تم تحميل وعرض المادة من :

موقع واجباتي
www.wajibati.net

موقع واجباتي منصة تعليمية تساهم بنشر
حل المناهج الدراسية بشكل متميز لترتقي بمجال التعليم
على الإنترنت ويستطيع الطلاب تصفح حلول الكتب مباشرة
لجميع المراحل التعليمية المختلفة

* جميع الحقوق محفوظة للقائمين على الموقع *

موقع واجباتي

الفصل 3

الحركة المتسارعة
Accelerated Motion

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف الحركة المتسارعة.
- استخدام الرسوم البيانية والمعادلات لحل مسائل تتضمن أجسامًا متحركة.
- وصف حركة الأجسام في حالة السقوط الحر.

الأهمية

لا تتحرك الأجسام دائمًا بسرعات منتظمة. ويساعدك فهم الحركة المتسارعة على وصف حركة العديد من الأجسام بشكل أفضل. التسارع العديد من وسائل النقل -ومنها السيارات والطائرات وقطارات الأنفاق وكذلك المصاعد وغيرها- تبدأ رحلاتها عادةً بزيادة سرعتها بمعدل كبير، وتنهيها بالوقوف بأسرع ما يمكن.

فكّر

يقف سائق سيارة السباق متحفزًا عند خط البداية منتظرًا الضوء الأخضر الذي يعلن بدء السباق. وعندما يضيء ينطلق السائق بأقصى سرعة. كيف يتغير موقع السيارة في أثناء تزايد سرعتها؟

موقع واجباتي

موقع واجباتي

تجربة استهلالية

هل تبدو جميع أنواع الحركة بالشكل نفسه عند تمثيلها بيانيًا؟

سؤال التجربة كيف تقارن الرسم البياني لحركة سيارة ذات سرعة منتظمة بالرسم البياني لحركة سيارة تتزايد سرعتها؟

الخطوات

1. أحضر سيارتين لعبة تعملان بنابض، وضع لوحًا خشبيًّا مناسبًا فوق سطح الطاولة لتمثيل مسار لحركة السيارتين.
2. ثبت المؤقت ذا الشريط الورقي على أحد طرفي اللوح.
3. قص قطعة من شريط المؤقت طولها 50 cm وأدخلها في المؤقت، ثم ألصق الطرف الآخر بالسيارة رقم 1، حيث يستخدم الشريط الورقي أداةً لرسم مخطط الجسيم النقطي.
4. دوِّن رقم السيارة على الشريط، وشغِّل المؤقت، وأطلق السيارة.
5. ارفع الطرف الثاني للوح الخشبي بمقدار 8–10 cm، بوضع مكعبات خشبية أسفل طرفه.
6. كرّر الخطوات 5–3 مستخدمًا السيارة رقم 2، بوضع السيارة ملاصقة للمؤقت وإطلاقها بعد تشغيله. أمسك السيارة قبل سقوطها عن حافة اللوح الخشبي.
7. **سجل البيانات ونظمها** حدد ثاني نقطة داكنة (سوداء) على شريط المؤقت على أنها الصفر. قِس المسافة بين نقطة الصفر وكلٍّ من النقاط الأخرى لعشر فترات زمنية، ثم دوِّن القراءات.
8. **أنشئ الرسوم البيانيّة واستخدمها** مثِّل بيانيًّا المسافة الكلية مع رقم الفترة الزمنية. عيِّن القراءات لكلتا السيارتين على الرسم نفسه. دوّن رقم السيارة على الرسم البياني الذي يمثلها.

التحليل

أي السيارتين تحركت بسرعة منتظمة، وأيهما ازدادت سرعتها؟ وضح كيف توصلت إلى ذلك من خلال فحصك لشريط المؤقت؟

التفكير الناقد صف شكل كل من الرسمين البيانيين. ما علاقة شكل الخط البياني بنوع الحركة التي شوهدت؟

3–1 التسارع (العجلة) Acceleration

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

الحركة المنتظمة من أبسط أنواع الحركة. وكما درست في الفصل الثاني فإن الجسم الذي يتحرك حركة منتظمة يسير بسرعة ثابتة في خط مستقيم. 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 من الحركة أكثر تعقيدًا. وستدرس حالات تتغير خلالها سرعة الجسم، بينما يبقى مساره مستقيمًا. وستدرس كذلك أمثلة تتضمن سيارات تتزايد سرعتها، واستخدام سائقي السيارات للفرامل، والأجسام الساقطة، والأجسام المقذوفة رأسيًّا إلى أعلى.

الأهداف

- **تعرف** التسارع (العجلة).
- **تربط** السرعة المتجهة والتسارع مع حركة الجسم.
- **تمثل** بيانيًّا العلاقة بين السرعة المتجهة والزمن.

المفردات

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

موقع واجباتي

موقع واجباتي

تغير السرعة المتجهة Changing Velocity

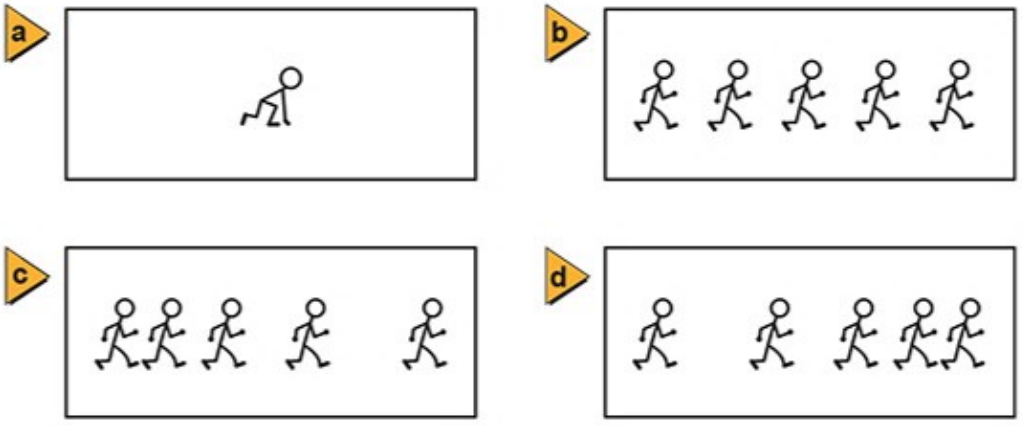
تستطيع أن تشعر بالفرق بين الحركة المنتظمة والحركة غير المنتظمة؛ فالحركة المنتظمة تمتاز بسلاستها؛ فإذا أغمضت عينيك لم تشعر بالحركة. وعلى النقيض من ذلك، عندما تتحرك على مسار منحنٍ أو صعودًا وهبوطًا كما هو الحال عند ركوب العجلة الدوَّارة في متنزه الألعاب تشعر بأنك تُدفع أو تُسحب.

تأمل المخططات التوضيحية للحركة المبينة في **الشكل 1–3**. كيف تصف حركة العداء في كل حالة؟ في **الشكل a** لا يتحرك العداء، أما في **الشكل b** فيتحرك بسرعة منتظمة، وفي **الشكل c** يزيد من سرعته، أما في **الشكل d** فيتباطأ. كيف استطعت استنتاج ذلك؟ ما المعلومات التي تتضمنها المخططات التوضيحية، ويمكن استخدامها للتمييز بين الحالات المختلفة للحركة؟

إن أهم ما يجب عليك ملاحظته في هذه المخططات التوضيحية هو المسافة بين المواقع المتعاقبة للعدّاء. وكما درست في الفصل الثاني أن الأجسام غير المتحركة في خلفية المخططات التوضيحية للحركة لا تغير مواقعها. ولأنه توجد صورة واحدة فقط للعدّاء في **الشكل 1a–3** فإنك تستنتج أنه لا يتحرك؛ أي أنه في حالة سكون. يُشْبه **الشكل 1b–3**، المخطط التوضيحي لحركة جسم بسرعة منتظمة في الفصل الثاني؛ لأن المسافات بين صور العدّاء في الرسم متساوية ، لذا فإن العدَّاء يتحرك بسرعة منتظمة. أما في المخططين التوضيحيين الآخرين فتتغير المسافة بين المواقع المتتالية؛ فإذا كان التغير في الموقع يزيد تدريجيًّا فهذا يعني أن العدّاء يزيد من سرعته، كما في **الشكل 1c–3**. أما إذا كان التغير في الموقع يقل، كما في **الشكل 1d–3**، فإن العدَّاء يتباطأ.

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

a. يقف ساكنًا
b. يتحرك بسرعة منتظمة
c. يتسارع
d. يتباطأ



تجربة

سباق الكرة الفولاذية

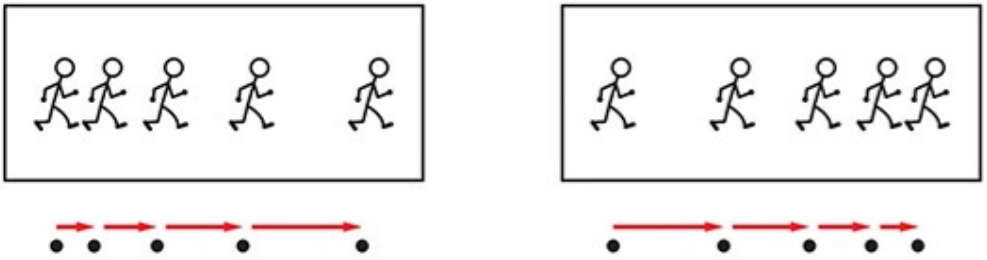
إذا أُفلتت كرتان من الفولاذ في اللحظة نفسها من قمة منحدر، فهل تتقاربان أو تتباعدان أو تبقيان متجاورتين في أثناء تدحرجهما؟

1. اعمل مستوى مائلاً باستخدام أنبوب طويل فيه مجرى على شكل حرف U، أو استعمل مسطرتين مترتين ملتصقتين معًا.
2. حدّد علامة على بُعد 40 cm من قمة المستوى المائل، وعلامة أخرى على بُعد 80 cm من القمة أيضًا.
3. توقّع ما إذا كانت الكرتان ستتقاربان أو تتباعدان أو تبقى المسافة بينهما ثابتة في أثناء تدحرجهما إلى أسفل المستوى المائل.
4. أفلت الكرة الأولى من قمة المستوى المائل، وفي الوقت نفسه أفلت الأخرى من العلامة التي تبعد 40 cm عن القمة.
5. أعد التجربة، بحيث تفلت إحدى الكرتين من قمة المستوى المائل، وعندما تصل إلى العلامة 40 cm أفلت الأخرى من القمة أيضًا.

التحليل والاستنتاج

6. اشرح مشاهداتك مستخدمًا مصطلحات السرعة.
7. هل كان للكرتين الفولاذيتين السرعة نفسها في أثناء تدحرجهما على المستوى المائل؟ وضح ذلك.
8. هل كان لهما التسارع نفسه؟ وضح ذلك.

موقع واجباتي



الشكل 2–3 نموذج الجسيم النقطي الذي يمثل المخطط التوضيحي لحركة العداء يوضح التغير في سرعته من خلال التغير في المسافات الفاصلة بين نقاط الموقع؛ وكذلك من خلال التغير في أطوال متجهات السرعة.

كيف يبدو المخطط التوضيحي للحركة باستخدام نموذج الجسيم النقطي لجسم تتغير سرعته؟ يبين **الشكل 2–3** المخططات التوضيحية للحركة باستخدام النموذج الجسيمي النقطي أسفل المخططات التوضيحية لتمثيل حالة العدَّاء عندما تزداد سرعته، وعندما تتباطأ سرعته. هناك مؤشران رئيسان يعبِّران عن التغير في السرعة في هذا النمط من المخططات التوضيحية للحركة، هما: التغير في أطوال المسافات بين النقاط، والفرق بين أطوال متجهات السرعة. فإذا كان الجسم يزيد من سرعته فإن متجه السرعة التالي يكون أطول من متجه السرعة السابق. أما إذا كان يُبطئ من سرعته فيكون المتجه التالي أقصر. إن كلا النوعين من التمثيلات المتكافئة يعطي تصورًا عن كيفية تغير سرعة جسم ما.

منحنى السرعة المتجهة-الزمن Velocity-Time Graph

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

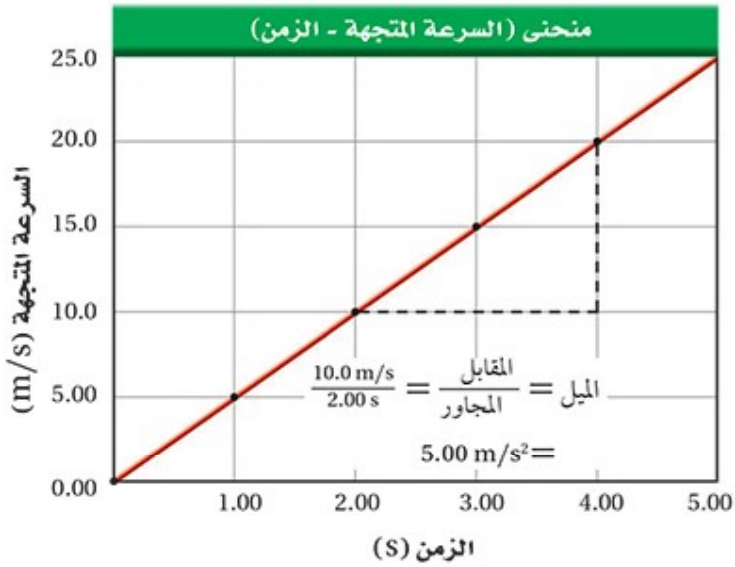
كما يبين **الشكل 3–3** الرسم البياني للسرعة المتجهة–الزمن؛ حيث تم اختيار الاتجاه الموجب في اتجاه حركة السيارة. لاحظ أن الرسم البياني عبارة عن خط مستقيم، وهذا يعني أن سرعة السيارة تتزايد بمعدل منتظم. ويمكن إيجاد المعدل الذي تتغير فيه سرعة السيارة بحساب ميل الخط المستقيم في منحنى (السرعة المتجهة–الزمن).

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

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



موقع واجباتي

يتضح من الرسم البياني أن الميل يساوي $\left(\frac{10.0\ \text{m/s}}{2.00\ \text{s}}\right)$، أو $5.00\ \text{m/s}^2$، وهذا يعني أنه في كل ثانية تزداد سرعة السيارة بمقدار $5.00\ \text{m/s}$. عند دراسة زوجين من البيانات التي تفصل بينها $1\ \text{s}$، مثلًا $4.00\ \text{s}$ و $5.00\ \text{s}$، تجد أنه عند اللحظة $4.00\ \text{s}$ كانت السيارة تتحرك بسرعة $20.0\ \text{m/s}$، وعند اللحظة $5.00\ \text{s}$ كانت السيارة تتحرك بسرعة $25.0\ \text{m/s}$، وبذلك ازدادت سرعة السيارة بمقدار $5.0\ \text{m/s}$ خلال فترة زمنية مقدارها $1.00\ \text{s}$. ويعرف المعدل الزمني لتغير السرعة المتجهة لجسم **بتسارع الجسم (عجلة الجسم)**، ويرمز له بالرمز $\boldsymbol{a}$. وعندما تتغير سرعة جسم بمعدل ثابت يكون له تسارع ثابت.

