المملكة العربية السعودية

وزارة التعليم
Ministry of Education

قررت وزارة التعليم تدريس
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

الفيزياء 3

السنة الثالثة

التعليم الثانوي- نظام المسارات

قام بالتأليف والمراجعة

فريق من المتخصصين

طبعة 1446-2024

يُوزع مجّاناً ولا يُباع

ⓒ وزارة التعليم ، ١٤٤٤هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر
وزارة التعليم
الفيزياء ٣ – التعليم الثانوي – نظام المسارات – السنة الثالثة.
وزارة التعليم.– الرياض ، ١٤٤٤هـ
٦٢٤ ص؛ ٢٧.٥ x ٢١ سم
ردمك : ٨ – ٤٣١ – ٥١١ – ٦٠٣ – ٩٧٨

١– الفيزياء – تعليم – السعودية ٢– التعليم الثانوي – السعودية – كتب دراسية أ. العنوان
ديوي ٥٣٠.٠٧١٢ ١٤٤٤/٨٧٦٤

رقم الإيداع : ١٤٤٤/٨٧٦٤
ردمك : ٨ – ٤٣١ – ٥١١ – ٦٠٣ – ٩٧٨

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

www.moe.gov.sa

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين الإثرائية"

ien.edu.sa

أعزاءنا المعلمين والمعلمات، والطلاب والطالبات، وأولياء الأمور، وكل مهتم بالتربية والتعليم:
يسعدنا تواصلكم؛ لتطوير الكتاب المدرسي، ومقترحاتكم محل اهتمامنا.

fb.ien.edu.sa

المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
التخلص من المخلفات	مخلفات التجربة قد تكون ضارة بالإنسان.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات حية.	لا تتخلص من هذه المواد في المغسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من المخلفات وفق تعليمات المعلم.
ملوثات حيوية بيولوجية	مخلوقات ومواد حية قد تسبّب ضررًا للإنسان.	البكتيريا، الفطريات ، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، وارتد كمامة وقفازين.	أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيدًا.
درجة الحرارة المؤذية	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدتين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجيات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدبّبة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحكمة مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأبخرة الضارة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة.	الأمونيا، الأستون، الكبريت الساخن، كرات العث (النفثالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتد كمامة.	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فوراً.
الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق.	تأريض غير صحيح، سوائل منسكبة، تماس كهربائي، أسلاك معرّاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، واستعن بمعلمك فوراً.
المواد المهيّجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقيًا للغبار وارتد قفازين وتعامل مع المواد بحرص شديد.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي قد تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتتلفها.	المبيضات مثل فوق اكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، القواعد كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارة واقية، وقفازين، والبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا ابتلعت أو استنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيدًا بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات التي يسهل اشتعالها بوساطة اللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الأستون، برمنجنات البوتاسيوم ، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب عند استخدام هذه الكيماويات.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفاة الحريق إن وجدت.
اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحاً يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف ولا تلبس الملابس الفضفاضة (للطالبات). اتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفاة الحريق إن وجدت.

سلامة العين
يجب دائماً ارتداء نظارة واقية عند العمل في المختبر.

وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعًا أو حريقًا للملابس.

سلامة الحيوانات
يشير هذا الرمز للتأكيد على سلامة المخلوقات الحية.

نشاط اشعاعي
يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.

غسل اليدين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارة الواقية.

المقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين وعلى آله وصحبه أجمعين وبعد:

يأتي اهتمام المملكة بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها من منطلق أحد التزامات رؤية المملكة العربية السعودية (2030) وهو: «إعداد مناهج تعليمية متطورة تركز على المهارات الأساسية بالإضافة إلى تطوير المواهب وبناء الشخصية»، وذلك من منطلق تطوير التعليم وتحسين مخرجاته ومواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

ويأتي كتاب الفيزياء 3 للتعليم الثانوي (نظام المسارات) داعماً لرؤية المملكة العربية السعودية (2030) نحو الاستثمار في التعليم «عبر ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة»، بحيث يكون الطالب فيهما هو محور العملية التعليمية التعلمية.

والفيزياء فرع من العلوم الطبيعية يهتم بدراسة الظواهر الطبيعية واستنباط النظريات وصياغة القوانين الرياضية التي تحكم المادة والطاقة والفراغ والزمن، ويحاول تفسير وإيجاد علاقات لما يدور في الكون من خلال دراسة تركيب المادة ومكوناتها الأساسية، والقوى بين الجسيمات والأجسام المادية، ونتائج هذه القوى، إضافة إلى دراسة الطاقة والشحنة والكتلة. لذا يهتم علم الفيزياء بدراسة الجسيمات تحت الذرية مرورًا بسلوك المواد في العالم الكلاسيكي إلى حركة النجوم والمجرات.

وقد تم بناء محتوى الكتاب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وبما يعزز مبدأ رؤية (2030) «نتعلم لنعمل»، وقد جاء تنظيم المحتوى بأسلوب شائق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم، من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة، المبني والموجه والمفتوح. فقبل البدء في دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يطلع الطالب على الأهداف العامة للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه، وكذلك الاطلاع على أهمية الفصل من خلال عرض ظاهرة أو تقنية ترتبط بمحتوى الفصل، إضافة إلى وجود سؤال فكِّر الذي يحفز الطالب على دراسة الفصل. ثم ينفِّذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان «تجربة استهلالية» والتي تساعد أيضًا على تكوين نظرة شاملة عن محتوى الفصل. وتتيح التجربة الاستهلالية في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء الموجه من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وهناك أشكال أخرى من النشاطات الاستقصائية التي يمكن تنفيذها في أثناء دراسة المحتوى، ومنها التجربة العملية، ومختبر الفيزياء الذي يرد في نهاية كل فصل، ويتضمن استقصاءً مفتوحًا في نهايته.

يبدأ محتوى الدراسة في كل قسم بعرض الأهداف الخاصة والمفردات الجديدة التي سيتعلمها الطالب. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى منها الروابط الرقمية بمنصة عين الإثرائية التعليمية، ومنها ربط المحتوى مع واقع الحياة من خلال تطبيق الفيزياء، والربط مع العلوم الأخرى، والربط مع محاور رؤية (2030) وأهدافها الاستراتيجية. وستجد شرحًا وتفسيرًا للمفردات الجديدة التي تظهر باللون الأسود الغامق والمظللة بالأصفر، وأمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمق معرفة الطالب بمحتوى المقرر واستيعاب المفاهيم والمبادئ العلمية الواردة فيه. كما ستجد أيضًا في كل فصل مسألة تحفيز تطبق فيها ما تعلمته في حالات جديدة. ويتضمن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى.

وقد وظفت أدوات التقويم الواقعي في التقويم بمراحله وأغراضه المختلفة: القبلي، والتشخيصي، والتكويني (البنائي)، والختامي (التجميعي)؛ إذ يمكن توظيف الصورة الافتتاحية في كل فصل والأسئلة المطروحة في التجربة الاستهلالية بوصفها تقويمًا قبليًّا تشخيصيًّا لاستكشاف ما يعرفه الطلاب عن موضوع الفصل. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد تقويمًا خاصًّا بكل قسم من أقسام الفصل يتضمن أفكار المحتوى وأسئلة تساعد على تلمّس جوانب التعلم وتعزيزه، وما قد يرغب الطالب في تعلمه في الأقسام اللاحقة. وفي نهاية كل فصل يأتي دليل مراجعة الفصل متضمنًا تذكيرًا بالمفاهيم الرئيسة والمفردات الخاصة بكل قسم. يلي ذلك تقويم الفصل الذي يشمل أسئلة وفقرات متنوعة تهدف إلى تقويم تعلم الطالب في مجالات عدة، هي: إتقان المفاهيم، وحل المسائل، والتفكير الناقد، والمراجعة العامة، والمراجعة التراكمية، ومهارات الكتابة في الفيزياء. وفي نهاية كل فصل يجد الطالب اختبارًا مقننًا يهدف إلى تدريبه على حل المسائل وإعداده للتقدم للاختبارات الوطنية والدولية، إضافة إلى تقويم فهمه لموضوعات كان قد درسها من قبل.

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

فهرس أقسام الكتاب

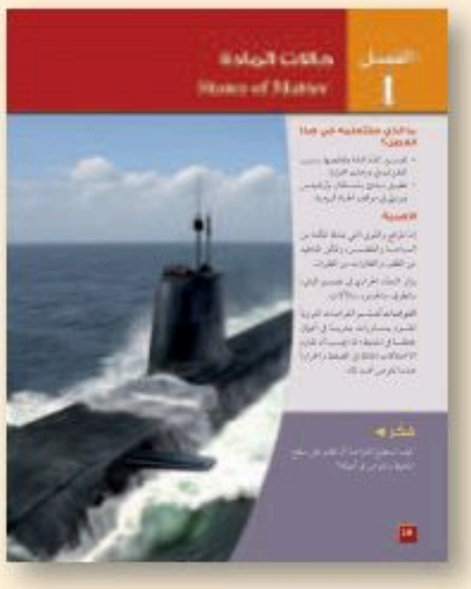
القسم الأول (1-3) 7

القسم الثاني (2-3) 221

القسم الثالث (3-3) 423

القسم الأول (1-3)

قائمة المحتويات



الفصل 1

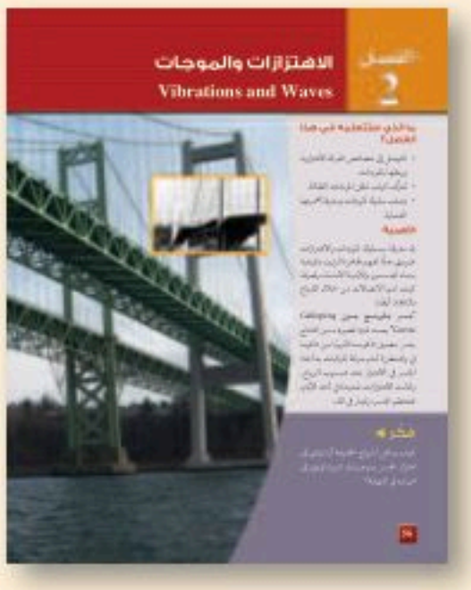
حالات المادة 10

1-1 خصائص الموائع 11

1-2 القوى داخل السوائل..... 22

1-3 الموائع الساكنة والموائع المتحركة 26

1-4 المواد الصلبة 36



الفصل 2

الاهتزازات والموجات 56

2-1 الحركة الدورية 57

2-2 خصائص الموجات 63

2-3 سلوك الموجات 69

الفصل 3

الصوت 84

3-1 خصائص الصوت والكشف عنه 85

3-2 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار 93

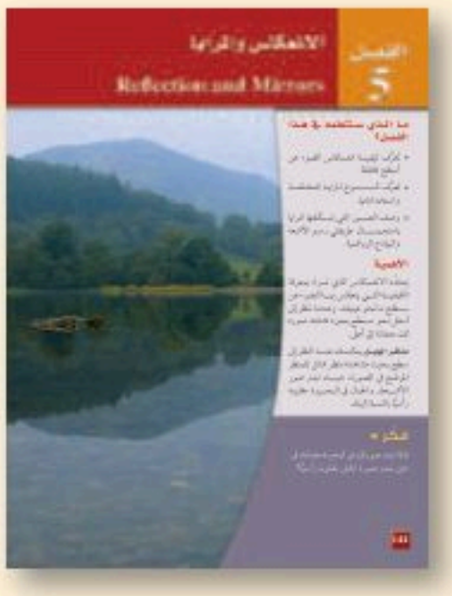
قائمة المحتويات

الفصل 4

أساسيات الضوء 112

4-1 الاستضاءة 113

4-2 الطبيعة الموجية للضوء 122

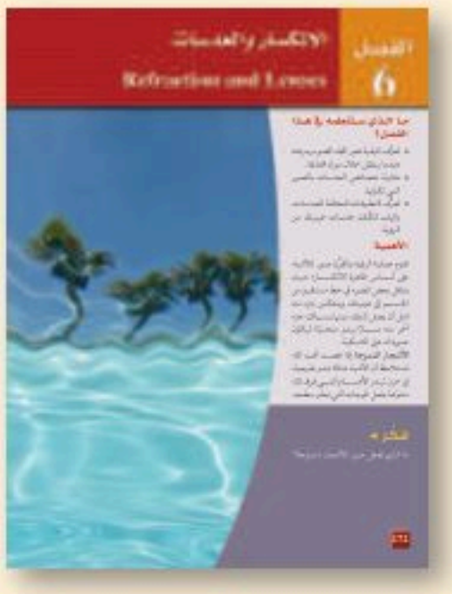


الفصل 5

الانعكاس والمرايا 144

5-1 الانعكاس عن المرايا المستوية 145

5-2 المرايا الكروية 152



الفصل 6

الانكسار والعدسات 172

6-1 انكسار الضوء 173

6-2 العدسات المحدبة والمقعرة 182

6-3 تطبيقات العدسات 190

دليل الرياضيات 205

الجداول 206

المصطلحات 210

الفصل 1

حالات المادة
States of Matter

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تفسير تمدّد المادة وتقلصها بسبب التغيرات في درجات الحرارة.
- تطبيق مبادئ باسكال وأرخميدس وبرنولي في مواقف الحياة اليومية.

الأهمية

إن الموائع والقوى التي تبذلها تمكّننا من السباحة والغطس، وتمكّن المناطيد من الطفو، والطائرات من الطيران.

يؤثر التمدّد الحراري في تصميم المباني، والطرق، والجسور، والآلات.

الغواصات تُصمّم الغواصات النووية لتقوم بمناورات بحرية في أعماق مختلفة في المحيط؛ لذا يجب أن تقاوم الاختلافات الهائلة في الضغط والحرارة عندما تغوص تحت الماء.

