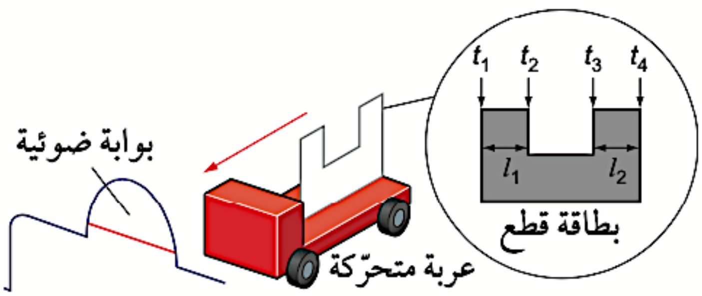
عند وقوع الحادث يولد المستشعر فرق جهد كبير يؤدي إلى انتفاخ الوسادة الهوائية. يوجد مستشعر جانبي يعمل في حال حدوث اصطدام جانبي.

عند انحراف السيارة عن مسارها أو انزلاقها على الطرق الجليدية ينشط مستشعر مانع الانزلاق أنظمة التحكم بالمكابح.

٣-٦ تحديد السرعة المتجهة والتسارع في المختبر

هذا المقطع مفيد في فهم هذا الدرس: https://www.youtube.com/watch?v=B6RosYgpKII

القياس باستخدام بوابة ضوئية واحدة:



1- يتم تسجيل الأزمنة (t_1, t_2, t_3, t_4) عند عبور الحافات الأربعة من بطاقة القطع عبر البوابة الضوئية كما هو موضح بالشكل.

2- يتم حساب كل من السرعتين المتوسطتين u, v كالتالي:

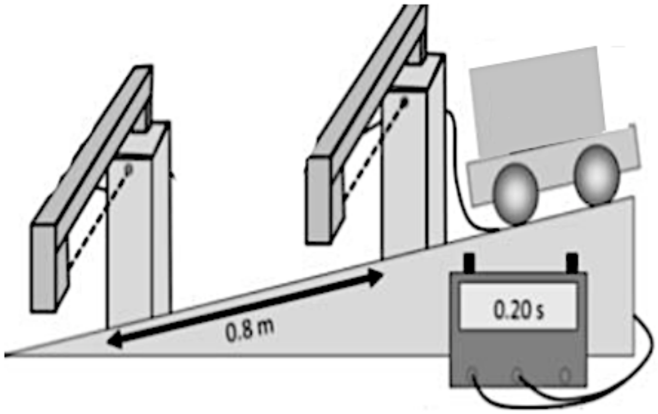
$$u = \frac{l_1}{t_2 - t_1} \qquad v = \frac{l_2}{t_4 - t_3}$$

3- ثم حساب القيمة التقريبية للتسارع كالتالي:

$$a = \frac{v - u}{t_3 - t_1}$$

هذه الطريقة تعطي القيمة التقريبية للتسارع لأن كلا من u, v عبارة عن سرعة متوسطة خلال فترة زمنية وليست سرعة لحظية. وللحصول على قيمة أكثر دقة للتسارع يجب حساب السرعتين اللحظيتين u, v (أي سرعة العربة لحظة قطع الحزمة الضوئية عند كل من الزمنين (t_1, t_3).

القياس باستخدام بوابتين ضوئيتين وبطاقة قطع واحدة طولها (l):



1- يتم تسجيل الأزمنة كالتالي:
- (t_1) عندما تقطع الحافة الأمامية لبطاقة القطع البوابة الأولى.
- (t_2) عندما تقطع الحافة الخلفية لبطاقة القطع البوابة الأولى.
- (t_3) عندما تقطع الحافة الأمامية لبطاقة القطع البوابة الثانية.
- (t_4) عندما تقطع الحافة الخلفية لبطاقة القطع البوابة الثانية.

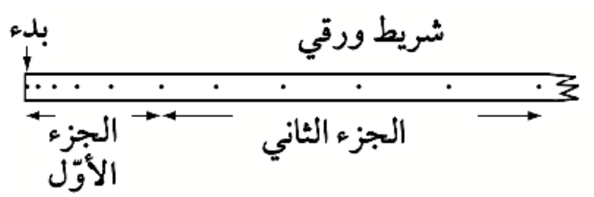
2- يتم حساب كل من السرعتين المتوسطتين u, v كالتالي:

$$u = \frac{l}{t_2 - t_1} \qquad v = \frac{l}{t_4 - t_3}$$

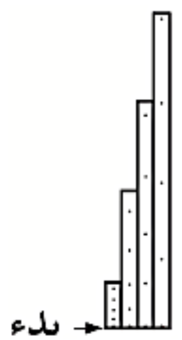
3- ثم حساب القيمة التقريبية للتسارع كالتالي:

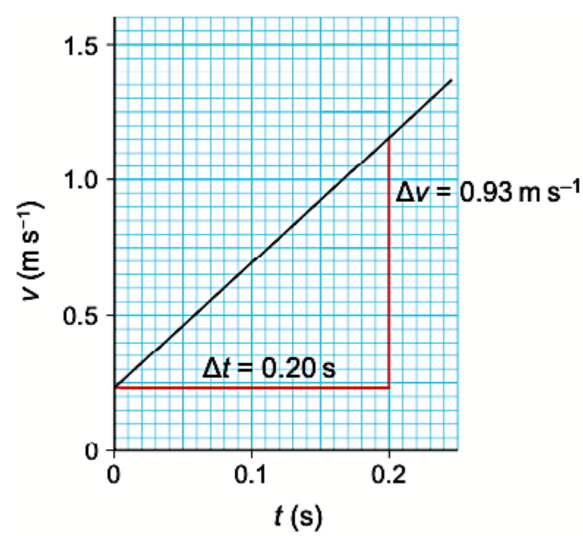
$$a = \frac{v - u}{t_3 - t_1}$$

القياس باستخدام شريط النابض الزمني



- الشريط مقسم إلى أجزاء.
- كل جزء يتكون من 5 فترات زمنية (لذا يظهر عليه 6 نقاط).
- مدة الفترة الزمنية بين كل نقطتين متجاورتين (0.02 s).
- لذا يستغرق الجزء الواحد من الشريط ($0.02 \times 5 = 0.10$ s).
- يتم تقطيع هذا الشريط ليكون كل جزء على حدة . كما يظهر بالشكل المقابل.
- وضع هذه الأجزاء جنبا إلى جنب يعطي تصوّرا لمنحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة - الزمن).
- طول الجزء الواحد يساوي مقدار الإزاحة الكلية في مدة الـ (0.10 s).
- وبالتالي يمكننا حساب السرعة المتجهة المتوسطة خلال هذه الـ (0.10 s).
- وبتكرار ذلك لكل جزء من الشريط يمكن رسم منحنى التمثيل البياني السرعة المتجهة الزمن).
- الجدول والتمثيل البياني التاليان يوضحان مثالا للبيانات التي تم اخذها من شريط نابض زمني.





جزء الشريط	الزمن عند البداية (s)	الفترة الزمنية (s)	طول جزء الشريط (cm)	السرعة المتّجهة (m s⁻¹)
1	0.0	0.10	2.3	0.23
2	0.10	0.10	7.0	0.70
3	0.20	0.10	11.6	1.16

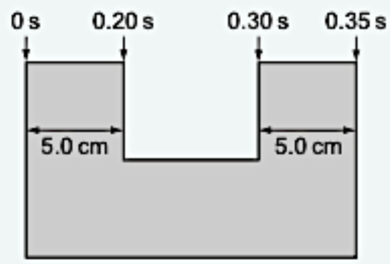
القياس باستخدام مجس الحركة

دقته ضعيفة نسبيًا، لأنه يستنتج السرعة المتجهة من قياسات الموقع، ثم يحسب التسارع من قيم السرعة المتجهة.

أسئلة

٦) ارسم مقطعًا من شريط النابض الزمني لعربة تنتقل بسرعة متجهة ثابتة ثم تتباطأ.

٧) يبيّن الشكل ٣-٨ أبعاد بطاقة قطع مع الأزمنة المسجّلة أثناء مرورها من خلال بوابة ضوئية. استخدم هذه القياسات لحساب تسارع البطاقة (اتبع الخطوات الموضحة في المهارة العملية ٣-١).



الشكل ٣-٨ أبعاد بطاقة قطع.

٨) جزءان متجاوران سداسيّا النقاط (5 فترات زمنية) من شريط النابض يقيسان مسافة (10 cm) و (16 cm) على التوالي، والفاصل الزمني بين النقاط المتتالية هو (0.02 s). استنتج تسارع العربة التي أنتجت هذا الشريط.

٣-٧ معادلات الحركة الخطية (معادلات سوفات)

هي أربع معادلات يمكن من خلالها حساب (s, t, u, v, a). ويجب أن تختار المعادلة المناسبة منها لحساب المطلوب.

وهذه المعادلات لا تستخدم إلا في حالتين:

1 - حركة جسم في خط مستقيم.

2 - حركة جسم بتسارع ثابت.

التسارع الثابت: هو التسارع عندما تتغير السرعة المتجهة بمقادير متساوية في أزمنة متساوية، ويسمى أيضا التسارع المنتظم.

١	$v = u + at$
٢	$s = \left(\frac{u+v}{2}\right)t$
٣	$s = ut + \frac{1}{2}at^2$
٤	$v^2 = u^2 + 2as$

أمثلة

٢. **ينطلق الصاروخ الموضح في الصورة ٣-٣ من السكون بتسارع ($20\ m\ s^{-2}$). احسب سرعته المتّجهة بعد مرور ($50\ s$).**

الخطوة ١: ابدأ بكتابة ما تعرفه، ثم ما تريد أن تعرفه.

السرعة الابتدائية: $u = 0\ m\ s^{-1}$

التسارع: $a = 20\ m\ s^{-2}$

الزمن: $t = 50\ s$

السرعة النهائية: $v = ?$

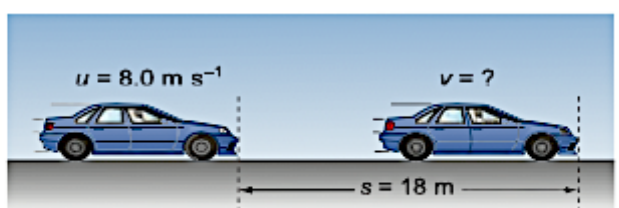
الخطوة ٢: المعادلة المناسبة التي تربط بين (u، و a، و t، و v) هي المعادلة ١:

$$v = u + at$$
$$= 0 + (20 \times 50)$$
$$v = 1000\ m\ s^{-1}$$

لذلك فالصاروخ سيتحرك بسرعة متجهة مقدارها ($1000\ m\ s^{-1}$) بعد مرور ($50\ s$). وهذا يبدو منطقيًا، لأن سرعته المتجهة تزيد بمقدار ($20\ m\ s^{-1}$) كل ثانية لمدة ($50\ s$).

يمكنك استخدام المعادلة نفسها لحساب الزمن الذي سيستغرقه الصاروخ ليصل إلى سرعة ($2000\ m\ s^{-1}$)، أو التسارع الذي يجب أن يصل به إلى سرعة ($1000\ m\ s^{-1}$) خلال ($40\ s$) وهكذا.

٣. **تسير السيارة المبيّنة في الشكل ٣-٩ على طول طريق مستقيم ابتداءً من سرعة ($8.0\ m\ s^{-1}$)، وبتسارع ($1.0\ m\ s^{-2}$) لمسافة ($18\ m$). ما السرعة التي ستسير بها السيارة بعد ذلك؟**



الشكل ٣-٩ تتسارع هذه السيارة مسافة قصيرة أثناء حركتها.

يجب علينا في هذه الحالة استخدام معادلة مختلفة، لأننا نعرف تسارع السيارة أثناء اجتيازها المسافة وليس الزمن.

الخطوة ١: ابدأ بكتابة ما تعرفه، ثم ما تريد أن تعرفه.

السرعة الابتدائية: $u = 8.0\ m\ s^{-1}$

التسارع: $a = 1.0\ m\ s^{-2}$

مقدار الإزاحة: $s = 18\ m$

السرعة النهائية: $v = ?$

الخطوة ٢: المعادلة المناسبة التي نحتاج إليها هي المعادلة ٤:

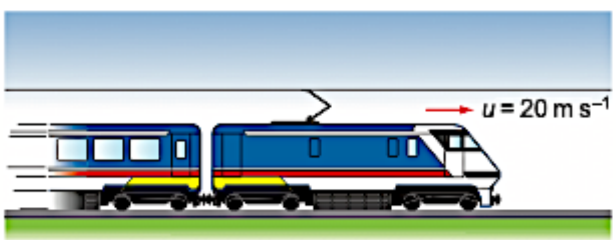
$$v^2 = u^2 + 2as$$
$$= 8.0^2 + (2 \times 1.0 \times 18)$$
$$v^2 = 64 + 36 = 100\ m^2\ s^{-2}$$

بأخذ الجذر التربيعي، نحصل على:

$$v = 10\ m\ s^{-1}$$

لذلك، ستتحرّك السيارة بسرعة ثابتة ($10\ m\ s^{-1}$) عندما تتوقف عن التسارع.

٤. **يسير قطار (الشكل ٣-١٠) بسرعة ابتدائية ($20\ m\ s^{-1}$)، ثم يتسارع بمقدار ($0.50\ m\ s^{-2}$) لمدة ($30\ s$). احسب المسافة التي سيقطعها القطار في هذا الزمن.**



الشكل ٣-١٠ يتسارع هذا القطار لمدّة ($30\ s$).

الخطوة ١: ابدأ بكتابة ما تعرفه، ثم ما تريد أن تعرفه.

السرعة الابتدائية: $u = 20\ m\ s^{-1}$

التسارع: $a = 0.50\ m\ s^{-2}$

الزمن: $t = 30\ s$

المسافة: $s = ?$

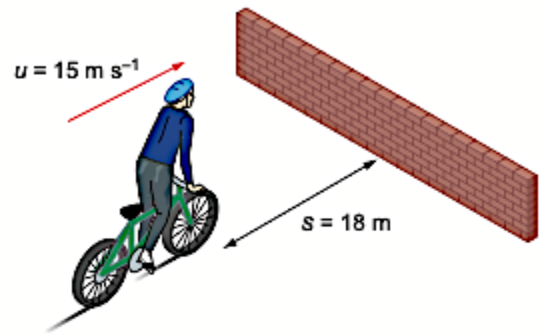
الخطوة ٢: المعادلة المناسبة التي نحتاج إليها هي المعادلة ٣:

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$
$$= (20 \times 30) + \frac{1}{2} \times 0.5 \times (30)^2$$
$$s = 600 + 225 = 825\ m$$

لذلك فإن القطار سيقطع مسافة ($825\ m$) خلال تسارعه.

تابع

٥. **يتحرك سائق الدراجة في الشكل ٣-١١ بسرعة ($15\ m\ s^{-1}$)، ثم يضغط على المكابح حتى لا يصطدم بجدار. احسب مقدار تباطئه.**



الشكل ٣-١١ يقوم سائق الدراجة بالضغط على المكابح لتفادي الاصطدام بالجدار.

يوضح هذا المثال أنه من الضروري في بعض الأحيان إعادة ترتيب المعادلة، كي نحدّد الكمّية المجهولة، ومن الأسهل إجراء ذلك قبل تعويض القيم.

الخطوة ١: ابدأ بكتابة ما تعرفه، ثم ما تريد أن تعرفه.

السرعة الابتدائية: $u = 15\ m\ s^{-1}$

السرعة النهائية: $v = 0\ m\ s^{-1}$

المسافة: $s = 18\ m$

التسارع: $a = ?$

الخطوة ٢: المعادلة المناسبة التي نحتاج إليها هي المعادلة ٤:

$$v^2 = u^2 + 2as$$

$$a = \frac{v^2 - u^2}{2s}$$

$$= \frac{0^2 - 15^2}{2 \times 18}$$

$$a = \frac{-225}{36}$$

$$a = -6.25\ m\ s^{-2} \approx -6.3\ m\ s^{-2}$$

لذلك يجب على سائق الدراجة أن يضغط على المكابح بقوّة لتحقيق تباطؤ مقداره ($6.3\ m\ s^{-2}$)، وتُبيِّن الإشارة السالبة أن تسارع الدرّاجة سالب؛ بمعنى آخر أن الدراجة تتباطأ.

أسئلة

(٩) بدأت سيارة حركتها من السكون بتسارع ثابت ($2.0\ m\ s^{-2}$):

أ. احسب سرعة السيارة بعد مرور ($10\ s$).

ب. احسب المسافة التي ستقطعها السيارة خلال ($10\ s$).

ج. احسب الزمن الذي تستغرقه السيارة للوصول إلى سرعة ($24\ m\ s^{-1}$).

(١٠) يتسارع قطار باطّراد من ($4.0\ m\ s^{-1}$) إلى ($20\ m\ s^{-1}$) خلال ($100\ s$):

أ. احسب تسارع القطار.

ب. احسب السرعة المتوسطة للقطار من سرعته الابتدائية والنهائية.

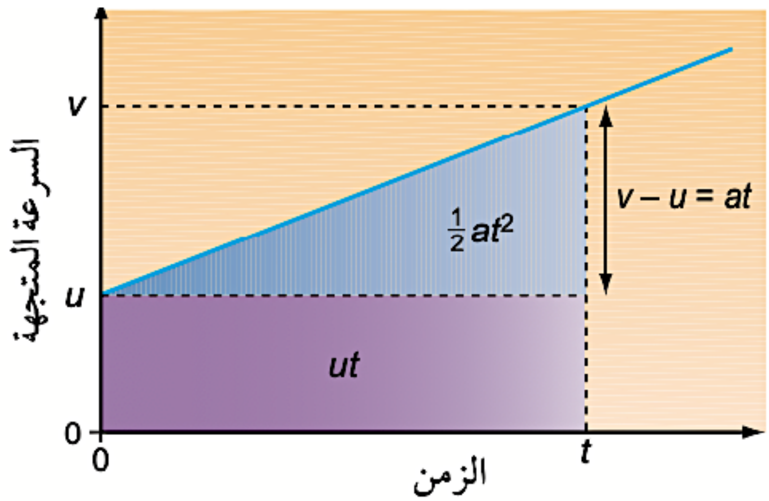
ج. احسب المسافة التي سيقطعها القطار خلال ($100\ s$).