التسارع المتوسط والتسارع اللحظي
Acceleration on a particle-model

التسارع المتوسط لجسم هو التغير في السرعة المتجهة لجسم خلال فترة زمنية، مقسومًا على هذه الفترة الزمنية، ويقاس التسارع المتوسط بوحدة m/s^2. أما التغير في السرعة المتجهة خلال فترة زمنية صغيرة جدًّا فيسمى **التسارع اللحظي**. ويمكن إيجاد التسارع اللحظي لجسم برسم خط مماسّي لمنحنى (السرعة المتجهة-الزمن) عند اللحظة الزمنية المُراد حساب التسارع عندها، وميل هذا الخط يساوي التسارع اللحظي.

دلالة اللون
- متجهات التسارع باللون البنفسجي.
- متجهات السرعة باللون الأحمر.
- متجهات الإزاحة باللون الأخضر.

التسارع في نماذج الجسيم النقطي
Acceleration on a Partical - Modle

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 المتجهة. لتحديد طول واتجاه متجه التسارع المتوسط اطرح متجهي سرعة متتاليين $(\Delta \boldsymbol{v})$، ثم اقسم على الفترة الزمنية (Δt). وكما هو مبين في الشكلين **3-4 a،b** فإن:

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

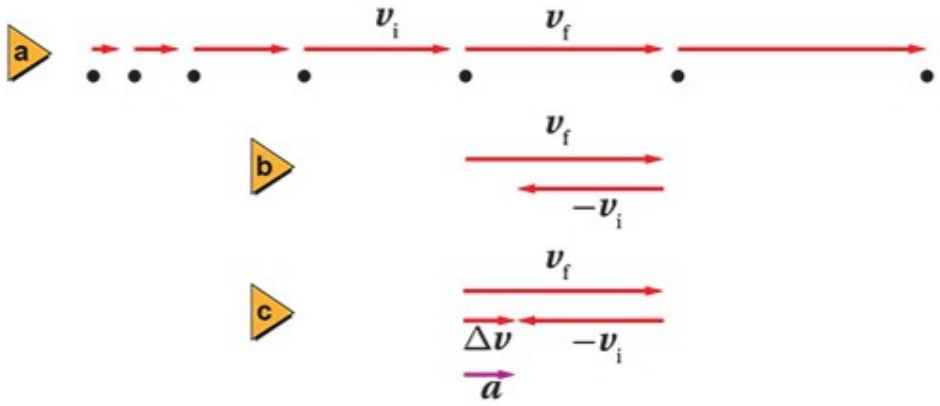
وبالقسمة على Δt نحصل على:

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

في الشكلين **3-4 a،b** تكون الفترة الزمنية (Δt) مساوية $1\ \text{s}$، لذلك يكون التسارع المتوسط

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

موقع واجباتي



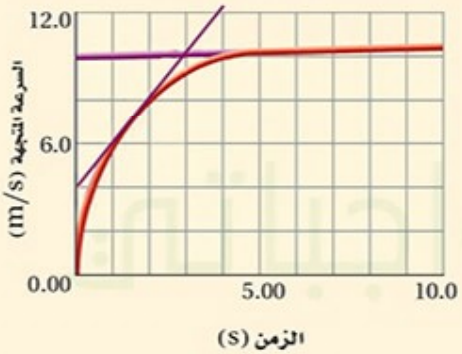
الشكل 4–3 يحسب متجه التسارع المتوسط خلال فترة زمنية محددة بإيجاد الفرق بين متجهي السرعة المتتاليين في تلك الفترة.

موقع واجباتي

إن المتجه الذي يظهر باللون البنفسجي في **الشكل 4c–3** هو التسارع المتوسط خلال تلك الفترة الزمنية. أما السرعتان المتجهتان v_i و v_f فتشيران إلى السرعة عند بداية فترة زمنية محددة، وعند نهايتها.

مثال 1

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



1 تحليل المسألة ورسمها

- تفحص الرسم البياني تلاحظ أن سرعة العداء المتجهة بدأت من الصفر، وتزايدت بسرعة خلال الثواني الأولى، وعندما بلغت حوالي 10.0 m/s بقيت ثابتة تقريبًا.

المعلوم

v = متغير

المجهول

$a = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

ارسم مماسًّا للمنحنى عند الزمن $t = 1.5\ s$، ثم ارسم مماسًّا آخر عند الزمن $t = 5.0\ s$.

أوجد التسارع a عند 1.5 s.

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

ميل الخط عند 1.5 s يساوي التسارع

دليل الرياضيات

الميل 227

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

أوجد التسارع عند 5.0 s

ميل الخط عند 5.0 s يساوي التسارع

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

التسارع غير ثابت؛ لأنه يتغير من $2.0\ m/s^2$ في اللحظة 1.5 s، إلى $0.030\ m/s^2$ في اللحظة 5.0 s، وذلك في الاتجاه الموجب؛ لأن القيمتين موجبتان.

3 تقويم الجواب

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

موقع واجباتي

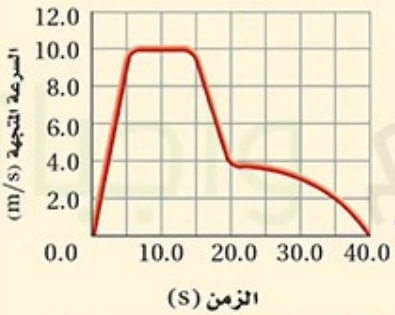
موقع واجباتي

1. ركضت قطة داخل منزل، ثم أبطأت من سرعتها بشكل مفاجئ، وانزلقت على الأرضية الخشبية حتى توقفت. لو افترضنا أنها تباطأت بتسارع ثابت فارسم نموذج الجسيم النقطي للحركة يوضح هذا الموقف، واستخدم متجهات السرعة لإيجاد متجه التسارع.

2. يبين الشكل 5-3 منحنى (السرعة المتجهة -الزمن) لجزء من رحلة أحمد بسيارته على الطريق. ارسم نموذج الجسيم النقطي للحركة الممثلة في الرسم البياني، وأكمله برسم متجهات السرعة.

■ الشكل 5-3

3. استعن بالشكل 6-3 الذي يوضح منحنى (السرعة المتجهة - الزمن) لقطار لعبة؛ لتجيب عن الأسئلة الآتية:



■ الشكل 6-3

a. متى كان القطار يتحرك بسرعة منتظمة؟
في الفترة الزمنية من بداية التحرك حتى مرور 15s.

b. خلال أي فترات زمنية كان تسارع القطار موجبًا؟ في الفترة الزمنية من بداية التحرك حتى مرور 5s.

c. متى اكتسب القطار أكبر تسارع سالب؟ في الفترة الزمنية من 15s حتى 20 s.

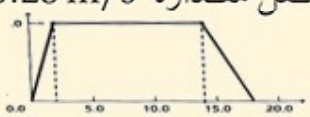
4. استعن بالشكل 6-3 لإيجاد التسارع المتوسط للقطار خلال الفترات الزمنية الآتية:

a. من 0.0 s إلى 5.0 s. $a = \frac{10-0}{5-0} = 2\ m/s^2$.

b. من 15.0 s إلى 20.0 s $a = \frac{4-10}{20-15} = \frac{-6}{5}\ m/s^2$

c. من 0.0 s إلى 40.0 s. $a = \frac{10-0}{5-0} + \frac{4-10}{20-15} + \frac{4-0}{40-20} = 0\ m/s^2$.

5. ارسم منحنى (السرعة المتجهة- الزمن) لحركة مصعد يبدأ من السكون عند الطابق الأرضي في بناية من ثلاثة طوابق، ثم يتسارع إلى أعلى مدة 2.0 s بمقدار $0.5\ m/s^2$. ويستمر في الصعود بسرعة منتظمة $1.0\ m/s$ مدة 12.0 s، وبعدئذ يتأثر بتسارع ثابت إلى أسفل مقداره $0.25\ m/s^2$ مدة 4.0 s حتى يصل إلى الطابق الثالث.



موقع واجباتي

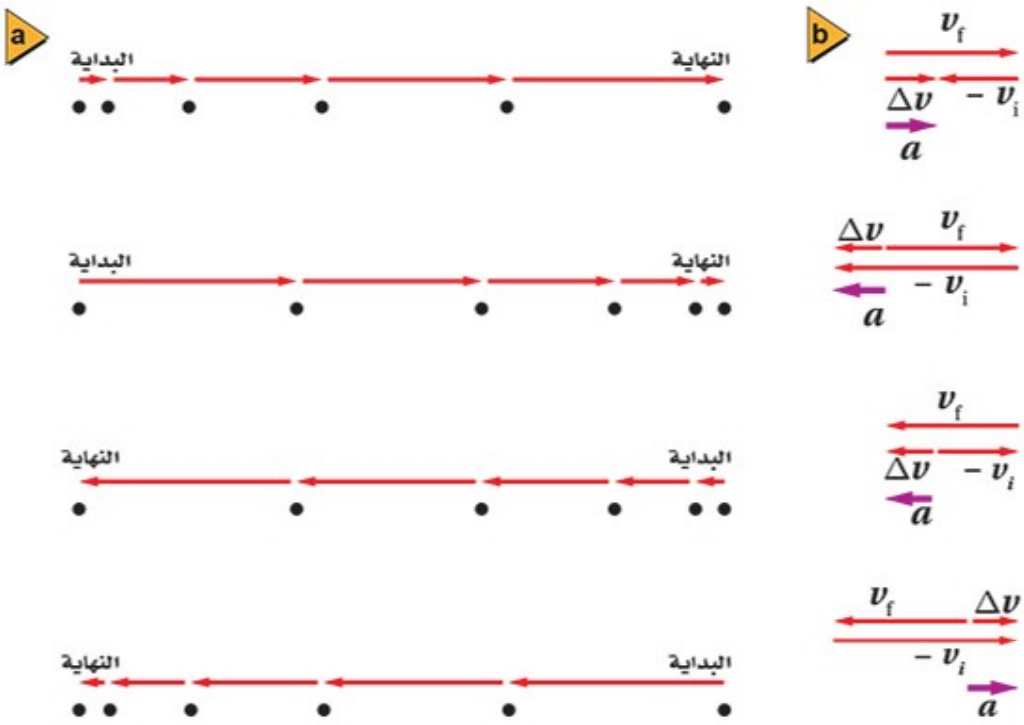
موقع واجباتي

التسارع الموجب والتسارع السالب
Positive and Negative Acceleration

تأمل الحالات الأربع الموضحة في **الشكل 7a–3**؛ حيث يبين نموذج الجسيم النقطي الأول حركة جسم تزداد سرعته في الاتجاه الموجب، ويبين النموذج الثاني حركة جسم تتناقص سرعته في الاتجاه الموجب، يوضح **الشكل 7c–3** هذه الحالتين، ويبين النموذج الثالث حركة جسم تتزايد سرعته في الاتجاه السالب، بينما يبين النموذج الرابع حركة جسم تتناقص سرعته ويتحرك في الاتجاه السالب. ويبين **الشكل 7b–3** متجهات السرعة خلال الفترة الزمنية الثانية في كل نموذج للحركة، وبجانبها متجهات التسارع المتوافقة معها. لاحظ أن الفترة الزمنية Δt تساوي 1 s.

في الوضعين الأول والثالث عندما تزيد سرعة الجسم يكون لكل من متجهات السرعة والتسارع الاتجاه نفسه، كما في **الشكل 7b–3**. أما في الوضعين الآخرين عندما يكون متجه التسارع في الاتجاه المعاكس لمتجه السرعة فإن الجسم يتباطأ. وبمعنى آخر، عندما يكون تسارع الجسم وسرعته المتجهة في الاتجاه نفسه فإن سرعة الجسم تزداد. وعندما يكونان في اتجاهين متعاكسين تتناقص السرعة. ولكي تحدد ما إذا كان الجسم سيتسارع أو يتباطأ تحتاج إلى معرفة كل من اتجاه سرعة الجسم واتجاه تسارعه.

ويكون للجسم تسارع موجب عندما يكون اتجاه متجه التسارع في الاتجاه الموجب للحركة، ويكون للجسم تسارع سالب عندما يكون اتجاه متجه التسارع في الاتجاه السالب للحركة عند وجود تزايد في السرعة. لذا فإن إشارة التسارع لا تحدد ما إذا كان الجسم متسارعًا أم متباطئًا.



الشكل 7–3

a. تمثل نماذج الجسيم النقطي أربع طرائق محتملة للحركة في مسار مستقيم بتسارع ثابت.

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

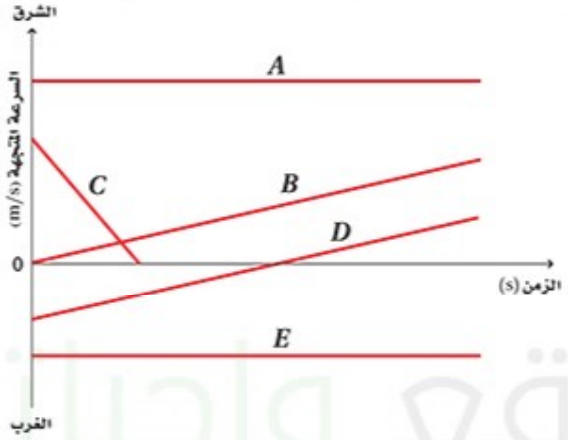
c. تمثيل بمخططات الحركة التوضيحية والمنحنيات للحالتين الأولى والثانية.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

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 8–3** تشتمل على معلومات عن سرعة وتسارع كل عدّاء، وقد أُختِير الاتجاه الموجب في اتجاه الشرق. وبملاحظة التغير في سرعة كل عدّاء، والمُمَثّلَة بخط مستقيم ستجد أن سرعتي العدَّاءين A وE ثابتتان في أثناء الحركة، مما يعني أن معدل التغير في السرعة يساوي صفرًا. هذا يعني أن تسارع كل منهما يساوي صفرًا. بينما سرعة كل من العدَّاءين B وD تتزايد بانتظام، أي أنهما يتحركان بتسارع؛ حيث إن السرعة والتسارع موجبان؛ أي أنهما في الاتجاه نفسه، بخلاف حركة العداء C الذي تلاحظ أن سرعته تتناقص بانتظام؛ أي أنه يتحرك بتسارع أيضًا؛ إلا أن اتجاهي التسارع والسرعة متعاكسان.



■ **الشكل 8–3** الرسمان البيانيان A وE يبينان الحركة بسرعة متجهة ثابتة في اتجاهين متعاكسين، والرسم B يبين سرعةً متجهةً موجبةً وتسارعًا موجبًا. والرسم C يبين سرعةً متجهةً موجبةً وتسارعًا سالبًا. والرسم D يبين حركة بتسارع موجب ثابت، بحيث يقلّل السرعة المتجهة عندما تكون سالبةً، ويزيدها عندما تكون موجبةً.