فكّر ◄

كيف تستطيع الغواصة أن تطفو على سطح المحيط وتغوص في أعماقه؟

تحافظ الغواصة على التوازن بين قوة الجاذبية الأرضية التي تسحبها إلى أسفل وقوة طفو الماء التي تدفعها إلى أعلى كالأسماك تمامًا. فبعض أنواع الأسماك تنظّم عمقها في الماء بوساطة المثانة الهوائية والتي باستطاعتها التمدد والانكماش لزيادة الطفو أو تقليله. تحوي الغواصة خزانات يمكن ملؤها بالماء لتقليل الطفو، مما يمكنها من الغوص إلى أعماق أكبر. ولكي ترتفع إلى السطح تُملأ الخزانات بالهواء لزيادة قوة الطفو.

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

تجربة استهلالية

هل تطفو أم تغطس؟

سؤال التجربة كيف تقيس طفو الأجسام؟

الخطوات

1. أحضر عبوة صغيرة (مرفقة بغطاء أو سدادة) ومخبار مدرج 500 ml، وصل شريطًا مطاطيًّا بالعبوة؛ لتعليقها بميزان نابضي.
2. استخدم الميزان النابضي لإيجاد وزن العبوة، ثم استخدم الأسطوانة المدرجة لإيجاد حجم الماء الذي أزيح عن طريق العبوة المغلقة عندما طفت. وسجّل كلتا القراءتين؛ وامسح أي سائل مسكوب.
3. ضع قطعة نيكل في العبوة ثم أغلقها جيدًا. كرّر الخطوة الثانية، ثم سجل وزن العبوة وقطعة النيكل، وحجم الماء المزاح. وسجل أيضًا هل طفت العبوة أم غطست.
4. كرّر الخطوتين 2 و 3، وأضف في كل مرة قطعة نيكل حتى تغطس العبوة، وعندما تغطس استخدم الميزان النابضي لإيجاد الوزن الظاهري لها. تأكد أن العبوة لا تلامس الأسطوانة المدرجة عندما تكون تحت سطح الماء.

التحليل

استخدم المعلومات التي دوّنتها في حساب كثافة نظام العبوة – قطعة النيكل، ثم احسب كتلة الماء المزاح عن طريق النظام في كل مرة. كيف ترتبط الكثافة بالطفو؟

التفكير الناقد كيف ترتبط كتلة نظام العبوة – قطعة النيكل مع كتلة الماء المزاح عن طريق النظام؟ وهل تستمرّ هذه العلاقة بغض النظر عن طفو النظام؟

التحليل

استخدم المعلومات التي دوّنتها في حساب كثافة نظام العبوة – قطعة النيكل، ثم احسب كتلة الماء المزاح عن طريق النظام في كل مرة. كيف ترتبط الكثافة بالطفو؟

يتعلم الطلاب في هذا الفصل أن قوة الطفو تساوي وزن الماء المزاح بوساطة الجسم. وستطفو العبوة عند مستوى ما على أن يتساوى وزنها مع وزن الماء المزاح. وكلما أضاف الطلاب المزيد من قطع النيكل ازدادات الكثافة الكلية للعبوة، فتزيح المزيد من الماء، لذا فإنها تطفو عند عمق أكبر من العمق السابق. وفي اللحظة التي تنغمر عندها العبوة اطرح وزنها وهي في الماء من وزنها في الهواء، حيث يكون الناتج هو قوة الطفو المؤثرة في العبوة المغمورة.

على الطلاب أن يكونوا قادرين على استنتاج أن وزن العبوة في الهواء مطروحًا منها وزن العبوة في الماء يساوي القوة التي تحمل العبوة عندما تنغمر في الماء وهي قوة الطفو.

الضغط Pressure

■ **الشكل 1–1** مكعبات الجليد الصلبة لها شكل محدّد، في حين يأخذ الماء السائل (مائع) شكل الإناء الذي يحتويه. ما المائع الذي يملأ الفراغ فوق الماء؟

افترض أنك وضعت مكعبًا من الجليد في كوب فارغ ستلاحظ أن معكب الجليد له كتلة معينة وشكل محددٌ، ولا تعتمد هاتان الكميتان على حجم الكوب أو شكله. لكن ماذا يحدث عندما ينصهر مكعب الجليد؟ تبقى كتلته كما هي، ولكن شكله يتغير، ويتدفق الماء ليأخذ شكل الإناء الذي يحتويه، بحيث يتخذ السطح العلوي شكلاً محددًا ومستويًا، كما في **الشكل 1–1**. من جهة أخرى، إذا غليت الماء، فسوف يتحول إلى الحالة الغازية في صورة بخار ماء، وينتشر ليملأ الغرفة ولن يكون له سطح محدّد. وتشترك كل من السوائل والغازات في كونها **موائع**؛ حيث إنها موادّ تتدفق، وليس لها شكل محدد.

سنوجه اهتمامنا في الوقت الحالي لدراسة الموائع المثالية، التي يمكن التعامل معها على اعتبار أن جزيئاتها لا تشغل حيزًا ، وليس لها قوى تجاذب تربطها بعضها مع بعض.

الضغط في الموائع لقد طبقت قانون حفظ الطاقة على الأجسام الصلبة، فهل يمكن تطبيق هذا القانون على الموائع؟ يمكن أن نعرّف كلًّا من الشغل والطاقة باستخدام مفهوم **الضغط**، الذي يمثل القوة المؤثرة في سطح ما مقسومة على مساحة ذلك السطح. ولأن الضغط قوة تؤثر في السطح فإن أي شيء يولد ضغطًا لابد أن يكون قادرًا على إحداث تغيير وإنجاز شغل.

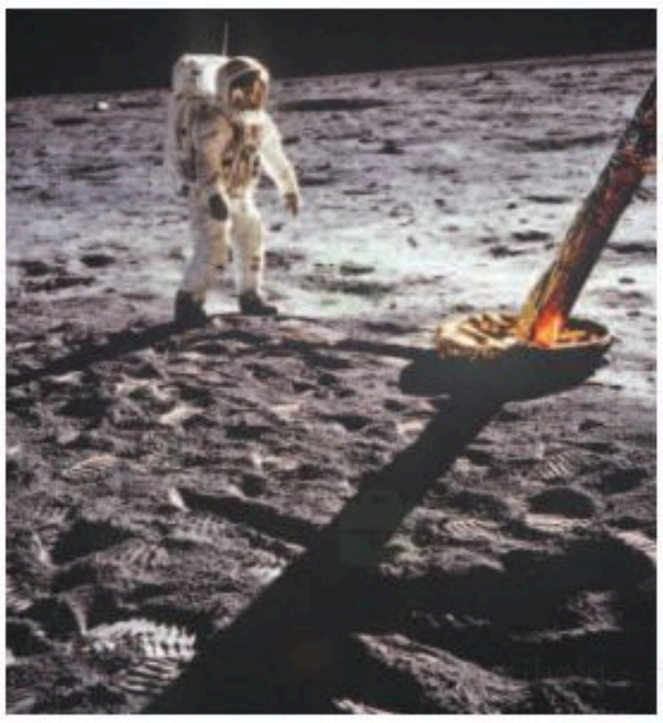
الضغط $P = \frac{F}{A}$

الضغط يساوي القوة مقسومة على مساحة السطح.

ويعد الضغط P كمية قياسية (غير متجهة)، ويقاس الضغط وفقًا للنظام العالمي للمقاييس SI بوحدة **باسكال** (Pa) وهي تعادل $1\ N/m^2$. ولأن الباسكال وحدة صغيرة فإن الكيلو باسكال (kPa) الذي يُساوي 1000 Pa أكثر استخدامًا وشيوعًا.

ويُفترض عادة أن القوة F المؤثرة في سطح ما عمودية على مساحة ذلك السطح A، ما لم تتم الإشارة إلى غير ذلك. ويوضح **الشكل 2–1** العلاقات بين القوة، والمساحة والضغط، حيث يؤدي الضغط الناتج عن وزن المركبة الفضائية إلى إحداث حفرة صغيرة في سطح القمر، أما الضغط الناتج عن وزن رائد الفضاء، فيكون قليلاً جدًّا. ويوضح **الجدول 1–1** كيف يتغير الضغط في حالات مختلفة.

■ **الشكل 2–1** إن رائد الفضاء ومركبته يولدان ضغطًا على سطح القمر. إذا كانت كتلة المركبة 7300 kg تقريبًا، وتستقر على أربعة أقدام قطر كل منها 91 cm، فما مقدار الضغط الذي تؤثر به على سطح القمر؟ وكيف تستطيع أن تقدر الضغط الذي يؤثر به رائد الفضاء.



المواد الصلبة والسوائل والضغط تخيل أنك تقف على سطح بحيرة متجمدة، إن القوى التى تؤثر بها قدماك في الجليد تتوزع على مساحة حذائك مولّدة ضغطًا على الجليد. إن الجليد مادة صلبة تتكون من جزيئات الماء المتذبذبة، والقوى التي تحافظ على جزيئات الماء في مكانها تجعل الجليد يؤثر بقوى رأسية في قدميك إلى أعلى تساوي وزنك، أما إذا انصهر الجليد فإن معظم الروابط بين جزيئات الماء تصبح ضعيفة. وعلى الرغم من أن الجزيئات ستستمر في التذبذب وتبقى قريبة كل منها من الأخرى، إلا أنها

ســتصبح قادرة على الانزلاق بعضها فوق بعض، وتبعًا لذلك ستكون قادرًا على اختراق ســطح الماء. من جهة أخرى، ستستمر جزيئات الماء المتحركة في التأثير بقوى في جسمك.

جزيئات الغاز والضغط إن الضغط الذي تؤثر به الغازات يمكن فهمه بتطبيق نظرية الحركة الجزيئية للغازات التي توضح خصائص الغــاز المثالي. وعلى الرغم من أن جزيئات الغاز الحقيقــي تحتل حيزًا من الفراغ، ولها قوة تجاذب جزيئية، إلا أن الغاز المثالي (غير الحقيقي) عبارة عن نموذج جيد للغاز الحقيقي تحــت معظم الظروف، بحيث يمكن تطبيق قوانينه على الغازات الحقيقية، وتكون النتائج عالية الدقة.

بناءً على نظرية الحركة الجزيئية فإن جزيئات الغاز تتحرك عشوائيًّا وبسرعة عالية، وتخضع لتصادمات مرنة بعضها ببعض. وعندما يرتطم جزيء الغاز بســطح الإناء فإنه يرتد مغيرًا زخمه الخطي، أي أنه ينتج دفعًا، ويتولد ضغط للغاز عند السطح بفعل الدفع الذي تؤثر به التصادمات العديدة للجزيئات.

الضغط الجوي في كل ســنتمتر مربع من ســطح الأرض يؤثر غــاز الغلاف الجوي بقوة مقدارها 10 N تقريبًا عند مســتوى ســطح البحر. وتعادل هذه القوة وزن جسم كتلته 1 kg. إن ضغط الغلاف الجوي على الجســم يتعادل بصورة جيدة مع قوى الجســم المتجهة إلى الخــارج، والتي نادرًا ما نلاحظها. ويثير هذا الضغط اهتمامنــا فقط عندما تؤلمنا آذاننا نتيجة تغيرات الضغط. فعندما نصعد مبنى شاهق الارتفاع بالمصعد مثلاً، أو عندما ننتقل بالطائرة فإننا نشعر بذلك. إن الضغط الجوي يساوي 10 N لكــــل cm^2، والذي يساوي $1.0\times 10^5\ N/m^2$ أو 100 kPa تقريبًا.

هناك كواكب أخرى في المجموعة الشمسية لها أيضًا غلاف غازي، ويتباين الضغط الناتج عن أغلفتها الغازية كثيرًا، فمثلاً الضغط الجوي على سطح كوكب الزهرة أكبر من الضغط الجوي على ســطــح الأرض 92 مرة تقريبًا، في حين أن الضغط الجوي على سطح المريخ أقــل مما على سطح الأرض بـ 1% .

الجدول 1–1

بعض قيم الضغط النموذجية

الموقع	الضغط (Pa)
مركز الشمس	2.44×10^{16}
مركز الأرض	4×10^{11}
أخدود المحيط الأكثر عمقًا	1.1×10^{8}
الضغط الجوي المعياري	1.01325×10^{5}
ضغط الدم	1.6×10^{4}
ضغط الهواء على قمة إفرست	3×10^{4}

مثـــــال 1

حساب الضغط يجلس طفل وزنه 364 N على كرسي ثلاثي الأرجل يزن 41 N ، بحيث تلامس قواعد الأرجل سطح الأرض على مساحة مقدارها $19.3\ cm^2$.

a. ما متوسط الضغط الذي يؤثر به الطفل والكرسي في سطح الأرض؟

b. كيف يتغير الضغط عندما يميل الطفل وتلامس رجلان فقط من أرجل الكرسيِّ الأرضَ؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الطفل والكرسي، وعيّن القوة الكلية التي يؤثران بها في سطح الأرض.
- حدد المتغيرات، متضمنة القوة التي يؤثر بها الطفل والكرسي في سطح الأرض والمساحة المرتبطة بكل من الحالة A حيث الارتكاز على ثلاث أرجل، والحالة B حيث الارتكاز على رجلين.

