# الفصل 2

الكينماتيكا



الشكل 2-1 حركة العوسق الأمريكي يمكن وصفها بالإزاحة والسرعة والسرعة المتجهة والعجلة. حينما يطير في خط مستقيم، دون أي تغيير في الاتجاه، تسمى حركته بالحركة أحادية البعد. (Credit: Vince Maiden, Wikimedia Commons)

**مخطط الفصل**

**2-1 الإزاحة**

• تعريف الموضع والإزاحة والمسافة والمسافة المقطوعة.

• شرح العلاقة بين الموضع والإزاحة.

• التمييز بين الإزاحة والمسافة المقطوعة.

• حساب الإزاحة والمسافة عند معرفة الموضع الأولي والموضع النهائي والمسار بين الاثنين.

**2-2 المتجهات والكميات القياسية ونظم الإحداثيات**

• التمييز بين الكميات القياسية والكميات المتجهة.

• تعيين نظام إحداثيات لموقف يتضمن حركة أحادية البعد.

**2-3 الزمن والسرعة المتجهة والسرعة**

* شرح العلاقات بين السرعة المتجهة اللحظية ومتوسط السرعة المتجهة والسرعة اللحظية ومتوسط السرعة والإزاحة والزمن.
* حساب السرعة المتجهة والسرعة وفقًا للموضع الأولي والزمن الأولي والموضع النهائي والزمن النهائي.
* اشتقاق رسم بياني للسرعة المتجهة مقابل الزمن من رسم بياني للموضع مقابل الزمن.
* شرح الرسم البياني للسرعة المتجهة مقابل الزمن.

**2-4 التسارع**

• التمييز بين التسارع اللحظي ومتوسط التسارع والتباطؤ.

• حساب العجلة عند معرفة الزمن الأولي والسرعة المتجهة الأولية والزمن النهائي والسرعة المتجهة النهائية.

**2-5 معادلات الحركة للتسارع الثابت في بعد واحد**

• حساب إزاحة كائن لا يتسارع، عند معرفة الموضع الأولى والسرعة الأولية.

• حساب السرعة المتجهة النهائية للجسم المتسارع، عند معرفة السرعة المتجهة الأولية والتسارع والزمن.

• حساب الإزاحة والموضع النهائي لجسم متسارع، عند معرفة الموضع الأولي، والسرعة الأولية والزمن والتسارع.

**2-6 أساسيات حل مسائل الكينماتيكا أحادية البعد**

• تطبيق خطوات وطرق حل المسائل لحل مسائل الكينماتيكا أحادية البعد.

• تطبيق طرق تحديد ما إذا كانت نتيجة مسألة ما معقولة أم لا، وإذا لم تكن كذلك، تحديد السبب.

**2-7 الأجسام الساقطة**

• تأثيرات الجاذبية على الأجسام المتحركة.

• الحركة خلال السقوط الحر.

• حساب الموضع والسرعة المتجهة للأجسام خلال السقوط الحر.

**2-8 تحليل بياني للحركة أحادية البعد**

• وصف الرسم البياني لخط مستقيم بدلالة ميله وتقاطعه مع محور y.

• تحديد متوسط السرعة المتجهة والسرعة المتجهة اللحظية من الرسم البياني للموضع مقابل الزمن

• تحديد متوسط التسارع والتسارع اللحظي من الرسم البياني للسرعة المتجهة مقابل الزمن.

• اشتقاق رسم بياني للسرعة مقابل الزمن من رسم بياني للموضع مقابل الزمن.

• اشتقاق رسم بياني للتسارع مقابل الزمن من رسم بياني للسرعة المتجهة مقابل الزمن.

**مقدمة عن الكينماتيكا أحادية البعد** تتحرك الكائنات في كل مكان؛ خلال اللعب والتحليق وحتى كوكب نبتون يتحرك. عندما تستريح، يحرك قلبك الدم عبر عروقك. وحتى في الجماد، هناك حركة مستمرة في اهتزازات الذرات والجزيئات. الأسئلة المتعلقة بالحركة مثيرة للاهتمام في حد ذاتها: كم من الوقت سيستغرق وصول مسبار فضائي إلى المريخ؟ أين ستهبط كرة إذا رميت بزاوية معينة؟ فهم الحركة، أيضًا، المفتاح لفهم المفاهيم الفيزيائية الأخرى. فهم التسارع، على سبيل المثال، مهم لدراسة القوة.

تبدأ دراستنا الرسمية للفيزياء **بـعلم الكينماتيكا (KINEMATICES)** الذي يُعَرّف بأنه دراسة الحركة دون النظر في أسبابها. في الكينماتيكا أحادية البعد والكينماتيكا ثنائية الأبعاد، سوف ندرس حركة كرة القدم، على سبيل المثال، دون الاهتمام بشأن القوى التي تسبب حركتها أو تغيرها. هذه الاعتبارات تأتي في فصول أخرى. في هذا الفصل ندرس أبسط نوع من الحركة وهي الحركة على طول خط مستقيم، أو الحركة أحادية البعد. في الكينماتيكا ثنائية الأبعاد، نطبق المفاهيم المطورة هنا لدراسة الحركة على طول المسارات المنحنية؛ على سبيل المثال، سيارة تسير على طريق منحني.

## 2-1 الإزاحة

A picture containing outdoor, bicycle, riding, road

Description automatically generated

الشكل 2-2 يمكن وصف راكبي الدراجات في فيتنام بموضعهم بالنسبة للمباني والقناة. يمكن وصف حركتهم بالتغير في الموضع، أو الإزاحة، في هذا الإطار المرجعي. (credit: Suzan Black، Fotopedia)

### الموضع

من أجل وصف حركة كائن، يجب أن تكون قادرًا أولًا على وصف **موضعه**-أين يكون في أي لحظة من الزمن. بتعبير أدق، تحتاج إلى تحديد موضعه بالنسبة إلى إطار مرجعي مناسب. غالبًا ما تُستخدم الأرض كإطار مرجعي، وكثيرًا ما نصف موضع كائن من حيث صلته بالكائنات الثابتة في الإطار. على سبيل المثال، يمكن وصف إطلاق صاروخ بموضع الصاروخ بالنسبة إلى الأرض، في حين يمكن وصف موضع المعلمة بموضع وجودها بالنسبة للسبورة البيضاء القريبة. (انظر الشكل 2-3.) في حالات أخرى، نستخدم إطارات مرجعية متحركة بالنسبة إلى الأرض. لوصف موضع شخص في طائرة، على سبيل المثال، نستخدم الطائرة، ليس الأرض، كإطار مرجعي. (انظر الشكل 2-4.)

### الإزاحة

إذا تحرك كائن بالنسبة إلى إطار مرجعي (على سبيل المثال، إذا تحركت المعلمة إلى اليمين بالنسبة إلى السَبُّورة البيضاء أو تحرك الراكب نحو الجزء الخلفي من الطائرة)، فإن الموضع يتغير. ويُعرف هذا التغيير في الموضع باسم **الإزاحة** تشير كلمة "الإزاحة" إلى أن كائن قد تحرك أو تمت إزاحته.

#### الإزاحة

الإزاحة هي التغيير في الموضع:

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.1 |  |

حيث الإزاحة، و الموضع النهائي و الموضع الابتدائي.

في هذا النص، يعني الحرف اليوناني العلوي (دلتا) دائما "التغيير في" أي كمية تتبعه؛ وبالتالي يعني التغيير في الموضع. احسب دائمًا الإزاحة عن طريق طرح الموضع الأولي من الموضع النهائي .

لاحظ أن وحدة SI للإزاحة هي المتر (م) (انظر **الكميات الفيزيائية والوحدات**)، ولكن في بعض الأحيان تستخدم الكيلومترات والأميال والأقدام ووحدات الطول الأخرى. ضع في اعتبارك أنه عند استخدام وحدات أخرى غير المتر في مسألة ما، قد تحتاج إلى تحويلها إلى أمتار لإكمال الحساب.

A picture containing diagram

Description automatically generated

الشكل 2-3 تتحرك المعلمة إلى اليسار وإلى اليمين خلال إعطاء الدرس. موضعها بالنسبة للأرض يرمز له بـ . إزاحة المعلمة (+2.0 م) بالنسبة للأرض تمثل بسهم يشير إلى اليمين.

Diagram

Description automatically generated

الشكل 2-4 يتحرك راكب من مقعده إلى الجزء الخلفي من الطائرة. إزاحة الراكب ( -4.0 م) بالنسبة للطائرة تمثل بسهم باتجاه الجزء الخلفي من الطائرة. لاحظ أن السهم الذي يمثل إزاحة الراكب يبلغ ضعف طول السهم الذي يمثل إزاحة المعلمة (يتحرك بمقدار الضعف) في الشكل 2-3.

لاحظ أن الإزاحة لها اتجاه ومقدار. إزاحة المعلمة 2.0 متر إلى اليمين، وإزاحة راكب الطائرة 4.0 متر نحو الخلف. في الحركة أحادية البعد، يمكن تحديد الاتجاه بعلامة زائد أو ناقص. عندما تبدأ مسألة، يجب عليك تحديد الاتجاه الموجب (عادةً ما يكون ذلك إلى اليمين أو لأعلى، لكن لك مطلق الحرية في اعتبار الاتجاه الموجب أي اتجاه). الموضع الأولي للمعلمة هو والموضع النهائي هو ، وبالتالي الإزاحة هي

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.2 |  |

في نظام الإحداثيات هذا، الحركة إلى اليمين موجبة، بينما الحركة إلى اليسار سالبة. وبالمثل، فإن الموضع الأولي لراكب الطائرة هو والموضع النهائي هو ، لذلك الإزاحة

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.3 |  |

إزاحته سالبة لأن حركته باتجاه مؤخرة الطائرة، أو في اتجاه السالبة في نظام الإحداثيات.

### المسافة

مع أنّ الإزاحة توصف بواسطة الاتجاه، فإن **المسافة** لا. المسافة هي مقدار أو حجم الإزاحة بين موضعين. لاحظ أن المسافة بين موضعين ليست المسافة المقطوعة بينهما. **المسافة** **المقطوعة** هي الطول الإجمالي للمسار المقطوع بين موضعين. المسافة ليس لها اتجاه، وبالتالي، ليس لها إشارة. على سبيل المثال، المسافة التي تمشيها المعلمة 2.0 متر. المسافة التي يمشيها راكب الطائرة هي 4.0 متر.

#### تنبيه سوء الفهم: المسافة المقطوعة مقابل مقدار الإزاحة

من المهم ملاحظة أن المسافة المقطوعة، يمكن أن تكون أكبر من مقدار الإزاحة (بالمقدار، نعني فقط مقدار الإزاحة بغض النظر عن اتجاهها؛ أي مجرد عدد له وحدة). على سبيل المثال، يمكن للمعلمة أن تمشى ذهابًا وإيابًا عدة مرات، وربما تمشي مسافة 150 مترًا خلال المحاضرة، ومع ذلك ينتهي بها الأمر على مسافة 2.0 متر فقط على يمين نقطة البداية. في هذه الحالة ستكون إزاحتها +2.0 متر، ومقدار إزاحتها سيكون 2.0 متر، ولكن المسافة التي قطعتها ستكون 150 متر. في الكينماتيكا، نتعامل دائمًا- تقريبًا- مع الإزاحة ومقدار الإزاحة، وتقريبًا لا نتعامل أبدًا مع المسافة المقطوعة. إحدى طرق التفكير في هذا افتراض أنك وضعت علامة عند نقطتي بداية الحركة ونهايتها. الإزاحة ببساطة الفرق بين موضع العلامتين وهي مستقلة عن المسار المتبع في السفر بين العلامتين. ومع ذلك، فإن المسافة المقطوعة هي الطول الإجمالي للمسار المتبع بين العلامتين.

**تحقق فهمك**

راكبة دراجة تقود 3 كيلومتر غربًا ثم تستدير وتقود 2 كيلومتر شرقًا. (أ) ما إزاحتها؟ (ب) ما المسافة التي تقطعها؟ (ج) ما مقدار إزاحتها؟

**الحل**

Diagram

Description automatically generated

الشكل 2-5

1. إزاحة الراكبة (الإزاحة سالبة لأننا نعتبر الشرق الاتجاه الموجب والغرب الاتجاه السالب)
2. المسافة المقطوعة
3. مقدار الإزاحة

## 2-2 المتجهات والقيم القياسية ونظم الإحداثيات

A small airplane flying in the sky

Description automatically generated with low confidence

الشكل 2-6 يمكن وصف حركة هذه الطائرة بالمسافة التي قطعتها (كمية قياسية) أو إزاحتها في اتجاه معين (كمية متجهة). من أجل تحديد اتجاه الحركة، يجب وصف إزاحتها بناءً على نظام إحداثيات. في هذه الحالة، قد يكون من الملائم اختيار الحركة نحو اليسار كحركة موجبة (هذا هو الاتجاه الأمامي للطائرة)، مع أنّه في كثير من الحالات، تكون إحداثيات من اليسار إلى اليمين، بمعنى أن الحركة إلى اليمين موجبة والحركة إلى اليسار سالبة.  
 (Credit: Armchair Aviator، Flickr)

ما الفرق بين المسافة والإزاحة؟ في حين تُحدد الإزاحة بكل من الاتجاه والمقدار، تحدد المسافة، فقط، بالمقدار. الإزاحة مثال على الكمية المتجهة. المسافة مثال على الكمية العددية (القياسية). **المتجه** هو أي كمية ذات مقدار واتجاه. الأمثلة الأخرى للمتجهات مثل سرعة 90 كم \ ساعة شرقًا وقوة 500 نيوتن لأسفل.

يحدد اتجاه المتجه في الحركة أحادية البعد ببساطة بواسطة علامة زائد (+) أو ناقص (-). تُمثل المتجهات بيانيًا بواسطة أسهم. السهم المستخدم لتمثيل المتجه له طول يتناسب مع مقدار المتجه (على سبيل المثال، كلما زاد المقدار، زاد طول المتجه) ويشير في نفس اتجاه المتجه.

بعض الكميات الفيزيائية، مثل المسافة، ليس لها اتجاه. **الكمية العددية** هي أي كمية لها مقدار، ولكن لا يوجد لها اتجاه. على سبيل المثال، درجة الحرارة ، 250 سعرة حرارية من الطاقة في قطعة حلوى، حد السرعة 90 كم \ ساعة، طول الشخص 1.8 متر، ومسافة 2.0 متر كلها كميات قياسية - كميات ليس لها اتجاه محدد. نلاحظ أن الكميات القياسية يمكن أن تكون سالبة، مثل درجة الحرارة. في هذه الحالة، تشير علامة الطرح إلى نقطة على مقياس وليس الاتجاه. لا تُمثل القيم العددية أبدًا بالسهام.