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

التسارع المتوسط

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

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

افترض أنك جريت بأقصى سرعة ذهابًا وإيابًا عبر صالة رياضية، حيث بدأتَ الجري في اتجاه الجدار بسرعة $4.0\ m/s$، وبعد مرور $10.0\ s$ كنت تجري بسرعة $4.0\ m/s$ مبتعدًا عن الجدار. ما تسارعك المتوسط إذا كان الاتجاه الموجب نحو الجدار؟

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

$$= \frac{(-4.0\ m/s) - (4.0\ m/s)}{10.0\ s} = \frac{-8.0\ m/s}{10.0\ s} = -0.80\ m/s^2$$

تشير الإشارة السالبة إلى أن اتجاه التسارع في عكس الاتجاه الذي يقربنا إلى الجدار. فبما أن السرعة المتجهة تتضمن اتجاه الحركة، فإنها تتغير عندما يتغير اتجاه الحركة. والتغير في السرعة المتجهة يسبب التسارع. لذا فإن التسارع أيضًا مرتبط بالتغير في اتجاه الحركة.

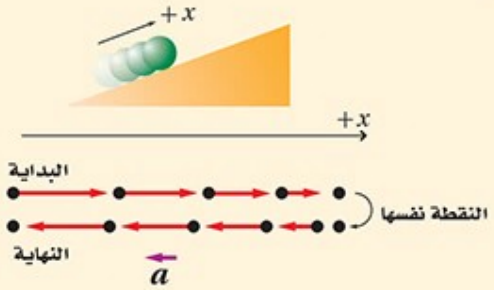
موقع واجباتي

مثـــال 2

موقع واجباتي

التسارع صف حركة كرة تتدحرج صاعدة مستوى مائلاً بسرعة ابتدائية 2.50 m /s وتتباطأ لمدة 5.00 s، ثم تقف لحظة، ثم تتدحرج هابطة المستوى المائل. فإذا تم اختيار الاتجاه الموجب في اتجاه المستوى المائل إلى أعلى ونقطة الأصل عند نقطة بدء الحركة، فما مقدار واتجاه تسارع الكرة عندما تتدحرج صاعدة المستوى المائل؟

1 تحليل المسألة ورسمها

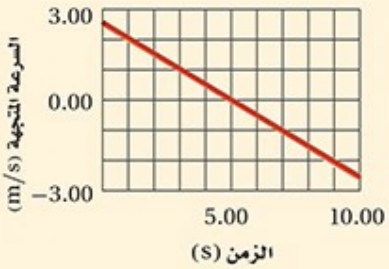


- ارسم مخططا توضيحيًا للحركة ونموذجا للجسيم النقطي.
- ارسم نظاما إحداثيّاً اعتماداً على نموذج الجسيم النقطي.

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

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد مقدار التسارع من ميل الخط البياني.



عوض لإيجاد التغير في السرعة والزمن المستغرق لحدوث هذا التغير.

بالتعويض $v_i = 2.50\ m/s$، $v_f = 0.00\ m/s$

$$\Delta v = v_f - v_i$$
$$= 0.00\ m/s - 2.50\ m/s$$
$$= -2.50\ m/s$$

بالتعويض $t_i = 0.00\ s$، $t_f = 5.00\ s$

$$\Delta t = t_f - t_i$$
$$= 5.00\ s - 0.00\ s$$
$$= 5.00\ s$$

أوجد قيمة التسارع

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية 216، 217

بالتعويض $\Delta v = -2.50\ m/s$، $\Delta t = 5.00\ s$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$
$$= \frac{-2.5\ m/s}{5.00\ s}$$
$$= -0.500\ m/s^2$$

أو $0.500\ m/s^2$ في اتجاه أسفل المستوى المائل.

3 تقويم الجواب

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

موقع واجباتي

موقع واجباتي

6. سيارة سباق تزداد سرعتها من 4.0 m/s إلى 36 m/s خلال فترة زمنية مقدارها 4.0 s. أوجد تسارعها المتوسط.

$a = \frac{36-4}{4} = 8\ m/s^2.$

7. إذا تباطأت سرعة سيارة سباق من 36 m/s إلى 15 m/s خلال 3.0 s فما تسارعها المتوسط؟

$a = \frac{15-36}{3} = -7\ m/s^2.$

8. تتحرك سيارة إلى الخلف على منحدر بفعل الجاذبية الأرضية. استطاع السائق تشغيل المحرك عندما كانت سرعتها 3.0 m/s. وبعد مرور 2.50 s من لحظة تشغيل المحرك كانت السيارة تتحرك صاعدة المنحدر بسرعة 4.5 m/s. إذا اعتبرنا اتجاه المنحدر إلى أعلى هو الاتجاه الموجب فما التسارع المتوسط للسيارة؟

$a = 3\ m/s^2.$

9. تسير حافلة بسرعة 25 m/s، ضغط السائق على الفرامل فتوقفت بعد 3.0 s.
   a. ما التسارع المتوسط للحافلة في أثناء الضغط على الفرامل؟

$A = \frac{-25}{3}\ m/s^2.$

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

يقل التسارع للنصف.

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

$a = \frac{0.75-3.5}{10} = -0.275\ m/s^2.$

11. إذا تباطأ معدل الانجراف القاري على نحو مفاجئ من 1.0 cm/yr إلى 0.5 cm/yr خلال فترة زمنية مقدارها سنة، فكم يكون التسارع المتوسط للانجراف القاري؟

$A = \frac{0.5-1}{1} = -0.5\ m/y^2.$

تتشابه السرعة المتجهة والتسارع في أن كليهما عبارة عن معدل تغير؛ فالتسارع هو المعدل الزمني لتغير السرعة المتجهة، والسرعة المتجهة هي المعدل الزمني لتغير الإزاحة. ولكل من السرعة المتجهة والتسارع قيم متوسطة وقيم لحظية. وستتعلم لاحقًا في هذا الفصل أن المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) تساوي إزاحة الجسم، وأن المساحة تحت منحنى (التسارع–الزمن) تساوي سرعة الجسم.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

12. **منحنى (السرعة المتجهة-الزمن)** ما المعلومات التي يمكن استخلاصها من منحنى (السرعة المتجهة-الزمن)؟

مقدار السرعة المتجهة عند أي وقت والزمن الذي يكون للجسم عنده سرعة معينة وإشارة كل من السرعة المتجهة والإزاحة.

13. **منحنيات الموقع-الزمن والسرعة المتجهة-الزمن** عدّاءان أحدهما على بُعد 15 m إلى الشرق من نقطة الأصل، والآخر على بُعد 15 m غربها، وذلك عند الزمن $t = 0$. إذا ركض هذان العدّاءان بسرعة منتظمة مقدارها 7.5 m/s في اتجاه الشرق فأجب عما يأتي:

a. ما الفرق بين الخطين البيانيين الممثلين لحركتي العدّاءين في منحنى (الموقع-الزمن)؟

سيكون لهما الميل نفسه ولكن موقعيهما بالنسبة إلى المحور الرأسي سيختلف حيث سيكون إحداهما عند 15 m+ والآخر سيكون عند 15- m.

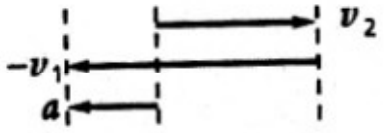
b. ما الفرق بين الخطين البيانيين الممثلين لحركتي العدّاءين في منحنى (السرعة المتجهة -الزمن)؟

لا يوجد فرق بين الخطين البيانيين.

14. **السرعة المتجهة** وضح كيف يمكنك استخدام منحنى (السرعة المتجهة- الزمن)، لتحديد الزمن الذي يتحرك عنده الجسم بسرعة معينة.

ارسم خطا أفقيا عند السرعة المحددة وأوجد النقطة التي يتقاطع فيها المنحني مع هذا الخط ثم اسقط خطا عموديا من نقطة التقاطع على محور الزمن ونحصل على الزمن المطلوب.

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



16. **السرعة المتجهة المتوسطة والتسارع المتوسط** يتحرك قارب بسرعة 2 m/s في عكس اتجاه جريان نهر، ثم يدور حول نفسه وينطلق في اتجاه جريان النهر بسرعة 4.0 m/s. إذا كان الزمن الذي استغرقه القارب في الدوران 8.0 s :

a. فما السرعة المتجهة المتوسطة للقارب؟ $\Delta \vec{V} = 1$ m/s.

b. وما التسارع المتوسط للقارب؟ $a = 0.8$ m/s^2.

17. **التفكير الناقد** ضبط رجل مرور سائقًا يسير بسرعة تزيد 32 km/h على حد السرعة المسموح به لحظة تجاوزه سيارة أخرى تنطلق بسرعة أقل. سجل رجل المرور على كلا السائقين إشعار مخالفة لتجاوز السرعة. وقد أصدر القاضي حكمًا على كلا السائقين. وتم اتخاذ الحكم استنادًا إلى فرضيةٍ تقول إن كلتا السيارتين كانتا تسيران بالسرعة نفسها؛ لأنه تم ملاحظتهما عندما كانت الأولى بجانب الثانية. هل كان كل من القاضي ورجل المرور على صواب؟ وضح ذلك باستخدام مخطط توضيحي للحركة، ورسم منحنى (الموقع-الزمن).

لا، كان لهما الموقع نفسه لا السرعة نفسها فحتى يكون لهما السرعة نفسها يجب أن يكون لهما الموقع النسبي نفسه طوال الفترة الزمنية.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

رابط الدرس الرقمي

يمكن معالجة المعادلات الرياضية لكل من السرعة المتوسطة والتسارع المتوسط لإيجاد الموقع الجديد والسرعة الجديدة على الترتيب بعد فترة زمنية ما، وذلك بدلالة بقية المتغيرات.

الأهداف

- **تفسر** منحنى (الموقع-الزمن) للحركة ذات التسارع الثابت.
- **تحدد** العلاقات الرياضية التي تربط بين كل من الموقع والسرعة والتسارع والزمن.
- **تطبق** علاقات بيانية ورياضية لحل المسائل التي تتعلق بالتسارع الثابت.

السرعة المتجهة بدلالة التسارع المتوسط
Velocity with Average Acceleration

يمكنك استخدام التسارع المتوسط لجسم خلال فترة زمنية لتعيين مقدار التغير في سرعته المتجهة 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 المتجهة النهائية والتسارع المتوسط يمكن كتابتها على النحو الآتي:

السرعة المتجهة النهائية بدلالة التسارع المتوسط $v_f = v_i + \bar{a}\,\Delta t$

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

في الحالات التي يكون فيها التسارع ثابتًا يكون التسارع المتوسط $\bar{a}$ مساويًا للتسارع اللحظي a. ويمكن إعادة ترتيب هذه المعادلة لإيجاد الزمن أو السرعة الابتدائية لجسم.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

18. تتدحرج كرة جولف إلى أعلى تل في اتجاه حفرة الجولف. افترض أن الاتجاه نحو الحفرة هو الاتجاه الموجب وأجب عما يأتي:

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

$$v_f = v_i + a\,\Delta t = 2 - 0.5 \times 2 = 1\ m/s.$$

b. ما سرعة كرة الجولف إذا استمر التسارع الثابت مدة 6.0 s؟

$$v_f = v_i + a\,\Delta t = 2 - 0.5 \times 6 = -1\ m/s.$$

c. صف حركة كرة الجولف بالكلمات، ثم باستخدام نموذج الجسيم النقطي.

تقل سرعة كرة الجولف بتسارع 0.5 m/s2 لمدة 4s حتى تتوقف ثم تهبط التلة بتسارع بنفس المقدار التي صعدت به.

19. تسير حافلة بسرعة 30.0 km/h، فإذا زادت سرعتها بمعدل ثابت مقداره $3.5\ m/s^2$ فما السرعة التي تصل إليها الحافلة بعد 6.8 s؟

$$v_f = v_i + a\,\Delta t = 30 + 3.5 \times 6.8 = 53.8\ m/s.$$

20. إذا تسارعت سيارة من السكون بمقدار ثابت $5.5\ m/s^2$ فما الزمن اللازم لتصل سرعتها إلى 28 m/s؟

$$v_f = v_i + a\,\Delta t \qquad 0 + 5.5 \times \Delta t = 28$$

$$\Delta t = \frac{56}{11} = 5.1s.$$

21. تتباطأ سيارة سرعتها 22 m/s بمعدل ثابت مقداره $2.1\ m/s^2$. احسب الزمن الذي تستغرقه السيارة لتصبح سرعتها 3.0 m/s.

$$v_f = v_i + a\,\Delta t \qquad 22 - 2.1 \times \Delta t = 3$$

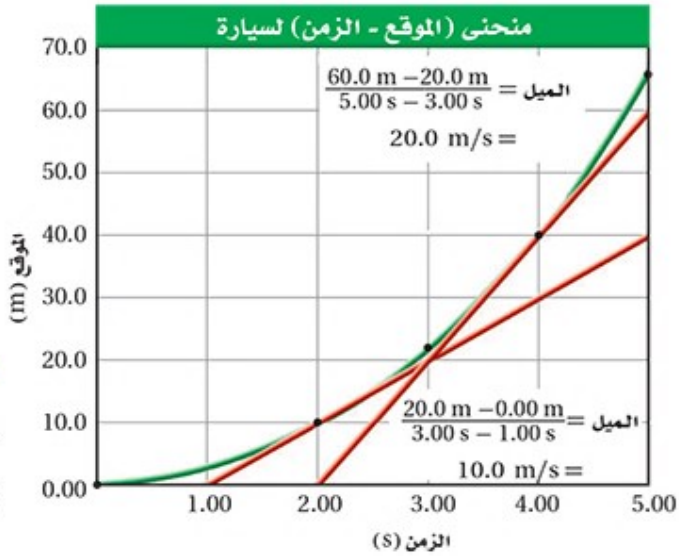
$$\Delta t = \frac{3-22}{-2.1} = \frac{190}{21} = 9s.$$

موقع واجباتي

موقع واجباتي

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	65.0

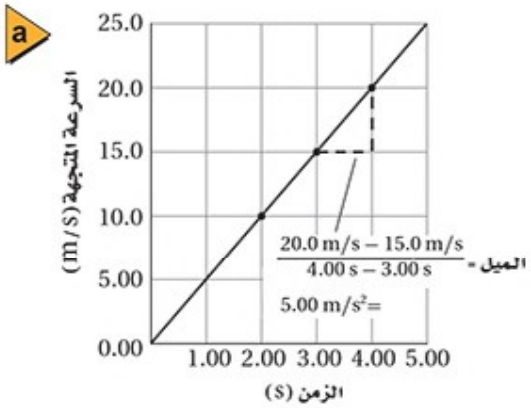


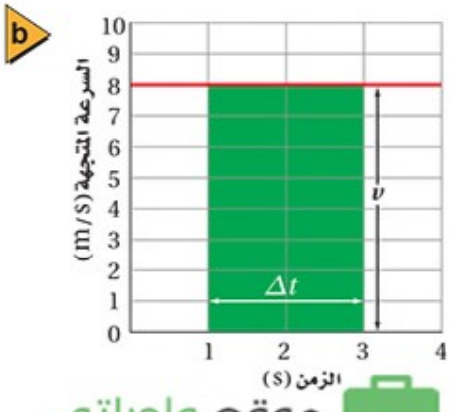
■ **الشكل 9–3** يزداد ميل الخط البياني في منحنى (الموقع–الزمن) لسيارة تتحرك بتسارع ثابت كلما زاد زمن الحركة.