أسئلة

(١١) تُظهر تجارب على سطح طريق جديد أنه عندما تنزلق سيارة ثمّ تتوقف، فإن تسارعها يكون ($-7.0\ m\ s^{-2}$). حدّد مقدار مسافة الانزلاق حتى التوقف لسيارة تسير بالحد الأقصى للسرعة وهي ($30\ m\ s^{-1}$) (تقريبًا $110\ km\ h^{-1}$) أو ($70\ mph$) 70 ميل لكل ساعة).

(١٢) وجدت الشرطة في مكان وقوع حادث على طريق ريفي علامات ناجمة عن إطارات سيارة منزلقة تمتدّ مسافة ($50\ m$)، وبيّنت الاختبارات على سطح الطريق أن السيارة المنزلقة تباطأت بمقدار ($6.5\ m\ s^{-2}$). هل تجاوزت السيارة المنزلقة الحد الأقصى للسرعة وهو ($25\ m\ s^{-1}$) –ما يعادل ($90\ km\ h^{-1}$)– على ذلك الطريق؟

٨-٣ اشتقاق معادلات الحركة الخطية



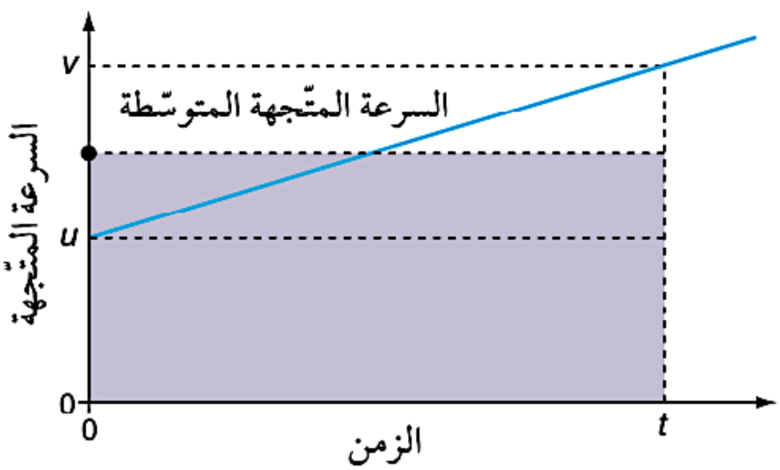
اشتقاق المعادلة (١):

من التمثيل البياني المقابل: ميل الخط المستقيم يساوي التسارع. أي أن:

$$a = \frac{v - u}{t}$$

وبإعادة ترتيب هذه المعادلة نحصل على:

$$v = u + at$$



اشتقاق المعادلة (٢):

من التمثيل البياني المقابل: السرعة المتجهة المتوسطة للجسم تقع في منتصف المسافة بين (u) و (v) على محور الصادات. لذلك، فإن السرعة المتجهة المتوسطة للجسم تساوي:

$$\frac{v + u}{2}$$

ومنها نستطيع إيجاد مقدار الإزاحة بحساب المساحة الواقعة تحت منحنى كالتالي:

$$s = \left(\frac{u + v}{2}\right)t$$

اشتقاق المعادلة (٣):

بالتعويض بقيمة (v) من المعادلة $(v = u + at)$ في المعادلة $(s = \left(\frac{u+v}{2}\right)t)$ نحصل على:

$$s = \left(\frac{u + u + at}{2}\right)t = \frac{2ut}{2} + \frac{at^2}{2} = ut + \frac{1}{2}at^2$$

وهذا يتوافق مع طريقة حساب المساحة تحت المنحنى في الشكل الموضح أعلاه.

اشتقاق المعادلة (٤):

بالتعويض بقيمة (t) من المعادلة $(v = u + at)$ في المعادلة $(s = \left(\frac{u+v}{2}\right)t)$ نحصل على:

$$s = \left(\frac{u+v}{2}\right)\left(\frac{v-u}{a}\right)$$

وبإعادة ترتيب هذه المعادلة نحصل على:

$$2as = (u+v)(v-u) = v^2 - u^2$$

وبإعادة ترتيب هذه المعادلة نحصل على:

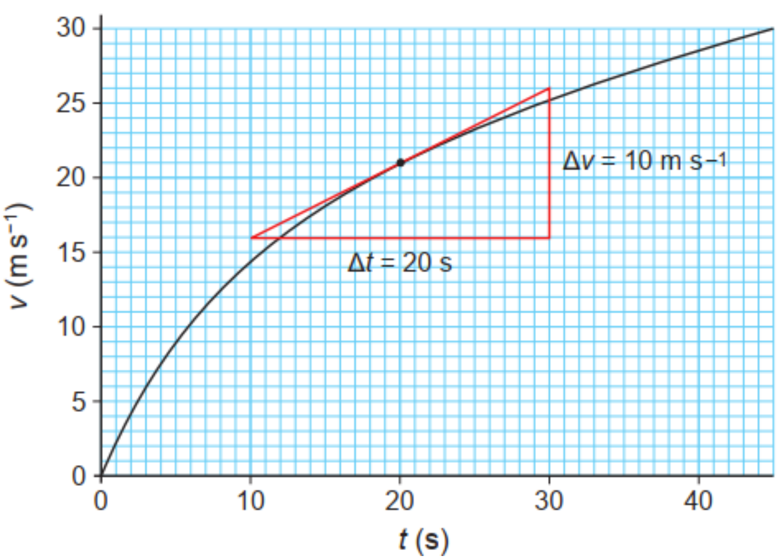
$$v^2 = u^2 + 2as$$

٣-٩ التسارع المنتظم وغير المنتظم

تذكر التسارع المنتظم (الثابت):

- يحدث عندما تتغير سرعة الجسم بمقادير متساوية كل ثانية.
- يظهر في التمثيل البياني (السرعة المتجهة – الزمن) على شكل خط مستقيم.
- ميله ثابت عند جميع الأزمنة ويحسب بقسمة فرق الصادات على فرق السينات لأي نقطتين على الخط.
- يمكن إيجاد التغير في الإزاحة بحساب المساحة تحت المنحنى والتي يمكن تقسيمها على مثلثات ومستطيلات.

التسارع غير المنتظم:

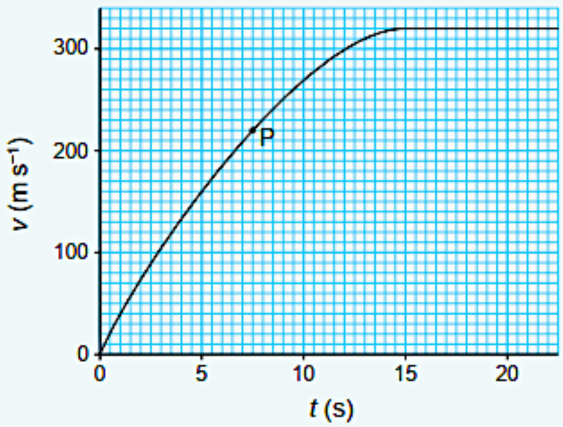


- يحدث عندما تتغير سرعة الجسم بمقادير غير متساوية كل ثانية.
- يظهر في التمثيل البياني (السرعة المتجهة – الزمن) على شكل خط غير مستقيم.
- ميله قد يتغير عن كل نقطة لذا فإنه يحسب عند كل نقطة بحساب ميل المماس عندها (انظر الشكل).
- يمكن إيجاد التغير في الإزاحة بحساب المساحة تحت المنحنى بحساب عدد المربعات الصغيرة في صفحة التمثيل البياني (المساحة تحت المنحنى في الفترة 20 s – 0 في الشكل المقابل تعادل 250 تقريبا مما يعني أن الإزاحة في هذه الفترة تساوي 250 m حيث المربع الواحد يعادل 1 m).

(١٣) يوضح منحنى التمثيل البياني في الشكل ٣–١٥ حركة جسم ما بتسارع متغيّر. ضع المسطرة بمحاذاة منحنى التمثيل البياني بحيث تكون مماسّية للمنحنى عند النقطة P.

أ. ما قيمة كل من الزمن والسرعة المتجهة عند تلك النقطة؟

ب. احسب مقدار تسارع الجسم عند تلك النقطة.



الشكل ٣–١٥ حركة جسم ما بتسارع متغيّر.

(١٤) يوضح منحنى التمثيل البياني (السرعة المتّجهة–الزمن) (الشكل ٣–١٦) حركة سيارة على طول طريق مستقيم خلال مدّة زمنية مقدارها (30 s).

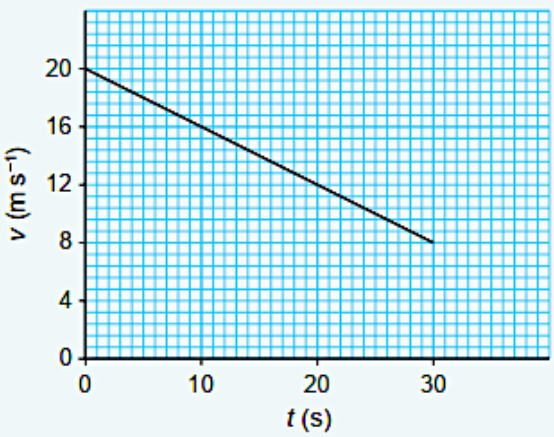
أ. صِف حركة السيارة.

ب. حدّد من التمثيل البياني كلًا من السرعة المتجهة الابتدائية للسيارة، وسرعتها المتجهة النهائية خلال المدّة (30 s).

ج. احسب تسارع السيارة.

د. جد مقدار إزاحة السيارة بحساب المساحة تحت منحنى التمثيل البياني.

هـ. تحقّق من إجابتك عن الجزئية (د) بحساب مقدار إزاحة السيّارة باستخدام المعادلة: $s = ut + \frac{1}{2}at^2$.



الشكل ٣–١٦ حركة سيّارة على طريق مستقيم.

٣-١٠ التسارع بسبب الجاذبية الأرضية

الشكل المقابل يوضح مخططا لصورة ستروبسكوبية (أي عدة لقطات خلال فترات زمنية متساوية) لكرة تسقط.
يمكنك أن تلاحظ أن المسافات بين اللقطات المتتالية تزداد كلما اقتربت الكرة من الأرض مما يعني أن سرعتها تزداد كلما اقتربت من الأرض أي أنها تتسارع.

السقوط الحر: يحدث عندما يتسارع جسم بسبب الجاذبية الأرضية في حال عدم وجود أية قوى أخرى مثل مقاومة الهواء. ومقدار تسارعه يساوي $9.8\ \mathrm{m\ s^{-2}}$ ويرمز له بالرمز g.

تحديد الإشارات السالبة والموجبة:

يكون **التسارع موجبا**: إذا افترضت أن الأسفل هو الاتجاه الموجب.

يكون **التسارع سالبا**: إذا افترضت أن الأعلى هو الاتجاه الموجب.

(١٥) إذا أسقطت حجرًا من حافة جرف صخري بسرعة ابتدائية ($u = 0$)، فإنه سيسقط بتسارع ($g = 9.81\ m\ s^{-2}$). يمكنك حساب المسافة (s) التي سيقطعها الحجر في زمن معيّن (t) باستخدام معادلات الحركة الخطّية.

أ. أكمل الجدول ٣-٣، الذي يبيّن كيف تعتمد (s) على (t).

الزمن (s)	0	1.0	2.0	3.0	4.0
المسافة (m)	0	4.9			

الجدول ٣-٣ بيانات الزمن (t) والمسافة (s).

ب. ارسم منحنى التمثيل البياني (المسافة–الزمن).

ج. استخدم منحنى التمثيل البياني لإيجاد مسافة السقوط التي قطعها الحجر خلال (2.5 s).

د. استخدم منحنى التمثيل البياني لمعرفة الزمن الذي سيستغرقه الحجر حتى يسقط مسافة (40 m) إلى قاع الجرف. تحقق من إجابتك باستخدام المعادلات.

(١٦) سقطت حبة رُطَب من نخلة عن ارتفاع (8.0 m) من سطح الأرض:

أ. احسب الزمن المستغرق لوصول حبة الرطب إلى الأرض.

ب. احسب سرعة اصطدام حبة الرطب بالأرض.

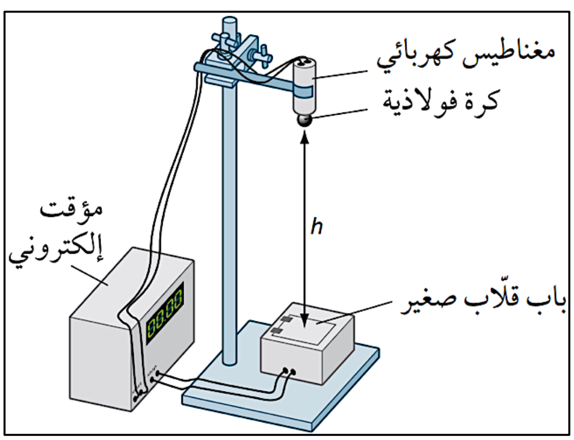
٣-١١ تحديد تسارع السقوط الحر

أ. طريقة القفز بحبل مرن

1. يبدأ المؤقت لحظة القفز ويتوقف عند اللحظة التي يبدا فيها الحبل بإبطاء السرعة.
2. نستخدم المعادلة $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ حيث u = 0 و s = L و a = g ونعيد ترتيبها لنحصل على مقدار التسارع (g):

$$g = \frac{2L}{t^2}$$

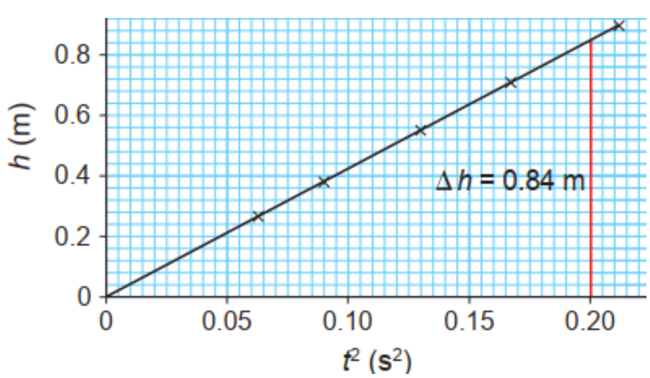
ب. باستخدام مؤقت إليكتروني



1. عند فصل التيار الكهربائي يتوقف المغناطيس الكهربائي فتبدأ الكرة بالسقوط ويبدأ المؤقت.
2. عند اصطدام الكرة بالباب القلاب يتوقف المؤقت.
3. نستخدم المعادلة $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ حيث u = 0 و s = h و g = a لنحصل على:

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

4. وبإعادة ترتيب تلك المعادلة نحصل عل (g): $g = \frac{2h}{t^2}$



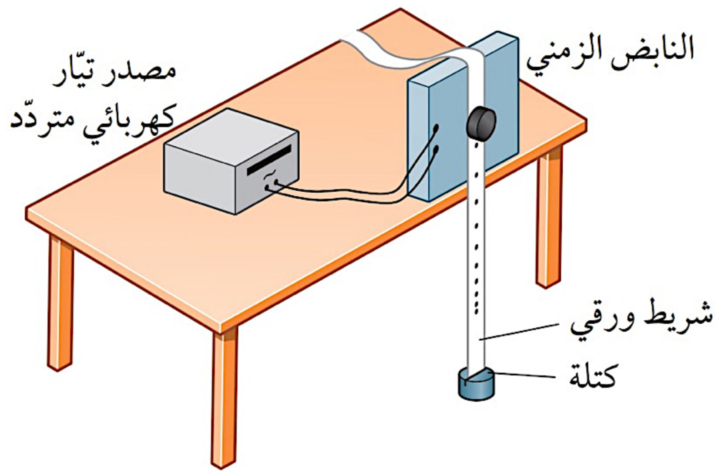
ولتحسين نتائج هذه التجربة:

1. نكررها لعدة قيم مختلفة لـ (h) ونسجل قيمة (t) في كل مرة.
2. نمثل العلاقة بين (h) و (t^2) بيانيا وفقا للمعادلة ($h = \frac{1}{2}gt^2$).
3. نحسب الميل والذي يساوي ($\frac{1}{2}g$) ومنه نحسب قيمة (g).

مصادر عدم اليقين في طريقة المؤقت الإليكتروني

- هناك خطأ عشوائي في تحديد الارتفاع (h) بالمسطرة مقداره (±1 mm).
- هناك خطا نظامي بسبب احتفاظ المغناطيس ببعض مغنطته حتى بعد فصل التيار الكهربائي مما يؤخر سقوط الكرة. وهذا يعطي أن يكون الزمن الذي يتم تسجيله أطول من القيمة الحقيقة وبالتالي تكون (g) أصغر من قيمتها الحقيقية.

ج. باستخدام النابض الزمني



1. خلال سقوط الكتلة يزداد التباعد بين النقاط باطراد مما يدل على أن الكرة تتسارع.
2. وبحساب السرعة النهائية بعد مرور زمن معين (t) كما درست من قبل يمكنك حساب (g).

مصادر عدم اليقين في طريقة النابض الزمني

- يوجد خطأ نظامي حيث إن الاحتكاك بين الشريط والنابض الزمني يبطئ سقوط الكرة مما يجعل تسارعها أقل من قيمته الحقيقية خاصة إذا كانت الكتلة المعلقة صغيرة.

