وزارة التربية
كويت جديدة
NEWKUWAIT

الفيزياء ١٠

الصف العاشر

الجزء الأوّل

كتاب الطالب

المرحلة الثانوية

الطبعة الثانية

وزارة التربية

الفيزياء

كتاب الطالب

الصفّ العاشر

١٠

الجزء الأوّل

المرحلة الثانويّة

اللجنة الإشرافية لدراسة ومواءمة سلسلة كتب العلوم

أ. برّاك مهدي برّاك (رئيسا)

أ. راشد طاهر الشمالي　　أ. مصطفى محمد مصطفى علي

أ. فتوح عبد الله طاهر الشمالي　　أ. سعاد عبد العزيز الرشود

أ. تهاني ذعار المطيري

الطبعة الثانية

١٤٤٠ - ١٤٤١ هـ

٢٠١٩ - ٢٠٢٠ م

حقوق التأليف والطبع والنشر محفوظة لوزارة التربية ـ قطاع البحوث التربوية والمناهج

إدارة تطوير المناهج

الطبعة الأولى ٢٠١٢ - ٢٠١٣ م
الطبعة الثانية ٢٠١٤ - ٢٠١٥ م
٢٠١٦ - ٢٠١٧ م
٢٠١٨ - ٢٠١٩ م
٢٠١٩ - ٢٠٢٠ م

فريق عمل دراسة ومواءمة كتب الفيزياء للصف العاشر الثانوي

أ. عاصي محمد نوري العاشور

أ. سامي عبد القوي محمد
أ. عادل عبد العليم العوضي
أ. عنود محمد يوسف الكندري
أ. عنود الطرقي حسيكان الذايدي

دار التَّربَويّون House of Education **ش . م . م . وبيرسون إديوكيشن** ٢٠١٢

الكتاب كاملًا

شاركنا بتقييم مناهجنا

ذات السلاسل - الكويت
أودع بمكتبة الوزارة تحت رقم (٥٧) بتاريخ ٢٠١٤/٥/٦م

صاحب السمو الشيخ صباح الأحمد الجابر الصباح

أمير دولة الكويت

سمو الشيخ نواف الأحمد الجابر الصباح

ولي عهد دولة الكويت

مقدمـــــة

الحمدلله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيد المرسلين، محمد بن عبدالله وصحبه أجمعين.

عندما شرعت وزارة التربية في عملية تطوير المناهج، استندت في ذلك إلى جملة من الأسس والمرتكزات العلمية والفنية والمهنية، حيث راعت متطلبات الدولة وارتباط ذلك بسوق العمل، وحاجات المتعلمين والتطور المعرفي والعلمي، بالإضافة إلى جملة من التحديات التي تمثلت بالتحدي القيمي والاجتماعي والاقتصادي والتكنولوجي وغيرها، وإن كنا ندرك أن هذه الجوانب لها صلة وثيقة بالنظام التعليمي بشكل عام وليس المناهج بشكل خاص.

ومما يجب التأكيد عليه، أن المنهج عبارة عن كم الخبرات التربوية والتعليمية التي تُقدم للمتعلم، وهذا يرتبط أيضًا بعمليات التخطط والتنفيذ، والتي في محصلتها النهائية تأتي لتحقيق الأهداف التربوية، وعليه أصبحت عملية بناء المناهج الدراسية من أهم مكونات النظام التعليمي، لأنها تأتي في جانبين مهمين لقياس كفاءة النظام التعليمي، فهي من جهة تمثل أحد المدخلات الأساسية ومقياسًا أو معيارًا من معايير كفاءته من جهة أخرى، عدا أن المناهج تدخل في عملية إنماء شخصية المتعلم في جميع جوانبها الجسمية والعقلية والوجدانية والروحية والاجتماعية.

من جانب آخر، فنحن في قطاع البحوث التربوية والمناهج، عندما نبدأ في عملية تطوير المناهج الدراسية، ننطلق من كل الأسس والمرتكزات التي سبق ذكرها، بل إننا نراها محفزات واقعية تدفعنا لبذل قصارى جهدنا والمضي قدمًا في البحث في المستجدات التربوية سواء في شكل المناهج أم في مضامينها، وهذا ما قام به القطاع خلال السنوات الماضية، حيث البحث عن أفضل ما توصلت إليه عملية صناعة المناهج الدراسية، ومن ثم إعدادها وتأليفها وفق معايير عالمية استعدادًا لتطبيقها في البيئة التعليمية.

ولقد كانت مناهج العلوم والرياضيات من أول المناهج التي بدأنا بها عملية التطوير، إيمانًا بأهميتها وانطلاقًا من أنها ذات صفة عالمية، مع الأخذ بالحسبان خصوصية المجتمع الكويتي وبيئته المحلية، وعندما أدركنا أنها تتضمن جوانب عملية التعلم ونعني بذلك المعرفة والقيم والمهارات، قمنا بدراستها وجعلها تتوافق مع نظام التعليم في دولة الكويت، مركزين ليس فقط على الكتاب المقرر ولكن شمل ذلك طرائق وأساليب التدريس والبيئة التعليمية ودور المتعلم، مؤكدين على أهمية التكامل بين الجوانب العلمية والتطبيقية حتى تكون ذات طبيعة وظيفية مرتبطة بحياة المتعلم.

وفي ضوء ما سبق من معطيات وغيرها من الجوانب ذات الصفة التعليمية والتربوية تم اختيار سلسلة مناهج العلوم والرياضيات التي أكملناها بشكل ووقت مناسبين، ولنحقق نقلة نوعية في مناهج تلك المواد، وهذا كله تزامن مع عملية التقويم والقياس للأثر الذي تركته تلك المناهج، ومن ثم عمليات التعديل التي طرأت أثناء وبعد تنفيذها، مع التأكيد على الاستمرار في القياس المستمر والمتابعة الدائمة حتى تكون مناهجنا أكثر تفاعلية.

د. سعود هلال الحربي

الوكيل المساعد لقطاع البحوث التربوية والمناهج

المحتويات

الجزء الأوّل

الوحدة الأولى: الحركة

الوحدة الثانية: المادّة وخواصّها الميكانيكية

الجزء الثاني

الوحدة الثالثة: الاهتزاز والموجات

الوحدة الرابعة: الكهرباء الساكنة (الإلكتروستاتيكية) والتيّار المستمرّ

محتويات الجزء الأوّل

الوحدة الأولى : الحركة	**12**
الفصل الأوّل: الحركة في خطّ مستقيم	**13**
الدرس 1–1: مفهوم الحركة والكميّات الفيزيائية اللازمة لوصفها	**14**
الدرس 1–2: معادلات الحركة المعجلة بانتظام في خطّ مستقيم	**26**
الدرس 1–3: السقوط الحرّ	**31**

الفصل الثاني: القوّة والحركة	**40**
الدرس 2–1: مفهوم القوّة والقانون الأوّل لنيوتن	**41**
الدرس 2–2: القانون الثاني لنيوتن – القوة والعجلة	**46**
الدرس 2–3: القانون الثالث لنيوتن والقانون العامّ للجاذبية	**55**
مراجعة الوحدة الأولى	**62**
الوحدة الثانية: المادّة وخواصّها الميكانيكية	**68**
الفصل الأوّل: خواصّ المادّة	**69**
الدرس 1–1: مقدّمة عن حالات المادّة	**70**
الدرس 1–2: التغيّر في المادّة	**75**
الدرس 1–3: خواصّ السوائل الساكنة	**79**
مراجعة الوحدة الثانية	**96**

الوحدة الأولى

الحركة
Motion

هناك العديد من المفاهيم الفيزيائية التي تُفسّر العلاقة الحركية بين الأجسام. على سبيل المثال، إنّ سقوط التفّاحة على الأرض سيُفسّر أنّ الأرض تُحاول جذب التفّاحة إلى أسفل، وفي الوقت نفسه تُحاول التفّاحة جذب الأرض إلى أعلى، وعليه فإنّ هناك قوى متبادلة بين كلّ من الأرض والتّفاحة، وهذه القوى متساوية في المقدار ولكنّها متضادّة في الاتجاه، وهذه القوى المتبادلة تُسمّى الفعل وردّ الفعل.

من خلال دراستك لهذه الوحدة، ومعرفتك لمعادلات الحركة، تستطيع أن تُدرك العلاقة الحركية بين الأجسام.

اكتشف بنفسك

وصف الحركة وقياسها

لإجراء هذا النشاط تحتاج إلى شريط متري وساعة إيقاف.

1. باستخدام الشريط المتري قم بتحديد مسافة خمسة أمتار (حدد المسافة بإشارات واضحة وكبيرة).
2. احسب كم تحتاج من الزمن لقطع مسافة الخمسة أمتار عندما تسير بوتيرة عادية في خط مستقيم. سجّل الزمن اللازم لقطع هذه المسافة.
3. احسب كم تستطيع أن تقطع خلال خمس ثوانٍ عندما تسير بوتيرة عادية في خطّ مستقيم، سجّل المسافة المقطوعة.
4. كرّر الخطوات 2 و3 عندما تسير بوتيرة أسرع من السابق.
5. كرّر الخطوات 2 و3 عندما تسير بوتيرة أبطأ من السابق.

مقارنة واستنتاج:

في أيّ حالة احتجت إلى زمن أقلّ لقطع مسافة الخمسة أمتار؟

استنتج العلاقة بين المسافة التي قطعتها والزمن المستغرق لقطعها، والسرعة؟

فصول الوحدة

الفصل الأول

- الحركة في خط مستقيم

الفصل الثاني

- القوة والحركة

أهداف الوحدة

- يصف الحركة ويذكر أنواعها.
- يذكر وحدات قياس الكميات الأساسية ويستنتج وحدات قياس بعض الكميات المشتقة ويسمّي أدوات قياسها.
- يقارن بين الكميات الأساسية والمشتقة والكميات العددية والكميات المتجهة.
- يذكر قوانين الحركة الخطية المستقيمة.
- يفسّر معنى السقوط الحر ويذكر العوامل المؤثرة فيه.
- يربط معادلات الحركة بمواقف من الحياة اليومية.
- يكتسب المهارات الذهنية في حلّ الأمثلة والمسائل في الوحدة.
- يكتسب المهارات العملية في تعيين عجلة الجاذبية الأرضية.
- يعرف القوة كمتجه ويعرف معنى القصور الذاتي وعلاقته بالكتلة.
- يستنتج العلاقة بين القوة والحركة.

معالم الوحدة

اكتشف بنفسك: وصف الحركة وقياسها

الفيزياء والمجتمع: تجنب مخاطر السرعة الزائدة.

الفيزياء والرياضة: زمن التحليق

الصلة بعلم الأحياء: الفعل ورد الفعل

العلم والتكنولوجيا والمجتمع: من الألعاب النارية إلى الفضاء الخارجي

الفيزياء في المجتمع: القانون الثالث لنيوتن والمجتمع.

العلم والتكنولوجيا والمجتمع: لماذا يستخدم محمّل الكريات في الأجزاء الداخلية للآلات الميكانيكية؟

الفصل الأول

الحركة في خطّ مستقيم
Rectilinear Motion

دروس الفصل

الدرس الأوّل
- مفهوم الحركة والكميات الفيزيائية اللازمة لوصفها

الدرس الثاني
- معادلات الحركة في خطّ مستقيم

الدرس الثالث
- السقوط الحرّ

نحن نختبر مفهوم السرعة والعجلة عندما نكون في السيّارة .

عندما ننظر حولنا إلى مختلف الأشياء نستطيع أن نُلاحظ أنّ بعضها ساكن وبعضها متحرّك ، وأنّ بعضها يتحرّك بتسارع وبعضها يتباطأ . فنقول مثلًا إنّ الجدار ساكن وإنّ السيّارة متحرّكة ، كما أنّنا نقول بأنّ هذه السيّارة تسير بسرعة أكبر من تلك الدرّاجة . فما المعيار الذي نعتمده في قراراتنا هذه؟

عندما نستنتج أنّ الجسم يتحرّك ، نكون قد لاحظنا أنّ هنالك تغييرًا في المسافة التي تفصله عنّا أو عن أيّ جسم آخر يكون بمثابة نقطة مرجعية . وعندما نستنتج أنّه ثابت لا يتحرّك ، نكون قد لاحظنا بأنّ ليس هنالك أيّ تغيير في المسافة بين الجسم والنقطة المرجعية . لذلك وباختصار ، نقول عن نقطة ماديّة إنها متحرّكة بالنسبة إلى نقطة مرجعية إذا تغيّر موقعها عنها بتغيّر الزمن . أمّا لملاحظة سرعة الجسم ، يكفي أن نُلاحظ المدّة التي احتاجها الجسم لقطع مسافة محدّدة ، فإن كانت الفترة الزمنية كبيرة نقول بأنّه بطيء ، وإن كانت صغيرة نقول بأنّه سريع .

وفي هذا الفصل ، سوف نُقدّم شرحًا أوسع لكلّ ما يتعلّق بالحركة والكمّيات الفيزيائية اللازمة لوصفها من سرعة وعجلة ونوع الحركة وغيرها . . .

الدرس 1-1

مفهوم الحركة والكميات الفيزيائية اللازمة لوصفها

The Concept of Motion and the Physical Quantities Necessary to Describe it

- يصف الحركة ويذكر أنواعها.
- يقارن بين الكمّيات الأساسية والمشتقّة والكمّيات العددية والكمّيات المتّجهة.
- يذكر وحدات قياس الكمّيات الأساسية ويستنتج وحدات قياس بعض الكمّيات المشتقّة ويسمّي أدوات قياسها.

(شكل 1)
حركة في تمايل الأشجار وتساقط أوراقها

تظهر الحركة في الكثير من الأشياء حولنا، فإنّنا نراها في نشاطات الإنسان اليومية، وفي السيّارة على الطريق السريع، وفي تمايل الأشجار وتساقط أوراقها (الشكل 1)، وفي حركة النجوم وغيرها.

من السهل التحقّق من الحركة ولكن من الصعب وصفها. حتّى علماء اليونان الذين اشتهروا منذ 2000 عام بما قدّموه للفيزياء من مفاهيم ما زالت تُدرَس حتّى اليوم، فشلوا في وصف الحركة! فشلوا لأنّهم لم يفهموا بعض الكمّيات الفيزيائية اللازمة لوصفها مثل مفهوم المعدّل أي المقدار المقسوم على الزمن، والذي سنعالجه في سياق درسنا، كما سنتعرّف ماهية القياس والاختلاف بين الكمّيات الأساسية والمشتقة، وأدوات ووحدات قياسها بحسب النظام الدولي للوحدات (SI)، وذلك لأهمّية الموضوع في دراسة الحركة ووصفها. وسنصف الحركة مستخدمين مفهوم المعدّل لنتعرّف على كلٍّ من السرعة والعجلة ونُميّز بينهما.

(شكل 2)
عمليّة القياس مهمّة جدًّا لأنّها جزء من حياتنا اليومية، ومن دونها لا نستطيع أن نقدّر ما حولنا من أطوال أو أحجام أو فترات زمنية.

1. القياس والوحدات العلمية

تعني عملية القياس (الشكل 2) مقارنة مقدار معيّن بمقدار آخر من نوعه، أو كمّية بكمّية أخرى من نوعها، وذلك لمعرفة عدد مرّات احتواء الأول على الثاني، وغالبًا ما توصَف عملية القياس بالأرقام العددية والوحدات.

ونظام القياس المستخدم في معظم أنحاء العالم هو النظام الدولي للوحدات International System (SI) الذي يُعرَف بالنظام المتري، وهو

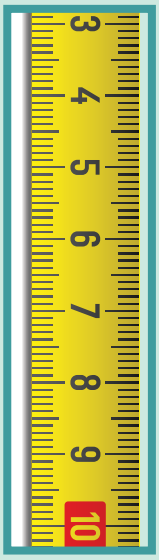
يختلف بعض الشيء عن الأنظمة الأخرى للقياس والوحدات.
الوحدات الأساسية في النظام المتري (SI) والتي تستخدم في قياس الكميات الأساسية (الطول – الكتلة – الزمن) موضّحة في الجدول (1).

القياس		اسم الوحدة		الرمز
الطول	Length	متر	Meter	m.
الكتلة	Mass	كيلوجرام	Kilogram	kg.
الزمن	Time	ثانية	Second	s.

(جدول 1)
وحدات النظام المتري (SI units)

1.1 قياس الطول Length

يُعتبَر المتر (m) أساس النظام المتري (SI) في قياس الطول، ومتر واحد يُساوي تقريبًا المسافة الرأسية بين مقبض باب الفصل الدراسي وأرضيته.
والمتر العياري الواحد هو المسافة التي يقطعها الشعاع الضوئي في الفراغ خلال المدّة الزمنية $\frac{1}{3 \times 10^8}$ (تقريبًا) من الثانية. وقد تمّ تحديد طول المتر العياري وحفره ونقشه على قضيب من المعدن، ثم حفظه في الخزينة الدولية للأوزان والمقاييس في باريس. وتُسمّى الأداة المستخدمة في قياس الطول بالمسطرة المترية (الشكل 3). أما في حالة الأطوال القصيرة جدًّا، فتُستخدَم أدوات خاصة يُسمّى أحدها الميكرومتر (الشكل 4) والآخر القدمة ذات الورنية (الشكل 5). وعند قياس مسافات طويلة، نستخدم وحدات أكبر من المتر، كالكيلومتر (km)، حيث يُساوي الكيلومتر الواحد 1000 متر.

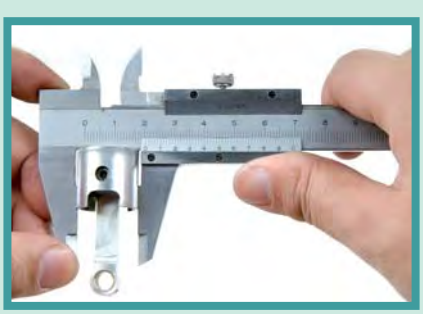


(شكل 3)
يُمكنك استخدام المسطرة المترية في قياس الأطوال الأقلّ من 1m.

(شكل 4)
يُستخدَم جهاز الميكرومتر في قياس الأطوال الصغيرة جدًّا.

2.1 قياس الكتلة Mass

يُعتبَر الكيلوجرام (kg) وحدة قياس الكتل في النظام الدولي (SI). في البداية كان يُعرَّف الكيلوجرام أنّه **كتلة مكعّب من الماء طول ضلعه** 0.1m). **ولكن الآن يُعرَّف الكيلوجرام العياري أنه كتلة أسطوانية من سبيكة البلاتين والإيريديوم، قطرها 39mm) وارتفاعها 39mm) عند درجة 0°C(0).** وهذه الكتلة محفوظة في المتحف الدولي للأوزان والمقاييس الموجود في باريس.
تُقاس الكتلة في النظام المتري (SI) بوحدة الكيلوجرام (kg). وفي المعمل يُمكن استخدام وحدات أقلّ من الكيلوجرام (kg)، مثل الجرام (g) الذي يُساوي $\frac{1}{1\,000}$ من الكيلوجرام، وتُستخدَم أحيانًا وحدات أقلّ من الجرام، مثل الميلّيجرام (mg) ويُساوي $\frac{1}{1\,000}$ من الجرام. ولتقدير كتل الأجسام، تُستخدمَ أداة تُسمّى الميزان، كما هو موضّح في الشكل (6). يتكوّن الميزان من كفّتين، توضَع الكتلة المجهولة في إحدى الكفّتين، ثمّ توضَع كتل معلومة في الكفّة الأخرى حتّى تتمّ عملية الاتّزان بينهما، بعد ذلك يُمكن تقدير الكتلة المجهولة. وهناك بعض الموازين (الموازين الرقمية) التي تُقدّر كتل الأجسام مباشرة من دون استخدام كتل معلومة.



(شكل 5)
تُستخدَم القدمة ذات الورنية في القياسات الدقيقة.

(شكل 6)
الميزان ذو الكفتين لتقدير كتل الأجسام

قياس الزمن Time

من المعروف أن هناك علاقة بين الزمن الدوري والتردّد. لذلك، **تُعرَّف الثانية العيارية** بدلالة التردّد **وهي تُساوي زمن 9×10^9 ذبذبة من ذرة عنصر السيزيوم (133)**. وهناك تعريف آخر، **وهو الزمن اللازم للموجات الكهرومغناطيسية لتقطع 3×10^8 m في الفراغ**.

يُقدَّر الزمن في النظام المتري (SI) بالثانية (s)، والأجزاء الصغيرة من الثانية تُقدَّر بالملّي ثانية (ms). كما توجَد وحدات أكبر مثل الدقيقة (min)، والساعة (hr)، واليوم (day) والسنة (year). ويمكن قياس الزمن بواسطة جهاز يُسمّى ساعة الإيقاف اليدوية أو ساعة الايقاف الكهربائية كما بالشكل (8، 9). ويُسمّى الجهاز الذي يُستخدَم لقياس التردّد والزمن الدوري للأجسام بالوماض الضوئي (الشكل 10).

(شكل 7)
تُعتبَر الساعة الذرّية المصدر الرئيسي لقياس الزمن في المعهد الدولي للقياس والتكنولوجيا (NIST).

(شكل 8)
ساعة الإيقاف اليدوية

(شكل 9)
ساعة تعمل بالخلايا الكهروضوئيّة

(شكل 10)
الوماض الضوئي

1. الكمّيات الفيزيائية الأساسية والكمّيات المشتقّة
Fundamental physical quantities and derived quantities

الكمّيات الفيزيائية الأساسية Fundamental physical quantities هي سبع كميات منها: الطول (L)، الكتلة (m)، الزمن (t). وهناك كمّيات فيزيائية تُسمّى **الكمّيات المشتقّة Derived quantities** مثل السرعة، والعجلة، والتردّد، والطاقة، والضغط، والقدرة.

معظم الكمّيات الفيزيائية يُمكن التعبير عنها بدلالة الطول (L) والكتلة (m) والزمن (t). وهناك ما يُسمّى بمعادلة الأبعاد، وهي تعتمد أساسًا على كلّ من الأبعاد الثلاثة (L. m. t). على سبيل المثال، أبعاد السرعة هي $(L.t^{-1})$ كما أنّ أبعاد الحجم هي (L^3). يُمثّل الجدول (2) معادلة الأبعاد لبعض الكمّيات الفيزيائية:

الكمّية الفيزيائية	الأبعاد	الوحدة
الكتلة	[m]	kg
الطول	[L]	m
الزمن	[t]	s
المساحة	$[L^2]$	m^2
الحجم	$[L^3]$	m^3
السرعة (v)	L/t	m/s
العجلة (a)	L/t^2	m/s^2
الكثافة (d)	m/L^3	kg/m^3
القوّة (F)	$m.L/t^2$	$kg.m/s^2$
الشغل (القوّة × الإزاحة)	$m.L^2/t^2$	$kg.m^2/s^2$
الضغط (القوّة/المساحة)	$m/L.t^2$	$kg/m.s^2$

(جدول 2)
معادلات الأبعاد لبعض الكميات الفيزيائية

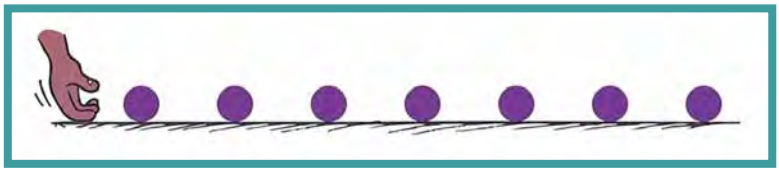
ولكي نُضيف أو نطرح كمّيتين فيزيائيتين يجب أن يكون لهما الأبعاد نفسها. ويُمكننا أن نضيف أو نطرح قوّتين مثلاً، ولكن لا نستطيع إضافة قوّة إلى سرعة، لأنّهما كمّيتان مختلفتان وليس لهما الأبعاد نفسها.

3. الحركة وأنواعها Motion and its kinds

يرتبط مفهوم الحركة بتغيّر موضع الجسم بمرور الزمن بالنسبة إلى موضع جسم آخر ساكن. فعندما يتغيّر موضع جسم خلال فترة من الزمن (ما يُسمّى بالمعدّل)، يُقال إنّ الجسم قد تحرّك خلال هذه الفترة (الشكل 11). ومن أنواع الحركة:

1.3 الحركة الانتقالية Translational Motion

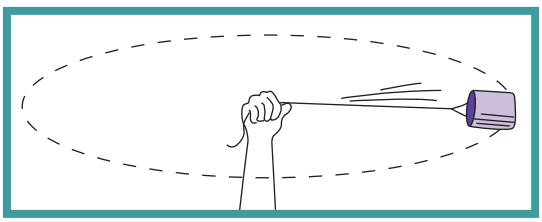
في **الحركة الانتقالية Translational Motion** يتحرّك الجسم بين نقطتين، الأولى تُسمّى نقطة البداية والأخرى نقطة النهاية. وتُعتبَر الحركة في خطّ مستقيم (الشكل 12) وكذلك حركة المقذوفات (الشكل 13) من أمثلة الحركة الانتقالية.



(شكل 12)
الحركة في خطّ مستقيم

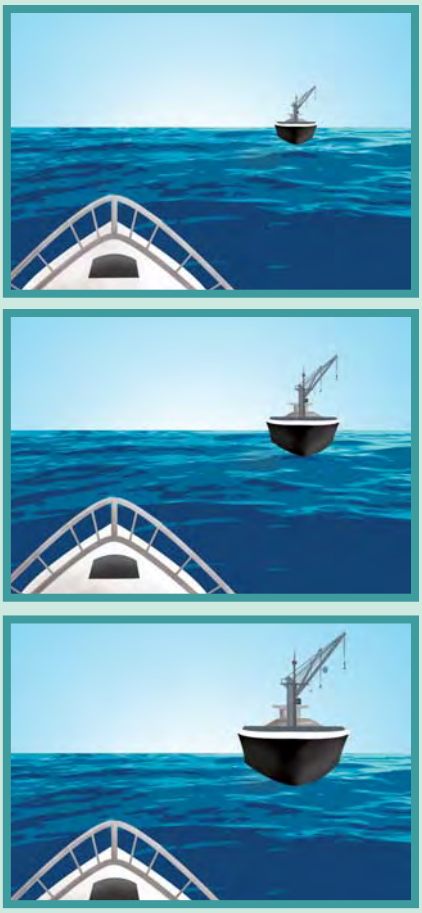
2.3 الحركة الدورية Periodic Motion

تُكرّر **الحركة الدورية Periodic Motion** نفسها خلال فترات زمنية متساوية، كما في حالة الحركة الدائرية (الشكل 14) والحركة الاهتزازية (الشكل 15).

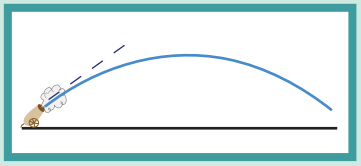


(شكل 14)
حركة دائرية

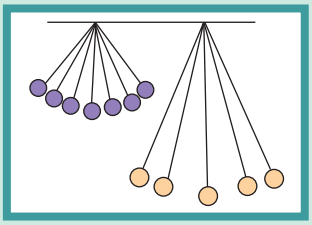
تحتاج دراسة حركة الأجسام بصفة عامّة، أن نعرف بعض المفاهيم الأساسية مثل المسافة، الإزاحة، السرعة والعجلة.



(شكل 11)
أيّ السفينتين تتحرّك بالنسبة إلى الأخرى؟



(شكل 13)
حركة المقذوفات



(شكل 15)
الحركة الاهتزازية

4. الكمّيات العددية والكمّيات المتّجهة
Scalar quantities and vector quantities

1.4 الكمّيات العددية

المسافة Distance

عندما يتغيّر موضع جسم خلال فترة زمنية ما، يُقال إنّ الجسم قد تحرّك مسافة محدّدة. وتُعرَّف **المسافة بطول المسار المقطوع أثناء الحركة من موضع إلى موضع آخر**. مثلًا، إذا أردت القيام برحلة إلى مدينة الشعيبة بادئًا رحلتك من مدينة الكويت، فإنّ المسافة بين الكويت والشعيبة تعتمد على طول المسار الذي اتّبعته في الرحلة (الشكل 16).

وتُعتبَر المسافة كمّية عددية، لأنّه تلزم معرفة مقدارها فقط (المقدار يتضمّن القيمة العددية والوحدة المستخدمة). على سبيل المثال، إذا قيل إنّ المسافة بين مدينة الكويت ومدينة الشعيبة مقدارها 44)km)، فإنّ الرقم 44 يُمثّل القيمة العددية، وkm هو وحدة قياس المسافة.

(شكل 16)
المسافة هي طول المسار المقطوع. فالمسافة بين مدينتي الكويت والأحمدي، على سبيل المثال، تُساوي 37)km) ومن الكويت إلى الشعيبة تُساوي 44)km)

السرعة العددية Speed

في حياتنا اليومية نصف حركة بعض الأشياء من حولنا بالتعبير «سريعة»، وبعضها الآخر بالتعبير «بطيئة»، ومثل هذا الوصف لا يستند إلى أساس كمّي. ولمقارنة حركة الأجسام بشكل كمي، ينبغي أن نستند إلى كمّية تُميّز هذا الوصف وهي السرعة العددية. فإذا تحرّكت سيّارتان في المسار نفسه (المسافة)، تكون حركة إحداهما أسرع من الأخرى إذا استغرقت مدّة زمنية أقلّ من الأخرى في قطع هذا المسار. في المقابل، إذا تحركت السيارتان على مسارين مختلفين في الطول، وقطعتا المسارين في فترة زمنية متساوية، فإنّ السيّارة التي تقطع المسافة الأطول تكون أسرع من الأخرى.

من الملاحظتين السابقتين، يتّضح أنّ كلًّا من طول المسار (المسافة) والزمن المستغرق لقطع هذه المسافة، عاملان أساسيان في وصف الحركة، مثلًا: السيّارة التي تقطع مسافة مقدارها 44)km) خلال فترة زمنية مقدارها ساعة واحدة، يُقال إنّها تسير بسرعة عددية مقدارها 44)km/h).

وتُعرَّف السرعة العددية Speed بأنّها المسافة المقطوعة خلال وحدة الزمن.

$$\text{السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}\text{، } v = \frac{d}{t}$$

ووحدات قياس السرعة هي (km/h) أو (m/s)، وهناك دول تستخدم وحدة (miles/h) لقياس السرعة.

من خلال الجدول (3)، على الطالب أن يستنتج العامل المستخدم في تحويل السرعة من (km/h) إلى (m/s).

قيم بعض السرعات في وحدات مختلفة
5 m/s = 18 km/h
15 m/s = 54 km/h
20 m/s = 72 km/h
25 m/s = 90 km/h
30 m/s = 108 km/h
50 m/s = 180 km/h

(جدول 3)

السرعة المتوسّطة Average Speed

عندما نقوم برحلة من مدينة (أ) إلى مدينة (ب)، مثلًا، فإنّ المسافة بين المدينتين، طبقًا لمسار معيّن، تُساوي حوالى (210)km. ولكن في الواقع لن تسير السيّارة بسرعة ثابتة، فأحيانًا تسير بسرعة (90)km/h، وأحيانا أخرى (80)km/h، وأحيانًا بسرعة (60)km/h. إذًا لن تسير السيارة بسرعة منتظمة.

فإذا أردنا معرفة ما يُسمّى السرعة المتوسّطة Average speed، علينا معرفة الزمن الكلّي الذي استغرقته الرحلة (وليكن ثلاث ساعات) وكذلك المسافة الكلّية بين المدينتين حوالى (210)km وبذلك تكون السرعة المتوسطة هي:

$$\text{السرعة المتوسّطة } (\bar{v}) = \frac{\text{المسافة الكلّية}}{\text{الزمن الكلّي}}$$

$$\bar{v} = \frac{d_{total}}{t_{total}} = \frac{210}{3} = (70)km/h$$

$$= \frac{70 \times 1000}{60 \times 60} = (19.4)m/s$$

مثال (1)

يوجَد في معظم السيّارات عدّاد للمسافات بجانب عدّاد السرعة. احسب السرعة المتوسّطة إذا كانت قراءة عدّاد المسافات عند بدء الحركة صفر، وبعد نصف ساعة كانت (35)km.

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم

المعلوم: الزمن الكلّي $t = (0.5)h$

المسافة الكلّية $d = (35)km$

غير المعلوم: السرعة المتوسّطة $\bar{v} =$

2. احسب غير المعلوم:

باستخدام العلاقة الرياضية:

$$\bar{v} = \frac{d_{total}}{t_{total}}$$

بالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة نحصل على:

$$\bar{v} = \frac{d_{total}}{t_{total}}$$

$$\bar{v} = \frac{35}{0.5} = (70)km/h = \frac{70 \times 1000}{60 \times 60} = (19.4)m/s$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

تُعتبَر السرعة (70)km/h سرعة مقبولة ومنطقية للسيّارة.

مثال (2)

دخل قطار طوله (150)m نفقًا مستقيمًا طوله L (m) (الشكل 17) فاستغرق عبوره كاملًا من النفق (15)s. فما طول النفق إذا كانت سرعة القطار منتظمة وتُساوي (90)km/h؟

طريقة التفكير في الحلّ

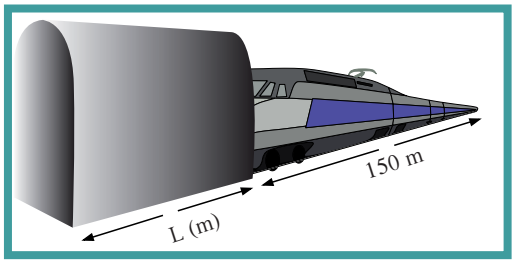
1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم

المعلوم: الزمن: $t = (15)s$

طول القطار: (150)m

سرعة القطار: $v = (90)km/h$

غير المعلوم: طول النفق ؟ $= L$



(شكل 17)

2. احسب غير المعلوم

لتحويل السرعة من km/h إلى m/s:

$$v = (90)km/h = \frac{90 \times 1000}{1 \times 60 \times 60} = (25)m/s$$

بما أنّ سرعة القطار منتظمة، فإنّ المسافة المقطوعة = السرعة × الزمن

$$d = vt = 25 \times 15 = (375)m$$

المسافة التي يقطعها القطار = طول النفق + طول القطار

$$d = 150 + L$$

$$375 = 150 + L$$

$$L = 375 - 150 = (225)m$$

قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

إنّ طول النفق صغير لا يحتاج إلى أكثر من 15 ثانية لقطعه بسرعة (90)km/h.

مسائل تطبيقية

1. قطع لاعب على درّاجته الهوائية مسافة (20)km في مدّة زمنية مقدارها ساعتان.

احسب السرعة المتوسّطة للدرّاجة.

الحلّ: (10)km/h

2. قطع متسابق ركضًا (150) مترًا في دقيقة واحدة. ما هي السرعة المتوسّطة له؟

الحلّ: (2.5)m/s

3. يستطيع الفهد (الشكل 18) أن يعدو بسرعة ثابتة مقدارها (25)m/s. احسب المسافة التي يُمكن أن يقطعها خلال:

(أ) (10)s

(ب) (1)min

الحلّ: **(أ)** (250)m

(ب) (1500)m

(شكل 18)

يُعتبَر الفهد من أسرع الحيوانات الأرضية وأحيانًا تصل سرعة عدوه إلى أكثر من (100)km/h.

السرعة اللحظية Instantaneous Speed

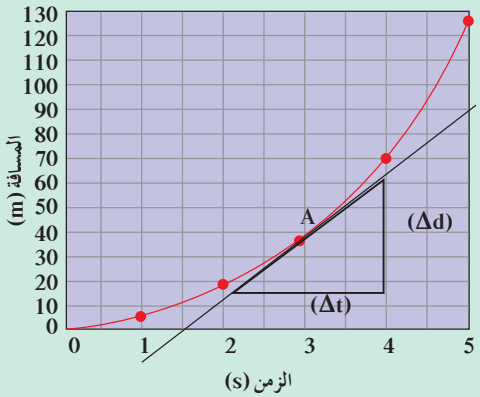
إذا تأمّلنا حركة سيّارة على الطريق، نُلاحظ أنّ سرعتها ليست ثابتة القيمة. فهي حينًا تتزايد على الطريق، وحينًا آخر تتوقّف عند الإشارة أو تتناقص في الازدحام. ولكن يُمكننا معرفة سرعة السيّارة في أيّ لحظة بقراءة مؤشّر عدّاد السرعة (الشكل 19). و تُسمّى السرعة في أيّ لحظة السرعة اللحظية.

(شكل 19)
يُعطي عدّاد السرعة قيمة للسرعة اللحظية km/h، أو miles/h كما يحتوي أيضًا على عدّاد المسافات.