الموقع بدلالة التسارع الثابت
Position with Constant Acceleration

توصلت إلى أن الجسم الذي يتحرك بتسارع ثابت يغير سرعته المتجهة بمعدل ثابت. ولكن كيف يتغير موقع الجسم المتحرك بتسارع ثابت؟ يبين **الجدول 2–3** بيانات الموقع عند فترات زمنية مختلفة لسيارة تتحرك بتسارع ثابت، وقد مثلت بيانات **الجدول 2–3** بالرسم البياني الموضح في **الشكل 9–3**، حيث يظهر من الرسم البياني أن حركة السيارة غير منتظمة؛ فالإزاحات خلال فترات زمنية متساوية على الرسم تصبح 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 الخطين الموضحين في **الشكل 9–3** يطابق السرعة المتجهة الممثلة بيانيًّا في **الشكل 10a–3**. لكن لا يمكنك رسم منحنى جيد للموقع–الزمن باستخدام منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) ؛لأن الأخير لا يحتوي على أي معلومات حول موقع الجسم. ومع ذلك فهو يحتوي على معلومات عن إزاحته. تذكر أن السرعة المتجهة لجسم يتحرك بسرعة منتظمة تحسب بالعلاقة: $v = \bar{v} = \frac{\Delta d}{\Delta t}$؛ أي أن $\Delta d = v\,\Delta t$. يوضح **الشكل 10b–3** 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





■ **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 عدديًا المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة–الزمن).

موقع واجباتي

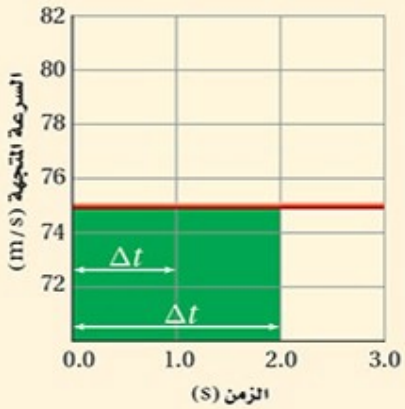
لحركة الجسم Δt تمثل عرض المستطيل. لذا فإن مساحة المستطيل هي $v\Delta t$ أو Δd؛ أي أن المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة-الزمن) تساوي عدديًا إزاحة الجسم.

موقع واجباتي

مثـــال 3

إيجاد الإزاحة من منحنى (السرعة المتجهة - الزمن) 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 ورسمها



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

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

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد الإزاحة خلال $1.0\ s$

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

$$\Delta d = v\Delta t$$
$$= (+75\ m/s)\ (1.0\ s)$$
$$= +75\ m$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية 216، 217

أوجد الإزاحة خلال $2.0\ s$

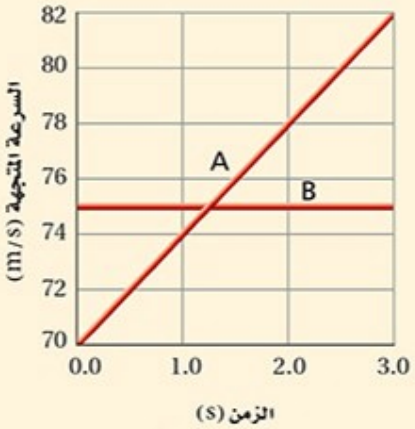
بالتعويض $v = +75\ m/s$، $\Delta t = 2.0\ s$

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

3 تقويم الجواب

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

موقع واجباتي



الشكل 11–3

22. استخدم الشكل **11–3** لتعيين السرعة المتجهة لطائرة تتزايد سرعتها عند كل من الأزمنة الآتية:

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

1.0 s (a

2.0 s (b

2.5 s (c

23. تسير سيارة بسرعة منتظمة مقدارها 25 m/s لمدة 10.0 min، ثم ينفد منها الوقود، فيسير السائق على قدميه في الاتجاه نفسه بسرعة 1.5 m/s مدة 20.0 min ليصل إلى أقرب محطة وقود. وقد 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.

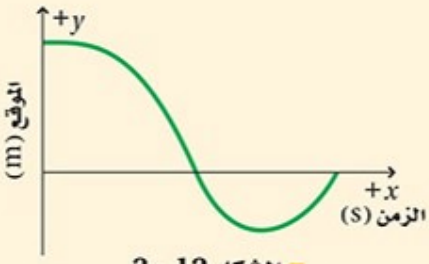
a. ارسم منحنى (السرعة المتجهة –الزمن) معتمدًا الثانية s وحدة للزمن.

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

$$t = \frac{d}{V} = \frac{1800}{1.2} = 1500\ s,\ d = Vt = 1800m = 1.8\ km.$$

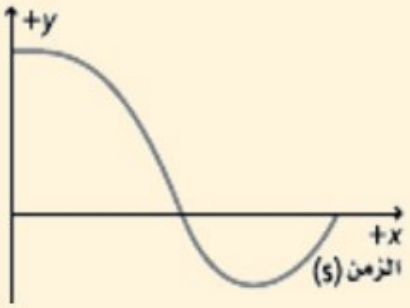
b. ارسم منحنى (الموقع–الزمن) باستخدام المساحات تحت منحنى (السرعة المتجهة –الزمن).

متروك للطالب.



الشكل 12–3

24. يوضح الشكل **12–3** منحنى (الموقع–الزمن) لحركة حصان في حقل. ارسم منحنى (السرعة المتجهة –الزمن) المتوافق معه، باستخدام مقياس الزمن نفسه.



موقع واجباتي

موقع واجباتي

توصلت سابقًا إلى أنه يمكن إيجاد الإزاحة من منحنى (السرعة المتجهة- الزمن) لجسم يتحرك بتسارع ثابت مبتدئًا بسرعة ابتدائية v_i؛ وذلك بحساب المساحة تحت المنحنى. ففي **الشكل 13–3** تحسب الإزاحة بتقسيم المساحة تحت المنحنى إلى مستطيل ومثلث.

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

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

ولأن التسارع المتوسط يساوي: $\overline{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

لذا يمكن كتابة Δv في الصورة: $\Delta v = \overline{a} \Delta t$

وبالتعويض في معادلة مساحة المثلث تصبح المعادلة: $\Delta d_{\text{مثلث}} = \frac{1}{2} (\overline{a} \Delta t) \Delta t = \frac{1}{2} \overline{a} \Delta t^2$

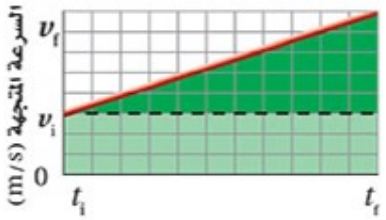
لذا فإن المساحة الكلية تحت المنحنى تساوي: $\Delta d = \Delta d_{\text{مستطيل}} + \Delta d_{\text{مثلث}}$

$$\Delta d = v_i \Delta t + \frac{1}{2} \overline{a} \Delta t^2$$

وعندما يكون الموقع الابتدائي d_i أو النهائي d_f للجسم معلومًا يمكن كتابة المعادلة في الصورة الآتية:

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

■ **الشكل 13–3** يمكن إيجاد إزاحة جسم يتحرك بتسارع ثابت بحساب المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة –الزمن).



موقع واجباتي

موقع واجباتي

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

فإذا كان الزمن الابتدائي $t_i = 0$ فإن التغير في الموقع بدلالة التسارع المتوسط يُحسب بالعلاقة الآتية:

التغير في الموقع بدلالة التسارع المتوسط $\Delta d = v_i t + \frac{1}{2} a t^2$

ويمكن ربط الموقع والسرعة المتجهة والتسارع الثابت في علاقة لا تتضمن الزمن، وذلك بإعادة ترتيب المعادلة $v_f = v_i + at$

لتعطي (t_f): $t = \frac{v_f - v_i}{a}$

وبالتعويض عن قيمة (t) في المعادلة $\Delta d = v_i t + \frac{1}{2} a t^2$

تحصل على: $\Delta d = v_i \left(\frac{v_f - v_i}{a}\right) + \frac{1}{2} a \left(\frac{v_f - v_i}{a}\right)^2$

وهذه المعادلة يمكن حلها لإيجاد السرعة النهائية v_f عند أي زمن t؛ حيث إن السرعة بدلالة التسارع الثابت:

السرعة المتجهة بدلالة التسارع الثابت $v_f^2 = v_i^2 + 2a \Delta d$

ويمكن تلخيص المعادلات الثلاث للحركة بتسارع ثابت كما في الجدول 3–3

الجدول 3–3

معادلات الحركة في حالة التسارع الثابت

المعادلة	المتغيرات
$v_f = v_i + at$	v_i ، v_f ، a ، t
$\Delta d = v_i t + \frac{1}{2} a t^2$	Δd ، v_i ، t ، a
$v_f^2 = v_i^2 + 2a \Delta d$	Δd ، v_i ، v_f ، a

تطبيق الفيزياء

سباق رُبع الميل في سباق خاص يسمى رُبع الميل يسعى قائد سيارة السباق إلى تحقيق أكبر تسارع في مضمار السباق الذي طوله 402 m (ربع ميل). وقد سُجل أقصر زمن في هذا السباق ومقداره 4.480 s، وبلغت أكبر سرعة نهائية 147.63 m/s.

موقع واجباتي

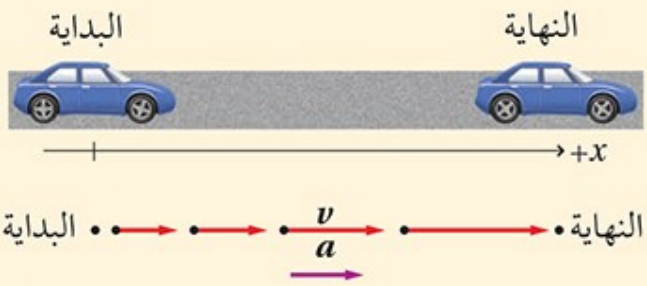
موقع واجباتي

مثـــال 4

انطلقت سيارة من السكون بتسارع ثابت مقداره $3.5\ m/s^2$. ما المسافة التي قطعتها عندما تصل سرعتهـا إلى $25\ m/s$؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثِّل المسألة بالرسم.
- عين محاور الإحداثيات.
- ارسم نموذج الجسيم النقطي للحركة.



المعلوم

$d_i = 0.00\ m$

$v_i = 0.00\ m/s$

$v_f = 25\ m/s$

$\bar{a} = a = 3.5\ m/s^2$

المجهول

$d_f = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

لإيجاد d_f نستخدم المعادلة:

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات 220، 221

$$v_f^2 = v_i^2 + 2\,a\,\Delta d$$

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

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

بالتعويض $d_i = 0.00\ m$، $v_f = 25\ m/s$، $v_i = 0.00\ m/s$، $a = 3.5\ m/s^2$

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

$$= 89\ m$$

3 تقويم الجواب

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

تجربة عملية

كيف تتدحرج الكرة؟

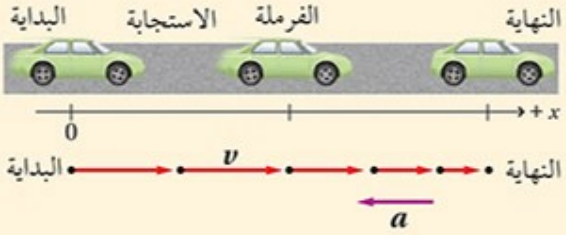
ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين

موقع واجباتي

موقع واجباتي

مثـــال 5

مسافتا الاستجابة والفرملة يقود محمد سيارة بسرعة منتظمة مقدارها 25 m/s، وفجأة رأى طفلًا يركض في الشارع. فإذا كان زمن الاستجابة اللازم ليدوس الفرامل هو 0.45 s، وقد تباطأت السيارة بتسارع ثابت $8.5\ m/s^2$ حتى توقفت. ما المسافة الكلية التي قطعتها السيارة قبل أن تقف؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثِّل المسألة بالرسم.
- اعتبر أن اتجاه سير السيارة هو الاتجاه الموجب.
- ارسم مخططًا توضيحيًّا للحركة، وعيِّن عليه v و a.

المعلوم

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

$t_{\text{الاستجابة}} = 0.45\ s$ $\quad v_{f\ \text{الفرملة}} = 0.00\ m/s$

$\bar{a} = a_{\text{الفرملة}} = (-8.5\ m/s^2)$

المجهول

$d_{\text{الاستجابة}} = ?$

$d_{\text{الفرملة}} = ?$

$d_{\text{الكلية}} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

الاستجابة: أوجد المسافة التي تتحركها السيارة بسرعة منتظمة.

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

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

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

$$d_{\text{الفرملة}} = \frac{v^2_{f\ \text{الفرملة}} - v^2_{\text{الاستجابة}}}{2a_{\text{الفرملة}}}$$
$$= \frac{(0.00\ m/s)^2 - (25\ m/s)^2}{2(-8.5\ m/s^2)}$$
$$= 37\ m$$

دليل الرياضيات
فصل المتغير 222

بالتعويض $v_{\text{الاستجابة}} = 25\ m/s$، $a_{\text{الفرملة}} = (-8.5\ m/s^2)$، $v_{f\ \text{الفرملة}} = 0.00\ m/s$

المسافة الكلية تساوي: مجموع مسافة الاستجابة ومسافة الفرملة.