المعلوم	المجهول
$F_{g\ \text{الطفل}} = 364\ N$	$P_A = ?$
$F_{g\ \text{الكرسي}} = 41\ N$	$P_B = ?$
$A_A = 19.3\ cm^2$	
$A_B = \frac{2}{3} \times 19.3\ cm^2 = 12.9\ cm^2$	

$F_{g\ \text{الكلية}} = F_{g\ \text{الطفل}} + F_{g\ \text{الكرسي}}$

$= 364\ N + 41\ N$

$= 405\ N$

دليل الرياضيات

حسابات الوحدات

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد قيمة كل ضغط باستخدام العلاقة: $P = \frac{F}{A}$

a. عوّض مستخدمًا $F = F_{g\ \text{الكلية}} = 405\ N$ ، $A = A_A = 19.3\ cm^2$

$$P_A = \left(\frac{405\ N}{19.3\ cm^2}\right)\frac{(100\ cm)^2}{(1m)^2}$$

$$= 2.1 \times 10^2\ kPa$$

b. عوّض مستخدمًا $F = F_{g\ \text{الكلية}} = 405\ N$ ، $A = A_B = 12.9\ cm^2$

$$P_B = \left(\frac{405\ N}{12.9\ cm^2}\right)\frac{(100\ cm)^2}{(1m)^2}$$

$$= 3.14 \times 10^2\ kPa$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يجب أن تكون وحدات الضغط هي الباسكال Pa أو $1\ N/m^2 = 1\ Pa$.

موقع واجباتي

1. إذا كان الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر يساوي 1.0×10^5 Pa تقريبًا، فما مقدار القوة التي يؤثر بها الهواء عند مستوى سطح البحر في سطح مكتب طوله 152 cm وعرضه 76 cm؟

$$F = PA$$

$$= Plw$$

$$= (1.0 \times 10^5 \text{ Pa})(1.52 \text{ m})(0.76 \text{ m})$$

$$= 1.2 \times 10^5 \text{ N}$$

2. يلامس إطار سيارة سطح الأرض بمساحة مستطيلة عرضها 12 cm وطولها 18 cm، فإذا كانت كتلة السيارة 925 kg، فما مقدار الضغط الذي تؤثر به السيارة في سطح الأرض إذا استقرت ساكنة على إطاراتها الأربعة؟

$$P = \frac{F}{A} = \frac{F_{g,\text{سيارة}}}{A} = \frac{m_{\text{سيارة}}\, g}{4\, lw}$$

$$= \frac{(925 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2)}{(4)(0.12 \text{ m})(0.18 \text{ m})}$$

$$= 1.0 \times 10^2 \text{ kPa}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446
موقع واجباتي

3. كتلة من الرصاص أبعادها $5.0\ \text{cm} \times 10.0\ \text{cm} \times 20.0\ \text{cm}$ تستقر على الأرض على أصغر وجه، فإذا علمت أن كثافة الرصاص $11.8\ \text{g/cm}^3$، فما مقدار الضغط الذي تؤثر به كتلة الرصاص في سطح الأرض؟

$$m_{\text{الرصاص}} = \rho V = \rho lwh$$

$$= (11.8\ \text{g/cm}^3)(5.0\ \text{cm})(10.0\ \text{cm})(20.0\ \text{cm})$$

$$= 1.18 \times 10^4\ \text{g} = 11.8\ \text{kg}$$

$$P = \frac{F_{g,\text{الرصاص}}}{A} = \frac{m_{\text{الرصاص}}\, g}{lw}$$

$$= \frac{\rho V g}{lw} = \frac{\rho lwhg}{lw} = \rho h g$$

$$= (11.8\ \text{g/cm}^3)(20.0\ \text{cm})(9.80\ \text{m/s}^2)\left(\frac{1\ \text{kg}}{1000\ \text{g}}\right)\left(\frac{(100\ \text{cm})^2}{(1\ \text{m})^2}\right)$$

$$= 23\ \text{kPa}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446
موقع واجباتي

4. يمكن أن يصبح الضغط في أثناء الإعصار أقل 15 % من الضغط الجوي المعياري ، افترض أن الإعصار حدث خارج بـــاب طوله 195 cm وعرضه 91 cm، فما مقدار القوة المحصلـــة التي تؤثر في الباب نتيجة هبوطٍ مقدارُه 15 % من الضغط الجوي المعياري؟ وفي أي اتجاه تؤثر القوة؟

الفرق في الضغط على جانبي الباب يساوي

$$P_{\text{الفرق}} = (15\%)(P_{\text{الجوي المعياري}})$$

$$= (0.15)(1.0\times10^{5}\ \text{Pa}) = 1.5\times10^{4}\ \text{Pa}$$

$$F = P_{\text{الفرق}} A = P_{\text{الفرق}} lw$$

$$= (1.5\times10^{4}\ \text{Pa})(1.95\ \text{m})(0.91\ \text{m})$$

$= 2.7\times10^{4}$ N تتجه من داخل المنزل إلى خارجه

5. يلجأ المهندسون في المباني الصناعية إلى وضع المعدات والآلات الثقيلة على ألواح فولاذية عريضة، بحيث يتوزع وزن هذه الآلات على مساحات أكبر. فإذا خطط مهندس لتركيب جهاز كتلته 454 kg على أرضية صُمِّمت لتتحمل ضغطًا إضافيًّا مقداره 5.0×10^{4} Pa، فما مساحة صفيحة الفولاذ الداعمة؟

أقصى مقدار للضغط يساوي

$$P = \frac{F_g}{A} = \frac{mg}{A}$$

لذا فإن

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

$$= \frac{(454\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}{5.0\times10^{4}\ \text{Pa}}$$

$$= 8.9\times10^{-2}\ \text{m}^2$$

موقع واجباتي
وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

قوانين الغاز The Gas Laws

عندما بدأ العلماء دراسة الغازات والضغط لاحظوا وجود بعض العلاقات المثيرة للاهتمام، وكانت أول علاقة يتم اكتشـــافها هي قانون بويل، نســـبة للكيميائي والفيزيائي روبرت بويل، أحد أشـــهر علماء القرن الســـابع عشر. ينص قانون بويل على أن حجم عينة محددة من الغاز يتناســـب عكسيًّا مع الضغط المؤثر عليه عند ثبوت درجة الحرارة، ولأن حاصل ضرب المتغيرات المتناسبة عكسيًّا ثابت، فيمكن كتابة قانون بويل على النحو الآتي:

$$P_1V_1 = P_2V_2 \quad \text{أو} \quad PV = \text{ثابت}$$

إن الرموز الســـفلية التي تلاحظها في قانون الغاز تســـاعدك على تحديد مســـار المتغيرات المختلفـــة– ومنها الضغط والحجم– عندما تتغير في المســـألة. ويمكـــن إعادة ترتيب هذه المتغيرات لحل المسألة بالنسبة لضغط أو حجم مجهول. وكما يتضح من **الشكل 3–1**، فإن هناك علاقة بين ضغط الغاز وحجمه تتمثل في حجم الفقاعات الخارجة من المنظّم، حيث يزداد حجم هـــذه الفقاعات في أثناء ارتفاعها في الماء؛ بســـبب نقصان الضغط المؤثر فيها من الماء، مما قد يؤدي إلى انفجار كثير منها في أثناء ارتفاعها.

تم اكتشاف العلاقة الثانية بعد 100 سنة تقريبًا من اكتشاف بويل على يد العالم جاك شارلز Jacques C*h*arles. لاحظ العالم شارلز في أثناء تبريده للغاز أن حجمه يتقلص بمقدار $\frac{1}{273}$ من حجمه الأصلي عند انخفاض درجة حرارته بمقدار درجة كلفن واحدة، أي أن العلاقة بين حجم الغاز ودرجـــة حرارته علاقة خطية. أراد العالم شـــارلز أن يعرف ما إذا كانت

الشكل 3–1 يكون الغاز ذا ضغط مرتفع في الأسطوانة المحمولة على ظهر الغوّاص؛ ويقوم منظّم بتخفيض هذا الضغط ليتساوى ضغط الغاز الذي يستنشقه الغوّاص مع ضغط الماء. وتستطيع أن ترى في الصورة، الفقاقيع الخارجة من المنظّم.

موقع واجباتي

هناك حدود دنيا لانخفاض درجات الحرارة، لكنه لم يستطع تبريد الغاز إلى درجات حرارة منخفضة جدًّا كما يحصل في المختبرات الحديثة الآن، ولذلك قام بمد المنحنى البياني لبياناته عند درجات الحرارة المنخفضة تلك، فتبين له من ذلك أنه إذا انخفضت درجة الحرارة إلى $-273\ ^\circ C$ فإن حجم الغاز يصبح صفرًا. وسميت درجة الحرارة التي يصبح عندها حجم الغاز يساوي صفرًا بالصفر المطلق، والتي تمثل الآن الصفر بمقياس كلفن الحراري.

تشـــير التجارب إلى أنه عند ثبـــوت الضغط فإن حجم عينة الغاز يتغـــيّر طرديًّا مع درجة حرارتها، وتسمى هذه النتيجة بقانون شارلز، ويمكن صياغة قانون شارلز على النحو الآتي:

$$\frac{V}{T} = \text{ثابت} \quad \text{أو} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

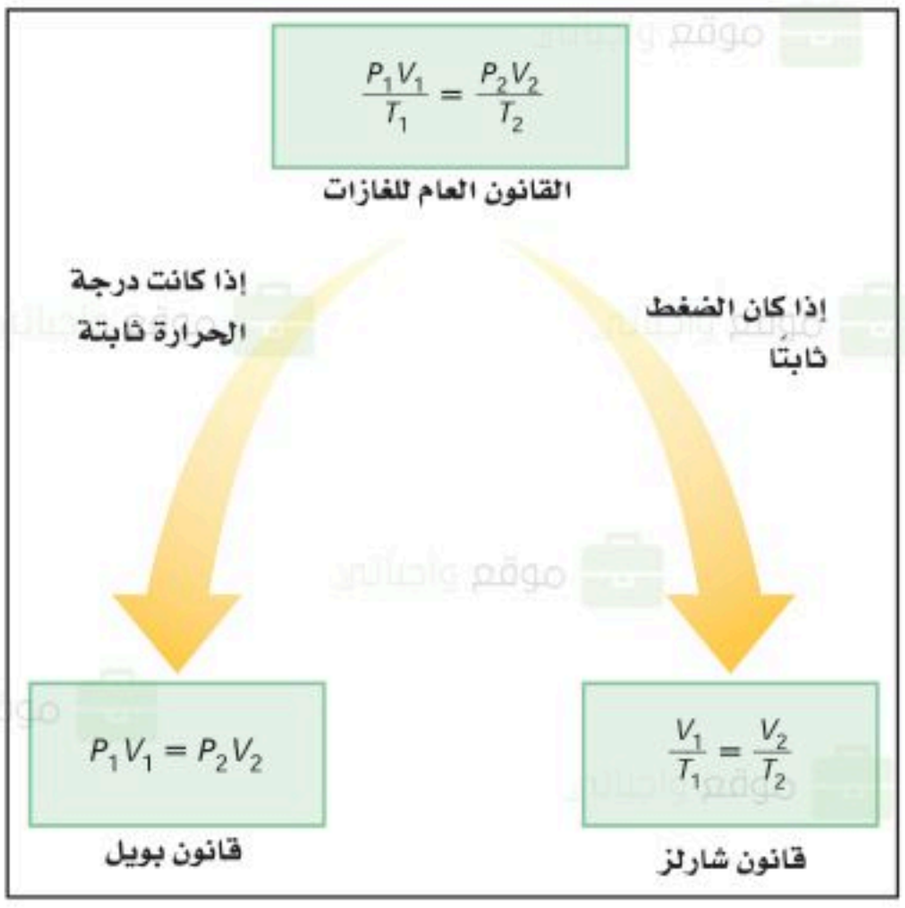
إن دمج كل من قانوني بويل وشارلز يربط بين الضغط، والحرارة، والحجم لكمية معينة من الغاز المثالي، والتي تقود إلى معادلة تسمى **القانون العام للغازات**.

القانون العام للغازات $\quad \frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} = \text{ثابت}$

لكمية معينة من الغاز المثالي، يكون حاصل ضرب ضغط الغاز في حجمه مقســـومًا على درجة حرارته بوحدة الكلفن يساوي قيمة ثابتة.

وكما يتضح من **الشـــكل 4–1**، فإن القانون العام للغازات يُختزل لقانون بويل عند ثبات درجة الحرارة، ويختزل أيضًا لقانون شارلز عند ثبات الضغط.

قانـون الغـاز المثالي تستطيع اســـتخدام نظرية الحركة الجزيئية لتكتشف كيف أن الثابت في القانون العام للغازات يعتمد على عدد الجزيئات N. افترض أن حجم الغاز المثالي ودرجة حرارتـــه ثابتان، فإذا ازداد عدد الجزيئات فســـوف يزداد عـــدد التصادمات التي تؤثر بها الجزيئات في الإنـــاء؛ لذا يزداد الضغط، وفي المقابل تقلـــل إزالة بعض الجزيئات من عدد



■ **الشـكل 4–1** تستطيع أن تستخدم القانون العام للغازات لاشتقاق كل من قانوني بويل وشارلز، فماذا يحدث إذا حافظت على الحجم ثابتًا؟

تجـربة

الضغط

ما مقدار الضغط الذي تؤثر به عندما تقف على أحدى رجليك؟ اطلب إلى زميلك رسم مخطط لقدمك، ثم استخدم ذلك المخطط لتقدير مساحة قدمك.

1. **حـدّد** وزنك بوحدة النيوتن ومساحة مخطط قدمك بوحدة cm^2.
2. **احسب** مقدار الضغط.
3. **قارن** بين الضغط الذي تؤثر به أنت في الأرض، والضغط الذي تؤثر به أجسام مختلفة. فمثلاً تستطيع أن تزن كتلة طوبة بناء، ثم تحسب الضغط الذي تؤثر به عندما تستقر على أوجه مختلفة.

التحليل والاستنتاج

4. **كيف يؤثر الحذاء ذو الكعب العالي الرفيع في قيمة الضغط الذي يؤثر به شخص في الأرض؟**

لأن الحـذاء ذا الكعـب يـوزع الضغـط عـلى مسـاحة صغـيرة فـإن الضغـط يـزداد مقارنة بالضغـط المؤثـر في حالة الوقـوف على حذاء نعله منبسط.