ومن خلال تسجيل مواقع السيّارة (المسافة) على فترات متساوية (الزمن)، يُمكننا رسم العلاقة البيانية بين المسافة (ممثّلة على المحور الرأسي) والزمن (ممثلًا على المحور الأفقي) كما هو موضّح في (الشكل 20)، إذ يُسمّى هذا المنحنى بمنحنى (المسافة – الزمن) لحركة سيّارة.

ومن خلال هذا المنحنى، يُمكننا حساب ما يُسمّى بالسرعة اللحظية عند نقطة ما على المنحنى، ولتكن (A)، وذلك عن طريق رسم مماسّ للمنحنى عند تلك النقطة (تلك اللحظة) ويكون مقدار ميل المماسّ هو السرعة اللحظية.

$$\text{ميل المماس (السرعة اللحظية)} = \frac{\text{التغيّر في المسافة } (\Delta d) \text{ بالمتر}}{\text{التغيّر في الزمن } (\Delta t) \text{ بالثانية}}$$



(شكل 20)
منحنى (المسافة – الزمن) لجسم يتحرّك بسرعة متغيّرة

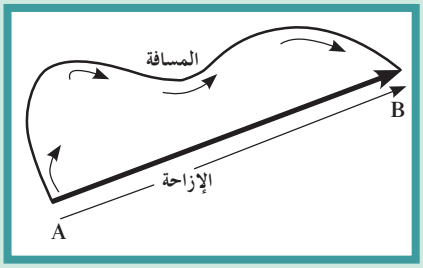
وبشكل عامّ، **فإنّ السرعة اللحظية Instantaneous Speed لجسم يتحرّك بسرعة متغيّرة في لحظة معيّنة تُساوي مقدار ميل المماسّ لمنحنى (المسافة – الزمن) للحركة في هذه اللحظة.**

2.4 الكمّيات المتجهة

الإزاحة Displacement

عرفنا ممّا سبق أن المسافة كمّية عددية تلزم معرفة مقدارها فقط.

ولكي نصف حركة الأجسام بصورة تفصيلية، يلزمنا معرفة اتّجاه الحركة أيضًا. فعندما يكون مقدار المسافة مقترنًا بالاتّجاه، تُسمّى في هذه الحالة الإزاحة. **تُعرَّف الإزاحة Displacement بأنّها المسافة في خط مستقيم في اتّجاه محدّد**، فإذا تحرّك جسم من الموضع (A) متّجهًا إلى الموضع (B) كما في (الشكل 21)، فالتغيّر في موضع الجسم تُمثّله القطعة المستقيمة التي بدايتها النقطة (A) ونهايتها النقطة (B) وتُسمّى الإزاحة.

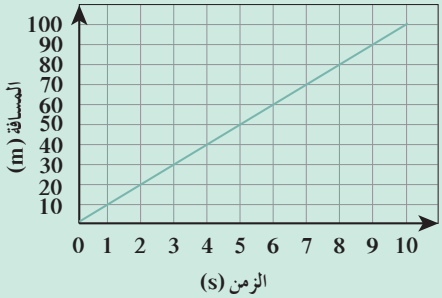


(شكل 21)
الفرق بين المسافة والإزاحة

السرعة المتّجهة Velocity

السرعة المتّجهة Velocity هي السرعة العددية ولكن في اتّجاه محدّد. مثلًا، هناك سيّارة تتحرّك بسرعة 80km/h باتّجاه جنوب الكويت، هذا يعني أنّ مقدار السرعة هو 80km/h واتّجاهها هو جنوب الكويت.

تكون السرعة المتّجهة منتظمة constant velocity إذا كانت ثابتة القيمة والاتّجاه، وتكون الحركة عندها مستقيمة ومنتظمة.



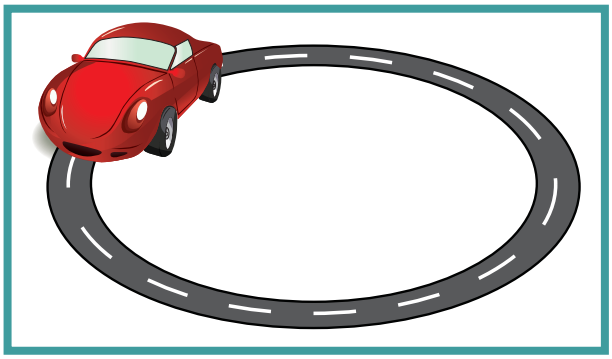
(شكل 22)
منحنى (المسافة – الزمن) لسيّارة تتحرّك بسرعة منتظمة

أمّا إذا حدث تغيير لأحد عناصر السرعة المتّجهة فيُقال إنّ الجسم يتحرّك بسرعة متّجهة متغيّرة changing velocity كما في (الشكل 23). إنّ تحرّك جسم بسرعة عددية ثابتة ولكن في مسار منحنٍ تكون حركته بسرعة متّجهة متغيّرة.

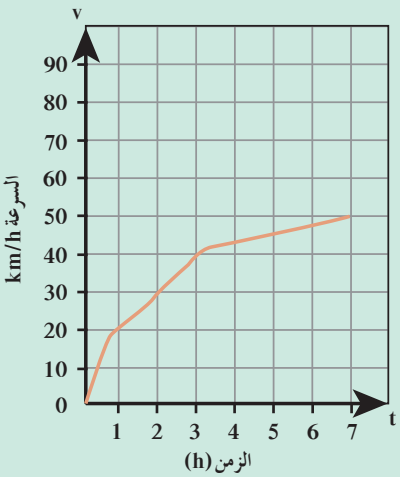
(شكل 23)
يُؤدّي تغيّر اتّجاه الحركة إلى سرعة متّجهة غير ثابتة.

تطبيق من الحياة الواقعية

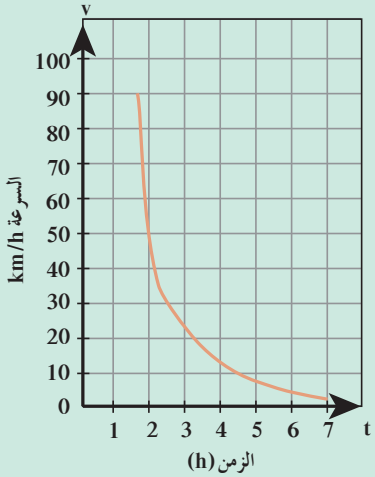
السرعة المتغيّرة:
يوجد داخل كلّ سيارة ثلاث أدوات يُمكن بواسطتها التحكّم في مقدار سرعة السيّارة واتّجاهها:
أوّلًا – دوّاسة البنزين، التي يُمكن بواسطتها زيادة مقدار السرعة.
ثانيًا – دوّاسة الفرامل، والتي يُمكن بواسطتها التحكّم في تقليل مقدار السرعة.
ثالثًا – عجلة القيادة، والتي يُمكن بواسطتها تغيير اتّجاه حركة السيّارة (الشكل 24).



(شكل 24)
سيّارة تسير في مسار دائري، ربّما تسير بسرعة ثابتة المقدار، ولكنّها ليست ثابتة الاتّجاه، لأنّ اتّجاه الحركة يتغيّر في كلّ لحظة بواسطة عجلة القيادة.



(شكل 25)
يُوضّح منحنى (السرعة – الزمن) العجلة الموجبة.



(شكل 26)
يُوضّح منحنى (السرعة – الزمن) العجلة السالبة.

العجلة Acceleration

ناقشنا في ما سبق مفهوم السرعة المتّجهة المتغيّرة. فإذا راقبنا حركة سيّارة تسير على طريق (مسار)، لاحظنا أنّ سرعة السيارة تتغيّر بحسب أحوال الطريق، فتارة تزداد وتارة تتناقص. وتُسمّى الحركة التي يحدث فيها تغيّر في مقدار السرعة أو اتّجاهها أو الاثنين معًا الحركة المعجلة.

والكميّة الفيزيائية التي تُعبّر عن تغيّر متّجه السرعة خلال وحدة الزمن تُسمّى بالعجلة Acceleration ورمزها «a» ووحدة قياسها بحسب النظام الدولي للوحدات هي (m/s^2).

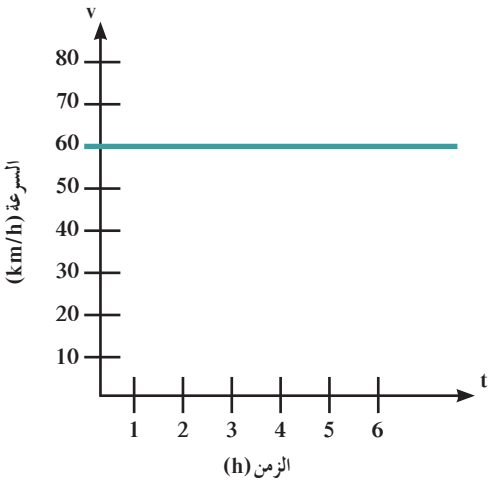
وبما أنّ السرعة هي كمّية متّجهة، فإنّ معدل تغيّرها بالنسبة إلى الزمن، أي العجلة، هو أيضا كمّية متّجهة.

$$\text{العجلة} = \frac{\text{السرعة النهائية} - \text{السرعة الابتدائية}}{\text{التغيير في الزمن}} = \frac{\text{التغيّر في متّجه السرعة}}{\text{التغيّر في الزمن}}$$

$$a = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} \ (m/s^2)$$

منحنى (السرعة – الزمن):

يُمكن للعجلة أن تكون موجبة إذا ازدادت قيمة السرعة مع الزمن، ونقول إنّ الحركة متسارعة (الشكل 25). ويُمكن أن تكون العجلة سالبة إذا تناقصت قيمة السرعة مع الزمن ونصف الحركة بأنّها حركة متباطئة (الشكل 26). أما إذا بقيت السرعة ثابتة مع الزمن أي أنّ العجلة تساوي صفرًا فنقول إنّ الحركة بسرعة منتظمة (الشكل 27).



(شكل 27)
منحنى (السرعة – الزمن) يُوضّح الحركة بسرعة منتظمة

العلاقة بين السرعة العددية والسرعة المتّجهة والعجلة

عندما تكون داخل سيّارة تتحرّك في مسار منحنٍ بسرعة ثابتة، ولتكن 50)km/h)، سوف تشعر بتأثير العجلة، إذ إنّ جسمك سوف يتحرّك داخل السيّارة في اتّجاه معاكس لاتّجاه انحناء الطريق. وبالرغم من أنّ مقدار السرعة ثابت عدديًّا 50)km/h)، إلا أنّ اتّجاه السرعة قد تغيّر (لأنّ الحركة في طريق منحنٍ تُؤدّي إلى تغيّر السرعة المتّجهة).

العلوم والتكنولوجيا والمجتمع
Science, Technology and Society STS

مخاطر العجلة الموجبة

إذا كان هناك شخص داخل مركبة تسير بسرعة هائلة وبعجلة كبيرة (موجبة)، فإنّ مثل هذا الشخص قد يفقد وعيه لفترة زمنية معيّنة. على سبيل المثال، قائدو الطائرات النفّاثة وكذلك روّاد الفضاء، نتيجة لاستخدامهم مركبات تسير بعجلة موجبة، يتجمّع الدم الذي في داخل أجسامهم في مكان ما داخل الجسم، ولا يصل إلى المخّ ما يُؤدّي إلى فقدان الوعي لفترة زمنية ما. لذا لا بدّ من أن يرتدي مثل هؤلاء الأشخاص ملابس خاصّة تُبطل (أو تُقلّل) من تأثير السير بعجلة موجبة.

مثال (3)

خلال فترة زمنية مدّتها خمس ثوانٍ، يتغيّر مقدار سرعة سيّارة تتحرّك في خطّ مستقيم من (50)km/h إلى (65)km/h. وفي الفترة الزمنية نفسها، تتحرّك عربة نقل في خطّ مستقيم، من السكون إلى أن تصل إلى سرعة مقدارها (15)km/h. أيّهما يتحرّك بعجلة أكبر؟ احسب العجلة التي تتحرّك بها كلّ من السيّارة وعربة النقل.

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم

المعلوم: الزمن للسيارتين الأولى والثانية : $t = (5)s$

السيارة: السرعة الابتدائية (50)km/h

السرعة النهائية (65)km/h

عربة النقل: السرعة الابتدائية (0)km/h

السرعة النهائية (15)km/h

غير المعلوم: أيّهما يتحرّك بعجلة أكبر؟

2. احسب غير المعلوم:

من خلال الأرقام، يتّضح أنّ كلًّا من السيّارة وعربة النقل لهما زيادة في السرعة بمقدار (15)km/h خلال خمس ثوانٍ أي لهما العجلة نفسها ومقدارها هو:

$$\text{العجلة} = \frac{\text{التغيّر في متّجه السرعة}}{\text{التغيّر في الزمن}}$$

$$a = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}$$

$$= \frac{15 \times 1000}{5 \times 1 \times 60 \times 60} = (0.83)m/s^2$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

إنّ قيمة العجلة منطقية لسيّارة أو عربة نقل.

مراجعة الدرس 1-1

أوّلًا – ضع علامة (✓) في المربّع الواقع أمام الإجابة الأنسب لكلّ ممّا يلي:

1. واحدة ممّا يلي ليست من الكمّيات الفيزيائية الأساسية وهي:

☐ الطول

☐ الكتلة

☐ الزمن

☐ العجلة

2. الوحدة الدولية للكتلة هي:

☐ الجرام

☐ الطن

☐ الكيلوجرام

☐ الميلّيجرام

ثانيًا – ماذا يُقصَد بكلّ من:

(أ) المتر العياري

(ب) الكيلوجرام العياري

(جـ) الثانية العيارية

ثالثًا – اكتب الكمّيات الفيزيائية لمعادلات الأبعاد التالية:

mLt^{-2} ، $mL^{-1}t^{-2}$ ، $mL^{2}t^{-2}$

رابعًا – عرّف كلًّا من:

(أ) الحركة الانتقالية

(ب) الحركة الدورية

(جـ) الإزاحة

(د) السرعة العددية

خامسًا – متسابق قطع مسافة (4000)m خلال (30)min. احسب:

(أ) السرعة المتوسطة للمتسابق

(ب) المسافة التي يقطعها المتسابق خلال (1)h من بدء التسابق، إذا حافظ على السرعة المتوسطة نفسها.

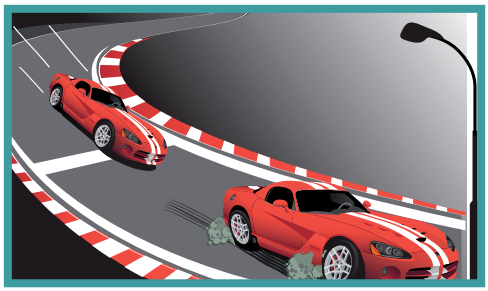
سادسًا – احسب عجلة سيّارة بدأت حركتها من السكون وبعد (15)s أصبحت سرعتها (60)km/h.

الدرس 1-2

معادلات الحركة المعجلة بانتظام في خطّ مستقيم
Equations of Uniformly Accelerated Rectilinear Motion

الأهداف العامة

- يذكر معادلات الحركة الخطّية المستقيمة.
- يربط معادلات الحركة بمواقف من الحياة اليومية.
- يكتسب المهارات الذهنية في حلّ الأمثلة والمسائل في الوحدة.



(شكل 28)
تسير السيّارة بحركة معجلة عندما يحدث تغيّر في حالة حركتها (تغيّر في مقدار السرعة أو الاتّجاه أو الاثنين معًا)

ناقشنا لدى دراستنا للكمّيات المتّجهة مفهوم الإزاحة وهو كمّية متّجهة تُمثَّل بالمسار المستقيم الذي يقطعه الجسم من نقطة إلى أخرى باتّجاه ثابت، وقارنا بينها وبين المسافة التي هي كمية عددية.

واستنتجنا الفرق بين السرعة المتّجهة والسرعة العددية، وانتقلنا من مفهوم السرعة المتّجهة المتغيّرة (المقدار أو الاتّجاه أو الاثنين معًا مع مرور الزمن) (الشكل 28) لنُعرّف الحركة المعجلة، وعرّفنا العجلة بأنّها تغيّر متجه السرعة خلال وحدة الزمن ووحدة قياسه هي (m/s^2).

في هذا الدرس، سوف ندرس **الحركة المتغيّرة في مقدار السرعة من دون الاتّجاه** أي الحركة المعجلة على خطّ مستقيم **والتي تُسمّى الحركة المعجلة بانتظام في خط مستقيم Uniformly Accelerated Rectilinear Motion** (أو الحركة الخطّية بعجلة ثابتة)، وسنكتب معادلتها ونستخدمها في حلّ بعض المسائل خلال الدرس.

1. معادلات الحركة المعجلة بانتظام
Equations of uniformly accelerated motion

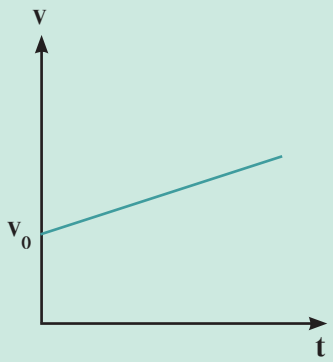
هناك ثلاث معادلات أساسية تربط بين المسافة والسرعة والعجلة والزمن في حالة الحركة بعجلة منتظمة، ويُمكن استنتاجها على النحو التالي:

– افترض أنّ هناك جسمًا يتحرّك على خطّ مستقيم **بسرعة ابتدائية Initial Speed** (v_0). ثمّ أخذت سرعته تتزايد بانتظام بمعدّل زمني ثابت

يُمثّل العجلة (a)، فإذا واصل الجسم حركته بهذا المعدّل لفترة زمنية (t)، فإنّ مقدار الزيادة في سرعته هي (at)، وتُصبح سرعته عند نهاية الزمن (t) هي:

$$\boxed{v = v_0 + at} \longrightarrow (1.1)$$

هذه علاقة تربط بين الكمّيات الأربع (t, v_0, a, v) فإذا عرفت ثلاث كمّيات منها يُمكنك حساب الكمّية الرابعة. ويمكن أن نمثّل العلاقة بين السرعة v والزمن t بخطّ مستقيم يساوي ميله مقدار العجلة (الشكل 29).



(شكل 29)

بعض الحالات الخاصة للعلاقة (1.1):

(أ) إذا بدأ الجسم حركته من سكون $(v_0 = 0)$ فإنّ:

$$v = at$$

(ب) إذا كانت العجلة تساوي صفرًا $(a = 0)$ فإن:

$$v = v_0$$

أي أنّ الجسم في هذه الحالة يتحرك بسرعة ثابتة.

مثال (1)

بدأت سيّارة حركتها من سكون، ثم أخذت سرعتها تتزايد بانتظام حتّى بلغت (60) km/h خلال خمس ثوانٍ. احسب مقدار العجلة لهذه السيّارة.

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم

المعلوم: السرعة الابتدائية $v_0 = (0)m/s$

السرعة النهائية $v = (60)km/h$

الزمن $t = (5)s$

غير المعلوم: العجلة؟

2. احسب غير المعلوم

باستخدام المعادلة الرياضية والتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة:

$$a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{60 \times 1000}{1 \times 60 \times 60 \times 5} = (3.33)m/s^2$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

تُعتبَر العجلة مقبولة لسيّارة انطلقت من سكون.

2. زمن الإيقاف أو التوقف Braking time

عندما يتحرّك جسم بعجلة سالبة، فإنّ سرعته الابتدائية (v_0) تتناقص تدريجيًّا إلى أن يتوقّف، أي أن السرعة النهائية (v) تُصبح مساوية للصفر، ويُسمّى الزمن الذي تُصبح فيه $(v = 0)$ بزمن التوقف (t). يُمكن حساب زمن التوقف (t) من المعادلة (1.1) وذلك بوضع $(v = 0)$ واستبدال

عجلة التسارع (a) بعجلة التباطؤ (−a) فنحصل على:

$$t = \frac{v_0}{a}$$

3. علاقة الإزاحة بالزمن والعجلة

إذا تحرّك جسم على خطّ مستقيم بعجلة منتظمة (a) وكانت سرعته الابتدائية (v_0) وبعد فترة زمنية (t) بلغت سرعته النهائية (v) وكان قد قطع مسافة (d) بين نقطتين خلال هذه الفترة، فإنّه يُمكننا إيجاد العلاقة بين هذه الكمّيات كالتالي:

الإزاحة (d) = متوسّط السرعة ($\bar{v}$) × الزمن (t)

$$d = \bar{v}t$$

وبما أنّ الحركة بعجلة منتظمة، فإنّ متوسّط السرعة ($\bar{v}$) هو:

$$\bar{v} = \frac{v + v_0}{2}$$

بالتعويض عن ($\bar{v}$) من المعادلة (1.1) فإنّ:

$$v = v_0 + at$$

$$\bar{v} = \frac{v_0 + at + v_0}{2} = v_0 + \frac{1}{2}at$$

$$d = (v_0 + \frac{1}{2}at)t$$

$$\boxed{d = v_0 t + \frac{1}{2}at^2} \longrightarrow (1.2)$$

العلاقة (1.2) تُعطي الإزاحة (d) بدلالة السرعة الابتدائية (v_0) والزمن (t) والعجلة (a).

بعض الحالات الخاصّة للعلاقة (1.2):

(أ) عندما يبدأ الجسم حركته من سكون ($v_0 = 0$) فإنّ

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

أي أنّ إزاحة جسم متحرّك بعجلة منتظمة مبتدئًا من السكون، وفي خطّ مستقيم تتناسب طرديًّا مع مربّع الزمن المستغرق في قطع هذه الإزاحة.

(ب) وعندما يكون مقدار العجلة يُساوي صفرًا (a = 0) فإنّ

$$\boxed{d = v_0 t}$$

وفي هذه الحالة يتحرّك الجسم بسرعة ثابتة تُساوي سرعته الابتدائية. ويكون أيضًا:

$$\boxed{\bar{v} = v_0}$$

مسائل مع إجابات

1. يتحرّك قطار بسرعة مقدارها (100)km/h . بعد كم ثانية يتوقّف القطار إذا كان مقدار عجلة التباطؤ ($a = -5\ m/s^2$)

الناتج: (5.55)s

2. جسم يتحرّك بسرعة (10)m/s بعد مرور (10)s أصبحت سرعته (30)m/s.
احسب المسافة التي قطعها إذا كانت سرعته تتزايد بانتظام.

الناتج: (200)m

مثال (2)

سيارة تتحرك بسرعة (90)km/h. ضغط قائدها على دوّاسة الفرامل بحيث تناقصت سرعة السيّارة بمعدّل ثابت حتّى توقف بعد مرور خمس ثوانٍ.
احسب مقدار: **(أ)** عجلة السيّارة خلال تناقص السرعة.
(ب) إزاحة السيّارة حتّى توقّفت حركتها.

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم

المعلوم: السرعة الابتدائية $v_0 = (90)km/h$

السرعة النهائية $v = (0)km/h$

زمن المستغرق للوقوف $t = (5)s$

غير المعلوم: العجلة – الإزاحة

2. احسب غير المعلوم:

لتحويل السرعة من (km/h) إلى (m/s):

(أ) $v_0 = 90 \times \frac{1000}{1 \times 60 \times 60} (25)m/s$

وباستخدام المعادلة الرياضية والتعويض عن المقادير المعلومة نحصل على:

$$v = v_0 + at$$

$$0 = 25 + 5a$$

$$a = -\frac{25}{5} = (-5)m/s^2$$

العجلة السالبة تعني أن سرعة الجسم تتناقص.

(ب) $d = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$

$$d = 25 \times 5 - \frac{1}{2} \times 5 \times 25 = (62.5)m$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

المسافة التي قطعتها السيارة قبل التوقّف كبيرة نسبيًّا، وهذا يشير إلى صعوبة إيقاف السيّارة المسرعة، ويدفعنا للتشديد على أهمّية مراعاة حدود السرعة على الطرقات، تجنّبًا للحوادث.

4. علاقة السرعة النهائية والمسافة والعجلة

من خلال دراستنا للحركة المعجلة بانتظام، يُمكن تعيين المسافة (d) من العلاقة:

$$d = \bar{v}t = \left(\frac{v + v_0}{2}\right) t$$

وأيضا من العلاقة (1. 1)، حيث:

$$t = \left(\frac{v - v_0}{a}\right)$$

تستطيع أن تحصل على d:

$$\therefore d = \left(\frac{v + v_0}{2}\right)\left(\frac{v - v_0}{a}\right) = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$$

$$\boxed{v^2 = v_0^2 + 2ad} \longrightarrow (1.3)$$

مراجعة الدرس 1-2

أوّلًا – اكتب معادلات الحركة المعجلة بانتظام في خط مستقيم.

ثانيًا – قطار يتحرّك بسرعة (80)m/s بعجلة منتظمة سالبة $(4)m/s^2$. أوجد الزمن اللازم لتوقّف القطار عند استخدام الفرامل واحسب كذلك إزاحة القطار حتّى يتوقّف.

ثالثًا – احسب سرعة متزلّج بعد (3)s من انطلاقه من السكون بعجلة $(5)m/s^2$.

رابعًا – احسب عجلة حركة سيّارة انطلقت من السكون لتصل سرعتها إلى (100)km/h خلال (10)s.

خامسًا – تتحرّك سيّارة بسرعة (30)m/s وقد قرّر السائق تخفيف السرعة إلى النصف مستخدمًا عجلة سالبة منتظمة قيمتها $a = (-3)m/s^2$.

(أ) أوجد الزمن اللازم لتخفيف هذه السرعة عند استخدام المكابح.

(ب) احسب المسافة التي تقطعها السيّارة حتّى تصل إلى السرعة المطلوبة.

سادسًا – يمثّل الرسم البياني المقابل العلاقة بين (السرعة – الزمن) لسيارة متحرّكة والمطلوب حساب:

(أ) المسافة التي تقطعها السيّارة بين s [20 ، 0]

(ب) المسافة التي تقطعها السيّارة بين s [40 ، 20]

(جـ) السرعة المتوسّطة للسيّارة

تجنّب مخاطر السرعة الزائدة

لتجنّب مخاطر السرعة الزائدة وحرصًا على أرواح المواطنين، لا بدّ من اتّباع الإرشادات المرورية خاصّة بالنسبة إلى السرعات المسموح بها لقيادة السيّارات على الطرق السريعة. مثلًا: كانت هناك سيّارة منطلقة بسرعة (150) km/h وفوجئ قائدها بسيّارة أخرى أمامه معطّلةً على الطريق، فضغط على دوّاسة الفرامل عندما كانت المسافة بينه وبين السيّارة المعطّلة (60) m، وكان مقدار العجلة السالبة $(5)\ m/s^2$. وبحساب السرعة التي تصطدم بها السيّارة المتحرّكة بالسيّارة المعطّلة وكذلك الزمن المستغرق من لحظة ضغط الفرامل حتّى لحظة الاصطدام نجد أنّ:

$$v^2 = v_0^2 + 2da$$

$$v \simeq 121\ km/h$$

ويحدث التصادم بعد فترة زمنية:

$$t = \frac{v - v_0}{a} = (1.6)\ s$$

نتيجة للسرعة الهائلة يحدث التصادم خلال ثانيتين من الضغط على دوّاسة الفرامل، ولك أن تتخيّل ماذا يحدث نتيجة لهذا التصادم!

الدرس 1-3

السقوط الحرّ
Free Fall

الأهداف العامة

- يُفسّر معنى السقوط الحرّ ويذكر العوامل المؤثّرة فيه .
- يستنتج معادلات الحركة لجسم ساقط في مجال الجاذبية الأرضية .
- يكتسب المهارات العملية في تعيين عجلة الجاذبية الأرضية .

(شكل 30)

نحن نعرف أنّه من الآمن التقاط بعض الأشياء عندما تسقط من ارتفاع لا يزيد عن المترين ولكنّه من غير الآمن التقاطها إذا سقطت من بالون طائر مثلًا . والسؤال الذي نُفكّر فيه ونطرحه هو: ما سبب هذا الفرق على الرغم من أنّنا نلتقط الجسم نفسه ولديه الكتلة نفسها؟

في هذا الدرس ، سوف نُجيب عن هذا التساؤل ونُوضّح العلاقة بين الارتفاع وسرعة السقوط ، وكيف تكتسب الأجسام سرعة أكبر خلال زمن سقوطها (الشكل 30) من مكان مرتفع أكثر من سقوطها من مكان قليل الارتفاع .

1. السقوط الحرّ في مجال الجاذبية الأرضية

Free Fall and Gravity

هل تتعجل التفاحة أثناء سقوطها من الشجرة؟

تتحرك التفّاحة من السكون، ثم تتزايد سرعتها أثناء سقوطها. ولكن مقدار الزيادة في هذه السرعة يتوقّف على الارتفاع الذي سقطت منه التّفاحة. فعندما تسقط من ارتفاع عالٍ يكون الزمن المستغرق لكي تصل التفّاحة إلى الأرض كبيرًا، ومن ثم تكتسب سرعة أكبر وهذا يعني أنّ حركة التفّاحة بعجلة تسارع موجبة.

تجعل الجاذبية الأرضية الأجسام تتعجل نحو الأسفل أثناء سقوطها، وفي الواقع يُؤثّر الاحتكاك مع الهواء على عجلة الأجسام، ولكن إذا تخيّلنا انعدام مقاومة الهواء، وإنّ الجاذبية هي الشيء الوحيد التي تُؤثّر في سقوط الجسم، يكون سقوط الجسم سقوطًا حرًّا.

أي أن السقوط الحرّ Free Fall هو حركة جسم من دون سرعة ابتدائية بتأثير ثقله فقط مع إهمال تأثير مقاومة الهواء (الشكل 31). يُوضّح (الجدول 4) قيمة السرعة اللحظية لجسم يسقط سقوطًا حرًّا كلّ ثانية. ومن خلال الجدول نُلاحظ ازدياد قيمة السرعة واكتساب الجسم للعجلة أثناء سقوطه،

ويُمكن احتساب هذه العجلة من العلاقة:

$$\text{العجلة} = \frac{\text{التغيّر في السرعة}}{\text{الزمن المستغرق}}$$

$$g = \frac{(10)\text{m/s}}{(1)\text{s}} = (10)\text{m/s}^2$$

عندما يكون التغيّر في مقدار السرعة (m/s) خلال فترة زمنية (s)، تكون **العجلة Acceleration** (m/s^2).

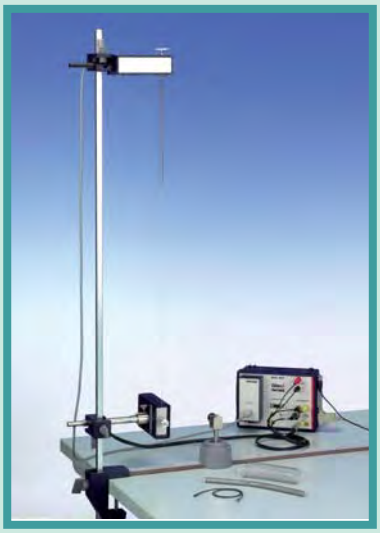
لذلك، فإنّ العجلة التي تسقط بها الأجسام سقوطًا حرًّا، مع إهمال مقاومة الهواء، هو في حدود $(10)m/s^2$، وفي حالة السقوط الحرّ يُرمَز للعجلة بالرمز (g)، إذ إن (g) هي عجلة الجاذبية الأرضية وهي تساوي تقريبًا $(9.8)m/s^2$ (للسهولة تُستخدَم $g = (10)m/s^2$ أثناء حلّ المسائل).

ولحساب السرعة اللحظية لجسم يسقط سقوطًا حرًّا تُستخدَم العلاقة:

السرعة اللحظية (v) = عجلة الجاذبية (g) × الزمن (t)

$$\boxed{v = gt} \longrightarrow (1.4)$$

وعلى المتعلّم أن يستخدم (الجدول 4) للتأكّد من العلاقة (1.4).



(شكل 31)
جهاز السقوط الحرّ مثبت عليه مؤشّر عدّاد السرعة، ويتمّ تسجيل السرعة اللحظية أثناء السقوط الحرّ مع الزمن.

السرعة اللحظية	الزمن المستغرق
0	0
10	1
20	2
30	3
40	4
50	5
:	:
:	:
10t	t

(جدول 4)

مسألة مع الإجابة

احسب أقصى ارتفاع يصل إليه جسم قُذِف رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ابتدائية $(40)m/s$

استعمل $g = (10)m/s^2$

الناتج: $d = (80)m$

مثال (1)

ما هي سرعة حجر يسقط نحو الأرض (سقوطًا حرًّا) وذلك بعد فترة زمنية قدرها (4.5)s من لحظة بدء السقوط ، وبعد (8)s من لحظة بدء السقوط ثمّ بعد (15)s من لحظة بدء السقوط؟

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم

المعلوم: الزمن t:

(أ) $t = (4.5)s$

(ب) $t = (8)s$

(جـ) $t = (15)s$

عجلة الجاذبية الأرضية: $g = (10)m/s^2$

غير المعلوم: السرعة: $v = ?$

2. احسب غير المعلوم:

باستخدام المعادلة الرياضية $v = gt$

بالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة نحصل على:

(أ) $(45)m/s$

(ب) $(80)m/s$

(جـ) $(150)m/s$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

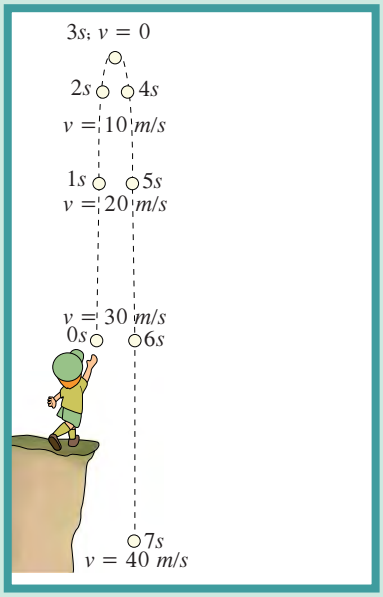
باستخدام (الجدول 4) يُمكن التأكّد من الإجابات.

حتّى الآن تمّت دراسة الأجسام التي تسقط سقوطًا حرًّا نحو الأرض، ولكن ماذا عن الأجسام التي تُقذَف لأعلى ثم بعد فترة زمنية، عند ارتفاع معيّن، تُغيّر اتّجاهها وتسقط سقوطًا حرًّا نحو الأرض؟

في اللحظة التي يتمّ فيها تغيّر اتّجاه حركة الجسم من أعلى إلى أسفل، تكون قيمة السرعة اللحظية مساوية للصفر، وفي تلك اللحظة (عند أعلى ارتفاع يصل إليه الجسم) يبدأ الجسم في السقوط سقوطًا حرًّا من السكون متّجهًا نحو الأرض. وفي أثناء حركة الجسم لأعلى، يتحرّك الجسم بسرعة متّجهة متناقصة إلى أن يصل مقدار السرعة للصفر. وفي تلك الفترة يتحرّك الجسم بعجلة تباطؤ منتظمة لأنّ مقدار السرعة يتغيّر في كلّ لحظة إلى أن تصل قيمتها إلى الصفر، وبعد ذلك يعكس الجسم اتّجاهه آخذًا في السقوط الحر على المسار السابق نفسه نحو الأرض ويبدأ بعجلة تسارع منتظمة.

كما هو موضّح في (الشكل 32)، يكون مقدار السرعة اللحظية متساويًا عند النقاط التي تبعد مسافات متساوية عن نقطة بداية الحركة سواء أكان الجسم متحرّكًا لأعلى أم لأسفل. وبالطبع تكون السرعة المتّجهة مختلفة لأنّها في اتّجاهين متعاكسين.

وأثناء كلّ ثانية من الحركة، يتغيّر مقدار كلّ من السرعة العددية، والسرعة المتّجهة بمعدّل (10)m/s كلّ ثانية، سواء أكان الجسم متحرّكًا لأعلى أم لأسفل.



(شكل 32)
معدّل تغيّر السرعة العددية في الثانية الواحدة يكون نفسه سواء أكان الجسم صاعدًا أم هابطًا.

1. السقوط الحرّ ومسافة السقوط

تختلف سرعة الأجسام المتحرّكة تمامًا عن المسافة التي تتحرّكها تلك الأجسام، فالسرعة العددية والمسافة شيئان مختلفان. ولكي نفهم هذا الفرق، نستخدم (الجدول 4) لأنّه في نهاية الثانية الأولى من الحركة تكون السرعة اللحظية للجسم الساقط هي (10)m/s.

ولكن هل هذا يعني أنّ الجسم سقط مسافة (10)m خلال الثانية الأولى؟ بالطبع لا. هناك فرق بين السرعة اللحظية والسرعة المتوسّطة المرتبطة بها، فعندما يبدأ الجسم بالسقوط من السكون (أي أنّ سرعته اللحظية تُساوي صفرًا) وبعد ثانية واحدة من السقوط أصبحت سرعته اللحظية (10)m/s، تكون سرعته المتوسّطة تُساوي (5)m/s. هذا يعني أنّ الجسم سقط مسافة (5)m. [لحساب القيمة المتوسّطة لأي عددين: نجمع العددين ثم نقسم النتائج على 2].