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

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

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

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الإزاحة 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.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

25. يتحرك متزلج بسرعة منتظمة 1.75 m/s، وعندما بدأ يصعد مستوى مائلاً تباطأت سرعته وفق تسارع ثابت 0.20 m/s². ما الزمن الذي استغرقه حتى توقف عند نهاية المستوى المائل؟

$$T_f = \frac{Vf - Vi}{a} = \frac{0 - 1.75}{0.2} = 8.75t$$

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

$$A = \frac{Vf - Vi}{\Delta t} = \frac{22 - 44}{11} = -2\ m/s^2.$$

$$d = \frac{Vf2 - Vi2}{2a} = 363\ m.$$

27. تتسارع سيارة بمعدل ثابت من 15 m/s إلى 25 m/s لتقطع مسافة 125 m. ما الزمن الذي استغرقته السيارة لتصل إلى هذه السرعة؟

$$a = \frac{Vf2 - Vi2}{2d} = 1.6\ m/s^2.$$

$$t_f = \frac{Vf - Vi}{a} = \frac{25 - 15}{1.6} = 6.25s.$$

28. يتحرك راكب دراجة هوائية وفق تسارع ثابت ليصل إلى سرعة مقدارها 7.5 m/s خلال 4.5 s . إذا كانت إزاحة الدراجة خلال فترة التسارع تساوي 19 m، فأوجد السرعة الابتدائية.

$$a = \frac{v}{t} = \frac{7.5}{4.5} = 1.667\ m/s2.$$

$$V_i^2 = V_f^2 - 2a\ \Delta d = (7.5)^2 - 2 \times 1.6 \times 19 = \frac{-85}{12}\ m/s,\ V_i = 0.94\ m/s.$$

29. يركض رجل بسرعة 4.5 m/s مدة 15.0 min، ثم يصعد تلًا يتزايد ارتفاعه تدريجيًا؛ حيث تتباطأ سرعته بمقدار ثابت 0.05 m/s² مدة 90.0 s حتى يتوقف. أوجد المسافة التي ركضها.

$$a = \frac{4.5}{15x60} = 5 \times 10^{-3}\ m/s^2.$$

$$D = d_f1 + d_f2 = 4300\ m.$$

30. يتدرب خالد على ركوب الدراجة الهوائية؛ حيث يدفعه والده فيكتسب تسارعًا ثابتًا مقداره 0.50 m/s² لمدة 6.0 s، ثم يقود 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.*

$$V_i = \frac{a}{t} = \frac{0.5}{6} = \frac{1}{12}\ m/s.$$

$$A = \frac{Vf - Vi}{t} = \frac{3 - 0.083}{6} = 0.486\ m/s^2.$$

$$d_f = V_i\ t_f + \frac{1}{2}\ at_f^2 = 27\ m.$$

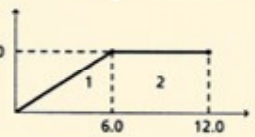
31. بدأت ركوب دراجتك الهوائية من قمة تل، ثم هبطت في اتجاه أسفل التل بتسارع ثابت 2.00 m/s² ، وعندما وصلت إلى أسفل التل كانت سرعتك قد بلغت 18.0 m/s. وواصلت استخدام دواسات الدراجة لتحافظ على هذه السرعة مدة 1.00 min. ما المسافة التي قطعتها عن قمة التل؟

$$T_1 = \frac{v}{a} = \frac{18}{2} = 9s$$

$$T_f = t_1 + t_2 = 9 + 1 = 10s.$$

$$D_f = V_i\ t_f + \frac{1}{2}\ at_f^2 = 1160\ m.$$

32. يتدرب حسن استعدادًا للمشاركة في سباق الـ 5.0 km، فبدأ تدريباته بالركض بسرعة منتظمة مقدارها 4.3 m/s مدة 19 min، ثم تسارع بمعدل ثابت حتى اجتاز خط النهاية بعد مضي 19.4 s. ما مقدار تسارعه خلال الجزء الأخير من التدريب؟



$$a = \frac{2(5x1000 - 40902 - 4.3x19.4)}{19.4x19.4} = 0.077\ m/s^2.$$

موقع واجباتي

كما تعلمت، هناك عدة وسائل يمكنك استخدامها في حل مسائل الحركة في بُعد واحد، منها: مخططات الحركة، والرسوم البيانية، والمعادلات الرياضية. وكلما اكتسبت المزيد من الخبرة سَهُل عليك أن تقرر أي هذه الوسائل أكثر ملاءمة لحل مسألة ما. وفي البند الآتي ستطبق هذه الوسائل لاستقصاء حركة الأجسام الساقطة سقوطًا حرًّا.

2–3 مراجعة

33. **التسارع** في أثناء قيادة رجل سيارته بسرعة 23 m/s شاهد غزالاً يقف وسط الطريق، فاستخدم الفرامل عندما كان على بُعد 210 m من الغزال. فإذا لم يتحرك الغزال، وتوقفت السيارة تمامًا قبل أن تمس جسمه، فما مقدار التسارع الذي أحدثته فرامل السيارة؟

$$A = \frac{Vf2 - Vi2}{2d} = \frac{0 - 23x23}{2\times210} = -1.3\ m/s^2.$$

34. **الإزاحة** إذا أُعطِيت السرعتين المتجهتين الابتدائية والنهائية، والتسارع الثابت لجسم، وطُلب إليك إيجاد الإزاحة، فما المعادلة التي ستستخدمها؟

$$D_f = \frac{Vf2 - Vi2}{2a}$$

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

$$a = \frac{Vf - Vi}{t} = \frac{5-0}{4.5} = 1.111\ m/s^2.$$

$$d_f1 = V_i\ t_f + \frac{1}{2}at_f^2 = 0.5 \times 1.11 \times 4.5^2 = 11.24\ m.$$

$$d_f2 = V_i\ t_f + \frac{1}{2}\ at_f^2 = 5 \times 4.5 + 0.5 \times 1.11 \times 4.5^2 = 33.74\ m.$$

$$d_f = d_f1 + d_f2 = 45\ m.$$

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

$$V_f^2 = V_i^2 + 2a\ d = 0 + 2 \times 5 \times 5 \times 10^2 = 5000.$$

$$V_f = 70.7\ m/s.$$

37. **السرعة النهائية** تسارعت طائرة بانتظام من السكون بمقدار $5.0\ m/s^2$ لمدة 14 s. ما السرعة النهائية التي تكتسبها الطائرة؟

$$V_f = A\Delta t + V_i = 5x14 = 70\ m/s.$$

38. **المسافة** بدأت طائرة حركتها من السكون، وتسارعت بمقدار ثابت $3.00\ m/s^2$ لمدة $30.0\ s$ قبل أن ترتفع عن سطح الأرض.

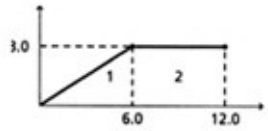
a. ما المسافة التي قطعتها الطائرة؟

$d_f = 0.5 \times 3 \times 30^2 = 1350\ m.$

b. ما سرعة الطائرة لحظة إقلاعها؟

$V = 3 \times 30 = 90\ m/s.$

39. **الرسوم البيانية** يسير عدّاء نحو خط البداية بسرعة منتظمة، ويأخذ موقعه قبل بدء السباق، وينتظر حتى يسمع صوت طلقة البداية، ثم ينطلق فيتسارع حتى يصل إلى سرعة منتظمة. فيحافظ على هذه السرعة حتى يجتاز خط النهاية، ثم 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.



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

نحتاج لساعة إيقاف وأداة لقياس الأطوال نبدأ بحساب سرعة السيارة من نقطة البداية حيث تبدأ حركتها من السكون حتى وبعد زمن محدد نقيس المسافة التي قطعتها ومن هذه المعطيات نحسب التسارع.

موقع واجباتي
رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

3–3 السقوط الحرّ Free Fall

أسقط ورقة صحيفة على الأرض، ثم لفها على شكل كرة متماسكة وأعد إسقاطها. أسقط حصاة بالطريقة نفسها. كيف تقارن بين حركة الأجسام الثلاثة؟ هل تسقط الأجسام جميعها بالسرعة نفسها؟

لا يسقط الجسم الخفيف والمنبسط- مثل ورقة الصحيفة المستوية أو ريشة الطائر- بالكيفية نفسها التي يسقط بها شيء ثقيل مساحة سطحه صغيرة، مثل الحصاة. لماذا؟ عندما يسقط جسم فإنه يتصادم بجزيئات الهواء، وتؤثر هذه التصادمات الضعيفة في سرعة هبوط الجسم الخفيف والمنبسط- مثل الريشة- بشكل أكبر من تأثيرها في سرعة هبوط أجسام أثقل نسبيًّا ومساحة سطحها أقل، مثل الحصاة. لفهم سلوك الأجسام الساقطة، نتناول الحالة الأبسط، وهي حركة جسم -كحجر مثلًا- بإهمال تأثير الهواء في حركته. إن المصطلح المستخدم لوصف حركة مثل هذه الأجسام هو **السقوط الحر**؛ وهو حركة جسم تحت تأثير الجاذبية الأرضية فقط، وبإهمال تأثير مقاومة الهواء.

الأهداف

- **تُعرّف** التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية.
- **تحل** مسائل تتضمن أجسامًا تسقط سقوطًا حرًّا.

المفردات

السقوط الحرّ

التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية

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 الأجسام الساقطة أو سرعتها، لذا قام بدحرجة كرات على مستويات مائلة. وبهذه الطريقة تمكّن من تقليل تسارع الأجسام، وهذا مكّنه من الحصول على قياسات دقيقة باستخدام أدواته البسيطة.

استنتج جاليليو أن جميع الأجسام التي تسقط سقوطًا حرًّا يكون لها التسارع نفسه، عند إهمال 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، وتتغير قيمة g تغيرات طفيفة في أماكن مختلفة على الأرض، والقيمة المتوسطة لها $9.80\ m/s^2$.

التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية هو تسارع جسم يسقط سقوطًا حرًّا نتيجة تأثير جاذبية الأرض فيه. افترض أنك أسقطت صخرة سقوطًا حرًّا. بعد مرور 1s تكون سرعتها المتجهة $9.80\ m/s$ إلى أسفل، وبعد مرور 1s أخرى تصبح سرعتها المتجهة $19.60\ m/s$ إلى أسفل، وفي كل ثانية تسقط خلالها الصخرة تزداد سرعتها المتجهة إلى أسفل بمعدل $9.80\ m/s$. ويعتمد اعتبار التسارع موجبًا أو سالبًا على النظام الإحداثي الذي يتم اتخاذه؛ فإذا كان النظام يعتبر الاتجاه إلى أعلى موجبًا فإن التسارع الناتج عن

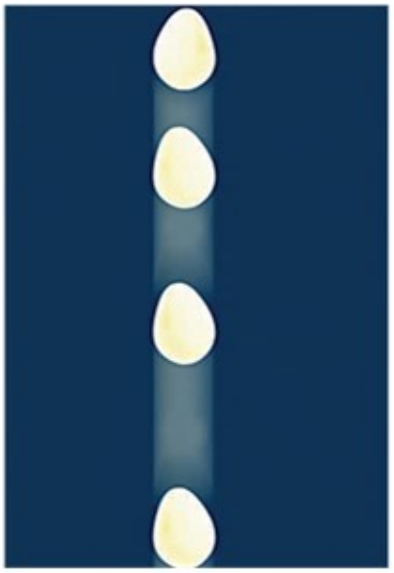
موقع واجباتي

الجاذبية الأرضية عندئذ يساوي $-g$، أما إذا اعتبر الاتجاه إلى أسفل هو الاتجاه الموجب فإن التسارع الناتج عن الجاذبية يساوي $+g$.

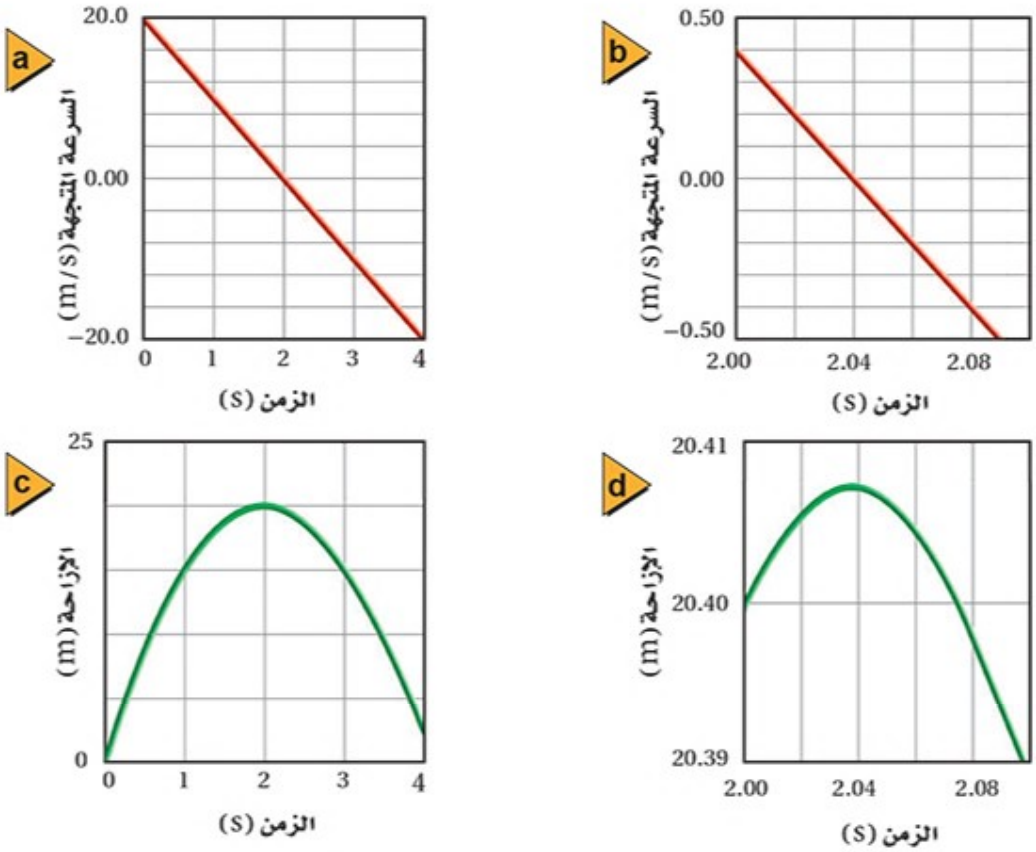
يبين **الشكل 14–3** مخطط توضيحي لحركة بيضة تسقط سقوطاً حرًّا التقطت باستخدام تقنية خاصة؛ حيث الفترة الزمنية بين اللقطات هي 0.06 s. ويظهر من الشكل أن الإزاحة بين كل زوج من اللقطات تزداد، وهذا يعني أن السرعة تزداد. فإذا اعتبر الاتجاه إلى أسفل هو الاتجاه الإحداثي الموجب فإن السرعة تزداد بقيمة موجبة أكثر فأكثر.

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

يبيِّن منحنى (السرعة المتجهة – الزمن) في **الشكل 15a–3** تناقص السرعة المتجهة للكرة بمعدل 9.80 m/s كل 1 s، حتى تصل إلى الصفر عند 2.04 s، ثم يتحول اتجاه حركة الكرة إلى أسفل، وتزداد سرعتها المتجهة تدريجيًّا في الاتجاه السالب. ويظهر **الشكل 15b–3** لقطة مقربة لهذه الحركة. لكن ما العلاقة بين إزاحة الكرة وسرعتها المتجهة؟ يتبين من **الشكلين 15c، d–3** أن الكرة تصل إلى أقصى ارتفاع لها في اللحظة التي تصبح فيها سرعتها المتجهة صفرًا. ماذا عن تسارعها؟ إن تسارع الكرة عند أي نقطة يساوي مقدارًا ثابتًا 9.80 m/s²، كما يتضح من ميل الخط البياني في **الشكلين 15a، b–3**.