مثال

٦. للحصول على قيمة تقريبية لـ (g)؛ أسقط طالب حجرًا من قمّة جرف صخري، ورصد طالب ثانٍ زمن سقوط الحجر باستخدام ساعة إيقاف، وكانت نتائجهما:

الارتفاع المقدّر للجرف = (30 m)

الزمن المقدّر للسقوط = (2.6 s)

استخدم النتائج لتقدير قيمة (g).

الخطوة ١: احسب السرعة المتوسطة للحجر.

السرعة المتوسطة للحجر أثناء سقوطه:

$$= \frac{30}{2.6} = 11.5\ \text{m s}^{-1}$$

الخطوة ٢: جِد قيمتَي (v) و (u):

السرعة الابتدائية: $u = 0\ \text{m s}^{-1}$

باستخدام السرعة المتوسطة = $\frac{u+v}{2}$ مع $u = 0$ لأن الحجر قد سقط من السكون.

السرعة النهائية: $v = 2 \times 11.5$

$= 23.0\ \text{m s}^{-1}$

الخطوة ٣: عوّض بهذه القيَم في معادلة التسارع:

$$a = \frac{v-u}{t}$$

$$= \frac{23.0}{2.6}$$

$$a = 8.8\ \text{m s}^{-2}$$

تابع

لاحظ أنه يمكنك الوصول إلى النتيجة نفسها مباشرة باستخدام $s = ut + \frac{1}{2}at^2$، ويجب علينا أن نفكّر في سبب كون الإجابة هنا أقلّ من القيمة المتوقّعة لـ ($g = 9.81\ \text{m s}^{-2}$)، إذ قد يكون هذا الجرف أكثر ارتفاعًا من تقدير الطالب، وربّما لم يكن تشغيل ساعة الإيقاف أو إيقافها دقيقًا، فضلًا عن وجود مقاومة للهواء والتي تبطئ سقوط الحجر.

(١٧) أُسقطت كرة فولاذية من السكون من ارتفاع (2.10 m)، وسجِّل مؤقت إلكتروني زمن سقوطها فكان (0.67 s):

أ. احسب تسارع الكرة أثناء سقوطها.

ب. اقترح أسباب عدم الوصول إلى القيمة المتوقّعة في الجزئية (أ) لـ ($9.81\ m\ s^{-2}$).

ج. افترض أن الارتفاع قيسَ بدقّة، لكن الزمن قيس بقيمة عدم يقين يساوي (±0.02 s). احسب النسبة المئوية لعدم اليقين في الزمن والنسبة المئوية لعدم اليقين في التسارع. يمكنك القيام بذلك بتكرار حساب (g) باستخدام الزمنين (0.69 s , 0.65 s). (كما يمكنك معرفة المزيد عن عدم اليقين من الوحدة الأولى).

(١٨) في تجربة لتحديد التسارع بسبب الجاذبية، قيسَ زمن سقوط كُرة من السكون من ارتفاع (*h*) إلكترونيًا، وبالتالي تمّ الحصول على الأزمنة (*t*) التي تظهر في الجدول ٣-٥:

أ. ارسم التمثيل البياني (*h*) بدلالة (t^2).

ب. جِد تسارع السقوط الحر (*g*) من التمثيل البياني.

ج. قيّم إجابتك.

الارتفاع *h* (m)	0.70	1.03	1.25	1.60	1.99
الزمن *t* (s)	0.99	1.13	1.28	1.42	1.60

الجدول ٣-٥ بيانات الارتفاع (*h*) والزمن (*t*).

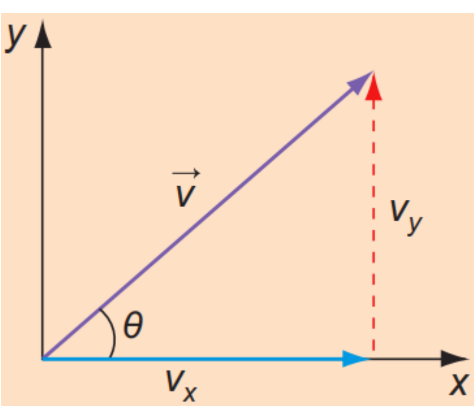
٣-١٢ الحركة في بعدين: المقذوفات

الصورة الستروبسكوبية في الشكل المقابل لكرة مقذوفة نلاحظ فيها ما يلي:

- المسافات الرأسية بين اللقطات المتتالية تزداد في الأسفل وتقل في الأعلى مما يعني أن الكرة تتسارع أثناء سقوطها وتتباطأ أثناء صعودها لأن قوة الجاذبية تعمل رأسيا. مقدار هذا التسارع هو (g).
- المسافات الأفقية بين اللقطات المتتالية متساوية لأن قوة الجاذبية لا تعمل أفقيا.
- يمكننا التعامل مع الحركتين الرأسية والأفقية بشكل مستقل.

تحليل المتجه إلى مركبتين

لدراسة الحركة في بعدين نقوم بتحليل متجه السرعة إلى مركبتين متعامدتين (غالبا ما تكون إحداهما أفقية والثانية رأسية).



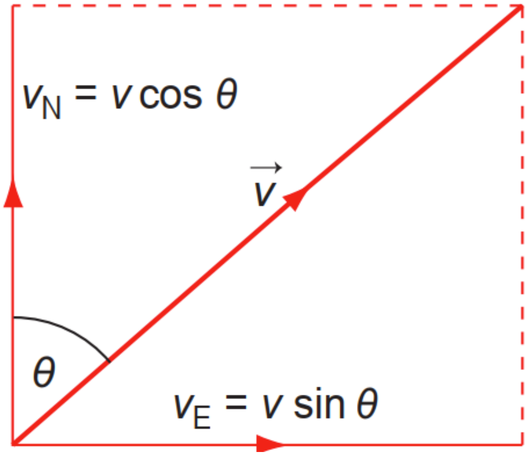
مثال: تخيل طائرة تتحرك بسرعة متجهة ثابتة مقدارها (v) وتصنع زاوية (θ) كما هو مبين في الشكل المقابل.

نستطيع تحليل متجه السرعة هذا إلى مركبتين متعامدتين إحداهما باتجاه السينات الموجب (v_x) والأخرى باتجاه الصادات الموجب (v_y) ومقدار هاتين المركبتين يحسب كما يلي:

$$v_x = v\cos\theta \qquad v_y = v\sin\theta$$

تذكر أنه يمكنك حساب (v) كالتالي: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$

وحساب (θ) كالتالي: $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{v_x}{v_y}\right)$



مثال آخر: في الشكل المقابل قمنا بتحليل متجه السرعة لطائرة تحلق بسرعة متجهة ثابتة مقدارها (v) وتصنع زاوية (θ) كما هو مبين في الشكل المقابل.

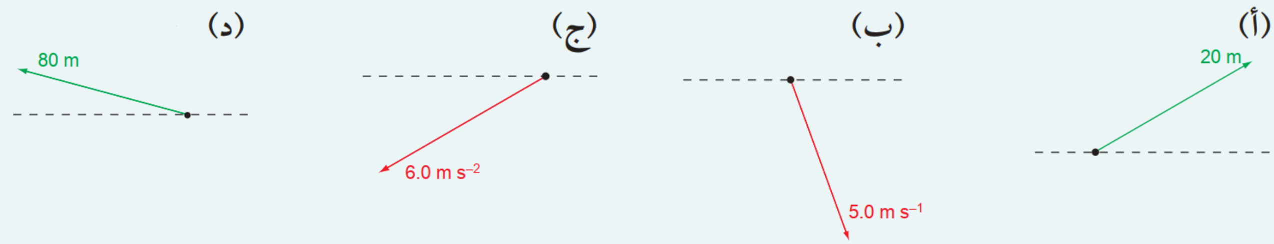
نستطيع تحليل متجه السرعة هذا إلى مركبتين متعامدتين إحداهما باتجاه الشرق (v_E) والأخرى باتجاه الشمال (v_N) ومقدار هاتين المركبتين يحسب كما يلي:

$$v_N = v\cos\theta \qquad v_E = v\sin\theta$$

تذكر أنه يمكنك حساب (v) كالتالي: $v = \sqrt{v_E^2 + v_N^2}$

وحساب (θ) كالتالي: $\theta = tan^{-1}\left(\frac{v_E}{v_N}\right)$

(١٩) جد المُركّبتَين (*x*) و (*y*) لكل من المتّجهات المبيّنة في الشكل ٣-٢٢. (ستحتاج إلى استخدام منقلة قياس الزوايا في المخطّط).



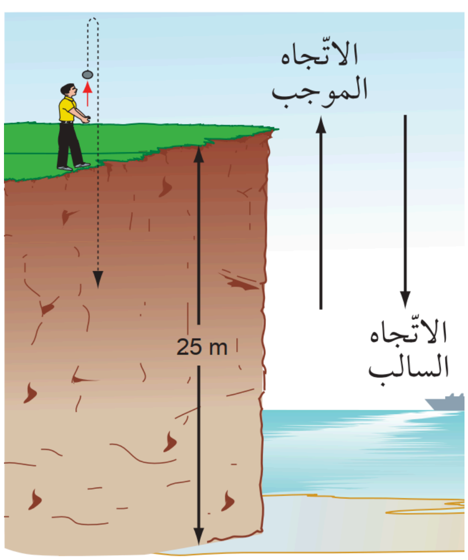
٣-١٣ فهم المقذوفات

المقذوفات رأسيا

في الشكل المقابل رجل يقذف حجرا إلى أعلى بسرعة متجهة ابتدائية ($20\ m\ s^{-1}$).

افترض أن الأعلى هو الاتجاه الموجب وعليه تذكر ما يلي:

- الإزاحة موجبة عند أي نقطة فوق يد الشخص، وسالبة عند أي نقطة تحتها.
- سرعة الحجر موجبة إذا كان صاعدا وسالبة إذا كان ساقطا.
- التسارع سالب.



كم سيرتفع هذا الحجر فوق سطح الجرف الصخري؟ وكم من الوقت سيستغرق؟

بالتعويض في $v^2 = v^2 + 2as$

$$0 = 20^2 + 2 \times (-9.81) \times s$$

إذًا ارتفاع هذا الحجر فوق الجرف الصخري يساوي: $s \approx 20\ m$

بالتعويض في $a = \frac{v-u}{t}$

$$-9.81 = \frac{0-20}{t}$$

إذًا الزمن المستغرق لوصول الحجر إلى اقصى ارتفاع يساوي: $t \approx 2\ s$

كم من الوقت سيستغرق هذا الحجر أثناء سقوطه لكي يصل من أقصى ارتفاع إلى قعر الجرف؟

إزاحة الحجر من أعلى الجرف على قعره تساوي: $-25 - 20 = -45\ \text{m}$

بالتعويض في $s = ut + \frac{1}{2}at^2$

$$-45 = 0 \times t + \frac{1}{2} \times (-9.81) \times t^2$$

إذًا الزمن المستغرق لسقوط الحجر من أقصى ارتفاع إلى قعر الجرف يساوي: $t \approx 3\ s$

٢٠ في مثال «مزيد من السقوط»، السابق احسب الزمن الذي سيستغرقه الحجر للوصول إلى قعر الجرف.

٢١ قُذفت كرة رأسيًا إلى الأعلى بسرعة متجهة ابتدائية مقدارها ($30\ \text{m s}^{-1}$). يبيّن الجدول ٣-٦ كيف يتغير مقدار السرعة المتجهة للكرة. (افترض $g = 9.81\ \text{m s}^{-2}$).

السرعة المتجهة (m s^{-1})	30	20.19				
الزمن (s)	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0

أ. أكمل الجدول.

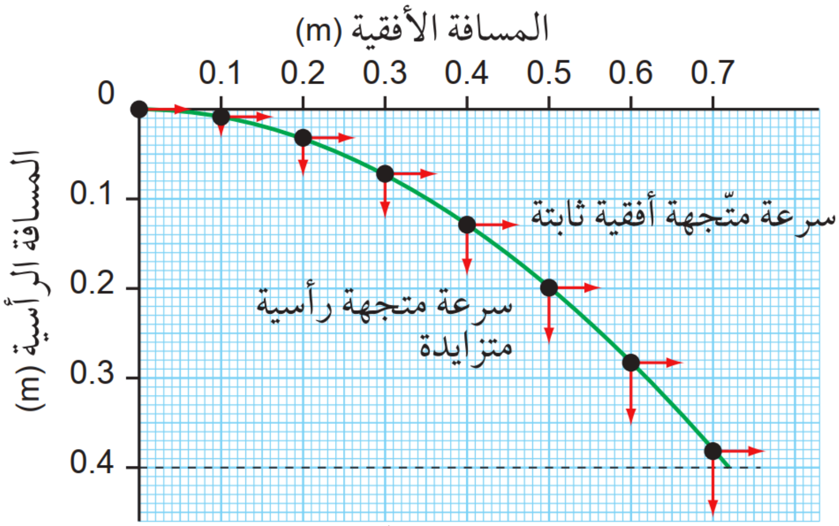
ب. ارسم تمثيلًا بيانيًا لبيانات الجدول.

ج. استخدم التمثيل البياني لاستنتاج الزمن الذي استغرقته الكرة للوصول إلى أعلى نقطة.

المقذوفات رأسيا وأفقيا في الوقت نفسه (في بعدين)

التمثيل البياني المقابل يوضح مواقع كرة قذفت أفقيا وقد حسبت تلك المواقع في فترات زمنية متساوية. تمثل الأسهم مركبتي السرعة المتجهة الأفقية والرأسية عند كل موقع.

ومن هذا التمثيل البياني نلاحظ ما يلي:



- **المركبة الرأسية** لمتجه السرعة متزايدة المقدار مما يعني أن الكرة تتسارع رأسيا لأن قوة الجاذبية تعمل رأسيا.
- يمكننا حساب المسافة الرأسية بنفس طريقة المقذوفات رأسيا باستخدام

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$

- **المركبة الأفقية** لمتجه السرعة ثابتة المقدار لأن المسافة الأفقية تزداد بانتظام (أي تزداد بنفس المقدار عند كل موقع حيث إن المسافات بين المواقع متساوية). وهذا يعني أن الكرة لا تتسارع أفقيا لأن قوة الجاذبية لا تعمل أفقيا.
- لأن السرعة الأفقية ثابتة المقدار يمكننا حساب المسافة الأفقية باستخدام $s = ut$

أمثلة

٧. يُرمى حجر أفقيًا بسرعة متجهة مقدارها ($12\ m\ s^{-1}$) من قمّة جرف رأسي ارتفاعه ($40\ m$). احسب الزمن الذي يستغرقه الحجر للوصول إلى قاع الجرف، ثم جِد البُعد الأفقي بين مكان سقوط الحجر وقاع الجرف.

تلميح: قد تجد أنه من الأسهل تلخيص المعلومات كالآتي:

رأسيًا: $s = 40\ m$، $u = 0$، $a = g = 9.81$،
$t = ?$، $v = ?$

أفقيًا: $u = 12\ m\ s^{-1}$، $v = 12\ m\ s^{-1}$، $a = 0$،
$t = ?$، $s = ?$

الخطوة ١: حركة الكرة في الاتجاه الرأسي: يكون لها مركّبة رأسية ابتدائية للسرعة المتجهة تساوي صفرًا، وتتحرك رأسيًا إلى الأسفل مسافة ($40\ m$) بتسارع مقداره ($9.81\ m\ s^{-2}$) في الاتجاه نفسه:

$$s = ut + \frac{1}{2}gt^2$$

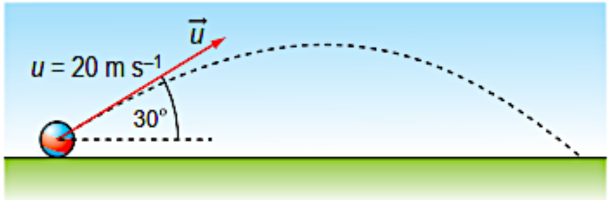
$$40 = 0 + \frac{1}{2} \times 9.81 \times t^2$$

$$t = 2.86\ s$$

الخطوة ٢: حركة الكرة في الاتجاه الأفقي: تتحرّك أفقيًا بسرعة متجهة ثابتة مقدارها ($12\ m\ s^{-1}$) بإهمال مقاومة الهواء:

المسافة المقطوعة: $u \times t = 12 \times 2.86$
$= 34.3\ m$

٨. تُقذف كرة بسرعة متّجهة ابتدائية مقدارها ($20\ m\ s^{-1}$) وبزاوية $30°$ مع الاتجاه الأفقي (الشكل ٣-٢٥). احسب المسافة الأفقية التي ستقطعها الكرة.



الشكل ٣-٢٥ رمي كرة.

الخطوة ١: حلّل السرعة المتجهة الابتدائية للكرة إلى مركّبتَين أفقية ورأسية.

السرعة المتجهة الابتدائية: $u = 20\ m\ s^{-1}$

المركّبة الأفقية للسرعة المتجهة الابتدائية:
$v = u \cos\theta = 20 \times \cos 30° = 17.3\ m\ s^{-1}$

المركّبة الرأسية للسرعة المتجهة الابتدائية:
$v = u \sin\theta = 20 \times \sin 30° = 10\ m\ s^{-1}$

الخطوة ٢: حركة الكرة في الاتجاه الرأسي: كم ستستغرق الكرة من الزمن للعودة إلى الأرض؟ أو بعبارة أخرى، متى ستعود إزاحتها الرأسية إلى الصفر؟

السرعة المتجهة الابتدائية: $u = 10\ m\ s^{-1}$

التسارع: $a = g = -9.81\ m\ s^{-2}$

الإزاحة: $s = 0$

الزمن: $t = ?$

وباستخدام معادلة الحركة يكون لدينا:

$$s = ut + \frac{1}{2}gt^2$$

$$0 = 10t - 4.905t^2$$

$t = 0\ s$ أو $t = 2.04\ s$

إذًا، تبقى الكرة في الهواء لمدّة ($2.04\ s$).