ولكي نفهم الفرق بين السرعة المتوسّطة والسرعة اللحظية ومسافة السقوط والعجلة نطرح المسألة التالية:

مثال (2)

خلال فترة زمنية مدّتها (1)s، في (الجدول 4)، كانت سرعة الجسم الابتدائية (10)m/s والنهائية (20)m/s. احسب قيمة متوسّط السرعة لهذا الجسم خلال تلك الفترة الزمنية. ما هي قيمة العجلة؟

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم

المعلوم: السرعة اللحظية الابتدائية: $v_0 = (10)m/s$

السرعة اللحظية النهائية: $v = (20)m/s$

المدة الزمنية: $t = (1)s$

غير المعلوم: **(أ)** السرعة المتوسّطة

(ب) العجلة

2. احسب غير المعلوم:

باستخدام العلاقة الرياضية:

(أ)
$$\bar{v} = \frac{v + v_0}{2}$$

بالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة نحصل على:

متوسّط السرعة: $(\bar{v}) = (15)m/s$

أما المسافة المقطوعة خلال هذه المدة تُساوي (15)m.

(ب) العجلة؟

باستخدام المعادلة الرياضية:

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

بالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة نحصل على:

$$a = \frac{(20)m/s - (10)m/s}{(1)s} = (10)m/s^2$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

من خلال الإجابات يتبيّن الفرق بين السرعة المتوسّطة والعجلة.

يُوضّح (الجدول 5) العلاقة بين المسافة الكلّية التي يتحرّكها جسم ساقط سقوطًا حرًّا من سكون، مقابل كلّ ثانية أثناء السقوط. فبعد مرور ثانية واحدة من بدء السقوط، نجد أنّ الجسم سقط مسافة مقدارها (5)m، وبعد مرور ثانيتين نجد أنّ المسافة الكلّية التي سقطها الجسم تُساوي (20)m. وهكذا تُحسَب هذه المسافات في نهاية كلّ فترة زمنية وذلك من خلال العلاقة الرياضية:

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

حيث $g = (10)m/s^2$

حاول أن تحسب مسافة السقوط الكلّية لبعض الفترات الزمنية مستخدمًا (الجدول 5).

مسافة السقوط (m)	الزمن المستغرق (s)
0	0
5	1
20	2
45	3
80	4
125	5
:	:
:	:
$\frac{1}{2} gt^2$	t

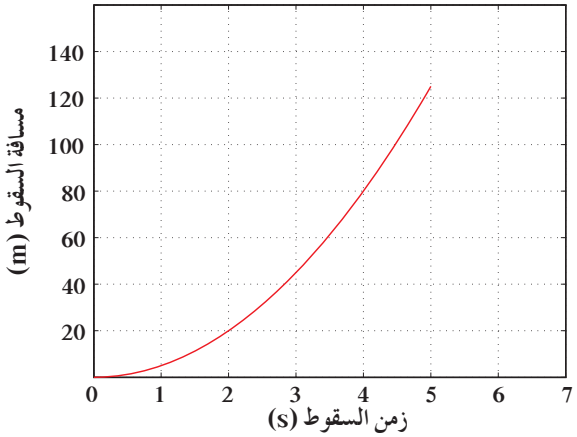
(جدول 5)

تنمية مهارة المقارنة

حاول أن تحصل على أربع قطع (أشياء) مختلفة الشكل والنوع، ولكن متّفقة في الحجم مثلًا: قطعة من القماش وأخرى من الورق وثالثة من البلاستيك ورابعة من الألومنيوم.

1. حاول أن تُسقط القطع الأربع من ارتفاع واحد (ثابت)، كلّ على حدة.
2. سجّل الزمن الذي يستغرقه كلّ جسم حتّى يصل إلى سطح الأرض.
3. قارن بين النتائج التي حصلت عليها. فسّر الاختلاف، إن وُجِد.

ويُمكن توضيح العلاقة بين المسافات التي يقطعها الجسم أثناء السقوط الحرّ بالنسبة إلى الزمن في الرسم البياني التالي:



مثال (3)

سقطت تفّاحة من شجرة، وبعد ثانية واحدة ارتطمت بالأرض.
احسب قيمة سرعة التفّاحة لحظة اصطدامها بالأرض. احسب متوسّط السرعة للتفاحة خلال تلك الثانية. ما هو ارتفاع التفّاحة عن الأرض عند بدء السقوط؟

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم

المعلوم: المدّة الزمنية

$$v_0 = (0)\text{m/s}$$

$$t = (1)\text{s}$$

غير المعلوم: **(أ)** السرعة لحظة الاصطدام بالأرض $v = ?$

(ب) متوسّط السرعة $\bar{v} = ?$

(جـ) مسافة السقوط $d = ?$

2. احسب غير المعلوم:

(أ) باستخدام العلاقة الرياضية: $v = gt$

بالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة نحصل على:

$$v = (10)\text{m/s}^2 \times (1)\text{s} = (10)\text{m/s}$$

(ب) وباستخدام العلاقة الرياضية:

$$\bar{v} = \frac{v + v_0}{2}$$

$$\bar{v} = \frac{(10)\text{m/s} + (0)\text{m/s}}{2} = (5)\text{m/s}$$

(جـ) أمّا المسافة d فيُمكن حسابها بالطريقتين:

$$d = \bar{v} \times t = (5)\ \text{m/s} \times (1)\text{s}$$

أو

$$d = \left(\frac{1}{2}\right) gt^2 = \frac{1}{2}(10)\text{m/s}^2 \times (1^2)\text{s}^2 = (5)\text{m}$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

باستخدام (جدول 5)، تحقّق من صحّة إجاباتك.

3. السقوط الحرّ: وزمن السقوط

لاحظنا ممّا سبق أنّ هنالك علاقة بين المسافة التي يقطعها الجسم (d) أثناء السقوط الحرّ والمدّة الزمنية التي استغرقتها عملية السقوط.

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

باستخدام هذه المعادلة يُمكن استنتاج زمن السقوط $t = \sqrt{\frac{2d}{g}}$

4. معادلات السقوط الحرّ

بما أنّ السقوط هو حركة مستقيمة بعجلة منتظمة حيث قيمة العجلة تُساوي (g)، يُمكننا استخدام معادلات الدرس الثاني «حركة مستقيمة بعجلة منتظمة» لاستنتاج معادلات السقوط الحرّ بتعويض (g) مكان (a) لنحصل على:

سرعة السقوط اللحظية: $v = gt$

مسافة السقوط: $d = \frac{1}{2} gt^2$

أمّا المعادلة التي تربط السرعة بالمسافة: $v^2 = 2gd$

5. سقوط الأجسام ومقاومة الهواء لها

حاول أن تُسقط عملة معدنية، وريشة أحد الطيور من ارتفاع معيّن وفي آن واحد. تُلاحظ أنّ العملة المعدنية تصل إلى سطح الأرض أسرع من الريشة (الشكل 33). إنّ **مقاومة الهواء Air Resistance** في الواقع هي المسؤولة عن هذا الاختلاف في قيمة العجلة التي تكتسبها كلّ من العملة المعدنية والريشة. ويُمكن التأكّد من تلك الحقيقة عن طريق إجراء التجربة التالية:

1. ضع العملة المعدنية وريشة أحد الطيور في أنبوب زجاجي كما هو موضّح في (الشكل 34).
2. اقلب الأنبوب وما في داخله، مع وجود الهواء في داخله، فنُلاحظ أنّ العملة المعدنية تسقط بسرعة، في حين أنّ الريشة تتحرّك ببطء.
3. حاول أن تُفرغ الأنبوب من الهواء الموجود في داخله، ثم اقلبه بسرعة بمحتوياته.

تُلاحظ أنّ كلّ من الريشة والعملة يسقطان جنبًا إلى جنب كما هو موضّح في (الشكل 34) وبعجلة منتظمة تساوي $g = (10)m/s^2$.

يُمكن أن تُؤثّر مقاومة الهواء في حركة أجسام، مثل الريشة أو الورقة، ولكنّ تأثيرها أقلّ بكثير على الأجسام المصمتة، مثل حجر أو كرة. وفي الكثير من الأحيان تكون مقاومة الهواء صغيرة جدًّا بحيث نهملها لتُصبح حركة سقوط الجسم سقوطًا حرًّا.

(شكل 33)
تُؤثّر مقاومة الهواء على سرعة الريشة والعملة المعدنية أثناء السقوط.

(شكل 34)
كلّ من العملة المعدنية والريشة يكتسب العجلة نفسها في حال عدم وجود مقاومة للهواء. ويمكنك إثبات ذلك بإجراء النشاط 3 في كتاب الأنشطة.

«زمن التحليق» (زمن الارتقاء)

بعض الأشخاص، مثل لاعبي كرة السلّة وراقصي الباليه، لديهم القدرة على القفز إلى أعلى. في لحظة القفز إلى أعلى يُقاومون الجاذبية الأرضية. حاول أن تسأل زميلك: ما هو الزمن الذي يستغرقه مثل هذا اللاعب في الارتقاء إلى أعلى ثم العودة إلى الأرض؟

هل هو ثانية واحدة أو ثانيتان أو أكثر؟ في الواقع إنّ زمن الارتقاء إلى أعلى هو أقلّ من ثانية واحدة. يُمكن قياس القدرة على القفز إلى أعلى كما يلي:

1. قف مواجهًا لأحد حوائط الفصل مثبتًا قدميك على الأرض، ورافعًا إحدى ذراعيك **إلى أعلى**.
2. ضع علامة على الحائط بجوار أعلى ارتفاع تصل إليه ذراعك وأنت واقف على الأرض.
3. اقفز **إلى أعلى**، ثمّ ضع علامة أخرى مقابلة لأعلى ارتفاع تصل إليه ذراعك بعد القفز.
4. المسافة بين العلامتين تُعبّر عن أقصى ارتفاع يُمكنك أن تقفز إليه إلى أعلى في حدود (0.6)m.

ماذا يعني هذا فيزيائيًّا؟

الجواب: عندما تقفز إلى أعلى، فهناك قوى تُحاول أن تدفع أرضية المكان الذي تقف عليه، فكلّما كان مقدار دفع قدميك إلى الأرض كبيرًا، كانت سرعة القفز كبيرة ومن ثمّ يحدث ارتقاء أكبر إلى أعلى. ويجب أن تُلاحظ أنّه عندما ترتقي بقدميك إلى أعلى بعيدًا عن الأرض، فإنّ سرعة الارتقاء تبدأ بالتناقص حتّى تصل إلى الصفر عند أقصى ارتفاع [وذلك لأنّه عند الارتقاء إلى أعلى تكون الحركة بعكس اتّجاه الجاذبية الأرضية (−g)]. وعندما يصل الجسم إلى أقصى ارتفاع، يبدأ بالسقوط مكتسبًا معدّل مقدار السرعة نفسه ولكن في اتّجاهه نحو الأرض (+g).

يتّضح ممّا سبق أنّ زمن الصعود إلى أعلى يُساوي زمن السقوط إلى أسفل، وبذلك يكون زمن التحليق = زمن الصعود إلى أعلى + زمن السقوط إلى أسفل.

لذلك تتأثّر قدرة التحليق في الهواء بحركة القدمين والذراعين وأيّ أشياء أخرى قد ترتطم بالجسم، ومن ثم فهي تُؤثّر على زمن التحليق.

العلاقة بين زمن الصعود أو زمن السقوط وأقصى ارتفاع للقفز إلى أعلى تُعطى بواسطة:

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

وفي حالة معرفة أقصى ارتفاع للقفز إلى أعلى، يُمكن إعادة صياغة العلاقة السابقة على النحو التالي:

$$t = \sqrt{\frac{2d}{g}}$$

(شكل 35)
ما قيمة أقصى ارتفاع يُمكنك أن تقفزه إلى أعلى؟

في إحدى مباريات كرة السلّة (الشكل 35) كانت أقصى قفزة إلى أعلى قد سجّلها أحد اللاعبين هي 1.25 m ، وبذلك يكون نصف زمن التحليق هو:

$$t = \sqrt{\frac{2(1.25\ m)}{9.8\ m^2}} = (0.5)s$$

وعليه فإنّ زمن التحليق = زمن الصعود + زمن السقوط = زمن الصعود × 2 = (1)s

مراجعة الدرس 1-3

أوّلًا – ما المقصود بكلّ ممّا يلي:

(أ) السقوط الحرّ

(ب) زمن التحليق

(جـ) أقصى ارتفاع

ثانيًا – يقوم صبيّ بإفلات قطعة نقدية معدنية من شرفة منزله، ويقوم بقياس الزمن اللازم لوصولها إلى الأرض فيجد أنّه (2.5)s . ما هو الارتفاع الذي تمّ السقوط منه؟

ثالثًا – لو تخيّلنا أنّ التجربة السابقة تمّ إجراؤها على القمر حيث عجلة الجاذبية تُساوي $\frac{1}{6}$ ما كانت عليه على الأرض، ومن الارتفاع ذاته، فكم سيكون زمن السقوط؟

رابعًا – يسقط حجر من قمّة برج شاهق الارتفاع. عند وصوله إلى الطابق الثلاثين ذي الارتفاع (105)m ، استطاع أحدهم أن يقيس سرعة السقوط فوجد أنّها تساوي (40)m/s . كم ستبلغ هذه السرعة عند ارتطام الحجر بالأرض؟

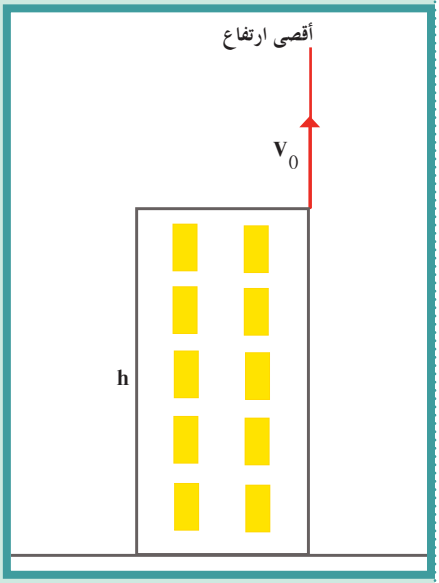
خامسًا – أُطلِق جسم من سطح مبنى باتّجاه رأسي إلى أعلى وبسرعة ابتدائية v_0 = (20)m/s كما يبدو في الصورة (شكل 36).

(أ) احسب بُعد الجسم عند اللحظة t = (1)s بالنسبة إلى سطح المبنى.

(ب) احسب أقصى ارتفاع يصل إليه الجسم فوق سطح المبنى.

(جـ) احسب سرعة الجسم على ارتفاع (15)m فوق سطح المبنى.

(د) احسب ارتفاع المبنى (h) إذا كان زمن سقوط الجسم يُساوي (5)s (من لحظة الإطلاق إلى لحظة الوصول إلى الأرض).



(شكل 36)

الفصل الثاني

القوّة والحركة
Force and Motion

الدرس الأوّل
- مفهوم القوّة والقانون الأوّل لنيوتن

الدرس الثاني
- القانون الثاني لنيوتن – القوّة والعجلة

الدرس الثالث
- القانون الثالث لنيوتن والقانون العامّ للجاذبية

(شكل 37)
لا بدّ من التأثير بقوة أخرى بجانب قوة محرّك السيّارة لكي تتحرّك السيّارة ، لأنّ الثلج يُعيق تحرّكها .

إنّ السكون والحركة هما من الظواهر الطبيعية في هذا الكون . فنجد أنّ حالتي السكون والحركة للأجسام قد استحوذتا على اهتمام الكثير من الفلاسفة والفيزيائيين بين مختلف الأمم وعلى مرّ العصور .

وترتّب على هذا الاهتمام نتائج فكرية وعلمية كثيرة ، ومن ثمّ نشأ فرع جديد من فروع الفيزياء يهتمّ بحركة الأجسام وأسبابها ويُسمّى الميكانيكا .

تُوضّح الصورة أعلاه مدى صعوبة حركة السيّارة من دون أن تؤثر قوة كافية لتحريكها . قد نستطيع أن نُحرّك السيّارة وذلك عند تشغيل محرّكها ، ولكن في هذه الحالة قد تكون القوّة الناتجة عن محرّك السيارة غير مجدية ، حيث إنّه لا توجد قوى احتكاك بين إطارات السيّارة والأرض . ولكي تتحرّك السيارة لا بدّ من قوّة أخرى بجانب قوّة محرّك السيّارة حتّى تستطيع السيّارة أن تتحرّك .

الدرس 2-1

مفهوم القوّة والقانون الأوّل لنيوتن
Concept of Force and Newton's First Law

الأهداف العامة

- يعرّف القوة كمتّجه.
- يعرّف القصور الذاتي وعلاقته بالكتلة.

(شكل 38)

نحن نعلم أنّ الكتاب الموضوع على الطاولة لا يُمكن أن يتحرّك من تلقاء ذاته، وأنّ السيّارات أو المركّبات لا تتوقف من دون استعمال المكابح ولا تتحرّك أو تُغيّر سرعتها من دون قوّة المحرّك. وتعلّمنا في درس السقوط الحرّ أنّ حركة السقوط الحرّ اعتمدت على قوّة خارجية أثّرت على الجسم وهي قوّة الجاذبية الأرضية. وتعلّمنا أنّ أوراق الشجر تسقط بفعل الجاذبية، ولكنّ الهواء يُغيّر حركتها فلا تسقط عموديًّا كما هو مفترض. ومن هذه الأمثلة وغيرها نفهم العلاقة السببية بين القوّة والحركة.

فالقوّة Force هي المؤثّر الخارجي الذي يُؤثّر على الأجسام مسبّبًا تغييرًا في شكل الجسم أو حجمه أو حالته الحركية أو موضعه.

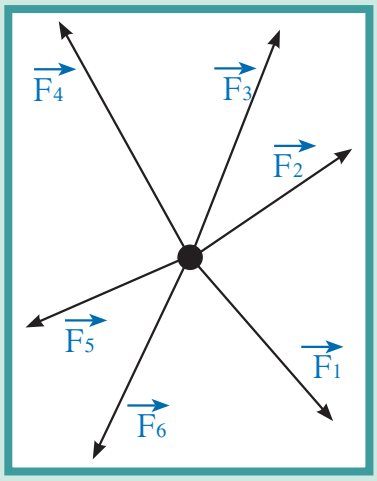
1. مفهوم القوّة كمتّجه

القوّة كمّية متّجهة تتحدّد بثلاثة عناصر:

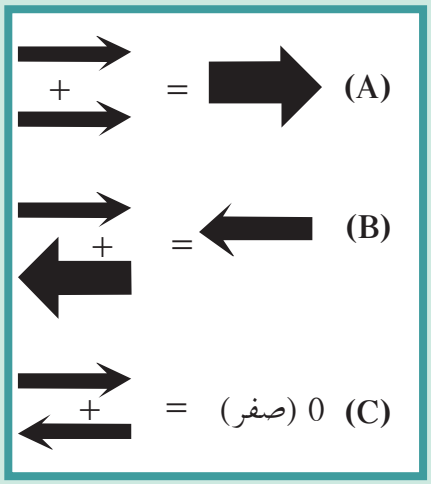
1. نقطة التأثير 2. الاتّجاه 3. المقدار (الشدّة)

إذا أثّرت عدّة قوى مستوية على نقطة مادّية، فإنّ هذه القوى لا بدّ أن تكون متلاقية عند نقطة التأثير كما هو موضّح في (الشكل 39).

فمن الممكن أن تُؤثّر قوّتان أو أكثر على جسم ما من دون أن تُغيّر من حالته التي هو عليها من سكون أو حركة، بسرعة متّجهة ثابتة، إذ إنّ هذه القوى يُلغي بعضها تأثير البعض الآخر.



(شكل 39)
تلاقي القوى المؤثّرة عند نقطة التأثير.



(شكل 40)
القوّة المحصّلة (مقدارًا واتّجاهًا) نتيجة تأثير قوّتين على نقطة ما تُساوي:
(A) حاصل جمعهما
(B) ناتج طرحهما
(C) صفر (يُلغي كلّ منهما الآخر).

بعبارة أخرى، تُساوي محصّلة هذه القوى صفرًا (جمع اتّجاهي). ومن ثمّ يلزم وجود قوى محصّلتها لا تُساوي صفرًا، وعادة ما تُسمّى قوى غير متّزنة، وذلك لإحداث تغيير في حالة جسم ما من سكون إلى حركة أو العكس. وفي غياب قوّة محصّلة مؤثّرة، يبقى الجسم الساكن ساكنًا، ويبقى الجسم المتحرّك في خطّ مستقيم متحرّكًا بسرعة متّجهة منتظمة (الشكل 40).

2. تطوّر مفهوم القوّة والحركة من أرسطو إلى جاليليو

منذ القرن الرابع قبل الميلاد، كان العلماء يعتقدون أنّه لا بدّ من بقاء القوّة المؤثّرة على الجسم لكي يظلّ الجسم متحرّكًا. فإذا رفعت القوّة عن الجسم، زال تأثيرها وتوقّف الجسم عن الحركة. منذ ذلك الحين، قام العالم اليوناني أرسطو بتقسيم الحركة إلى نوعين:

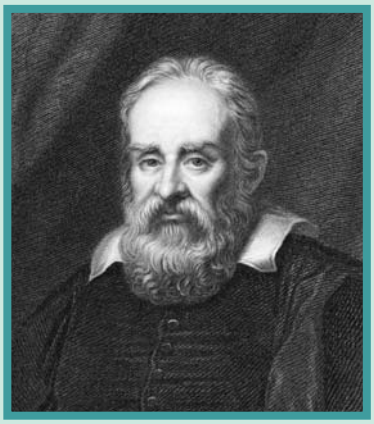
1. حركة طبيعية Natural motion
2. حركة غير طبيعية Violent motion

تتمثّل الحركة الطبيعية على الكرة الأرضية في سقوط بعض الأشياء نحو الأرض (سقوط الأحجار مثلًا) أو اندفاع بعض الأشياء إلى الأعلى بعيدًا عن الأرض (تصاعد الأبخرة في الهواء الجوّي، على سبيل المثال). ومن ثمّ، فإنّ الحركة الطبيعية تعني سقوط الأشياء ثقيلة الوزن إلى أسفل نحو الأرض، وارتفاع الأشياء خفيفة الوزن إلى الأعلى بعيدًا عن الأرض في اتّجاه حركة الهواء الجوّي.

من جهة أخرى، فإنّ الحركات غير الطبيعية تنشأ نتيجة تأثير قوى خارجية، مثل قوة السحب أو قوّة الدفع. على سبيل المثال، تُسحَب السيّارة أو تندفع بواسطة القوّة الناشئة عن محرّكها، كما تندفع السفينة الشراعية بواسطة دفع الرياح.

أمّا جاليليو (الشكل 41) فقد أدرك أنّ القوّة غير ضرورية لكي تُحافظ الأشياء على حركتها، وعرّف قوّة **الاحتكاك Friction** المعاكسة لاتّجاه القوة الأصلية وقد عرف أنّ مقدار قوّة الاحتكاك يعتمد على طبيعة سطح الجسم المتحرّك وشكله والسطح الذي يتحرّك عليه الجسم. إذا كان السطح وأسفل الجسم مصقولين، فإنّ الجسم سوف يتحرّك إلى الأبد من دون توقّف. أمّا إذا كان السطح أو أسفل الجسم غير مصقولين، فإن الجسم سوف يتوقّف عن الحركة بعد فترة زمنية معيّنة، وذلك نتيجة قوّة الاحتكاك.

وقد أجرى جاليليو عدّة تجارب للتأكّد من الفكرة السابقة، وذلك عن طريق دحرجة كرة ناعمة الملمس على أسطح مصقولة ذات زوايا ميل مختلفة، كما هو موضّح في (الشكل 42).



(شكل 41)
العالم الإيطالي جاليليو (1564 – 1642)
من مؤسّسي الطريقة العلمية (المنهج العلمي) في الاكتشافات العلمية الحديثة

العلوم والتكنولوجيا والمجتمع

لماذا يُستخدَم محمّل الكريات (Ball bearing) في الأجزاء الداخلية للآلات الميكانيكية؟

تعمل قوى الاحتكاك دائمًا ضدّ القوى الأصلية المسبّبة للحركة، وفي الكثير من الأحيان تُتلَف الأجزاء الداخلية للآلات الميكانيكية نتيجة لقوّة احتكاك بعضها ببعض. وبالطبع، هذا يهدر الكثير من الأموال. ومن ثمّ قام الفنّيون باستخدام ما يُسمّى بمحمّل الكريات ball bearing ووضعه بين الأجزاء المتحرّكة داخل الآلات الميكانيكية. ويتكوّن محمّل الكريات من مجموعة من الكريات الصغيرة ذات الأسطح المصقولة الناعمة. وتكاد تكون قوى الاحتكاك بينها منعدمة، وبذلك استطاع الفنيّون تقليل قوى الاحتكاك بين الأجزاء المتحرّكة داخل الآلات الميكانيكية.

على سبيل المثال، يُستخدَم محمّل الكريات بين عمود الحركة الواصل بين محرّك السيّارة وإطاراتها، كما تُستخدَم الشحوم والزيوت أيضًا لكي تُقلّل من تأثير قوّة الاحتكاك بين الأسطح الداخلية للأجزاء المتحرّكة داخل الآلات الميكانيكية، كمحرّك السيّارة.

(شكل 42)

(A) عندما تتدحرج الكرة إلى أسفل، نجد أنّها تتحرّك في اتّجاه الجاذبية الأرضية، وبالتالي تزداد سرعتها.
(B) عندما تتدحرج الكرة إلى أعلى، نجد أنّها تتحرّك بعكس اتّجاه الجاذبية الأرضية، وبالتالي تتناقص سرعتها.
(C) عندما تتدحرج الكرة على مستوى أفقي، فإنّها لا تتحرّك في اتّجاه الجاذبية أو بعكسها. هل تتغيّر سرعة الكرة حينما تتحرّك أفقيًّا؟

وقد وجد جاليليو أنّ الكرة التي تتدحرج على أسطح مستوية ومصقولة، تتحرّك دائمًا بسرعة ثابتة. وبسبب عدم وجود قوّة الاحتكاك، فإنّ مثل هذه الحركة تستمرّ إلى الأبد ومن دون توقّف (الشكل 42C).

وقد توصّل جاليليو أيضًا إلى أنّ مادّة الجسم المتحرّك قد تُبدي مقاومة للتغيّر الحادث في حالة حركة الجسم ككل، وهذا ما يُسمّى القصور الذاتي.

3. القانون الأول لنيوتن – قانون نيوتن للقصور الذاتي

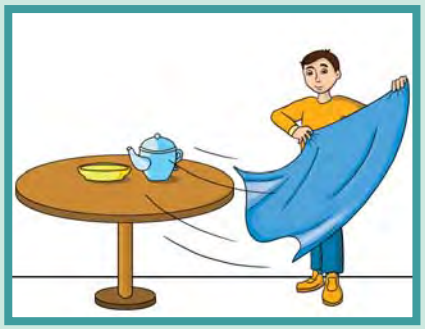
وُلِد إسحق نيوتن سنة 1642 (الشكل 43). وعندما بلغ الرابعة والعشرين من عمره، استطاع أن يُعيد صياغة النتائج التي توصّل إليها جاليليو في ما يُسمّى بالقانون الأوّل لنيوتن، والذي عادة ما يُسمّى قانون القصور الذاتي.

وينصّ القانون على أنّه «**يبقى الجسم الساكن ساكنًا، ويبقى الجسم المتحرّك في خطّ مستقيم متحرّكًا بسرعة منتظمة ما لم تُؤثّر على أيّ منهما قوّة تُغيّر في حالتهما**» (الشكل 44). نستطيع أن نُدرك القسم الأوّل من القانون بسهولة، وذلك من خلال ملاحظاتنا اليومية. فالجسم الساكن يبقى ساكنًا ما لم تُؤثّر عليه قوّة تُحرّكه.

أمّا القسم الثاني من القانون فيُمكن تصوّره من خلال راكب الدرّاجة الموضح في (الشكل 45) الذي يُحرّك الدوّاسة برجليه فيجعل الدرّاجة تنطلق على الطريق.

بعد ذلك، يتوقّف راكب الدرّاجة عن تحريك الدوّاسة، ولكن يُلاحظ أنّ الدرّاجة تستمرّ في الحركة إلى أن تقف بعد مسافة ما.

(شكل 43)
إسحق نيوتن (1642 – 1727) أحد العلماء العظماء في المجال العلمي حيث ساهمت أفكاره في الكثير من العلوم، مثل الرياضيات والفلك والفيزياء والميكانيكا. توصّل إلى قوانين الحركة المعروفة باسمه وكان في منتصف العشرينيات من عمره.



(شكل 44)
تظلّ الأشياء ساكنة ما لم تُؤثّر عليها قوّة خارجية.

(شكل 45)
ماذا يحدث لراكب الدرّاجة عندما تقف الدرّاجة فجأة؟ ما هي القوّة التي تُؤثّر على راكب الدرّاجة؟

ويعتمد طول هذه المسافة أو قصرها على عدّة عوامل، منها:

1. القصور الذاتي لكلّ من راكب الدرّاجة والدرّاجة
2. قوى الاحتكاك بين إطارات الدرّاجة والطريق
3. مقاومة الهواء
4. استخدام راكب الدرّاجة لدوّاسة الفرامل

استكشف بنفسك

حاول أن تركب درّاجة، ثمّ بيّن العلاقة بين العوامل السابقة وطول المسافة التي تقطعها الدرّاجة عند توقّفك عن تحريك الدوّاسة.

سؤال

ماذا يحدث لو أنّ قوّة التجاذب بين الشمس ومجموعة الكواكب المرتبطة بها قد اختفت؟ وما هو شكل المسار الذي سوف تتحرّك فيه تلك الكواكب؟

الإجابة:

سوف تتحرّك الكواكب بسرعة ثابتة المقدار والاتّجاه وفي خطّ مستقيم وليس في مسارات شبه دائرية كما هي الآن.

الكتلة مقياس القصور الذاتي

حاول أن تقذف بإحدى قدميك علبة فارغة من الصفيح (الشكل 46). كرّر المحاولة ثانية بالعلبة نفسها بعد ملئها بالرمل، ثمّ كرّرها مرّة ثالثة بالعلبة نفسها ولكن بعد ملئها بمسامير من الحديد. بالطبع هناك اختلاف في التأثير الواقع على قدمك في الحالات الثلاث. ففي حالة العلبة المملوءة بالمسامير، نجد أن كتلتها كبيرة، أي أنّ القصور الذاتي لها كبير أيضًا. لذلك، هي تحتاج إلى قوّة قذف أكبر لتغيير حالتها الحركية.

أمّا في حالة العلبة المملوءة بالرمل فنجد أنّ تأثير (الكتلة – القصور الذاتي) أقلّ، وأنّ تأثيرها على القدم يكون قليلًا. وفي حالة العلبة الفارغة فإنّ تأثير (الكتلة – القصور الذاتي) يكون قليلًا جدًّا، فهي ليست بحاجة إلى قوّة كبيرة لتغيير حالتها الحركية.

فالقصور الذاتي Inertia هو الخاصّية التي تصف ميل الجسم إلى أن يبقى على حاله ويُقاوم التغيّر في حالته الحركية. وهناك علاقة بين القصور الذاتي وكتلة الجسم، فالقصور الذاتي للسيّارة أكبر من القصور الذاتي للدرّاجة، حيث إنّ كتلة السيّارة أكبر من كتلة الدرّاجة.

(شكل 46)
يُمكنك أن تُقدّر كميّة المادّة الموجودة في العلبة عندما تركلها بقدمك.

تطبيقات حياتية

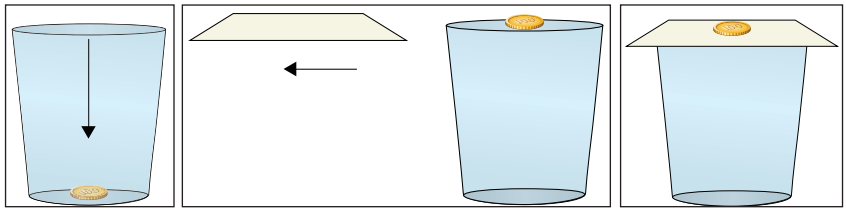
على القصور الذاتي

بماذا تُفسّر؟

- اندفاع التلاميذ إلى الأمام عند توقّف باص المدرسة فجأة ومحاولة كلّ منهم الاستناد إلى الآخر أو الإمساك بأحد أجزاء الباص الثابتة.
- تأكيد شرطة المرور على ضرورة استخدام حزام الأمان الموجود داخل السيّارة عند قيادة السيّارة أو الانتقال بها.

أسئلة تحليلية

1. هل kg (2) من الحديد لهما ضعف مقدار القصور الذاتي لـ kg (1) من الحديد؟ اشرح.
2. هل kg (2) من الموز لهما ضعف مقدار القصور الذاتي لـ kg (1) من البرتقال؟



(1)
قطعة نقدية في حالة سكون موضوعة على ورقة فوق كأس فارغة

(2)
تُسحَب الورقة بشدّة وتتحرّك بعجلة أفقيًّا. لم تتحرّك القطعة النقدية أفقيًّا لأنّ قوّة الاحتكاك بينها وبين الورقة صغيرة. ولكن في اللحظة نفسها هناك قوّة عدم اتّزان تُؤثّر على القطعة رأسيًّا، هي قوّة الجاذبية.

(3)
سقوط القطعة النقدية داخل الكأس

(شكل 47)
يُفسّر القصور الذاتي على ضوء القانون الأوّل لنيوتن حيث يظلّ الجسم ساكنًا أو متحرّكًا بسرعة ثابتة وفي خطّ مستقيم ما لم تُؤثّر عليه قوّة خارجية تُغيّر في سرعته المتّجهة.

مراجعة الدرس 2-1

أوّلًا – ما هو الشرط اللازم لاتزان عدّة قوى متلاقية في نقطة؟
ثانيًا – عرّف القوة المتجهة، وما هي الوحدة التي تُقاس بها؟
ثالثًا – اكتب نصّ القانون الأوّل لنيوتن.
رابعًا – وضّح كيف استفاد نيوتن من تجارب جاليليو للحركة.
خامسًا – ما معنى القصور الذاتي، كيف يُمكن الاستدلال عليه عمليًّا؟
سادسًا – وضّح كيف يُمكن التغلّب على قوى الاحتكاك في الآلات الميكانيكية؟

ارتباط الفيزياء بعلم الفضاء

انظر بعناية إلى الصورة، ثم فسّر لماذا يتحرّك مكّوك الفضاء إلى أعلى.

من المعروف أنّ غزو الفضاء بدأ عام 1961. ومنذ ذلك الحين، هناك العديد من الرحلات لمركّبات الفضاء Space ships. وتستمدّ مركّبات الفضاء قوّتها من خلال قوّة دفع الصاروخ الذي يحملها إلى الفضاء الخارجي. وبعد ذلك، تبدأ مركبة الفضاء بالالتحاق بالمدار الخاصّ بها وتستمرّ في حركتها وتحليقها في الفضاء من خلال القصور الذاتي لها. ومن ثمّ فإنّ مركبة الفضاء لا تعتمد على قوى أخرى خارجية لكي تستمرّ في حركتها، ولكن هناك قوى أخرى يُمكن أن تُؤثّر عكسيًّا على حركة مركبة الفضاء، مثل قوى جذب الكواكب والنجوم المحيطة بها.

الدرس 2-2

القانون الثاني لنيوتن – القوّة والعجلة
Newton's Second Law–Force and Acceleration

الأهداف العامة

- يستنتج العلاقة بين العجلة وكلّ من القوّة والكتلة.
- يذكر الصيغ اللفظية والرمزية للقانون الثاني لنيوتن.
- يذكر أنّ القانون الأوّل لنيوتن حالة خاصّة من القانون الثاني ويُفسّره.
- يفسّر العلاقة بين السقوط ومقاومة الهواء.