### نظم الإحداثيات للحركة أحادية البعد

من أجل وصف اتجاه كمية متجهة، يجب عليك تعيين نظام إحداثي داخل الإطار المرجعي. بالنسبة للحركة أحادية البعد، فإن نظام إحداثياتها بسيط يتكون من خط إحداثيات أحادي البعد. عمومًا، عند وصف الحركة الأفقية، عادةً ما تُعتبر الحركة إلى اليمين موجبة، وتعد الحركة إلى اليسار سالبة. بالنسبة للحركة الرأسية، تكون الحركة لأعلى عادةً موجبة والحركة لأسفل سالبة. ومع ذلك، في بعض الحالات، كما هو الحال مع الطائرة في الشكل 2.6، قد يكون من الأنسب تبديل الاتجاهات الموجبة والسالبة. على سبيل المثال، إذا كنت تحلل حركة الأجسام الساقطة، فقد يكون من أفضل عد الاتجاه لأسفل الاتجاه الموجب. إذا كان الأشخاص في السباق يركضون إلى اليسار، فمن الأفضل عد اليسار الاتجاه الموجب. لا يهم أي اتجاه تختار، مادام النظام واضح ومتسق. بمجرد تعيين اتجاه موجب والبدء في حل مسألة ما، لا يمكنك تغييره.

A picture containing text, clock

Description automatically generated

الشكل 2-7 من المناسب عادة عد الحركة لأعلى أو لليمين موجبة (+) والحركة لأسفل أو لليسار سالبة (-).

**تحقق فهمك**

يمكن أن تظل سرعة الشخص كما هي عندما يأخذ منعطف ويغير اتجاهه. بالنظر إلى هذه المعلومات، هل السرعة عددية أم كمية متجهة؟ اشرح.

الحل

السرعة كمية عددية. لا تتغير على الإطلاق مع تغير الاتجاه؛ لذلك، لها مقدار فقط. إذا كانت كمية متجهة، فإنها ستتغير مع تغير الاتجاه (حتى لو ظل مقدارها ثابتًا).

## 2-3 الزمن والسرعة المتجهة والسرعة

A picture containing sky, outdoor, ground, sandy

Description automatically generated

الشكل 2-8 يمكن وصف حركة الحلزونات المتسابقة هذه بسرعاتها وسرعاتها المتجهة.  
(credit: tobitasflickr, Flickr)

هناك مفاهيم أخرى تصف الحركة، بالإضافة الى المسافة والإزاحة. أسئلة مثل، "كم من الوقت يستغرق سباق؟" و "ما سرعة العداء؟" لا يمكن الإجابة عليها دون فهم المفاهيم الأخرى. في هذا القسم نضيف تعريفات للزمن والسرعة المتجهة والسرعة لتوسيع وصفنا للحركة.

### الزمن

كما نوقش في **الكميات والوحدات الفيزيائية**، تُحدد الكميات الفيزيائية الأساسية بكيفية قياسها. هذا الحال مع الزمن. يتضمن كل قياس للزمن قياس لتغير. قد يكون تغير رقمًا على ساعة رقمية أو نبضة قلب أو تغير موضع الشمس في السماء. في الفيزياء، تعريف الزمن بسيط - **الزمن** هو التغير أو الفاصل الزمني الذي يحدث خلاله التغير. من المستحيل أن نعرف أن الزمن قد مر، ما لم يتغير شيء.

يتم معايرة مقدار الزمن بالمقارنة مع قيمة قياسية. وحدة SI للزمن الثانية (S). قد نلاحظ، على سبيل المثال، أن بندول معين يصنع تأرجحًا كاملًا كل 0.75 ثانية. يمكننا بعد ذلك استخدام البندول لقياس الوقت عن طريق عد تأرجحاته أو، بالطبع، عن طريق توصيل البندول بآلية تُسجل الوقت على قرص. هذا لا يسمح لنا فقط بقياس مقدار الوقت، ولكن أيضًا بتحديد تسلسل الأحداث.

كيف يرتبط الزمن بالحركة؟ عادة ما نهتم بالزمن المنقضي لحركة معينة، مثل المدة التي يستغرقها راكب طائرة للانتقال من مقعده إلى الجزء الخلفي من الطائرة. لإيجاد الوقت المنقضي، نلاحظ الوقت في بداية الحركة ونهايتها ونطرح الاثنين. على سبيل المثال، قد تبدأ محاضرة في الساعة 11:00 صباحًا. وتنتهي الساعة 11:50 صباحًا، بحيث يكون الوقت المنقضي 50 دقيقة. **الزمن المنقضي** هو الفرق بين وقت الانتهاء ووقت البداية،

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.4 |  |

حيث هو التغيير في الزمن أو الزمن المنقضي، و الزمن في نهاية الحركة، و الزمن في بداية الحركة. (كالعادة، رمز دلتا، يعني التغيير في الكمية التي تليها.)

تكون الحياة أبسط إذا اعتبرنا الزمن عند البداية صفرًا، كما هو الحال عندما نستخدم ساعة توقيت. إذا كنا نستخدم ساعة توقيت، فستقرأ ببساطة صفرًا في بداية المحاضرة و50 دقيقة في النهاية. إذا ، فإن .

في هذا النص، من أجل التبسيط،

• تبدأ الحركة عند زمن يساوي صفر ((

• يُستخدم الرمز للوقت المنقضي ما لم يُنص على خلاف ذلك) (

### السرعة المتجهة

فكرتك عن السرعة المتجهة هي على الأرجح نفس تعريفها العلمي. أنت تعلم أنه إذا كانت الإزاحة كبيرة في مدّة زمنية صغيرة، فستكون السرعة المتجهة كبيرة، وأن هذه السرعة المتجهة لها وحدة المسافة مقسومة على وحدة الوقت، مثل أميال في الساعة أو كيلومترات في الساعة.

#### متوسط السرعة المتجهة

متوسط السرعة المتجهة هو الإزاحة (التغيير في الموضع) مقسومة على وقت السفر،

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.5 |  |

حيث هو متوسط السرعة المتجهة (المشار إليها بشرطة على (، هو التغيير في الموضع (أو الإزاحة)، و و هما الموضع النهائي والابتدائي عند الزمن و ، على التوالي. إذا اعتبرنا وقت البدء ليكون صفرا، فإن متوسط السرعة ببساطة

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.6 |  |

لاحظ أن هذا التعريف يشير إلى أن السرعة متجه لأن الإزاحة متجه؛ لها مقدار واتجاه. وحدة SI للسرعة المتجهة هي متر في الثانية أو m / s، ولكن العديد من الوحدات الأخرى، مثل km / h، و mi / h (تكتب أيضًا mph)، و cm / s، شائعة الاستخدام. لنفترض، على سبيل المثال، أن راكبًا بطائرة استغرق 5 ثوانٍ للتحرك -4 م (تشير علامة السالب إلى أن الإزاحة باتجاه الجزء الخلفي من الطائرة). سيكون متوسط سرعته المتجهة

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.7 |  |

تشير علامة السالب إلى أن السرعة المتجهة المتوسطة تتجه أيضًا نحو مؤخرة الطائرة.

لا تخبرنا السرعة المتجهة المتوسطة لكائن ما بأي شيء عما حدث له بين نقطة البداية ونقطة النهاية. على سبيل المثال، لا يمكننا معرفة ما إذا كان راكب الطائرة يتوقف مؤقتًا أو يتراجع قبل أن يذهب إلى الجزء الخلفي من الطائرة من السرعة المتوسطة. للحصول على مزيد من التفاصيل، يجب أن نأخذ في الاعتبار الأجزاء الأصغر من الرحلة ذات الفترات زمنية الأصغر.

A picture containing chart

Description automatically generated

الشكل 2-9 سجل أكثر تفصيلاً لراكب طائرة يتجه نحو الجزء الخلفي من الطائرة، ويظهر أجزاء أصغر من رحلته.

كلما كانت الفترات الزمنية المعتبرة أصغر، زادت المعلومات التفصيلية. عندما نطبق هذه العملية بشكل مثالي، ننتهي الى مدّة متناهية الصغر. خلال هذه المدّة الزمنية، يصبح متوسط ​​السرعة المتجهة هو السرعة المتجهة لحظية أو السرعة المتجهة في لحظة محددة. عداد سرعة السيارة، على سبيل المثال، يوضح مقدار (وليس اتجاه) السرعة المتجهة اللحظية للسيارة. (تمنح الشرطة المخالفات بناءً على السرعة المتجهة اللحظية، ولكن عند حساب المدة التي ستستغرقها في الانتقال من مكان إلى آخر في رحلة برية، فأنت بحاجة إلى استخدام متوسط ​​السرعة المتجهة.) **السرعة المتجهة اللحظية** هي متوسط ​​السرعة المتجهة في لحظة معينة من الزمن (أو خلال فترة زمنية متناهية الصغر).

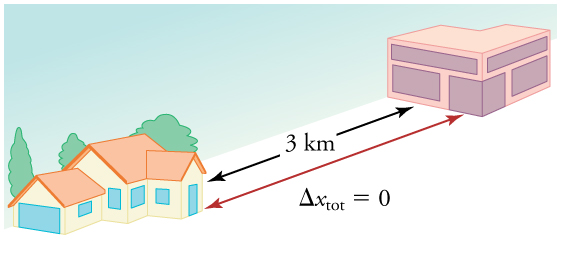
رياضيًا، حساب السرعة المتجهة اللحظية، في لحظة معينة يمكن أن يتضمن حساب النهاية، عملية رياضية خارج نطاق النص. ومع ذلك، في ظل ظروف كثيرة، يمكننا حساب قيم دقيقة للسرعة المتجهة اللحظية دون اللجوء لهذه العملية.

### السرعة

في اللغة اليومية، يستخدم معظم الناس مصطلحي "السرعة speed" و "السرعة المتجهة velocity" بالتبادل. في الفيزياء، يختلفان في المعنى وهما مفهومان مختلفان. أحد الاختلافات الرئيسية أن السرعة ليس لها اتجاه. وبالتالي السرعة كيمة قياسية. مثلما نحتاج إلى التمييز بين السرعة المتجهة اللحظية ومتوسط ​​السرعة المتجهة، نحتاج أيضًا إلى التمييز بين السرعة اللحظية ومتوسط ​​السرعة.

**السرعة اللحظية** هي مقدار السرعة المتجهة اللحظية. على سبيل المثال، افترض أن راكب الطائرة في لحظة ما كانت سرعته المتجهة اللحظية تبلغ −3.0 م \ ث (معنى الإشارة السالبة أن الحركة باتجاه مؤخرة الطائرة)، فإن سرعته اللحظية 3.0 م \ ث. أو افترض أن سرعتك المتجهة اللحظية في وقت ما خلال رحلة تسوق 40 كم \ ساعة باتجاه الشمال، فإن سرعتك اللحظية في تلك اللحظة 40 كم \ ساعة نفس المقدار، ولكن دون اتجاه. متوسط السرعة، يختلف كثيرا عن متوسط السرعة المتجهة. **متوسط ​​السرعة** هو المسافة المقطوعة مقسومة على الوقت المنقضي.

لاحظنا أن المسافة المقطوعة يمكن أن تكون أكبر من مقدار الإزاحة. لذلك يمكن أن تكون السرعة المتوسطة أكبر من السرعة المتجهة المتوسطة (الإزاحة مقسومة على الزمن). على سبيل المثال، إذا كنت تقود سيارتك إلى متجر وعدت إلى المنزل خلال نصف ساعة، ويظهر عداد المسافات في سيارتك أن إجمالي المسافة المقطوعة كانت 6 كيلومترات، فإن متوسط ​​سرعتك 12 كم \ ساعة. مع ذلك، كانت سرعتك المتجهة المتوسطة صفرًا، لأن إزاحتك في رحلة الذهاب والإياب تساوي صفرًا. (الإزاحة هي التغيير في الموضع، وبالتالي فهي صفر لرحلة ذهاب وإياب.) لذا فإنّ متوسط ​​السرعة ليس مقدار متوسط ​​السرعة المتجهة.



المنزل

المتجر

الشكل 2-10 خلال رحلة ذهاب وإياب مدتها 30 دقيقة إلى المتجر، تبلغ المسافة الإجمالية المقطوعة 6 كيلومترات. متوسط ​​السرعة 12 كم \ ساعة. الإزاحة في رحلة ذهاب وإياب صفر، حيث لا صافي تغير في الموضع لذا فإنّ متوسط السرعة المتجهة صفر.

طريقة أخرى لتصور حركة الجسم هي استخدام الرسم البياني. يمكن أن يكون مخطط الموضع أو السرعة المتجهة كدالة في الزمن مفيدًا جدًا. على سبيل المثال، بالنسبة لهذه الرحلة إلى المتجر، تُعرض الرسوم البيانية للموضع والسرعة المتجهة والسرعة مقابل الزمن في الشكل 2-11. (لاحظ أن هذه الرسوم البيانية تصور **نموذجًا** مبسطًا للغاية للرحلة. نحن نفترض أن السرعة ثابتة خلال الرحلة، وهو أمر غير واقعي نظرًا لأننا على الأرجح سنتوقف عند المتجر. ولكن من أجل التبسيط، سنعمل على تصميمها دون توقف أو تغيرات في السرعة. نفترض أيضًا أن الطريق بين المتجر والمنزل خط مستقيم تمامًا.)

Diagram

Description automatically generated

الموضع مقابل الزمن

الزمن (ساعة)

السرعة

السرعة مقابل الزمن

السرعة المتجهة

الزمن (ساعة)

السرعة المتجهة مقابل الزمن

الزمن (ساعة)

الموضع ()

الشكل 2-11 الموضع مقابل الزمن والسرعة المتجهة مقابل الزمن والسرعة مقابل الزمن للرحلة. لاحظ أن السرعة المتجهة لرحلة العودة سالبة.

#### عمل روابط: الشعور بالسرعة

إذا كنت تقود لفترات طويلة، فمن المحتمل أن يكون لديك إحساس جيد بالسرعات بين حوالي 10 و 70 ميلاً في الساعة. لكن كم تساوى هذه السرعات بالأمتار في الثانية؟ ماذا نعني عندما نقول إن شيئًا ما يتحرك بسرعة 10 م \ ث؟ للحصول على فكرة أفضل عما تعنيه هذه القيم حقًا، قم ببعض الملاحظات والحسابات بنفسك:

• احسب سرعات السيارة العادية بالأمتار في الثانية

• قدر سرعة الركض والمشي باستخدام ساعة توقيت؛ حول القياسات إلى كل من م \ ث وميل \ س

• حدد سرعة النملة أو الحلزون أو الأوراق المتساقطة

**تحقق فهمك**

يسافر قطار ركاب من بالتيمور إلى واشنطن العاصمة، ويعود في غضون ساعة و45 دقيقة. المسافة بين المحطتين حوالي 40 أميال. ما (أ) متوسط السرعة المتجهة للقطار، و (ب) متوسط سرعة القطار بـ م \ ث؟

**الحل**

1. متوسط السرعة المتجهة للقطار صفر لأن ؛ القطار ينتهي في نفس المكان الذي بدأ منه.
2. يُحسب متوسط سرعة القطار أدناه. لاحظ أن القطار يسافر 40 ميلا في اتجاه واحد و40 ميلا إلى الوراء، المسافة إجمالية قدرها 80 أميال.