الشكل 14–3 صورة ستروبية (تصوير زمني سريع متتابع) لبيضة تتسارع بمقدار 9.80 m/s² في أثناء السقوط الحر. فإذا تم اختيار الاتجاه الموجب إلى أسفل فإن كلًّا من السرعة المتجهة والتسارع لهذه البيضة التي تسقط سقوطًا حرًّا يكون موجبًا.



الشكل 15–3 في نظام إحداثي اتجاهه الموجب إلى أعلى:

a و b تتناقص سرعة الكرة المقذوفة إلى أعلى حتى تصبح صفرًا بعد زمن 2.04 s ثم تتزايد سرعتها في الاتجاه السالب في أثناء سقوطها.

c و d يُظهر الرسمان البيانيان لمنحنى (الإزاحة – الزمن) ارتفاع الكرة في فترات زمنية مماثلة.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

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

عربات السقوط الحر يستخدم مفهوم السقوط الحر في تصميم ألعاب في مدن الألعاب، بحيث تعطي راكبيها الإحساس بالسقوط الحر. ويمر الراكب في مثل هذا النوع من الألعاب بثلاث مراحل، هي: الصعود، ثم التعليق لحظيًا، ثم السقوط؛ حيث تعمل محركات على توفير القوة اللازمة لتحريك عربات لعبة السقوط الحر إلى أعلى المسار. وعند سقوط هذه العربات سقوطًا حرًا يكون للشخص الأكبر كتلة والشخص الأقل كتلة التسارع نفسه. افترض أن إحدى عربات السقوط الحر في مدينة الألعاب سقطت سقوطًا حرًا من السكون مدة 1.5 s، فما سرعتها المتجهة في نهاية هذه الفترة؟ اختر نظامًا إحداثيًا يكون فيه الاتجاه إلى أعلى موجبًا ونقطة الأصل عند الموقع الابتدائي للعربة. بما أن العربة بدأت الحركة من السكون فإن $v_i = 0$.

استخدم معادلة السرعة المتجهة بدلالة التسارع الثابت لحساب السرعة المتجهة النهائية للعربة.

$$\begin{aligned} v_f &= v_i + \bar{a}t_f \\ &= 0.00\ \text{m/s} + (-9.80\ \text{m/s}^2)(1.5\ \text{s}) \\ &= -15\ \text{m/s} \end{aligned}$$

ما الإزاحة التي قطعتها العربة خلال هذه الفترة؟ بما أن الزمن والإزاحة معلومان فإننا نستخدم معادلة الإزاحة.

$$\begin{aligned} d_f &= d_i + v_i t_f + 1/2\,\bar{a}t_f^2 \\ &= 0.00\ \text{m} + (0.00\ \text{m/s})(1.5\ \text{s}) + 1/2\,(-9.80\ \text{m/s}^2)(1.5\ \text{s})^2 \\ &= -11\ \text{m} \end{aligned}$$

مسألة تحفيز

شاهدت بالونًا مملوءًا بالماء يسقط أمام نافذة صفك. فإذا استغرق البالون t ثانية، ليسقط مسافة تساوي ارتفاع النافذة ومقدارها y متر. افترض أن البالون بدأ حركته من السكون، فما الارتفاع الذي يسقط منه قبل أن يصل إلى الحافة العليا للنافذة بدلالة كل من g و y و t وثوابت عددية؟

موقع واجباتي

موقع واجباتي

41. أسقط عاملُ بناءٍ عَرَضًا قطعةَ قرميد من سطح بناية.

a. ما سرعة القطعة بعد 4.0 s؟ $V = 9.8 \times 4 = 39.2$ m/s.

b. ما المسافة التي تقطعها القطعة خلال هذا الزمن؟ $D = V_i t_f + \frac{1}{2} a t_f^2 = 235.2$ m.

c. كيف تختلف إجابتك عن المسألة إذا قمت باختيار النظام الإحداثي بحيث يكون الاتجاه المعاكس هو الاتجاه الموجب. ستختلف إشارة المسافة والسرعة لان اتجاه الحركة سيكون عكس الاتجاه الموجب.

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

$$V = 2ad = 2 \times 9.8 \times 3.5 = 68.6 \text{ m/s.}$$

43. قذفت كرة تنس رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ابتدائية 22.5 m/s، وتم الإمساك بها عند عودتها إلى الارتفاع نفسه الذي قذفت منه.

a. احسب الارتفاع الذي وصلت إليه الكرة. $D = \frac{Vf2 - Vi2}{2a} = \frac{0 - 506.25}{2 \times -9.8} = 25.829$ m.

b. ما الزمن الذي استغرقته الكرة في الهواء؟

$$D = V_i t_f + \frac{1}{2} a t_f^2. \qquad t = 4.59 \text{ s.}$$

إرشاد: الزمن الذي تستغرقه الكرة في الصعود يساوي الزمن الذي تستغرقه في الهبوط.

44. رميت كرة بشكل رأسي إلى أعلى. وكان أقصى ارتفاع وصلت إليه 0.25 m:

a. ما السرعة الابتدائية للكرة؟ $V_i^2 = -2ad = -2 \times -9.8 \times 0.25 = 4.9$ m/s, $Vi = 2.2$ m/s.

b. إذا أمسكت الكرة عند عودتها إلى الارتفاع نفسه الذي أطلقت منه، فما الزمن الذي استغرقته في الهواء؟

$$T = 0.255 \text{ s.}$$

موقع واجباتي

موقع واجباتي

3–3 مراجعة

45. أقصى ارتفاع وزمن التحليق إذا كان تسارع الجاذبية على سطح المريخ يساوي $\left(\frac{1}{3}\right)$ تسارع الجاذبية على سطح الأرض، ثم قذفت كرة إلى أعلى من فوق سطح كل من المريخ والأرض بالسرعة نفسها:

a. قارن بين أقصى ارتفاع تصله الكرة على سطح المريخ وسطح الأرض.

أقصى ارتفاع لها على سطح المريخ يساوي $\frac{1}{3}$ أقصى ارتفاع لها على سطح الأرض. **b.** قارن بين زمني التحليق.

زمن التحليق على سطح الأرض يساوي $\frac{1}{3}$ زمن التحليق على سطح المريخ.

46. السرعة والتسارع افترض أنك قذفت كرة إلى أعلى. صف التغيرات في كل من سرعة الكرة المتجهة وتسارعها.

تقل سرعة وتسارعها الكرة كلما ارتفعت لأعلي حتى تتوقف ثم تهبط ثانية وتتزايد سرعتها وتسارعها حتى تصل الي الأرض.

47. السرعة النهائية أسقط أخوك -بناء على طلبك- مفاتيح المنزل من نافذة الطابق الثاني. فإذا التقطتها على بُعد 4.3 m من نقطة السقوط، فاحسب سرعة المفاتيح عند التقاطك لها.

$V_f^2 = 2ad = 2 \times 9.8 \times 4.3 = 84.28$, $V_f = 9.18$ m/s.

48. السرعة المتجهة الابتدائية وأقصى ارتفاع يتدرب طالب على ركل كرة القدم رأسيًّا إلى أعلى، وتعود الكرة إثر كل ركلة لتصطدم بقدمه. إذا استغرقت الكرة من لحظة ركلها حتى اصطدامها بقدمه 3.0 s:

a. فما السرعة المتجهة الابتدائية للكرة؟

$V_i = V_f - a\Delta t = -9.8 \times 0.5 = -14.7$ m/s.

b. ما الارتفاع الذي وصلت إليه الكرة بعد أن ركلها الطالب؟

$D = \frac{Vf2 - Vi2}{2a} = 11.025$ m.

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

نعم، تتسارع.

موقع واجباتي

تمدد الزمن عند السرعات العالية
Time Dilation at High Velocities

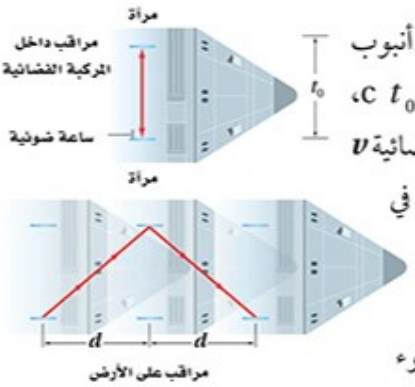
هل يمكن أن يمر الزمن بشكل مختلف في إطارين مرجعيين؟ وكيف يمكن أن يكون عمر أحد توأمين أكبر من عمر الآخر؟

الساعة الضوئية Light Clock تأمل فكرة التجربة الآتية 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 بتحديد عدد ارتدادات النبضة. الساعة الضوئية مضبوطة لأن سرعة النبضة الضوئية (c) منتظمة دائمًا، وهي تساوي $3\times10^8 m/s$ بغض النظر عن سرعة المصدر الضوئي أو المراقب.

افترض أن هذه الساعة الضوئية وضعت في مركبة فضائية سريعة جدًّا. عندما تسير المركبة بسرعات قليلة، يرتد الشعاع الضوئي رأسيًّا داخل الأنبوب. وإذا تحركت المركبة بسرعة أكبر، فسيستمر الشعاع الضوئي في الارتداد رأسيًّا كما يراه المراقب في المركبة.

أما بالنسبة إلى مراقب يقف ساكنًا على سطح الأرض فإن النبضة الضوئية تتحرك وفق مسار مائل بسبب حركة المركبة الفضائية. لذا فإن الشعاع الضوئي – بالنسبة إلى هذا المراقب – يتحرك مسافة أكبر. ولما كانت المسافة تعطى بالعلاقة: المسافة = السرعة × الزمن، وسرعة النبضة الضوئية c (أو سرعة الضوء) منتظمة دائمًا بالنسبة إلى أي مراقب، فإن ازدياد المسافة بالنسبة إلى المراقب الأرضي الساكن تعني أن الزمن هو الذي يجب أن يزداد في الطرف الثاني للمعادلة حتى تبقى صحيحة. أي أن هذا المراقب يرى أن الساعة في المركبة المتحركة تسير أبطأ من الساعة نفسها على الأرض!

افترض أن زمن نبضة (دَقة) الساعة الضوئية – كما يراها المراقب على الأرض – هو t_s، وكما يراها المراقب في المركبة الفضائية t_0، وطول أنبوب الساعة الضوئية $c\,t_0$، وسرعة المركبة الفضائية v وسرعة الضوء c. في كل نبضة تتحرك المركبة مقدار vt_s، وتتحرك نبضة الضوء مقدار ct_0، وهذا يقود إلى المعادلة الآتية:



$$t_s = \frac{t_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v^2}{c^2}\right)}}$$

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

تمدد الزمن Time Dilation تسمّى هذه الظاهرة تمدد الزمن، وتنطبق على كل العمليات المرتبطة مع الزمن على متن السفن الفضائية. فمثلاً يمضي العمر الحيوي بشكل أكثر بطئًا في المركبة الفضائية مما 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.

لقد 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 من عمر رواد الفضاء الذين على متنها.

التوسّع

1. **احسب** أوجد تمدد الزمن $\frac{t_s}{t_0}$ لزمن دوران الأرض حول الشمس إذا علمت أن $v_{earth} = 10889\ km/s$.
2. **احسب** اشتق معادلة حساب تمدد الزمن t_s.
3. **ناقش** ما الفرق بين تمدد الزمن وزمن الحركة؟

موقع واجباتي

مختبر الفيزياء

التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية

تحدث تغيرات طفيفة في مقدار التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية g في مواقع مختلفة على سطح الأرض، حيث تتغير قيمة g بحسب بُعد الموقع عن مركز الأرض. وتُعطى الإزاحة في حالة الحركة وفق تسارع ثابت بالمعادلة الآتية:

$$\Delta d = v_i \Delta t + \frac{1}{2} a \Delta t^2$$

$$d_f - d_i = v_i (t_f - t_i) + \frac{1}{2} a (t_f - t_i)^2$$

فإذا كانت $t_i = 0$ و$d_i = 0$ فإن الإزاحة تعطى بالمعادلة: $d_f = v_i t_f + \frac{1}{2} a t_f^2$

وبقسمة طرفي المعادلة على t_f تؤول إلى: $\frac{d_f}{t_f} = v_i + \frac{1}{2} a t_f$

إن ميل المنحنى البياني $\frac{d_f}{t_f}$ مقابل t_f يساوي $\frac{1}{2} a$، والسرعة المتجهة الابتدائية v_i يتم تحديدها بتعيين نقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الرأسي. في هذه التجربة ستستخدم المؤقت ذا الشريط لجمع بيانات عن السقوط الحر، والتي ستستعملها في تعيين التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية g.

سؤال التجربة

كيف تتغير قيمة g من مكان إلى آخر؟

الأهداف

- تقيس بيانات عن السقوط الحر.
- ترسم منحنى (السرعة المتجهة -الزمن) وتستخدمه.
- تقارن بين قيم g في مواقع مختلفة.

احتياطات السلامة

- ابتعد عن الأجسام أثناء سقوطها.

المواد والأدوات

شريط ورقي للمؤقت	ورق جرائد
شريط لاصق	مؤقت ذو شريط
كتلة 1 kg	ماسك على شكل حرف C

الخطوات

1. ثبّت المؤقت في حافة طاولة المختبر بالماسك C.
2. إذا كان المؤقت يحتاج إلى معايرة فاتبع تعليمات المعلم أو ورقة التعليمات الخاصة بالجهاز. عين الزمن الدوري للمؤقت ثم سجّله في جدول البيانات.
3. ضع كومة من ورق الجرائد على أرضية المختبر مباشرة تحت المؤقت بحيث تصطدم بها الكتلة عندما تسقط سقوطًا حرًّا؛ وذلك حتى لا تتلف الأرضية.
4. اقطع 70 cm تقريبًا من شريط المؤقت، وأدخل طرفه في المؤقت، واربط الطرف الآخر بالكتلة 1 kg باستخدام الشريط اللاصق.
5. أمسك الكتلة عند حافة الطاولة بمحاذاة المؤقت.
6. شغل المؤقت واترك الكتلة تسقط سقوطًا حرًّا.
7. افحص الشريط الورقي للمؤقت للتأكد من وجود نقاط ظاهرة عليه، ومن عدم وجود انقطاعات (فراغات) في النقاط المتسلسلة المطبوعة عليه. إذا ظهر في الشريط أي خلل، فكرّر الخطوات 6-4 باستعمال قطعة أخرى من شريط المؤقت.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

جدول البيانات			
الزمن الدوري (S)			
الفترة الزمنية	المسافة (cm)	الزمن (S)	السرعة (cm/S)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

8. اختر نقطة بالقرب من بداية الشريط على بُعد بضعة سنتمترات من النقطة التي بدأ المؤقت عندها تسجيل النقاط، واكتب عندها الرقم صفر "0". أكمل ترقيم النقاط على التوالي بالأرقام 1, 2, 3, 4, 5 حتى تصل قرب نهاية الشريط، حيث توقفت الكتلة عن السقوط الحر. (إذا توقف ظهور النقاط أو بدأت المسافة بينها بالتناقص فهذا يعني أن الكتلة اصطدمت بالأرض).
9. قس المسافة الكلية إلى أقرب ملمتر من نقطة الصفر إلى كل نقطة مرقمة، وسجلها في الجدول. وباستخدام الزمن الدوري للمؤقت، سجل الزمن الكلي المرتبط مع كل قياس للمسافة.