(شكل 48)
القطار الدّوار هو أحد ألعاب المدينة الترفيهية الذي يعتمد على الحركة المعجلة

معظم الأشياء التي تتحرّك من حولنا تبدأ حركتها من سكون، ثمّ تزداد سرعتها مع مرور الوقت، وأحيانًا يحدث تباطؤ للحركة، وأحيانًا أخرى يتغيّر مسار الحركة. ليس هناك قوّة محدّدة تُؤثّر في حركة مثل هذه الأشياء، وحركة هذه الأشياء تُسمّى **الحركة المعجلة Accelerated motion** (الشكل 48). من هنا نجد أنّ للعجلة دورًا في معرفة إلى أيّ مدى تستطيع هذه الأشياء تغيير حركتها. عرفنا في ما سبق أنّ العجلة تعني معدّل التغيّر في متّجه السرعة خلال وحدة الزمن:

$$\text{العجلة} = \frac{\text{التغيّر في متجه السرعة}}{\text{الزمن المستغرق}}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t}$$

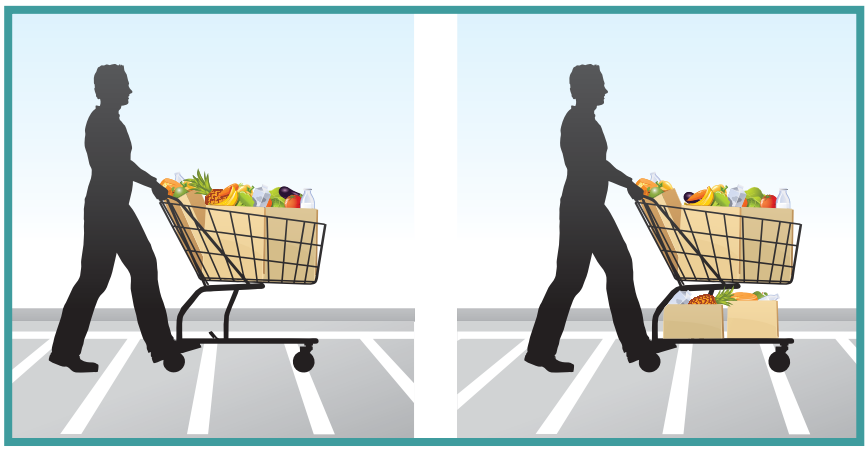
1. القوّة المسببة للحركة المعجلة بانتظام في خط مستقيم

نفترض أنّ هناك جسمًا في حالة سكون، مثل كرة الهوكي (الشكل 49)، وأنّ لاعب الهوكي قام بقذف الكرة بالمضرب الخاصّ بها. عندئذ، سنجد أنّ الكرة تتحرّك بسرعة معيّنة لمسافة ما.

(شكل 49)
تتغيّر حالة كرة الهوكي عندما تضرب بالمضرب الخاصّ بها.

كيف انتقلت الكرة من السكون إلى الحركة؟ عند قذف الكرة بالمضرب، نجد أنّ قوّة المضرب أكسبت الكرة عجلة جعلتها تُغيّر من حالتها الساكنة إلى حالتها الحركية. إذا كانت القوّة تُسبّب عجلة. فقد تؤثّر مجموعة من القوى على الجسم. فكيف ستكون العجلة الناتجة ؟ العجلة التي يكتسبها الجسم تتوقف على محصلة القوى الخارجية المؤثّرة عليه ولا تتغيّر الحالة الحركية للجسم عندما تكون محصّلة هذه القوى الخارجية معدومة. وعليه، فإنّ العجلة تتناسب طرديًّا مع القوة المحصّلة.

العلاقة بين القوّة والكتلة والعجلة



(شكل 50)
ماذا يجب أن يحدث لكي تتحرّك العربتان بالعجلة نفسها؟

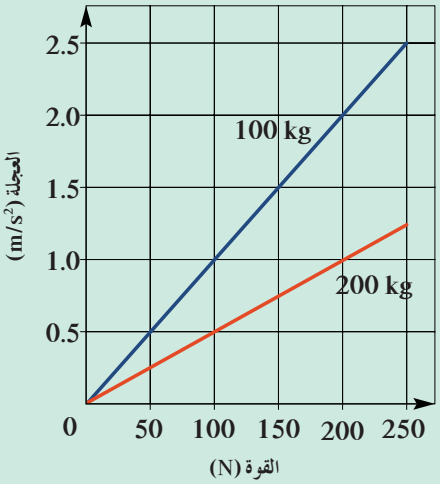
في (الشكل 50)، نجد أنّ هناك شخصًا يؤثّر بمقدار ثابت من القوّة Force على عربة تحتوي على أشياء معيّنة. ويُلاحَظ عندما اختلفت كتلة الأشياء الموجودة في العربة، مع استمرار التأثير بمقدار القوة السابقة نفسها، أنّ مقدار العجلة قد قلّ. ويلاحظ أيضًا أن العربة التي تحتوي على كميات أكثر، تتحرك بعجلة أقل، أي أنّ العلاقة هي علاقة تناسب عكسي بين الكتلة (m) والعجلة (a).

سؤال:

لكي تتحرّك كلّ من العربتين بالعجلة نفسها، ما هو مقدار الكتلة الذي يجب إضافته إلى العربة الأخرى؟

الإجابة:

إن التغيّر في مقدار القوة المحصّلة يُؤدّي إلى التغيّر في العجلة. فعندما تُبذَل قوّة أكبر على إحدى العربات، مع ثبات مقدار كتلة كلّ من العربتين، نجد أنّ العربة التي أثّرت عليها قوّة أكبر تتحرّك بعجلة أكبر. ومن خلال العلاقة البيانية الموضّحة في (الشكل 51) يُمكن الاستدلال على العلاقة بين القوّة والعجلة والكتلة.



(شكل 51)
علاقة بيانية بين القوّة والعجلة مع اختلاف الكتل

ونجد أنّ الجسم الذي كتلته (100)kg يتحرّك بعجلة أكبر من الجسم الذي كتلته (200)kg تحت تأثير القوّة المحصّلة نفسها، أي أنّ العلاقة بين الكتلة والعجلة هي علاقة تناسب عكسي.

تُوضّح العلاقة البيانية أيضًا تأثير القوّة والكتلة على العجلة التي يتحرّك بها الجسم. فعند مقارنة ميل الخطّ المستقيم (فرق الصادات/فرق السينات) لكلّ جسم على حدة، نجد أنّ الجسم الذي كتلته (100)kg يتحرّك تحت تأثير القوّة المحصّلة نفسها بعجلة تُساوي ضعف العجلة التي يتحرّك بها الجسم الذي كتلته (200)kg.

3. القانون الثاني لنيوتن

بعد أن وصف القانون الأوّل لنيوتن ما يحدث عندما لا تُؤثّر قوّة خارجية على جسم مادّي، جاء القانون الثاني لنيوتن ليستكمل العلاقة بين القوّة والحركة، ويصف ما يحدث عندما تُؤثّر القوّة المحصّلة على جسم ما.

وينصّ القانون الثاني لنيوتن على أنّ «**العجلة التي يتحرّك بها جسم ما تتناسب طرديًّا مع القوّة المحصّلة المؤثّرة على الجسم، وعكسيًّا مع كتلته**».

والمعادلة الرياضية للقانون هي:

$$\text{العجلة} \ \alpha \ \frac{\text{القوى المحصلة}}{\text{الكتلة}}$$

$$a \ \alpha \ \frac{F}{m} \longrightarrow (2.1)$$

حيث (α) تعني تتناسب طرديًّا. ومن علاقة التناسب هذه، يمكننا أن نستنتج أنّ مقدار العجلة يكون كبيرًا إذا كانت محصّلة القوى المؤثرة على الجسم كبيرة (الشكل 52).

في حال استخدام وحدات ثابتة لكلّ من العجلة والكتلة، على سبيل المثال، الكتلة (kg) والعجلة (m/s^2)، تُصبح وحدة القوة (N)، وبذلك تتّخذ المعادلة رقم (2.1) المعادلة الرياضية التالية:

$$a(m/s^2) = \frac{F(N)}{m(kg)}$$

وهذا يعني أنّه إذا كان هناك جسم كتلته (1)kg ويتحرّك بعجلة مقدارها $(1)m/s^2$، فإنّ القوّة المحصّلة المؤثّرة على الجسم تُساوي (1)N. وعليه يُمكن تعريف النيوتن **بأنّه القوّة اللازمة لجسم كتلته (1)kg لكي يتحرّك بعجلة مقدارها $(1)m/s^2$.**

وعليه، يتكوّن القانون الثاني لنيوتن في صورته الرياضية من ثلاث كمّيات فيزيائية هي: القوّة والعجلة والكتلة. وبالتالي، يُمكن حساب أيّ كمّية بينها بمجرّد معرفة الكمّيتين الأخريين.

(شكل 52)
الحركة بعجلة كبيرة نتيجة محصّلة قوّة هائلة

مثال (1)

ما هي القوّة اللازمة لتحريك طائرة كتلتها (30 000)kg بعجلة مقدارها $(1.5)m/s^2$؟

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم:

المعلوم: الكتلة: $m = (30\ 000)kg$

العجلة: $a = (1.5)m/s^2$

غير المعلوم: القوّة: $F = ?$

2. احسب غير المعلوم:

باستخدام القانون الرياضي: $F = ma$. بالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة نحصل على:

$$F = m\ a$$
$$= 30\ 000(kg) \times 1.5(m/s^2)$$
$$= (45\ 000)kg.\ m/s^2$$
$$= (45 \times 10^3)N$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

4. تحتاج الطائرات إلى قوّة كبيرة للتحرّك.

مثال (2)

احسب العجلة التي تتحرّك بها سيّارة كتلتها (1000)kg عندما تؤثّر عليها قوّة مقدارها (2000)N؟ كم ستكون قيمة العجلة إذا ضاعفنا القوّة لمثلي ما كانت عليه؟

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل:

اذكر المعلوم وغير المعلوم:

المعلوم: الكتلة: $m = (1000)kg$

القوّة: $F = (2000)N$

غير المعلوم: العجلة: $a = ?$

2. احسب غير المعلوم:

باستخدام القانون الرياضي: $a = \frac{F}{m}$. بالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة نحصل على:

(أ) $$a = \frac{F}{m} = \frac{2000}{1000} = (2)m/s^2$$

(ب) إذا ضوعفت القوّة لتُصبح $F = (4000)N$، تُصبح العجلة:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{4000}{1000} = (4)m/s^2$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

عندما تتضاعف القوّة، لا بدّ أن تتضاعف العجلة نظرًا لعلاقة التناسب الطردي بين القوّة والعجلة.

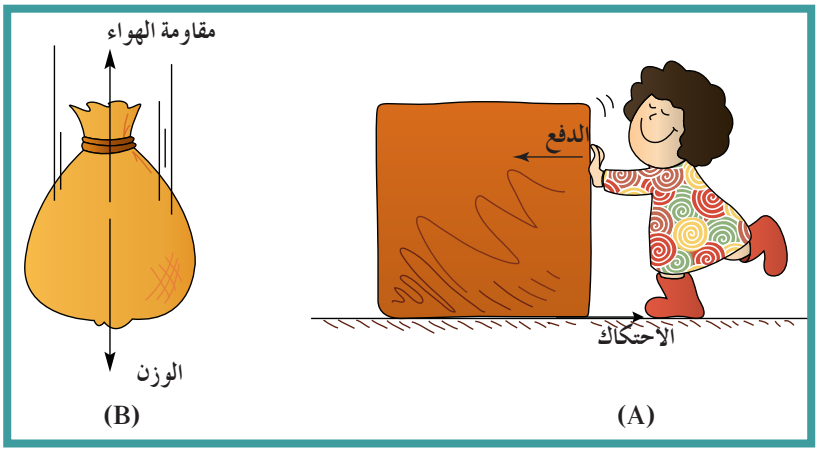
4. الاحتكاك

درسنا في سياق سابق تأثير **الاحتكاك Friction** على حركة الأجسام.
ويحدث الاحتكاك بين أسطح الأجسام عندما يلامس بعضها ببعض الآخر أثناء الحركة، ودائمًا ما يكون اتّجاه قوة الاحتكاك بعكس اتّجاه القوّة المسبّبة للحركة. وتعتمد قوّة الاحتكاك بين الأسطح على طبيعة مادّة كلّ سطح، ومدى القوّة الذي يُؤثّر بها كلّ من السطحين على السطح الآخر. فعلى سبيل المثال، ينتج عن التصاق المطّاط بالحجر (الخرسانة) قوّة احتكاك أكبر من تلك التي تنجم عن التصاق مادّتين صلبتين. لهذا السبب تمّ استبدال الفواصل الصلبة للطرق بأخرى من الخرسانة الأسمنتية حتّى يتمّ التصاق السيّارات أكثر لزيادة الاحتكاك والمساهمة في توقّف السيّارة في حال تعطّل المكابح (الشكل 53).

لا تنتج قوّة الاحتكاك فقط من التصاق الموادّ الصلبة، ولكن هناك قوّة احتكاك في السوائل والغازات أيضًا. فهناك ما يُسمّى مقاومة الهواء لبعض الأشياء التي تتحرّك من خلاله بسرعات عالية، ويُعتبَر هذا نوعًا من قوى الاحتكاك.

لا يُمكن ملاحظة مقاومة الهواء سوى للأشياء التي تتحرّك بسرعات عالية. فمثلًا، لا يُمكن ملاحظة تأثير مقاومة الهواء على الشخص الذي يجري في الهواء الطلق، في حين أنّه يُلاحَظ تأثير مقاومة الهواء على الشخص الذي يركب درّاجة بسرعة عالية.

وعند حدوث الاحتكاك، من المحتمل أن تتحرّك الأشياء بسرعة ثابتة بالرغم من وقوعها تحت تأثير قوّة خارجية. في هذه الحالة تكون قوّة الاحتكاك متّزنة مع محصّلة القوى الأخرى، أي أنّ المحصّلة الإجمالية للقوى المؤثّرة على الجسم تُساوي صفرًا. ومن ثمّ يكفّ الجسم عن التحرّك بعجلة، وبالتالي يتحرّك بسرعة ثابتة وفي خطّ مستقيم، كما في (الشكل 54).



(شكل 54)
يكون اتّجاه قوّة الاحتكاك دائمًا بعكس اتّجاه القوّة المسبّبة للحركة.
(A) يكون اتّجاه قوّة الاحتكاك ناحية اليمين عندما يُدفَع الصندوق ناحية اليسار.
(B) يكون اتّجاه مقاومة الهواء إلى أعلى أثناء سقوط الكيس إلى أسفل.

أسئلة تطبيقية مع إجابات

1. سيّارة تتحرّك بعجلة $(2)m/s^2$. ما هي قيمة عجلتها إذا سحبت سيّارة أخرى مساوية لها في الكتلة.

الناتج: $(1)m/s^2$

2. ما نوع الحركة التي تُسبِّبها قوّة ثابتة على جسم ساكن؟

الناتج: حركة معجلة بانتظام اعتمادًا على القانون الثاني لنيوتن.

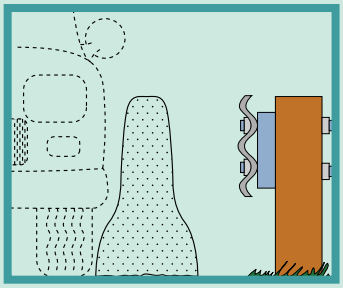
3. افترض أنّ طائرة كانت تُحلّق في السماء بسرعة ثابتة، عندما كانت قوّة دفع محرّكها تُساوي $(80000)N$.

(أ) ما مقدار العجلة التي تتحرّك بها الطائرة؟

(ب) احسب مقدار قوّة مقاومة الهواء للطائرة.

الناتج: **(أ)** $a = (0)m/s^2$

(ب) مقاومة $= (80\ 000)N$



(شكل 53)
شكل مقطعي لفاصل طرق من الخرسانة وآخر من الصلب. ويُلاحَظ أنّ الفاصل الخرساني أعرض من الفاصل الصلب حتّى يُساعد السيّارات على تخفيف سرعتها عند احتكاك الدولاب بها.

من خلال (الشكل 54)، نجد أنّ الصندوق يتحرّك بسرعة ثابتة عندما تتزّن قوّة الدفع مع قوّة الاحتكاك. وكذلك نجد أنّ الكيس يسقط بسرعة ثابتة عندما تتّزن القوّة الناتجة عن مقاومة الهواء (إلى أعلى) مع وزن الكيس (إلى أسفل).

5. تفسير السقوط الحرّ

أثبت جاليليو أنه مهما اختلفت كتل الأشياء فإنّ جميعها يسقط بعجلة منتظمة، ويصل إلى سطح الأرض في وقت واحد، وذلك في حال أهملنا قوّة مقاومة الهواء. ففي حال السقوط الحرّ للأجسام، يكون تأثير مقاومة الهواء على الأشياء قليلًا بالمقارنة مع كتلة تلك الأشياء. فعلى سبيل المثال، عند سقوط جسمين كتلة أحدهما (10)kg والآخر (1)kg من ارتفاع محدد، سنجد أنّ الجسمين يصلان لسطح الأرض في الوقت نفسه تقريبًا.

أجرى جاليليو هذه التجربة بالفعل من فوق برج بيزا في إيطاليا (الشكل 55)، وكانت سببًا في تقويض فكرة أرسطو التي تنصّ على أنّ «الأجسام ذات الكتل الكبيرة تصل إلى سطح الأرض في زمن أقلّ من الأجسام ذات الكتل الصغيرة، وذلك في حال السقوط من الارتفاع نفسه» (الشكل 56). ويُمكن تفسير ذلك بتطبيق القانون الثاني لنيوتن: ففي حال السقوط الحرّ للأجسام، تكون النسبة بين القوّة المؤثّرة على جسم ما (وزن الجسم) إلى كتلته ثابتة مهما اختلفت كتل الأجسام، وتُساوي هذه النسبة عجلة السقوط الحرّ (g)، حيث:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{mg}{m} = g$$

علمنا ممّا سبق أنّ وزن حجر كتلته (1)kg هو (9.8)N على سطح الأرض، كما أنّ وزن جسم آخر كتلته (10)kg هو (98)N على سطح الأرض أيضًا. ومن المعروف أنّ القوّة التي تُؤثّر على كلّ من الجسمين أثناء السقوط هي قوّة جذب الأرض (وزن الجسم إلى أسفل)، وباستخدام القانون الثاني لنيوتن نجد:

بالنسبة إلى الجسم الأوّل:

$$a = \frac{F\ (\text{الوزن})}{m} = \frac{9.8\ N}{1\ kg}$$

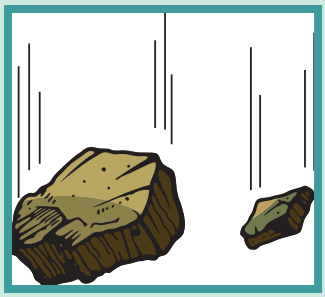
$$g = \frac{9.8\ kg.m/s^2}{1\ kg} = 9.8\ (m/s^2)$$

بالنسبة إلى الجسم الثاني:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{98\ N}{10kg} = 9.8\ (m/s^2) = g$$

يتّضح من هنا أنّ في حال السقوط الحرّ، يسقط كلّ من الجسمين بعجلة ثابتة (عجلة السقوط)، وذلك لأنّ القوّة المحصّلة على كلّ من الجسمين

(شكل 55)
تجربة جاليليو الشهيرة لسقوط الأشياء



(شكل 56)
نسبة الوزن (القوّة) إلى الكتلة ثابتة مهما اختلفت كتل الأجسام، وهي تُساوي عجلة السقوط الحرّ.

هي الوزن الخاصّ لكلّ منهما فقط. كما أنّ نسبة الوزن إلى الكتلة ثابتة لكلّ منهما (تُساوي عجلة الجاذبية)، كما يتّضح في (الشكل 56).

سؤال:

لو كنت على سطح القمر وفي لحظة معيّنة ومن ارتفاع محدّد (على سطح القمر أيضًا) حاولت أن تُسقط جسمين وهما قطعة من الحديد وريشة طائر، فهل يرتطمان بسطح القمر في اللحظة نفسها؟

الإجابة:

نعم، وقد تمّت هذه التجربة بالفعل (الشكل 57). عندما يكون وزن كلّ من قطعة الحديد وريشة الطائر على سطح القمر يُساوي $\frac{1}{6}$ وزنهما على سطح الأرض، ونظرًا لعدم وجود هواء على سطح القمر وبالتالي غياب ما يُسمّى مقاومة الهواء، وبذلك تكون نسبة الوزن إلى الكتلة ثابتة لكلّ من الجسمين. فيسقط كلا الجسمين سقوطًا حرًّا بعجلة تساوي $\frac{g}{6} = (1.63)m/s^2$ ويصلان لسطح القمر في اللحظة نفسها.

(شكل 57)
السقوط الحرّ لقطعة حديد وريشة طائر على سطح القمر

6. السقوط الحرّ ومقاومة الهواء

عرفنا ممّا سبق أنّه عندما تسقط الأجسام سقوطًا حرًّا في وسط مفرغ من الهواء، فإنّها تصل جميعها إلى سطح الأرض في فترة زمنية واحدة مهما اختلفت كتلها. ولكن يختلف الوضع في حالة السقوط في وسط يملأه الهواء: فمثلًا نجد أنّ قطعة العملة المعدنية تصل إلى سطح الأرض في زمن أقلّ من الريشة، وذلك لأنّ تأثير مقاومة الهواء على الريشة أكبر منه على العملة المعدنية. وفي هذه الحالة تكون القوّة المحصّلة الكلّية المؤثّرة على الجسم الساقط هي:

القوة المحصلة = وزن الجسم – مقاومة الهواء

وعندما يكون وزن الجسم أكبر من قوّة مقاومة الهواء (كما في حالة العملة المعدنية) فإنّه يصل إلى سطح الأرض في زمن أقلّ. وعندما يكون الجسم أقلّ وزنًا (كما في حالة ريشة الطائر) فإنّه يستغرق زمنًا أطول للوصول إلى سطح الأرض. وعندما يتّزن وزن الجسم مع قوّة مقاومة الهواء، فهذا يعني أنّ القوّة المحصّلة الكلّية تُساوي صفرًا. بالتالي، فإنّ العجلة تساوي صفرًا، وهذا يُؤدّي إلى تحرّك الجسم بسرعة ثابتة تُسمّى السرعة الحدية Terminal speed.

إنّ تأثير مقاومة الهواء قليل بالمقارنة مع وزن العملة المعدنية، وذلك في حالة السرعات الصغيرة. وفي هذه الحالة، تتحرّك العملة المعدنية بعجلة أقلّ من عجلة السقوط (g). فمن المحتمل أن تسقط العملة المعدنية تحت تأثير وزنها لعدّة ثوانٍ فقط قبل أن تزداد سرعتها، وتُلغي قوّة مقاومة الهواء تأثير وزنها. وفي تلك اللحظة تُصبح سرعة العملة المعدنية تساوي تقريبًا (200) km/h، وهذه السرعة تُسمّى السرعة الحدية للعملة المعدنية.

وفي حالة لاعبي القفز الحرّ (الشكل 58) نجد أنّ السرعة الحدية تتراوح

بين (150)km/h و (200)km/h وهي تعتمد على كلّ من وزن واتّجاه حركة لاعبي القفز الحرّ. وعليه، يبلغ الشخص الأثقل وزنًا سرعة حدية أكبر من الشخص الأخفّ وزنًا، وبذلك يكون للوزن الأكبر ولاتّجاه دوران الأجسام تأثير في التحليق في الهواء.

(شكل 58)
يصل لاعبو القفز الحرّ إلى السرعة الحدية عندما تتساوى قوّة مقاومة الهواء مع أوزانهم.

هناك علاقة طردية بين مساحة سطح الجسم المعرّض للهواء ومقدار قوّة مقاومة الهواء له: فكلّما اتّسعت مساحة السطح المعرّض للهواء، ازداد مقدار قوّة مقاومة الهواء للجسم. ويتّضح هذا في حالة السنجاب الطائر (الشكل 59)، الذي يُحاول أن يزيد من مساحة سطح جسمه المعرّض للهواء حتّى يستطيع أن يتحكّم في سرعته الحدية.

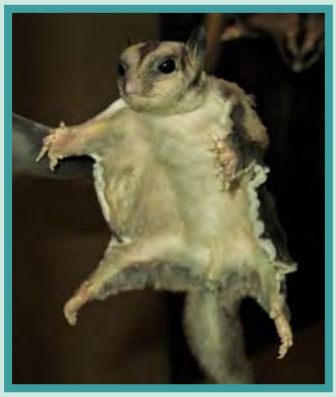
كما هي أيضًا الحال بالنسبة إلى جندي المظلّات (المظلّة تعني الباراشوت) يُحاول أن يزيد من قوّة مقاومة الهواء له لكي يتحكّم في سرعته الحدية (سرعة سقوطه إلى أسفل) التي تبلغ (20)km/h – (15)km/h)، وهي سرعة منخفضة نسبيًّا لجعل سقوط الشخص الذي استخدم المظلّة (الباراشوت) آمنًا.

سؤال:

قام جنديان من سلاح المظلّات (الشكل 60)، يحملان النوع والحجم نفسه من الباراشوت بفتح الباراشوت الخاصّ بكلّ منهما من الارتفاع نفسه وفي الوقت نفسه. إذا كان أحد الجنديين أثقل وزنًا من الآخر، فأيّهما يصل إلى سطح الأرض أوّلًا؟

الإجابة:

بالطبع سوف يصل الشخص الأثقل وزنًا إلى سطح الأرض أوّلًا. فيبلغ الشخص الأخفّ وزنًا، كما في حال ريشة الطائر، السرعة الحدية خلال وقت أقلّ (بعد فتحه الباراشوت)، في حين أنّ الشخص الأثقل وزنًا يستمرّ في السقوط بعجلة حتّى تصل سرعته الحدية إلى قيمة أكبر من سرعة الشخص الأخفّ وزنًا. بالتالي سيتقدّم الشخص الأثقل وزنًا الشخص الأخفّ وزنًا أثناء سقوطهما، وتزداد المسافة الفاصلة بينهما أثناء حركتهما وحتّى هبوطهما على سطح الأرض.

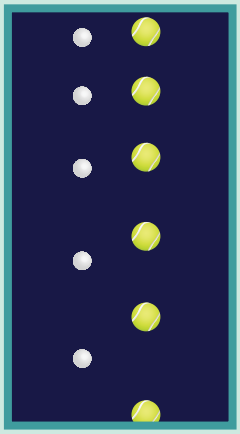


(شكل 59)
يزيد السنجاب الطائر من مساحة جسمه عن طريق الانبساط الخارجي، ما يُؤدّي إلى زيادة قوّة مقاومة الهواء له، ومن ثمّ يقلّل من سرعة سقوطه.

(شكل 60)
جنود من سلاح المظلّات

تطبيق

إذا أخذنا كرتين، إحداهما كرة التنس (أثقل وزنًا) والأخرى كرة تنس الطاولة (أخفّ وزنًا):
فماذا يحدث في حال أسقطنا كلتا الكرتين من ارتفاع منخفض؟
سوف ترتطم كلتا الكرتين بسطح الأرض في الوقت نفسه، فماذا يحدث لو أسقطنا الكرتين من ارتفاع عالٍ؟
سوف نُلاحظ أنّ الكرة الأثقل وزنًا سوف ترتطم بسطح الأرض أوّلًا، وذلك نتيجة لتعاظم دور قوّة مقاومة الهواء بالنسبة إلى الأجسام المتحرّكة بسرعة عالية، في حين أنّها تقلّ بالنسبة إلى الأجسام المتحرّكة بسرعة منخفضة. ومن ثمّ فإنّ تأثير مقاومة الهواء يبدو واضحًا بالنسبة إلى الكرة الأخفّ وزنًا، وبذلك تكون عجلة السقوط الخاصّة بتلك الكرة أقلّ من عجلة سقوط الكرة الأخرى (الشكل 61).
عندما أجرى جاليليو تجربته الشهيرة (سقوط أجسام مختلفة الكتلة من فوق برج بيزا في إيطاليا)، وجد أنّ الجسم الأثقل وزنًا قد ارتطم بالأرض أوّلًا، ولكن كان هناك فرق زمني بسيط بينه وبين الجسم الأخفّ وزنًا.
اختلف بالطبع هذا كثيرًا عمّا كان شائعًا في تلك الفترة (أفكار أرسطو).
والآن نستطيع أن نجزم بأنّه لولا القانون الثاني لنيوتن بشأن الحركة، لما استطعنا أن نفهم سلوك سقوط الأجسام.



(شكل 61)
كرتان: إحداهما كرة التنس والأخرى كرة تنس الطاولة. كرة التنس أثقل وزنًا فتتغلّب على مقاومة الهواء وتزداد عجلتها. أيهما يصل إلى السرعة الحدية أوّلًا؟ ولماذا؟

مراجعة الدرس 2-2

أوّلًا – ما هي العلاقة بين القوّة وكل من الكتلة والعجلة؟ وضّح إجابتك بواسطة التمثيل البياني.
ثانيًا – اكتب نصّ القانون الثاني لنيوتن.
ثالثًا – احسب العجلة التي تتحرّك بها سيّارة كتلتها (500) kg بتأثير محصّلة قوى مقدارها (1200) N.
رابعًا – لديك جسمان متماثلان في الكتلة، أحدهما كيس من القطن والآخر قطعة من الحديد. إذا ألقيت بهما في لحظة واحدة من ارتفاع واحد، فأيّ منهما يصل إلى سطح الأرض أوّلًا؟ فسّر ما تقول.
خامسًا – ما هي قوّة الاحتكاك؟ وفي أيّ اتّجاه تعمل؟
سادسًا – وضّح فكرة عمل الباراشوت. وكيف يُمكن أن يتمّ الهبوط به بأمان؟

الدرس 2-3

القانون الثالث لنيوتن والقانون العامّ للجاذبية
Newton's Third Law and Universal Gravitational Law

الأهداف العامة

- يذكر نصّ القانون الثالث لنيوتن ويُقدّم تفسيرًا لبعض الظواهر والمشاهدات الحياتية.
- يدرك معنى الفعل وردّ الفعل في المواقف المختلفة.
- يذكر النصّ اللفظي والصيغة الرمزية للقانون العامّ للجاذبية، ويُطبّقه.
- يُقدّم تفسيرًا علميًّا لبعض المشاهدات الحياتية في ضوء القانون العام للجاذبية.

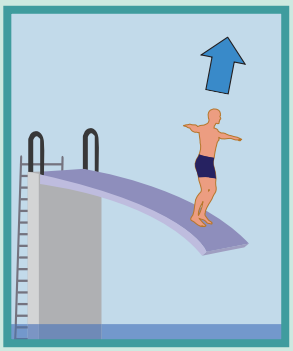
(شكل 62)
أثناء حركة القدمين ندفع الأرض إلى أسفل وفي الوقت نفسه تدفع الأرض القدم إلى أعلى، هذا هو مثال على الفعل وردّ الفعل.

إذا انحنيت بشدة فمن الممكن أن تسقط، أمّا إذا انحنيت ويداك ممدودتان لتُلامس الحائط فإنّك لن تسقط. فعندما تدفع بقوّة باتّجاه الحائط، فإنّ الحائط يدفعك بدوره وبالتالي لن تسقط. اسأل زملاءك عن سبب عدم سقوطك. كم منهم سيُجيب «لأنّ الحائط يدفعك ويجعلك ثابتًا في مكانك»؟ ربّما عدد قليل. وحده من يعلم بقوانين الفيزياء يُدرك أنّ الجدران يمكنها أن تدفعنا بالقوّة عينها التي ندفعها بها وباللحظة نفسها، وتمامًا كما يحدث عندما نمشي على الأرض (الشكل 62).

1. التأثير المتبادل والقوّة

تناول نيوتن في قانونه الثالث طبيعة القوى المؤثّرة على الأجسام. فقد أوضح أنّ القوى تكون دائمًا مزدوجة: إذا أثّر جسم على آخر بقوّة، فإنّ هذا الأخير يُؤثّر بدوره على الأوّل، أي أنّ التأثير متبادل بين الجسمين. ففي رياضة التجذيف، يقوم المجذاف بدفع الماء لكي يندفع القارب بعيدًا عن الشاطىء (الشكل 63). وكذلك الحال بالنسبة إلى الذين يُمارسون

(شكل 63)
أعضاء فريق التجذيف يبذلون أقصى جهد يُعادل قوّة رد الفعل



(شكل 64)
إلى أيّ مدى تُؤثّر قوّة فعل لوحة الغطس في أداء الغطّاس؟

رياضة الغطس: فعندما يدفع الغطّاس لوحة الغطس نحو الأسفل، نجد أنّ لوحة الغطس ترتدّ عكسيًّا. وهي بذلك تُعطي الغطّاس قوّة تدفعه نحو الأعلى (الشكل 64). وعليه، فإنّ هناك ما يُسمّى بالفعل (قوّة تُبذَل من جسم ما) وردّ الفعل (قوّة أخرى مساوية للقوّة الأولى في المقدار، ومضادّة لها في الاتّجاه، وهي تُبذَل من الجسم الآخر). ولقد صاغ نيوتن النتائج التي حصل عليها في ما يُسمّى بالقانون الثالث لنيوتن الذي ينصّ على أنّ: «**لكلّ فعل ردّ فعل Action and Reaction مساوٍ له في المقدار ومعاكس له في الاتّجاه**». يتزامن الفعل مع ردّ الفعل، وبالتالي لا يحصل الفعل قبل ردّ الفعل.

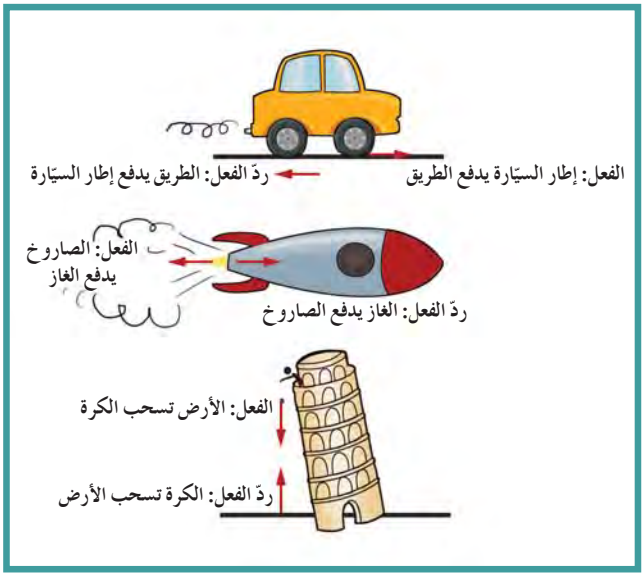
2. معنى الفعل وردّ الفعل Action and Reaction

في بعض الحالات، نجد صعوبة في التمييز بين قوى الفعل وردّ الفعل. فمثلًا، ما هو الفعل ورد الفعل في حال سقوط حجر؟ قد نقول إنّ قوّة جذب الأرض للحجر تُمثّل قوّة الفعل، ولكن هل يُمكننا تحديد قوّة ردّ الفعل؟ هل هي وزن الحجر؟ بالطبع لا، إذ يُعتبَر الوزن صورة أخرى من قوّة الجذب للحجر. هل هي قوّة تنتج مع هبوط الحجر نحو سطح الأرض؟ أيضًا، الإجابة لا، لأنّ تأثير سطح الأرض لا يظهر على الحجر إلّا عند ارتطامه به. وعليه فإنّ هناك خطوات لكي تدرك معنى الفعل وردّ الفعل.

في البداية لا بدّ من تعريف التفاعل: لنفترض أنّ هناك جسمًا (A) يتفاعل مع جسم آخر (B)، وعليه فإنّ قوّة الفعل وردّ الفعل يُمكن أن توصَف على النحو التالي:

الفعل: الجسم (A) يبذل قوّة على الجسم (B).

ردّ الفعل: الجسم (B) يبذل قوّة على الجسم (A).



(شكل 65)

القوّة المزدوجة بين شيئين (A وB)

عندما يبذل (A) فعلًا على (B)، فإنّ (B) يبذل ردّ فعل على (A) في الوقت نفسه.

ارتباط الفيزياء بعلم الأحياء

يطرح التساؤل التالي: لماذا تُهاجر الطيور في أسراب تأخذ شكل رأس سهم، مثل الإوزّ؟

يُفسِّر هذا فيزيائيًّا بأنّ جناح الطائر يزيح الهواء إلى أسفل. ويُقابل هذا الهواء المزاح إلى أسفل طبقات الهواء السفلي مكوِّنًا دوّامات هوائية تُؤدّي إلى حدوث تيّارات صاعدة، يكون لها تأثير على جانبي الطائر، فيبدأ بتعديل موضع مؤخّرته وجناحيه ذاتيًّا، وذلك لكي يُقلّل من تأثير التيّارات الهوائية الصاعدة، وبالتالي ليُحافظ على طاقته. يُحدِثُ هذا الطائر بدوره تيّارات هوائية صاعدة بالنسبة إلى الطائر الذي يليه. لهذا تُكوّن الطيور المحلّقة في السماء أثناء هجرتها سربًا في شكل حرف V، أو رأس سهم.