التصادمات؛ لذا يقل الضغط، كما تستطيع أن تستنتج أن الثابت في معادلة القانون العام للغازات يتناسب طرديًّا مع N.

$$\frac{PV}{T} = kN$$

ويسمى الثابت k بثابت بولتزمان، ويساوي $1.38 \times 10^{-23}\ Pa.m^3/K$، وبالطبع فإن N الذي يمثل عدد الجزيئات هو عدد كبير جدًّا، لذلك بدلاً من استخدام N لجأ العلماء إلى استخدام وحدة تسمى المول (mole)، وتُختصر (mol) وتُمثل في المعادلات بالحرف (n)، والمول الواحد يساوي 6.022×10^{23} من الجزيئات، ويسمى هذا العدد بعدد أفوجادرو نسبة إلى العالم الإيطالي أميديو أفوجادرو.

يساوي عدد أفوجادرو عدد الجزيئات في عينة من المادة كتلتها تساوي الكتلة المولية (الكتلة الجزيئية) من المادة. وتستطيع أن تستخدم هذه العلاقة للتحويل بين الكتلة والعدد n (عدد المولات الموجودة). إن استخدام المولات عوضًا عن عدد الجزيئات يغير ثابت بولتزمان، ويختصر هذا الثابت بالحرف R، وقيمته تساوي $8.31\ Pa.m^3/mol.K$. وبإعادة الترتيب تستطيع كتابة **قانون الغاز المثالي** بأكثر الصيغ شيوعًا.

قانون الغاز المثالي $PV = nRT$

للغاز المثالي، يكون حاصل ضرب ضغط الغاز في حجمه يساوي عدد المولات مضروبًا في الثابت R ودرجة حرارته بوحدة كلفن.

لاحظ أنه إذا كانت قيمة R معلومة فإن الحجم يجب أن يعبّر عنه بوحدة m^3، ودرجة الحرارة بوحدة K والضغط بوحدة Pa. يتوقع قانون الغاز المثالي عمليًّا سلوك الغازات بصورة جيدة، ما عدا الحالات التي تكون تحت ظروف الضغط العالي أو درجات الحرارة المنخفضة.

مثال 2

قوانين الغازات عينة من غاز الأرجون حجمها 20.0 L، ودرجة حرارتها 273 K عند ضغط جوي مقداره 101.3 kPa، فإذا انخفضت درجة الحرارة حتى 120 K، وازداد الضغط حتى 145 kPa،

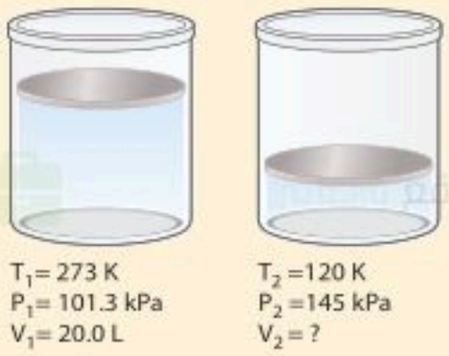
a. فما الحجم الجديد لعينة الأرجون؟

b. أوجد عدد مولات ذرات الأرجون في العينة؟

c. أوجد كتلة عينة الأرجون، إذا علمت أن الكتلة المولية M لغاز الأرجون 39.9 g /mol؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- وضح الحالة بالرسم.
- حدّد الشروط في وعاء غاز الأرجون قبل التغير في درجة الحرارة والضغط وبعده.
- عيّن المتغيرات المعلومة والمجهولة.



المعلوم

$V_1 = 20.0\ L,\ P_1 = 101.3\ kPa$

$T_1 = 273\ K,\ P_2 = 145\ kPa$

$T_2 = 120\ K$

$R = 8.31\ Pa.m^3/mol.K$

$M_{\text{الأرجون}} = 39.9\ g/mol$

المجهول

$V_2 = ?$

عدد مولات الأرجون(n) = ?

$m_{\text{عينة الأرجون}} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم القانون العام للغازات، وحل المعادلة بالنسبة للحجم V_2.

عوض مستخدمًا $P_1 = 101.3\ kPa,\ P_2 = 145\ kPa$

$V_1 = 20.0\ L,\ T_1 = 273\ K,\ T_2 = 120\ K$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$V_2 = \frac{P_1V_1T_2}{P_2T_1}$$

$$= \frac{(101.3\ kPa)\ (20.0\ L)\ (120\ K)}{(145\ kPa)\ (273\ K)}$$

$$= 6.1\ L$$

b. استخدم قانون الغاز المثالي، وحل المعادلة لحساب n

عوض مستخدمًا $P = 101.3\times10^3 Pa، V = 0.0200 m^3$

$R = 8.31\ Pa.m^3/mol.k، T = 273K$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$n = \frac{(101.3\times10^3\ Pa)(0.0200\ m^3)}{(8.31 Pa.m^3/mol.K)(273\ K)}$$

$$= 0.893\ mol$$

c. استخدم الكتلة المولية للتحويل من المولات لغاز الأرجون في العينة لكتلة العينة.

عوض مستخدمًا $M = 39.9\ g/mol ،n = 0.893\ mol$

$$m = Mn$$

$$m_{\text{عينة الأرجون}} = (39.9\ g/mol)\ (0.893\ mol)$$

$$= 35.6\ g$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الحجم V_2 بوحدة اللترات، وكتلة العينة بوحدة الجرامات.
- **هل الجواب منطقي؟** إن التغير في الحجم يتكافأ مع الزيادة في الضغط والانخفاض في درجة الحرارة. والكتلة المحسوبة لعينة الأرجون منطقية.

موقع واجباتي

6. يُستخدم خزان من غاز الهيليوم ضغطه $15.5 \times 10^6\ Pa$، ودرجة حرارته 293K، لنفخ بالون على صورة دمية، فإذا كان حجم الخزان $0.020\ m^3$، فما حجم البالون إذا امتلأ عند 1.00 ضغط جوي، ودرجة حرارة 323 K؟

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

لذا فإن

$$V_2 = \frac{T_2 P_1 V_1}{P_2 T_1}$$

1.00 ضغط جوي $= 1.013 \times 10^5\ Pa = 1\ atm$

$$V_2 = \frac{(323\ K)(15.5 \times 10^6\ Pa)(0.020\ m^3)}{(1.013 \times 10^5\ Pa)(293\ K)}$$

$$= 3.4\ m^3$$

7. ما مقدار كتلة غاز الهيليوم في المسألة السابقة إذا علمت أن الكتلة المولية لغاز الهيليوم $4.00\ g/mol$؟

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$= \frac{(15.5 \times 10^6\ Pa)(0.020\ m^3)}{(8.31\ Pa.\ m^3/mol.K)(293\ K)}$$

$$= 127.3\ mol$$

$$m = (127.3\ mol)(4.00\ g/mol)$$

$$= 5.1 \times 10^2\ g$$

8. يحتـــوي خزان على 200.0 L من غاز الهيدروجين درجة حرارته 0.0 C ومحفوظ عند ضغط مقداره 156 kPa، فإذا ارتفعت درجة الحرارة إلى 95 °C، وانخفض الحجم ليصبح 175 L، فما الضغط الجديد للغاز؟

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$T_1 = 273\ \text{K}$$

$$T_2 = 95°\text{C} + 273°\text{C}$$

$$= 368\ \text{K}$$

$$P_2 = \frac{T_2 P_1 V_1}{V_2 T_1}$$

$$= \frac{(368\ \text{K})(156\ \text{kPa})(200.0\ \text{L})}{(175\ \text{L})(273\ \text{K})}$$

$$= 2.4\times10^2\ \text{kPa}$$

9. إن معـــدل الكتلة المولية لمكونات الهواء (ذرات الأكســـجين الثنائية وذرات غاز النيتروجين الثنائية بشـــكل رئيس) 29 g/mol تقريبًا. ما حجم 1.0 kg من الهواء عند ضغط يساوي الضغط الجوي ودرجة حرارة تساوي 20.0 °C؟

$$PV = nRT$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

حيث إن

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1.0\times10^3\ \text{g}}{29\ \text{g/mol}}$$

و

$$T = 20.0°\text{C} + 273 = 293\ \text{K}$$

$$V = \frac{\left(\frac{1.0\times10^3\ \text{g}}{29\ \text{g/mol}}\right)(8.31\ \text{Pa.m}^3/\text{mol.K})(293\ \text{K})}{(1.013\times10^5\ \text{Pa})}$$

$$= 0.83\ \text{m}^3$$

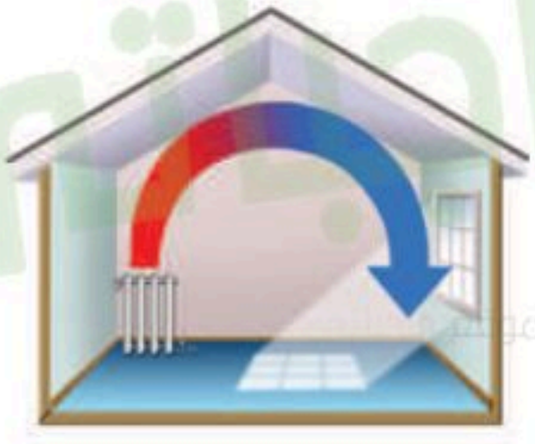
التمدد الحراري Thermal Expansion

لعلك اكتشـفت بعد تطبيق القانون العام للغازات أن الغازات تتمدّد كلّما ارتفعت درجة حرارتها. فعندما تسـخن المادة في حالاتها الصلبة والسـائلة والغازيـة تصبح أقل كثافة، وتتمدّد لتملأ حيزًا أكبر. وتسمى هذه الخاصية **التمدد الحراري**، ولها عدة تطبيقات مهمة، منها دوران الهواء في الغرفة.

عندما يُسـخّن الهواء الملامس لأرضية الغرفة فإن قوة الجاذبية تسحب الهواء البارد الأكثر كثافة والملامس لسـقف الغرفة إلى أسـفل، فيدفع بدوره الهواء الأكثر سخونة إلى أعلى. ويُسـمى دوران الهواء في الغرفة تيار الحمل. انظر **الشـكل 5–1** الـذي يوضح تيارات الحمل في الغرفة. وتستطيع أن تشاهد أيضًا تيارات الحمل في وعاء ماء ساخن، دون درجة الغليان؛ فعندما يسخّن الوعاء من القاع فإن الماء الأبرد ذا الكثافة الكبرى يهبط إلى أسفل، حيث يسخن، ثم يُدفع إلى أعلى عن طريق تدفق الماء الأبرد من أعلى.

يحدث التمدّد الحراري في معظم السـوائل، وليس هناك نموذج مثالي ينطبق عليها جميعًا، ولكن من المفيد أن تفكر في السـائل كما لو كان مسـحوقًا ناعمًا لمادة صلبة، حيث تتحرك المجموعات المكونة من جسـيمين أو ثلاثة جسـيمات أو أكثر من ذلـك معًا كما لو كانت قطعًا صغيرة جدًّا من المواد الصلبة. وعندما يسـخن السـائل، وتتمدد هذه المجموعات بفعل الحركة الجزيئية، تمامًا كما تُدفع الجسيمات في الموادّ الصلبة فيبتعد بعضها عن بعض في أجزاء متفرقة، كما تتزايد الفراغات بين المجموعات، ويتمدد السائل كله.

وعندما تتغير درجة الحرارة بصورة متسـاوية تتمدّد السوائل بصورة أكبر كثيرًا من المواد الصلبة، ولكن ليس بالقدر الذي تتمدّد به الغازات.



■ **الشـكل 5–1** تيارات الحمل الحراري أداةً للتدفئة، إذ يرتفع الهواء الدافئ الأقل كثافة إلى أعلى ثم يبرد، وينخفض الهواء البارد الأعلى كثافة.

موقع واجباتي

لماذا يطفو الجليد؟ لأن المادة تتمدّد عند تسخينها فقد تتوقع أن الجليد أكثر كثافة من الماء، وفي ضوء توقعاتك لابد أن يغطس الجليد في الماء! لكن الحقيقة أنه عند رفع درجة حرارة الماء من $0\ ^\circ C$ إلى $4\ ^\circ C$ فإنه يتقلص بدلاً من أن يتمدد، وذلك بسبب تزايد قوى الترابط بين جزيئات الماء، وانهيار بلورات الجليد وضمورها. وهذه القوى التي بين جزيئات الماء قوى كبيرة والبلورات المكونة للجليد لها تركيب مفتوح بصورة كبيرة. عندما ينصهر الجليد تبقى بعض البلورات المتناهية في الصغر، ومع استمرار التسخين تأخذ البلورات المتبقية في الانصهار، ويتناقص حجم الماء حتى تصل إلى $4\ ^\circ C$. لكن بمجرد أن ترتفع درجة حرارة الماء فوق $4\ ^\circ C$ يتزايد حجمه بسبب تزايد الحركة الجزيئية. والنتيجة أن الماء يكون أكبر كثافة عند $4\ ^\circ C$؛ لذا يطفو الجليد فوق الماء. وهذه الحقيقة مهمة جدًّا في حياتنا وفي البيئة من حولنا؛ فلو كان الجليد يغطس تحت الماء لبدأ تجمد البحيرات عند قيعانها بدلًا من سطوحها، وما انصهر العديد من البحيرات تمامًا في فصل الصيف.