تابع

الخطوة ٣: حركة الكرة في الاتجاه الأفقي: ما البُعد الذي ستصل إليه الكرة أفقيًا في زمن ($2.04\ s$) قبل أن تسقط إلى الأرض؟ من السهل حساب هذا البُعد، لأن الكرة تتحرّك بسرعة متجهة أفقية ثابتة قيمتها ($17.3\ m\ s^{-1}$).

الإزاحة الأفقية:

$s = 17.3 \times 2.04$
$= 35.3\ m$

وبالتالي، تكون الكرة قد قطعت مسافة أفقية (مدى) تقارب ($35\ m$).

أسئلة

٢٢ يُقذف حجر أفقيًا من قمة جرف صخري فيستغرق سقوطه إلى الأرض (4.0 s) ويقع على بُعد (12.0 m). بإهمال مقاومة الهواء:

أ. احسب السرعة الأفقية للحجر.

ب. احسب ارتفاع الجرف.

٢٣ يُقذف حجر في الهواء بسرعة متجهة مقدارها ($8.0\ m\ s^{-1}$) وبزاوية 40° مع الاتجاه الأفقي:

أ. احسب المركّبة الرأسية للسرعة المتجهة.

ب. اذكر قيمة المركّبة الرأسية للسرعة المتجهة عندما يصل الحجر إلى أعلى نقطة في مساره (تجاهل مقاومة الهواء).

ج. استخدم إجاباتك في الجزئية (أ) والجزئية (ب) لحساب الزمن الذي يستغرقه الحجر للوصول إلى أعلى نقطة في مساره.

د. احسب المركّبة الأفقية للسرعة المتجهة.

هـ. استخدم إجاباتك في الجزئية (ج) والجزئية (د) لإيجاد المسافة الأفقية التي سيقطعها الحجر عندما يصل إلى أعلى نقطة في مساره.

٢٤ مدى المقذوف هو المسافة الأفقية التي يقطعها المقذوف عندما يصل إلى الأرض. ويتحقّق أقصى مدى إذا رُمي المقذوف بزاوية 45° مع الاتجاه الأفقي.

رُميت كرة بسرعة متجهة ابتدائية مقدارها ($40\ m\ s^{-1}$). احسب أكبر مدًى يمكن أن تصل إليه هذه الكرة (أهمل مقاومة الهواء).

ملخّص

التسارع كمّية متّجهة ويساوي معدّل تغيّر السرعة المتّجهة، ووحدة قياسه $m\ s^{-2}$، ويمكن حسابه من ميل منحنى التمثيل البياني (السرعة المتّجهة–الزمن). والمساحة الواقعة تحت منحنى هذا التمثيل البياني هي التغيّر في مقدار الإزاحة.
يرتبط التسارع والسرعة المتّجهة والإزاحة والزمن في حالة التسارع المنتظم بمعادلات الحركة الخطية، التي يجب أن تعرف كيفية اشتقاقها واستخدامها.
مقدار تسارع السقوط الحرّ (g) ($9.81\ m\ s^{-2}$)، ويمكن التحقق من هذا المقدار من خلال التجارب العملية.
يمكن تحليل الكمّيات المتّجهة إلى مركّبتَين، كما يمكن معالجة كلّ من المركّبتَين بشكل مستقل عن الأخرى إذا كانت الزاوية بينهما قائمة؛ أمّا بالنسبة إلى السرعة المتّجهة ($\vec{v}$) وبزاوية θ مع المحور السيني (x)، فتكون المركّبتان كما يأتي: المركّبة الأفقية في الاتّجاه السيني (x): $v \cos \theta$ المركّبة الرأسية في الاتّجاه الصادي (y): $v \sin \theta$
بإهمال مقاومة الهواء، فإن للمقذوفات تسارعًا رأسيًا ثابتًا وسرعة متجهة أفقية ثابتة، ويمكن التعامل مع هاتَين الحركتَين (الرأسية والأفقية) بشكل مستقل.

الأنشطة

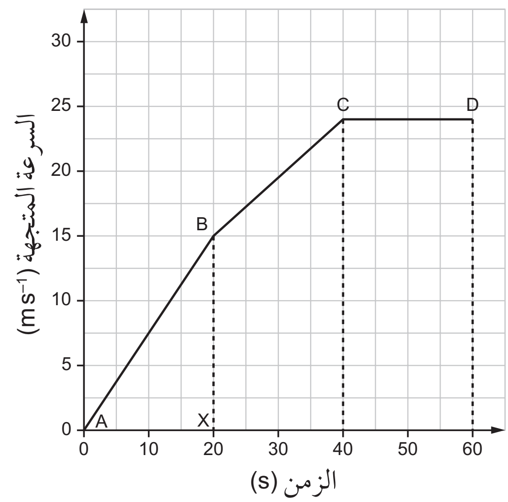
نشاط ٣-١ منحنيات التمثيل البياني (السرعة المتجهة - الزمن)

مصطلحات علمية

التسارع Acceleration: هو معدّل تغيّر السرعة المتجهة لجسم ما، ووحدته $m\ s^{-2}$.

يحقّق هذا النشاط تدريبًا على رسم منحنيات التمثيلات البيانية (السرعة المتجهة-الزمن) واستخدامها وتفسيرها. تذكّر أن **التسارع** هو ميل منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة-الزمن)، ومقدار الإزاحة هي المساحة الواقعة تحت منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة-الزمن).

١. يبيّن التمثيل البياني في الشكل ٣-١ كيف تتغير سرعة سيارة ما أثناء حركتها:



الشكل ٣-١: للسؤال ١. التمثيل البياني (السرعة المتجهة-الزمن).

أ. كيف يمكنك أن تعرف من التمثيل البياني أن السيارة انطلقت من السكون؟

....

ب. متى توقّفت السيارة عن التسارع؟ كيف يمكنك معرفة ذلك؟

....

....

ج. السيارة تتسارع في الجزء AB. استخدم المثلّث ABX لتحديد الفترة الزمنية التي تسارعت فيها السيارة خلال هذا الجزء.

....

....

د. حدّد الازدياد في السرعة المتجهة للسيارة خلال هذه الفترة الزمنية.

....

....

هـ. استخدم إجاباتك عن الجزئيتَين (ج) و (د) لحساب تسارع السيارة في الجزء AB من المنحنى.

....

....

....

و. اتبع الخطوات نفسها الواردة في الأسئلة من الأجزاء (ج) إلى (هـ) لحساب تسارع السيارة في الجزء BC.

....

....

....

ز. احسب مساحة المثلّث ABX. ماذا تمثّل هذه المساحة؟

....

....

....

ح. احسب مقدار الإزاحة التي قطعتها السيارة في رحلتها عبر المسار ABCD.

....

....

....

٢. يوضّح الجدول ٣-١ كيف تغيّرت السرعة المتجهة لسيارة ما أثناء تحرّكها على طريق مستقيم:

السرعة المتجهة ($m\,s^{-1}$)	10	10	17	24	28	28	28
الزمن (s)	0	20	40	60	80	100	120

الجدول ٣-١: بيانات السرعة المتجهة لسيارة.

أ. ارسم منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة-الزمن) لتمثيل حركة السيارة.

ب. في أيّة فترة زمنية كان للسيارة أكبر تسارع؟ احسب تسارعها خلال تلك الفترة.

ج. احسب مقدار الإزاحة التي قطعتها السيارة أثناء رحلتها. ستحتاج إلى تقسيم المنطقة الواقعة أسفل منحنى التمثيل البياني إلى مستطيلات ومثلّثات.

٣. تقترب سيارة من إشارة المرور، فيضغط السائق على المكابح بحيث تقلّ السرعة المتجهة للسيارة بانتظام من ($22\ m\ s^{-1}$) إلى ($7\ m\ s^{-1}$) خلال ($10\ s$).

أ. ارسم منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة-الزمن) لتمثيل هذا الجزء من رحلة السيارة.

ب. احسب مقدار تسارع السيارة.

....

....

ج. كيف يوضّح التمثيل البياني أن السيارة تباطأت؟ تذكّر أن «التباطؤ» يعني أن السرعة المتجهة للسيارة تناقصت؛ أي أن تسارعها سالب.

....

....

د. في التمثيل البياني الذي رسمته، ظلّل المنطقة التي تمثّل مقدار إزاحة السيارة أثناء الفرملة.

....

....

هـ. احسب مقدار إزاحة السيارة أثناء الفرملة.

....

....

٤. يتحرّك قطار بسرعة متجهة ثابتة (u)، ثم يبدأ بالتباطؤ بمقدار ($0.2\ m\ s^{-2}$) خلال ($50\,s$). في هذه الفترة، يقطع القطار مسافة ($2000\ m$).

أ. ارسم منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة–الزمن) لهذا التباطؤ، ثم حدّد عليه المعلومات الواردة في السؤال.

ب. احسب مقدار السرعة المتجهة (u) للقطار قبل أن يبدأ بالتباطؤ.

....

....

نشاط ٣-٢ اشتقاق معادلات الحركة الخطية

ثمّة أربع معادلات للحركة الخطية، تُعرف أحيانًا باسم «معادلات سوفات» (suvat equations).
سيساعدك هذا النشاط على فهم اشتقاق هذه المعادلات.

المعادلة ١: $v = u + at$

المعادلة ٢: $s = \frac{(u + v)}{2} \times t$

المعادلة ٣: $s = ut + \frac{1}{2} at^2$

المعادلة ٤: $v^2 = u^2 + 2as$

١. أ. ما الكمّيات التي تمثّلها الرموز (s) و (u) و (v) و (a) و (t)؟

....

....

ب. تنطبق المعادلات فقط على جسم يتحرّك بتسارع منتظم وفي خط مستقيم. ما المقصود بعبارة التسارع المنتظم؟ تذكّر أن التسارع كمّية متجهة.

....

....

٢. يمكن استنتاج المعادلة ١ من تعريف التسارع.

أ. يمكن تعريف التسارع لجسم يتحرّك في خطّ مستقيم، على أنه:

$$\frac{\text{السرعة المتجهة النهائية} - \text{السرعة المتجهة الابتدائية}}{\text{الزمن المستغرق}}$$

اكتب هذه المعادلة بالرموز.

....

ب. أعد ترتيب المعادلة للحصول على أولى معادلات الحركة الخطّية.

....

ج. أيّة كمّية من الكمّيات الخمس الواردة في السؤال ١ (أ) غير متضمّنة في المعادلة في الجزئية ٢ (ب)؟

....

٣. يمكن إيجاد المعادلة الثانية من معادلات الحركة الخطّية بتخيّل أن جسمًا ما يتحرّك بسرعة متجهة ثابتة تساوي سرعته المتجهة المتوسّطة.

أ. اكتب معادلة (بالكلمات ثم بالرموز) للسرعة المتجهة المتوسّطة للجسم، بدلالة سرعته المتجهة الابتدائية والنهائية.

....

....

ب. استخدم إجابتك في الجزئية (أ) لكتابة معادلة الإزاحة، ولإيجاد مقدار إزاحة الجسم (s) اضرب السرعة المتجهة المتوسّطة في الزمن المستغرق.

....

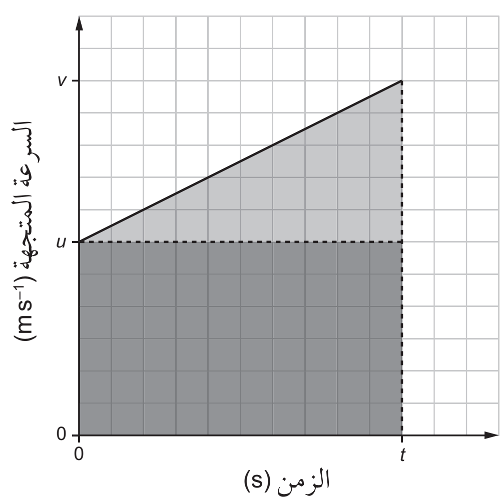
....

....

ج. أيّة كمّية من الكمّيات الخمس الواردة في السؤال ١ (أ) غير متضمّنة في المعادلة التي كتبتها في الجزئية ٣ (ب)؟

....

٤. لاستنتاج المعادلتَين ٣ و ٤، نبدأ من تمثيل بياني بسيط (السرعة المتجهة–الزمن):



الشكل ٣–٢: للسؤال ٤. التمثيل البياني (السرعة المتجهة–الزمن).

أ. صِف الحركة التي يمثّلها هذا التمثيل البياني.

....

....

....

مقدار الإزاحة تمثلها مساحة المنطقة الواقعة تحت منحنى التمثيل البياني.
يمكننا تجزئة هذه المنطقة إلى جزأَين:

مقدار الإزاحة = مساحة المستطيل + مساحة المثلّث

ب. تمثّل مساحة المستطيل مقدار الإزاحة إذا كان الجسم قد تحرّك بسرعة ثابتة (u) خلال الزمن (t). ما قيمة مساحة تلك المنطقة؟

....

....

....

ج. تمثّل مساحة المثلّث مقدار الإزاحة الإضافية للجسم الناتجة من تسارعه. ارتفاع هذا المثلّث هو ($v - u$). أعِد ترتيب المعادلة التي تحدّد التسارع لإيجاد ارتفاع المثلّث بدلالة (a) و (t).

....

د. مساحة المثلّث = $\frac{1}{2}$ × القاعدة × الارتفاع. استخدِم إجابتك من الجزئية (ج) لكتابة مساحة المثلّث بدلالة (a) و (t).

....

هـ. اكتب المعادلة الكاملة لمقدار الإزاحة (s) بدلالة مساحتَي المنطقتَين المستطيلة والمثلثة.

....

نشاط ٣-٣ استخدام معادلات الحركة الخطية

عند استخدام معادلات الحركة الخطية، تحتاج إلى تحديد كمّيات «سوفات» المذكورة سابقًا والمعادلة التي تربط هذه الكمّيات بعضها ببعض.

١. تتحّرك شاحنة بسرعة متجهة ابتدائية ($12\ m\ s^{-1}$)، وبتسارع منتظم مقداره ($0.75\ m\ s^{-2}$) خلال ($20\ s$).

أ. احسب مقدار السرعة المتجهة للشاحنة في نهاية هذه الفترة الزمنية.

....

....

....

ب. احسب مقدار السرعة المتجهة المتوسطة للشاحنة أثناء تسارعها.

....

....

....

ج. استخدم إجابتَيك في الجزئيّتَين (أ) و (ب) لحساب المسافة التي تقطعها الشاحنة أثناء تسارعها.

....

....

....

د. تحقّق من حصولك على الإجابة نفسها للجزئية (ج) باستخدام المعادلة:

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$

....

....

....

٢. يتحرّك قطار بسرعة متجهة ثابتة (u) ثم يبدأ بالتباطؤ بمقدار ($0.2\ m\,s^{-2}$) خلال ($50\,s$). في هذه الفترة، يقطع القطار مسافة ($2000\ m$). استخدم إحدى معادلات الحركة الخطّية لحساب سرعة القطار قبل أن يبدأ بالتباطؤ مباشرة. (هذا هو السؤال ٤ من النشاط ٣–١ ولكن من السهل عليك حلّه الآن باستخدام إحدى معادلات الحركة الخطّية).

....

....

....

٣. تنطلق سيارة من السكون، بتسارع ($0.8\,m\ s^{-2}$) خلال ($10\,s$)، ثم بتسارع ($0.4\,m\ s^{-2}$) لمدّة ($10\ s$) أخرى. استخدم معادلات الحركة الخطّية لحساب مقدار الإزاحة النهائية للسيارة. (سيتعيّن عليك تقسيم الرحلة إلى قسمَين؛ لأن التسارع يتغيّر بعد ($10\ s$)).

....

....

....

مهمّ

نظرًا لأن معادلات «سوفات» الأربع متّصلة بعضها ببعض، يمكنك التوصّل إلى الإجابة بأكثر من طريقة.

٤. يتمّ اختبار سيارة على حلبة سباق، إذ يقترب السائق من قسم الاختبار بسرعة ($28\ ms^{-1}$)، ثم يتسارع بمعدّل ثابت بين علامتَين تفصل بينهما مسافة ($100\ m$)، فتصل سرعة السيارة إلى ($41\ ms^{-1}$).

أ. احسب تسارع السيارة.

....

....

....

ب. احسب الفترة الزمنية التي تسارعت خلالها السيارة.

....

....

....

مصطلحات علمية

السقوط الحر Free fall: عندما يتسارع جسم ما بسبب الجاذبية الأرضية في حال عدم وجود أيّة قوى أخرى مثل مقاومة الهواء.

نشاط ٣-٤ الحركة تحت تأثير الجاذبية الأرضية

عندما يتحرّك جسم في حالة **السقوط الحرّ** تحت تأثير الجاذبية الأرضية، فإن القوّة الوحيدة المؤثّرة عليه هي وزنه، والتي تؤثّر رأسيًا نحو الأسفل. فبالقرب من سطح الأرض، يكون تسارع الجاذبية الأرضية ($g = 9.81\ ms^{-2}$) (تقريبًا)، ويكون اتّجاه هذا التسارع نحو الأسفل. يمكنك استخدام معادلات الحركة الخطية لحلّ المسائل المتعلّقة بالحركة تحت تأثير الجاذبية الأرضية.

مهمّ

عندما نفترض أن جسمًا ما يتحرك تحت تأثير الجاذبية الأرضية، نحتاج إلى استخدام الكمّيات المتجهة. يجب أن نكون حريصين على مراعاة اتجاهات القوى والسرعات المتجهة. يمكنك أن تنظر إلى ما هو باتجاه الأعلى على أنه موجب، وإلى ما هو باتجاه الأسفل على أنه سالب.