وبذلك، فإنّ تفاعل الجسمين (A) و(B) معًا يُنتج ما يُسمّى الفعل وردّ الفعل. إذا كان الفعل مبذولًا من الجسم (A) على الجسم (B)، فإنّ ردّ الفعل يكون من الجسم (B) على الجسم (A). هناك أنماط عديدة من الفعل وردّ الفعل، التي يُوضّح (الشكل 65) بعضًا منها.

هل يُلغي الفعل وردّ الفعل كل منهما الآخر؟

بما أنّ الفعل وردّ الفعل هما قوّتان متساويتان في المقدار ومتضادّتان في الاتّجاه، فلماذا لا يُلغي كلّ منهما الآخر، وتُساوي محصّلة القوى صفرًا؟

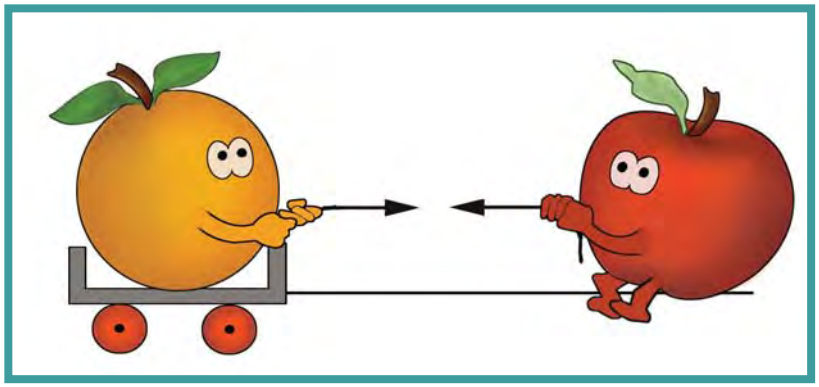
للإجابة عن هذا السؤال يجب أن نُحدّد النظام الذي سوف ندرسه:

لكي تنعدم قوتان متساويتان ومتعاكستان في الاتجاه، يجب أن تؤثر القوتان في جسم واحد بينما قوتي الفعل ورد الفعل تؤثر إحداهما في جسم والأخرى في الجسم الآخر، كما هو موضّح في (الشكل 66).

لنعتبر أنّ النظام المدروس هو البرتقالة فقط (ننسى وجود أيّ شيء آخر). يتأثّر هذا النظام بقوّة خارجية (جذب التفّاحة) تكسبه عجلة، في حين لا أثر لقوّة جذب البرتقالة للتّفاحة على حركة البرتقالة لأنّها تُؤثّر على الوسط الخارجي (التّفاحة).

ولنعتبر أنّ النظام المدروس هو التّفاحة فقط (ننسى وجود أيّ شيء آخر). يتأثّر هذا النظام بقوّة خارجية (جذب البرتقالة) تكسبه عجلة، في حين لا أثر لقوّة جذب التّفاحة للبرتقالة على حركة التّفاحة لأنّها تؤثّر على الوسط الخارجي (البرتقالة).

أمّا إذا اعتبرنا أنّ النظام المدروس هو التّفاحة والبرتقالة معًا، فتُصبح قوّتا الجذب مطبّقتين على النظام ولكنّهما داخليّتان ولا تكسبان عجلة لمركز كتلة النظام (يُمكن القول بأنّ محصّلتهما تُصبح معدومة). فيمكن أن تتعجل البرتقالة بفعل جذب التفاحة لها وتتعجل التفاحة بفعل جذب البرتقالة لها، ولكن مركز كتلتهما لم يتعجل.



(شكل 66)

التفّاحة تجذب البرتقالة، وبالتالي تتحرّك البرتقالة بعجلة. في الوقت نفسه، تجذب البرتقالة التفّاحة إلى الخلف، ويحدث هذا بتأثير التفاحة وليس البرتقالة.

سؤال للتحليل مع الإجابة

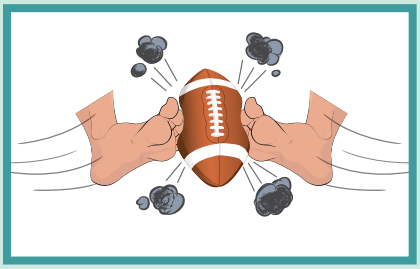
سؤال:

من المعروف أنّ الأرض تجذب القمر نحوها، فهل القمر يجذب الأرض نحوه؟ إذا كان كذلك، أيّهما أكثر قوّة؟

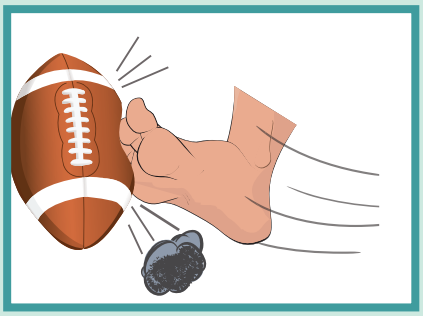
الإجابة:

نعم هناك تفاعل بين الأرض والقمر، ويجذب كلّ منهما الآخر نحوه في الوقت نفسه محدثًا فعلًا وردّ فعل آنيًّا. تتساوى كلّ من القوّتين في المقدار ويتضادّان في الاتّجاه. بمعنى آخر، ليس هناك قوّة أكبر من الأخرى.

ولكي نفهم أكثر، كيف يُمكن لقوّتين متساويتين في المقدار ومتضادّتين في الاتّجاه أن تُلغيا تأثير كلّ منهما على الأخرى، نأخذ المثال التالي:
لو قام شخصان بركل كرة قدم في وقت واحد وبقوّتين متساويتين في المقدار ومتضادّتين في الاتّجاه، كما في (الشكل 67)، ففي هذه الحالة يوجد تفاعلان، وبالتالي هناك قوّتان تُؤثّران على الكرة التي لا تتحرّك إذ تُساوي القوّة المحصّلة صفرًا. ولكن ليست هذه الحال بالنسبة إلى كلّ من القدمين على حدة (الشكل 68).



(شكل 67)
$(\vec{F})$ و$(\vec{F'})$ هما قوّتان متساويتان في المقدار ومتضادّتان في الاتّجاه ما يتسبّب يتلاشي تأثير كلّ منهما على الأخرى وعدم تحرّك الكرة.



(شكل 68)
$(\vec{F})$ تُؤثّر في الكرة فتكتسب الكرة عجلة وتتحرّك.

العلم التكنولوجيا والمجتمع

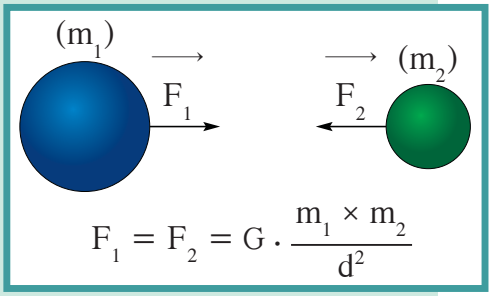
من الألعاب النارية إلى الفضاء الخارجي

قبل اكتشاف نيوتن قوانين الحركة بحوالى 500 سنة، بدأ الصينيون بوضع القانون الثالث للحركة، وذلك من خلال صناعتهم الصواريخ والألعاب النارية.
وعندما نُشاهد الألعاب النارية، نجد أنّها تطبيق لتكنولوجيا الصواريخ. فقد طوّر الصينيون القدامى الألعاب النارية، إذ كانوا يستخدمونها في الاحتفالات.
وفي بداية القرن الثالث عشر الميلادي، بدأ الصينيون باستخدام الصواريخ على نطاق واسع. وتعتمد فكرة اندفاع الصاروخ على القانون الثالث لنيوتن: فهناك وقود يحترق داخل الصاروخ فتنتج عنه كمّية كبيرة من الغازات التي بدورها تبذل قوّة على ما هو في داخل الصاروخ. ونتيجة لتمدّد الغازات، يحدث لها انفلات من مؤخّرة الصاروخ (فعل) فيندفع الصاروخ الى الفضاء الخارجي (رد الفعل).
أصبح وقود الصواريخ مهمًّا جدًّا في استكشاف الفضاء والتطوّر التكنولوجي، وتجدر الإشارة إلى ضرورة اختيار نوعية الوقود المستخدم بعناية فائقة. فالوقود السائل المستخدم في السيّارات وماكينات السفن لا يُمكن أن يُستخدَم في صواريخ الفضاء، لأنّ احتراق مثل هذا الوقود يتطلّب كمّيات كبيرة من غاز الأكسجين. لذا يُستخدَم في الصواريخ الحديثة نوع من الوقود الصلب والمادّة المؤكسدة التي تُساعده على الاشتعال.

3. قانون الجذب العامّ لنيوتن

Newton's Law of Universal Gravitation

لم يكتشف نيوتن الجاذبية وإنّما استطاع أن يُفسّر سقوط التّفاحة ودوران القمر في قانون واحد سمّاه قانون التجاذب الكوني. أي أنّ ما اكتشفه نيوتن هو أنّ الجاذبية هي ظاهرة كونية تتحكّم في جميع الأجسام في الكون. فكلّ جسم يجذب إليه جميع الأجسام الأخرى بقوى مختلفة المقدار. فالأرض تجذبك وتجذب التفّاحة والسيّارة والقمر وأيّ شيء آخر، والتّفاحة تجذبك وتجذب الأرض والنجوم وكلّ شيء آخر. باختصار، يتجاذب كلّ جسمين في الكون.



(شكل 69)
يتجاذب الجسمان بقوّتين متساوتين في القيمة ومتعاكستين في الاتّجاه. تعتمد قوّة الجذب على البعد بين مركزي ثقلهما.

خصائص قوّة التجاذب:

تعتمد قوّة التجاذب بين جسمين على كتلتي الجسمين وعلى البعد بينهما. وينصّ قانون التجاذب العامّ لنيوتن (الشكل 69) على أنّ كلّ جسم يجذب الآخر بقوّة يتناسب مقدارها طرديًّا مع حاصل ضرب كتلتيهما. وبالتالي تتناسب هذه القوّة مع حاصل ضرب الكتلتين بحيث تزيد بزيادة أيّ من الكتلتين، كما يتناسب مقدارها عكسيًّا مع مربّع البعد بين مركزي كتلتي الجسمين، أي أنّها تتناقص كلّما تباعد الجسمان أحدهما عن الآخر.

تتناسب قوّة التجاذب بين جسمين طرديًّا مع حاصل ضرب الكتلتين، وعكسيًّا مع مربّع البعد بين مركزي كتلتي الجسمين.

يُمكن صياغة ما سبق كما يلي:

$$F \propto \frac{m_1 \times m_2}{d^2}$$

حيث: تُمثّل m_1 كتلة أحد الجسمين، وm_2 كتلة الجسم الثاني، أمّا (d) فترمز إلى البعد بين مركزي كتلتي الجسمين.

يُمكن تحويل علاقة التناسب السابقة إلى معادلة باستخدام ثابت الجذب العامّ G لنحصل على:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \times m_2}{d^2}$$

علمًا أنّ قيمة هذا الثابت تُساوي قوّة التجاذب بين جسمين كتلة كلّ منهما (1)kg، والبعد بين مركزي كتلتهيما (1)m، وهي قوّة ضئيلة جدًّا بحيث لا نشعر بها.

وقد أظهرت التجارب أنّ القيمة التقريبية لهذا الثابت هي:

$$G = (6.67 \times 10^{-11})\ N.m^2/kg^2$$

هل تعلم؟

أجرى العالم الإنكليزي «هنري كافنديش» لأوّل مرّة بعد 150 عامًا من وضع نيوتن لقانون التجاذب العامّ تجربة لقياس القوّة الضئيلة التي تتبادلها كرتان من الرصاص بواسطة ميزان الفتل شديد الحساسية torsion balance لتحديد قيمة ثابت الجذب العام (G).
وقد استُخدِمت هذه التجربة في حساب كتلة الكرة الأرضية، ولذلك سُمِّيت «تجربة تعيين كتلة الأرض».

مثال (1)

وُضِعت كرة من الرصاص مجهولة الكتلة على بعد (0.4)m من كرة أخرى من النوع نفسه كتلتها (10)kg، فكانت قوّة التجاذب بينهما تُساوي (8×10^{-8}) N.

احسب الكتلة المجهولة علمًا أنّ ثابت الجذب العامّ يساوي:

$G = (6.67 \times 10^{-11})\ N.m^2/kg^2$.

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم:

المعلوم: كتلة الجسم الأوّل: $m_1 = 10\ kg$

المسافة بين الكتلتين: $d = 0.4m$

غير المعلوم: كتلة الجسم الثاني: $m_2 = ?$

2. احسب غير المعلوم:

باستخدام القانون الرياضي: $F = G \cdot \frac{m_1\ m_2}{d^2}$

بالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة نحصل على:

$$8 \times 10^{-8} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 10 \times m_2}{(0.4^2)}$$

$$(0.4)^2 \times 8 \times 10^{-8} = 6.67 \times 10^{-11} \times 10 \times m_2$$

$$m_2 = \frac{(0.4)^2 \times 8 \times 10^{-8}}{6.67 \times 10^{-11} \times 10}$$

$$= (19.2)\ kg$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

بما أنّ قوة التجاذب صغيرة، فهذا يعني أنّ كتلة كلّ من الجسمين صغيرة.

مثال (2)

احسب قوّة الجذب بين كرتين كتلتاهما (10)kg و(5)kg، وتُساوي المسافة التي تفصل بين مركزي كتلتيهما (0.5)m، علمًا أنّ ثابت الجذب العامّ: $G = (6.67 \times 10^{-11})\ N.m^2/kg^2$

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم

المعلوم: كتلة الجسم الأوّل: $m_1 = (10)kg$

كتلة الجسم الثاني: $m_2 = (5)kg$

المسافة بين الكتلتين: $d = (0.5)m$

غير المعلوم: قوّة التجاذب: $F = ?$

2. احسب غير المعلوم:

باستخدام القانون الرياضي: $F = G \cdot \frac{m_1\ m_2}{d^2}$

سؤال للتحليل؟

لماذا أصبحت الأرض كروية الشكل؟

أسئلة تطبيقية مع إجابات

1. احسب قوّة الجذب بين الشمس والأرض علمًا أنّ الأرض تدور في مدار دائري حول الشمس، وأنّ كتلة الأرض تُوازي $(6 \times 10^{24})\ kg$ مقابل كتلة الشمس وهي $(19.8 \times 10^{29})\ kg$. وتُساوي المسافة بين الشمس والأرض $(1.5 \times 10^{11})\ m$ ويُعادل ثابت الجذب العامّ:

$G = (6.67 \times 10^{-11})\ N.m^2/kg^2$

الناتج: $F = (3.5 \times 10^{22})\ N$

2. ماذا يحدث لقوّة التجاذب بين كتلتين عندما تزداد المسافة بينهما إلى أربعة أضعاف.

الناتج: $F' = F/16$

3. ماذا يحدث لقوة التجاذب بين كتلتين عندما تقلّ المسافة بينهما إلى الثلث.

الناتج: $F' = 9F$

مثال (2) تابع

بالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة نحصل على:

$$F = G \cdot \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 10 \times 5}{(0.5)^2}$$

$$= (1.33 \times 10^{-8})N$$

3. **قيّم:** هل النتيجة مقبولة؟

بما أنّ كتلة كلّ من الجسمين صغيرة ، فهذا يعني أنّ قوّة التجاذب صغيرة .

(شكل 70)
رجل يدفع الحائط بقوّة

مراجعة الدرس 2-3

أوّلًا – ضع علامة (✓) في المربّع الواقع أمام الإجابة الأنسب لكلّ ممّا يلي:

1. ☐ تسقط الأجسام نحو الأرض نتيجة قوّة جذب الأرض .
2. ☐ أي جسمين مادّيين يجذب كلّ منهما الآخر بقوّة تتناسب طرديًّا مع مربّع المسافة بينهما .
3. ☐ تجذب الأجسام الصغيرة الأرض إليها .
4. ☐ يُساوي ثابت الجذب العامّ قوّة الجذب بين كتلتين مقدار كلّ منهما (1)kg والمسافة بينهما كبيرة جدًّا .

ثانيًا – إذا دفعت الحائط بقوّة (200)N ، كما في (الشكل 70) ، فما مقدار القوّة التي قد يبذلها الحائط عليك؟

ثالثًا – لماذا لا تستطيع أن تضرب ورقة في الجوّ بقوّة (2000)N؟

رابعًا – اذكر نصّ القانون الثالث لنيوتن مع ذكر بعض تطبيقاته .

خامسًا – وضّح فكرة عمل الصاروخ (الشكل 71) في ضوء القانون الثالث لنيوتن .

سادسًا – (أ) احسب قوّة الجذب بين سيّارة كتلتها (1500)kg وشاحنة كتلتها (5000)kg ، إذا كانت المسافة الفاصلة بين مركز كتلتيهما تُساوي (5)m .

(ب) ما مقدار القوّة بينهما إذا بلغت المسافة بين السيّارة والشاحنة عشرة أمتار؟ اشرح النتيجة انطلاقًا من قانون الجذب العامّ لنيوتن .

(شكل 71)
إطلاق الصاروخ

مراجعة الوحدة الأولى

الاحتكاك	Friction
الإزاحة	Displacement
الجذب العام	Universal gravitation
حركة انتقالية	Translational motion
الحركة الخطّية	Rectilinear motion
حركة دورية	Periodic motion
الحركة المعجلة بانتظام	Uniformly accelerated motion
السرعة الابتدائية	Initial speed
السرعة العددية	Speed
السرعة اللحظية	Instantaneous speed
السرعة المتّجهة	Velocity
السرعة المتوسّطة	Average speed
السقوط الحرّ	Free fall
العجلة	Acceleration
عجلة تباطؤ منتظمة	Uniformly decelerated motion
الفعل وردّ الفعل	Action and Reaction
القصور الذاتي	Inertia
القوّة	Force
الكتلة	Mass
كمّيات أساسية ومشتقّة	Fundamental and derived quantities
الوزن	Weight
مقاومة الهواء	Air resistance

- الوحدات الدولية International System للقياس هي المتر للطول، والكيلوجرام للكتلة، والثانية للزمن. وهناك وحدات أخرى لا تُستعمَل في فيزياء الميكانيك، مثل الكلفن لدرجة الحرارة المطلقة والأمبير لشدّة التيار.
- هناك علاقة بين الكمّيات الفيزيائية الأساسية والكمّيات الفيزيائية المشتقّة، وهذه العلاقة تُسمّى معادلة الأبعاد.
- **الحركة:** هي أن يُغيّر الجسم موضعه مع الزمن بالنسبة إلى موضع جسم آخر ساكن.
- **الإزاحة:** هي كمّية فيزيائية تُعبّر عن المسافة في خط مستقيم بين نقطتين من حيث المقدار والاتّجاه.
- **مقدار السرعة:** هو معدّل تغيّر المسافة بالنسبة إلى الزمن، ووحدته (m/s).
- **السرعة اللحظية:** هي مقدار السرعة في لحظة ما.
- **السرعة المتوسّطة ($\bar{v}$):** هي المسافة الكلّية المقطوعة أثناء الحركة مقسومة على الزمن الكلّي.
- **العجلة:** هو معدّل تغيّر متّجه السرعة خلال وحدة الزمن، ووحدته (m/s^2).

- **الكمّية المتّجهة:** هي الكمّية التي يلزم لتعريفها معرفة كلّ من مقدارها واتّجاهها .
- **الكمّية العددية:** هي الكمّية التي يلزم لتعريفها معرفة مقدارها فقط .
- **السقوط الحرّ:** يعني سقوط الأجسام تحت تأثير جاذبية الأرض فقط مع عدم تأثير قوّة مقاومة الهواء في حركتها . العجلة التي تسقط بها الأجسام سقوطًا حرًّا هي عجلة الجاذبية الأرضية ، وهي ذات مقدار ثابت يُساوي تقريبًا $g = (10)\ m/s^2$.
- وفقًا لقانون الجذب العامّ لنيوتن ، يجذب كلّ جسم جميع الأجسام الموجودة في الكون بقوّة تعتمد على كتلته وكتلة كلّ من هذه الأجسام ، وعلى البعد بين مراكز كتلة الأجسام المتجاذبة .
- تزيد قوّة الجذب بزيادة الكتلة ، وتقلّ بزيادة البعد .
- **القوّة:** هي كمّية متّجهة تُحدث تغييرًا في حالة الجسم عندما تُؤثّر عليه (سواء أكان من حالة سكون إلى حركة أم من حركة إلى سكون) .
- **الكتلة:** هي كمّية قياسية تُعبّر عن مقدار ما يحويه الجسم من مادّة ، وتُقاس بالكيلوجرام .
- **الثقل (الوزن):** هو كميّة متّجهة تُقدَّر بقوّة الجذب المؤثّرة على الجسم ، وتُقاس بوحدات القوّة (النيوتن) .
- **خاصّية القصور الذاتي:** هي خاصّية للأجسام المادّية ، تصف ميل الأجسام إلى أن تبقى على حالتها الحركية ، وتُقاوم التغيّر في سرعتها المتّجهة .
- **قوّة الاحتكاك:** هي قوّة تعمل دائمًا في اتّجاه معاكس للقوّة المسبّبة للحركة .

القوانين

قوانين نيوتن للحركة

القانون الأول: «يبقى الجسم ساكنًا أو متحرّكًا بسرعة منتظمة وفي خطّ مستقيم ما لم تُؤثّر عليه قوّة تُغيّر من حالة سكونه أو حالة حركته» .

القانون الثاني: «العجلة التي يتحرّك بها جسم ما تتناسب طرديًّا مع القوّة المحصّلة المؤثّرة على الجسم ، وعكسيًّا مع كتلته» .

القانون الثالث: «لكلّ فعل ردّ فعل مساوٍ له في المقدار ومعاكس له في الاتّجاه» .

قانون الجذب العام

تتناسب قوّة التجاذب بين جسمين طرديًّا مع حاصل ضرب الكتلتين ، وعكسيًّا مع مربّع البعد بين مركزي كتلتي الجسمين .

معادلات

- معادلات الحركة المعجلة بانتظام في خطّ مستقيم:

1. $v = v_0 + at$
2. $d = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$
3. $v^2 = v_0^{\ 2} + 2ad$

- معادلات السقوط الحرّ:

– من السكون:

1. $v = gt$
2. $d = \frac{1}{2} gt^2$
3. $v^2 = 2gd$

أمّا إذا سقط الجسم بسرعة ابتدائية، تُكتَب المعادلات على الشكل التالي:

– بسرعة ابتدائية v_0:

1. $v = v_0 + gt$
2. $d = v_0 t + \frac{1}{2} gt^2$
3. $v^2 = v_0^2 + 2gd$
4. $g \simeq 10 m/s^2$

- يتمثّل قانون نيوتن للجذب العامّ بالمعادلة التالية:

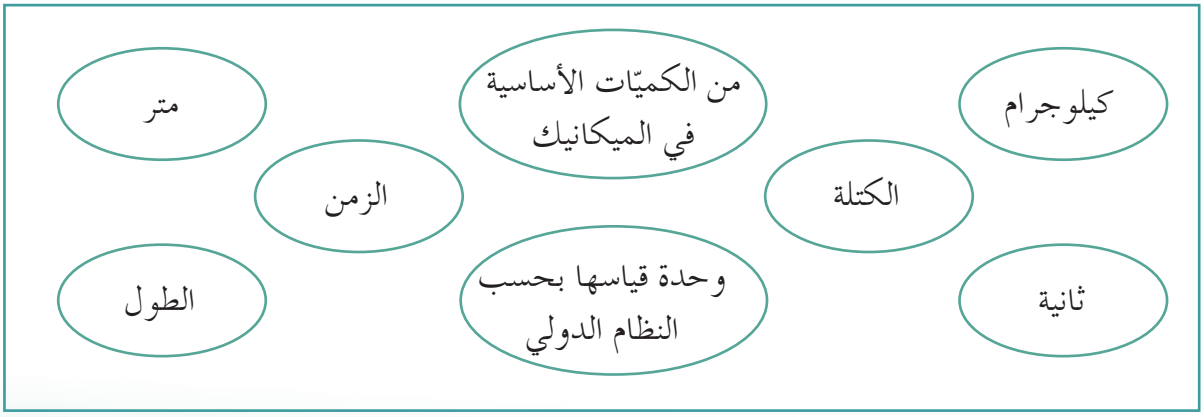
$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

ثابت الجذب العامّ «G» يساوي:

$$G = (6.67 \times 10^{-11}) \ N.m^2/kg^2$$

خريطة مفاهيم الوحدة

استخدم المصطلحات الموضّحة في الشكل التالي لرسم خريطة مفاهيم تهدف إلى تنظيم بعض الأفكار التي احتوتها الوحدة.



تحقق من فهمك

ضع علامة (✓) في المربّع الواقع أمام الإجابة الأنسب في كلّ ممّا يلي:

1. الميلّيمتر هو وحدة قياس للطول تُساوي:

☐ $\frac{1}{100}$ cm

☐ $\frac{1}{100}$ m

☐ $\frac{1}{1000}$ m^3

☐ $\frac{1}{1000}$ m

2. من الكمّيات الفيزيائية الأساسية:

☐ القوّة

☐ العجلة

☐ السرعة

☐ الزّمن

3. معادلة أبعاد القوّة هي:

☐ mLt^{-2}

☐ $mL^{-2}t$

☐ Lt^{-2}

☐ mLt^{-1}

4. العجلة هي معدّل تغيّر:

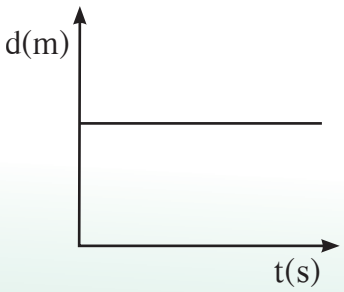
☐ متّجه السرعة خلال وحدة الزمن

☐ المسافة خلال وحدة الزمن

☐ الإزاحة خلال وحدة الزمن

☐ المسافة خلال وحدة السرعة

5. يُمثّل الشكل المقابل منحنى (المسافة، الزمن) لجسم ما. نستنتج من هذا المنحنى أنّ الجسم:



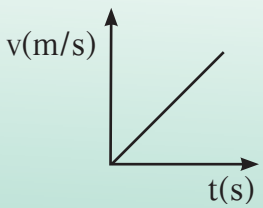
☐ يتحرّك بسرعة متزايدة.

☐ يتحرّك بسرعة ثابتة.

☐ يتحرّك على خطّ مستقيم.

☐ يظلّ ساكنًا.

6. يُمثّل الشكل المقابل منحنى (السرعة، الزمن) لجسم متحرّك. نستنتج من هذا المنحنى أنّ:



☐ السرعة ثابتة.

☐ العجلة متغيّرة.

☐ العجلة منتظمة.

☐ كلّ ما سبق.

7. من نتائج الحركة بعجلة موجبة:
   - ☐ زيادة السرعة الابتدائية عن السرعة النهائية
   - ☐ زيادة السرعة النهائية عن السرعة الابتدائية
   - ☐ لا تتغيّر سرعة الجسم مع الزمن.
   - ☐ زيادة المسافات التي يقطعها الجسم بنسبة زيادة الزمن.
8. كتاب الفيزياء موجود على طاولة أفقية:
   - ☐ لا يوجد أيّ قوّة تؤثر عليه.
   - ☐ لا يؤثّر الكتاب بأيّ قوّة على الطاولة.
   - ☐ محصلة القوى التي تُؤثّر عليه تساوي صفرًا.
   - ☐ لا تؤثّر الطاولة بأيّ قوّة على الكتاب.
9. جسمان يسقطان نحو الأرض سقوطًا حرًّا، كتلة الجسم الأوّل تُساوي مثلي كتلة الجسم الثاني، فإنّ نسبة العجلة التي يتحرّك بها الجسم الأوّل إلى العجلة التي يتحرّك بها الجسم الثاني $\left(\frac{a_1}{a_2}\right)$ تُساوي:

   ☐ $\frac{1}{2}$ ☐ $\frac{2}{1}$ ☐ $\frac{1}{1}$ ☐ $\frac{1}{4}$

10. في إطار التجارب التي أجراها جاليليو لدراسة تأثير قوى الاحتكاك على حركة الأجسام، وجد أنه:
    - ☐ تزداد قوى الاحتكاك بزيادة زاوية ميل السطح الذي يتحرّك عليه الجسم.
    - ☐ لا تعتمد قوى الاحتكاك على طبيعة وشكل الجسم المتحرّك.
    - ☐ تُقلّل الأسطح المصقولة من تأثير قوى الاحتكاك.
    - ☐ تزداد سرعة الأجسام عندما تتحرّك على أسطح غير مصقولة.

تحقق من معلوماتك

أجب عن الأسئلة التالية:

1. ما الفرق بين السرعة اللحظية والسرعة المتوسّطة؟
2. ماذا تُمثّل قراءة عدّاد السرعة الموجود في السيّارة؟
3. ما هي الأدوات الموجودة في السيّارة والتي يُمكن بواسطتها التحكّم في مقدار السرعة وباتّجاهها؟
4. ماذا يمثّل ميل منحنى (السرعة – والزمن)؟
5. ماذا يعني السقوط الحرّ؟
6. حدّد العلاقات التالية مفترضًا أنّ حركة الجسم تبدأ من السكون:
   - **(أ)** العلاقة بين (السرعة والزمن) لجسم يتحرّك بعجلة منتظمة وفي خطّ مستقيم.
   - **(ب)** العلاقة بين (الإزاحة والزمن) لجسم يتحرّك بعجلة منتظمة وفي خطّ مستقيم.
   - **(جـ)** العلاقة بين (الإزاحة والسرعة) لجسم يتحرّك بعجلة منتظمة وفي خطّ مستقيم.
7. وضّح كيف تتغيّر قوّة الجاذبية مع الابتعاد عن مركز الأرض.
8. اشرح لماذا تقلّ قوّة الجذب بين الأرض والتّفاحة إلى الربع إذا ما أصبحت التّفاحة على ارتفاع يُساوي ضعف ارتفاعها الأوّل.
9. عرّف القوّة، وما هي الوحدة التي تُقاس بها؟
10. ما الفرق بين الثقل والكتلة؟ وضّح إجابتك ببعض الأمثلة.
11. ما هو تأثير الاحتكاك على حركة الأجسام؟

12. لماذا يسقط كلّ من العملة المعدنية وريشة الطائر بالعجلة نفسها داخل الأنبوب المفرغ من الهواء؟
13. عندما تسبح في الماء، فإنّك تدفع الماء إلى الخلف (افترض أنّ هذا هو الفعل)، فما هو ردّ الفعل؟
14. عندما تقفز إلى أعلى، فإنّ الكرة الأرضية ستُدفعَ إلى أسفل. لماذا لا يستطيع أحد أن يُلاحظ حركة الكرة الأرضية هذه؟

تحقق من مهاراتك

حلّ المسائل التالية:

(حيثما يلزم اعتبر عجلة الجاذبية الأرضية هي: $g = (10)m/s^2$)

1. أثناء سقوط جسم سقوطًا حرًّا من السكون، احسب السرعة التي يكتسبها هذا الجسم بعد (5)s من السقوط، وبعد (7)s من السقوط.
2. احسب العجلة التي تتحرّك بها سيّارة من السكون وفي خطّ مستقيم إلى أن تبلغ سرعتها (100)km/h في (10)s.
3. سيارة متحرّكة في خطّ مستقيم بسرعة ثابتة تُساوي (60)km/h، قطعت مسافة (200)m. احسب الزمن الذي استغرقته السيّارة في قطع تلك المسافة.
4. تغيّرت سرعة قطار من (70)km/h إلى (50)km/h بانتظام خلال (4)s. احسب العجلة في تلك الفترة.
5. قُذِف جسم رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ابتدائية (80)m/s. ما مقدار أقصى ارتفاع يصل إليه هذا الجسم؟
6. احسب السرعة النهائية التي يسقط بها جسم ساكن من ارتفاع (321)m.
7. سقط عصفور صغير من فوق شجرة فوصل سطح الأرض خلال (1.5)s. احسب ارتفاع العشّ الذي سقط منه العصفور.
8. تقطع زرافة طولها (6)m أغصان شجرة وتسقطها على الأرض. احسب الفترة الزمنية التي يستغرقها غصن لكي يصل إلى سطح الأرض.
9. ما مقدار التغيّر في قوّة الجذب بين كوكبين إذا قلّ البعد بينهما إلى (0.1) من البعد الأصلي الفاصل بينهما؟
10. احسب التغيّر في قوّة الجذب بين جسمين مادّيين عندما تزداد كتلتاهما لمثلي قيمتيهما ويزداد البعد بين مركزيهما لمثلي قيمته.

مهارة التواصل

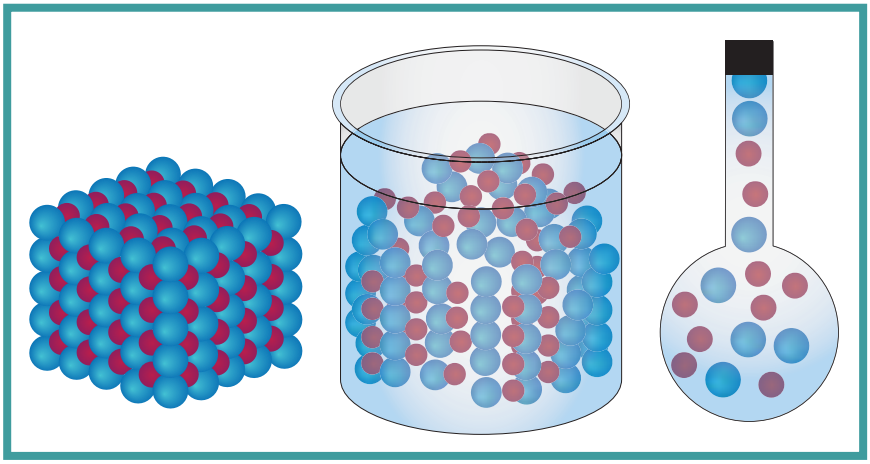
اكتب تقريرًا تبين فيه تأثير قوى التجاذب في جعل الأرض كروية الشكل. اذكر في تقريرك القوانين التي تُؤكّد وتدعم ما كتبت.

نشاط بحثي

توجد دلائل على أنّ تمدّد الكون مستمرّ. قم ببحث لدراسة هذه الظاهرة، واشرح إذا كانت هذه الدلائل تتّفق أو تتعارض مع قانون نيوتن للجذب العامّ.

الوحدة الثانية

المادّة وخواصّها الميكانيكية
Matter and its Mechanical Properties



اكتشف بنفسك

حالات المادّة

نحن نعيش على الكوكب الوحيد بين كواكب المجموعة الشمسية المغطّى في غالبيته بالمياه. تتكوّن المحيطات والبحار والأنهار من H_2O في حالته السائلة. لو كانت الأرض أقرب بقليل إلى الشمس لتحوّلت مياه المحيطات إلى بخار. ولو كانت الأرض أبعد بقليل عن الشمس لكان الجليد يغطّي القسم الأكبر من سطحها، وليس فقط القطبان. لذا، فإنّ وضعية الأرض بالنسبة إلى الشمس داخل المجموعة الشمسية هي الأمثل. وكما تعلم، وكما تظهر في الصورة، ففي الحالة الصلبة للمادّة، تكون الجزيئات متقاربة ومتماسكة، بينما في حالة السوائل، تستطيع الجزيئات أن تتحرّك بسهولة أكبر من مكان إلى آخر، وأن تأخذ شكل الوعاء الموضوعة فيه. أمّا في الحالة الغازية، تكون الجزيئات متباعدة.

اعتمادًا على النص، أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) ممّ تتألّف المادّة بشكل عامّ؟ ما هي الصيغة الكيميائية للماء؟

(ب) ما هي حالات الماء الثلاث؟

(جـ) كيف يُمكن أن تتحوّل المادّة من حالة إلى أخرى؟

(د) ما الفرق بين الحالة الصلبة والحالة السائلة؟ وبين الحالة السائلة والغازية؟

فصول الوحدة

الفصل الأوّل

- خواصّ المادّة

أهداف الوحدة

- يذكر حالات المادّة الثلاث (صلبة، سائلة، غازية).
- يفسّر وجود حالة رابعة، هي البلازما (أو الحالة المتأينة)، ومتى تتكوّن.
- يشرح إمكانية تحوّل المادّة من حالة إلى أخرى بتغيّر درجة حرارتها.
- يعرّف خاصّية المرونة وقانون هوك وحدّ المرونة.
- يكتسب مهارة الرسوم البيانية.
- يُقارن بين مرونة الموادّ المختلفة وأهمّيتها في صنع النوابض القياسية.
- يُقدّر دور العلماء في تفسير الظواهر مثل مرونة الأجسام.
- يعرّف الضغط ويستنتج وحدات قياسه والعوامل التي يتوقّف عليها.
- يذكر نص قاعدة باسكال واستخداماتها في الحياة اليومية.
- يذكر قانون أرشميدس ويطبّقه عمليًّا.
- يعرّف ظاهرة التوتّر السطحي وتواجدها في الحياة اليومية.
- يفسّر قوى التماسك والتلاصق.