البلازما Plasma

إذا سخّنت مادة صلبة فإنها تنصهر لتكوّن سائلاً. ومع استمرار التسخين يتحول السائل إلى غاز، فماذا يحدث إذا استمر تسخين الغاز؟ تصبح التصادمات بين الجزيئات كبيرة إلى حدّ يكفي لانتزاع الإلكترونات من الذرات، وتنتج أيونات موجبة الشحنة. إن الحالة شبه الغازية للإلكترونات السالبة الشحنة والأيونات الموجبة الشحنة تسمى **البلازما**. وتعد البلازما حالة أخرى من حالات الموائع للمادة.

قد يبدو أن البلازما حالة غير شائعة، رغم أن معظم الموادّ في الكون في حالة البلازما؛ فمعظم مكونات النجوم بلازما في درجات حرارة عالية جدًّا، كما أن أكثر المواد الموجودة بين النجوم والمجرات تتكون من ذرات الهيدروجين الفعّالة النشطة التي لا تحتوي على إلكترونات، ويكون غاز الهيدروجين في حالة البلازما.

■ **الشكل 6–1** تنتج التأثيرات الضوئية الملونة في إشارات النيون عن البلازما المضيئة المتكوّنة في الأنابيب الزجاجية.

والفرق المبدئي بين الغاز والبلازما أن البلازما لها قدرة على التوصيل الكهربائي، في حين أن الغازات ليس لها هذه القدرة، والصواعق المضيئة تكون أيضًا في حالة البلازما. وإشارات النيون كما في **الشكل 6–1** أعلاه، ومصابيح الفلورسنت، ومصابيح غاز الصوديوم تحتوي جميعها البلازما المتوهجة.

10. الضغط والقوة افترض أن لديك صندوقين، أبعاد الأول 20 cm × 20 cm × 20 cm، وأبعاد الثاني 20 cm × 20 cm × 40 cm . قارن بين:

a. ضغطي الهواء في المحيط الخارجي لكل من الصندوقين.

ضغطا الهواء متساويان على الصندوقين.

b. مقداري القوة الكلية للهواء المؤثرة في كل من الصندوقين.

لما كان $F = PA$؛ لذا فإن القوة الكلية للهواء أكبر على الصندوق ذي المساحة الكبرى. ولما كانت المساحة السطحية للصندوق الثاني ضعف المساحة السطحية للصندوق الأول، فإن القوة الكلية عليه تكون ضعف القوة الكلية على الصندوق الأول.

11. علم الأرصاد الجوية يتكون منطاد الطقس الذي يستخدمه الراصد الجوي من كيس مرن يسمح للغاز في داخله بالتمدد بحرية. إذا كان المنطاد يحتوي على $25.0\ m^3$ من غاز الهيليوم وأطلق من منطقة عند مستوى سطح البحر، فما حجم الغاز عندما يصل المنطاد ارتفاع 2100 m، حيث الضغط عند ذلك الارتفاع $0.82 \times 10^5\ Pa$؟ افترض أن درجة الحرارة ثابتة لا تتغير.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2}$$

$$= \frac{(1.013\times10^5\ Pa)(25.0\ m^3)}{0.82\times10^5\ Pa}$$

$$= 3.1\times10^1\ m^3$$

12. انضغاط الغاز تحصر آلة احتراق داخلي في محرك كمية من الهواء حجمها $0.0021\ m^3$ عند ضغط يعادل الضغط الجوي ودرجة حرارة 303 K، ثم تضغط الهواء بسرعة ليصل إلى ضغط مقداره $20.1 \times 10^5\ Pa$ وحجم $0.0003\ m^3$، ما درجة الحرارة النهائية للهواء المضغوط؟

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{T_1 P_2 V_2}{P_1 V_1}$$

$$= \frac{(303\ K)(20.1\times10^5\ Pa)(0.0003\ m^3)}{(1.013\times10^5\ Pa)(0.0021\ m^3)}$$

$$= 9\times10^2\ K$$

13. الكثافة ودرجة الحرارة إذا كانت درجة الحرارة الابتدائية للماء $0\ ^\circ C$، فكيف تتغير كثافة الماء إذا سُخّن إلى $4\ ^\circ C$، وإلى $8\ ^\circ C$؟

عندما يسخن الماء من $0\ ^\circ C$ تزداد كثافته حتى تصل إلى قيمتها العظمى عند $4\ ^\circ C$. وتتناقص كثافة الماء عند الاستمرار في التسخين حتى $8\ ^\circ C$.

14. **الكتلة المولية المعيارية** ما حجم 1.00 mol من الغاز عند ضغط يعادل الضغط الجوي ودرجة حرارة تساوي 273 K؟

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{(1.00\ \text{mol})(8.31\ \text{Pa.m}^3/\text{mol.K})(273\ \text{K})}{1.013\times10^5\ \text{Pa}}$$

$$= 0.0224\ \text{m}^3$$

15. **الهواء في الثلاجة** ما عدد مولات الهواء الموجودة في ثلاجة سعتها $0.635\ \text{m}^3$ عند $2.00\ ^\circ\text{C}$؟ وما مقدار كتلة الهواء في ثلاجة إذا كان متوسط الكتلة المولية للهواء 29 g/mol؟

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$= \frac{(1.013\times10^5\ \text{Pa})(0.635\ \text{m}^3)}{(8.31\ \text{Pa.m}^3/\text{mol.K})(275\ \text{K})}$$

$$= 28.1\ \text{mol}$$

$$m = nM$$

$$= (28.1\ \text{mol})(29\ \text{g/mol})$$

$$= 0.81\ \text{kg}$$

16. **التفكير الناقد** الجزيئات المكونة لغاز الهيليوم صغيرة جدًّا مقارنة بالجزيئات المكونة لغاز ثاني أكسيد الكربون. ماذا يمكن أن تستنتج حول عدد الجزيئات في عينة من غاز ثاني أكسيد الكربون حجمها 2.0 L مقارنة بعدد الجزيئات في عينة من غاز الهيليوم حجمها 2.0 L إذا تساوت العينتان في درجة الحرارة والضغط؟

هناك عددان متساويان من الجسيمات في العينتين. وفي الغاز المثالي لا يؤثر حجم الجسيمات في حجم الغاز أو ضغطه.

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

2–1 القوى داخل السوائل Forces within Liquids

الأهداف

- **توضح** كيف تسبب قوى التماسك التوترَ السطحي.
- **توضح** كيف تسبب قوى التلاصق الخاصيةَ الشعرية.
- **تناقش** التبريد التبخري ودور التكثف في تكوّن السحب.

المفردات

قوى التماسك
قوى التلاصق

تعاملنا مع السوائل، حتى الآن، باعتبارها سوائل مثالية تمتاز جميع جزيئاتها بحرية الحركة، والانزلاق بعضها فوق بعض. ولكن خصوصية الماء في تمدّده بين درجتي حرارة $0\ ^\circ C$ و$4\ ^\circ C$ تبين أنه في حالة السوائل الحقيقية تؤثر الجزيئات بعضها في بعض بقوى تجاذب كهرومغناطيسية تسمى **قوى التماسك**، تؤثر هذه القوى وغيرها في سلوك الموائع.

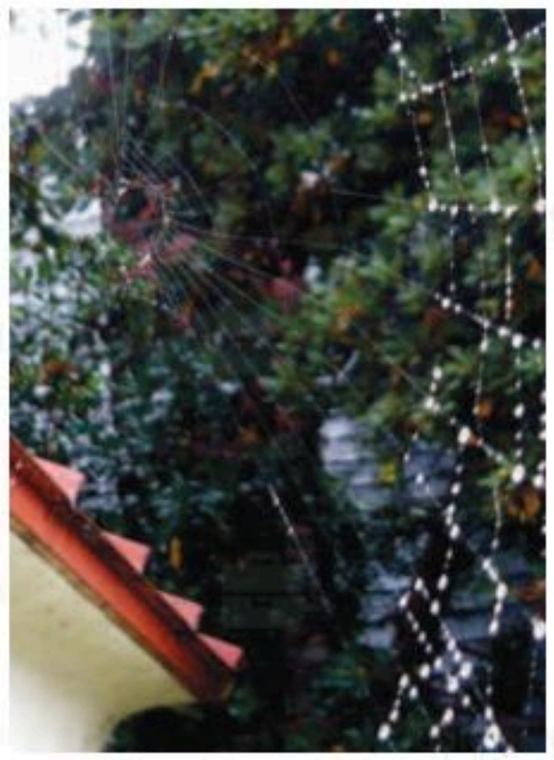
قوى التماسك Cohesive Forces

هل سبق أن لاحظت أن قطرات الندى على خيوط العنكبوت –وكذلك قطرات الزيت الساقطة– تتخذ شكلاً كرويًّا تقريبًا؟ ماذا يحدث عندما يسقط المطر على سيارة مغسولة حديثًا ومشمعة؟ تتكوّر قطرات الماء وتتخذ أشكالًا كرويةً، كما في شبكة العنكبوت في **الشكل 7–1**.

تعد جميع الظواهر السابقة أمثلة على التوتر السطحي، وهي الخاصية المتمثلة في ميل سطح السائل إلى التقلص لأقل مساحة ممكنة. وخاصية التوتر السطحي ناجمة عن **قوى التماسك** بين جزيئات المائع.

لاحظ أن جميع جزيئات السائل الموجودة تحت سطحه تتأثر بقوى جذب متساوية المقدار تشدها إلى جميع الاتجاهات عن طريق الجزيئات المجاورة لها، كما تنجذب أيضًا إلى الجزيئات المكونة لجدار الإناء الذي يحتوي السائل كما في **الشكل 8a–1**، ونتيجة لذلك ليس هناك قوة محصلة تؤثر في أي من الجزيئات تحت سطح السائل. أما عند السطح فتنجذب الجزيئات إلى أسفل وفي اتجاه الجوانب، ولكن ليس إلى أعلى؛ لذا يكون هناك قوة محصلة إلى أسفل تؤثر في الطبقات العلوية، مما يؤدي إلى ضغط الطبقة العلوية قليلاً. وتعمل الطبقة السطحية في السائل كغشاء مطاطي مشدود، قوي بما يكفي لحمل الأجسام الخفيفة جدًّا ومنها صرصور الماء كما في **الشكل 8b–1**. ويكون التوتر السطحي للماء كبيرًا بحيث يحمل مشبك ورق فولاذيًّا على الرغم من أن كثافة الفولاذ أكبر تسع مرات من كثافة الماء. جرّب ذلك.

لماذا يكوّن التوتر السطحي قطرات كروية؟ تدفع القوة الجزيئات السطحية بحيث يصبح السطح صغيرًا قدر الإمكان، كما أن الشكل الكروي هو الشكل الذي له أقل مساحة سطح لحجم معين. وكلما زاد التوتر السطحي للسائل زادت ممانعة السائل لتحطم سطحه، فلسائل الزئبق مثلاً قوة تماسك أكبر من قوة تماسك الماء، ولهذا يشكّل الزئبق السائل قطرات كروية حتى عندما يوضع على سطح مصقول. وفي المقابل، بعض السوائل – ومنها الكحول والإيثر– لها قوى تماسك ضعيفة، ولذلك تتسطح قطراتها على السطح المصقول.

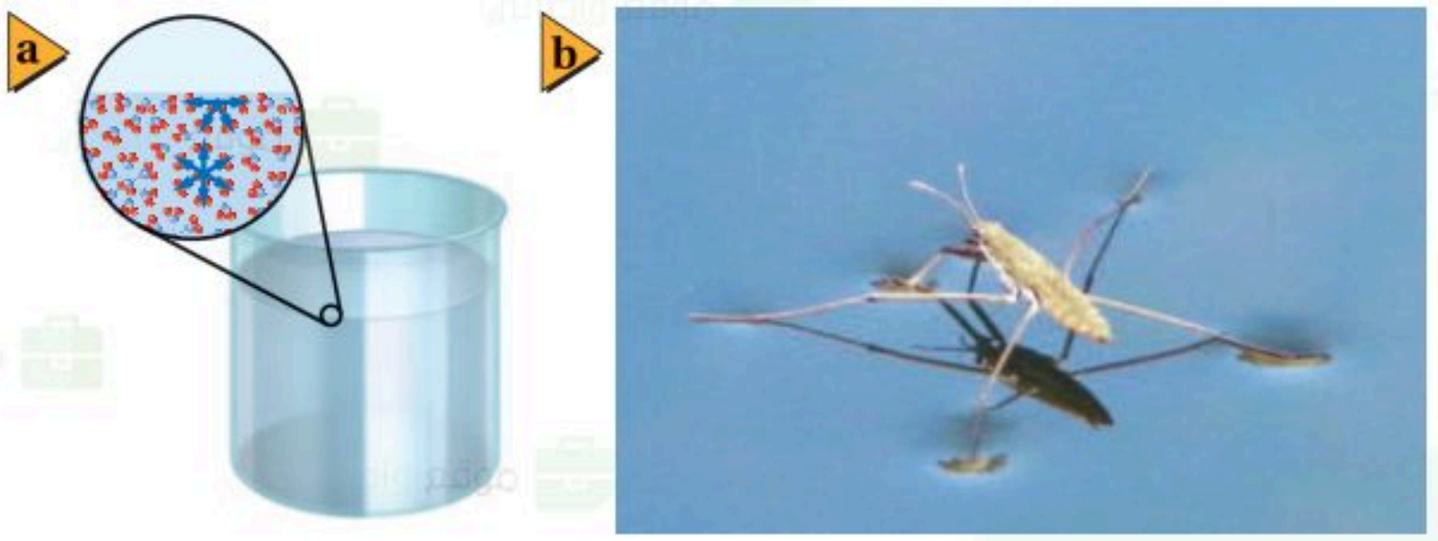


■ **الشكل 7–1 تصطف قطرات صغيرة من مياه الأمطار على شبكة العنكبوت؛ لأن قطرات الماء لها خاصية التوتر السطحي.**

اللزوجة تسبب قوى التماسك والتصادمات بين جزيئات المائع في الموائع غير المثالية احتكاكًا داخليًّا يعمل على إبطاء تدفق السائل، وتبديد الطاقة الميكانيكية. وتعد لزوجة السائل مقياسًا للاحتكاك الداخلي للسائل. ولزوجة الماء منخفضة، في حين أن زيت المحرك عالي اللزوجة؛ إذ يتدفق ببطء على الأجزاء المعدنية للمحرك، فيقلل من احتكاكها بعضها ببعض.