التحليل

1. **استعمل الأرقام** احسب قيم السرعة وسجلها في جدول البيانات.
2. **أنشئ الرسوم البيانية واستخدمها** ارسم منحنى (السرعة المتجهة-الزمن)، ثم ارسم الخط البياني الأكثر ملاءمة لبياناتك.
3. احسب ميل الخط البياني، وحوّل النتيجة إلى وحدة m/s^2.

الاستنتاج والتطبيق

1. تذكّر أن ميل خط منحنى (السرعة المتجهة- الزمن) يساوي $\frac{1}{2}a$، واحسب التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية.
2. أوجد الخطأ النسبي في القيمة التجريبية لـ g مقارنة بالقيمة المقبولة لها $9.80\ m/s^2$. علمًا بأن:

$$\text{الخطأ النسبي} = \frac{\text{القيمة المقبولة} - \text{القيمة التجريبية}}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100\%$$

3. كم كان مقدار السرعة الابتدائية v_i للكتلة عندما بدأت قياس المسافة والزمن؟

التوسع في البحث

ما الفائدة من بدء القياس من نقطة تبعد بضعة سنتمترات عن بداية شريط المؤقت بدلاً من بدئه من أول نقطة على الشريط؟

الفيزياء في الحياة

لماذا يقوم مصممو عربات السقوط الحر في مدن الألعاب (الملاهي) بتصميم مسارات خروج تنحني تدريجيًا في اتجاه الأرض؟ لماذا يكون هناك امتداد للمسار المستقيم؟

موقع واجباتي

موقع واجباتي

الفصل 3
دليل مراجعة الفصل

3–1 التسارع (العجلة) Acceleration

المفردات

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

المفاهيم الرئيسة

- يمكن استخدام منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) لإيجاد سرعة جسم وتسارعه.
- يمكن استخدام كلٍّ من منحنيات (السرعة المتجهة–الزمن) والمخططات التوضيحية للحركة لتحديد إشارة تسارع الجسم.
- عندما تتغير سرعة جسم بمعدل منتظم يكون له تسارع ثابت.
- 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.
- التسارع اللحظي هو التغير في السرعة عند لحظة زمنية محددة.

3–2 الحركة بتسارع ثابت Motion with Constant Acceleration

المفاهيم الرئيسة

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

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

3–3 السقوط الحر Free Fall

المفردات

- التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية
- السقوط الحر

المفاهيم الرئيسة

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

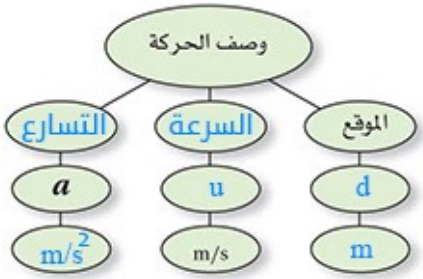
موقع واجباتي

موقع واجباتي

الفصل 3
التقويم

خريطة المفاهيم

50. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام الرموز والمصطلحات المناسبة:



إتقان المفاهيم

51. ما العلاقة بين السرعة المتجهة والتسارع؟(1-3)

التسارع هو التغير في السرعة مقسوما على الفترة الزمنية الذي حدث فيها التغير انه معدل التغير في السرعة.

52. أعط مثالاً على كل مما يأتي: (1-3)

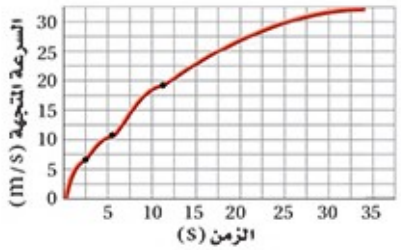
a. جسم تتناقص سرعته وله تسارع موجب.

إذا كان الاتجاه نحو الأمام موجبا فان السيارة تتحرك إلى الخلف بسرعه متناقضة.

b. جسم تتزايد سرعته، و له تسارع سالب.

في النظام الإحداثي نفسه تتحرك السيارة للخلف بسرعة متزايدة.

53. يبين الشكل 16-3 منحنى (السرعة المتجهة-الزمن) لسيارة تتحرك على طريق. صف كيف تتغير السرعة المتجهة مع الزمن. (1-3)



الشكل 16-3

تبدأ السيارة من السكون وتزيد سرعتها ومع ازدياد سرعة السيارة يغير السائق ناقل الحركة.

54. ماذا يمثل ميل المماس لمنحنى (السرعة المتجهة-الزمن)؟ (1-3)

التسارع اللحظي.

55. هل يمكن أن يكون لسيارة تتحرك على طريق عام سرعة متجهة سالبة وتسارع موجب في الوقت نفسه؟ وضح ذلك. وهل يمكن أن تتغير إشارة السرعة المتجهة لسيارة في أثناء حركتها بتسارع ثابت؟ وضح ذلك. (1-3)

نعم، تكون سرعة السيارة موجبة أو سالبة حسب اتجاه حركتها من نقطة مرجعية ما ويكون الجسم خاضعا لتسارع موجب عندما تزداد سرعته في الاتجاه الموجب أو عندما تنقص سرعته في الاتجاه السالب ويمكن أن تتغير إشارة سرعة السيارة في أثناء حركتها بتسارع ثابت فمثلا ربما تكون سائر نحو اليمين بينما التسارع نحو اليسار وتخفض السيارة من سرعتها ثم تتوقف ثم تأخذ في اتجاه السيارة.

موقع واجباتي

الفصل 3
التقويم

56. هل يمكن أن تتغير السرعة المتجهة لجسم عندما يكون تسارعه ثابتًا؟ إذا أمكن ذلك فأعط مثالًا، وإذا لم يمكن فوضح ذلك. (1-3)

نعم، يمكن أن تتغير سرعة جسم عندما يكون تسارعه منتظما مثل إسقاط كتاب لان التسارع يظل ثابتا يساوي g.

57. إذا كان منحنى (السرعة المتجهة-الزمن) لجسم ما خطًّا مستقيمًا يوازي محور الزمن t، فماذا يمكن أن تستنتج عن تسارع الجسم؟ (1-3)

عندما يكون المنحني البياني خطا مستقيما موازيا لمحور الزمن t فان التسارع يكون صفراً.

58. ماذا تمثل المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة-الزمن)؟ (2-3)

التغير في الازاحة.

59. اكتب معادلات كل من الموقع والسرعة المتجهة والزمن لجسم يتحرك وفق تسارع ثابت. (2-3)

$t = \frac{Vf - Vi}{a}$ ،$V = a\ \Delta t$، $D = V_i\ t_f + \frac{1}{2}\ a\ t_f^2$.

60. عند إسقاط كرتين متماثلتين في الحجم إحداهما من الألومنيوم والأخرى من الفولاذ، من الارتفاع نفسه، فإنهما تصلان سطح الأرض عند اللحظة نفسها. لماذا؟ (3-3)

لأنهما يسقطان بنفس التسارع ويساوي g وبنفس السرعة الابتدائية ونفس الارتفاع.

61. اذكر بعض الأمثلة على أجسام تسقط سقوطًا حرًّا ولا يمكن إهمال تأثير مقاومة الهواء فيها. (3-3)

ورقة الشجر، قطرات المطر، مظلة.

62. اذكر بعض الأمثلة لأجسام تسقط سقوطًا حرًّا ويمكن إهمال تأثير مقاومة الهواء عليها. (3-3)

سقوط كتاب، سقوط سباح في بركة السباحة، صخرة.

تطبيق المفاهيم

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

لا، إذا كان المحور الموجب يشير في اتجاه يعاكس السرعة المتجهة فان التسارع سيكون موجباً.

64. تتدحرج كرة كريكيت بعد ضربها بالمضرب، ثم تتباطأ وتتوقف. هل لسرعة الكرة المتجهة وتسارعها الإشارة نفسها؟

لا، لهما إشارتان مختلفتان.

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

لا، عندما تكون السرعة منتظمة فان التسارع يساوي صفرا.

66. إذا كانت السرعة المتجهة لجسم عند لحظة ما تساوي صفرًا فهل من الضروري أن يساوي تسارعه صفرًا؟ أعط مثالًا.

لا، عندما تتدحرج الكره صاعده تله ،تكون سرعتها المتجهة لحظة تغيير اتجاه تدحرجها صفرا ولكن تسارعها لا يساوي صفرا.

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

67. إذا أعطيت جدولاً يبين السرعة المتجهة لجسم عند أزمنة مختلفة فكيف يمكنك أن تكتشف ما إذا كان التسارع ثابتًا أم غير ثابت؟

بحساب التسارع عن أكثر من فترة ومقارنة النتائج.

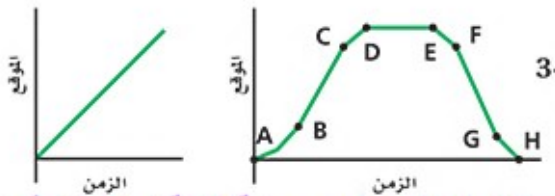
68. تظهر في منحنى (السرعة المتجهة - الزمن) في الشكل **3-16** ثلاثة مقاطع نتجت عندما غير السائق ناقل الحركة. صف التغيرات في السرعة المتجهة للسيارة وتسارعها في أثناء المقطع الأول. هل التسارع قبل لحظة تغيير الناقل أكبر أم أصغر من التسارع في اللحظة التي تلي التغيير؟ وضح إجابتك.

تبدأ السيارة من السكون وتزيد سرعتها ومع ازدياد سرعة السيارة يغير السائق ناقل الحركة، التسارع قبل لحظة تغيير الناقل أكبر من التسارع في اللحظة التي تلي التغيير.

69. استخدم الرسم البياني في الشكل **3-16** لتعيين الفترة الزمنية التي يكون التسارع خلالها أكبر ما يمكن، والفترة الزمنية التي يكون التسارع خلالها أصغر ما يمكن.

الفترة الأولي فيها التسارع اكبر ما يمكن والفترة الأخيرة فيها التسارع اقل ما يمكن.

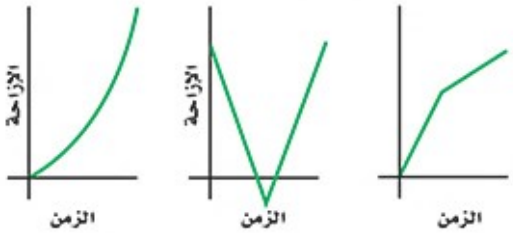
70. وضح كيف تسير بحيث تمثل حركتك كلًّا من منحنيي (الموقع-الزمن) الموضحين في الشكل **3-17**.



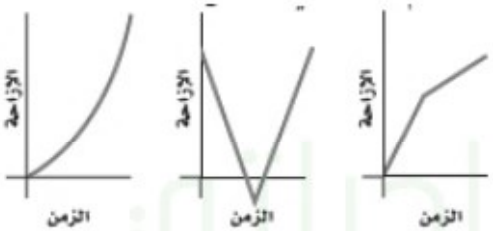
■ **الشكل 3-17**

تحرك في الاتجاه الموجب بسرعة ثابتة ثم تحرك في الاتجاه الموجب بسرعة متزايدة لزمن قصير استمر السير بسرعة متوسطة لفترة زمنية تساوي ضعف الفترة السابقة وخفض سرعتك لفترة زمنية قصيرة ثم توقف واستمر في التوقف ثم در إلى الخلف وكرر الخطوات حتى تصل إلى الموقع الأصلي.

71. ارسم منحنى (السرعة المتجهة-الزمن) لكل من الرسوم البيانية في الشكل **3-18**.



■ **الشكل 3-18**



موقع واجباتي

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

72. قذف جسم رأسيًّا إلى أعلى فوصل أقصى ارتفاع له بعد مضي 7.0 s، وسقط جسم آخر من السكون فاستغرق 7.0 s للوصول إلى سطح الأرض. قارن بين إزاحتي الجسمين خلال هذه الفترة الزمنية.

تحرك كلا الجسمين المسافة نفسها يرتفع الجسم الذي قذف رأسيا إلى أعلى الى الارتفاع نفسه الذي سقط منه الجسم الأخر.

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

a. إذا أسقطت كرة من ارتفاع ما على سطح القمر، فهل تصطدم بسطح القمر بسرعة أكبر أم مساوية أم أقل من سرعة الكرة نفسها إذا أسقطت من الارتفاع نفسه على سطح الأرض؟

ستصطدم بسطح القمر بسرعة أقل من اصطدامها بسطح الأرض.

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

الزمن على سطح القمر سيكون أكبر من الزمن على سطح الأرض.

74. لكوكب المشتري ثلاثة أمثال التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية تقريبًا. افترض أن كرة قذفت رأسيًّا بالسرعة المتجهة الابتدائية نفسها على كل من الأرض والمشتري، مع إهمال تأثير مقاومة الغلاف الجوي للأرض وللمشتري، وبافتراض أن قوة الجاذبية هي القوة الوحيدة المؤثرة في الكرة:

a. قارن بين أقصى ارتفاع تصله الكرة على كل من المشتري والأرض.

أقصي ارتفاع تصله الكرة على سطح الأرض يساوي ثلاث أضعاف أقصي ارتفاع على سطح كوكب المشتري.

b. إذا قذفت الكرة على المشتري بسرعة متجهة ابتدائية تساوي ثلاثة أمثال السرعة المتجهة في الفقرة **a**، فكيف يؤثر ذلك في إجابتك؟

سيكون أقصي ارتفاع تصل إليه الكرة على سطح الأرض وأقصي ارتفاع علي كوكب المشترى متساو ويكون لها نفس زمن السقوط.

75. أسقطت الصخرة A من تل، وفي اللحظة نفسها قذفت الصخرة B إلى أعلى من الموقع نفسه:

a. أي الصخرتين ستكون سرعتها المتجهة أكبر لحظة الوصول إلى أسفل التل؟

ستصطدم الصخرة B بالأرض بسرعة أكبر.

b. أي الصخرتين لها تسارع أكبر؟

لهما نفس التسارع.

c. أيهما تصل أولًا؟

الصخرة A.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

إتقان حل المسائل

3–1 التسارع

76. تحركت سيارة مدة 2.0 h بسرعة 40.0 km/h، ثم تحركت مدة 1.5 h بسرعة 60.0 km/h وفي الاتجاه نفسه.

a. ما السرعة المتوسطة للسيارة؟

50 km/h.

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

50 km/h.

77. أوجد التسارع المنتظم الذي يسبب تغيرًا في سرعة سيارة من 32 m/s إلى 96 m/s خلال فترة زمنية مقدارها 8.0 s.

$a = 8\ m/s^2$.