معالم الوحدة

اكتشف بنفسك: حالات المادّة

الفيزياء والمهن: المهندس المدني

الفيزياء والجيولوجيا: الجبال الجليدية

خواصّ المادّة
Properties of Matter

دروس الفصل
الدرس الأوّل
الدرس الثاني
الدرس الثالث

الماء في صوره الثلاث (صلب – سائل – غاز)

تتواجد المادّة من حولنا في ثلاث حالات هي: الصلبة، السائلة والغازية. ويمُكن للمادّة أن تُغيّر شكلها من حالة إلى أخرى. فالثلج، وهو الحالة الصلبة للماء، عند إمداده بالطاقة، يتفكّك تركيبه البلوري ويتحوّل إلى الحالة السائلة. وعند إمداد الماء السائل بطاقة مناسبة، يتحوّل إلى الحالة الغازية (بخار الماء) كما يحدث عند غلي الماء. وتعتمد حالة المادّة على كلّ من درجة الحرارة والضغط، ودائمًا ما يُرافق تحوّل المادة من حالة إلى أخرى تبادل للطاقة.

في هذه الوحدة، سنهتمّ بدراسة حالات المادّة الثلاث فضلًا عن الحالة الرابعة: البلازما. كما سوف نتعرّف بعض الخواصّ الفيزيائية للمادّة مثل المرونة، وكيف عالجها العالم هوك. بالإضافة إلى ذلك، سنطّلع على قاعدتي باسكال وأرشميدس، وعلى خاصّية التوتّر السطحي للسوائل، وقوى التماسك وقوى التلاصق.

مقدّمة عن حالات المادّة
Introduction to the States of Matter

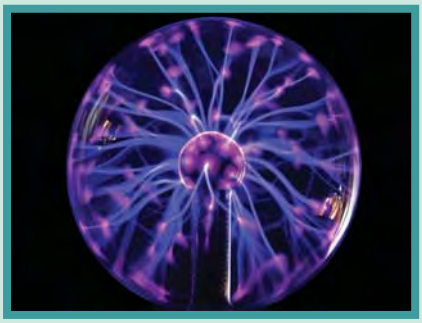
الأهداف العامة

- يذكر حالات المادّة (صلبة، سائلة، غازية).
- يفسّر وجود حالة رابعة هي البلازما (أو الحالة المتأينة)، ومتى تتكوّن.
- يشرح إمكانية تحول المادّة من صورة إلى أخرى بتغيّر درجة حرارتها.

كلّ ما تراه حولك أو تسمعه أو تلمسه أو تشمّه أو تتذوّقه هو عبارة عن مادّة. فالمادّة هي كلّ ما يشغل حيّزًا من الفراغ وله كتلة خاصّة به. وتتواجد المادّة في أشكال وصور وألوان مختلفة.

إنّ الماء والصخور والكائنات الحية والأجرام السماوية والهواء جميعها موادّ. تتكوّن المادّة من جزيئات صغيرة في حالة حركة مستمرّة، وهي لا تُرى بالعين المجرّدة. إذا تختلف في الحجم والشكل والترتيب والحركة والخواصّ. وتُفسّر هذه الاختلافات خواصّ الموادّ المختلفة.

حالات المادّة States of Matter المعروفة ثلاث: صلبة وسائلة وغازية، فضلًا عن حالة رابعة هي الحالة المتأينة، وتُسمّى البلازما (الشكل 72).



(شكل 72)
البلازما هي غاز متأيّن تكون فيه الإلكترونات حرّة.

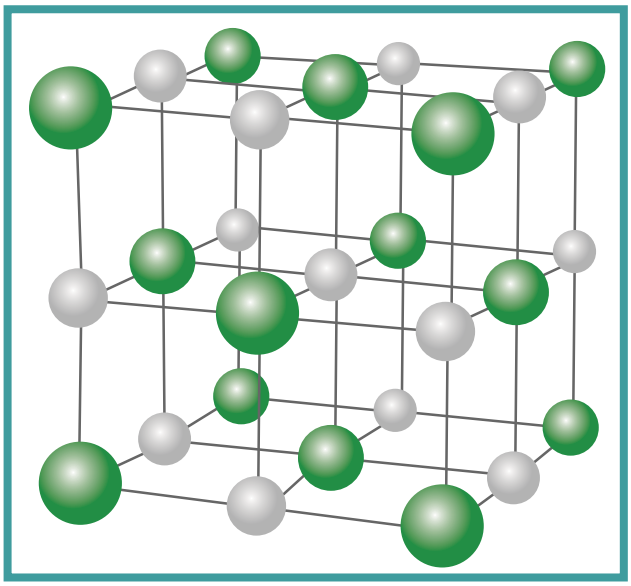
1. الحالة الصلبة Solid Phase

أنت تعلم، أنّك لو وضعت حصاة صغيرة في صندوق كبير أو صغير، فإنّ شكلها وحجمها لن يتغيّرا. تتمتّع المادّة الصلبة بشكل وحجم ثابتين، وذلك يرجع إلى تقارب وتماسك جزيئات الجسم الصلب بقوّة كبيرة جدًّا، ما يجعلها تهتزّ من دون تغيير مكانها.

تتواجد معظم الموادّ الصلبة في شكل بلوري، مثل ملح الطعام والعظام والماسّ وغيرها، حيث تترتّب الجزيئات والبلّورات بانتظام. وعند درجات حرارة معيّنة، تتحوّل المادّة من **الحالة الصلبة Solid Phase** إلى الحالة السائلة، وعند خفض درجة حرارة المادّة السائلة، فإنّها تتجمّد وتعود إلى الحالة الصلبة مرّة أخرى. وتُظهر العصور المختلفة التي مرّ بها الإنسان (العصر الحجري والعصر البرونزي والعصر الحديدي) أهمّية الموادّ الصلبة في تطوّر المدنية. وربّما يكون الخشب من أهمّ وأولى الموادّ الصلبة التي استخدمها الإنسان القديم، كما استُخدِمت الأحجار الكريمة في الفنون والزينة.

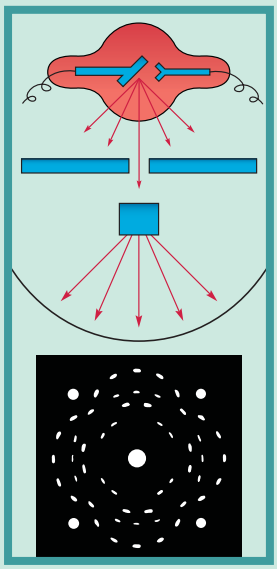
التركيب البلوري

عند النظر إلى عيّنات معدنية من الكوارتز (الشكل 73) أو الميكا أو كبريتيد الرصاص، فإنّنا نرى أسطحًا مستوية وناعمة. تتكوّن عيّنات المعدن من البلّورات أو الأشكال الهندسية المنتظمة. وقد أمكن رؤية هذه البلّورات، في القرن العشرين باستخدام أشعّة (x) (الشكل 74). فمثلًا، هناك التركيب البلّوري لملح الطعام (كلوريد الصوديوم)، الموضّح في (الشكل 75). وهناك تركيبات بلّورية بسيطة، كما في الحديد والنحاس والذهب، وتركيبات أكثر تعقيدًا، كما في القصدير والكوبلت.



(شكل 75)
نموذج بلّورة كلوريد الصوديوم: تُمثّل الكرة الكبيرة أيون الكلور، والكرة الصغيرة أيون الصوديوم.

(شكل 73)
بلّورة الكوارتز صلبة (حجم وشكل ثابت).



(شكل 74)
صورة لملح الطعام بالأشعّة السينية

1. الحالة السائلة Liquid Phase

كما ذكرنا سابقًا، إنّ الأرض هي الكوكب الوحيد الذي تُغطّي المياه (حالة سائلة) معظم مساحته. فالمحيطات والبحار والبحيرات والأنهار يملأها ماء في **الحالة السائلة Liquid Phase**.

في الحالة السائلة، تنساب الجزيئات بحرية من مكان إلى آخر، ويأخذ السائل شكل الإناء الحاوي له، أي أنّ السائل له حجم ثابت وشكل متغيّر تبعًا للإناء الموضوع فيه (الشكل 76).

وكما تعلم، يتحوّل السائل إلى الحالة الصلبة عبر خفض درجة حرارته، وإلى الحالة الغازية عند رفعها.

فجزيئات السائل قريبة من بعضها، ولكنّها تتحرّك بحيث لا تبقى في مكان ثابت.

تنساب بعض السوائل، مثل الماء، سريعًا، في حين ينساب بعضها الآخر، مثل الزيت، بسرعة أقلّ بسبب ميل الجزيئات إلى الترابط معًا.

(شكل 76)
للسوائل حجم ثابت وشكل متغيّر تبعًا للإناء الحاوي لها.

في معظم السوائل، وعلى درجة حرارة الغرفة، تتحرّك بعض الجزيئات بسرعة تُمكّنها من الهروب إلى الهواء، وتُسمّى هذه العملية «التبخّر» فيتكوّن الغاز أو البخار. وتُسمّى العملية العكسية «التكثّف»، وهي تحوّل البخار أو الغاز إلى الحالة السائلة وذلك بخفض درجة حرارته (الشكل 77).

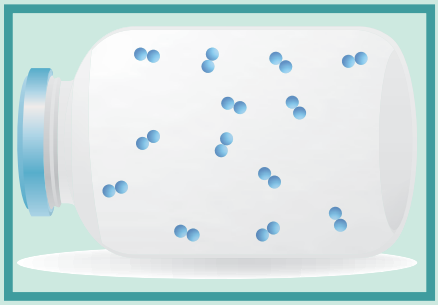
(شكل 77)
عند تكثّف بخار الماء غير المرئي يتحوّل إلى سائل الماء المرئي.

3. الحالة الغازية Gaseous Phase

تتشابه الغازات مع السوائل في قابليتها للانسياب أو السريان، ولذلك تُسمّى الغازات والسوائل «موائع». ولا تتمتّع الغازات بشكل أو حجم ثابتين. وتأخذ الغازات، شأنها شأن السوائل، شكل الإناء الحاوي لها، إلّا أنّها تختلف عنها في كونها تملأ أيّ إناء أو مكان يحويها. فنحن نشمّ الروائح العطرة وروائح الطعام أثناء الطهي في أيّ مكان توجَد فيه بغضّ النظر عن موقعنا.

يتكوّن الهواء، على سبيل المثال، من العديد من الغازات، مثل الأكسجين والنيتروجين وبخار الماء وثاني أكسيد الكربون وغيرها. وبالرغم من أنّ الهواء لا يُرى، إلّا أنّه يمكننا أن نشعر بوجوده في يوم عاصف تهبّ فيه الرياح، فتصطدم بأجسامنا.

انظر إلى جزيئات الغاز في (الشكل 78). لاحظ أنّ الجزيئات متباعدة وتتحرّك عند تصادمها بجدار الإناء الحاوي لها أو تصادمها في ما بينها. ولا تتأثّر جزيئات الغاز بالجزيئات المجاورة لها، كما هو حال جزيئات الحالتين الصلبة والسائلة، بل تتأثّر بدرجات الحرارة والضغط من حيث حركتها والحجم الذي تشغله. تحكم سلوك الغازات قوانين عامّة تُسمّى قوانين الغازات التي تربط العلاقة بين كلّ من درجة الحرارة وقيمة الضغط وحجم كمّية الغاز.



(شكل 78)
الجزيئات في الحالة الغازية متباعدة وتتصادم بحركة دائمة من دون أيّ تغير في الطاقة، وهي تملأ الوعاء الموجودة فيه وتأخذ شكله.

ويُلاحَظ أنّ سلوك الغازات يختلف باختلاف درجات الحرارة أو الضغط المرتفعة جدًّا أو المنخفضة جدًّا. وهناك اختلاف بين الغازات والسوائل من حيث المسافة بين الجزيئات في كلّ منهما.

ففي الحالة السائلة، تقترب الجزيئات من بعضها لتترابط مع بعضها بعضًا، وبالتالي تتأثّر حركتها بشدّة.

أمّا في **الحالة الغازية Gaseous phase**، تتباعد الجزيئات عن بعضها، ما يسمح بحرية الحركة بين الجزيئات. فعندما يتصادم جزيئان في غاز، نجد أنّه إذا اكتسب أحدهما سرعة نتيجة التصادم مع الآخر الذي يفقد سرعة بحيث تكون طاقة حركتيهما الإجمالية ثابتة لا تتغيّر. وكما ذكرنا من قبل، يتمدّد الغاز ليأخذ شكل وحجم الإناء الحاوي له. لكن إذا كانت كمّية الغاز كبيرة جدًّا، كما في حالة جوّ الأرض أو أيّ كوكب آخر، فإنّ الجاذبية هي التي تُحدّد شكل الغاز.

مقارنة

تشابه واختلاف

- حاول أن تكتشف أوجه التشابه بين كلّ من الثلج والبخار، وأوجه الاختلاف بينهما.
- سجّل في جدول أوجه التشابه والاختلاف بينهما، أو الخواصّ المتشابهة والخواصّ المختلفة.

4. الحالة المتأينة (البلازما) Ionic Phase (Plasma)

البلازما Plasma هي الحالة الرابعة للمادّة، وهي عبارة عن خليط من الإلكترونات والأيونات الموجبة (الشكل 79). لا تتواجد البلازما الطبيعية على الأرض، وإنّما في النجوم حيث تكون الحرارة مرتفعة بدرجة كافية بحيث تنطلق الإلكترونات من الذرّات ولا ترتدّ إليها ثانية. في هذه الحالة، لا تقلّ درجات الحرارة عن (1 000 000)°C، ولذلك الشمس ومعظم النجوم النشطة الأخرى تتكوّن من البلازما التي تتكوّن من غازات الهيدروجين والهيليوم.

تتمتّع البلازما بخواصّ تختلف عن تلك التي تميّز الغازات، إذ تُعتبَر موصّلًا للكهرباء وهي تتأثّر بالمجالات المغناطيسية.

ومن الممكن أن نحصل على البلازما في معامل خاصّة تتحمّل درجات الحرارة المرتفعة جدًّا التي تتواجد عندها البلازما، علمًا أنّ الغاز المتوهّج الموجود في لمبات الفليورسنت هو بلازما.

(شكل 79)
المادّة في الحالة المتأينة (البلازما)

(شكل 80)
الشفق القطبي الشمالي

إنّ ذرّات المادّة، وفي جميع حالاتها، في حالة حركة مستمرّة. ففي الحالة الصلبة، تتذبذب الذرّات والجزيئات حول مواضع ثابتة. فإذا زاد معدّل التذبذب بدرجة كافية، تهتزّ الجزيئات بعيدًا وتتجوّل على طول المادّة نفسها، وليس حول مواضع ثابتة.

ومن الممكن أن تتحوّل جميع الموادّ من حالة إلى أخرى، كما هو حال الماء (H_2O) الذي يُسمّى في الحالة الصلبة ثلجًا. وعند تسخينه تتحرّك الجزيئات بسرعة بعيدًا عن مواضع تذبذبها الثابتة في الثلج، الذي يتحوّل بذلك إلى ماء سائل (الشكل 80). وعند تسخين الماء في حالته السائلة، تتحرّك الجزيئات بمعدّلات أسرع، فنحصل على بخار الماء. وباستمرار التسخين، تتفكك الجزيئات إلى ذرّات، وبزيادة التسخين إلى درجات تفوق (2000)°C، تتحوّل الذرّات إلى أيونات وإلكترونات حرّة، وبذلك نحصل على البلازما (الحالة الرابعة للمادّة).

مراجعة الدرس 1-1

أوّلًا – صنّف الموادّ التالية طبقًا لحالتها (صلبة – سائلة – غازية):
الكيروسين، الطباشير، الزجاج، الجليسيرين، الأكسجين،
الهيدروجين، الماء، ثاني أكسيد الكربون، الذهب، الكحول،
الهواء، النحاس، الزئبق، الخشب.

ثانيًا – صوّب العبارات غير الصحيحة في ما يلي:
– للكيروسين حجم وشكل ثابتان.
– يتّخذ النيتروجين شكل الإناء الحاوي له وحجمه.
– يُمكن تحويل الحديد من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة بالتسخين.
– عند تبريد الماء، فهو يتحوّل من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة.

ثالثًا – ماذا تعرف عن الحالة المتأيّنة للمادّة؟

التغيّر في المادّة
Change in Matter

الأهداف العامة

- يعرّف خاصّية المرونة وقانون هوك وحدّ المرونة.
- يكتسب مهارة تناول الأدوات المعملية ويستخدمها في تحقيق قانون هوك عمليًّا.
- يكتسب مهارة الرسوم البيانية.
- يقارن بين مرونة الموادّ المختلفة وأهمّيتها في صنع النوابض القياسية.
- يقدّر دور العلماء في تفسير الظواهر مثل مرونة الأجسام.

1. المرونة (قانون هوك) Elasticity (Hooke's Law)

عند تعليق ثقل في نابض مثبت من الأعلى، يستطيل النابض، وتزداد استطالته بإضافة أثقال أخرى. وعند إبعاد الأثقال، يعود النابض إلى طوله الأصلي، وهنا نقول إنّه «مرن».

وعندما يضرب لاعب البيسبول الكرة، فهو يُغيّر لحظيًّا شكل الكرة، وعندما يقذف رامي السهام بسهمه، ينثني القوس أوّلًا ثمّ يرتدّ إلى شكله الأصلي عند ترك السهم لينطلق، كما في (الشكل 81).

ويُعتبَر النابض وكرة البيسبول والقوس أمثلة عن أجسام مرنة، وعليه فإنّ **المرونة Elasticity هي خاصّية للأجسام تتغيّر بها أشكالها عندما تؤثّر عليها قوّة ما، وبها أيضًا تعود الأجسام إلى أشكالها الأصلية عندما تزول القوّة المؤثّرة عليها.**

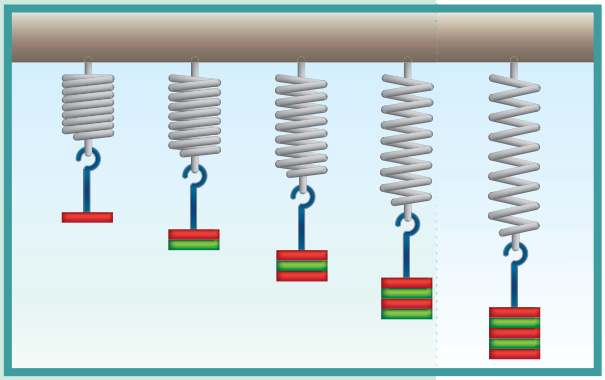
لكن لا تعود كلّ الأجسام إلى أشكالها الأصلية بعد زوال تأثير القوى الموضوعة عليها. فتلك الأجسام التي لا تستعيد أشكالها الأصلية بعد تشوهها بتأثير القوى تُسمّى أجسامًا «غير مرنة»، كالصلصال والعجين والرصاص. فمن السهل أن تُشوّه قطعة من الرصاص، ولا تعود إلى شكلها الأصلي بعد زوال القوّة التي شوّهتها.

(شكل 81)
القوس مرن بحيث يعود إلى شكله الأصلي بعد زوال القوّة المؤثّرة عليه.

وباستخدام خاصّية المرونة، تبيّن أنّ استطالة (التمدّد أو الانكماش) الزنبرك تتناسب طرديًّا مع القوّة المؤثّرة عليه (الشكل 82).

وكان الفيزيائي الإنجليزي "روبرت هوك"، الذي عاصر العالم إسحق نيوتن، أوّل من توصّل إلى هذه العلاقة في منتصف القرن السابع عشر، ولذا سُمّيت قانون هوك Hooke's Law الذي ينصّ على التالي: **يتناسب مقدار الاستطالة أو الانضغاط (Δx) الحادث لنابض تناسباً طرديًّا مع قيمة القوّة المؤثّرة (F)**، أي أن $F \alpha \Delta x$.

$$F = k\Delta x$$



(شكل 82)
تتناسب استطالة النابض طرديًّا مع قيمة القوّة المؤثّرة عليه.

2. الشدّة والاستطالة Intensity and Extension

عند استطالة أو انضغاط مادّة مرنة بدرجة أكبر من حدّ معين، فإنّها لن تعود إلى شكلها أو حجمها الأصلي بعد زوال القوّة المؤثّرة عليها، ويحدث لها ما يعرف بتشوّه مستديم. وهذا الحدّ المعيّن يُسمّى «حدّ أو نقطة المرونة»، ويتعامل قانون هوك مع الموادّ المختلفة تحت حدّ أو نقطة المرونة.

ولمعرفة مرونة الأجسام أهمّية كبيرة في الصناعة، لذلك تخضع هذه الموادّ لاختبارات خاصّة بهدف تعرّف صفات عديدة لها، ومن بينها المرونة.

الإجهاد والانفعال

يُعرَّف **الإجهاد Stress** بأنّه «**القوّة التي تؤثّر على جسم ما وتعمل على تغيير شكله**»، **والتغير في شكل الجسم الناتج عن هذه القوّة يُسمّى الانفعال Strain.**

فإذا ضغطنا على كرة من المطّاط يتغيّر شكلها الكروي، ثمّ تعود إلى شكلها وحجمها الأصليين عندما يزول الضغط (الإجهاد) الموضوع عليها.

وكذلك، إذا أثّرنا بقوّة شدّ (إجهاد) على سلك نابض من الصلب، فإنّ طوله سيزداد، وبالتالي يزداد مقدار استطالته (انفعاله) Strain مع زيادة القوّة المؤثّرة. وبمجرّد إلغاء القوّة المؤثّرة على سلك النابض، يستعيد هذا الأخير طوله الأصلي. تُعتبَر مادّة سلك النابض من الموادّ المرنة، ويُعرَف هذا النوع من المرونة بالمرونة الطولية.

وقد لوحِظ أنّ مقدار الانفعال في النابض يتناسب طرديًّا مع الإجهاد الواقع عليه بشرط أن يعود سلك النابض إلى طوله الأصلي.

وقد أجرى هوك تجارب عملية لتبيان العلاقة بين استطالة سلك النابض (الانفعال)، والقوّة المؤثّرة عليه (الإجهاد).

3. خواصّ المادّة المتّصلة بالمرونة

Properties Related to the Elasticity of Matter

من خواصّ المادّة المتّصلة بالمرونة:

- الصلابة rigidity، وهي مقاومة الجسم للكسر.
- الصلادة hardness، وهي مقاومة الجسم للخدش.

فالنحاس أكثر صلادة من الذهب ويُمكن ترتيب المعادن تنازليًّا من حيث صلادتها ;كالتالي: الصلب، الحديد، النحاس، الألمنيوم، الفضّة، الذهب، الرصاص.

- الليونة ductility، هي إمكانية تحويل المادّة إلى أسلاك مثل النحاس.
- الطرق malleability، هي إمكانية تحويل المادّة إلى صفائح.

المهندس المدني

تضرب الهزّات الأرضية المدمّرة مناطق كثيرة من العالم. ويدرس المهندسون المدنيون الأبنية المنهارة التي خلّفتها هذه الهزّات ليستخلصوا طرقًا للحد من الأضرار التي قد تُسبّبها الاهتزازات وتموّجات الهزّات المستقبلية. كما أنّهم يتفحّصون استجابات الموادّ البنائية المختلفة للهزّة، ويستخدمون هذه المعلومات ليبنوا جسورًا وأنفاقًا وطرقًا عامّة أكثر متانةً ومرونة. وكثيرًا ما يعتمد المهندسون المدنيون على معرفتهم بمبادىء الفيزياء عند تصميمهم هذه الأبنية، ويعملون في شركات هندسة خاصّة وفي القطاع العامّ على مشاريع مموّلة من الحكومة.

مثال (1)

إذا علمت أنّ فرع شجرة يتبع قانون هوك، عند تعليق كتلة مقدارها (20)kg من طرف فرع شجرة، تدلّى هذا الأخير مسافة (10)cm. كم يتدلّى الفرع عند تعليق كتلة مقدارها (40)kg من النقطة نفسها؟ احسب المسافة كذلك عند تعليق كتلة مقدارها (60)kg علمًا أنّ فرع الشجرة يتبع قانون هوك وأنّ هذه الكتل لا تتعدّى حدّ المرونة لفرع الشجرة $g = (10)m/s^2$.

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم:

المعلوم: الكتلة: $m_1 = (20)kg$

الاستطالة: $x_1 = (10)cm$

غير المعلوم: الاستطالة: $x_2 = ?$ إذا كانت الكتلة $m_2 = (40)\ kg$

الاستطالة: $x_3 = ?$ إذا كانت الكتلة $m_3 = (60)\ kg$

2. احسب غير المعلوم:

باستخدام الصيغة الرياضية لقانون هوك:

$$F = kx$$

بالتعويض عن المقادير المعلوم في المعادلة نحصل على:

$$F_1 = kx_1 = m_1g \Rightarrow k = \frac{m_1g}{x_1} = \frac{20 \times 10}{0.1} = (2000)N/m$$

$$F_2 = kx_2 = m_2g \Rightarrow x_2 = \frac{m_2g}{k} = \frac{40 \times 10}{2000} = (0.2)m = (20)cm$$

$$x_3 = \frac{m_3g}{k} = \frac{60 \times 10}{2000} = (0.3)m = (30)cm$$

3. قيّم: هل النتيجة لها معنى؟

تزداد الاستطالة بازدياد الثقل.

مثال (2)

عند تأثير قوّة مقدارها (10)N على نابض، استطال هذا الأخير بمقدار (4)cm. احسب الاستطالة التي تحدث بتأثير قوّة مقدارها (15)N على النابض نفسه.

طريقة التفكير في الحل

1. حلل: اذكر المعلوم وغير المعلوم:

المعلوم: القوّة: $F = (10)N$

الاستطالة: $x_1 = (4)cm$

غير المعلوم:

الاستطالة: $x_2 = ?$ إذا كانت القوّة $F_2 = (15)N$

2. احسب غير المعلوم:

باستخدام الصيغة الرياضية لقانون هوك: $F = kx$

بالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة نحصل على:

$$\frac{F_2}{x_2} = \frac{F_1}{x_1} \Rightarrow \frac{15}{x_2} = \frac{10}{4}$$

$$x_2 = \frac{15 \times 4}{10} = 6cm$$

3. قيّم: هل النتيجة لها معنى؟

تزداد الاستطالة بازدياد الثقل.

مراجعة الدرس 1-2

أوّلًا – ما المرونة؟ اذكر بعض الموادّ المرنة وبعض الموادّ غير المرنة.

ثانيًا – اختَر الإجابة الصحيحة

1. موادّ ذات مرونة (الصلصال – العجين – الصلب).
2. العالم (إسحق نيوتن – روبرت هوك – جاليليو) هو الذي توصّل إلى العلاقة بين القوّة المؤثّرة على نابض ومقدار الاستطالة.
3. مقدار القوّة المؤثّرة (يتناسب طرديًّا مع – يتناسب عكسيًّا مع – لا يتأثّر بـ) استطالة النابض.

ثالثًا – عرّف كلًّا من الإجهاد والانفعال، ثمّ اكتب العلاقة بينهما.

رابعًا – اذكر قانون هوك، ثم ارسم منحنى الشدّة – الاستطالة مبيّنًا على الرسم حدّ المرونة، واشرح تجربة لتطبيقه عمليًّا في المختبر.

الدرس 1-3

خواصّ السوائل الساكنة
Properties of Static Liquids

الأهداف العامة

- يعرّف الضغط ووحدات قياسه.
- يعدد العوامل التي يتوقّف عليها الضغط عند نقطة ما في باطن سائل.
- يذكر نصّ قاعدة باسكال واستخدامها في الحياة اليومية.
- يصف تركيب المكبس الهيدروليكي واستخداماتها في الحياة العملية.
- يذكر نصّ قاعدة أرخميدس (طفو – غوص) ويُطبّقها عمليًّا.
- يعرّف ظاهرة التوتّر السطحي وتواجدها في الحياة اليومية.
- يعرّف قوى التماسك بين جزيئات المادّة الواحدة.
- يفسّر قوى التلاصق بين جزيئات مادّتين مختلفتين.

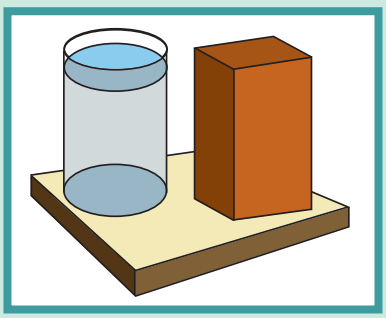
يشغل علم السوائل الساكنة حيّزًا مهمًّا في علم الفيزياء وذلك لما يحويه من تطبيقات واسعة في حياتنا، كما في الأنظمة الهيدروليكية حيث يتمّ نقل القوّة والحركة والتحكّم بهما بواسطة سائل، وفي بناء السدود الذي يتطلّب معرفة ضغط السوائل واتّجاهها، وفي آلية عمل الغوّاصات لتغوص أو تطفو، وفي عمل المضخّات المختلفة وأجهزة قياس الضغط وغيرها. في هذا الدرس، سنتطرّق إلى الضغط في السوائل، وإلى قانون باسكال ودوره في عمل المكبس الهيدروليكي. كذلك، سنتعرّف قاعدة أرخميدس وتفسيرها لظاهرتي الطفو والغوص، وسنتناول بعض التطبيقات لظاهرة التوتّر السطحي.

1. ضغط السوائل Liquid Pressure

يُحدث وجود سائل ما في وعاء قوىً على جدران الوعاء وقاعدته. ولكي نستكشف التفاعل بين السائل والسطح، من المفيد أن نسترجع مفهوم **الضغط الذي يعني القوّة العمودية المؤثّرة على وحدة المساحة والمقاسة**، وفق النظام الدولي للوحدات (SI)، بوحدة باسكال (Pa) أي (N/m^2).

$$P = \frac{F}{A}$$

فالضغط الذي يُحدثه الصندوق على سطح الطاولة يساوي محصّلة ثقله مقسوم على مساحة سطحه الملامس لسطح الطاولة. كذلك هي الحال بالنسبة إلى السائل الموجود في الوعاء الأسطواني الموضّح في (الشكل 83) إذ يساوي الضغط الذي يسبّبه السائل على قاعدة الوعاء محصّلة ثقله مقسوم على مساحة القاعدة (سوف نهمل الآن الضغط الجوي).



(شكل 83)
يضغط السائل على قاعدة الوعاء كما يضغط الصندوق على سطح الطاولة.

مسألة: احسب الضغط الذي تسببه أسطوانة من الحديد على سطح الطاولة، علمًا أن نصف قطرها يساوي (5)cm وارتفاعها (10)cm، وتبلغ كثافة الحديد المكوّن لها $\rho = 7600\ kg/m^3$.

2. الضغط عند نقطة في السائل

Pressure to a Point in a Liquid

لنفترض أنّ نقطة (x) تقع في قاعدة عمود مساحتها (A) في باطن سائل كثافته (ρ)، وتبعد عن سطح السائل مسافة (h) (الشكل 84).

الضغط الناشئ عن السائل (P) عند نقطة (x) يساوي القوّة التي يؤثّر بها السائل على القاعدة مقسومة على مساحة تلك القاعدة. $P = \frac{F}{A}$

علمًا أنّ القوّة المؤثّرة على القاعدة تساوي وزن عمود السائل الذي ارتفاعه (h) ومساحة قاعدته (A).

وعليه يكون الضغط الناشئ عند نقطة (x):

$$\text{الضغط} = \frac{\text{وزن عمود السائل}}{\text{مساحة القاعدة}} \qquad P = \frac{mg}{A}$$

$$P = \frac{\rho Ahg}{A} = \rho\, h\, g \quad (1)$$

نستنتج من المعادلة (1) أنّ ضغط السائل عند نقطة ما يتناسب طرديًّا مع عمق النقطة (h) أسفل سطح السائل ومع كثافة السائل (ρ).

لهذا يكون للنقاط التي تقع في مستوى أفقي واحد داخل سائل متجانس ومتّزن الضغط نفسه. ويُمكن التحقّق عمليًّا من ذلك باستخدام الأواني المستطرقة (الشكل 85).

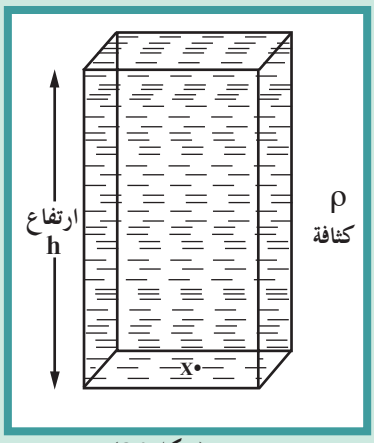
وكلّما ازداد عمق النقاط عن السطح، ازداد الضغط عليها. ويُراعى هذا المبدأ في بناء جدران السدود المائية، فكلّما كانت كمّية الماء المحتجزة خلف الجدار أعمق، احتاج هذا الأخير إلى سماكة أكبر (الشكل 86).

إنّ القوى التي تُنتج الضغط عند أيّ نقطة في السائل تُؤثّر بشكل مساوٍ وفي جميع الاتّجاهات. فعلى سبيل المثال، عندما تسبح تحت الماء ستشعر بالضغط نفسه على أذنيك، بغضّ النظر عن اتّجاه انحناء رأسك.

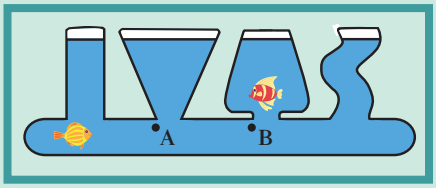
أمّا إذا كان السائل معرّضًا للهواء، أي للضغط الجوّي، فيكون الضغط الكلّي أو المطلق عند النقطة (x) في باطن السائل مساويًا لضغط السائل + الضغط الجوّي، أي $P_T = P_a + \rho gh$.

في حالة سوائل مختلفة غير قابلة للامتزاج في إناء واحد (الشكل 87)، يُساوي الضغط الكلّي عند نقطة ما في قاع الإناء مجموع ضغوط السوائل المختلفة. أي أنّ: $P = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots + P_a$

$$= \rho_1 gh_1 + \rho_2 gh_2 + \rho_3 gh_3 + \ldots P_a$$

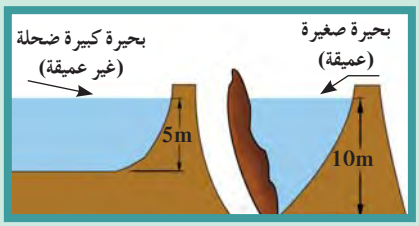


(شكل 84)



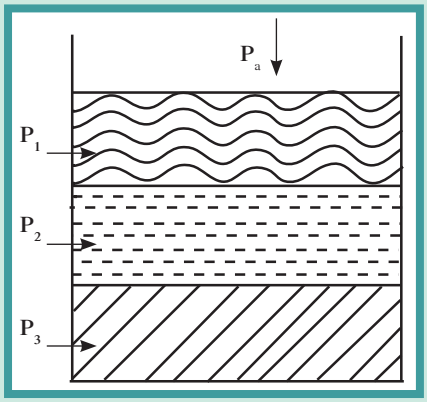
(شكل 85)

يتساوى الضغط عند العمق نفسه بغضّ النظر عن شكل الوعاء.



(شكل 86)

الضغط في البحيرة الصغيرة العميقة أكبر من الضغط في البحيرة الكبيرة غير العميقة. ويتحمّل السدّ الذي يحتجز الماء في البحيرة العميقة ضغط مياه أكبر من البحيرة الضحلة.



(شكل 87)

يُساوي الضغط على نقطة A مجموع الضغوط.

مثال (1)

احسب ضغط الماء المؤثّر على قاعدة حوض لتربية الأسماك طوله (3)m وعرضه (1.5)m وعمق مائه (0.5)m .

احسب مقدار القوّة المؤثّرة على تلك القاعدة .

أهمل الضغط الجوّي في هذا المثال واستعمل كثافة الماء $\rho = 1000\ kg/m^3$ ومقدار عجلة الجاذبية $g = 10m/s^2$

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم .