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.8 |  |

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.9 |  |

## 2-4 التسارع (العجلة)



الشكل 2-12 تتباطأ الطائرة أو تبطئ عند وصولها للهبوط في سانت مارتن. تسارعها عكس اتجاه سرعتها المتجهة. (credit: Steve Conry، Flickr)

في المحادثات اليومية، التسارع يعنى زيادة السرعة. في الواقع، يتسبب المُسَرِع في السيارة في تسريعها. كلما زاد التسارع، زاد التغيير في السرعة المتجهة خلال مدّة زمنية معينة. يتوافق التعريف الرسمي للتسارع مع هذه المفاهيم، ولكنه أكثر شمولاً.

#### التسارع المتوسط

التسارع المتوسط هو المعدل الذي تتغير به السرعة المتجهة

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.10 |  |

متوسط التسارع، السرعة المتجهة، الزمن. (الشرطة فوق تعني متوسط التسارع.)

نظرًا لأن التسارع هو السرعة المتجهة بوحدة م\ث مقسومًا على الوقت بالثانية، فإن وحدات SI الخاصة بالتسارع هي م \ 2ث، متر لكل ثانية مربعة أو متر لكل ثانية في الثانية، وهو ما يعني حرفياً عدد الأمتار في الثانية التي تتغيرها السرعة المتجهة كل ثانية.

تذكر أن السرعة المتجهة متجه - له مقدار واتجاه. وهذا يعني أن التغيير في السرعة المتجهة يمكن أن يكون تغيرًا في المقدار (أو السرعة)، ولكن يمكن أن يكون أيضا تغيرًا في الاتجاه. على سبيل المثال، إذا انعطفت السيارة في زاوية بسرعة ثابتة، فإنها تتسارع لأن اتجاهها يتغير. كلما كان الدوران أسرع، كلما زاد التسارع. لذلك هناك تسارع عندما تتغير السرعة المتجهة إما في المقدار (زيادة أو نقصان في السرعة) أو في الاتجاه، أو كليهما.

#### التسارع كمتجه

التسارع هو متجه في نفس اتجاه التغير في السرعة المتجهة. بما أن السرعة متجه، يمكن أن تتغير إما في المقدار أو في الاتجاه. بالتالي فإن التسارع تغير في السرعة أو الاتجاه، أو كليهما.

ضع في اعتبارك أنه: مع أنّ التسارع في اتجاه التغير في السرعة المتجهة، إلا أنه ليس دائما في اتجاه الحركة. عندما يتباطأ جسم ما، فإن تسارعه يكون عكس اتجاه حركته. يُعرف هذا **بالتباطؤ**.

A train in a train station

Description automatically generated with low confidence

الشكل 2-13 يتباطأ قطار مترو أنفاق في ساو باولو بالبرازيل عندما يصل إلى المحطة. إنه يتسارع في اتجاه معاكس لاتجاه حركته. (credit: Yusuke Kawasaki، Flickr)

#### تنبيه سوء فهم: التباطؤ مقابل التسارع السالب

يشير التباطؤ دائمًا إلى التسارع في الاتجاه المعاكس لاتجاه السرعة المتجهة. يؤدي التباطؤ دائمًا إلى تقليل السرعة. ومع ذلك، فإن التسارع السالب هو التسارع في الاتجاه السالب في نظام الإحداثيات المختار. قد يكون التسارع السالب تباطؤًا وقد لا يكون، وقد يُعتبر التباطؤ تسارعًا سلبيًا أو لا. على سبيل المثال، ضع في اعتبارك الشكل 2-14.

A picture containing text, car

Description automatically generated

الشكل 2-14 (أ) هذه السيارة تزيد من سرعتها خلال التحرك الى اليمين. ولذلك، فإن لها تسارع موجب في نظام الإحداثيات الخاص بنا. (ب) هذه السيارة تخفض من سرعتها خلال تحركها ناحية اليمين. ولذلك، فإن لها تسارع سالب في نظام الإحداثيات الخاص بنا، لأن التسارع باتجاه اليسار. هذه السيارة أيضا تتسارع في الاتجاه المعاكس لحركتها. (ج) هذه السيارة تتحرك إلى اليسار، ولكنها تخفض من سرعتها بمرور الزمن. ولذلك، فإن تسارعها موجب في نظام الإحداثيات الخاص بنا لأنها تتحرك إلى اليمين. ومع ذلك، السيارة تتباطأ لان تسارعها في عكس اتجاه حركتها. (د) هذه السيارة تزيد من سرعتها خلال حركتها إلى اليسار. تسارعها سالب لأن التسارع باتجاه اليسار. ومع ذلك، لأن تسارعها في نفس اتجاه حركتها، فإنها تزيد من سرعتها (لا تتباطأ)

**حساب التسارع: فرس السباق يغادر البوابة**فرس السباق الخارج من البوابة يتسارع من السكون إلى سرعة 15.0 م \ ث في اتجاه الغرب في 1.80 ثانية. ما متوسط ​​تسارعه؟



**مثال 2-1**

A picture containing person, crowd

Description automatically generated

الشكل 2-15   
 (credit: Jon Sullivan، PD Photo.org)

**طريقة الحل**

أولاً نرسم مخططًا ونخصص نظام إحداثيات للمسألة. المسألة في حالتنا هذه بسيطة، ولكن الرسم يساعد على تخيل المسألة دائما. لاحظ أننا نصنف الشرق بأنه موجب والغرب سالب. في هذه الحالة، السرعة المتجهة سالبة.

A picture containing diagram

Description automatically generated

الشكل 2-16

يمكننا حل هذه المسألة بواسطة تحديد و من المعطيات، ثم حساب التسارع المتوسط مباشرةً من المعادلة .

**الحل**

1. حدد القيم المعلومة. (الإشارة السالبة تشير إلى الاتجاه ناحية الغرب)،
2. احسب التغير في السرعة المتجهة. حيث إن الحصان يزيد سرعته من صفر إلى -15.0 م \ ث، التغير في سرعته المتجهة يساوى سرعته النهائية:
3. عوض عن القيم المعلومة لإيجاد قيمة

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.11 |  |

**المناقشة**

تشير الإشارة السالبة إلى أن التسارع باتجاه الغرب. التسارع 8.33 م \ 2ث في اتجاه الغرب يعني أن الحصان يزيد سرعته بمقدار 8.33 م \ ث ناحية الغرب كل ثانية، أي 8.33 مترًا في الثانية في الثانية، وهو ما نكتبه على النحو التالي8.33 م \ 2ث. هذا حقًا متوسط التسارع، لأن الطريق ليس منتظمًا، سنرى لاحقًا أن تسارعًا بهذا الحجم سيتطلب من الراكب التمسك بقوة تساوي وزنه تقريبًا.  
  
التسارع اللحظي

نحسب **التسارع اللحظي**  أو التسارع في لحظة معينة من الزمن، بنفس العملية التي تمت مناقشتها للسرعة المتجهة اللحظية في **الزمن والسرعة المتجهة والسرعة**، - أي باعتبار مدّة زمنية صغيرة متناهية الصغر. كيف نجد التسارع اللحظي باستخدام الجبر فقط؟ الإجابة أننا نختار متوسط للتسارع يمثل الحركة. يوضح الشكل 2-17 الرسوم البيانية للتسارع اللحظي مقابل الزمن لحركتين مختلفتين للغاية. في الشكل 2-17 (أ)، يختلف التسارع اختلافًا طفيفًا ويكون المتوسط ​​خلال المدّة كُلَّها تقريبًا هو نفسه التسارع اللحظي في أي لحظة. في هذه الحالة، يجب أن نتعامل مع هذه الحركة كما لو كان لها تسارع ثابت يساوي المتوسط ​​(في هذه الحالة حوالي 1.8 م\ 2ث). في الشكل 2-17 (ب)، يختلف التسارع بشكل كبير بمرور الوقت. في مثل هذه الحالات، من الأفضل التفكير في فترات زمنية أصغر واختيار متوسط ​​تسارع لكل منها. على سبيل المثال، يمكننا التفكير في الحركة في الفترات من 0 إلى 1.0 ثانية ومن 1.0 إلى 3.0 ثانية كأنه حركات منفصلة بتسارع +3.0 م\ 2ث و -2.0 م \ 2ث، على التوالي.

Chart, histogram, box and whisker chart

Description automatically generated

متوسط

الشكل 2-17 رسوم بيانية للتسارع اللحظي مقابل الزمن لحركتين مختلفتين في بعد واحد. (أ) هنا يختلف التسارع بشكل طفيف ودائمًا ما يكون في نفس الاتجاه. ولذلك، فإنه موجب. المتوسط ​​على مدى المدّة الزمنية هو تقريبًا نفس التسارع في أي لحظة. (ب) هنا يختلف التسارع اختلافًا كبيرًا، ربما يمثل حُزْمَة على حزام ناقل في مكتب بريد يتم تسريعها للأمام والخلف. من الضروري اعتبار فترات زمنية صغيرة (مثل من 0 إلى 1.0 ثانية) مع تسارع ثابت أو شبه ثابت في مثل هذه الحالة.

تتناول الأمثلة العدّة التالية حركة قطار الأنفاق الموضح في الشكل 2-18. في (أ) يتحرك القطار إلى اليمين، وفي (ب) يتحرك إلى اليسار. صممت الأمثلة لتوضيح جوانب الحركة بشكل أكبر ولتوضيح بعض التفكير المنطقي الذي يدخل في حل المسائل.

Graphical user interface, diagram

Description automatically generated

الشكل 2-18 الحركة أحادية البعد لقطار أنفاق يتم معالجتها في الأمثلة من المثال 2-2 إلى المثال 2-7. هنا اخترنا المحور x بحيث يكون الاتجاه الموجب ناحية اليمين والاتجاه السالب ناحية اليسار للإزاحة، والسرعة المتجهة، و التسارع. (أ) قطار الأنفاق يتحرك إلى اليمين من إلى . الإزاحة تساوي . (ب) قطار يسير إلى اليسار من إلى . الإزاحة تساوي . (لاحظ أن العلامة (‘) تستخدم للتمييز بين الإزاحة في موقفين مختلفين. المسافات المقطوعة وحجم السيارات بمقاييس مختلفة لتوضيح جميعها في رسمة واحدة.(

**حساب الإزاحة: قطار الأنفاق**  
ما مقدار واتجاه الإزاحة لقطار الأنفاق الموضحة في الجزأين (أ) و (ب) من الشكل 2-18؟



**مثال 2-2**

**طريقة الحل**

الرسم معطى بنظام إحداثيات فعلًا، لذلك لا نحتاج إلى عمل رسم تخطيطي، ولكن يجب علينا تحليله للتأكد من فهمنا له. اهتم اهتمامًا خاص بنظام الإحداثيات. لإيجاد الإزاحة، نستخدم المعادلة . هذا واضح ومباشر حيث أعطيت المواضع الأولية والنهائية.

**الحل**

1.حدد المعلوم. في الشكل نرى أن و للجزء (أ)، و و بالنسبة للجزء (ب).

2.احسب الإزاحة في الجزء (أ).

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.12 |  |

3.احسب الإزاحة في الجزء (ب).

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.13 |  |

**المناقشة**

اتجاه الحركة في (أ) إلى اليمين وبالتالي فإن الإزاحة لها إشارة موجبة، في حين أن الحركة في (ب) إلى اليسار وبالتالي لها إشارة سالبة.



**مثال 2-3**

**مقارنة المسافة المقطوعة مع الإزاحة: قطار مترو الأنفاق**

ما المسافات المقطوعة للحركات الموضحة في الجزأين (أ) و (ب) لقطار الأنفاق في الشكل 2-18؟

**طريقة الحل**

للإجابة على هذا السؤال، فكر في تعريف كل من المسافة والمسافة المقطوعة، وكيف يرتبط بالإزاحة. تُعرف المسافة بين موضعين على أنها مقدار الإزاحة، التي حسبناها في المثال 2-2. المسافة المقطوعة هي الطول الإجمالي للمسار المقطوع بين الموضعين. في حالة قطار الأنفاق الموضح في الشكل 2-18، تكون المسافة المقطوعة نفس المسافة بين الموضعين الأولي والنهائي للقطار.

**الحل**

1. كانت الإزاحة للجزء (أ) +2.00 كم. لذلك، كانت المسافة بين الموضعين الأولي والنهائي 2.00 كم، وكانت المسافة المقطوعة 2.00 كم.

2. كانت الإزاحة للجزء (ب) -1.5 كم. وبالتالي، كانت المسافة بين الموضعين الأولي والنهائي 1.50 كم، وكانت المسافة المقطوعة 1.50 كم.

**المناقشة**

المسافة كمية قياسية. لها مقدار، وليس لها اتجاه.

**حساب التسارع: قطار مترو الأنفاق يزيد من سرعته**



**مثال 2-4**

افترض أن القطار في الشكل 2-18 (أ) يتسارع من السكون إلى 30.0 كم \ ساعة في أول 20.0 ثانية من حركته. ما متوسط تسارعه خلال تلك المدّة الزمنية؟

**طريقة الحل**

يجدر في هذه المرحلة عمل مخطط بسيط:

Diagram

Description automatically generated

الشكل 2-19

تتضمن هذه المسألة ثلاث خطوات. أولًا يجب أن نحدد التغير في السرعة المتجهة، ثم علينا تحديد التغير في الزمن، وأخيرًا نستخدم هذه القيم لحساب العجلة.

**الحل**

1. حدد المعلوم. (تبدأ القطارات من السكون)، و .

2.احسب . بما أن القطار يبدأ من السكون، فإن التغير في السرعة المتجهة يكون ، حيث تعني علامة الجمع أن السرعة المتجهة إلى اليمين.

3. أدخل القيم المعروفة واحسب المجهول ،

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.14 |  |

4. نظرًا لأن الوحدات مختلطة (لدينا الساعات والثواني للزمن)، نحتاج إلى تحويل كل الوحدات إلى وحدات SI من الأمتار والثواني. (انظر **الكميات الفيزيائية والوحدات** لمزيد من الإرشادات.)

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.15 |  |

**المناقشة**

الإشارة الموجبة تعنى أن التسارع جهة اليمين. هذا معقول لأن القطار يبدأ من السكون ويتحرك إلى اليمين بسرعة (موجبة أيضًا). إذن، فإن التسارع في نفس اتجاه التغير في السرعة المتجهة، كما هو الحال دائمًا

**حساب التسارع: قطار مترو الأنفاق يخفض سرعته**



**مثال 2-5**

افترض الآن أنه في نهاية رحلته، تباطأ القطار في الشكل 2-18 (أ) إلى التوقف من سرعة 30.0 كم \ ساعة في 8.00 ثانية. ما متوسط ​​تسارعه خلال عملية التوقف؟

**طريقة الحل**

Text

Description automatically generated with low confidence

الشكل 2-20

في هذه الحالة، يتباطأ القطار ويكون تسارعه سالب لأنه باتجاه اليسار. كما في المثال السابق، يجب أن نحسب التغير في السرعة المتجهة والتغير في الزمن ثم نحسب التسارع.