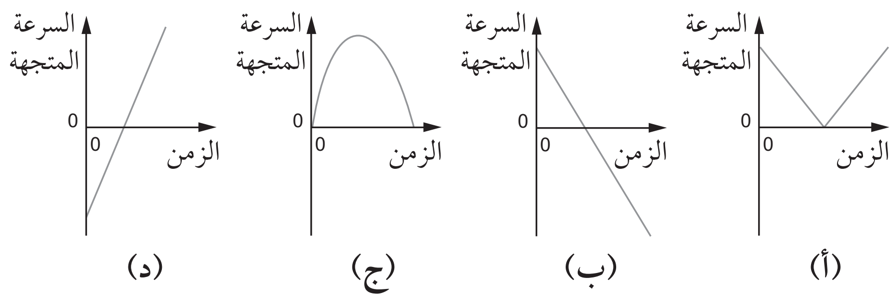
١. يُقذف حجر رأسيًا إلى الأعلى، لكن لا يلبث أن يعود ليقع على سطح الأرض.

أ. أكمل الجدول ٣-٢ بوضع الإشارات الموجبة أو السالبة للكمّيات المُدرجة، أو إذا كانت الكمّية صفرًا.

الكمّية	الإزاحة	السرعة المتجهة	التسارع
الحجر مقذوفًا إلى الأعلى		+	
الحجر في أعلى نقطة			
الحجر يسقط إلى الأسفل			

الجدول ٣-٢: للسؤال ١ (أ).

ب. أيّ من التمثيلات البيانية (السرعة المتجهة–الزمن) الآتية تمثّل حركة الحجر؟ فسّر اختيارك.



الشكل ٣–٣: للسؤال ١ (ب). أربعة تمثيلات بيانية (السرعة المتجهة–الزمن).

....

....

٢. تقذف فاطمة كرة رأسيًا إلى الأعلى، ثم تعود وتمسكها عندما تسقط إلى الأرض. السرعة المتجهة الابتدائية للكرة تساوي ($6.5\ m\,s^{-1}$).

أ. احسب الارتفاع الذي تصل إليه الكرة. (استخدم سرعة الكرة عند أعلى نقطة في مسارها).

....

....

....

ب. احسب الزمن الذي تبقى فيه الكرة في الهواء. (استخدم السرعة المتجهة النهائية للكرة).

....

....

....

وقفت فاطمة على حافة جرف صخري ارتفاعه ($55\ m$) وقذفت الكرة إلى الأعلى بالسرعة المتجهة الابتدائية نفسها، ثم تركتها تسقط إلى قاع الجرف.

ج. احسب السرعة التي تصل بها الكرة إلى سطح الأرض عند قاع الجرف.

....

....

....

د. احسب الزمن الذي تبقى فيه الكرة في الهواء. (تذكّر أن تضع في اعتبارك الجزأين (إلى الأعلى وإلى الأسفل) لحركة الكرة).

....

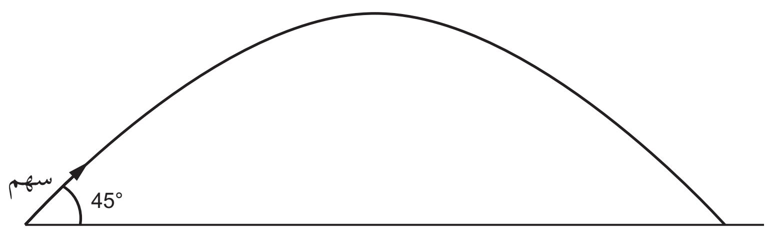
....

....

مهمّ

للمقذوف في حال عدم وجود مقاومة للهواء تسارع ثابت رأسيًا اتجاهه إلى الأسفل وسرعة متجهة ثابتة أفقيًا.

٣. الجسم الذي يتمّ إطلاقه أو قذفه إلى الأعلى بزاوية يسمّى بالمقذوف. يوضّح الشكل ٣-٤ مسار مقذوف عبارة عن سهم أُطلق بزاوية 45° مع الاتجاه الأفقي، وبسرعة ابتدائية ($24\ ms^{-1}$)، ثم تحرّك بحرّية في الهواء، بحيث كانت الجاذبية الأرضية هي القوّة الوحيدة المؤثّرة عليه.



الشكل ٣-٤: للسؤال ٣. رسم تخطيطي يوضح حركة سهم أُطلق إلى الأعلى بزاوية 45° مع الاتجاه الأفقي.

لحساب المسافة التي يقطعها السهم، يجب أوّلًا حساب الزمن الذي يبقى فيه في الهواء. وللقيام بذلك، نأخذ في الاعتبار حركته الرأسية.

مصطلحات علمية

المركّبة Component: تأثير متّجه ما على طول اتّجاه معيّن.

أ. احسب **المركّبة** الرأسية (إلى الأعلى) للسرعة المتّجهة الابتدائية للسهم.

....

....

ب. ما مقدار الإزاحة الرأسية للسهم عندما يسقط على الأرض؟

....

....

ج. احسب الزمن الذي يبقى فيه السهم في الهواء.

....

....

الآن نأتي إلى الحركة الأفقية للسهم.

د. لا توجد قوى أفقية تؤثّر على السهم. ما التسارع الأفقي للسهم؟

....

....

هـ. احسب المركّبة الأفقية للسرعة المتجهة الابتدائية للسهم.

....

....

و. احسب المسافة التي يقطعها السهم أفقيًا والتي تُعرف أيضًا بالمدى.

....

....

مهمّ

بالنسبة إلى الجزئية (و): لقد قمت بحساب الزمن المستغرق في الجزئية (ج) والسرعة المتجهة الأفقية للسهم في الجزئية (هـ).

٤. احسب المسافة الأفقية (المدى) التي يقطعها السهم في السؤال ٣ إذا تم إطلاقه بزاوية $50°$ مع الاتجاه الأفقي، وبالسرعة المتجهة الابتدائية نفسها كما في السابق. (يمكنك اتباع الطريقة نفسها كما هي الحال في السؤال ٣).

....

....

....

مهمّ

يصل مقذوف ما لأكبر مسافة أفقية (المدى) على مستوى الأرض إذا تم إطلاقه بزاوية ($45°$) مع الاتجاه الأفقي.

أسئلة نهاية الوحدة

١. قطار يسير بسرعة ($40\ m\ s^{-1}$)، وعندما يرى السائق إشارة حمراء على مسافة ($2.2\ km$) أمامه، يقوم باستخدام الفرامل بحيث يتباطأ القطار بتسارع منتظم ويتوقف عند وصوله إلى الإشارة.

أ. عرّف التسارع.

ب. احسب تسارع القطار أثناء الفرملة.

ج. احسب الزمن المستغرق لتوقّف القطار.

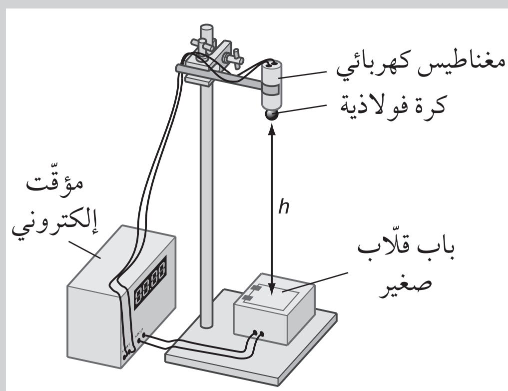
د. **ارسم** تمثيلًا بيانيًا (السرعة المتجهة–الزمن) لهذا الجزء من رحلة القطار. اذكر كيف يوضح التمثيل البياني أن تسارع القطار منتظم.

هـ. وضّح في الرسم الذي حصلت عليه المنطقة التي تمثّل مقدار الإزاحة التي يقطعها القطار خلال تباطئه.

أفعال إجرائية

ارسم Sketch: أنشئ رسمًا بسيطًا يوضح الميزات الرئيسية.

٢. في تجربة لتحديد قيمة تسارع السقوط الحرّ (g)، يتمّ تحرير كرة فولاذية صغيرة بحيث تسقط عبر باب قلّاب صغير، كما هو موضّح في الشكل ٣–٨:



الشكل ٣–٨: تجربة لتحديد قيمة تسارع السقوط الحرّ.

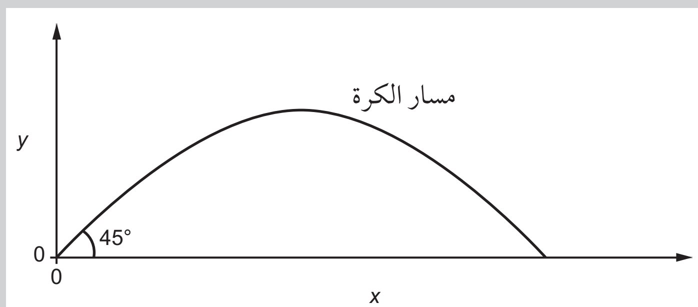
يبدأ المؤقّت الإلكتروني عند تحرير الكرة بقياس الزمن، ويتوقّف عندما تصل الكرة إلى الباب القلّاب الصغير.

أ. اشرح كيف ستحدّد قيمة (g) من الارتفاع (h) والزمن (t) الذي تستغرقه.

تابع

ب. من الناحية العملية، قد يبدأ المؤقّت قبل أن تبدأ الكرة في السقوط، لأن القوّة الكهرومغناطيسية لا تنخفض بشكلٍ آني إلى الصفر. هذا يعني أن الزمن (t) سيكون أكبر قليلًا ممّا لو سقطت الكرة بحرّية كاملة. هل ستكون قيمة (g) المحسوبة أكبر من المتوقّع أم أقلّ؟ اشرح إجابتك.

٣. في محاولة لتحديد قيمة (g) باستخدام حركة المقذوفات، يقذف طالب كرة فلزّية بسرعة متجهة ابتدائية مقدارها ($12.0\ m\ s^{-1}$) وبزاوية $45°$ مع الاتّجاه الأفقي، كما هو موضّح في الشكل ٣–٩. تهبط الكرة على مسافة ($14.7\ m$) على مستوى الأرض (مع إهمال مقاومة الهواء).



الشكل ٣–٩: حركة الكرة الفلزّية.

أ. بالنسبة إلى الحركة الأفقية للكرة، احسب الزمن الذي تستغرقه الكرة لتقطع هذه المسافة.

ب. بالنسبة إلى الحركة الرأسية للكرة، احسب قيمة تسارع السقوط الحرّ.

أسئلة نهاية الوحدة

١ تبدأ طائرة الحركة من السكون على طول مدرج مستقيم، وتتسارع بانتظام. فتصل سرعتها إلى ($200\ km\ h^{-1}$)، بعد أن تقطع مسافة ($1.4\ km$). ما تسارع الطائرة على طول المدرج؟

أ. $1.1\ m\ s^{-2}$

ب. $2.2\ m\ s^{-2}$

ج. $3.0\ m\ s^{-2}$

د. $6.0\ m\ s^{-2}$

٢ قُذفت كرة بسرعة متّجهة مقدارها ($10\ m\ s^{-1}$) وبزاوية $25°$ مع الاتجاه الأفقي كما في الشكل ٣–٢٦. إذا كان تأثير مقاومة الهواء معدومًا على حركة الكرة،

الشكل ٣–٢٦

فما قيمة السرعة المتجهة للكرة عند أعلى نقطة في مسارها؟

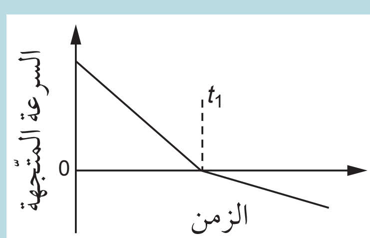
أ. 0

ب. $4.2\ m\ s^{-1}$

ج. $9.1\ m\ s^{-1}$

د. $8.4\ m\ s^{-1}$

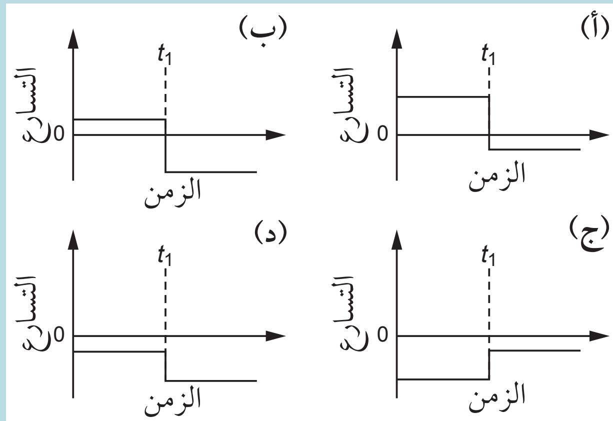
٣ تتحرك عربة على طول مسار مستقيم. يوضح الشكل ٣–٢٧ تغيّر السرعة المتّجهة ($\vec{v}$) للعربة مع الزمن (t).



الشكل ٣–٢٧

أيّ تمثيل بياني في الشكل ٣–٢٨ يبيّن تغيّر التسارع (a) مع الزمن للعربة؟

تابع



الشكل ٣-٢٨

٤ يفترض مصمم طريق سريع أن السيارات عند اقترابها من الطريق السريع تدخل في طريق جانبي بسرعة متّجهة مقدارها ($10\ m\ s^{-1}$)، ويصل مقدار سرعتها المتّجهة إلى ($30\ m\ s^{-1}$) قبل دخولها إلى الطريق السريع. احسب الحدّ الأدنى لطول الطريق الجانبي، مفترضًا أن تسارع المركبات هو ($4.0\ m\ s^{-2}$).

٥ يتحرك قطار بسرعة ($50\ m\ s^{-1}$)، وعندما يضغط السائق على المكابح يعطي القطار تباطؤًا ثابتًا مقداره ($0.50\ m\ s^{-2}$) لمدّة ($100\ s$). صِف ما يحدث للقطار واحسب المسافة التي سيقطعها في ($100\ s$).

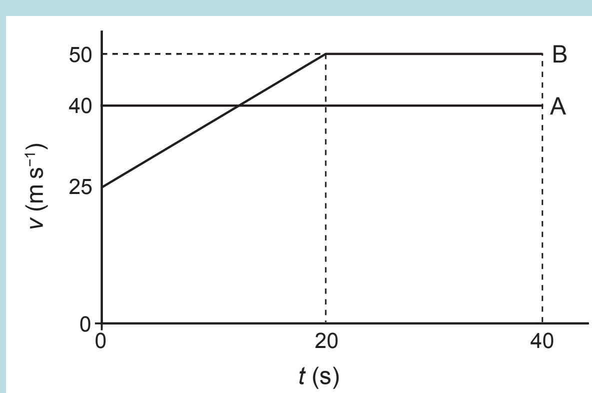
٦ يقف مازن على حافة جرف صخري ليقذف حجرًا رأسيًا إلى الأعلى في الزمن ($t = 0\ s$) بسرعة ($20\ m\ s^{-1}$). باعتبار أن مقدار تسارع الحجر ($9.81\ m\ s^{-2}$):

أ. أثبت أن معادلة مقدار إزاحة الحجر هي: $s = 20t - 4.9t^2$

ب. احسب الارتفاع الذي سيصل إليه الحجر بعد ($2.0\ s$) من قذفه، وبعد ($6.0\ s$).

ج. احسب الزمن الذي يستغرقه الحجر ليعود إلى مستوى يد مازن. افترض أن يد مازن لا تتحرّك رأسيًا بعد قذف الحجر.

٧ يبيّن التمثيل البياني (السرعه المتجهة-الزمن) في الشكل ٣-٢٩ حركة سيارتَين **A** و **B**، تسيران في الاتّجاه نفسه خلال مدّة زمنية مقدارها ($40\ s$).



الشكل ٣-٢٩

تابع

تتحرك السيارتان من الموضع نفسه عند الزمن ($t = 0$ s)، حيث تتحرك السيارة **A** بسرعة ثابتة مقدارها ($40\ \mathrm{m\,s^{-1}}$)، وهي أسرع من السرعة الابتدائية للسيارة **B** التي تسير بسرعه مقدارها ($25\ \mathrm{m\,s^{-1}}$). من أجل اللحاق بالسيارة **A**، تتسارع السيارة **B** على الفور تسارعًا منتظمًا لمدّة (20 s) للوصول إلى سرعة متجهة ثابتة مقدارها ($50\ \mathrm{m\,s^{-1}}$). احسب:

أ. المسافة التي قطعتها السيارة **A** خلال أول (20 s).

ب. التسارع والمسافة للسيارة **B** خلال أول (20 s).

ج. الزمن الإضافي الذي تستغرقه السيارة **B** لتلحق بالسيارة **A**.

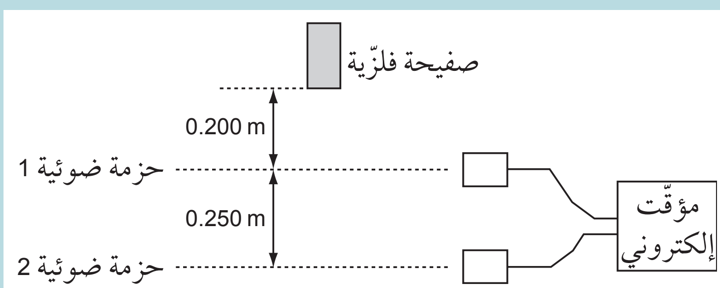
د. المسافة التي قطعتها كلّ سيارة منذ الزمن ($t = 0$ s) إلى أن تلحق السيارة **B** بالسيارة **A**.

٨ يترك اللاعب في الوثب الطويل الأرض بسرعة متجهة مقدارها ($5.6\ \mathrm{m\,s^{-1}}$) وبزاوية °30 مع الاتّجاه الأفقي.