المعلوم: طول قاعدة الحوض وعرضها: $3 \times 1.5\ m^2$

ارتفاع الماء: $h = 0.5\ m$

كثافة الماء: $\rho = 1000\ kg/m^3$

غير المعلوم: **(أ)** الضغط: $P = ?$ **(ب)** القوّة: $F = ?$

2. احسب غير المعلوم:

(أ) باستخدام المعادلة التالية $P = \rho \times h \times g$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة نحصل على:

$$P = 1000 \times 0.5 \times 10$$

$$= 5000\ Pa$$

(ب) باستخدام المعادلة $P = \frac{F}{A}$ & $F = P \times A$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة نحصل على:

$$F = P \times A = 5000 \times 3 \times 1.5$$

$$F = 22500\ N$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

إجابات منطقية تتناسب مع القيم المعطاة .

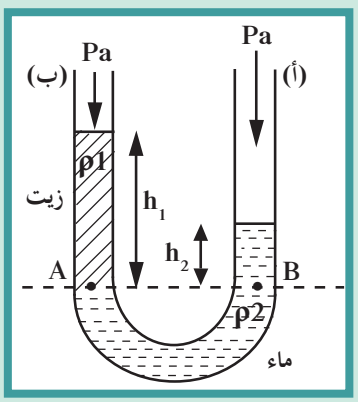
3. الأنابيب ذات الشعبتين U – tubes

- نصبّ الماء في إحدى شعبتي الأنبوب ذي الشعبتين، فيأخذ سطح الماء في الشعبتين مستوى أفقيًّا واحدًا .
- نصبّ كمّية من الزيت الذي لا يمتزج بالماء في الشعبة (ب). يرتفع الماء في الشعبة (أ)، وينخفض في الشعبة (ب).
- نسمّي النقطة (A) عند السطح الفاصل بين الزيت والماء (الشكل 88).
- بما أنّ النقطتين (A) و(B) في مستوًى أفقي واحد، يكون الضغط عند نقطة (B) = الضغط عند النقطة (A):

$$P_a + \rho_1 g h_1 = P_a + \rho_2 g h_2$$

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$$

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$$



(شكل 88)
الأنبوب ذو الشعبتين

حيث: h_1 = ارتفاع سطح الزيت عن السطح الفاصل وρ_1 = كثافة الزيت
h_2 = ارتفاع سطح الماء عن السطح الفاصل وρ_2 = كثافة الماء
ويُمثّل المقدار $\frac{\rho_1}{\rho_2}$ الكثافة النسبية للزيت التي يُمكن احتسابها بمعرفة كثافة الماء.

4. البارومتر Barometer

البارومتر هو جهاز يُستخدَم لقياس الضغط الجوّي، ويوجد منه أنواع مختلفة، مثل البارومتر الزئبقي (بارومتر توريشيللي) (الشكل 89) والبارومتر المعدني وغيرهما.

ويُقاس الضغط الجوّي بوحدات كثيرة أهمّها: N/m^2، بار (bar)، سم زئبق (cm Hg)، مم زئبق (mm Hg) أو تور (torr). أمّا في النظام الدولي للوحدات (SI)، فتُعتمَد وحدة باسكال ($Pa = N/m^2$) كوحدة للضغط.

$(1)Pa = (1)N/m^2$

$(1)bar = (10^5)Pa = (10^5)N/m^2$

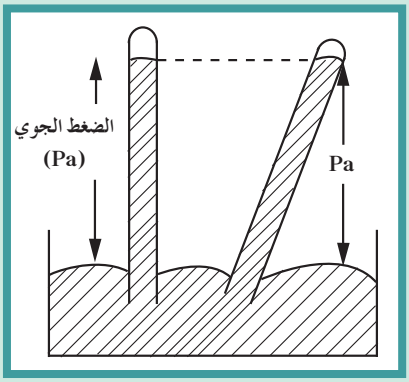
$(1)torr = (1)mm\ Hg$

الضغط الجوّي المعتاد $= (1.013 \times 10^5)N/m^2\ (Pa)$

$= (1.013)bar$

$= (76\ cm)Hg$

$= (760)mm\ Hg(torr)$



(شكل 89)
البارومتر الزئبقي (توريشيللي)

5. المانومتر Manometer

المانومتر هو جهاز يُستعمَل في قياس ضغط الغاز أو البخار، ويتكوّن من أنبوب على شكل الحرف اللاتيني U بنهايتين مفتوحتين، ويحتوي على سائل يملأ قاعة.

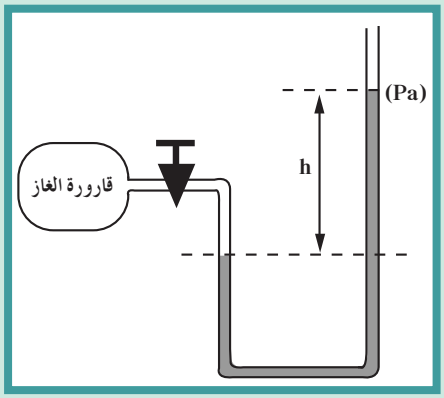
يقوم مبدأ عمل المانومتر على قياس الفرق بين ضغط الغاز المحبوس في قارورة الغاز والموصول بإحدى ذراعي الأنبوب وبين الضغط الجوّي المؤثّر على النهاية المفتوحة للأنبوب (الشكل 90).

فيكون ضغط الغاز بالمستودع (P_g) = ضغط عمود السائل الذي يبلغ ارتفاعه (h) + الضغط الجوّي (Pa)

أي أنّ $P_g = P_a + \rho gh$

حيث ρ = كثافة السائل الذي يملأ الأنبوب و g = عجلة الجاذبية الأرضية وh = ارتفاع السائل في الأنبوب

ملاحظة: يُستخدَم الزئبق في الحالات التي يكون فيها فرق الضغط كبيرًا، في حين يُستخدَم الماء في الحالات التي يكون فيها فرق الضغط صغيرًا.

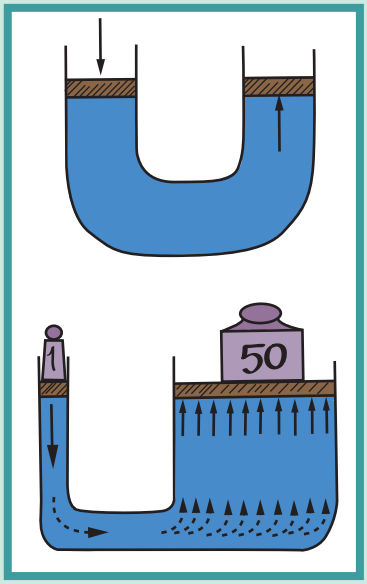


(شكل 90)
المانومتر

مسألة: في جهاز المانومتر، ارتفع السائل في الشعبة الطويلة (الشكل 90) (25)cm، عندما وُصل بوعاء فيه غاز محبوس.
احسب ضغط الغاز المحبوس باستخدام وحدة cm.Hg علمًا أنّ الضغط الجوّي يساوي (75)cm.Hg وكثافة السائل المُستخدم في المانومتر تساوي $(800)kg/m^3$.

6. قاعدة (مبدأ) باسكال Pascal's Principle

في القرن السابع عشر، وضع العالم «بليز باسكال» القاعدة (المبدأ) التالية:
«ينقل كلّ سائل ساكن محبوس أيّ تغيّر في الضغط عند أيّ نقطة إلى باقي نقاط السائل، وفي جميع الاتّجاهات». وتُسمّى وحدة قياس الضغط في النظام الدولي (SI) باسم العالم باسكال، وتُستخدَم هذه القاعدة في المكبس الهيدروليكي (الشكل 91).

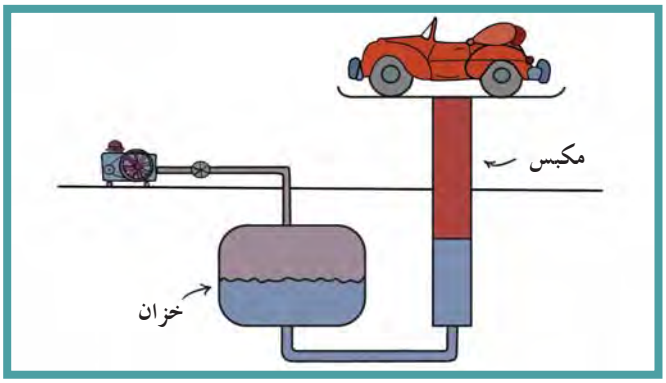


(شكل 91)
المكبس الهيدروليكي

فعند ملء أنبوب له شكل حرف U بالماء ووضع مكبس عند كلّ من نهايتي الأنبوب، نلاحظ أنّ الضغط المؤثّر على المكبس الأيسر ينتقل عبر الماء إلى المكبس الأيمن، ويُؤثّر عليه بالمقدار نفسه.
عندما تكون مساحة مقطع الفرع الأيمن للأنبوب أكبر من مساحة مقطع الفرع الأيسر، وإذا استُخدِم مكبس يُناسب كلّ فرع، فإنّ النتيجة ستكون مشوّقة. فعلى سبيل المثال، إذا كانت مساحة مقطع المكبس الأيسر $(1)cm^2$ ومساحة مقطع المكبس الأيمن $(50)cm^2$، وإذا افترضنا وضع ثقل إضافي مقداره (1)N على المكبس الأيسر، فإنّ ضغطًا إضافيًّا مقداره $(1)N/cm^2$ سينتقل عبر السائل ويدفع المكبس الكبير (الأيمن) لأعلى.
كما يُؤثّر ضغط مقداره $(1)N/cm^2$ على كلّ $(1)cm^2$ من المكبس الأيمن، وبالتالي ستُمارَس عليه قوّة مقدارها (50)N. وعليه، يُمكن لهذا المكبس رفع ثقل مقداره (50)N، أي 50 مرّة مثل الثقل المؤثّر على المكبس الصغير (الأيسر). وبالطبع يُمكن مضاعفة هذا الرقم تبعًا لمساحة كلّ من المكبس الكبير والمكبس الصغير.
وفي إطار المثال السابق نفسه، إذا تحرّك المكبس الصغير لأسفل مسافة (10)cm، فإنّ المكبس الكبير سيتحرّك لأعلى مسافة $\frac{1}{50}$ من هذه المسافة أي (0.2)cm.
وهذا يُشبه إلى حدّ كبير الرافعة الميكانيكية، ومعنى ذلك أنّ:
حاصل ضرب القوّة الموثّرة × المسافة التي يتحرّكها المكبس الصغير = حاصل ضرب القوّة الناتجة × المسافة التي يتحرّكها المكبس الكبير.
وينطبق هذا أيضًا على المكبس الهيدروليكي المستخدم في محطّات البنزين (الشكل 92) أو لدى أطبّاء الأسنان أو في الفرامل الهيدروليكية للسيّارات.

سؤال

هل يُمكن استخدام الماء بدلًا من الزيت في الروافع الهيدروليكية المستخدمة في محطّات البنزين؟ ولماذا؟



(شكل 92)
استعمال قاعدة باسكال في محطّات خدمة السيارات

يُستخدَم المكبس الهيدروليكي لرفع أثقال كبيرة بتأثير قوى صغيرة . فإذا افترضنا أنّ مساحتي مقطعي فرعي أنبوب المكبس المعدني هما A_2 و A_1 (الشكل 93)، وأنّ المكبسين عديما الاحتكاك، وإذا استخدمنا زيتًا غير قابل للانضغاط، فإنّ المكبس يعمل كالتالي:

1. عندما تُؤثّر قوّة (F_1) على المكبس الصغير، فإنّ هذه القوّة تُسبّب ضغطًا (P)

حيث **(1)** :
$$P = \frac{F_1}{A_1}$$

2. ينتقل هذا الضغط إلى جميع أجزاء السائل وإلى السطح السفلي للمكبس الكبير، والذي يُؤثّرُ عليه بقوّة (F_2) حيث:

(2):
$$F_2 = P.\ A_2$$
$$F_2 = \frac{F_1}{A_1}.\ A_2$$
أي:
$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

3. عند التأثير بالقوّة (F_1) على المكبس الصغير، فإنّه يتحرّك لأسفل مسافة (d_1) ويتولّد ضغط نتيجة القوّة المؤثرة على المكبس الكبير فتُحرّكه لأعلى مسافة (d_2). وفي حالة المكبس المثالي (لا يوجَد فقدان للطاقة) فإنّ:

الشغل المبذول على المكبس الكبير = الشغل المبذول من قبل المكبس الصغير

(3):
$$F_1.d_1 = F_2.d_2$$

تُمثّل الفائدة الآلية للمكبس الهيدروليكي **النسبة بين القوّة الكبيرة المؤثرة على المكبس الكبير إلى القوّة الصغيرة المؤثّرة على المكبس الصغير ، أو النسبة بين مساحة المكبس الكبير إلى مساحة المكبس الصغير** ، والتي يُشار إليها بالرمز (ε) (إبسيلون) حيث:

$$\varepsilon = \frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{d_1}{d_2}$$

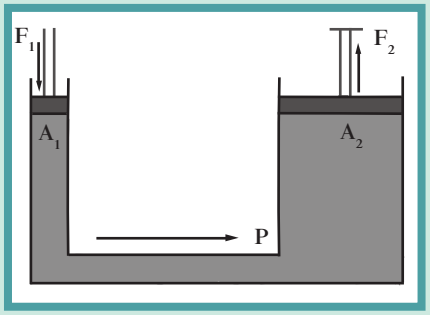
أي أنّ الفائدة الآلية أيضًا هي:

النسبة بين المسافة التي يتحرّكها المكبس الصغير إلى المسافة التي يتحرّكها المكبس الكبير ، وذلك إذا افترضنا أنّ كفاءة المكبس هي 100% ، أي لا يوجَدُ أيّ فقدان للطاقة .

$$\text{كفاءة المكبس الهيدروليكي} = \frac{\text{الشغل المبذول بالمكبس الكبير}}{\text{الشغل المبذول بالمكبس الصغير}}$$

$$= \frac{F_2 \cdot d_2}{F_1 \cdot d_1}$$

تجدر الإشارة إلى أنّه لا يوجَد عمليًّا مكبس كفاءته 100% ، وذلك بسبب قوى الاحتكاك بين المكابس وجدران الأنبوب ، ولوجود فقّاعات هوائية في الزيت .



(شكل 93)
المكبس الهيدروليكي

مثال (2)

إذا استخدمنا مكبسًا لرفع سيارة كتلتها (1000)kg ، وافترضنا أنّ مساحة المكبس الصغير $(50)cm^2$ ومساحة المكبس الكبير $(2)m^2$ ، احسب القوّة اللازمة لرفع السيّارة .

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم .

المعلوم: كتلة السيّارة: $m = (1000)kg$

القوّة المؤثّرة على المكبس الكبير: $F_2 = mg = 1000 \times 10 = 10\ 000N$

مساحة المكبس الكبير: $A_2 = (2)m^2$

مساحة المكبس الصغير: $A_1 = (50 \times 10^{-4})m^2$

غير المعلوم: القوّة اللازمة لرفع السيّارة ؟ $= F_1$

2. احسب غير المعلوم:

باستخدام القاعدة الرياضية لمبدأ باسكال: $\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$

بالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة ، نحصل على:

$$\frac{F_1}{50 \times 10^{-4}} = \frac{10\ 000}{2} \Rightarrow F_1 = 25\ N$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

نحتاج إلى (25)N فقط لرفع سيارة تزن (10 000)N ، وهذا يُبيّن دور المكبس الهيدروليكي في رفع الأشياء الثقيلة .

مثال (3)

مكبس هيدروليكي قطرا مكبسيه (4)cm و(30)cm، احسب:
(أ) مقدار القوّة المؤثّرة على المكبس الصغير في حال رفع كتلة مقدارها (200)kg.
(ب) المسافة التي يتحرّكها المكبس الكبير إذا تحرّك المكبس الصغير مسافة (10)cm.
(جـ) الفائدة الآلية للمكبس الهيدروليكي. $(g = (10)m/s^2)$

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم.

المعلوم: نصف قطر المكبس الصغير: $r_1 = (2 \times 10^{-2})m$
نصف قطر المكبس الكبير: $r_2 = (15 \times 10^{-2})m$
الكتلة على المكبس الكبير $m = (200)kg$
المسافة التي تحرّكها المكبس الصغير: $d_1 = (10)cm$

غير المعلوم: **(أ)** مقدار القوّة على المكبس الصغير: $F_1 = ?$
(ب) المسافة التي تحرّكها المكبس الكبير: $d_2 = ?$
(جـ) الفائدة الآلية: $\varepsilon = ?$

2. احسب غير المعلوم:

(أ) باستخدام القاعدة الرياضية لمبدأ باسكال:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

$$A_2 = \pi r_2^2 , A_1 = \pi r_1^2 , F_2 = m_2 g$$

بالتعويض عن المعلوم في المعادلة، نحصل على:

$$\frac{F_2}{\pi r_2^2} = \frac{F_1}{\pi r_1^2} \Rightarrow F_1 = \frac{4 \times 10^{-4} \times 200 \times 10}{225 \times 10^{-4}} = 35.56\ N$$

(ب) بالتعويض عن المعلوم في المعادلة التالية:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{d_1}{d_2}$$

$$d_2 = \frac{A_1 \cdot d_1}{A_2} = \frac{\pi r_1^2 \cdot d_1}{\pi r_2^2}$$

$$d_2 = \frac{4 \times 10^{-4} \times 10}{225 \times 10^{-4}} = (0.178)cm$$

(جـ) بالتعويض عن المعلوم في المعادلة، نحصل على:

$$\varepsilon = \frac{A_2}{A_1} = \frac{\pi r_2^2}{\pi r_1^2} \frac{225 \times 10^{-4}}{4 \times 10^{-4}} = 56.25$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

يتبيّن من الإجابات دور المكبس الهيدروليكي في رفع الأجسام الثقيلة، فنحن نحتاج إلى (3.5)kg لرفع (200)kg.

أسئلة تطبيقية وحلّها

1. أثّرت قوّة مقدارها (20)N على المكبس الصغير الذي تبلغ مساحة مقطعه $(0.2)m^2$ في مكبس باسكال.
إذا افترضنا أنّ مساحة المقطع الكبير تساوي $(2)m^2$، احسب:
(أ) الضغط الذي انتقل عبر السائل
(ب) القوّة المبذولة على المكبس الثاني
الناتج:
(أ) (100)Pa
(ب) (200)N

2. ضغطت ممرّضة على مكبس محقن طبّي بقوّة مقدارها (15)N. احسب القوّة المؤثّرة على الثقب الذي يخرج منه الدواء السائل إذا افترضنا أنّ نصف قطر أسطوانة المكبس يُساوي (2)cm، ونصف قطر الثقب الذي خرج منه الدواء يُساوي (1)mm.
الناتج: $(3.75 \times 10^{-2})N$

مثال (4)

مكبس هيدروليكي تبلغ مساحة مقطع مكبسه الصغير $(10)cm^2$ ومساحة مقطع مكبسه الكبير $(200)cm^2$. احسب:

(أ) القوّة التي تُؤثّر على المكبس الصغير عند وضع ثقل قدره $(10\ 000)N$ على المكبس الكبير.

(ب) المسافة التي يجب أن يتحرّكها المكبس الصغير واللازمة لرفع الثقل الموضوع على المكبس الكبير مسافة قدرها $(0.2)cm$، مع اعتبار عدم فقدان أيّ قدر من الطاقة نتيجة للاحتكاك.

(جـ) المسافة التي يجب أن يتحرّكها المكبس الصغير واللازمة لرفع الثقل الموضوع على المكبس الكبير مسافة $(0.2)cm$، في حال فقدانه 20% من الطاقة نتيجة الاحتكاك.

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم.

المعلوم: مساحة مقطع المكبس الصغير: $A_1 = (10)cm^2$

مساحة مقطع المكبس الكبير: $A_2 = (200)cm^2$

القوّة المبذولة على المكبس الكبير: $F_2 = (10\ 000)N$

المسافة التي تحرّكها المكبس الكبير: $d_2 = (0.2)cm$

غير المعلوم: **(أ)** مقدار القوّة على المكبس الصغير: $F_1 = ?$

(ب) المسافة التي تحرّكها المكبس الصغير مع إهمال الاحتكاك: $d_1 = ?$

(جـ) المسافة التي تحرّكها المكبس الصغير لرفع الثقل الموضوع مسافة $(0.2)cm$ في حال هدر 20% من الطاقة.

2. احسب غير المعلوم:

(أ) باستخدام القاعدة الرياضية لمبدأ باسكال: $\frac{F_2}{A_2} = \frac{F_1}{A_1}$

$$\frac{10\ 000}{200 \times 10^{-4}} = \frac{F_1}{10 \times 10^{-4}}$$

$$F_1 = (500)N$$

(ب) بالتعويض عن المعلوم في المعادلة، نحصل على:

$$F_1 . d_1 = F_2 . d_2$$

$$500 \times d_1 = 10\ 000 \times 0.2 \times 10^{-2}$$

$$d_1 = (0.04)m = (4)cm$$

(جـ) نسبة فقدان (هدر) الطاقة = 20% كفاءة المكبس = 80%

$$\varepsilon = \frac{F_2 . d_2}{F_1 . d_2} \Rightarrow \frac{80}{100} = \frac{10\ 000 \times 0.2 \times 10^{-2}}{500\ d_1}$$

$$d_1 = (0.05)m = (5)cm$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

في حال الاحتكاك، نحتاج إلى شغل أكبر لتعويض هدر الطاقة وبالتالي تحريك المكبس الصغير مسافة أطول.

7. قاعدة (مبدأ) أرشميدس Archimede's Principle

عندما فكّر البعض قديمًا في بناء السفن الحديدية سخر أناس كثيرون من هذا الاقتراح، وذلك لأنّ قطعة من الحديد تغوص عند وضعها على سطح الماء، وبحسب اعتقادهم، سيحدث الشيء نفسه للسفن الحديدية. ولكن في الواقع، عند وضع أيّ جسم في سائل ما فإنّه يتأثّر بقوّة تدفعه إلى أعلى. سنذكر في هذا الدرس عددًا من التجارب للتعرّف على القوّة المؤثّرة على الجسم المغمور أو الطافي على سطح سائل.

1.7 النقص الظاهري في الوزن

حتّى نتبيّن ماهية قوى الدفع إلى أعلى المؤثّرة على الأجسام عند وضعها في سائل، نُلاحظ عند ربط ثقل أو جسم ما بخيط قطني ومحاولة رفعه لأعلى أنّنا فشلنا في ذلك لأنّ الخيط سينقطع.

ولكن عند وضع الثقل أو الجسم في الماء مثلًا، ونكرّر المحاولة، يُمكن رفعه بسهولة بدون أن ينقطع الخيط، وذلك بسبب تأثّر الثقل بقوّة الدفع لأعلى التي يؤثر بها الماء عليه. يبدو كما لو كان الجسم أقلّ وزنًا (الوزن الظاهري w_a) وهو في الماء عنه وهو في الهواء (الوزن الحقيقي w)، وقد توصّل العالم الإغريقي أرشميدس (الشكل 94) إلى القاعدة التي تحمل اسمه وتنصّ على التالي:

«عند غمر جسم ما كليًّا أو جزئيًّا في مائع، فهو يخضع لقوّة دفع لأعلى (دافعة أرشميدس F_b) تُساوي وزن المائع المزاح» (والمائع يعني سائلًا أو غازًا).

تتمثّل الصيغة الرياضية لدافعة أرشميدس بما يلي:

$$F_b = W_{dis} \Rightarrow F_b = \rho_L \times V_L \times g$$

حيث إنّ: ρ_L تُساوي كثافة السائل الذي يغمر الجسم.

V_L حجم السائل المزاح الذي يُساوي حجم الجسم المغمور وبالتالي:

$$V_L = V_b \Rightarrow F_b = \rho_L \times V_b \times g$$

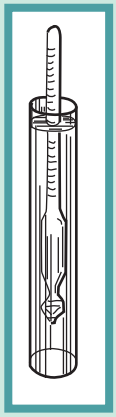
يُمكننا أن نستنتج ممّا سبق أنّ دافعة أرشميدس تُساوي:

الوزن الحقيقي – الوزن الظاهري ($F_b = W_r - W_a$).

يعود ذلك إلى نقصان وزن الجسم بمقدار قوّة دفع السائل له. بمعنى آخر، إذا وُضع جسم ما في سائل فإنّه يفقد من وزنه ويُصبح وزنه الظاهري (W_a) مساويًا لوزنه الحقيقي ناقص دافعة أرشميدس (F_b).

هل تعلم ما هو الهيدروميتر؟

هو أداة يعتمد تصميمها على نظرية أرخميدس، وتُستخدَم لقياس كثافة السوائل. والهيدروميتر عبارة عن أنبوب زجاجي مدرّج، في نهايته انتفاخ، يحوي قطع من الرصاص، يطفو في السائل، وكلّما كانت كثافة السائل أقلّ، غاص الهيدروميتر أكثر في السائل. ويستخدم ميكانيكيو السيّارات الهيدروميتر لقياس كثافة الحمض الموجودة في البطّارية.



(شكل 94)
أرشميدس (287 ق.م – 212 ق.م)

مثال (5)

إذا وضعنا جسمًا حجمه $(200)cm^3$ وكثافته $(4\ 000)kg/m^3$ في الماء، الذي تساوي كثافته $(1\ 000)kg/m^3$، احسب:

(أ) وزن (ثقل) السائل المزاح

(ب) مقدار الوزن الذي فقده الجسم في الماء

(جـ) وزن الجسم في الماء (الوزن الظاهري)

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم.

المعلوم: حجم الجسم: $V_b = (200)cm^3$

كثافة الجسم: $(4\ 000)kg/m^3$

كثافة الماء: $(1\ 000)kg/m^3$

غير المعلوم: **(أ)** وزن (ثقل) السائل المزاح $W_{dis} = ?$

(ب) مقدار الوزن الذي يفقده الجسم $F_b = ?$

(جـ) الوزن الظاهري للجسم $W_a = ?$

2. احسب غير المعلوم:

(أ) باستخدام القاعدة الرياضية لمبدأ أرشميدس وبالتعويض عن المعلوم في المعادلة نحصل على:

$$W_{dis} = \rho_L v_b g = 1\ 000 \times 200 \times 10^{-6} \times 10 = (2)N$$

(ب) يخسر الجسم من وزنه في الماء ما يساوي وزن السائل المزاح. إذًا تُساوي الخسارة في وزن الجسم (2 N) دافعة أرشميدس F_b.

(جـ) الوزن الظاهري = ؟

وزن الجسم في الماء = وزن الجسم الحقيقي − وزن السائل المزاح

$$W_a = W_r - F_b$$

أمّا كتلة الجسم الحقيقية = كثافة الجسم × حجمه

$$4\ 000 \times 200 \times 10^{-6} = (0.8)kg$$

وبالتالي فإنّ ثقله الحقيقي $= (8)N$

فيُصبح الوزن الظاهري: $W_a = 8 - 2 = (6)N$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

إنّ الوزن الظاهري للجسم أقلّ من وزنه الحقيقي ما يُؤكّد صحّة الإجابات.

8. هل يطفو أم يغوص؟ Does It Float or Sink?

لاحظنا ممّا سبق أنّ قوّة الدفع (F_b) المؤثّرة على الجسم تعتمد على حجمه. فالجسم ذو الحجم الصغير يُزيح القليل من السائل، وبالتالي يُسبّب قوّة دفع صغيرة، والعكس بالنسبة إلى الأجسام الأكبر حجمًا. وعليه، فإنّ حجم الجسم هو الذي يُحدّد مقدار قوّة الدفع (دافعة أرشميدس).

حتى الآن، أكّدنا على ثقل السائل المزاح، ولكن ماذا عن ثقل الجسم المراد وضعه في السائل؟

يعتمد غوص الجسم أو طفوه على المقارنة بين مقدار قوّة الدفع المؤثّرة عليه إلى أعلى ومقدار ثقله إلى أسفل.

بعد التفكير الدقيق في الموضوع، يظهر لنا أنّه عندما يتساوى مقدار القوّة الدافعة مع الثقل الحقيقي، فإنّ هذا الأخير سوف يتساوى مع ثقل السائل المزاح، وبالتالي ستكون كثافة الجسم مساوية لكثافة السائل المزاح لأنّ حجم الجسم يُساوي حجم السائل المزاح. ونقول إنّ الجسم معلّق في الماء (غير طافٍ على سطح السائل وغير غارق في قاعه). وينطبق ذلك على سمكة كثافتها تساوي لكثافة الماء. فكلّما زاد حجم السمكة قلّت كثافتها، ما يجعلها تطفو على السطح. أمّا إذا ابتلعت السمكة حجرًا فإنّ كثافتها سوف تزيد وتغرق نحو القاع.

يُمكن أن نلخّص الموضوع بثلاث أفكار رئيسية:

1. إذا كانت كثافة الجسم أكبر من كثافة السائل فإن الجسم سوف يغوص.
2. إذا كانت كثافة الجسم مساوية لكثافة السائل فإنّ الجسم يكون معلّقًا في السائل.
3. إذا كانت كثافة الجسم أقلّ من كثافة السائل فإن الجسم سوف يطفو.

بناء على الأفكار الثلاث هذه، ماذا نستطيع أن نقول للشخص الذي يجد صعوبة في الطفو؟ عليه ببساطة التقليل من كثافته لكي يستطيع أن يطفو بسهولة، وذلك إمّا بالتقليل من وزنه أو الزيادة في حجمه. فمن شأن امتلاء الرئتين بالهواء وارتداء سترة النجاة أن يزيدا من حجم الجسم مقابل زيادة ضئيلة جدًّا في الكتلة. تضمّ الغوّاصات خزّانات كبيرة تتمّ تعبئتها بالماء أو إفراغه منها. فإذا أرادت الغوّاصة أن تهبط إلى الأعماق، تُملأ الخزّانات بالماء بحيث تزداد كثافة الغوّاصة لتُصبح أكبر من كثافة الماء، وإذا أرادت أن ترتفع لأعلى يتمّ تفريغ الخزّانات، وعندما تثبت في الماء تكون كثافة الغوّاصة متساوية مع كثافة الماء.

قانون الطفو: إذا طفا جسم ما في مائع، يكون وزن المائع المزاح مساويًا لوزن الجسم الطافي.

ويُراعى هذا القانون في تصميم السفن، إذ يجب أن يكون وزن السفينة مساويًا لوزن المياه المزاحة. فالسفينة التي تزن N(100 000) يجب أن تُبنى بشكل يسمح بإزاحة N(100 000) من المياه وإلّا سوف تغوص نحو القاع.

يغوص أم يطفو؟

عند إضافة الماء إلى مخبار يحوي زيتًا، يغوص الماء إلى القاع لأنّه أعلى كثافة من الزيت. وعند إضافة زيت إلى مخبار يحوي ماء، فإنّ الزيت يطفو فوق سطح الماء. من الممكن تلخيص حالات الطفو بما يلي:

1. يغوص الجسم في حال كانت كثافته أعلى من كثافة المائع.
2. يطفو الجسم في حال كانت كثافته أقلّ من كثافة المائع.
3. لا يطفو الجسم ولا يغوص في حال تساوت كثافته مع كثافة المائع.

يطفو الخشب لأنّ كثافته أقلّ من كثافة الماء، في حين يغوص الحجر لأنّ كثافته أكبر من الماء. أمّا السمكة فهي لا تطفو ولا تغوص لأنّ كثافتها مساوية لكثافة الماء.

الفيزياء والجيولوجيا

الجبال الجليدية

من المعلوم أنّ معظم الجبال الجليدية العائمة تتواجد تحت سطح الماء، كما أنّ معظم الجبال تتواجد تحت سطح الأرض. فالجبال تطفو أيضًا، إذ يقع حوالى 15% من الجبل أعلى مستوى سطح المنطقة المحيطة به فيما يمتدّ الباقي منه بعمق إلى ما دون سطح الأرض. وإذا تخيّلنا أنّنا قطعنا قمّة جبل جليدي عائم، فإنّ الجبل سيكون أقلّ وزنًا وبالتالي يطفو أكثر، مندفعًا من أسفل إلى أعلى.

مثال (6)

يطفو مكعّب من الخشب طول ضلعه (10)cm وكثافته $(800)kg/m^3$ في الماء حيث كثافة الماء $\rho = (1000)kg/m^3$.

(أ) أحسب ارتفاع الجزء الغارق من ضلع المكعّب تحت سطح الماء.

(ب) ما مقدار الكتلة الواجب وضعها فوق قاعدته العليا لتصبح في مستوى سطح الماء؟

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم.

المعلوم: ضلع المكعّب: (10)cm

كثافة المكعّب: $(800)kg/m^3$

كثافة الماء: $(1\ 000)kg/m^3$

غير المعلوم: **(أ)** ارتفاع الجزء المغمور بالماء ؟ $= h_{im}$

(ب) الكتلة اللازمة لغوص الجسم ؟ $= m$

2. احسب غير المعلوم:

(أ) باستخدام المعادلة الرياضية: $F_b = W_r$

$$\rho_b V_b g = \rho_L V_b g$$

$$\rho_{H_2O} A h_{im} = \rho_L A h$$

$$1000 \times h_{im} = 800 \times 0.1$$

$$h_{im} = (0.08)m$$

$$= (8)cm$$

(ب) نفترض أنّ كتلة الجسم التي ستُغرق المكعّب هي (m).

بالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة، نحصل على:

وزن الجسم في الماء = وزن الجسم الحقيقي − وزن السائل المزاح

$$F_b = W_r + mg$$

$$10 = 8 + mg \Rightarrow m = (0.2)kg$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

الكتلة مقبولة المقدار يمكن إضافتها لإغراق الجسم الطافي.

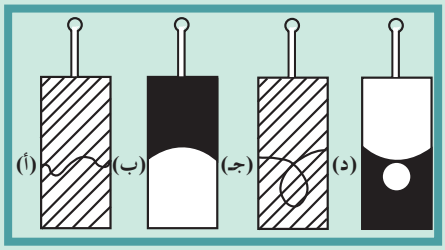
9. التوتّر السطحي للسائل Surface Tension Forces

يُعتبر التوتّر السطحي Surface Tension ظاهرة تجعل سطح السائل مرنًا ومشدودًا.

بعض المشاهدات المتعلّقة بظاهرة التوتّر السطحي:

- عند وضع إبرة، بعد تشحيمها أو دهنها بالڤازلين، على قطعة صغيرة من ورقة ترشيح، ثمّ وضع الورقة والإبرة على سطح الماء، تجد أنّ ورقة الترشيح تغوص في الماء، في حين تطفو الإبرة على سطحه. ويعود ذلك إلى أنّ سطح الماء يتصرّف كما لو كان غشاءً مرنًا.
- عند وضع شبكة معدنية رقيقة على شكل صندوق فوق سطح الماء فإنّها ستطفو. وعند وضع قطرات من الكحول أو محلول صابون مثلًا، يقلّ التوتّر السطحي للماء وتغوص الإبرة والصندوق في الماء.

- عند وضع قطرة من الزئبق على لوح زجاجي فإنّها تأخذ الشكل الكروي، وإذا انقسمت القطرة، تأخذ القطيرات الصغيرة الشكل الكروي أيضًا.
- تتّخذ قطرات الماء المتساقطة شكلًا كرويًّا.
- عند ربط خيط على شكل عروة في سلك إطاري الشكل، كما في (الشكل 95)، ثمّ غمر الإطار في محلول صابون أو أيّ منظّف آخر، نُلاحظ تكوّن غشاء صابوني رقيق على الإطار. وعند إزالة الغشاء على جانبي الخيط القطني، باستخدام دبّوس أو ورقة ترشيح مثلًا، نُلاحظ أنّ الشدّ في الغشاء الصابوني من الجانب المعاكس من الخيط يجذب الخيط الذي يتّخذ شكل قوس في دائرة (الشكل 95، أ وب) وإذا كان الخيط على شكل عروة، يحدث كما في (الشكل 95، جـ ود).



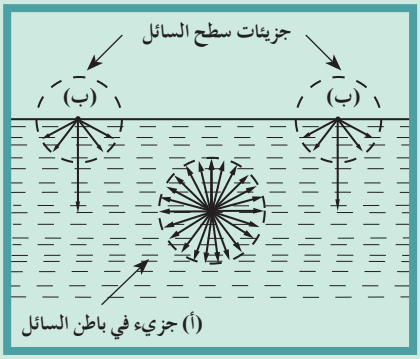
(شكل 95)

بناءً على المشاهدات السابقة، نجد أنّ التوتّر السطحي للسائل يعمل على تقليص مساحة سطحه، لأنّ المساحة السطحية للكرة هي أقلّ المساحات للأحجام المتساوية.

الاستنتاج: قوى التوتّر السطحي عبارة عن قوى انكماشية تُؤثّر في جزيئات سطح السائل في الاتّجاه العمودي على السطح نحو باطن السائل.