الحل

1. حدد المعلوم. (القطار يتوقف، لذلك سرعته النهائية صفر)، .
2. احسب التغير في السرعة، .

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.16 |  |

1. عوض عن المعلوم، واحسب .

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.17 |  |

1. حول الوحدات الى الأمتار والثواني.

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.18 |  |

**المناقشة**

تشير علامة السالب إلى أن التسارع إلى اليسار. هذه العلامة معقولة لأن القطار سرعته المتجهة في البداية موجبة، في هذه المسألة، والتسارع السالب سيعارض الحركة. مرة أخرى، التسارع في نفس اتجاه التغير في السرعة المتجهة، وهو سالب هنا. يمكن تسمية هذا التسارع بالتباطؤ لأنه عكس اتجاه السرعة المتجهة.   
تُعرض الرسوم البيانية للموضع والسرعة المتجهة والتسارع مقابل الزمن للقطارات في المثال 2-4 والمثال 2-5 في الشكل 2-21 (اعتبرنا أن السرعة ثابتة من 20 إلى 40 ثانية، وبعد ذلك يتباطأ القطار.)

Chart, line chart

Description automatically generated

الموضع مقابل الزمن

السرعة المتجهة مقابل الزمن

العجلة مقابل الزمن

الزمن (ثانية)

الزمن (ثانية)

الزمن (ثانية)

العجلة (م\ثانية مربعة)

السرعة المتجهة (م\ثانية)

الموضع (م)

الشكل 2-21 (أ) موضع القطار مع مرور الزمن. لاحظ أن موضع القطار يتغير ببطء في بداية الرحلة، ثم أسرع مع زيادة سرعته. ثم يتغير موضعه بشكل أبطأ عندما يتباطأ في نهاية الرحلة. في منتصف الرحلة، بينما تظل السرعة المتجهة ثابتة، يتغير الموضع بمعدل ثابت. (ب) السرعة المتجهة للقطار بمرور الزمن. تزداد السرعة المتجهة للقطار خلال تسارعه في بداية الرحلة. تظل ثابتة في منتصف الرحلة (حيث لا يتسارع القطار). تتناقص مع تباطؤ القطار في نهاية الرحلة. (ج) تسارع القطار بمرور الزمن. القطار تسارعه موجب في بداية الرحلة لأنه يتسارع. ليس له تسارع حيث يتحرك بسرعة ثابتة في منتصف الرحلة. تسارعه سالب لأنه يتباطأ في نهاية الرحلة.

**حساب متوسط ​​السرعة المتجهة: قطار الأنفاق**  
ما متوسط ​​السرعة المتجهة للقطار في الجزء (ب) من المثال 2-2، والمبين مرة أخرى أدناه، إذا استغرق 5.00 دقائق للقيام برحلته؟



**مثال 2-6**

Diagram

Description automatically generated

الشكل 2-22

**طريقة الحل**

متوسط السرعة هو الإزاحة مقسومة على الزمن. ستكون القيمة سالبة هنا، لأن القطار يتحرك إلى اليسار وإزاحته سالبة.

**الحل**

1. حدد القيم المعلومة.
2. احسب الإزاحة، . حسبنا وكانت في المثال 2-2
3. احسب السرعة المتجهة المتوسطة

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.19 |  |

1. حول الوحدات.

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.20 |  |

**المناقشة**

تشير السرعة السالبة إلى الحركة ناحية اليسار

**حساب التباطؤ: قطار الأنفاق**



**مثال 2-7**

أخيرًا، افترض أن القطار في الشكل 2-22 يتباطأ إلى أن يتوقف من سرعة 20.0 كم \ ساعة في 10.0 ثوانٍ. ما متوسط ​​تسارعه؟

**طريقة الحل**

مرة أخرى، دعونا نرسم المسألة:

Graphical user interface, application

Description automatically generated

الشكل 2-23

كما في السابق، يجب علينا إيجاد التغير في السرعة والتغير في الزمن لحساب متوسط ​​التسارع.

الحل

1. حدد القيم المعلومة. .
2. احسب . التغير في السرعة المتجهة هنا موجب، حيث

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.21 |  |

1. احسب

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.22 |  |

1. حول الوحدات

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.23 |  |

**المناقشة**

علامة الموجب تعنى أن التسارع جهة اليمين. هذا معقول لأن القطار له في البداية سرعة سالبة (إلى اليسار) في هذه المسألة وتسارع موجب يعارض الحركة. مرة أخرى، يكون التسارع في نفس اتجاه التغير في السرعة، وهو موجب هنا. كما في المثال 2-5، هذا يسمى تباطؤ لأنه في الاتجاه المعاكس للسرعة.

### الاشارة والاتجاه

لعل أهم شيء يجب ملاحظته حول هذه الأمثلة هو إشارات الإجابات. في نظام الإحداثيات الذي اخترناه، تعني علامة الجمع أن اتجاه الكمية إلى اليمين والسالب أنها إلى اليسار. من السهل تخيل الإزاحة والسرعة المتجهة. لكنه أصعب بالنسبة للتسارع. يفسر معظم الناس التسارع السالب على أنه تباطؤ الجسم. لم يكن هذا الحال في المثال 2-7، حيث أدى تسارع موجب إلى إبطاء سرعة سالبة. كان الفارق الجوهري هو أن العجلة كانت في الاتجاه المعاكس للسرعة. في الواقع، سيزيد التسارع السالب من السرعة السالبة. على سبيل المثال، يسرع القطار الذي يتحرك إلى اليسار في الشكل 2-22 بالتسارع إلى اليسار. في هذه الحالة، على حد سواء و سالبان. الاشارتان الموجبة والسالبة تعطي اتجاه التسارع. إذا كانت العجلة لها نفس إشارة السرعة، فإن الجسم يتسارع. إذا كانت العجلة لها إشارة معاكسة للسرعة، فإن الجسم يتباطأ.

**تحقق فهمك**

طائرة تهبط على مدرج متجهة شرقًا. صف تسارعها.

**الحل**

إذا اعتبرنا الشرق موجب، فسنجد أن تسارع الطائرة سالب، حيث إنها تتسارع باتجاه الغرب. إنها تتباطأ أيضًا: تسارعها عكس اتجاه سرعتها

## 2-5 معادلات الحركة للتسارع الثابت في بعد واحد

A group of people rowing a boat

Description automatically generated with medium confidence

الشكل 2-25 يمكن أن تساعدنا معادلات الحركة في وصف وتوقع حركة الأجسام المتحركة مثل سباقات قوارب الكاياك هذه في نيوبري بإنجلترا. (credit: Barry Skeates، Flickr)

نعلم أنه كلما زادت عجلة السيارة مثلًا، زادت الإزاحة في زمن معين. لكننا لم نطور معادلة محددة تتعلق بالتسارع والإزاحة. في هذا القسم، نطور بعض المعادلات لعلاقات الحركة، بدءًا من تعريفات الإزاحة والسرعة المتجهة والتسارع التي تم تناولها بالفعل.

### الرموز: t، x، v، a

أولاً، دعونا نبسط الرموز. إن عد الوقت الأولي صفراً، كما لو كان الوقت يقاس بساعة إيقاف، تبسيط كبير. حيث إن الوقت المنقضي ، يعني ذلك أن ، الزمن الأخير على ساعة الإيقاف. عندما يعتبر الزمن الأولي صفرًا، فإننا نستخدم اللاحقة 0 للإشارة إلى القيم الأولية للموضع والسرعة. الموضع الابتدائي و السرعة الابتدائية. لا نضع أي لاحقات بعد القيم النهائية. الزمن عند النهاية، و الموضع النهائي، و السرعة المتجهة النهائية. هذا يعطينا تعبيرًا أبسط للوقت المنقضي، الآن، . بالإضافة إلى ذلك يُبسط التعبير عن الإزاحة، . أيضًا، التعبير عن التغيير في السرعة المتجهة يبسط إلى . لذلك، باستخدام الترميز المبسط، باعتبار الزمن الأولي صفرًا،

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.24 |  |

حيث يشير الرمز 0 إلى القيمة الأولية ويشير غياب الرمز إلى القيمة النهائية في أي حركة قيد الدراسة.

نفترض الآن أن التسارع ثابت. يسمح لنا هذا الافتراض بتجنب استخدام حساب التفاضل والتكامل لإيجاد التسارع اللحظي. بما أن التسارع ثابت، فإن التسارع المتوسط ​​واللحظي متساويان. بما يعني،

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.25 |  |

لذلك نستخدم رمز التسارع في جميع الأوقات. إن افتراض أن التسارع ثابت لا يحد بدرجة كبيرة من المواقف التي يمكننا دراستها أو دقة حلنا. والسبب أن التسارع ثابت في عدد كبير من المواقف. إضافةً إلى ذلك، في العديد من المواقف الأخرى، يمكننا وصف الحركة بدقة بافتراض تسارع ثابت يساوي متوسط ​​تسارع تلك الحركة. أخيرًا، في الحركات التي يتغير فيها التسارع بشكل كبير، مثل تسارع السيارة إلى السرعة القصوى ثم الكبح حتى التوقف، يمكن دراسة الحركة في أجزاء منفصلة، لكل منها تسارعها الثابت.

#### حساب الإزاحة والموضع النهائي عند معرفة السرعة المتجهة المتوسطة والتسارع الثابت

لنحصل على معادلتين جديدتين، نبدأ بتعريف السرعة المتجهة المتوسطة

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.26 |  |

بالتعويض عن و نحصل على

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.27 |  |

حساب يعطي

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.28 |  |

حيث السرعة المتجهة المتوسطة تساوي

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.29 |  |

المعادلة توضح أنه عندما يكون التسارع ثابت، تكون مجرد متوسط السرعتين الابتدائية والنهائية. على سبيل المثال، إذا زدت السرعة بمعدل ثابت (بمعنى أن العجلة ثابتة) من إلى 60كم\ساعة، تكون سرعتك المتجهة المتوسطة خلال التسارع الثابت 45 كم\ساعة باستخدام المعادلة لتحقق ذلك

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.30 |  |

هذا الناتج يبدو منطقيًا

**حساب الإزاحة: إلى أي بعد يجرى عداء؟**يركض عداء في طريق مستقيم بمتوسط ​​سرعة 4.00 م \ ث لمدة 2.00 دقيقة. ما الموضع النهائي، مع اعتبار الموضع الأولي صفرًا؟



**مثال 2-8**

**طريقة الحل**

ارسم مخطط.

Diagram

Description automatically generated

الشكل 2-26

يعطى الموضع النهائي بالمعادلة

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.31 |  |

لإيجاد نحدد قيم و و من نص المسألة ونعوض عنهم في المعادلة

**الحل**

1. حدد القيم المعلومة. ، ، .
2. ادخل القيم المعلومة في المعادلة.

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.32 |  |

**المناقشة**

كل من السرعة المتجهة والإزاحة النهائية موجب، مما يعني أنهما في نفس الاتجاه.

المعادلة تعطي فكرة عن العلاقة بين الإزاحة ومتوسط ​​السرعة المتجهة والزمن. توضح، على سبيل المثال، أن الإزاحة دالة خطية في متوسط ​​السرعة المتجهة. (نعني بالدالة الخطية أن الإزاحة تعتمد على وليس مرفوعة لأس آخر مثل عند رسمها بيانيًا، تبدو الدوال الخطية كخطوط مستقيمة ذات ميل ثابت.) في رحلة بالسيارة، على سبيل المثال، سنصل إلى ضعف المسافة، في نفس الوقت، إذا كان متوسط سرعتنا 90 كم \ ساعة بدلًا من 45 كم \ ساعة.

Chart, line chart

Description automatically generated

السرعة المتجهة المتوسطة، (م\ث)

الإزاحة مقابل السرعة المتجهة، لزمن معين t

الإزاحة (م)

الشكل 2-27 هناك علاقة خطية بين الإزاحة ومتوسط السرعة المتجهة. لزمن معين t، يتحرك الجسم ضعف المسافة بضعف السرعة.

#### حساب السرعة النهائية

نشتق معادلة أخرى مهمة من طريق التلاعب بتعريف التسارع.

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.33 |  |

بالتعويض بالرموز المبسطة نجد أن

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.34 |  |

حساب يعطينا

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.35 |  |

**حساب السرعة النهائية: طائرة تتباطأ بعد هبوطها**



**مثال 2-9**

تهبط طائرة بسرعة ابتدائية 70.0 م \ ث ثم تتباطأ بعجلة لمدة 40.0 ثانية. ما سرعتها النهائية؟

**طريقة الحل**

ارسم مخطط. نرسم متجه التسارع في الاتجاه المعاكس لمتجه السرعة لأن الطائرة تتباطأ.

Diagram

Description automatically generated

الشكل 2-28

**الحل**

1.حدد القيم المعلومة. ، ، .

2. حدد المجاهيل. في هذه الحالة، المجهول هو السرعة النهائية، .

3. حدد المعادلة التي يجب استخدامها. يمكننا حساب السرعة النهائية باستخدام المعادلة .

4. عوض بالقيم المعروفة واحسب.

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.36 |  |

**المناقشة**

السرعة النهائية أقل بكثير من السرعة الابتدائية، كما يُتوقع عند التباطؤ، لكنها تظل موجبة. باستخدام المحركات النفاثة، يمكن الحفاظ على الدفع العكسي لفترة كافية لإيقاف الطائرة والبدء في تحريكها للخلف. عندها ستكون السرعة نهائية سالبة، وهذا ليس الحال هنا.

A picture containing diagram

Description automatically generated

الشكل 2-29 تهبط الطائرة بسرعة ابتدائية 70.0 م \ ث وتتباطأ إلى سرعة نهائية 10.0 م \ ث قبل التوجه إلى المحطة النهائية. لاحظ أن العجلة سالبة لأن اتجاهها معاكس للسرعة الموجبة.

بالإضافة إلى كونها مفيدة في حل المسائل، فإن المعادلة تعطينا رؤى عن العلاقات بين السرعة والتسارع والزمن. من ذلك يمكننا أن نرى، على سبيل المثال:

• تعتمد السرعة النهائية على مقدار التسارع ومدة استمراره

• إذا كان التسارع صفرًا، فإن السرعة النهائية تساوي السرعة الابتدائية كما هو متوقع (أي السرعة ثابتة)

• إذا كانت سالبة، فإن السرعة النهائية أقل من السرعة الابتدائية.

(تتلاءم كل هذه الملاحظات مع حدسنا، ومن المفيد دائمًا فحص المعادلات الأساسية بحدسنا وخبراتنا للتحقق أنها تصف الطبيعة بدقة حقًا).