78. سيارة سرعتها المتجهة 22 m/s تسارعت بانتظام بمقدار $1.6\ m/s^2$ مدة 6.8 s. ما سرعتها المتجهة النهائية؟

$V_f = axt + V_i = 32.88$ m/s.

79. بالاستعانة بالشكل **3–19** أوجد تسارع الجسم المتحرك في الأزمنة الآتية:

a. خلال الثواني الخمس الأولى من الرحلة (5.0 s).

$A = 6\ m/s^2$.

b. بين 5.0 s و 10.0 s

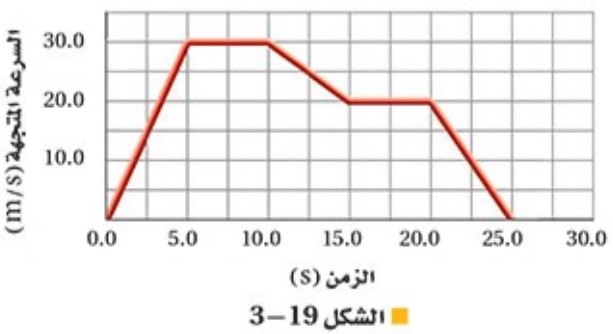
$A = 0\ m/s^2$.

c. بين 10.0 s و 15.0 s

$a = -2\ m/s^2$.

d. بين 20.0 s و 25.0 s

$A = -4\ m/s^2$.



الشكل 3–19

موقع واجباتي

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

80. احسب السرعة المتجهة النهائية لبروتون سرعته المتجهة الابتدائية $2.35 \times 10^5\ m/s$ تم التأثير فيه بمجال كهربائي، بحيث يتسارع بانتظام بمقدار $(-1.10 \times 10^{12}\ m/s^2)$ مدة $1.50 \times 10^{-7}\ s$.

$V_f = axt + V_i = 70000\ m/s.$

81. ارسم منحنى (السرعة المتجهة-الزمن) باستخدام البيانات في **الجدول 4-3**، وأجب عن الأسئلة الآتية:

a. خلال أي الفترات الزمنية:

- تزداد سرعة الجسم.
- تقل سرعة الجسم.

تزداد في الست ثوان الأولى ثم تقل بعد ذلك.

b. متى يعكس الجسم اتجاه حركته؟

بعد الثانية العاشرة.

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؟

في الفترة الزمنية بين 0.0s و 2.0s يكون التسارع باشارة موجبة أي يزداد ويساوي 4.

أما في الفترة الزمنية بين 7.0s و 12.0s يكون التسارع باشارة سالبة ولا يكون قيمة ثابتة.

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

82. يمكن زيادة سرعة السيارة A من 0 m/s إلى 17.9 m/s خلال 4.0 s، والسيارة B 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 إلى الأقل تسارعًا، مع الإشارة إلى العلاقة التي قد تربط بين تسارع كل منها.

في الفترة الزمنية بين 0.0s و 2.0s يكون التسارع باشارة موجبة أي يزداد ويساوي 4.

أما في الفترة الزمنية بين 7.0s و 12.0s يكون التسارع باشارة سالبة ولا يكون قيمة ثابتة.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

83. تطير طائرة نفاثة بسرعة 145 m/s وفق تسارع ثابت مقداره $23.1\ m/s^2$ لمدة 20.0 s.

a. ما سرعتها النهائية؟

$V_f = axt + V_i = 607\ m/s.$

b. إذا كانت سرعة الصوت في الهواء 331 m/s فما سرعة الطائرة بدلالة سرعة الصوت؟

سرعتها تساوي 1.83سرعة الصوت تقريباً.

3–2 الحركة بتسارع ثابت

84. استعن بالشكل **19–3** لإيجاد الإزاحة المقطوعة خلال الفترات الزمنية الآتية:

a. $t = 0.0\ s$ إلى $t = 5.0\ s$

D = 75 m.

b. $t = 5.0\ s$ إلى $t = 10.0\ s$

D = 150 m.

c. $t = 10.0\ s$ إلى $t = 15.0\ s$

D = 125 m.

d. $t = 0.0\ s$ إلى $t = 25.0\ s$

D = 600 m.

85. بدأ متزلج حركته من السكون بتسارع مقداره $49\ m/s^2$، ما سرعته عندما يقطع مسافة 325 m؟

$V_f = 849.4\ m/s.$

86. تتحرك سيارة بسرعة متجهة 12 m/s صاعدة تلًا بتسارع ثابت $(-1.6\ m/s^2)$. ما إزاحتها بعد 6 s وبعد 9 s؟

بعد 6s سيكون d = 43.2 m، بعد 9s سيكون d = 43.2 m.

87. تتباطأ سيارة سباق بمقدار ثابت $(11\ m/s^2)$. أجب عما يأتي:

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

d = 137.5 m.

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

d = 550 m.

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

d = 1650 m.

89. تتحرك سيارة شرطة من السكون بتسارع ثابت مقداره $7.0\ m/s^2$، لتلحق بسيارة تتجاوز حد السرعة المسموح به وتسير بسرعة منتظمة مقدارها 30.0 m/s. كم تكون سرعة سيارة الشرطة عندما تلحق بالسيارة المخالفة؟

موقع واجباتي

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

90. شاهد سائقُ سيارةٍ تسير بسرعة 90.0 km/h فجأة أضواءَ حاجز على بُعد 40.0 m أمامه. فإذا استغرق السائق 0.75 s حتى يضغط على الفرامل، وكان التسارع المتوسط للسيارة في أثناء ضغطه على الفرامل ($-10.0\ m/s^2$):

a. فحدد ما إذا كانت السيارة ستصطدم بالحاجز أم لا؟

نعم، سيصطدم بالحاجز.

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

(بفرض أن التسارع لم يتغير). $V = 57\ m/s$

3–3 السقوط الحر

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

$t = 1.22s.$

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

$V = 78.4\ m/s,\ d = 313.6m.$

93. قذفت كرة بسرعة 2.0 m/s رأسيًّا إلى أسفل من نافذة منزل. ما سرعتها حين تصل إلى رصيف المشاة الذي يبعد 2.5 m أسفل نقطة القذف؟

$V_f = 7.28\ m/s.$

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

$V_f = 7.28\ m/s.$

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

a. ما الارتفاع الذي وصلت إليه الكرة؟

$D = 5.929\ m.$

b. ما السرعة المتجهة الابتدائية للكرة؟

$V = 10.78\ m/s.$

موقع واجباتي

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

مراجعة عامة

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

D =1135 m.

97. يبين الشكل **20-3** صورة ستروبية لكرة تتحرك أفقيًا. لتقدير قيمة تقريبية للتسارع، ما المعلومات التي تحتاج إليها حول الصورة؟ وما القياسات التي ستجريها؟

المسافة بين كل نقطتين وسرعة الكرة والزمن التي تستغرقه لقطع هذه المسافة.

الشكل 20-3

98. يطير بالون أرصاد جوية على ارتفاع ثابت فوق سطح الأرض. سقطت منه بعض الأدوات واصطدمت بالأرض بسرعة متجهة (73.5 m/s−). ما الارتفاع الذي سقطت منه هذه الأدوات؟

d = 275.625 m.

99. يبين الجدول **5-3** المسافة الكلية التي تتدحرجها كرة إلى أسفل مستوى مائل في أزمنة مختلفة.

الجدول 5-3

المسافة - الزمن

الزمن (s)	المسافة (m)
0.0	0.0
1.0	2.0
2.0	8.0
3.0	18.0
4.0	32.0
5.0	50.0

a. مثِّل بيانيًا العلاقة بين الموقع والزمن.

b. احسب المسافة التي تدحرجتها الكرة بعد مرور 2.2 s.

D = 13 m.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

100. تتغير سرعة سيارة خلال فترة زمنية مقدارها 8.0 s كما يبين الجدول 6-3.

a. مثّل بيانيًّا العلاقة بين السرعة المتجهة-الزمن.

b. ما إزاحة السيارة خلال ثماني ثوان ؟

D = 20 m.

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

الميل = 4 وهو يمثل تسارع السيارة.

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

الميل = صفر وهذا يدل على أن السيارة تسير بسرعة ثابتة.

الجدول 6-3

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

101. 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؟

بعد مرور 6 ثوان بعد مسافة 45 m.

102. ترتفع طائرة مروحية رأسيًّا بسرعة $5.0\ m/s$ عندما سقط كيس من حمولتها. إذا وصل الكيس سطح الأرض خلال 2 s فاحسب:

a. سرعة الكيس المتجهة لحظة وصوله الأرض.

$V_f = 19.6\ m/s.$

b. المسافة التي قطعها الكيس.

D = 29.6 m.

c. بُعد الكيس عن الطائرة لحظة وصوله سطح الأرض.

D = 59.2 m.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

التفكير الناقد

103. صمم تجربة لقياس المسافة التي يتحركها جسم متسارع خلال فترات زمنية متساوية باستخدام الأدوات الآتية: كاشف للحركة (CBL) (أو بوابة ضوئية)، وعربة مختبر، وخيط، وبكرة، وماسك على شكل حرف C. ثم ارسم منحنى (السرعة المتجهة- الزمن) ومنحنى (الموقع - الزمن) باستخدام أثقال مختلفة. وضح كيف يؤثر تغيير الثقل في رسمك البياني.

نربط الكرة بالخيط ونربط الخيط في الماسك ونحرك الكرة بسرعة منتظمة ونقيس سرعة الكرة بكاشف الحركة ونحسب المسافة التي يقطعها في زمن معين.

104. 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.

كلاهما له نفس التسارع ويساوي $10\ m/s^2$.

105. يتحرك قطار سريع بسرعة 36.0 m/s، ثم طرأ ظرف اقتضى تحويل مساره إلى سكة قطار محلي. اكتشف سائق القطار السريع أن أمامه (على السكة نفسها) قطارًا محليًّا يسير ببطء في الاتجاه نفسه وتفصله عن القطار السريع مسافة قصيرة (1.00×10^2 m). لم ينتبه سائق القطار المحلي للكارثة الوشيكة وتابع سيره بالسرعة نفسها، فضغط سائق القطار السريع على الفرامل، وأبطأ سرعة القطار بمعدل ثابت مقداره $3.00\ m/s^2$. إذا كانت سرعة القطار المحلي 11.0 m/s فهل يتوقف القطار السريع في الوقت المناسب أم سيتصادمان؟

لحل هذه المسألة اعتبر موقع القطارِ السريع لحظة اكتشاف سائقه القطارَ المحلي نقطةَ أصلٍ. وتذكر دائمًا أن القطار المحلي كان يسبق القطار السريع

موقع واجباتي

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

بمسافة 1.00×10^2 m بالضبط، واحسب بُعد كل من القطارين عن نقطة الأصل في نهاية الـ 12.0 s التي يستغرقها القطار السريع حتى يتوقف (التسارع $= -3.00\ m/s^2$، والسرعة تتغير من 36 m/s إلى 0 m/s).

a. استنادًا إلى حساباتك، هل سيحدث تصادم؟

نعم، سيحدث تصادم.

b. احسب موقع كل قطار عند نهاية كل ثانية بعد المشاهدة. اعمل جدولاً تبين فيه بُعدَ كل من القطارين عن نقطة الأصل في نهاية كل ثانية، ثم اعمل رسمًا بيانيًّا لمنحنى (الموقع- الزمن) لكل من القطارين (رسمين بيانيين على النظام الإحداثي نفسه). استخدم رسمك البياني للتأكد من صحة جوابك في **a**.

الكتابة في الفيزياء

106. ابحث في مساهمات هبة الله بن ملك البغدادي في الفيزياء.

تختلف الإجابة من طالب لآخر.

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

لا يوجد حد ولكن لا يجب التسارع بقوه لا تزيد الضغط علي الاعصاب أي انه لو كانت سرعة الإنسان 5000 أو 1000 أو 400 كيلو متر في الساعة لا تضر به ولكن التزايد في السرعة بسرعة شديدة هو من يفقد الإنسان وعيه لذلك يجب أن لا تزيد سرعة أي لعبة ترفيهية عن 1000 كيلو متر في الساعة.

مراجعة تراكمية

108. تصف المعادلة الآتية حركة جسم:

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

ارسم منحنى (الموقع - الزمن) والمخطط التوضيحي للحركة، ثم اكتب مسألة فيزياء يمكن حلها باستخدام المعادلة.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

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

Ⓐ 8.0 m Ⓒ 16 m

Ⓑ 12 m Ⓓ 20 m

2. ما سرعة الكرة قبل أن تتوقف مباشرة؟

Ⓐ 2.0 m/s Ⓒ 12 m/s

Ⓑ 8.0 m/s Ⓓ 16 m/s

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

Ⓐ $0.44\ m/s^2$ Ⓒ $0.60\ m/s^2$

Ⓑ $8.4\ m/s^2$ Ⓓ $9.80\ m/s^2$

4. سقط أصيص أزهار من شرفة ترتفع 85 m عن أرضية الشارع. ما الزمن الذي استغرقه في السقوط قبل أن يصطدم بالأرض؟

Ⓐ 4.2 s Ⓒ 8.7 s

Ⓑ 8.3 s Ⓓ 17 s

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

Ⓐ 15.0 m Ⓒ 50.0 m

Ⓑ 31.0 m Ⓓ 100.0 m

6. اقتربت سيارة منطلقة بسرعة 91.0 km /h من مطعم على بُعد 30 m أمامها. فإذا ضغط السائق بقوة على الفرامل واكتسبت السيارة تسارعًا مقداره $-6.40\ m/s^2$، فما المسافة التي تقطعها السيارة حتى تتوقف؟

Ⓐ 14.0 m Ⓒ 50.0 m

Ⓑ 29.0 m Ⓓ 100.0 m

7. يمثل الرسم البياني الآتي حركة شاحنة. ما الإزاحة الكلية للشاحنة؟ افترض أن الاتجاه الموجب نحو الشمال.

Ⓐ 150 m جنوبًا Ⓒ 300 m شمالا

Ⓑ 125 m شمالًا Ⓓ 600 m جنوبًا

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

Ⓐ ميل مماس منحنى (المسافة–الزمن) عند نقطة ما.

Ⓑ المساحة تحت منحنى (المسافة–الزمن).

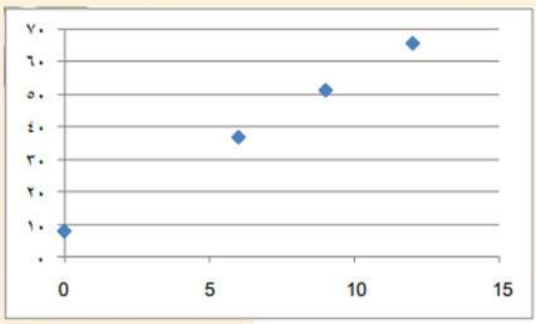
Ⓒ المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة–الزمن).

Ⓓ ميل المماس لمنحنى (السرعة المتجهة–الزمن).

الأسئلة الممتدة

9. 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 وبدايات الصفوف، ثم اقرأ السؤال وفسّر البيانات الموجودة في الجدول.

موقع واجباتي