بالتالي، فإنّ سطح السائل:

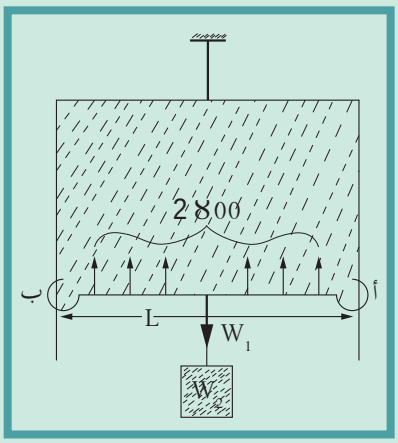
- يعمل كغشاء مرن ومشدود.
- يُقاوم اختراق الأجسام الخفيفة له.
- يأخذ الشكل الكروي الأقلّ مساحة للسطح.



(شكل 96 أ)

لتفسير ظاهرة التوتّر السطحي، نأخذ جزيئًا موجودًا في باطن السائل، مثل الجزيء (أ)، فنجده متأثّرًا بقوى تجاذب مع الجزيئات المحيطة به من جميع الجهات، وتكون محصّلة القوى معدومة تقريبًا. وعليه، فإنّ الجزيء (أ) يكون متّزنًا تقريبًا.

أمّا إذا أخذنا جزيئًا موجودًا في سطح السائل، مثل الجزيء (ب)، فإنّنا سنجده متأثّرًا بقوى تجاذب مع الجزيئات الموجودة داخل السائل وأسفله، التي تُعتبر قوى غير متّزنة. ولذلك، فإنّ محصّلة هذه القوى تُؤثّر على الجزيء (ب) في اتّجاه نحو داخل السائل. ومعنى ذلك أنّه عندما نُريد إزاحة الجزيء (ب) إلى أعلى، يجب بذل شغل للتغلّب على هذه القوى المحصّلة واتّجاهها إلى أسفل. بالتالي، تكتسب جزيئات سطح السائل طاقة وضع كبيرة ما يجعلها متماسكة ومتقاربة، مكوّنة غشاءً رقيقًا مرنًا ومشدودًا عند سطح السائل.



(شكل 96 ب)

1.9 مُعامل التوتّر السطحي للسائل

يُستخدَم سلك على شكل حرف (U) وسلك آخر (أ ب) ينزلق عليه (الشكل 96 ب) (يجب أن يكون المنزلق خفيف الوزن). عند غمر الإطار في محلول صابون ثمّ رفعه، نجد أنّ السلك (أ ب) المنزلق مشدود لأعلى الإطار. ومن الممكن أن نُحدث اتّزانًا باستخدام ثقل آخر (W_2)، ليتزّن مع المنزلق الذي وزنه (W_1) تحت تأثير قوى الشدّ لأعلى، وهي عبارة عن قوّة شدّ ناتجة عن الغشاء الصابوني، أو ما يُعرَف بقوّة التوتّر السطحي (F) ما يعني أنّ: $\boxed{F = W_1 + W_2}$

وبذلك يتّزن المنزلق (أ ب) ويستقرّ في وضع معيّن في درجة حرارة الغرفة (لاحظ أنّ هذا يختلف عن حالة غشاء مطّاطي).

بالرغم من كون سماكة غشاء الصابون صغيرة جدًّا، إلّا أنّها تُعتبَر كبيرة جدًّا بالمقارنة مع حجم الجزيء. لذلك، نعتبر أنّ للغشاء طبقتين سطحيتين أو وجهين، سمك كلّ منهما عدد من الجزيئات. يُحيط هذان الوجهان أو السطحان بالسائل، وعند جذب المنزلق (أ ب) لأسفل قليلًا، تزداد مساحة الغشاء الصابوني نتيجة حركة جزيئات السائل. إذا افترضنا أنّ طول السلك المنزلق (L) وأنّ للغشاء وجهين أو سطحين، فإنّ الطول الكلّي الذي تُؤثّر عليه القوّة (F) يُساوي (2L) ومعامل التوتّر السطحي للغشاء (γ).

بالتالي، فإنّ: $\boxed{\gamma = \frac{F}{2L}}$

بناءً على ذلك، يُمكن تعريف **مُعامل التوتّر السطحي لسائل ما بأنّه: «النسبة بين القوى السطحية والطول العمودي الذي تُؤثّر عليه القوّة»**.

ولذلك يُقاس مُعامل التوتّر السطحي في النظام الدولي (SI) بوحدة N/m. وبالمثل، يُمكن إثبات أنّ مُعامل التوتّر السطحي لسائل (γ) يُساوي: $\boxed{\gamma = \frac{W}{2\Delta A}}$

حيث تُساوي (W) الشغل المبذول لزيادة مساحة سطح الغشاء الصابوني بمقدار ΔA. وعليه، يُمكن تعريف **مُعامل التوتّر السطحي كما يلي: «الشغل المبذول لزيادة مساحة سطح الغشاء بمقدار الوحدة»**.

وبناءً على هذا التعريف، يُقاس مُعامل التوتّر السطحي بوحدة J/m^2، ومعادلة الأبعاد لمُعامل التوتّر السطحي هي (MT^{-2}).

يُشكّل مُعامل التوتّر السطحي صفة مميّزة للسائل عند ثبات درجة حرارته. يُبيّن الجدول التالي مُعامل التوتّر السطحي لبعض السوائل عند درجة حرارة (20 °C).

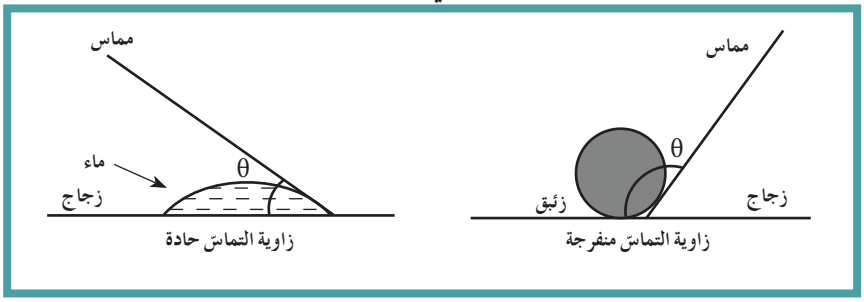
السائل (ملامس للهواء)	معامل التوتر السطحي N/m
البنزين	28.9×10^{-3}
الكحول الإثيلي	22.3×10^{-3}
الجلسرين	63.1×10^{-3}
الزئبق	495×10^{-3}
محلول الصابون	25×10^{-3}
الماء	72.8×10^{-3}

2.9 زاوية التماسّ (θ) وقوى التماسك والتلاصق
Angle of Contact, Cohesion and Adhesion Forces

- **زاوية التماسّ Angle of contact هي زاوية في باطن السائل محصورة بين سطح الجسم الصلب والمماسّ لسطح السائل عند نقطة تلاقيهما .**

وتختلف زاوية التماس باختلاف قوى التجاذب بين جزيئات السائل مع بعضها البعض ، وباختلاف قوى التجاذب بين جزيئات السائل والوعاء أو السطح الملامس للسائل .

- **قوى التماسك Cohesion forces هي قوى التجاذب بين جزيئات المادّة الواحدة.**



(شكل 97)

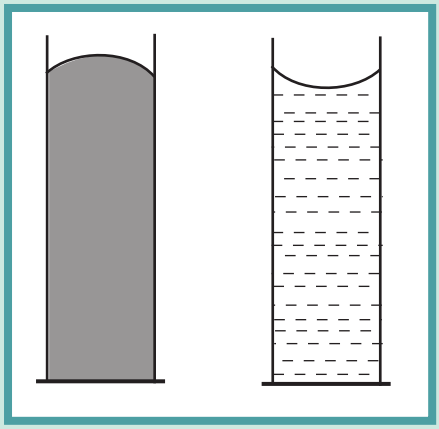
- **قوى التلاصق Adhesion forces هي قوى التجاذب بين جزيئات مادّتين مختلفتين.**

تُلاحظ في الشكل (97) أنّ زاوية التماسّ بين الماء والزجاج حادّة لأنّ قوى التلاصق أكبر من قوى التماسك ، أمّا زاوية التماسّ بين الزئبق والزجاج ، فهي منفرجة لأنّ قوى التلاصق أقلّ من قوى التماسك .

3.9 الخاصّية الشعرية وزاوية التماسّ
Capillary Action and Angle of Contact

يرتفع السائل أو ينخفض في الأنابيب الشعرية (الشكل 98) اعتمادًا على زاوية التماسّ بين السائل والزجاج .

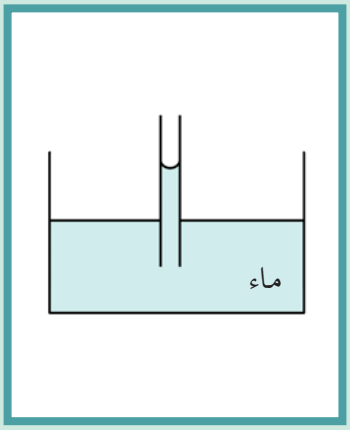
- يرتفع الماء في الأنابيب الشعرية لأن زاوية التماسّ بين الزجاج والماء هي زاوية حادّة حيث يغلب تأثير قوى التلاصق (الشكل 99) .
- ينخفض الزئبق في الأنابيب الشعرية لأنّ زاوية التماس بين الزئبق والزجاج أكبر من 90° (زاوية منفرجة) حيث تغلب قوى التماسك على قوى التلاصق .



(شكل 103)

4.9 بعض التطبيقات على ظاهرة التوتّر السطحي

1. عند صهر أطراف الأنابيب الزجاجية المكسورة ، يعمل التوتّر السطحي لمصهور الزجاج على تقليل مساحة السطح ، فيتّخذ الشكل الكروي وتختفي بالتالي الأجزاء المكسورة .
2. إضافة المنظّفات الصناعية أو الصابون من شأنها أن تُقلّص زاوية التماس فتزيد قوى الالتصاق وتُسهّل إزالة بقع الدهون من الأنسجة .
3. يتمّ رشّ ماء البرك والمستنقعات بالكيروسين لتقليص زاوية التماس ، فلا تتمكّن يرقات البعوض من ملامسة سطح الماء فتغوص وتموت في الماء .
4. ارتفاع الماء والعصارة النباتية في النباتات المتمتّعة بالخاصيّة الشعرية .
5. تعمل مسامّ ورق الترشيح كأنابيب شعرية تمتصّ السوائل .



(شكل 104)

6. تُستخدَم المناديل في التجفيف .
7. ارتفاع الكيروسين أو الكحول في شريط الموقد حيث تعمل مسامّه كأنابيب شعرية .
8. ارتفاع نسبة الماء في التربة الطينية أكثر منه في التربة الرملية لاختلاف المسافات بين جزيئات كلّ تربة ، كما يختلف ارتفاع منسوب المياه بحسب نوع التربة .

مراجعة الدرس 1-3

أوّلًا – اكتب معادلة الضغط عند نقطة ما في باطن سائل سطحه معرّض للهواء الجوّي .

ثانيًا – ما المقصود بكلّ من زاوية التماسّ ، قوى التماسك ، قوى التلاصق؟

ثالثًا – **(أ)** عرّف مُعامل التوتّر السطحي لسائل ما . ما هي وحدة قياسه؟

(ب) بيّن بعض التطبيقات لظاهرة التوتّر السطحي لسائل ما .

رابعًا – **علّل:** لماذا يغرق مسمار من الحديد بينما تطفو سفينة مصنوعة من الحديد؟

خامسًا – **علّل:** لماذا تتّخذ قطرات المطر شكلًا كرويًّا؟

سادسًا – اذكر بعض التطبيقات لقاعدة باسكال .

سابعًا – حوض يحوي ماءً مالحًا كثافته $(1030)kg/m^3$. إذا افترضنا أنّ ارتفاع الماء يبلغ $(1)m$ وأنّ مساحة قاعدة الحوض تساوي $(500)cm^2$ ، احسب:

(أ) الضغط الكلّي على القاعدة

(ب) القوّة المؤثّرة على القاعدة

(ج) الضغط على أحد الجوانب الرأسية للحوض

علمًا أنّ الضغط الجويّ المعتاد يساوي $(1.013 \times 10^5)N/m^2$ ، وعجلة الجاذبية الأرضية $(10)m/s^2$.

ثامنًا – قطعة من الحديد ، وزنها في الهواء $(1574)N$ وحجمها يُساوي $(0.02)m^3$ ، أُسقِطت في الماء لتغوص إلى القاع ، احسب:

(أ) قوّة دافعة أرشميدس (كثافة الماء $= 1000\ kg/m^3$) .

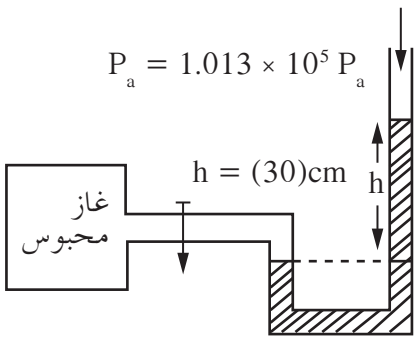
(ب) الوزن الظاهري لقطعة الحديد في الماء .

تاسعًا – مكبس هيدروليكي تساوي مساحة مقطع مكبسه الصغير $(20)cm^2$ ومساحة مقطعه الكبير $(2)m^2$ ، احسب:

(أ) القوّة المؤثّرة على المكبس الصغير ، لرفع كتلة وزنها $(20\ 000)N$ موضوعة على مكبسه الكبير .

(ب) الفائدة الآلية لهذا المكبس الهيدروليكي .

عاشرًا – احسب ضغط الغاز المحبوس في قارورة الغاز بواسطة جهاز المانومتر ، علمًا أنّ الضغط الجوّي $(1.013 \times 10^5)Pa$ ، وارتفاع السائل $(30)cm$ وكثافة السائل $(13\ 600)kg/m^3$ ، وعجلة الجاذبية الأرضية $(10)m/s^2$.



الحادي عشرَ – احسب ارتفاع عمود الماء الذي يُعادل ضغطًا جوّيًّا يساوي $(1.015 \times 10^5)Pa$ عند سطح البحر .

مراجعة الوحدة الثانية

المفاهيم

الإجهاد	Stress	حدّ المرونة	Elastic Limit
الانفعال	Strain	الضغط	Pressure
البلازما	Plasma	قانون هوك	Hooke's Law
التوتّر السطحي	Surface Tension	قوى التلاصق	Adhesion Forces
حالات المادّة	Phases of Matter	قوى التماسك	Cohesion Forces
الحالة السائلة	Liquid State	مرونة	Elasticity
الحالة الصلبة	Solid State	مكبس هيدروليكي	Hydraulic Press
الحالة الغازية	Gaseous State		

الأفكار الرئيسية في الوحدة

- حالات المادّة هي الحالة الصلبة، الحالة السائلة، الحالة الغازية، بالإضافة إلى حالة البلازما (الحالة المتأيّنة).
- من الممكن أن تتحوّل المادّة من صورة إلى أخرى بارتفاع درجة الحرارة أو انخفاضها.
- المرونة هي خاصّية تُميّز الأجسام الصلبة. فعند تأثير قوى خارجية على الجسم الصلب، قد يتغيّر شكل هذا الأخير أو حجمه، وعند زوال القوّة يعود الجسم الصلب إلى حالته الأصلية.
- قانون هوك: اكتشف هوك أنّ استطالة نابض تتناسب طرديًّا مع القوّة المؤثّرة عليه.
- العلاقة البيانية بين الاستطالة والقوّة المؤثرة على النابض هي علاقة خطّية إلى نقطة تُسمّى حدّ المرونة. بعد تجاوز هذه النقطة يفقد الجسم مرونته تدريجيًّا حتى يصل إلى نقطة القطع أو الكسر.
- قانون هوك: القوّة المؤثّرة = ثابت المرونة × الاستطالة
- عند تصميم الآلات وتشييد الجسور والمنشآت الهندسية، تُؤخَذ بعين الاعتبار خواصّ الموادّ الصلبة المستخدمة في صناعتها. وتخضع هذه الموادّ لاختبارات خاصّة للتعرّف على صفات عديدة من بينها المرونة، التأكّد من مدى صلاحيتها وتحمّلها للإجهاد الذي سيُمارَس عليها، وملاحظة القوّة الناشئة من التمدّد بالحرارة أو الانكماش بالبرودة. ومن ضمن خصائص المادّة نذكر: الليونة، والصلابة والصلادة، والطواعية.
- الضغط هو القوّة المؤثّرة على وحدة المساحات، والتي تُقاس في النظام الدولي للوحدات (SI) بوحدة N/m^2 (الباسكال Pa).
- ضغط السائل عند نقطة ما في باطنه = ρgh.
- الضغط الكلّي في باطن سائل ما معرّض للهواء الجوّي = $P_a + \rho gh$.
- وحدات قياس الضغط الجوّي هي: N/m^2، Pa، Bar، Torr، mm hg
- الضغط الجوّي عند نقطة ما هو وزن عمود الهواء المؤثّر عموديًّا على وحدة المساحات المحيطة بنقطة معيّنة على سطح البحر، والممتدّ حتى نهاية الغلاف الجوّي. وتُؤثّر درجة الحرارة على كثافة الهواء الجوّي وبالتالي على الضغط الجوّي. ويُقاس الضغط الجوّي بأجهزة تُسمّى البارومترات، مثل البارومتر الزئبقي والبارومتر المعدني وغيرهما.
- يُستخدَم المانومتر لقياس ضغط غاز محبوس داخل مستودع.
- قاعدة باسكال: عندما يُؤثّر ضغط على سائل ما محبوس في إناء، ينتقل مقدار الزيادة في الضغط إلى جميع أجزاء السائل وفي جميع الاتّجاهات، كما ينتقل إلى جدران الإناء المحتوي على السائل وقاعه.

ومن تطبيقات هذه القاعدة: المكبس الهيدروليكي في محطّات البنزين والصيانة، الفرامل الهيدروليكية، كراسي العلاج عند أطبّاء الأسنان، مكابس بالات القطن، مكابس المطابع المستخدمَة في تجليد الكتب، وغيرها.

- قاعدة أرشميدس: إذا غُمِر جسم ما كلّيًّا أو جزئيًّا في مائع (سائل أو غاز)، فهو يخضع لقوّة دفع إلى أعلى تُساوي وزن المائع المزاح في الجسم المغمور كليًّا أو جزئيًّا.
- العوامل التي تؤثّر في قوّة دفع السائل لجسم مغمور كليًّا أو جزئيًّا فيه:
  - كثافة السائل
  - حجم الجسم المغمور كلّه أو حجم الجزء المغمور منه
  - عجلة السقوط الحرّ في هذا المكان
- التوتّر السطحي هو ظاهرة تتميّز بها السوائل بحيث يعمل السائل كغشاء رقيق ومشدود ومرن يمنع اختراق الأجسام الخفيفة له.
- مُعامل التوتّر السطحي لسائل γ هو الشغل المبذول لزيادة مساحة سطح سائل ما بمقدار وحدة المساحات في سطحه، والذي يُعبَّر عنه بواسطة وحدة القياس J/m^2.
- تعريف آخر لمُعامل التوتّر السطحي γ: النسبة بين القوّة السطحية والطول العمودي الذي تُؤثّر فيه القوّة، والتي يُعبَّر عنها بواسطة وحدة القياس N/m.

ومن تطبيقات ظاهرة التوتّر السطحي للسوائل، نذكر:

استخدام الصابون في التنظيف، وقتل يرقات البعوض، وتسوية فوّهات الأنابيب الزجاجية المكسورة.

- زاوية التماسّ هي زاوية في باطن السائل محصورة بين سطح الجسم الصلب والمماسّ لسطح السائل عند نقطة تقابلهما.
- قوى التماسك هي قوى الجذب المتبادلة بين جزيئات مادّة واحدة.
- قوى التلاصق هي قوى الجذب المتبادلة بين جزيئات مادّتين مختلفتين متجاورتين.

معادلات

قانون هوك: $F = k\Delta L = kx$

الضغط: $P = \frac{F}{A}$

الضغط في السوائل: $P = \rho \times h \times g$

الضغط مع وجود ضغط الهواء: $P = \rho hg + P_{at}$

قانون باسكال: $\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$

قاعدة أرخميدس: $F_b = W_r - W_a$

$F_b = \rho_L \times V_b \times g$

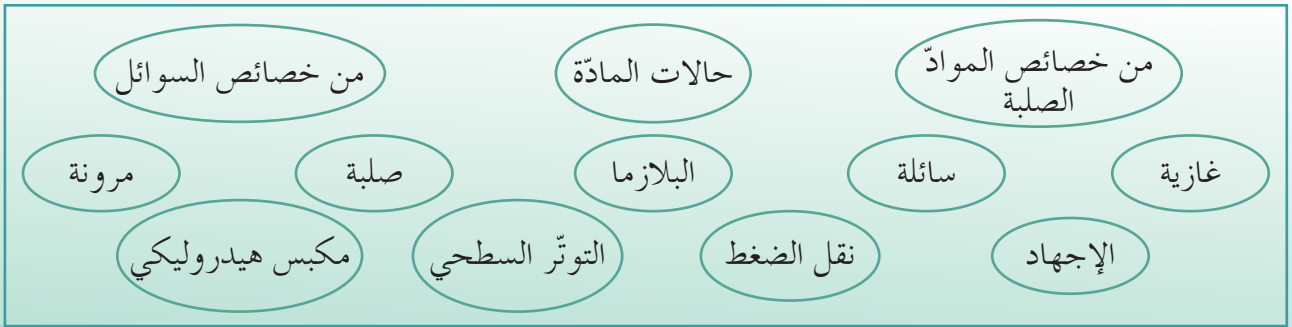
مُعامل التوتّر السطحي للسائل: $\gamma = \frac{F}{2L}$

أو $\gamma = \frac{W}{2\Delta A}$

حيث W هي العمل المبذول وΔA الزيادة بالمسافة لسطح الغشاء.

خريطة مفاهيم الوحدة

استخدم المصطلحات الموضّحة في الشكل التالي لرسم خريطة مفاهيم تهدف إلى تنظيم بعض الأفكار التي احتوتها الوحدة.



تحقق من فهمك

ضع علامة (✓) في المربّع الواقع أمام الإجابة الأنسب في كلّ ممّا يلي:

1. قد تكون قوى التجاذب بين الجزيئات معدومة في الحالة:
   - ☐ السائلة
   - ☐ الصلبة
   - ☐ الغازية
   - ☐ البلازما
2. إنّ حجم السوائل:
   - ☐ ثابت
   - ☐ يعتمد على شكل الاناء
   - ☐ متغيّر
   - ☐ يختلف بحسب الاستخدام
3. إنّ ضغط السائل على نقطة ما في وعاء يتناسب طرديًّا مع:
   - ☐ حجم السائل
   - ☐ عمق النقطة أسفل سطح السائل
   - ☐ ارتفاع النقطة بالنسبة إلى قاع الوعاء
   - ☐ جميع الاحتمالات خاطئة
4. إذا أحدثت كتلة مقدارها (2)kg استطالة مقدارها (3)cm على زنبرك معيّن، فإنّ كتلة مقدارها (6)kg قد تُحدث على النابض نفسه استطالة بوحدة السنتيمتر تُساوي: (لنفترض أنّها لم تتخطّ حدّ المرونة)
   - ☐ 6
   - ☐ 10
   - ☐ 9
   - ☐ 12
5. يُقاس الضغط الجويّ بوحدة:
   - ☐ N/m^2
   - ☐ Pa/m
   - ☐ Nm^2
   - ☐ N/m
6. مُعامل التوتّر السطحي لسائل ما يُساوي:
   - ☐ القوّة المبذولة لزيادة مساحة سطح سائل ما بمقدار وحدة المساحة
   - ☐ الشغل المبذول لزيادة حجم سائل بمقدار وحدة الأحجام
   - ☐ الشغل المبذول لزيادة مساحة سطح سائل ما بمقدار وحدة المساحة
   - ☐ النسبة بين الشغل والطول العمودي الذي يُحدثه العمل
7. تعتمد قوّة أرشميدس الدافعة لجسم مغمور على:
   - ☐ كثافة السائل
   - ☐ كتلة الجسم
   - ☐ حجم السائل
   - ☐ وزن الجسم
8. عندما تتساوى قوّة الدفع المؤثّرة على الجسم المغمور في الماء مع وزن الجسم، هذا يعني أنّ:
   - ☐ كثافة الجسم أكبر من كثافة الماء
   - ☐ كثافة الجسم متساوية مع كثافة الماء
   - ☐ كثافة الجسم أقلّ من كثافة الماء
   - ☐ لا يمكن تحديد كثافة الجسم
9. عندما تكون قوّة الدفع المؤثّرة على الجسم المغمور في الماء أكبر من وزن الجسم فإنّ:
   - ☐ كثافة الجسم أكبر من كثافة الماء
   - ☐ كثافة الجسم متساوية مع كثافة الماء
   - ☐ كثافة الجسم أقلّ من كثافة الماء
   - ☐ لا يمكن تحديد كثافة الجسم
10. عندما تكون قوّة الدفع المؤثّرة على الجسم المغمور في الماء أقلّ من وزن الجسم فإنّ:
    - ☐ كثافة الجسم أكبر من كثافة الماء
    - ☐ كثافة الجسم متساوية مع كثافة الماء
    - ☐ كثافة الجسم أقلّ من كثافة الماء
    - ☐ لا يمكن تحديد كثافة الجسم

11. عند غمر جسم ما كلّيًّا في الماء فإنّ:

- ☐ حجم الماء المزاح أكبر من حجم الجسم المغمور
- ☐ حجم الماء المزاح أقلّ من حجم الجسم المغمور
- ☐ حجم الماء المزاح يُساوي حجم الجسم المغمور
- ☐ حجم الجسم المغمور من حجم الوعاء

تحقق من معلوماتك

أجب عن الأسئلة التالية:

1. عرّف المرونة واذكر بعض خواصّ المادّة المتعلّقة بالمرونة.
2. اكتب نص قانون هوك وارسم منحنى يُظهر القوّة والاستطالة مبيّنًا:

(أ) حدّ المرونة

(ب) ثابت المرونة

(جـ) ما هي وحدة قياس ثابت المرونة؟

3. عرّف الضغط واذكر وحدة قياسه.
4. **(أ)** بيّن في الرسم الجهاز المستخدَم في قياس الضغط الجوّي في مكان ما.

(ب) عرّف الضغط الجوّي.

(جـ) اذكر وحدة قياسه وفق النظام الدولي للوحدات (SI).

5. كم يُساوي مقدار الضغط الكلّي عند نقطة ما في باطن سائل إذا كان:

(أ) سطح السائل معرّض للهواء الجوّي

(ب) السائل في إناء مغلق وغير معرّض للهواء الجوّي

6. بيّن العوامل المؤثّرة في كلّ من:

(أ) ضغط السائل عند نقطة في باطنه

(ب) دفع السائل لجسم مغمور فيه كلّيًّا أو جزئيًّا

7. ما الفرق بين قوى التماسك وقوى التلاصق؟
8. عرّف مُعامل التوتّر السطحي لسائل ما. ما هي وحدة قياسه؟
9. اذكر بعض التطبيقات العملية لكلّ من:

(أ) قاعدة باسكال

(ب) التوتّر السطحي لسائل ما

10. علّل:

(أ) يتمّ رشّ مياه البرك والمستنقعات بالكيروسين.

(ب) تتكوّر قطرات المطر المتساقط.

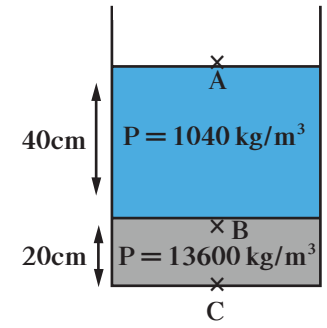
(جـ) تُصنَع الحليّ من الذهب والنحاس وليس من الذهب الخالص.

تحقق من مهاراتك

حلّ المسائل التالية:

1. احسب مقدار الشغل المبذول لزيادة مساحة السطح المعرّض لغشاء صابوني بوجهين، بمقدار $(600)cm^2$، علمًا أنّ مُعامل التوتّر السطحي للغشاء $(0.025)N/m$.

2. يحتوي الوعاء الموجود في الصورة على (20)cm من زئبق Hg تُساوي كثافته $(13\ 600)kg/m^3$، وعلى (40)cm من الماء المالح تُساوي كثافته $(1\ 040)kg/m^3$، حيث إنّ الضغط الجوّي يُساوي $(10^5)Pa$.

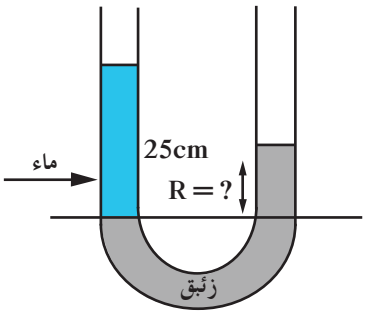


(أ) احسب الضغط المؤثّر على نقطة A على السطح العلوي للماء المالح.

(ب) احسب الضغط المؤثّر على نقطة B على عمق (50)cm من السطح الأفقي الفاصل بين الهواء والماء المالح.

(جـ) احسب الضغط المؤثّر على نقطة C في قاع الوعاء المستخدم.

3. وضعنا في وعاء ذي شعبتين ومفتوح من الجهتين كمّية من الزئبق بحيث أصبح السطحان الفاصلان بين الزئبق والهواء في كلّ من الشعبتين على مستوى أفقي واحد. إذا قمنا بإضافة (25)cm من الماء على الشعبة الأولى، احسب كم سيُصبح ارتفاع الزئبق في الشعبة الثانية بالنسبة إلى المستوى الأفقي للسطح الفاصل بين الزئبق والماء.

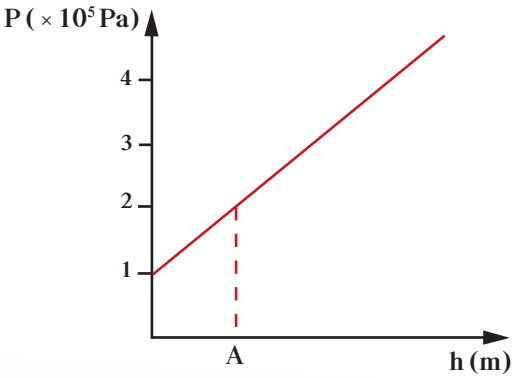


4. نابض طوله الأصلي L_0 بدون إضافة أيّ كتلة. عند إضافة كتلة مقدارها (200)g، أصبح طول النابض (10)cm. وعند إضافة كتلة مقدارها (600)g، أصبح طوله (20)cm.

(أ) احسب طول النابض الأصلي L_0.

(ب) احسب ثابت المرونة k.

5. يُمثّل الرسم البياني الموضّح العلاقة بين الضغط عند نقطة ما وعمقها داخل سائل ساكن. معتمدًا على الرسم، احسب:



(أ) الضغط الجوّي عند سطح السائل

(ب) الضغط عند النقطة (A)

(جـ) عمق النقطة (A) تحت سطح السائل

علمًا أنّ كثافة السائل $= (1\ 000)kg/m^3$ وعجلة الجاذبية الأرضية $= (10)\ m/s^2$.

6. عند تعليق جسم بميزان نابضي، سجّل الميزان (3)N في الهواء، و(2)N عند غمره بالماء، و(2.4)N عند غمره في سائل آخر ذي كثافة غير معلومة. احسب كثافة هذا السائل.

7. قطعة من الحديد تحتوي على بعض التجاويف، وزنها في الهواء يُساوي (300)N، ووزنها في الماء يُساوي (200)N. ما هو حجم التجاويف، علمًا أنّ كثافة الحديد تُساوي $(7\ 870)kg/m^3$؟
8. عند وضع قطعة من الخشب في الماء، فإنّها تطفو بحيث يبقى ثلثا حجمها مغمورًا في الماء. وعند وضعها في الزيت، فهي تطفو بحيث يبقى 0.9 من حجمها مغمورًا في الزيت. احسب كثافة كلّ من الخشب والزيت.

مهارة التواصل

اكتب نصّ قاعدة باسكال وبيّن ارتباط هذه القاعدة وأهمّيتها في تطوير الكثير من التقنيات المستخدمة في حياتنا اليومية.

نشاط بحثي

تُعَدّ «البلازما» إحدى حالات المادّة الأكثر توفّرًا في الكون إذ تُشكّل 99% من المادّة.
قم ببحث تُبيّن فيه ماهيّة هذه الحالة، والعوامل المؤثّرة في تكوينها، وإمكانية وجودها على الأرض.

مصطلحات

المنهج العلمي Scientific Method: هو عبارة عن مجموعة من التقنيات والطرق لاكتساب العلوم المُكتشفة وتنظيمها للوصول إلى نظريات جديدة أو تصحيح نظريات قديمة. (صفحة 15)

الأتمنة Automation: هو مصطلح مستحدث يطلق على كل شيء يعمل ذاتيًا بدون تدخل بشري. (صفحة 19)

المدخلات Inputs: تشمل جميع العناصر والمكوّنات اللازمة لتطوير المنتج، من أفراد، نظريات وبحوث، أهداف، آلات، موادّ وخامات، أموال، تنظيمات إدارية، أساليب عمل، وتسهيلات الفرص للحلول التكنولوجية. (صفحة 19)

العمليات Processes: هي الطريقة المنهجية المنظّمة التي تُعالَج بها المدخلات باستخدام المعرفة ومهارات التصميم والتنفيذ والتصنيع والتشغيل لتشكيل المنتج. (صفحة 19)

المخرجات Outputs: هي المنتج النهائي بعد اختباره وتقييمه في شكل نظام تكنولوجي كامل وجاهز للاستخدام كحلول للمشكلات. (صفحة 20)

السرعة العددية Speed: هي المسافة المقطوعة خلال فترة زمنية محدّدة. (صفحة 30)

السرعة المتوسّطة Average Speed: هي المسافة الكلّية المقطوعة خلال الرحلة مقسومة على الزمن الكلّي. (صفحة 31)

السرعة اللحظية Instantaneous Speed: تُساوي السرعة اللحظية لجسمٍ يتحرّك بسرعة متغيّرة في لحظة معيّنة ميل المماسّ إلى منحنى (المسافة–الزمن) للحركة في هذه اللحظة. (صفحة 33)

الإزاحة Displacement: هي المسافة في خط مستقيم في اتّجاه معيّن. (صفحة 33)

السرعة المتّجهة Velocity: هي السرعة العددية ولكن في اتّجاه محدّد. (صفحة 33)

العجلة Acceleration: هي الكمّية الفيزيائية التي تُعبّر عن تغيّر السرعة بالنسبة إلى الزمن. (صفحة 34)

الحركة المعجّلة بانتظام في خط مستقيم Uniformly Accelerated Rectilinear Motion: هي الحركة المتغيّرة في مقدار السرعة من دون الاتّجاه. (صفحة 38)

السقوط الحرّ Free Fall: هو حركة جسم من دون سرعة ابتدائية بتأثير ثقله فقط مع إهمال تأثير مقاومة الهواء. (صفحة 44)

القوّة Force: هي المؤثّر الخارجي الذي يؤثّر على الأجسام مسبّبًا تغييرًا في شكل الجسم أو حجمه أو حالته الحركية أو موضعه. (صفحة 53)

الاحتكاك Fiction: هي القوة المقاومة التي تحدث عند تحرك سطحين متلاصقين باتجاهين متعاكسين عندما يكون بينهما قوة ضاغطة تعمل على تلاحمهما معًا. (صفحة 54)

القصور الذاتي Inertia: هو الخاصّية التي تصف ميل الجسم إلى أن يبقى على حاله ويُقاوم التغيّر في حالته الحركية. (صفحة 56)

البلازما Plasma: هي الحالة الرابعة للمادّة، وهي عبارة عن خليط من الأيونات السالبة (إلكترونات) والأيونات الموجبة. (صفحة 85)

المرونة Elasticity: هي خاصّية للأجسام تتغيّر بها أشكالها عندما تؤثّر عليها قوّة ما، وبها أيضًا تعود الأجسام إلى أشكالها الأصلية عندما تزول القوّة المؤثّرة عليها. (صفحة 87)

قانون هوك Hooke's Law: هو مقدار الاستطالة أو الانضغاط($F=R\Delta x$) الذي يتناسب مع قيمة القوّة المؤثّرة (F)، أي أنّ $F \alpha x$. (صفحة 87)

الإجهاد Stress: هو القوّة التي تؤثّر على جسم ما وتعمل على تغيير شكله. (صفحة 88)

التوتّر السطحي Surface Tension: هو ظاهرة تجعل سطح السائل مرنًا ومشدودًا. (صفحة 103)

قوى التماسك Cohesion Forces: هي قوى الجذب بين جزيئات المادّة الواحدة. (صفحة 106)

قوى التلاصق Adhesion Forces: هي قوى الجذب بين جزيئات مادّتين مختلفتين. (صفحة 106)

ملاحظات