#### عمل روابط: الصلة بالعالم الحقيقي

A rocket taking off

Description automatically generated with low confidence  
الشكل 2-30 مكوك الفضاء إنديفور ينطلق من مركز فضاء كيندي في فبراير 2010 (credit: Matthew Simantov, Flickr)

الصاروخ الباليستي انتركونتيننتال (ICBM) متوسط تسارعه أكبر من تسارع مكوك الفضاء ويحقق سرعة أكبر في أول دقيقة أو دقيقتين من الانطلاق (زمن احتراق ICBM الفعلي سري – الصواريخ ذات زمن الاحتراق القصير من الصعب أن يدمرها العدو). مكوك الفضاء يحقق سرعة نهائية أكبر، حتى يصل إلى مدار الأرض، يفعل هذا بالتسارع لفترة أطول.

#### حساب الموضع النهائي عندما تكون السرعة متغيرة

عند دمج المعادلتين في الأعلى نحصل على معادلة ثالثة والتي تمكننا من حساب الموضع النهائي لجسم ذو عجلة ثابتة. نبدأ بـ

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.37 |  |

بإضافة لكلا الجانبين والقسمة على 2، نحصل على

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.38 |  |

حيث إن للتسارع الثابت، إذًا

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.39 |  |

نعوض عن في معادلة الإزاحة، ، نحصل على

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.40 |  |



**مثال 2-10**

حساب الإزاحة لكائن متسارع: متسابقون في سباق سحب

يحقق المتسابقون في سباق السحب عجلة متوسطة . افترض أن متسابق منهم يتسارع من سكون بهذا المعدل لـ 5.56 s. إلى أي بعد يصل؟

A race car with smoke coming out of it

Description automatically generated with low confidence

الشكل 2-31 طيار الجيش الأمريكي يبدأ السباق باحتراق محكوم.  
 (credit: Lt. Col. William Thurmond. Photo Courtesy of U.S. Army.)

**طريقة الحل**

ارسم مخطط للمسألة.

A picture containing chart

Description automatically generated

الشكل 2-32

يجب أن نحدد الإزاحة . إذا اعتبرنا صفر. (فكر في الأمر كما لو أننا على خط البداية – الذي يمكن أن يكون في أي مكان، ونسميه 0 ونقيس جميع المواضع بالنسبة له). يمكننا استخدام المعادلة بمجرد تحديد،، و و من نص المسألة.

**الحل**

1. حدد القيم المعلومة. بدءًا من الراحة يعني أن ، تساوي و تساوي 5.56 ثانية.

2.عوض عن القيم المعلومة في المعادلة واحسب المجهول :

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.41 |  |

بما أن الموضع الأولي والسرعة الأولية كل من هما يساوي صفر، نحصل على

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.42 |  |

التعويض قيمتي و يعطينا

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.43 |  |

الناتج يكون

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.44 |  |

**المناقشة**

إذا حولنا 402 م إلى أميال، فسنجد أن المسافة المقطوعة قريبة جدًا من ربع ميل، وهي المسافة القياسية لسباقات السحب. لذا فإن الجواب معقول. هذه إزاحة مثيرة للإعجاب في 5.56 ثانية فقط، ولكن يمكن لمتسابقي الدرجة الأولى أن يقطعوا ربع ميل في زمن أقل من هذا.

ما الذي يمكننا تعلمه أيضًا من فحص المعادلة ؟ نرى أن:

• الإزاحة تعتمد على مربع الوقت المنقضي عندما لا يكون التسارع صفر. في المثال 2-10، لا تغطي المركبة سوى ربع المسافة الإجمالية في النصف الأول من الزمن المنقضي.

• إذا كان التسارع صفر، فإن السرعة الابتدائية تساوي متوسط السرعة و  
 تصبح .

#### حساب السرعة المتجهة النهائية عندما لا تكون السرعة المتجهة ثابتة

معادلة رابعة مفيدة يمكن الحصول عليها من تلاعب جبري آخر في المعادلات السابقة. إذا حللنا المعادلة لحساب نحصل على

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.45 |  |

بالتعويض بهذا و في ، نحصل على

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.46 |  |

**حساب السرعة النهائية لمتسابق السحب في المثال 2-10 دون استخدام معلومات عن الزمن.**



**مثال 2-11**

**طريقة الحل**

ارسم مخطط.

A picture containing chart

Description automatically generated

الشكل 2-33

المعادلة مناسبة تمامًا لهذه المهمة؛ لأنها تربط السرعات والعجلة والإزاحة ولا تتطلب أي معلومات عن الزمن.

عوض بالقيم المعلومة في المعادلة

**الحل**

1. حدد القيم المعلومة. نعلم أن ، حيث إن متسابق السحب يبدأ من السكون. بعدها نلاحظ أن  
    (هذه كانت إجابة مثال 2-10). أخيرًا، متوسط العجلة .
2. عوض بالقيم المعلومة في المعادلة واحسب .

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.47 |  |

وهكذا

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.48 |  |

لنحصل على ، نأخذ الجذر التربيعي:

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.49 |  |

**المناقشة**

145 م \ ث حوالي 522 كم \ ساعة أو حوالي 324 ميل \ ساعة، ولكن حتى هذه السرعة الفائقة أقل من الرقم القياسي لربع ميل. لاحظ أيضًا أن الجذر التربيعي له قيمتان؛ أخذنا القيمة الموجبة للإشارة إلى السرعة في نفس اتجاه العجلة.

فحص المعادلة يمكن أن ينتج المزيد من الرؤى حول العلاقات العامة بين الكميات الفيزيائية:

• تعتمد السرعة النهائية على مقدار العجلة والمسافة التي الموجودة خلالها

• في حالة التباطؤ الثابت، لا تتوقف السيارة التي تسير بضعف السرعة بعد ضعف المسافة ببساطة؛ فهي تقطع مسافة أطول للتوقف. (لهذا السبب تٌقلل مناطق السرعة بالقرب من المدارس).

### وضع المعادلات معًا

في الأمثلة التالية، نستكشف أكثر الحركة أحادية البعد، ولكن في المواقف التي تتطلب معالجة جبرية أكثر. تعطي الأمثلة أيضًا فكرة عن تقنيات حل المسائل. يوفر المربع أدناه مرجعًا سهلًا للمعادلات المطلوبة.

#### 

#### ملخص معادلات الكينماتيكا (للعجلة الثابتة)

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.50 |  |
| ‎2.51 |  |
| ‎2.52 |  |
| ‎2.53 |  |
| ‎2.54 |  | |

**حساب الإزاحة: كم المسافة التي تقطعها السيارة قبل أن تتوقف؟**  
على خرسانة جافة، تتباطأ سيارة بمعدل بينما على خرسانة رطبة تتباطأ بمعدل فقط. احسب المسافات اللازمة لإيقاف سيارة تتحرك بسرعة 30.0 م \ ث (حوالي 110 كم \ س) (أ) على الخرسانة الجافة و (ب) على الخرسانة الرطبة. (ج) كرر كلا الحسابين، لإيجاد الإزاحة من النقطة التي يرى فيها السائق إشارة المرور تتحول إلى اللون الأحمر، مع مراعاة وقت رد فعله البالغ 0.500 ثانية لوضع قدمه على الفرامل.



**مثال 2-12**

**طريقة الحل**

ارسم مخطط.

Table

Description automatically generated with low confidence

الشكل 2-34

من أجل تحديد المعادلات الأفضل للاستخدام، نحتاج إلى سرد جميع القيم المعروفة وتحديد ما نحتاج إلى حله بالضبط. سنفعل ذلك بشكل صريح في الأمثلة العدّة التالية، باستخدام جداول.

**الحل لـ (أ)**

1. حدد القيم المعلومة وما نريد حسابه. نحن نعلم أن ، ، ( سالبة لأنها في اتجاه معاكس للسرعة). نعتبر تساوي صفر. نريد حساب الإزاحة أو .

2. حدد المعادلة التي ستساعد في حل المسألة. أفضل معادلة للاستخدام

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.55 |  |

هذه المعادلة هي الأفضل لأنها تتضمن مجهولًا واحدًا فقط، نعرف قيم جميع المتغيرات الأخرى في هذه المعادلة. (هناك معادلات أخرى من شأنها أن تمكننا من حساب لكنهم يتطلبون منا معرفة وقت التوقف الذي لا نعرفه . يمكننا استخدامها، ولكنها تتطلب حسابات إضافية.)

1. أعد ترتيب المعادلة لحساب .

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.56 |  |

1. عوض بالقيم المعلومة

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.57 |  |

وهكذا

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.58 |  |

**الحل لـ(ب)**

يمكن حل هذا الجزء بنفس الطريقة تمامًا مثل الجزء أ. والفرق الوحيد هو أن التباطؤ . والنتيجة

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.59 |  |

**الحل لـ(ج)**

بمجرد أن يتفاعل السائق، تكون مسافة التوقف نفسها كما في الجزأين أ وب للخرسانة الجافة والرطبة. للإجابة على هذا السؤال، نحتاج إلى حساب المسافة التي تقطعها السيارة خلال وقت رد الفعل، ثم نضيف ذلك إلى مسافة وقت التوقف. من المعقول أن نفترض أن السرعة تظل ثابتة أثناء وقت رد فعل السائق.

1. حدد القيم المعلومة وما نريد إيجاده. نعرف أن ،، . نعتبر  
    تساوي 0. نريد إيجاد .

2. حدد أفضل معادلة لاستخدامها. جيدة؛ القيمة الوحيدة غير المعروفة هي وهي ما نريد معرفتها.

3. عوض بالقيم المعلومة في المعادلة.

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.60 |  |

هذا يعني أن السيارة تسافر 15.0 مترًا بينما يستجيب السائق، مما يجعل إجمالي الإزاحات في الحالتين (الخرسانة الجافة والرطبة) أكبر بمقدار 15.0 مترًا مما لو استجاب على الفور.

1. أضف الإزاحة خلال وقت رد الفعل (الاستجابة) إلى الإزاحة خلال الكبح.

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.61 |  |

1. 64.3 م + 15.0 م = 79.3 م في الحالة الجافة
2. 90.0 م + 15.0 م = 105 م في الحالة الرطبة

Graphical user interface, application

Description automatically generated

زمن رد الفعل

رطب

جاف

جاف

رطب

الموضع

الشكل 2-35 تختلف المسافة اللازمة لإيقاف السيارة اختلافًا كبيرًا، اعتمادًا على حالة الطريق وزمن رد فعل السائق. تظهر هنا مسافات الكبح للطريقين الجاف والرطب، كما حسبت في هذا المثال، لسيارة تسير مبدئيًا بسرعة 30.0 م \ ث. يظهر أيضًا إجمالي المسافات المقطوعة من النقطة التي يرى فيها السائق الضوء يتحول إلى اللون الأحمر، بافتراض أن وقت رد الفعل 0.500 ثانية.

**المناقشة**

يبدو أن الإزاحة الموجودة في هذا المثال معقولة لإيقاف سيارة سريعة الحركة. يجب أن يستغرق الأمر وقتًا أطول لإيقاف السيارة على الطريق الرطب من الطريق الجاف. من المثير للاهتمام أن وقت رد الفعل يضيف بشكل كبير إلى الإزاحة. لكن الأهم من ذلك، النهج العام لحل المسائل. نحدد القيم المعلومة والكميات المراد تحديدها ثم نجد المعادلة المناسبة. غالبًا ما يكون هناك أكثر من طريقة لحل المسألة. يمكن في الواقع حل الأجزاء المختلفة من هذا المثال بطرق أخرى، لكن الحلول المقدمة أعلاه هي الأقصر.

**حساب الزمن: سيارة تدخل الطريق السريع**  
افترض أن سيارة تدخل طريق سريع من طريق منحدر 200 متر. إذا كانت السرعة الابتدائية 10 متر\ثانية وتتسارع ، كم من الوقت تستغرق لقطع المنحدر؟ (مثل هذه المعلومات مفيدة لمهندسي المرور)



**مثال 2-13**

**طريقة الحل**

ارسم مخطط.

Diagram

Description automatically generated

الشكل 2-36

يطلب منا أن نجد الزمن t. كما في السابق، نحدد الكميات المعروفة من أجل اختيار علاقة فيزيائية مناسبة (أي، معادلة ذات مجهول واحد، ).

الحل

1. حدد القيم المعلومة وما نريد أن نجده. نحن نعرف أن ، ، .

2. نريد حساب . اختر أفضل معادلة. مناسبة لأن المجهول الوحيد في المعادلة هو المتغير والذي نريد أن نجده.

3. سنحتاج إلى إعادة ترتيب المعادلة لحساب . في هذه الحالة، سيكون من الأسهل التعويض بالقيم المعلومة أولًا.

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.62 |  |

1. بسط المعادلة. وحدات متر (م) تتلاشى لأنها في كل حد. يمكننا جعل وحدات الثواني تتلاشى عن طريق أخذ حيث مقدار الزمن وs الوحدة. بفعل هذا، يتبقى لنا

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.63 |  |

1. استخدم الصيغة التربيعية لحساب .
2. أعد ترتيب المعادلة لجعل جانب يساوي صفر

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.64 |  |

هذه معادلة تربيعية لها الصورة

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.65 |  |

حيث الثوابت ، ، .

1. حل هذه المعادلة يُعطى باستخدام الصيغة التربيعية:

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.66 |  |

تعطينا هذه حلين لـ t، هما

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.67 |  |

في هذه الحالة، الزمن t=t بالثواني، أو

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.68 |  |

القيمة السالبة للزمن غير معقولة، لأنها تعني أن الحدث حدث قبل 20 ثانية من بدء الحركة. يمكننا تجاهل هذا الحل. وهكذا،

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.69 |  |

**المناقشة**

عندما تحتوي المعادلة على مربع غير معلوم، سيكون هناك حلان. في بعض المسائل يكون كلا الحلين ذا مغزى، ولكن في مسائل أخرى، مثلما ورد أعلاه، يكون حل وحيد معقول. تبدو الإجابة 10.0 ثواني معقولة بالنسبة لطريق سريع نموذجي على منحدر.

بإجادة أساسيات الكينماتيكا، يمكننا الانتقال إلى العديد من الأمثلة والتطبيقات الأخرى المثيرة للاهتمام. خلال دراسة الكينماتيكا، لقد لمحنا نهجًا عامًا لحل المسائل ينتج عنه إجابات صحيحة ورؤى عن العلاقات الفيزيائية. يناقش **أساسيات حل المسائل** أساسيات حل المسائل وتوضح النهج الذي سيساعدك على النجاح في هذه المهمة التي لا تقدر بثمن.

#### 

#### عمل روابط: تجربة منزلية - أخبار عاجلة

لقد استخدمنا وحدات SI، المتر في الثانية المربعة، لوصف بعض الأمثلة على تسارع أو تباطؤ السيارات والعدائين والقطارات. لتحصل على إحساس أفضل بهذه الأرقام، يمكن قياس تباطؤ الكبح لسيارة تتوقف ببطء (بطريقة آمنة). تذكر أن متوسط ​​التسارع . أثناء السفر في السيارة، اضغط على الفرامل ببطء عند إشارة التوقف. اطلب من راكب ملاحظة السرعة الأولية بالأميال في الساعة والوقت المستغرق (بالثواني) للتوقف. من هذا، احسب التباطؤ بالأميال في الساعة في الثانية. حول هذا إلى متر لكل ثانية مربعة وقارن مع التباطؤات الأخرى المذكورة في هذا الفصل. احسب المسافة المقطوعة أثناء الكبح.