وتعد اللابة والصخور المنصهرة التي تتدفق من البركان وتتصاعد نحو سطح الأرض واحدة من أشد الموائع لزوجة، ولأنواع اللابة المتعددة لزوجات تتباين وفق تركيبها ودرجة حرارتها.

الربط مع علم الأرض



الشكل 8–1 تنجذب الجزيئات في داخل السائل إلى كل الاتجاهات (a). يتمكن صرصور الماء من السير على سطح الماء؛ لأن جزيئات الماء عند السطح لها قوة تجاذب محصلة في اتجاه الداخل تولد التوتر السطحي (b).

قوى التلاصق Adhesive Forces

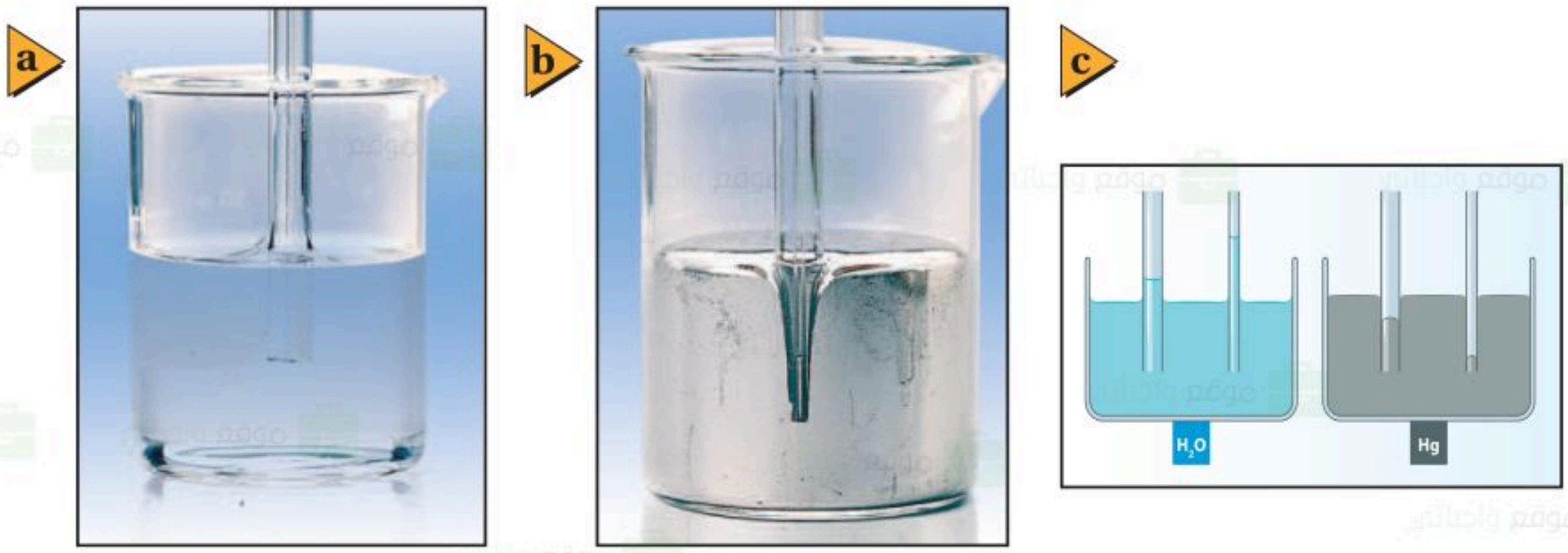
قوى التلاصق تشبه قوى التماسك؛ فهي عبارة عن قوى تجاذب كهرومغناطيسية تؤثر بين جزيئات المواد المختلفة. فإذا وضع أنبوب زجاجي نصف قطره الداخلي صغير في الماء فسيرتفع الماء داخل الأنبوب؛ لأن قوى التلاصق بين سطح الزجاج وجزيئات الماء أكبر من قوى التماسك بين جزيئات الماء.

وتعرف هذه الخاصية بالخاصية الشعرية، ويستمرّ الماء في الارتفاع حتى يتوازن وزن الماء الذي ارتفع مع قوة التلاصق الكلية بين سطح الزجاج وجزيئات الماء. وإذا ازداد نصف قطر الأنبوب فإن كلًّا من حجم الماء ووزنه سيتزايد طرديًّا وبمقدار أسرع من المساحة السطحية للأنبوب. وعليه، فسيرتفع الماء في الأنبوب الضيّق أكثر من ارتفاعه في الأنبوب الأكثر اتساعًا.

إن الخاصية الشعرية هي التي تسبب ارتفاع الوقود في فتيلة القنديل، كما تسبب أيضًا ارتفاع الماء من أسفل التربة إلى أعلاها وارتفاعه أيضًا في جذور النبات.

عندما يوضع أنبوب في وعاء من الماء يرتفع سطح الماء على السطح الخارجي للأنبوب كما في **الشكل 9a–1**؛ لأن قوى التلاصق بين جزيئات الزجاج وجزيئات الماء أكبر من قوى التماسك بين جزيئات الماء. وفي المقابل، فإن قوى التماسك بين جزيئات الزئبق أكبر من قوى التلاصق بين الزئبق وسطح الزجاج؛ لذا لا يرتفع الزئبق في الأنبوب، وتسبب هذه القوى أيضًا انخفاضًا في سطح الزئبق حول الأنبوب الزجاجي كما في **الشكل 9b–1**.

موقع واجباتي



■ **الشكل 9–1** يصعد الماء على جدار الأنبوب الزجاجي من الخارج (a)، في حين ينخفض سطح الزئبق حول الأنبوب (b)، إن قوى التجاذب بين ذرات الزئبق أقوى من قوى التلاصق بين الزئبق والزجاج (c).

التبخر والتكثّف Evaporation and Condensation

لماذا يختفي الماء من بركة صغيرة في يوم حار وجاف؟ تتحرك جزيئات السائل بسرعات عشوائية، كما تعلمت سابقًا. وإذا استطاعت الجزيئات المتحركة بسرعة كبيرة أن تنفذ خلال الطبقة السطحية، فإنها سَتنفذ من السائل، لكن وجود قوة تماسك محصلة إلى أسفل على السطح يعيق ذلك؛ لذا لا تفلت من السطح إلا الجزيئات التي لها طاقة كبيرة، ويسمى هروب الجزيئات التبخر.

التبريد بالتبخر لعملية التبخر أثر في خفض الحرارة (التبريد)؛ ففي الأيام الحارة يفرز الجسم عرقًا، وتبخر العرق يجعلك تشعر بالبرودة. ويؤدي التبخر في بركة الماء الصغيرة إلى تبريد الماء المتبقي. وكلما كانت الطاقة الحركية لجزيء ما أكبر من متوسط الطاقة الحركية لمجموع الجزيئات كانت فرصته في التحرر من الماء أكبر. وعند تحرره ينخفض متوسط الطاقة الحركية للجزيئات المتبقية. وكما تعلمت سابقًا، فإن الانخفاض في متوسط الطاقة الحركية يؤدي إلى انخفاض درجة الحرارة. وتستطيع أن تختبر أثر التبريد عند سكب كمية قليلة من الكحول وفركها براحة يديك؛ إذ تتبخر جزيئات الكحول بسهولة؛ لأن قوى التماسك بينها قليلة جدًّا. وعندما تتبخر الجزيئات يمكن ملاحظة أثر التبريد، وتُسمى السوائل التي تتبخر بسرعة السوائل المتطايرة.

لماذا تشعر أن الجو في الأيام الرطبة أكثر دفئًا منه في الأيام الجافة عند درجة الحرارة نفسها؟ في اليوم الرطب تكون كمية بخار الماء في الهواء مرتفعة، بسبب وجود الكثير من جزيئات الماء في الهواء، ويقل تبعًا لذلك احتمال تبخر جزيئات الماء في العرق. ويعد التعرق ميكانيكية التبريد الرئيسة في جسم الإنسان؛ لذا فإن الجسم لا يكون قادرًا على تبريد نفسه بصورة فعّالة في اليوم الرطب.

تطبيق الفيزياء

النباتات

تسمح قوى التماسك في السوائل بتمددها كما لو كانت شريطًا مطاطيًا مرنًا. ومن الصعب تحقيق حالة التمدد هذه في المختبر، ولكنها شائعة في النباتات.

وتحفظ شدة قوى التماسك الماء من أن ينقطع اتصاله بعضه ببعض، أو يشكل فقاقيع، عندما ينتقل إلى الأوراق عبر أنسجة النبات. ولولا هذه القوى ما تمكنت الأشجار من النمو أكثر من 10 أمتار.

إن جزيئات السـائل التي تبخرت في الهواء تسـتطيع العودة أيضًا إلى الحالة السـائلة إذا انخفضت طاقتها الحركية أو درجة حرارتها، وتسمى هذه العملية التكثّف.

ماذا يحدث عندما تحمل كأسًـا باردة في منطقة حارة ورطبة؟ سـيُغطى السطح الخارجي للكأس بالماء المتكثّف، وستتحرك جزيئات الماء عشوائيًّا في الهواء المحيط بالكأس وترتطم بالسطح البارد، وإذا فقدت طاقة كافية فإن قوى التماسك تصبح قوية إلى درجة تمنعها من الإفلات.

يحتوي الهواء الواقع فوق أي مسـطح مائي- كما موضح في **الشـكل 10–1** -على بخار مـاء؛ فهو إذن ماء في الحالة الغازية. وإذا انخفضت درجة الحرارة يتكاثف بخار الماء حول جزيئات الغبار المتناهيـة في الصغر الموجودة في الهواء، ويكـوّن قطيرات من الماء قطرها 0.01 mm. وتسـمى السـحابة المتكوّنة من هذه القطيرات الضباب. ويتكون الضباب غالبًا عندما يبرد الهواء الرطب عن طريق سطح الأرض البارد. ويمكن أن يتكون الضباب داخل المنزل؛ فعندما تفتح زجاجـة مياه غازي يحدث انخفاض مفاجئ في الضغط يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الغاز في الزجاجة، مما يُكثّف بخار الماء المذاب في ذلك الغاز.

الشـكل 10–1 يرتفع الهواء الدافئ والرطب القريب من سطح الأرض حتى يصل إلى ارتفاع تكون درجة الحرارة عنده مساوية لدرجة تكثّف بخار الماء، فتتشكل الغيوم عند هذا الارتفاع.

2–1 مراجعة

17. **التبخر والتبريد** في الماضي، عندما يصاب طفل بالحمى كان الطبيب يقترح أن يُمسح الطفل بقطعة إسفنج مبللة بالكحول. كيف يمكن أن يُساعد هذا الإجراء؟

لما كان الكحول يتبخر بسهولة فإنه يوجد تأثير تبريد بالتبخر يمكن ملاحظته بسهولة.

18. **التوتر السطحي** لمشبك الورق كثافة أكبر من كثافة الماء، ومع ذلك يمكن أن يطفو على سـطح الماء. فما الخطوات التي يجب أن تتبعها لتحقيق ذلك؟ وضح إجابتك.

ينبغي أن يوضع مشبك الورق بحذر وبشكل مستو على سطح الماء؛ فهذا من شأنه تقليل الوزن لكل وحدة مساحة على سطح الماء الذي سيستقر عليه مشبك الورق، ومن ثم سيكون التوتر السطحي للماء كافيًا لدعم الوزن القليل لكل وحدة مساحة لمشبك الورق.

19. **اللغة والفيزياء** نستخدم في لغتنا العربية مصطلحات، منها "الشريط اللاصق" و "العمل كمجموعة متماسكة"، فهل استخدام المفردتين (التلاصق والتماسك) في سياق كلامنا مطابقٌ لمعانيهما في الفيزياء؟

نعم، يلتصق الشريط اللاصق بأشياء أخرى تختلف عنه؛ ليست من النوع نفسه.

المجموعة المتماسكة مجموعة من الأشخاص الذين يعملون معًا.

20. **التلاصق والتماسك** وضح لمـــاذا يلتصق الكحول بسطح الأنبوب الزجاجي في حين لا يلتصق الزئبق.

قوة تلاصق الكحول بالزجاج أكبر كثيرًا من قوة تلاصق الزئبق بالزجاج.

كما أن قوى التماسك للزئبق أقوى من قوة التصاقه بالزجاج.

21. **الطفو** كيف يمكن لمشبك الورق في المسألة **17** ألا يطفو؟

إذا اخترق مشبك الورق سطح الماء فإنه يغطس. فالجسم الطافي هو الجسم الذي يمكن أن يخرج ويظهر بسهولة مرة أخرى على السطح.

22. **التفكير الناقد** تجلس فاطمة في يوم حار ورطب في باحة منزلها، وتحمل كأسًا من الماء البارد، وكان السطح الخارجي للـــكأس مغطى بطبقة من الماء، فاعتقدت أختها أن الماء يتسرب من خلال الزجاج من الداخل إلى الخارج. اقترح تجربة يمكن لفاطمة أن تجريها لتوضح لأختها من أين يأتي الماء.

قد تزن فاطمة الكأس قبل تبريدها في الثلاجة، ثم تخرجها من الثلاجة وتدع الرطوبة تتجمّع على سطحها الخارجي، ثم تزنها مرة أخرى. فإذا كان الماء يتسرب بسهولة من الداخل إلى الخارج فإن مجموع كتلة الماء والكأس لن يتغير. أما إذا تكثفت الرطوبة على الكأس من الخارج فسيكون هناك زيادة في الكتلة.