أ. جِد المركّبة الرأسية للسرعة المتجهة، واستخدم هذه القيمة لإيجاد الزمن المستغرق بين ترك سطح الأرض والعودة إلى سطح الأرض (زمن التحليق).

ب. جِد المركّبة الأفقية للسرعة المتجهة، واستخدم هذه القيمة لإيجاد المسافة الأفقية التي قطعها اللاعب (المدى).

٩ يبيّن مخطّط الشكل ٣-٣٠ الطريقة المتبعة لقياس تسارع صفيحة فلزّية عند سقوطها رأسيًا.



الشكل ٣-٣٠

تُترك الصفيحة الفلزّية لتسقط من السكون مسافة (0.200 m) قبل اجتياز الحزمة الضوئية 1. ثم تسقط بعد ذلك مسافة (0.250 m) أخرى قبل اجتياز الحزمة الضوئية 2.

أ. احسب الزمن المستغرق لسقوط الصفيحة مسافة (0.200 m) من السكون. (افترض أن الصفيحة الفلزية تسقط بتسارع يساوي تسارع السقوط الحرّ).

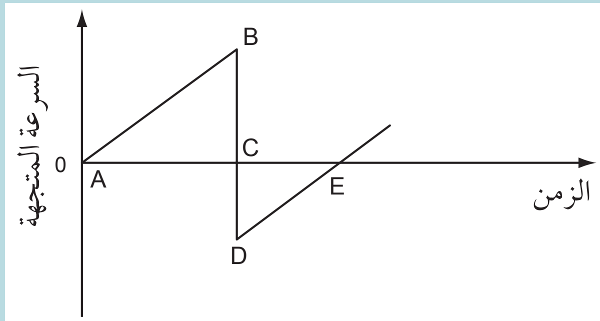
ب. يقيس المؤقّت الإلكتروني سرعة الصفيحة الفلزية أثناء سقوطها عبر كل من الحزمتَين الضوئيتَين، فيجد أن سرعة سقوطها خلال الحزمة الضوئية 1 ($1.92\ \mathrm{m\,s^{-1}}$)، وسرعة سقوطها خلال الحزمة الضوئية 2 ($2.91\ \mathrm{m\,s^{-1}}$).

١. احسب تسارع الصفيحة بين الحزمتَين الضوئيّتَين.

٢. اذكر مع الشرح سببًا واحدًا يجعل تسارع الصفيحة لا يساوي تسارع السقوط الحرّ.

تابع

١٠ يوضح الشكل ٣-٣١ التمثيل البياني (السرعة المتجهة-الزمن) لكرة مرتدّة رأسيًا.



الشكل ٣-٣١

تُركت الكرة لتسقط عند **A** واصطدمت بسطح الأرض عند **B**، ثمّ تترك الكرة الأرض عند **D** وتصل إلى أقصى ارتفاع لها عند **E** (يمكن إهمال تأثير مقاومة الهواء).

أ. اذكر:

١. لماذا تكون السرعة المتجهة من **D** إلى **E** سالبة؟

٢. لماذا يكون ميل الخط **AB** مساويًا لميل الخط **DE**؟

٣. ماذا تمثّل المساحة المحصورة بين الخط **AB** ومحور الزمن؟

٤. لماذا تكون مساحة المثلث **ABC** أكبر من مساحة المثلث **CDE**؟

ب. تسقط الكرة من السكون من ارتفاع ابتدائي (1.2 m)، ثم تصطدم بسطح الأرض بين B و D وتبقى متصلة بسطحها لمدة (0.02 s) ثم ترتد إلى ارتفاع (0.80 m).

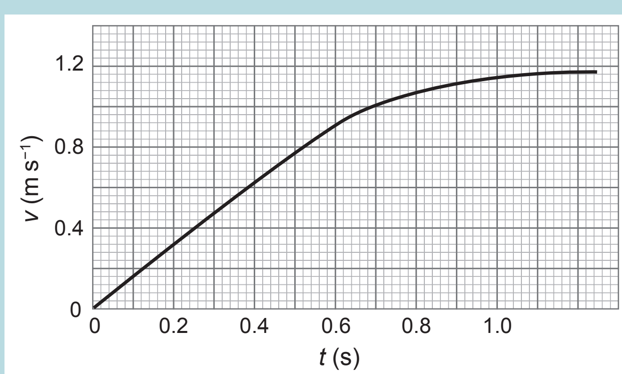
باستخدام تسارع السقوط الحر، احسب:

١. سرعة الكرة قبل اصطدامها بالأرض مباشرة.

٢. سرعة الكرة بعد اصطدامها بالأرض مباشرة.

٣. تسارع الكرة أثناء ملامستها الأرض، محدّدًا اتّجاه هذا التسارع.

١١ يقيس طالب السرعة (v) لعربة أثناء تحرّكها نزولًا على منحدر. يوضح الشكل ٣-٣٢ التمثيل البياني لتغيّر السرعة المتجهة ($\vec{v}$) بدلالة الزمن (t).



الشكل ٣-٣٢

تابع

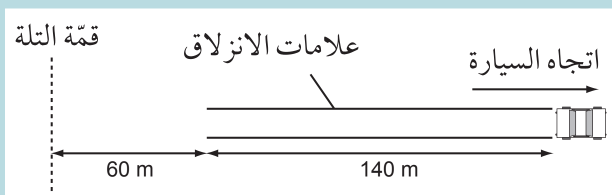
أ. استخدم التمثيل البياني لإيجاد تسارع العربة عندما يكون الزمن $(t = 0.70\ s)$.

ب. بالرجوع إلى التمثيل البياني اشرح كيف يتغيّر تسارع العربة بين $(t = 0\ s)$ و $(t = 1.0\ s)$.

ج. جِد المسافة التي تقطعها العربة بين $(t = 0.60\ s)$ و $(t = 0.80\ s)$. اشرح إجابتك.

د. حصل الطالب على قراءات (v) باستخدام مجسّ حركة، وقد تحتوي هذه القراءات على أخطاء عشوائية وأخطاء نظامية. اشرح كيف يؤثّر هذان النوعان من الأخطاء على التمثيل البياني (السرعة المتجهة-الزمن).

١٢ يقود سائق سيارة بسرعة (u) على طريق مستقيم، وعند وصوله إلى قمة تلّ منبسطة يفاجأ بوجود شجرة على مسافة ما أمامه ساقطة على الطريق، فيسارع إلى الضغط بقوة على المكابح، إلّا أن السيارة تكون قد قطعت مسافة $(60\ m)$ بالسرعة الثابتة (u) قبل أن يضغط على المكابح. يوضح الشكل ٣-٣٣ آثار الانزلاق التي خلفتها عجلات السيارة على الطريق بطول $(140\ m)$.



الشكل ٣-٣٣

حقّقت الشرطة في ما إذا كان السائق مسرعًا، ووجدت أن السيارة تباطأت بمقدار $(2.0\ m\,s^{-2})$ أثناء الانزلاق:

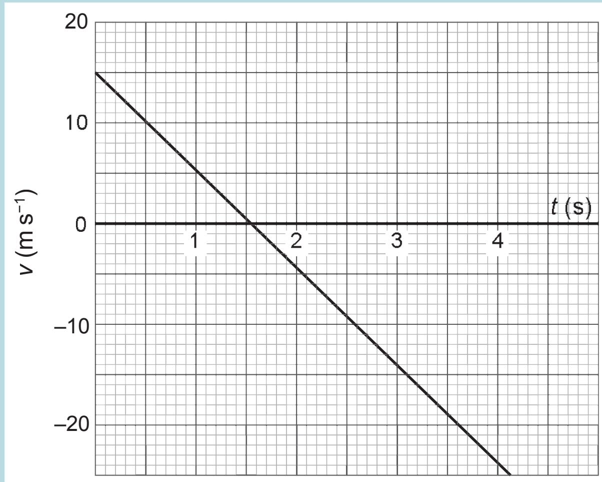
أ. جِد السرعة الابتدائية (u) للسيارة قبل استخدام المكابح.

ب. جِد الزمن المستغرق بين وصول السائق إلى قمّة التل والضغط على المكابح. هل يعني هذا أن السائق كان متيقّظًا للخطر؟ اشرح إجابتك.

ج. الحدّ الأقصى للسرعة على هذا الطريق $(100\ km/h)$. حدّد ما إذا كان السائق قد تجاوز الحد الأقصى للسرعة.

١٣ يرتفع منطاد الهواء الساخن رأسيًا. وفي الزمن $(t = 0\ s)$، أُطلقت كرة من المنطاد إلى أعلى، واصطدمت بالأرض عند الزمن $(t = 4.1\ s)$. يبيّن التمثيل البياني في الشكل ٣-٣٤ تغيّر السرعة المتجهة $(\vec{v})$ للكرة مع الزمن (t).

تابع



الشكل ٣-٣٤

أ. اشرح كيف يبيّن التمثيل البياني أنّ تسارع الكرة ثابت.

ب. باستخدام التمثيل البياني:

١. ما الزمن الذي تصل فيه الكرة إلى أعلى نقطة في مسارها؟

٢. بيّن أن الكرة ترتفع مسافة (12 m) بين نقطة إطلاقها وأعلى نقطة في مسارها.

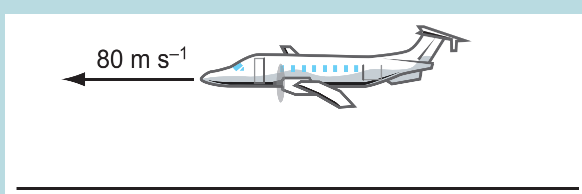
٣. ما المسافة بين أعلى نقطة تصل إليها الكرة وسطح الأرض؟

ج. المعادلة التي تربط بين (v) و (t) هي $v = 15 - 9.81t$. اذكر دلالة ما يأتي في المعادلة:

١. العدد 15

٢. الإشارة السالبة

١٤ تطير طائرة أفقيًّا بسرعة (80 m s^{-1}) كما في الشكل ٣-٣٥، وتُسقط صندوق إمدادات طوارئ.



الشكل ٣-٣٥

لتجنُّب الضرر، فإن أقصى سرعة رأسية للصندوق لحظة وصوله إلى الأرض تساوي (20 m s^{-1}). افترض أن مقاومة الهواء مهملة:

أ. احسب أقصى ارتفاع للطائرة عندما أُسقط الصندوق.

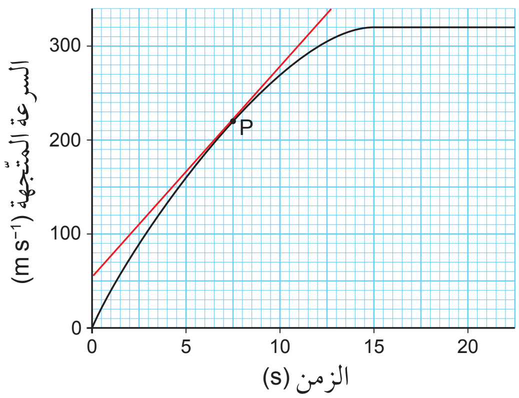
ب. احسب الزمن الذي يستغرقه الصندوق للوصول إلى سطح الأرض من هذا الارتفاع.

ج. تطير الطائرة بأقصى ارتفاع مسموح به. احسب المسافة الأفقية التي يقطعها الصندوق بعد إسقاطه من الطائرة (المدى).

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول الآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدٍ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أعرّف التسارع.	٣-١			
أحسب التسارع باستخدام ميل منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة-الزمن).	٣-٣			
أحسب مقدار الإزاحة من المساحة الواقعة تحت منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة-الزمن).	٣-٤			
أشتقّ معادلات الحركة الخطية بتسارع منتظم وأستخدمها.	٣-٧، ٣-٨، ٣-٩			
أصف تجربة لقياس تسارع السقوط الحرّ (g).	٣-١٠، ٣-١١			
أستخدم المركّبات المتعامدة لتمثيل متّجه.	٣-١٢			
أشرح حركة المقذوفات مستخدمًا سرعة متجهة منتظمة في بُعد واحد (أفقي) وتسارع منتظم في اتجاه رأسي، وأقوم بإجراء عمليات حسابية لهذه الحركة.	٣-١٣			



اقرأ إحداثيَّي نقطتَين من خط المماس لإيجاد ميل المماس. على سبيل المثال:

للزمن $t_1 = 0\ s$ ؛ $v_1 \approx 60\ m\ s^{-1}$

للزمن $t_2 = 11\ s$ ؛ $v_2 \approx 300\ m\ s^{-1}$

لذلك، تقريبًا، التسارع:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{300 - 60}{11 - 0} = 22\ m\ s^{-2}$$

١٤. أ. تتباطأ السيارة بتباطؤ ثابت (منتظم).

ب. السرعة المتجهة الابتدائية: $u = 20\ m\ s^{-1}$

السرعة المتجهة النهائية: $v = 8\ m\ s^{-1}$

ج. التسارع:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{8 - 20}{30 - 0} = -0.40\ m\ s^{-2}$$

د. إزاحة السيارة = المساحة تحت منحنى التمثيل البياني = (مساحة المستطيل بعرض $8\ m\ s^{-1}$ والطول 30 s) + (مساحة المثلث بارتفاع $12\ m\ s^{-1}$ والقاعدة 30 s)

$$= (8 \times 30) + (\frac{1}{2} \times 12 \times 30) = 420\ m$$

هـ. إزاحة السيارة:

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$

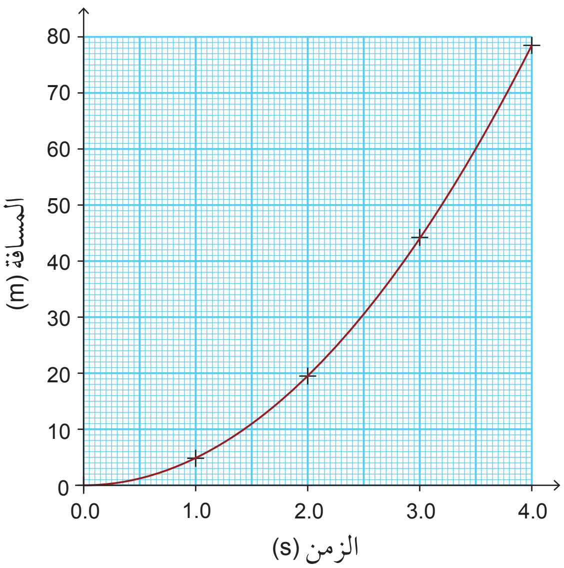
$$s = (20 \times 30) + (\frac{1}{2} \times (-0.40) \times 30 \times 30)$$

$$= 600 - 180 = 420\ m$$

١٥. أ. عندما نستخدم $s = ut + \frac{1}{2}at^2$، مع $u = 0$ لحساب المسافة التي يسقطها الحجر كل مرة نحصل على:

الزمن (s)	0	1.0	2.0	3.0	4.0
المسافة (m)	0	4.9	19.6	44.1	78.5

ب. منحنى التمثيل البياني هو قطع مكافئ مارّ بنقطة الأصل.



ج. في 2.5 s، يسقط الحجر مسافة $31\ m \approx 30.6\ m$.

تحقق باستخدام المعادلة:

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$

$$s = 0 + (\frac{1}{2} \times 9.81 \times 2.5 \times 2.5)$$

$$= 30.7\ m \approx 31\ m$$

د. الزمن المستغرق:

$$t = 2.86\ s \approx 2.9\ s$$

تحقق من خلال إعادة ترتيب المعادلة، مع تذكّر أن $u = 0$، وبذلك:

$$40 = 0 \times t + \frac{1}{2} \times 9.81 \times t^2$$

بحيث يصبح الزمن:

$$t = 2.86\ s \approx 2.9\ s$$

١٦. أ. نعرف s و a، وأن $u = 0$، وعلينا إيجاد t.