**تحقق فهمك**

صاروخ يتسارع بمعدل خلال الإطلاق. كم من الوقت يستغرق الصاروخ للوصول إلى سرعة 400 م \ ث؟

**الحل**  
للإجابة عن هذا، اختر معادلة تسمح لنا بإيجاد الزمن ، القيم المعلومة و و .

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.70 |  |

أعد الترتيب واحسب .

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.71 |  |

## 2-6 أساسيات حل المسائل للكينماتيكا أحادية البعد

A picture containing text, indoor, computer, document

Description automatically generated

الشكل 2-37 مهارات حل المسائل ضرورية لنجاحك في الفيزياء. (credit: scui3asteveo، Flickr)

من الواضح أن مهارات حل المسائل ضرورية للنجاح في دورة عن الفيزياء. والأهم من ذلك، أن القدرة على تطبيق مبادئ فيزيائية واسعة، وعادة ما تمثلها المعادلات، على مواقف محددة هي شكل قوي جدًا من المعرفة. إنه أقوى بكثير من حفظ قائمة من الحقائق. يمكن تطبيق المهارات التحليلية وقدرات حل المسائل على المواقف الجديدة، بينما لا يمكن جعل قائمة الحقائق طويلة بما يكفي لاحتواء كل الظروف الممكنة. هذه المهارات التحليلية مفيدة لحل المسائل في هذا النص وتطبيق الفيزياء في الحياة اليومية والمهنية.

### خطوات حل المسائل

على الرغم من عدم وجود طريقة بسيطة تحل كل المسائل، فإن الإجراءات العامة التالية تسهل حل المسائل وتوضح معناها. مطلوب قدر معين من الإبداع والبصيرة كذلك.

#### الخطوة 1

افحص الموقف لتحديد المبادئ الفيزيائية المتضمنة فيه. غالبًا ما يساعد رسم مخطط بسيط في البداية. ستحتاج أيضًا إلى تحديد الاتجاه الموجب واظهار ذلك في الرسم التخطيطي الخاص بك. بمجرد تحديد المبادئ الفيزيائية، يصبح العثور على المعادلات التي تمثل تلك المبادئ وتطبيقها أسهل بكثير. مع أنّ العثور على المعادلة الصحيحة أمر ضروري، تذكر، دائمًا، أن المعادلات تمثل المبادئ الفيزيائية وقوانين الطبيعة والعلاقات بين الكميات الفيزيائية. دون فهم المسألة، فإن الحل العددي لا معنى له.

#### الخطوة 2

اصنع قائمة بالقيم المعلومة أو ما يمكن استنتاجه من المسألة. تُذكر العديد من المسائل بإيجاز شديد وتتطلب بعض الفحص لتحديد المعطيات. الرسم يمكن أن يكون مفيدًا جدًا في هذه المرحلة. تحديد المعطيات له أهمية خاصة في تطبيق الفيزياء على مواقف العالم الحقيقي. تذكر أن كلمة "متوقف" تعني أن السرعة تساوي صفرًا، ويمكننا غالبًا اعتبار الوقت الأولي والموضع الأولي صفرًا.

#### الخطوة 3

حدد بالضبط ما نحتاج حسابه في المسألة (حدد المجهول). في المسائل المعقدة، على وجه الخصوص، ليس من الواضح دائمًا ما المطلوب إيجاده أو في أي ترتيب. عمل قائمة يمكن أن يساعد.

#### الخطوة 4

ابحث عن معادلة أو مجموعة معادلات التي يمكن أن تساعدك في حل المسألة. ستساعدك قائمة الأشياء المعروفة والمجهولة الخاصة بك في فعل هذا. من الأسهل العثور على معادلات تحتوي على مجهول واحد فقط؛ أي إن جميع المتغيرات الأخرى معروفة، لذا يمكنك بسهولة حساب هذا المجهول. إذا كانت المعادلة تحتوي على أكثر من مجهول، فحينئذٍ تكون هناك حاجة إلى معادلة إضافية لحل المسألة. في بعض المسائل، يجب حساب العديد من الأشياء المجهولة للوصول إلى ما نحتاج. في مثل هذه المسائل، من المهم بشكل خاص مراعاة المبادئ الفيزيائية لتجنب الغرق في بحر من المعادلات. قد تضطر إلى استخدام معادلتين مختلفتين (أو أكثر) للحصول على الإجابة النهائية.

#### الخطوة 5

عوّض بالمعطيات مع وحداتها في المعادلة المناسبة، واحصل على حلول عددية كاملة بالوحدات. تنتج هذه الخطوة الإجابة العددية؛ توفر أيضًا فحصًا للوحدات الذي يمكن أن يساعدك في العثور على الأخطاء. إذا كانت وحدات الإجابة غير صحيحة، فهذا يعني حدوث خطأ. ومع ذلك، كن حذرًا من أن الوحدات الصحيحة لا تضمن صحة الجزء العددي من الإجابة.

#### الخطوة 6

تحقق الإجابة لمعرفة ما إذا كانت معقولة: هل هي منطقية؟ هذه الخطوة الأخيرة مهمة للغاية - هدف الفيزياء وصف الطبيعة بطريقة صحيحة. لمعرفة ما إذا كانت الإجابة معقولة أم لا، تحقق المقدار والإشارة، بالإضافة إلى الوحدات. سوف يتحسن حكمك عندما تحل المزيد والمزيد من مسائل الفيزياء، وسيصبح من الممكن لك الحكم أفضل فيما يتعلق بما إذا كانت الإجابة على مسألة ما تصف الطبيعة جيدًا. هذه الخطوة تُرجع المسألة إلى معناها العقلي. إذا كان بإمكانك الحكم على الإجابة، فلديك فهم أعمق للفيزياء من مجرد القدرة على حل مسألة رياضيًا.

عند حل المسائل، غالبًا ما ننفذ هذه الخطوات بترتيب مختلف، ونميل أيضًا إلى عمل عدة خطوات في آن واحد. لا يوجد طريقة واحدة تعمل في كل مرة. ينمو الإبداع والبصيرة مع الخبرة، وتصبح أساسيات حل المسائل تلقائية تقريبًا. طريقة للتدريب حل أمثلة الكتاب بنفسك وأنت تقرأ. طريقة أخرى حل أكبر عدد ممكن من مسائل نهاية الفصل، بدءًا من أسهلها لبناء ثقة ثم التقدم إلى الأصعب. بمجرد أن تنخرط في الفيزياء، ستراها في كل مكان من حولك، ويمكنك البَدْء في تطبيقها على المواقف التي تواجهها خارج الفصل الدراسي، تمامًا كما هو الحال في العديد من التطبيقات في هذا النص.

### نتائج غير معقولة

يجب أن تصف الفيزياء الطبيعة بشكل صحيح. بعض المسائل لها نتائج غير معقولة لأن أحد الافتراضات غير معقول أو لأن بعضها غير متسق مع الآخرين. على سبيل المثال، إذا كان شخص يبدأ سباق يتسارع لمدة 100 ثانية، فإن سرعته النهائية ستكون 40 م \ ث (حوالي 150 كم \ ساعة) - من الواضح أن هذا غير معقول؛ لأن الوقت البالغ 100 ثانية افتراض غير معقول. الفيزياء صحيحة بشكل ما، لكن تحتاج لأكثر من مجرد التلاعب بالمعادلات لوصف الطبيعة بشكل صحيح. التحقق من نتيجة المسألة، لمعرفة ما إذا كانت معقولة، يساعد أكثر من مجرد الكشف عن الأخطاء في حل المسائل - إنه ينمى حدس الحكم على وصف الطبيعة: أهو صحيح أم لا.

استخدم الطرق التالية لتحديد إذا ما كانت الإجابة معقولة، وإذا لم تكن كذلك، حدد السبب

#### الخطوة 1

حل المسألة باستخدام الطرق الموضحة في الأمثلة المحلولة في النص. في المثال الوارد في الفقرة السابقة، يمكنك تحديد المعطيات، وهي التسارع والزمن. استخدام المعادلة أدناه لحساب السرعة النهائية المجهولة. هكذا

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.72 |  |

#### الخطوة 2

تحقق ما إذا كان الجواب معقول. هل هو كبير جدًا أو صغير جدًا أو يحتوي على إشارة خاطئة، أو وحدات غير صحيحة، ...؟ في هذه الحالة، قد تحتاج إلى تحويل المتر في الثانية إلى وحدة مألوفة أكثر، مثل ميل في الساعة.

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.73 |  |

السرعة أكبر بأربعة أضعاف سرعة الركض الممكنة لأي شخص - لذا فهي كبيرة جدًا.

#### الخطوة 3

إذا كانت الإجابة غير معقولة، فابحث عن السبب. في مثال العداء، هناك افتراضان فقط مشكوك فيهما. قد يكون التسارع كبيرًا جدًا أو الوقت كبير جدًا. تحقق أولاً العجلة وفكر فيما يعنيه العدد. إذا تسارع شخص ما ، فإن سرعته تزداد بمقدار 0.4 م \ ث كل ثانية. هل يبدو هذا معقولًا؟ إذا كان الأمر كذلك، يجب أن يكون الزمن كبير جدًا. لا يمكن لأي شخص أن يتسارع بمعدل ثابت قدره لـ 100 ثانية (دقيقتان تقريبًا).

## 2-7 الأجسام الساقطة

الأجسام الساقطة فئة مثيرة للاهتمام من مسائل الحركة. على سبيل المثال، يمكننا تقدير عمق عمود حفر المنجم عن طريق إسقاط صخرة فيه والاستماع إلى الصخرة تضرب القاع. خلال تطبيق الكينماتيكا المدروسة حتى الآن على الأجسام الساقطة، يمكننا دراسة بعض المواقف المثيرة للاهتمام ومعرفة الكثير عن الجاذبية في أثناء هذه العملية.

### الجاذبية

الحقيقة الأكثر بروزًا وغير المتوقعة حول الأجسام الساقطة أنه إذا كانت مقاومة الهواء والاحتكاك مهملين، فعندئذٍ تسقط جميع الأجسام نحو مركز الأرض بنفس التسارع الثابت، بغض النظر عن الكتلة. هذه الحقيقة المعروفة تجريبيًا غير متوقعة، لأننا معتادون على تأثيرات مقاومة الهواء والاحتكاك لدرجة أننا نتوقع أن تسقط الأجسام الخفيفة أبطأ من الأجسام الثقيلة.

Graphical user interface

Description automatically generated

في الهواء

الفراغ

في الفراغ على القمر

الشكل 2-38 ستسقط المطرقة والريشة بنفس التسارع الثابت إذا اعتبرت مقاومة الهواء مهملة. هذه خاصية عامة للجاذبية ليست فريدة من نوعها على الأرض، كما أوضح رائد الفضاء ديفيد آر سكوت على سطح القمر في عام 1971، حيث التسارع بسبب الجاذبية فقط.

في العالم الحقيقي، يمكن أن تتسبب مقاومة الهواء في سقوط جسم أخف أبطئ من جسم أثقل له نفس الحجم. ستصل كرة التنس إلى الأرض بعد كرة البيسبول مع أنهما أسقطا في نفس اللحظة. (قد يكون من الصعب ملاحظة الاختلاف إذا لم يكن الارتفاع كبيرًا.) مقاومة الهواء تعارض حركة الجسم عبر الهواء، والاحتكاك بين الأشياء - مثل الحجر المُسقَط في حمام السباحة - يعارض أيضًا حركتها. بالنسبة للمواقف المثالية في الفصول القليلة الأولى، يُعرف الجسم الساقط دون مقاومة الهواء أو الاحتكاك بأنه في حالة **سقوط الحر**.

تتسبب قوة الجاذبية في سقوط الأجسام باتجاه مركز الأرض. لذلك يسمى تسارع سقوط الأجسام الحر بتسارع الجاذبية. تسارع الجاذبية ثابت، مما يعني أنه يمكننا تطبيق معادلات الحركة على أي جسم ساقط حيث مقاومة الهواء والاحتكاك مهملتان. هذا يفتح لنا فئة واسعة من المواقف المثيرة للاهتمام. **التسارع بسبب الجاذبية** مهم جدًا لدرجة أنه يُعطى رمزه الخاصg . إنه ثابت في أي مكان على الأرض وقيمته المتوسطة

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.74 |  |

مع أنّه يختلف من إلى ، اعتمادًا على موقعك على السطح والتكوينات الجيولوجية تحتك والتضاريس المحلية، فإن متوسط ​​قيمته ستستخدم في هذا النص، ما لم ينص على خلاف ذلك. اتجاه التسارع بسبب الجاذبية للأسفل (نحو مركز الأرض). في الواقع، يعرف اتجاهه ما نسميه اتجاه رأسي. لاحظ أن التسارع في معادلات الحركة قيمته +g أو -g اعتمادًا على نظام الإحداثيات. إذا اعتبرنا الاتجاه لأعلى هو الاتجاه السالب، عندئذ وإذا حددنا الاتجاه لأسفل الاتجاه الموجب، عندئذ .

### حركة أحادية البعد تتضمن الجاذبية

أفضل طريقة لرؤية السمات الأساسية للحركة التي تتضمن الجاذبية هي البَدْء بأبسط المواقف ثم التقدم نحو المواقف الأعقد. لذلك، نبدأ بالتفكير في الحركة المستقيمة لأعلى ولأسفل دون مقاومة الهواء أو الاحتكاك. تعني هذه الافتراضات أن السرعة (إن وجدت) رأسية. إذا سقط الجسم، فإننا نعلم أن السرعة الابتدائية تساوي صفرًا. بمجرد أن ينفصل الجسم عن أي كائن يمسكه، يكون الجسم في حالة سقوط حر. في ظل هذه الظروف، تكون الحركة أحادية البعد ولها تسارع ثابت المقدار . سنمثل الإزاحة الرأسية بالمتغير والإزاحة الأفقية بالمتغير .

#### 

#### معادلات الحركة للأجسام الساقطة سقوطًا حرًا حيث العجلة

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.75 |  |
| ‎2.76 |  |
| ‎2.77 |  | |

**حساب موضع وسرعة جسم ساقط: صخرة مقذوفة لأعلى**شخص يقف على حافة جرف مرتفع يرمي صخرة بشكل مستقيم لأعلى بسرعة ابتدائية 13.0 م \ ث. تسقط الصخرة ولا تصطدم بحافة الجرف. احسب موقع الصخرة وسرعتها بعد 1.00 ثانية و2.00 ثانية و3.00 ثانية بعد رميها، مع تجاهل تأثير مقاومة الهواء.



**مثال 2-14**

**طريقة الحل**

ارسم مخطط.