موقع واجباتي

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

1–3 الموائع الساكنة و الموائع المتحركة Fluids at Rest and in Motion

الأهداف

- **تربط** مبدأ باسكال بالآلات البسيطة وحالاتها.
- **تطبّق** مبدأ أرخميدس للطفو.
- **تطبّق** مبدأ برنولي لتدفق الهواء.

المفردات

مبدأ باسكال
قوة الطفو
مبدأ أرخميدس
مبدأ برنولي
خطوط الانسياب

تعلمت سابقًا أن الموائع تولد ضغطًا، هوالقوة المؤثرة في وحدة المساحة. وتعلمت أيضًا أن الضغط الذي تولده الموائع يتغير، فمثلاً ينخفض الضغط الجوي كلما زاد ارتفاعك في أثناء تسلقك جبلاً. وستدرس في هذا الفصل القوى الناتجة عن الموائع الساكنة والموائع المتحركة.

الموائع الساكنة Fluids at Rest

إذا غطست في بركة سباحة أو بحيرة إلى عمق معين فستدرك عندئذٍ أن جسمك – وخصوصًا أذنيك – حساس جدًّا لتغيرات الضغط. ومن المحتمل أنك لاحظت أن الضغط الذي شعرت به على أذنيك لا يعتمد على وضع رأسك إذا كان مرفوعًا أو مائلاً إلى أسفل، ولكن يزداد الضغط إذا غطست إلى أعماق كبيرة.

مبدأ باسكال لاحظ عالم الفيزياء الفرنسي بليز باسكال أن الضغط في المائع يعتمد على عمق المائع، ولا علاقة له بشكل الوعاء الذي يحوي المائع، وقد اكتشف أيضًا أن أي تغير في الضغط المؤثر في أي نقطة في المائع المحصور ينتقل إلى جميع نقاط المائع بالتساوي، وتُعرف هذه الحقيقة **بمبدأ باسكال**.

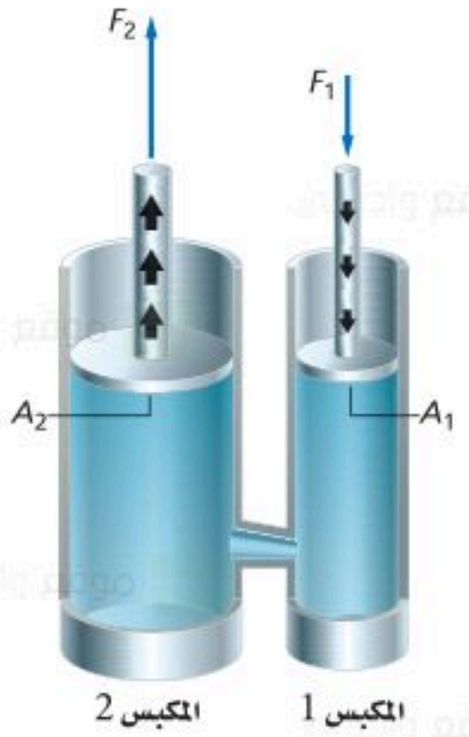
ويظهر مبدأ باسكال في كل مرة تعصر فيها أنبوب معجون الأسنان، إذ ينتقل الضغط الذي تؤثر به أصابعك في مؤخرة الأنبوب إلى معجون الأسنان، بحيث يندفع المعجون خارجًا من مقدمة الأنبوب. وبطريقة مماثلة، إذا عصرت إحدى نهايتي بالون غاز الهيليوم فإن نهايته الأخرى تنتفخ.

وعندما تستخدم الموائع في الآلات بهدف مضاعفة القوى فإنك في هذه الحالة تطبق مبدأ باسكال، ففي النظام الهيدروليكي عمومًا، يُحصر المائع في حجرتين متصلتين معًا، كما في **الشكل 11–1**، حيث يوجد في كل حجرة مكبس حر الحركة، ولكل من المكبسين مساحة سطح مختلفة، فإذا أثرت القوة F_1 في المكبس الأول الذي مساحة سطحه A_1 أمكن حساب الضغط P_1، المؤثر في المائع باستخدام المعادلة الآتية:

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

والتي تمثل تعريف الضغط، حيث الضغط يساوي القوة المؤثرة في وحدة المساحة. ويمكن حساب الضغط الناتج عن المائع في المكبس الثاني الذي مساحة سطحه A_2 باستخدام المعادلة الآتية:

$$P_2 = \frac{F_2}{A_2}$$



■ **الشكل 11–1 ينتقل الضغط الناشئ عن تأثير القوة في المكبس الصغير خلال المائع، بحيث ينتج كقوة مضاعفة في المكبس الكبير.**

موقع واجباتي

23. تُعد كراسي أطباء الأسنان أمثلة على أنظمة الرفع الهيدروليكية. فإذا كان الكرسي يزن 1600 N ويرتكز على مكبس مساحة مقطعه العرضي $1440\ cm^2$، فما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في المكبس الصغير الذي مساحة مقطعه العرضي $72\ cm^2$ لرفع الكرسي؟

$$F_2 = \frac{F_1 A_2}{A_1} = \frac{(1600\ N)(72\ cm^2)}{1440\ cm^2}$$

$$= 8.0 \times 10^1\ N$$

24. تؤثر آلة بقوة مقدارها 55 N في مكبس هيدروليكي مساحة مقطعه العرضي $0.015\ m^2$ ، فترفع سيارة صغيرة. فإذا كانت مساحة المقطع العرضي للمكبس الذي ترتكز عليه السيارة $2.4\ m^2$، فما وزن السيارة؟

$$F_2 = \frac{F_1 A_2}{A_1} = \frac{(55\ N)(2.4\ m^2)}{(0.015\ m^2)} = 8.8 \times 10^3\ N$$

25. يحقق النظام الهيدروليكي الهدف نفسه تقريبًا الذي تحققه الرافعة ولعبة الميزان، وهو مضاعفة القوة. فإذا وقف طفل وزنه 400 N على أحد المكبسين بحيث يتزن مع شخص بالغ وزنه 1100 N يقف على المكبس الثاني، فما النسبة بين مساحتي مقطعي المكبسين العرضيين؟

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

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{F_2}{F_1} = \frac{400\ N}{1100\ N} = 0.4$$

يقف الشخص البالغ على المكبس ذي مساحة المقطع الكبير.

موقع واجباتي

26. تستخدم في محل صيانة للآلات رافعة هيدروليكية لرفع آلات ثقيلة لصيانتها. ويحتوي نظام الرافعة مكبسًا صغيرًا مساحة مقطعه العرضي $7.0 \times 10^{-2}\ m^2$، ومكبسًا كبيرًا مساحة مقطعه العرضي $2.1 \times 10^{-1}\ m^2$، وقد وضع على المكبس الكبير محرك يزن $2.7 \times 10^{3}\ N$.

a. ما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في المكبس الصغير لرفع المحرك؟

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

$$= \frac{(2.7\times10^{3}\ N)(7.0\times10^{-2}\ m^2)}{2.1\times10^{-1}\ m^2}$$

$$= 9.0\times10^{2}\ N$$

b. إذا ارتفع المحرك $0.20\ m$، فما المسافة التي تحركها المكبس الصغير؟

$$V_1 = V_2$$

و

$$A_1 h_1 = A_2 h_2$$

$$h_2 = \frac{A_1 h_1}{A_2} = \frac{(2.1\times10^{-1}\ m^2)(0.20\ m)}{7.0\times10^{-2}\ m^2}$$

$$= 0.60\ m$$

موقع واجباتي

السباحة تحت الضغط swimming under pressure

عندما تسبح تشعر أن ضغط الماء يتزايد كلما غطست إلى مسافة أعمق، وينشأ هذا الضغط حقيقة عن قوة الجاذبية الأرضية، التي ترتبط مع وزن الماء فوق الجسم. فإذا غطست إلى أعماق كبيرة فستكون كمية أكبر من الماء فوق جسمك؛ لذا سيكون الضغط عليك أكبر. إن ضغط الماء يساوي وزن عمود الماء F_g فوقك مقسومًا على مساحة المقطع العرضي لعمود الماء A. وعلى الرغم من أن قوة الجاذبية الأرضية تسحب فقط في الاتجاه الرأسي إلى أسفل فإن المائع ينقل الضغط في الاتجاهات جميعها، إلى أعلى وإلى أسفل وإلى الجوانب. وتستطيع أن تجد ضغط الماء بتطبيق العلاقة الآتية:

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

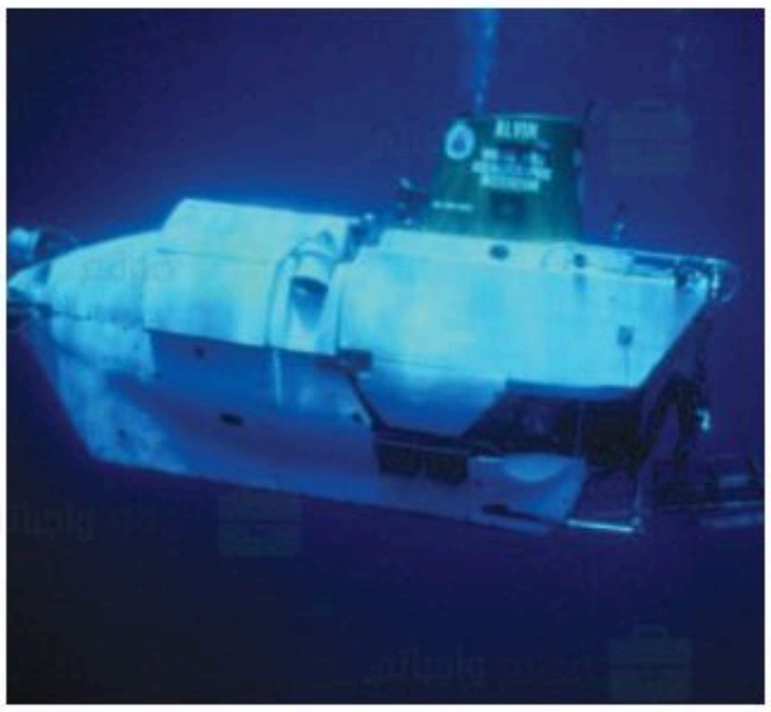
وزن عمود الماء $F_g = mg$، والكتلة تساوي كثافة الماء ρ مضروبة في حجمه، $m = \rho V$. وتعلم أيضًا أن حجم الماء يساوي مساحة قاعدة عمود الماء مضروبة في ارتفاعه $V = Ah$؛ لذا فإن $F_g = \rho Ahg$. عوض بـ ρAhg بدلاً من F_g في معادلة ضغط الماء فستجد أن $P = \frac{F_g}{A} = \frac{\rho Ahg}{A}$، ثم اختزل A من البسط والمقام للوصول إلى الصورة المبسطة لمعادلة الضغط الذي يؤثر به عمود الماء في جسم الغطّاس.

ضغط الماء على الجسم $P = \rho hg$

الضغط الذي يؤثر به عمود الماء في الجسم يساوي حاصل ضرب كثافة الماء في ارتفاع عمود الماء في تسارع الجاذبية الأرضية.

تطبق هذه المعادلة على الموائع جميعها، وليس فقط على حالة الماء. ويعتمد ضغط المائع الذي يؤثر في الجسم على كثافة المائع، وعمقه، و g. وإذا كان هناك ماء على سطح القمر فإن قيمة ضغطه عند أي عمق ستكون سُدس قيمته على الأرض. يوضح **الشكل 12–1** غواصة تنتقل في أخاديد المحيط العميقة، وتتعرض لضغوطٍ تزيد 1000 مرة على مقدار ضغط الهواء المعياري.

الشكل 12–1 في عام 1960 م نزل طاقم الغطس تريست (Triste) إلى أعماق الأخدود ماريانس (Marianas) الذي يزيد عمقه على 10500 m. وتمكن أحد الغواصين من الغطس بأمان إلى عمق 4500 m في مياه المحيط.



قوة الطفو ما الذي يولد القوة الرأسية إلى أعلى التي تسمح لك بالسباحة؟ إن زيادة الضغط الناجمة عن زيادة العمق تولد قوة رأسية إلى أعلى تسمى **قوة الطفو**. وبالمقارنة بين قوة الطفو المؤثرة في جسم ووزنه نستطيع أن نتوقع ما إذا كان الجسم سيغوص أم يطفو.