أعد ترتيب المعادلة $s = ut + \frac{1}{2}at^2$، مع تذكّر أن $u = 0$،

بحيث يصبح الزمن:

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a}}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \times 8.0}{9.81}} \approx 1.3\ s$$

السرعة النهائية:

$$v = \frac{l_2}{t_4 - t_3} = \frac{0.05}{0.35 - 0.30} = 1.0 \text{ m s}^{-1}$$

$$\Delta t = t_3 - t_1 = 0.30 - 0.0 = 0.30 \text{ s}$$

بالتالي، تسارع البطاقة:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{1.0 - 0.25}{0.30} = 2.5 \text{ m s}^{-2}$$

٨. بالنسبة إلى الجزء الأول من شريط النابض الزمني، الطول $l_1 = 10$ cm، الزمن المستغرق:

$$t_1 = 5 \times 0.02 = 0.10 \text{ s}$$

لذلك، السرعة الابتدائية:

$$u = \frac{l_1}{t_1} = \frac{0.10}{0.10} = 1.0 \text{ m s}^{-1}$$

بالنسبة إلى الجزء الثاني من شريط النابض الزمني، الطول $l_2 = 16$ cm، الزمن المستغرق:

$$t_2 = 5 \times 0.02 = 0.10 \text{ s}$$

لذلك، السرعة النهائية:

$$v = \frac{l_2}{t_2} = \frac{0.16}{0.10} = 1.6 \text{ m s}^{-1}$$

جزءا الشريط متجاوران، لذا فإن الزمن بين بداية الجزء الأول وبداية الجزء الأخير، Δt = الزمن الذي يستغرقه الجزء الأول:

$$\Delta t = 5 \times 0.02 = 0.10 \text{ s}$$

لذلك، التسارع:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{1.6 - 1.0}{0.10} = 6.0 \text{ m s}^{-2}$$

٩. أ. نعرف u و a و t ونريد أن نعرف v، لذا نستخدم المعادلة:

$$v = u + at$$

$$v = 0.0 + (2.0 \times 10) = 20 \text{ m s}^{-1}$$

ب. نعرف u و a و t ونريد أن نعرف s، لذا نستخدم المعادلة، المسافة:

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$

$$s = 0.0 + (\frac{1}{2} \times 2.0 \times 10 \times 10) = 100 \text{ m}$$

ج. نعرف u و v و a ونريد أن نعرف t، لذلك نعيد ترتيب المعادلة $v = u + at$، بالتالي الزمن:

$$t = \frac{v - u}{a}$$

$$t = \frac{24 - 0}{2.0} = 12 \text{ s}$$

١٠. أ. نعرف u و v و t ونريد أن نعرف a، لذلك لذلك نستخدم معادلة التسارع:

$$a = \frac{v - u}{t}$$

$$a = \frac{20 - 4.0}{100} = 0.16 \text{ m s}^{-2}$$

ب. السرعة المتوسطة:

$$v_{\text{متوسطة}} = \frac{v + u}{2}$$

$$v_{\text{متوسطة}} = \frac{20 + 4.0}{2} = 12 \text{ m s}^{-1}$$

ج. يمكننا استخدام المعادلة $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ ولكن نظرًا لأننا توصّلنا إلى السرعة المتوسطة، فمن الأسهل استخدام المعادلة الآتية لحساب المسافة:

$$s = v_{\text{متوسطة}} \times t$$

$$s = 12 \times 100 = 1200 \text{ m}$$

١١. نعرف u و v و a ونريد أن نعرف s، لذلك نعيد ترتيب المعادلة $v^2 = u^2 + 2as$، بحيث تكون المسافة:

$$s = \frac{v^2 - u^2}{2a}$$

$$s = \frac{(0)^2 - (30)^2}{2 \times (-7)} = \frac{900}{14} = 64.3 \text{ m} \approx 64 \text{ m}$$

١٢. نعرف v و a و s ونريد أن نعرف u، لذلك نعيد ترتيب المعادلة $v^2 = u^2 + 2as$ إلى $u^2 = v^2 - 2as$، لذا السرعة الابتدائية:

$$u = \sqrt{v^2 - 2as}$$

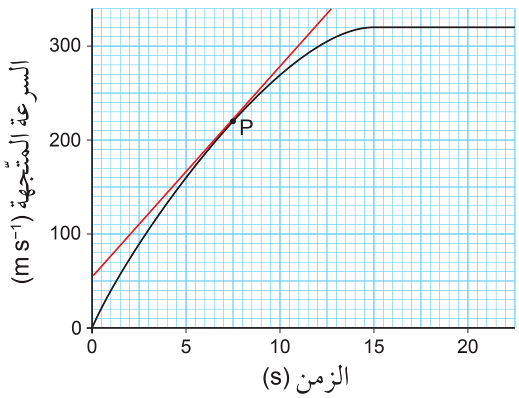
$$u = \sqrt{(0.0)^2 + (2 \times (-6.5) \times 50)} = \sqrt{650}$$

$$= 25.5 \text{ m s}^{-1}$$

هذا يتجاوز السرعة القصوى بقليل.

١٣. أ. $v = 220 \text{ m s}^{-1}$ ؛ $t = 7.5$ s

ب. ارسم مماسًا للمنحنى عند النقطة P (انظر التمثيل البياني).



اقرأ إحداثيَّي نقطتَين من خط المماس لإيجاد ميل المماس. على سبيل المثال:

للزمن $t_1 = 0$ s ؛ $v_1 \approx 60$ m s^{-1}

للزمن $t_2 = 11$ s ؛ $v_2 \approx 300$ m s^{-1}

لذلك، تقريبًا، التسارع:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{300 - 60}{11 - 0} = 22 \text{ m s}^{-2}$$

١٤. **أ.** تتباطأ السيارة بتباطؤ ثابت (منتظم).

ب. السرعة المتجهة الابتدائية: $u = 20$ m s^{-1}

السرعة المتجهة النهائية: $v = 8$ m s^{-1}

ج. التسارع:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{8 - 20}{30 - 0} = -0.40 \text{ m s}^{-2}$$

د. إزاحة السيارة = المساحة تحت منحنى التمثيل البياني = (مساحة المستطيل بعرض 8 m s^{-1} والطول 30 s) + (مساحة المثلث بارتفاع 12 m s^{-1} والقاعدة 30 s)

$$= (8 \times 30) + (\frac{1}{2} \times 12 \times 30) = 420 \text{ m}$$

هـ. إزاحة السيارة:

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$

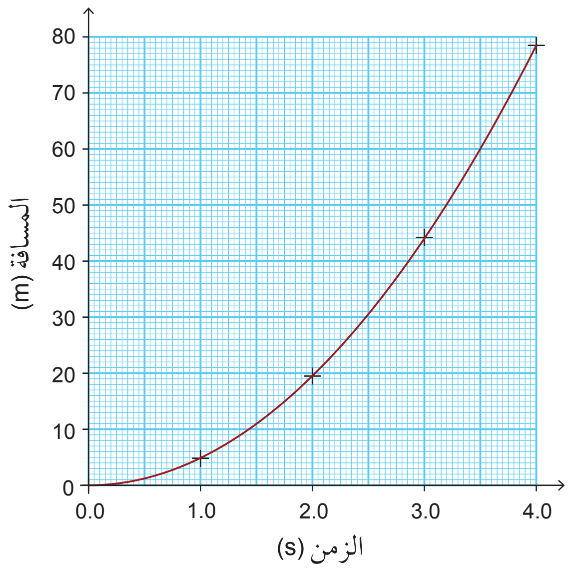
$$s = (20 \times 30) + (\frac{1}{2} \times (-0.40) \times 30 \times 30)$$

$$= 600 - 180 = 420 \text{ m}$$

١٥. **أ.** عندما نستخدم $s = ut + \frac{1}{2}at^2$، مع $u = 0$ لحساب المسافة التي يسقطها الحجر كل مرة نحصل على:

الزمن (s)	0	1.0	2.0	3.0	4.0
المسافة (m)	0	4.9	19.6	44.1	78.5

ب. منحنى التمثيل البياني هو قطع مكافئ مارّ بنقطة الأصل.



ج. في 2.5 s، يسقط الحجر مسافة 31 m ≈ 30.6 m.

تحقق باستخدام المعادلة:

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$

$$s = 0 + (\frac{1}{2} \times 9.81 \times 2.5 \times 2.5)$$

$$= 30.7 \text{ m} \approx 31 \text{ m}$$

د. الزمن المستغرق:

$$t = 2.86 \text{ s} \approx 2.9 \text{ s}$$

تحقق من خلال إعادة ترتيب المعادلة، مع تذكّر أن $u = 0$، وبذلك:

$$40 = 0 \times t + \frac{1}{2} \times 9.81 \times t^2$$

بحيث يصبح الزمن:

$$t = 2.86 \text{ s} \approx 2.9 \text{ s}$$

١٦. **أ.** نعرف s و a، وأن $u = 0$، وعلينا إيجاد t.

أعد ترتيب المعادلة $s = ut + \frac{1}{2}at^2$، مع تذكّر أن $u = 0$،

بحيث يصبح الزمن:

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a}}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \times 8.0}{9.81}} \approx 1.3 \text{ s}$$

ب. نعرف s و a، وأن $u = 0$، وعلينا إيجاد v.

استخدم المعادلة $v^2 = u^2 + 2as$، بحيث تكون سرعة الاصطدام:

$$v = \sqrt{u^2 + 2as}$$

$$v = \sqrt{(0)^2 + 2 \times 9.81 \times 8.0} = \sqrt{156.96}$$

$$= 12.5\ \text{m s}^{-1} \approx 13\ \text{m s}^{-1}$$

١٧. أ. باستخدام الطريقة في المثال ٦، نجد أن السرعة المتوسطة للكرة الفولاذية:

$$v_{\text{متوسطة}} = \frac{s}{t} = \frac{2.10}{0.67} = 3.134\ \text{m s}^{-1}$$

ثم جِد قيم v و u

السرعة النهائية:

$$v = 2 \times 3.134 = 6.268\ \text{m s}^{-1}$$

السرعة الابتدائية:

$$u = 0.0\ \text{m s}^{-1}$$

نعوّض بهذه القيم في معادلة التسارع:

$$a = \frac{v - u}{t}$$

$$a = \frac{6.268}{0.67} = 9.36\ \text{m s}^{-2}$$

$$\approx 9.4\ \text{m s}^{-2}$$

ب. مقاومة الهواء؛ تأخّر في تحرير الكرة.

ج. النسبة المئوية لعدم اليقين في الزمن:

$$= \frac{0.02}{0.67} \times 100\% = 3\%$$

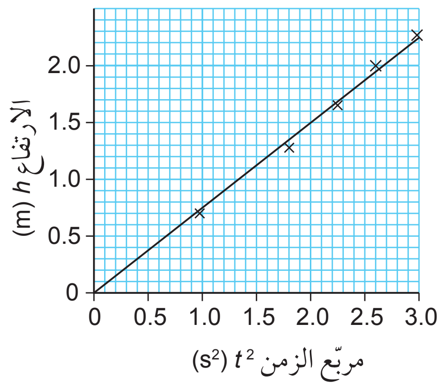
النسبة المئوية لعدم اليقين في g:

$$= 3\% + 3\% = 6\%$$

وبطريقة أخرى يمكن حساب النسبة المئوية لعدم اليقين في g باستخدام زمن (0.65 s) حيث أكبر قيمة لـ g هي $9.94\ \text{m s}^{-2}$، الأمر الذي يعطي عدم يقين مطلق قدره $0.58\ \text{m s}^{-2}$ ونسبة مئوية لعدم اليقين:

$$\frac{0.58}{9.36} \times 100\% = 6\%$$

١٨. أ.



ب. بما أن $s = \frac{1}{2}at^2$ و $a = g$، فإن الميل $= \frac{1}{2}g$،

الميل =

$$\frac{2.25 - 0}{3.0 - 0} = 0.75\ \text{m s}^{-2}$$

لذلك تسارع السقوط الحر، $g \approx 1.5\ \text{m s}^{-2}$

ج. هذا الجسم لا يسقط على الأرض، ربما على سطح القمر.

١٩. أ. الزاوية = 30° مع الأفقي، $s_x = 17.3\ \text{m} \approx 17\ \text{m}$؛ $s_y \approx 10\ \text{m}$

ب. الزاوية = 70° مع الأفقي، $v_x = 1.7\ \text{m s}^{-1}$؛ $v_y = -4.7\ \text{m s}^{-1}$

ج. الزاوية = 30° مع الأفقي، $a_x = -5.2\ \text{m s}^{-2}$؛ $a_y = -3.0\ \text{m s}^{-2}$

د. الزاوية = 15° مع الأفقي، $s_x = -77.3\ \text{m} \approx -77\ \text{m}$؛ $s_y = 20.7\ \text{m} \approx 21\ \text{m}$

٢٠. إزاحة الحجر الآن هي: $s = -25\ \text{m}$

التعويض في المعادلة $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ يعطي:

$$-25 = 20t + \frac{1}{2} \times (-9.81) \times t^2$$

لذلك، $4.9t^2 - 20t - 25 = 0$ أو تقريبًا $5t^2 - 20t - 25 = 0$، والتي يمكن تبسيطها إلى:

$$t^2 - 4t - 5 = (t - 5)(t + 1) = 0$$

لذلك، الزمن المستغرق للوصول إلى قعر الجرف $= 5\ \text{s}$ (أي 1 s أكثر). الإجابة الدقيقة هي:

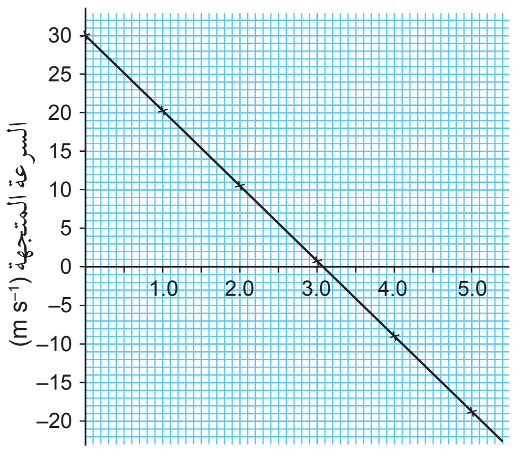
$$5.08 \approx 5.1\ \text{s}$$

في حلّ المعادلة التربيعية ستجد حلًا ثانيًا، $t = -1$ s. من الواضح أن الحجر لا يمكن أن يستغرق زمنًا سالبًا للوصول إلى قاع الجرف. ومع ذلك، فإن هذا الحلّ له معنى: فهو يفيدنا أنه لو تمّ إلقاء الحجر إلى الأعلى من قاع الجرف بالسرعة الصحيحة، لكان قد تحرك إلى الأعلى بسرعة $20\ \text{m s}^{-1}$ أثناء مروره بأعلى الجرف عند $t = 0$ s.

٢١. أ. استخدم $v = u + at$ لحساب v، وتذكّر أن $a = -9.81\ \text{m s}^{-2}$

السرعة المتجهة (m s^{-1})	30	20.19	10.38	0.57	−9.24	−19.05
الزمن (s)	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0

ب.



ج. 3.1 s

٢٢. أ. تبقى السرعة الأفقية ثابتة بعد القذف (بإهمال مقاومة الهواء)، لذلك، السرعة الأفقية:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{12.0}{4.0} = 3.0\ \text{m s}^{-1}$$

ب. للمسافة الرأسية، استخدم $s = ut + \frac{1}{2}at^2$، تذكّر أن $u = 0$

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$

$$s = 0 + \frac{1}{2} \times (-9.81) \times 4.0 \times 4.0 = -78.5\ \text{m}$$

لذلك يبلغ ارتفاع الجرف 78.5 m

٢٣. أ. المركّبة الرأسية للسرعة المتجهة:

$$= 8 \times \sin 40° = 5.14 \approx 5.1\ \text{m s}^{-1}$$

ب. المركّبة الرأسية للسرعة المتجهة: $0\ \text{m s}^{-1}$

ج. أعد ترتيب المعادلة $v = u + at$، بحيث يكون الزمن:

$$t = \frac{v - u}{a}$$

$$t = \frac{0 - 5.14}{-9.81} = 0.524 \approx 0.52\ \text{s}$$

د. المركّبة الأفقية للسرعة المتجهة:

$$= 8 \times \cos 40° = 6.13 \approx 6.1\ \text{m s}^{-1}$$

هـ. افترض أن المركّبة الأفقية للسرعة المتجهة ثابتة المقدار واستخدم معادلة المسافة:

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$

$$s = 6.1 \times 0.52 + 0 = 3.21 \approx 3.2\ \text{m}$$

٢٤. أولًا، احسب الزمن المستغرق للكرة للعودة إلى سطح الأرض.

السرعة الرأسية الابتدائية:

$$u_{\text{رأسية}} = 40 \times \sin 45° \approx 28.3\ \text{m s}^{-1}$$

نعلم أن المسافة الرأسية التي تمّ تخطّيها عندما تصطدم الكرة بسطح الأرض = 0 m، لذا أعد ترتيب المعادلة $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ لإيجاد t:

$$0 = 28.3t + \frac{1}{2} \times -9.81t^2 = 28.3t - 4.905t^2$$

لذلك، $t = 0$ (عند رمي الكرة) أو $t = 5.77$ s (عندما تعود إلى سطح الأرض)

افترض أن السرعة المتجهة الأفقية ثابتة المقدار:

$$u_{\text{أفقية}} = 40 \times \cos 45° = 28.3\ \text{m s}^{-1}$$

لذلك، المسافة الأفقية:

$$s = ut = 28.3 \times 5.77$$

$$= 163\ \text{m} \approx 160\ \text{m}$$

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

١. أ

٢. ج

٣. ج

٤. باستخدام المعادلة $v^2 = u^2 + 2as$، المسافة:

$$s = \frac{(v^2 - u^2)}{2a}$$
$$= \frac{(30^2 - 10^2)}{2 \times 4.0}$$
$$= 100\ \text{m}$$

٥. باستخدام المعادلة $v = u + at$، السرعة النهائية:

$$v = 50 - (0.50 \times 100) = 0$$

باستخدام المعادلة $s = ut + \frac{1}{2}at^2$، المسافة التي قطعها القطار:

$$s = 50 \times 100 - 0.5 \times 0.50 \times 100^2 = 2500\ \text{m}$$

يتباطأ القطار إلى أن يتوقف، ويقطع مسافة 2500 m

٦. أ. باستخدام المعادلة $s = ut + \frac{1}{2}at^2$:

$$s = 20t - 0.5 \times 9.81t^2 = 20t - 4.9t^2$$

ب. يؤدي التعويض عن قيم t في المعادلة إلى:

– بعد 2.0 s، باستخدام معادلة الإزاحة، نجد أن الارتفاع:

$$s = 20.4\ \text{m} \approx 20\ \text{m}$$

– بعد 6.0 s، باستخدام معادلة الإزاحة، نجد أن الارتفاع:

$$s = -56.4\ \text{m} \approx -56\ \text{m}$$

ج. بالتعويض عن $s = 0$ يعطي:

$$0 = 20t - 4.9t^2$$
$$t = \frac{20}{4.9} = 4.08\ \text{s}$$
$$\approx 4.1\ \text{s}$$

٧. أ. المسافة التي تقطعها السيارة A بسرعة ثابتة

= السرعة × الزمن:

$$= 40 \times 20 = 800\ \text{m}$$

ب. تسارع السيارة B:

$$\text{التسارع} = \frac{\text{التغيّر في السرعة}}{\text{الزمن الكلّي}}$$

$$a = \frac{(50 - 25)}{20} = 1.25\ \text{m s}^{-2}$$

المسافة التي تقطعها السيارة B = السرعة المتوسطة × الزمن المستغرق

السرعة المتوسطة:

$$v = \frac{(25 + 50)}{2} = 37.5\ \text{m s}^{-1}$$

المسافة التي قطعتها السيارة:

$$s = 37.5 \times 20 = 750\ \text{m}$$

ج. يجب أن تنتقل السيارة B مسافة 50 m إضافية؛ سرعتها الإضافية $10\ \text{m s}^{-1}$، لذلك، الزمن المطلوب:

$$t = \frac{50}{10} = 5\ \text{s}$$

د. ضع في اعتبارك السيارة A: تنتقل بسرعة $40\ \text{m s}^{-1}$ لمدة 25 s، المسافة الكلية التي تمّ قطعها:

$$s = 40 \times 25 = 1000\ \text{m}$$

وهي المسافة نفسها التي تقطعها السيارة B.