Diagram

Description automatically generated with medium confidence

الشكل 2-39

يطلب منا حساب الموضع y عند أزمنة مختلفة. من المعقول اعتبار الموضع الأولي صفر. تتضمن هذه المسائلة حركة أحادية البعد في الاتجاه الرأسي. نستخدم علامتي الموجب والسالب للإشارة إلى الاتجاه، حيث الأعلى موجب والأسفل سالب. نظرًا لأن الأعلى موجب، والصخرة تقذف لأعلى، يجب أن تكون السرعة الأولية موجبة أيضًا. عجلة الجاذبية لأسفل، وبالتالي سالبة. من المهم أن السرعة الابتدائية والعجلة بسبب الجاذبية لهما إشارتان متعاكستان. تشير الإشارات المتعاكسة إلى أن التسارع الناتج عن الجاذبية يتعارض مع الحركة الأولية وسيبطئها ويعكسها في النهاية.

نظرًا لأننا مطالبون بقيم الموضع والسرعة ثلاث مرات، فسنشير إليها بالرموز و ، و، و.

**حساب الموضع**

1. حدد القيم المعلومة. نعلم أن و و و.

2. حدد أفضل معادلة مناسبة للاستخدام. سوف نستخدم ، لأنها تتضمن مجهول واحد، y، (أو ، في حالتنا)، والذي نريد حسابه.

3. عوض عن القيم المعلومة واحسب .

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.78 |  |

**المناقشة**

الصخرة على ارتفاع 8.10 م فوق نقطة البداية عند، حيث إن ، يمكنها أن تتحرك لأعلى أو لأسفل؛ الطريقة الوحيدة لتحديد ذلك؛ هي الحساب ومعرفة ما إذا كانت موجبة أم سالبة.

**حساب السرعة**

1.حدد القيم المعلومة. نحن نعلم أن و و   
و . ونعلم أيضا من الحل أعلاه، أن

2. حدد أفضل معادلة للاستخدام. الأبسط هي (من المعادلة )، حيث )تسارع الجاذبية( يساوي .

3. عوض بالقيم المعلومة وحل.

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.79 |  |

**المناقشة**

القيمة الموجبة لـ تعني أن الصخرة مازالت متجهة إلى أعلى عند . ومع ذلك، فقد تباطأت من 13.0 م \ ث، كما هو متوقع.

**حساب الأزمنة المتبقية**

إجراءات حساب الموضع والسرعة عند وهي نفس الإجراءات المذكورة أعلاه. ويرد موجز للنتائج في الجدول 2-1 ويرد بيانها في الشكل 2-40.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| الزمن | الموضع | السرعة المتجهة | العجلة |
| 1.00s | 8.10 m | 3.2 m/s | -9.80 |
| 2.00s | 6.40 m | -6.60 m/s | -9.80 |
| 3.00s | -5.10 m | -16.4 m/s | -9.80 |

الجدول 2-1 النتائج

الرسوم البيانية للبيانات تساعدنا على فهمها أكثر.

Chart, line chart

Description automatically generated

السرعة المتجهة مقابل الزمن

الموضع الرأسي (م)

السرعة المتجهة (م\ث)

الزمن (ث)

العجلة مقابل الزمن

العجلة (م\2ث)

الزمن (ث)

الموضع مقابل الزمن

الزمن (ث)

الشكل 2-40 الموضع الرأسي والسرعة الرأسية والتسارع الرأسي كل منهم مقابل الزمن لصخرة مقذوفة رأسياً لأعلى عند حافة جرف. لاحظ أن السرعة تتغير خطيًا بمرور الوقت وأن التسارع ثابت. تنبيه سوء فهم! لاحظ أن الرسم البياني للموضع مقابل الزمن يُظهر الموضع الرأسي فقط. من السهل الحصول على انطباع بأن الرسم البياني يظهر الحركة الأفقية أيضًا؛ الرسم البياني يشبه مسار القذيفة. ولكن هذا ليس الحال هنا؛ المحور الأفقي هو الزمن وليس الفضاء. المسار الفعلي للصخرة في الفضاء هو مستقيم للأعلى وللأسفل.

**المناقشة**

تفسير هذه النتائج مهم للغاية. عند زمن 1.00 ثانية، تكون الصخرة فوق نقطة البداية وتتجه لأعلى، نظرًا لأن و كلاهما موجب. عند 2.00 ثانية، لا تزل الصخرة فوق نقطة البداية، لكن السرعة السالبة تعني أنها تتحرك إلى أسفل. عند ، كلا و سالبتان، وهذا يعني أن الصخرة تحت نقطة البداية ومستمرة في التحرك إلى أسفل. لاحظ أنه عندما تكون الصخرة عند أعلى نقطة لها (عند 1.5 ثانية)، تكون سرعتها صفرًا، لكن تسارعها لا يزال . تسارعها خلال الرحلة كلها؛ خلال تحركها لأعلى وتحركها لأسفل. لاحظ أن قيم هي مواضع (أو إزاحات) الصخرة، وليست إجمالي المسافات المقطوعة. أخيرًا، لاحظ أن السقوط الحر ينطبق على الحركة لأعلى وكذلك للأسفل. لكلاهما نفس التسارع؛ التسارع الناتج عن الجاذبية، والذي يظل ثابتًا طوال الوقت. يتدرب رواد الفضاء في طائرات الصفر-جاذبية، على سبيل المثال، على تجربة السقوط الحر في أثناء اتجاههم لأعلى ولأسفل، كما سنناقش بمزيد من التفصيل لاحقًا.

#### عمل روابط: تجربة منزلية - وقت رد الفعل

يمكن إجراء تجربة بسيطة لتحديد وقت رد فعلك. اطلب من صديقك أن يضع مسطرة بين إبهامك وسبابتك، مفصولة عنهما بحوالي 1 سم. ضع علامة على الجزء من المسطرة بين إصبعيك. اطلب من صديقك إسقاط المسطرة بشكل غير متوقع وحاول الإمساك بها بإصبعيك. لاحظ القراءة الجديدة على المسطرة. بافتراض أن التسارع بسبب الجاذبية، احسب وقت رد فعلك. كم المسافة التي ستقطعها في سيارة تتحرك بسرعة 30 م \ ث إذا كان الوقت الذي تستغرقه قدمك للانتقال من دواسة الوقود إلى الفرامل ضعف وقت رد الفعل هذا قبل أن تتوقف؟

**حساب سرعة سقوط جسم: رميت صخرة لأسفل**ماذا يحدث إذا رمى الشخص على الجرف الصخرة لأسفل مباشرةً بدلاً من إلقائها لأعلى؟ لدراسة هذا السؤال، احسب سرعة الصخرة عندما تكون تحت نقطة البداية بـ 5.10 م، ورميت لأسفل بسرعة ابتدائية 13.0 م \ ث.



**مثال 2-15**

**طريقة الحل**

ارسم مخطط.

Diagram

Description automatically generated

الشكل 2-41

نظرًا لأن الاتجاه لأعلى موجب، فإن الموضع النهائي للصخرة سالب؛ لأنه أسفل نقطة البداية. وبالمثل، لأن السرعة الابتدائية لأسفل، فهي سالبة، كما هو الحال بالنسبة لعجلة الجاذبية. نتوقع أن السرعة النهائية سالبة؛ لأن الصخرة ستستمر في التحرك للأسفل.

**الحل**

1. حدد القيم المعلومة. و و   
   و.
2. اختر معادلة الحركة الأبسط للحل. المعادلة مناسبة؛ لأن المجهول الوحيد فيه هوv. (سنعوض بـ عن y)
3. عوض عن القيم المعلومة

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.80 |  |

احتفظنا بأرقام معنوية إضافية لأن هذه نتيجة وسيطة.

نأخذ الجذر التربيعي، مع ملاحظة أن الجذر التربيعي يمكن أن يكون موجبًا أو سالبًا ونحصل على

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.81 |  |

نختار الجذر السالب للإشارة إلى أن الصخرة لا تزال تتجه لأسفل. وهكذا،

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.82 |  |

**المناقشة**

لاحظ أن هذه بالضبط السرعة نفسها التي كانت للصخرة عند هذا الموضع عندما رميت لأعلى بشكل مستقيم بنفس السرعة الابتدائية. (انظر المثال 2-14 والشكل 2-42 (a).) هذه ليست صدفة؛ لأننا نأخذ في الاعتبار، فقط، التسارع بسبب الجاذبية، فإن سرعة الجسم الساقط تعتمد فقط على سرعته الابتدائية وموضعه الرأسي بالنسبة لنقطة البداية. على سبيل المثال، إذا حسبت سرعة الصخرة على ارتفاع 8.10 م فوق نقطة البداية (باستخدام الطريقة من المثال 2-14) عندما تكون السرعة الابتدائية 13.0 م \ ث، نحصل على . كلتا الإشارتان هنا ذاتا مغزى؛ القيمة الموجبة عندما تكون الصخرة عند 8.10 متر وتتجه لأعلى، وتحدث القيمة السالبة عندما تكون الصخرة عند 8.10 متر وتتجه لأسفل. لها نفس السرعة ولكن في الاتجاه المعاكس.

Diagram

Description automatically generated

الشكل 2-42 (أ) يرمي شخص صخرة لأعلى، كما هو موضح في المثال 2-14. الأسهم هي متجهات السرعة عند الأزمنة 0 و1.00 و 2.00 و 3.00 s. (ب) يلقي الشخص صخرة مباشرةً من جرف بنفس السرعة الأولية كما كان من قبل، كما في المثال 2-15. لاحظ أنه على نفس المسافة تحت نقطة الإطلاق، فإن الصخرة لها نفس السرعة في كلتا الحالتين.

طريقة أخرى للتفكير في الأمر: في المثال 2-14، تُرمى الصخرة بسرعة أولية . ترتفع ثم تسقط لأسفل. عندما يكون موضعها في الطريق لأسفل، سرعتها . أي إن لها نفس السرعة في طريقها لأسفل كما في طريقها. عندئذ نتوقع أن سرعتها في الموضع ، نفسها إذا كانت قد ألقيت لأعلى بسرعة أو ألقيت لأسفل بسرعة . سرعة الصخرة في طريقها لأسفل من هي نفسها إذا ألقينا الصخرة لأعلى أو لأسفل في البداية، طالما أن السرعة التي ألقيت بها في البداية واحدة. **حساب g من بيانات جسم ساقط**  
يختلف التسارع الناجم عن جاذبية الأرض قليلاً من مكان إلى آخر، اعتمادًا على التضاريس (على سبيل المثال، تختلف الجاذبية إذا كنت على تل أو في وادي) والجيولوجيا تحت السطحية (سواء كانت هناك صخور كثيفة مثل خام الحديد، أو صخور خفيفة مثل الملح تحتك.) يمكن حساب التسارع الدقيق بسبب الجاذبية من البيانات المأخوذة في المعامل الفيزيائية. يتم إسقاط جسم، عادةً كرة معدنية حيث مقاومة الهواء لها مهملة، ويُقاس الزمن الذي يستغرقه لسقوط مسافة معلومة. انظر، على سبيل المثال، الشكل 2-43. يمكن الحصول على نتائج دقيقة للغاية بهذه الطريقة، إذا كنا حريصين كفايةً في قياس المسافة المقطوعة والزمن.



**مثال 2-16**

Chart

Description automatically generated

الزمن (ث)

الموضع مقابل الزمن لسقوط الكرة  
الزمن (ث)

الموضع y )م)

السرعة المتجهة مقابل الزمن لسقوط الكرة  
الزمن (ث)

التسارع مقابل الزمن لسقوط الكرة  
الزمن (ث)

التسارع a (م\2ث)

السرعة المتجهة v )م\ث)

الشكل 2-43 مواضع وسرعات كرة معدنية تنطلق من السكون حيث مقاومة الهواء مهملة. السرعة تزداد خطيًا بمرور الزمن بينما تزداد الإزاحة مع مربع الزمن. التسارع ثابت ويساوي عجلة الجاذبية.

لنفترض أن الكرة سقطت 1.0000 م في 0.45173 ثانية. بافتراض أن الكرة لا تتأثر بمقاومة الهواء، ما التسارع الدقيق بسبب الجاذبية في هذا الموقع؟

**طريقة الحل**

ارسم مخطط.

Diagram

Description automatically generated with medium confidence

الشكل 2-44

1. حدد القيم المعلومة. و و و .
2. اختر المعادلة المناسبة لحساب باستخدام القيم المعلومة.

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.83 |  |

1. عوض عن بـصفر وأعد ترتيب المعادلة لحساب .

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.84 |  |

عند وضع aفي طرف، نحصل على

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.85 |  |

1. التعويض عن القيم المعلومة يعطينا

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.86 |  |

لأن حسب الاتجاهات المختارة،

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.87 |  |

**المناقشة**

تشير القيمة السالبة لـ a إلى أن عجلة الجاذبية تتجه نحو الأسفل، كما هو متوقع. نتوقع أن تكون القيمة في مكان ما قريبة من متوسط قيمة ، لذا، منطقية. نظرا لأن البيانات التي تدخل في الحساب دقيقة نسبيًا، فإن هذه القيمة لـ أدق من متوسط القيمة ؛ وتمثل القيمة المحلية للتسارع بسبب الجاذبية.

**تحقق فهمك**

تنفصل قطعة جليد من جبل جليدي وتقع 30.0 مترًا قبل أن تصطدم بالمياه. بافتراض سقوطها سقوطًا حرًا (لا يوجد مقاومة للهواء)، كم من الوقت يلزمها للوصول للماء؟

**الحل**

نعلم أن الموضع الابتدائي، الموضع النهائي و . يمكننا استخدام المعادلة لنحسب . بالتعويض عن ، نحصل على

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.88 |  |

القيمة الموجبة هي الإجابة الصحيحة فيزيائيًا. وبالتالي، يستغرق الأمر حوالي 2.5 ثانية حتى تصل قطعة الجليد إلى الماء.

## 2-8 تحليل بياني للحركة أحادية البعد

الرسم البياني، كما في الصورة، يساوي ألف كلمة. لا تحتوي الرسوم البيانية على معلومات عددية فقط؛ بالإضافة إلى ذلك، إنها تكشف عن العلاقات بين الكميات الفيزيائية. يستخدم هذا الجزء من الكتاب الرسوم البيانية للموضع والسرعة والتسارع مقابل الزمن لتوضيح الحركة أحادية البعد.

### الميل والعلاقات العامة

لاحظ أولاً أن الرسوم البيانية في هذا النص لها محورين متعامدين، أحدهما أفقي والآخر رأسي. عندما تُرسم كميتين فيزيائيتين مقابل بعضهما البعض، في مثل هذا الرسم البياني، يُعتبر المحور الأفقي عادةً **متغيرًا مستقلاً** والمحور الرأسي **متغيرًا تابعًا**. إذا أطلقنا على المحور الأفقي x والمحور الرأسي y، كما في الشكل 2-46، الرسم البياني لخط مستقيم له الصورة العامة

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.89 |  |

حيث m هو الميل، المعرف بأنه التغير في متغير المحور الرأسي على التغير في متغير المحور الأفقي (كما هو موضح في الشكل) للخط المستقيم. يستخدم الحرف ليرمز إلى الجزء المقطوع من ، وهو النقطة التي يتقاطع عندها الخط مع المحور الرأسي.