٨. أ. المركّبة الرأسية للسرعة المتجهة:

$$= v \sin 30°$$
$$= 5.6 \sin 30° = 2.8\ \text{m s}^{-1}$$

باستخدام المعادلة $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ مع $a = -g$ و $s = 0$:

$$t = \frac{2.8}{4.9} = 0.57\ \text{s}$$

ب. المركّبة الأفقية للسرعة المتجهة:

$$= v \cos 30°$$
$$= 5.6 \cos 30° = 4.85\ \text{m s}^{-1} \approx 4.9\ \text{m s}^{-1}$$

المسافة الأفقية = السرعة × الزمن:

$$= 4.85 \times 0.57 = 2.77\ \text{m} \approx 2.8\ \text{m}$$

٩. أ. $0.2 = \frac{1}{2} \times 9.81 \times t^2$

$t = 0.202\ \text{s} \approx 0.20\ \text{s}$

ب. ١. $v^2 = u^2 + 2as$؛

$2.91^2 = 1.92^2 + 2a \times 0.25$

$a = 9.56\ \text{m s}^{-2} \approx 9.6\ \text{m s}^{-2}$

٢. تعمل مقاومة الهواء في الاتجاه المعاكس للسرعة، وبالتالي تقلل من التسارع.

١٠. أ. ١. تتحرك الكرة إلى الأعلى (أو تعكس اتجاهها) بعد ارتدادها.

٢. في كلتا الحالتَين، تتسارع الكرة بسبب الجاذبية الأرضية وهي مقدار ثابت.

٣. الارتفاع الابتدائي للكرة فوق سطح الأرض.

٤. لا ترتد الكرة عالية إلى الموضع الابتدائي. أو يتمّ فقد طاقة (الحركة) (كحرارة/طاقة داخلية) أثناء الارتداد.

ب. ١. $v^2 = u^2 + 2as$

$v^2 = 2 \times 9.81 \times 1.2$

$v = \pm 4.85\ \text{m s}^{-1} = \pm 4.9\ \text{m s}^{-1}$

تأخذ القيمة الموجبة للسرعه لأن الحركة في الاتجاه الموجب (إلى أسفل).

٢. $-u^2 = 2 \times 9.81 \times -0.80$

$u = \pm 3.96\ \text{m s}^{-1} = \pm 4.0\ \text{m s}^{-1}$

تأخذ القيمة السالبة للسرعه لأن الحركة في الاتجاه السالب (إلى أعلى).

٣. $v = u + at$

حيث t تمثل زمن تلامس الكرة بالأرض.

$-3.96 = 4.85 + a \times 0.02$

$a = -440\ \text{m s}^{-2}$

الاتجاه إلى الأعلى

١١. أ. يؤدي رسم مماس منحنى التمثيل البياني عند $t = 0.7\ \text{s}$ إلى تحديد ميله أي تحديد التسارع:

$a = (0.8 \pm 0.2)\ \text{m s}^{-2}$

ب. التسارع ثابت من $t = 0\ \text{s}$ إلى $t = 0.5\ \text{s}$ تقريبًا، يقل التسارع ابتداءً من $t = 0.5\ \text{s}$،

لأن ميل المماس ثابت من $t = 0\ \text{s}$ إلى $t = 0.5\ \text{s}$ ويقل ابتداءً من $t = 0.5\ \text{s}$

ج. المساحة تحت منحنى التمثيل البياني المستخدم.

الطريقة «الصحيحة»، على سبيل المثال، قاعدة شبه المنحرف أو حساب المربّعات (تعطي قاعدة شبه المنحرف):

$s = \frac{1}{2} \times (0.90 + 1.08) \times = 0.2\ \text{m}$

عند عدّ المربّعات نجدها 10 مربّعات ومساحة كل مربع تساوي:

$0.1 \times 0.2 = 0.02\ \text{m}$

المسافة:

$10 \times 0.02 = 0.2\ \text{m}$

$= (0.20 \pm 0.01)\ \text{m}$

د. الأخطاء العشوائية: النقاط على جانبَي الخط.

الأخطاء النظامية: يتمّ إزاحة الخط بالكامل إلى الأعلى أو إلى الأسفل.

١٢. أ. $v^2 = u^2 + 2as$

$0 = u^2 - 2 \times 2.0 \times 140$

$u = 23.7 \approx 24\ \text{m s}^{-1}$

ب. $t = \frac{s}{v} = \frac{60}{23.7} = 2.54\ \text{s}$

الزمن المستغرق بين لحظة رؤيتة للشجرة والضغط على المكابح تقريبًا 2.54 s، لذلك لم يكن السائق متيقظًا للخطر (حيث أن زمن رد الفعل من نصف ثانية إلى 2 ثانية في الوضع الطبيعي).

ج. $100\ \text{km h}^{-1} = \frac{100\,000}{60 \times 60} = 27.8\ \text{m s}^{-1}$

$\approx 28\ \text{m s}^{-1}$

لم يكن السائق مسرعًا، حيث السرعة $24\ \text{m s}^{-1}$ أقل من الحد الأقصى للسرعة.

١٣. أ. الميل ثابت.

ب. ١. $(1.55 \pm 0.05)\ \text{s}$

(وهذا يمثل مدى الإجابات الصحيحة المتوقّعه من الطلبة).

٢. بحساب المساحة تحت منحنى التمثيل البياني بين $t = 0\ \text{s}$ و $t = 1.55\ \text{s}$، نجد:

$s = 15 \times \frac{1.55}{2} = 11.6 \approx 12\ \text{m}$

٣. المسافة = المساحة بين $t = 1.55\ \text{s}$ و $t = 4.1\ \text{s}$ تساوي $31.8 \approx 32\ \text{m}$

تقبّل الإجابة نتيجة قيمة عدم اليقين في الزمن في (١).

ج. ١. السرعة الابتدائية للكرة أو منطاد الهواء الساخن هي $15\ \text{m s}^{-1}$

٢. يكون التسارع في الاتجاه المعاكس للسرعة الابتدائية للكرة. أو تسارع الجاذبية هو إلى الأسفل والكرة ترتفع في البداية.

١٤. أ. $v^2 = u^2 + 2as$

$20^2 = 0 + 2 \times 9.81 \times s$

$s = 20.4 \approx 20\ \text{m}$

ب. $v = u + at$

$20 = 0 + 9.81 \times t$

$t = 2.04 \approx 2.0\ \text{s}$

ج. المسافة الأفقية (المدى):

$= 80 \times 2.04$

$= 163\ \text{m} \approx 160\ \text{m}$

إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة

إجابات أسئلة الأنشطة

نشاط ٣-١: التمثيلات البيانية (السرعة المتجهة-الزمن)

١. أ. $v = 0$ عندما $t = 0$

ب. بعد 40 s؛ حيث يصبح منحنى التمثيل البياني خطًا مستقيمًا أفقيًا (الميل = 0).

ج. الزمن = 20 s

د. الازدياد في السرعة = $15\ m\ s^{-1}$

هـ. التسارع في الجزء AB:

$$a = \frac{15}{20} = 0.75\ m\ s^{-2}$$

و. التسارع في الجزء BC:

$$a = \frac{9}{20} = 0.45\ m\ s^{-2}$$

ز. مساحة المثلث ABX:

$$= \frac{1}{2} \times 20 \times 15 = 150\ m$$

هي المسافة المقطوعة في أول 20 s

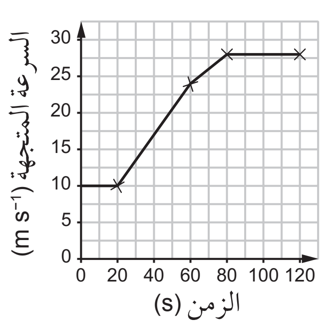
ح. المسافة الكلّية:

$$= 150 + \frac{1}{2} \times 9 \times 20 + 15 \times 20 + 24 \times 20$$

$$= 1020\ m$$

بما أن الطريق مستقيمة، لذلك يكون مقدار الإزاحة 1020 m واتجاهها باتجاه مسار السيارة.

٢. أ.



ب. بين 20 s و 60 s؛

التغيّر في السرعة = $14\ m\ s^{-1}$؛

التسارع:

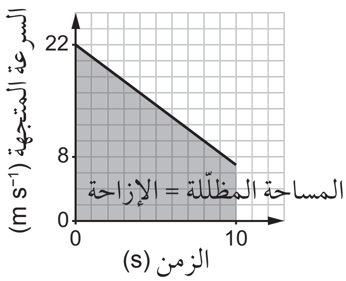
$$a = \frac{14}{40} = 0.35\ m\ s^{-2}$$

ج. المسافة الكلّية التي قطعتها السيارة:

$$= (10 \times 20) + (17 \times 40) + (26 \times 20) + (28 \times 40)$$

$$= 2520\ m$$

٣. أ.



ب. التسارع:

$$a = \frac{(7 - 22)}{10} = \frac{-15}{10} = -1.5\ m\ s^{-2}$$

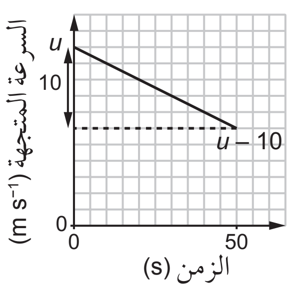
ج. الميل سالب (ينحدر نحو الأسفل).

د. انظر التمثيل البياني.

هـ. مقدار الإزاحة:

$$= \frac{1}{2} \times (22 + 7) \times 10 = 145\ m$$

٤. أ.



ب. مقدار التغير في السرعة:

$$= 0.2 \times 50 = 10\ m\ s^{-1}$$

المساحة تحت منحنى التمثيل البياني:

$$= \frac{1}{2} \times 10 \times 50 + (u - 10) \times 50 = 2000\ m$$

$$u = 45\ m\ s^{-1}$$

نشاط ٣-٢: اشتقاق معادلات الحركة الخطية

١. أ. s = الإزاحة

u = السرعة الابتدائية

v = السرعة النهائية

a = التسارع

t = الزمن

ب. التسارع المنتظم هو التسارع الثابت في كل من المقدار والاتجاه.

٢. أ. $a = \frac{(v-u)}{t}$

ب. $v = u + at$

ج. الإزاحة s

٣. أ. السرعة المتجهة المتوسطة =

$$\frac{\text{(السرعة المتجهة الابتدائية + السرعة المتجهة النهائية)}}{2}$$

$$= \frac{(u+v)}{2}$$

ب. الإزاحة = السرعة المتجهة المتوسطة × الزمن

$$s = \frac{(u+v)}{2} \times t$$

ج. التسارع a

٤. أ. يتسارع الجسم من u إلى v في الفترة الزمنية t.

ب. مساحة المستطيل = ut

ج. ارتفاع المثلث = $v - u = at$

د. مساحة المثلث = $\frac{1}{2} \times t \times at =$

$$= \frac{1}{2} at^2$$

هـ. $s = ut + \frac{1}{2} at^2$

نشاط ٣-٣: استخدام معادلات الحركة الخطية

١. أ. المعادلة ١:

$$v = u + at$$

$$= 12 + 0.75 \times 20$$

$$= 27 \text{ m s}^{-1}$$

ب. السرعة المتجهة المتوسطة:

$$= \frac{(12+27)}{2} = 19.5 \text{ m s}^{-1}$$

ج. المسافة = السرعة المتوسطة × الزمن:

$$= 19.5 \times 20 = 390 \text{ m}$$

د. $s = (12 \times 20) + (0.5 \times 0.75 \times 20^2)$

$$= 240 + 150 = 390 \text{ m}$$

٢. المعادلة ٣:

$$s = ut + \frac{1}{2} at^2$$

$$2000 = u \times 50 - 0.5 \times 0.2 \times 50^2$$

$$u = \frac{(2000 + 250)}{50} = 45 \text{ m s}^{-1}$$

٣. باستخدام المعادلة ٣، مقدار الإزاحة في أول 10 s:

$$= 0.5 \times 0.8 \times 10^2 = 40 \text{ m}$$

السرعة بعد 10 s:

$$= 0.8 \times 10 = 8 \text{ m s}^{-1}$$

باستخدام المعادلة ٣ مرة أخرى، مقدار الإزاحة في 10 s التالية:

$$= 8.0 \times 10 + 0.5 \times 0.4 \times 10^2 = 80 + 20$$

$$= 100 \text{ m}$$

مقدار الإزاحة النهائية = 140 m

٤. أ. المعادلة ٤:

$$v^2 = u^2 + 2as$$

$$41^2 = 28^2 + 2 \times a \times 100$$

$$a = \frac{(41^2 - 28^2)}{200} = 4.5 \text{ m s}^{-2}$$

ب. المعادلة ٢:

$$s = \frac{(v+u)}{2} \times t$$

$$100 = \frac{(41+28)}{2} \times t$$

$$t = \frac{100}{34.5} = 2.9 \text{ s}$$

نشاط ٣-٤: الحركة تحت تأثير الجاذبية الأرضية

١. أ.

الكمّية	الإزاحة	السرعة المتجهة	التسارع
الحجر مقذوفًا إلى الأعلى	+	+	–
الحجر في أعلى نقطة	+	0	–
الحجر يسقط إلى الأسفل	+	–	–

ب. التمثيل البياني (ب)؛ لأن الميل ثابت وسالب.

٢. أ. السرعة عند أعلى نقطة = 0

$0 = 6.5^2 - 2 \times 9.81 \times s$

$s = 2.2\ \text{m}$

ب. السرعة المتجهة النهائية = $6.5\ \text{m s}^{-1}$

$t = \dfrac{(v-u)}{a}$

$t = \dfrac{13.0}{9.81} = 1.33\ \text{s}$

ج. $s = -55\ \text{m}$

$v^2 = 6.5^2 + (2 \times 9.81 \times 55.0) = 1121$

$v = -33.5\ \text{m s}^{-1}$

د. $t = \dfrac{(v-u)}{a}$

$t = \dfrac{(33.5 + 6.5)}{9.81} = 4.08\ \text{s}$

٣. أ. المركّبة الرأسية للسرعة المتجهة الابتدائية = السرعة المتوسطة الرأسية × الزمن =

$24 \sin 45° = 17.0\ \text{m s}^{-1}$

ب. الإزاحة الرأسية = 0

ج. $s = ut + \dfrac{1}{2}at^2$

$0 = (17.0 \times t) - (0.5 \times 9.81 \times t^2)$

$t = 3.47\ \text{s}$

د. التسارع الأفقي = 0

هـ. المركّبة الأفقية للسرعة المتجهة الابتدائية =

$24 \cos 45° = 17.0\ \text{m s}^{-1}$

و. المسافة المقطوعة أفقيًا (المدى الأفقي) = السرعة المتوسطة الأفقية × الزمن:

$= 17.0 \times 3.47 = 58.9 \approx 59.0\ \text{m}$

٤. المركّبة الرأسية للسرعة المتجهة الابتدائية:

$24 \sin 50° = 18.4\ \text{m s}^{-1}$

$s = ut + \dfrac{1}{2}at^2$

$0 = (18.4 \times t) - (0.5 \times 9.81 \times t^2)$

$t = \dfrac{18.4}{(0.5 \times 9.81)} = 3.75\ \text{s}$

المركّبة الأفقية للسرعة المتجهة الابتدائية:

$24 \cos 50° = 15.4\ \text{m s}^{-1}$

المسافة المقطوعة أفقيًا (المدى):

$= 15.4 \times 3.75 = 57.8\ \text{m}$

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

١. أ. التسارع: هو معدّل تغيّر السرعة المتجهة لجسم ما؛ ووحدته m s^{-2}

ب. $v^2 = u^2 + 2as$

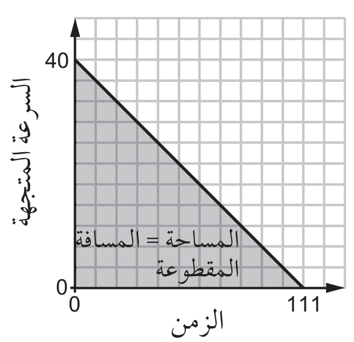
$0 = 40^2 + (2a \times 2200)$

$a = -0.36\ \text{m s}^{-2}$

ج. $t = \dfrac{(v-u)}{a}$

$t = \dfrac{40}{0.36} = 111\ \text{s}$

د، هـ.



يظهر ميل الخط المستقيم تسارعًا منتظمًا.

٢. أ. السرعة الابتدائية = 0

استخدم المعادلة: $s = ut + \frac{1}{2}at^2$

$g = \frac{2h}{t^2}$

ب. بزيادة الزمن t تصبح قيمة g أقل.

٣. أ. المركّبة الأفقية للسرعة المتجهة:

$12.0 \cos 45° = 8.5\ m\ s^{-1}$

الزمن الذي تستغرقه الكرة = $\frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$

$t = \frac{14.7}{8.5} = 1.7\ s$

ب. المركّبة الرأسية للسرعة المتجهة:

$12.0 \sin 45° = 8.5\ m\ s^{-1}$

$a = \frac{(v - u)}{t}$

$a = \frac{(8.5 - (-8.5))}{1.7} = 10\ m\ s^{-2}$