Diagram

Description automatically generated

الجزء المقطوع

الشكل 2-46 رسم بياني لخط مستقيم. معادلة الخط المستقيم .

### رسم بياني للموضع مقابل الزمن (، لذا ثابتة)

عادة ما يكون الزمن متغيرًا مستقلاً تعتمد عليه كميات أخرى، مثل الموضع. وبالتالي، سيكون الرسم البياني للموضع مقابل الزمن، x على المحور الرأسي و على المحور الأفقي. الشكل 2-47 هو مجرد رسم بياني لخط مستقيم. يُظهر رسمًا بيانيًا للموضع مقابل الزمن لسيارة تعمل بالطاقة النفاثة على قاع مسطح لبحيرة جافة في نيفادا.

Chart, line chart

Description automatically generated

الموضع، x (م)

الزمن، t (ث)

الشكل 2-47 رسم بياني للموضع مقابل الزمن لسيارة تعمل بالطاقة النفاثة في بونفيل سولت فلاتس.

باستخدام العلاقة بين المتغيرات التابعة والمستقلة، نرى أن الميل في الرسم البياني أعلاه هو متوسط ​​السرعة وأن الجزء المقطوع هو الموضع عند الزمن صفر - أي،. بالتعويض عن هذه الرموز في نحصل على

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.90 |  |

أو

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.91 |  |

وبالتالي، يعطي الرسم البياني للموضع مقابل الزمن علاقة عامة بين الإزاحة (التغيير في الموضع) والسرعة والزمن، بالإضافة إلى تقديم معلومات عددية مفصلة حول موقف معين.

#### ميل x مقابل t

الميل للموضع x مقابل الزمن t هو السرعة v.

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.92 |  |

لاحظ أن هذه المعادلة هي نفسها المشتقة جبريًا من معادلات الحركة الأخرى في **معادلات الحركة للتسارع الثابت في بعد واحد**.

من الشكل يمكننا أن نرى أن السيارة لها موضع 525 متر عند 0.50 ثانية و2000 متر عند 6.40 ثانية. يمكن قراءة موضعها عند أزمنة أخرى من الرسم البياني. إضافةً إلى ذلك، يمكن أيضًا الحصول على معلومات حول سرعتها وتسارعها من الرسم البياني.

**تحديد متوسط ​​السرعة من الرسم البياني للموضع مقابل الزمن: سيارة نفاثة**أوجد متوسط السرعة للسيارة الموضح موضعها بيانيًا في الشكل 2-47.



**مثال 2-17**

**طريقة الحل**

الميل لـ مقابل هو متوسط السرعة، لأن الميل يساوي التغير في متغير المحور الرأسي (الموضع) على التغير في متغير المحور الأفقي (الزمن). في هذه الحالة، التغيير في المحور الرأسي = التغيير في الموضع والتغيير في المحور الأفقي = التغيير في الزمن، لذلك

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.93 |  |

بما أن الميل ثابت، فيمكن استخدام أي نقطتين على الرسم لإيجاد الميل. (عمومًا، من الأدق استخدام نقطتين منفصلتين ومتباعدتين على الخط المستقيم. لأن أي خطأ في قراءة البيانات من الرسم البياني يكون أصغر نسبيًا إذا كان الفاصل الزمني أكبر.)

**الحل**

1. اختر نقطتين على الخط. في هذه الحالة، نختار النقطتين الموضحتين على الرسم البياني: (6.4 ثانية، 2000 م) و (0.50 ثانية، 525 م). (مع ذلك، يمكنك اختيار أي نقطتين.)

2. عوض عن قيمتي x وt للنقطيتين المختارتين في المعادلة. تذكر أننا نستخدم دائمًا القيمة النهائية مطروحًا منها القيمة الأولية عند حساب التغيير ((.

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.94 |  |

والذي يعطينا

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.95 |  |

**المناقشة**

هذه سرعة أرضية كبيرة بطريقة مثيرة للإعجاب (900 كم \ ساعة، أو حوالي 560 ميل \ ساعة): أكبر بكثير من الحد الأقصى لسرعة الطريق السريع العادي البالغة 60 ميل \ ساعة (27 م \ ث أو 96 كم \ ساعة)، ولكنها اقل إلى حد كبير من الرقم القياسي 343 م \ ث (1234 كم \ س أو 766 ميل \ س) الذي وضع في عام 1997.

الرسوم البيانية للحركة حيث a ليست ثابتة؛

تمثل الرسوم البيانية في الشكل 2-48 أدناه حركة سيارة تعمل بالطاقة النفاثة خلال تسارعها إلى سرعتها القصوى، ولكن، فقط، خلال الوقت الذي يكون فيه تسارعها ثابت. يبدأ الزمن من الصفر لهذه الحركة (كما لو تم قياسه بساعة توقيت)، والموضع والسرعة الابتدائيين 200 م و 15 م \ ث، على التوالي.

Chart

Description automatically generated

الموضع، (م)

السرعة المتجهة للسيارة النفاثة

الزمن، (ث)

السرعة المتجهة، (م\ث)

العجلة للسيارة النفاثة

الزمن، (ث)

العجلة، (م\2ث)

الزمن، (ث)

الزمن، (ث)

موضع السيارة النفاثة

شكل 2-48 الرسوم البيانية لحركة سيارة تعمل بالطاقة النفاثة خلال الفترة الزمنية حيث تسارعها ثابت. (أ) ميلx مقابل t هو السرعة المتجهة. يُعرض الميل عند نقطتين، وتُرسم السرعات اللحظية التي تم الحصول عليها في الرسم البياني التالي. السرعة اللحظية عند أي نقطة هي ميل المماس عند تلك النقطة. (ب) ميلv مقابل t ثابت لهذا الجزء من الحركة، مما يشير إلى تسارع ثابت. (ج) التسارع له قيمة ثابتة خلال الفترة الزمنية الموضحة.

A picture containing outdoor, grass, road, smoke

Description automatically generated

الشكل 2-49 سيارة نفاثة تابعة للقوات الجوية الأمريكية تتسارع في مسار. (credit: Matt Trostle، Flickr)

الرسم البياني للموضع مقابل الزمن في الشكل 2-48 (أ) منحنى وليس خطًا مستقيمًا. يصبح ميل المنحنى أكبر مع مرور الزمن، مما يدل على أن السرعة تتزايد بمرور الزمن. الميل عند أي نقطة على الرسم البياني للموضع مقابل الزمن هو السرعة اللحظية عند تلك النقطة. نحصل عليه عن طريق رسم خط مستقيم مماس للمنحنى عند النقطة المطلوبة وحساب ميل هذا الخط. يُعرض الخطان الماسان لنقطتين في الشكل 2-48 (أ). إذا تم ذلك عند كل نقطة على المنحنى ورسمت القيم مقابل الزمن، فسنحصل على الرسم البياني للسرعة مقابل الزمن الموضح في الشكل 2-48 (ب). إضافةً إلى ذلك، فإن ميل الرسم البياني للسرعة مقابل الزمن هو التسارع، الذي يظهر في الشكل 2-48(ج).

**حساب السرعة اللحظية من الميل عند نقطة: سيارة نفاثة**احسب السرعة لسيارة نفاثة عند زمن 25 ثانية بإيجاد ميل x مقابل t للرسم في الشكل التالي.



**مثال 2-81**

Chart

Description automatically generated

الزمن، (ث)

الموضع، (م)

الشكل 2-50 ميل x مقابل t هو السرعة المتجهة. الميل موضح عند نقطتين. السرعة اللحظية عند أي نقطة هي ميل المماس عند هذه النقطة.

**طريقة الحل**

ميل المنحنى عند نقطة ما يساوي ميل خط مستقيم مماس للمنحنى عند تلك النقطة. هذا المبدأ موضح في الشكل 2-50، حيث Q هي النقطة عند .

**الحل**

1. أوجد المماس للمنحنى عند .

2. حدد نهايتي المماس. هما الموضع 1300 م عند زمن 19 ثانية والموضع 3120 م عند زمن 32 ثانية.

3. عوض بالنهايتين في المعادلة لحساب الميل، v.

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.96 |  |

لذلك،

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.97 |  |

**المناقشة**

هذه هي القيمة المعطاة في الجدول لـ v عند . القيمة لـ مرسومة في الشكل 2-50. الرسم الكامل لـ v مقابل t يمكن الحصول عليه بنفس الطريقة.

إذا استكملنا على نفس المنوال سنلاحظ أن ميل السرعة مقابل الزمن هو العجلة. الميل هو التغير في المتغير على المحور الرأسي على التغير في المتغير على المحور الأفقي؛ على رسم v مقابل t، التغير الرأسي= التغير في السرعة والتغير الأفقي= التغير في الزمن .

#### ميل v مقابل t

ميل السرعة v مقابل الزمن t هو العجلة a.

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.98 |  |

بما أن الرسم البياني للسرعة مقابل الزمن في الشكل 2-48 (ب) خط مستقيم، فإن ميله ثابت لكل النقاط، مما يعني أن التسارع ثابت. رسم التسارع مقابل الزمن موضح في الشكل 2-48 (c).

يمكن الحصول على معلومات إضافية من الشكل 2-50 ومعادلة الخط المستقيم، .

في هذه الحالة، المحور الرأسي y هو v، الجزء المقطوع b هو ، الميل m هو العجلة a، والمحور الأفقي x هو الزمن t. بالتعويض عن هذه المتغيرات نحصل على

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.99 |  |

حصلنا على علاقة عامة للسرعة والتسارع والزمن مرة أخرى من الرسم البياني. لاحظ أن هذه المعادلة مشتقة، أيضًا، جبريًا من معادلات الحركة الأخرى في **معادلات الحركة للتسارع الثابت في بعد واحد**.

ليست مصادفة أن نحصل على نفس المعادلات بواسطة التحليل البياني والطرق الجبرية. في الواقع، تتمثل إحدى الطرق المهمة لاكتشاف العلاقات الفيزيائية في قياس الكميات الفيزيائية المختلفة، ثم عمل رسوم بيانية لكمية مقابل أخرى لمعرفة ما إذا ما كانا مرتبطين بأي من الأشكال. تقتضي الارتباطات العلاقات الفيزيائية وقد تظهر بواسطة الرسوم البيانية السلسة مثل تلك المذكورة أعلاه. من هذه الرسوم البيانية، يمكن أحيانًا افتراض العلاقات الرياضية. ثم تُجرى المزيد من التجارب لتحديد صحة العلاقات المفترضة.

### الرسوم البيانية للحركة حيث التسارع غير ثابت

فكر في حركة السيارة النفاثة خلال انتقالها من 165 م \ ث إلى سرعتها القصوى البالغة 250 م \ ث، كما موضح في الشكل 2-51. يبدأ الزمن مرة أخرى من الصفر، والموضع الأولي والسرعة الأولية 2900 م و165 م \ ث، على التوالي. (كانا الموضع النهائي والسرعة النهائية للسيارة في الحركة الموضحة في الشكل 2-48.) ينخفض ​​التسارع تدريجياً من إلى الصفر عندما تصل السيارة إلى 250 م \ ث. ميل x مقابل t يزداد حتى ، بعدها يصبح الميل ثابتًا. وبالمثل، تزيد السرعة حتى 55 ثانية ثم تصبح ثابتة؛ لأن التسارع ينخفض ​​إلى صفر عند 55 ثانية ويبقى صفرًا بعد ذلك.

Chart, line chart

Description automatically generated

الزمن، (ث)

العجلة، (م\2ث)

العجلة للسيارة النفاثة

الزمن، (ث)

السرعة المتجهة، (م\ث)

السرعة المتجهة للسيارة النفاثة

الزمن، (ث)

الموضع، (كم)

موضع السيارة النفاثة

شكل 2-51 الرسوم البيانية لحركة سيارة تعمل بالطاقة النفاثة حيث تصل إلى سرعتها القصوى. تبدأ هذه الحركة حيث تنتهي الحركة في الشكل 2-48. (أ) ميل الرسم البياني هو السرعة؛ الموضحة في الرسم البياني التالي. (ب) تقترب السرعة تدريجياً من قيمتها القصوى. ميل هذا الرسم هو التسارع؛ الموضح في الرسم البياني الأخير. (ج) ينخفض ​​التسارع تدريجياً إلى الصفر عندما تصبح السرعة ثابتة.

**حساب التسارع من رسم بياني للسرعة مقابل الزمن**احسب عجلة السيارة النفاثة عند زمن مقداره ٢٥ ث بإيجاد ميل v مقابل t في الرسم البياني في الشكل 2-51(ب).



**مثال 2-19**

**طريقة الحل**

ميل المنحنى عند t= 25 s يساوي ميل المماس عند تلك النقطة، كما هو موضح في الشكل 2-51 (ب).

**الحل**

حدد نهايتي المماس من الشكل، ثم عوض بهما في المعادلة لإيجاد الميل، a.

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.100 |  |

|  |  |
| --- | --- |
| ‎2.101 |  |

**المناقشة**

لاحظ أن هذه القيمة لـ a تتوافق مع القيمة الموضحة في الشكل 2-51 (ج) عند t= 25 s

يمكن استخدام الرسم البياني للموضع مقابل الزمن لإنشاء رسم بياني للسرعة مقابل الزمن، ويمكن استخدام الرسم البياني للسرعة مقابل الزمن لإنشاء رسم بياني للتسارع مقابل الزمن. نفعل ذلك بإيجاد الميل عند كل نقطة. إذا كان الرسم البياني خطيًا (على سبيل المثال، خط ذو ميل ثابت)، فمن السهل حساب الميل عند أي نقطة؛ الميل ثابت. يمكن استخدام التحليل البياني للحركة لوصف كل من الخصائص المحددة والعامة الكينماتيكية. يمكن أيضًا استخدام الرسوم البيانية في مواضيع أخرى في الفيزياء. أحد الجوانب المهمة لاستكشاف العلاقات الفيزيائية رسمها بيانيًا والبحث عن العلاقات الأساسية.

**تحقق فهمك**

فيما يلي رسم بياني للسرعة مقابل الزمن لسفينة قادمة إلى ميناء. (أ) صف حركة السفينة بناءً على الرسم البياني. (ب) كيف سيبدو الرسم البياني لتسارع السفينة؟

Chart, line chart

Description automatically generated

الشكل 2-52

**الحل**

(أ) تتحرك السفينة بسرعة ثابتة ثم تبدأ في التباطؤ بمعدل ثابت. في مرحلة ما، ينخفض معدل التباطؤ. تحافظ على معدل التباطؤ المنخفض هذا حتى تتوقف.

(ب) الرسم البياني للتسارع مقابل الزمن سيُظهر تسارعًا صفريًا في المرحلة الأولى، وتسارعًا سالبًا ثابتًا وكبيرًا في المرحلة الثانية، وتسارعًا سالبًا ثابتًا أقل في المرحلة الأخيرة.

Chart

Description automatically generated with medium confidence

الشكل 2-53