افترض أن صندوقًا ارتفاعه l ومساحة سطحيه العلوي والسفلي A غُمر في الماء، فيكون حجم الصندوق $V = lA$، ويؤثر ضغط الماء بقوى في كل جوانبه، كما هو موضّح في **الشكل 13–1**. هل يغوص الصندوق أم يطفو؟ كما تعلم، يعتمد الضغط المؤثر في الصندوق على عمقه h. ولتعرف ما إذا كان الصندوق سيطفو على سطح الماء أم لا فإنك تحتاج أن تعيّن مقدار الضغط المؤثر في السطح العلوي للصندوق مقارنة بالضغط المؤثر في

قاع الصندوق. قارن بين المعادلتين الآتيتين:

$$F_{\text{العلوية}} = P_{\text{العلوي}} A = \rho h g A$$

$$F_{\text{السفلية}} = P_{\text{السفلي}} A = \rho (l+h) g A$$

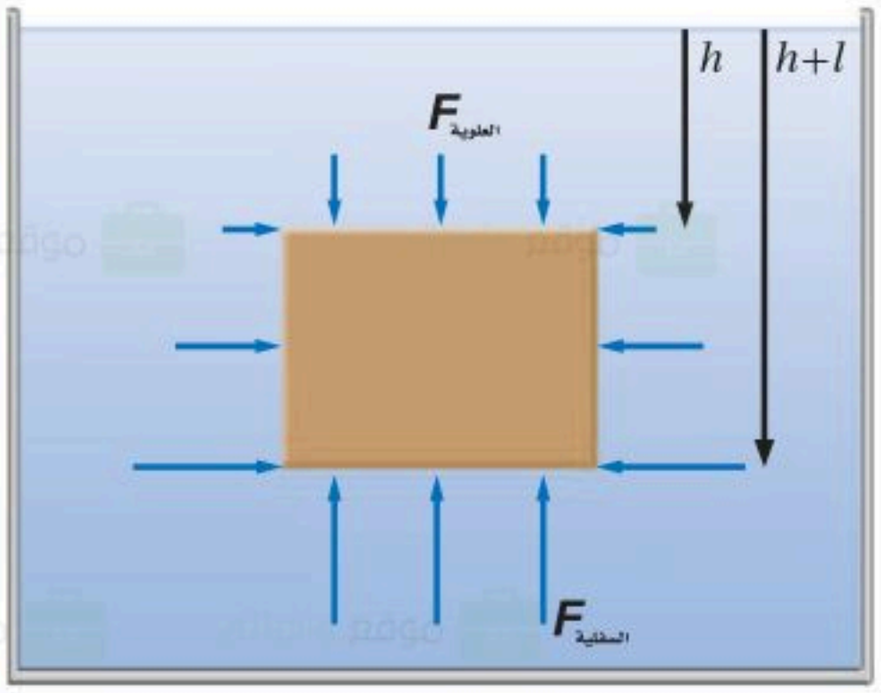
إن القــوى المؤثرة في الجوانب الأربعة الرأســية متســاوية في جميع الاتجاهات؛ لذا ليس هناك قوة محصلة أفقية. والقوة الرأسية إلى أعلى المؤثرة في قاع الصندوق أكبر من القوة الرأســية إلى أسفل المؤثرة في سطحه العلوي؛ لذا فهناك قوة محصلة رأسية. ويمكن الآن حساب مقدار قوة الطفو.

$$F_{\text{الطفو}} = F_{\text{السفلية}} - F_{\text{العلوية}}$$
$$= \rho (l + h) gA - \rho h g A$$
$$= \rho l g A = \rho V g$$

وتبين هذه الحسابات أن القوة المحصلة الرأسية إلى أعلى تتناسب طرديًّا مع حجم الصندوق، وهذا الحجم يســاوي حجم المائع المزاح أو المدفوع خارجًا عن طريق الصندوق؛ لذا فإن مقدار قوة الطفو $\rho V g$ تساوي وزن المائع المزاح عن طريق الجسم.

قوة الطفو $F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{المائع}} V g$

قوة الطفو المؤثرة في الجســم تساوي وزن المائع المزاح عن طريق الجسم، والتي تساوي كثافة المائع المغمور فيه الجسم مضروبًا في حجم الجسم وفي تسارع الجاذبية الأرضية.



■ **الشـكل 13–1 يؤثر المائع بقوة إلى أعلى في قاع الجسم المغمور أكبر من القوة المؤثرة إلى أسفل في السطح العلوي للجسم. وتسمى محصلة القوة إلى أعلى بقوة الطفو.**

اكتشــف هذه العلاقة في القرن الثالث قبل الميلاد العالم الإغريقي أرخميدس، وينص **مبدأ أرخميدس** على أن الجســم المغمور في مائع تؤثر فيه قوة رأســية إلى أعلى تساوي وزن المائع المزاح عن طريق الجســم. ولا تعتمد القوة على وزن الجســم، ولكن تعتمد فقط على وزن المائع المزاح.

تجربة عملية

لماذا تبدو الصخرة خفيفة في الماء؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

هل يغوص الجسـم أم يطفو؟ إذا أردت أن تعرف ما إذا كان الجســم سيطفو أم يغوص فإنه يجب أن تأخذ بعين الاعتبار كل القوى المؤثرة في الجسم. فقوة الطفو تدفع الجسم إلى أعلى، ولكن وزن الجسم يسحبه إلى أسفل، ويحدّد الفرق بين قوة الطفو ووزن الجسم ما إذا كان الجسم سيغوص أم يطفو.

افترض أنك غمرت ثلاثة أجســام في خزان مملوء بالمــاء ($\rho_{\text{ماء}} = 1.00 \times 10^3\ \text{kg/m}^3$)، وكان حجم كل جســم منها $100\ \text{cm}^3$ أو $1.00 \times 10^{-4}\ \text{m}^3$. فإذا كان الجسم الأول قالبًا فولاذيًّا كتلته 0.90 kg، والجســم الثاني عبوة صودا مــن الألومنيوم كتلتها 0.10 kg، أما الجسم الثالث فمكعب من الجليد كتلته 0.090 kg، فكيف يتحرك كل من الأجسام الثلاثة عندما تغمر في الماء؟

إن القوة الرأسية على الأجسام الثلاثة متساوية، انظر إلى **الشكل 14–1**، لأن كلًّا منها قد أزاح الوزن نفسه من الماء، ويمكن حساب قوة الطفو على النحو الآتي:

$$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{ماء}} Vg$$

$$= (1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(1.00 \times 10^{-4} \text{ m}^3)(9.80 \text{ m/s}^2)$$

$$= 0.980 \text{ N}$$

إن وزن قالب الفولاذ يساوي 8.8 N وهو أكبر كثيرًا من قوة الطفو. وتبعًا لذلك تكون القوة المحصلة الرأسية المؤثرة فيه إلى أسفل؛ لذا يغوص القالب. لاحظ أن القوة المحصلة الرأسية إلى أسفل هي وزن الجسم الظاهري، وهي أقل من وزنه الحقيقي، وكل الأجسام التي في سائل، – ومنها تلك التي تغوص – لها وزن ظاهري أقل من وزنها عندما تكون في الهواء. ويمكن التعبير عن الوزن الظاهري بالمعادلة الآتية:

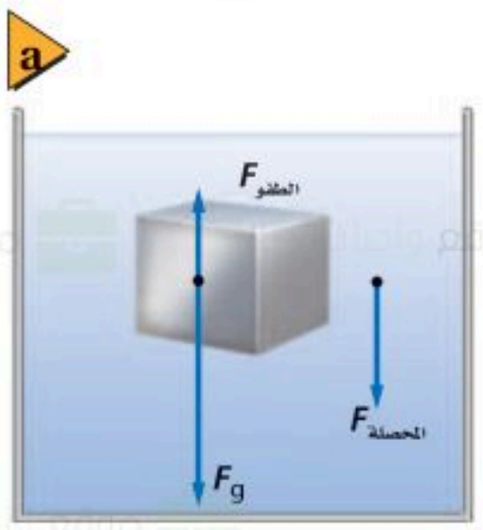
$$F_{\text{الظاهري}} = F_g - F_{\text{الطفو}}$$

وبالنسبة لقالب الفولاذ فإن وزنه الظاهري يساوي (8.8 N – 0.98 N) أو 7.8 N.

ووزن علبة الصودا يساوي 0.980 N، وهذا يماثل وزن الماء المزاح؛ لذا لا توجد قوة محصلة تؤثر في العبوة، ولذلك تبقى العبوة حيث توضع في الماء ولها قوة طفو متعادلة. وتوصف الأجسام ذات قوة الطفو المتعادلة بالأجسام العديمة الوزن، أيْ أن وزنها الظاهري صفر. إن هذه الخاصية مماثلة لتلك التي يعاني منها روّاد الفضاء في الفضاء. وهذا يفسر تدرب رواد الفضاء أحيانًا في برك السباحة.

أما وزن مكعب الجليد فيساوي 0.88 N، وهو أقل من قوة الطفو، ولذلك توجد قوة محصلة رأسية إلى أعلى؛ لذا يرتفع مكعب الجليد إلى أعلى. إن القوة المحصلة الرأسية إلى أعلى ستجعل جزءًا من مكعب الجليد خارج الماء. ونتيجة لذلك، تزاح كمية أقل من الماء وتقل القوة الرأسية إلى أعلى، ويطفو مكعب الجليد في الماء ويكون جزء منه داخل الماء والآخر خارجه حتى يتساوى وزن الماء المزاح مع وزن مكعب الجليد. وعمومًا يطفو الجسم إذا كانت كثافته أقل من كثافة المائع المغمور فيه.

السفن يفسر مبدأ أرخميدس كيف يمكن للسفن المصنوعة من الفولاذ أن تطفو على سطح الماء، فإذا كان جسم السفينة مفرغًا وكبيرًا بما يكفي فإن معدل كثافة السفينة يكون أقل من كثافة الماء، ولذلك تطفو.



الشكل 14–1 قالب من الفولاذ (a)، عبوة ألومنيوم لمشروب الصودا (b) ومكعب جليد (c) لكل منها الحجم نفسه، تزيح كمية متساوية من الماء، وتخضع لتأثير قوى طفو متماثلة. ولأن أوزانها مختلفة فإن محصلة القوى المؤثرة في الأجسام الثلاثة مختلفة أيضًا.

موقع واجباتي

ويمكن أن تلاحظ أنّ السفينة المحملة بالبضائع تبحر بحيث تنخفض في الماء أكثر من السفينة الفارغة. وتستطيع توضيح هذا من خلال صنع قارب صغير من رقائق الألومنيوم، حيث يطفو هذا القارب بسهولة، وينغمر جزءٌ أكبر منه في الماء إذا أضيف إليه حمولة من مشابك الورق. وإذا حطمت القارب وجمعت رقائق الألومنيوم التي تكونه على شكل كرة مصمتة، فإنها في هذه الحالة تغطس بسبب زيادة كثافتها.

الربط مع علم الأرض

وبطريقة مماثلة، تطفو القارات الأرضية فوق مواد ذات كثافة كبيرة تحت السطح، وحركة الانجراف للصفائح القاريّة هي المسؤولة عن الأشكال والمواقع الحالية للقارات.

وهناك أمثلة تطبيقية أخرى على مبدأ أرخميدس، منها الغواصات البحرية والأسماك؛ إذ توظف الغواصات مبدأ أرخميدس في عملها، فكلما ضُخ الماء داخل عدد من الحجرات المختلفة وخارجها يتغير متوسط كثافة الغواصة، مما يجعلها تطفو أو تغطس. أما بالنسبة للأسماك، فلدى بعضها انتفاخ غشائي للسباحة يسمى مثانة العوم، وهي تطبق مبدأ أرخميدس لتتحكم في العمق الذي توجد فيه، فالأسماك تنفخ مثانة العوم أو تقلّصها كما ينفخ الإنسان خديه. فتنفخه لإزاحة كمية أكبر من الماء، وبذلك تزيد من قوة الطفو فترتفع، وفي المقابل تنزل إلى أسفل في الماء بتقليص حجم مثانة العوم.

تجربة عملية

لماذا تؤلمك أذناك عندما تغوص في الماء؟

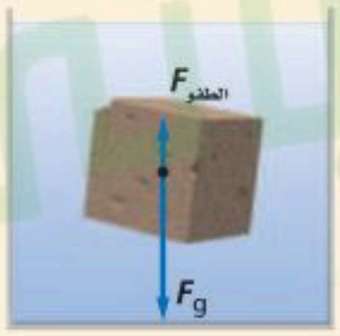
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

مثال 3

مبدأ أرخميدس ينغمر قالب بناء من الجرانيت حجمه ($1.00 \times 10^{-3}\ m^3$)، في الماء، فإذا كانت كثافة الجرانيت $2.7 \times 10^3\ kg/m^3$، فما مقدار:

a قوة الطفو المؤثرة في قالب الجرانيت؟

b الوزن الظاهري لقالب الجرانيت؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم قالب جرانيت مغمورًا في الماء.
- بين قوة الطفو الرأسية إلى أعلى وقوة الجاذبية الأرضية الرأسية إلى أسفل اللتين تؤثران في القالب.

المعلوم	المجهول
$V = 1.00 \times 10^{-3}\ m^3$	$F_{\text{الطفو}} = ?$
$\rho_{\text{الجرانيت}} = 2.70 \times 10^3\ kg/m^3$	$F_{\text{الظاهري}} = ?$
$\rho_{\text{الماء}} = 1.00 \times 10^3\ kg/m^3$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. احسب قوة الطفو على قالب الجرانيت.

عوض مستخدمًا $\rho_{\text{الماء}} = 1.00 \times 10^3\ kg/m^3$ و $V = 1.00 \times 10^{-3}\ m^3$ و $g = 9.80\ m/s^2$

$$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{الماء}} Vg$$
$$= (1.00 \times 10^3\ kg/m^3)(1.00 \times 10^{-3}\ m^3)(9.80\ m/s^2)$$
$$= 9.80\ N$$

b. احسب وزن قالب الجرانيت، ثم أوجد وزنه الظاهري.

عوض مستخدمًا $\rho_{\text{جرانيت}} = 2.70 \times 10^3\ \text{kg/m}^3$

$V = 1.00 \times 10^{-3}\ \text{m}^3$ و $g = 9.80\ \text{m/s}^2$

$$F_g = \rho_{\text{الجرانيت}} Vg$$

$$= (2.70 \times 10^3\ \text{kg/m}^3)(1.00 \times 10^{-3}\ \text{m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 26.5\ \text{N}$$

عوض مستخدمًا $n = 0.893\ \text{mol}$ ، $M = 39.9\ \text{g/mol}$

$$F_{\text{الظاهري}} = F_g - F_{\text{الطفو}}$$

$$= 26.5\ \text{N} - 9.80\ \text{N}$$

$$= 16.7\ \text{N}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس كل من القوى والوزن الظاهري بوحدة النيوتن، كما هو متوقع.
- **هل الجواب منطقي؟** قوة الطفو تساوي تقريبًا ثلث وزن قالب الجرانيت، وهذه إجابة منطقية؛ لأن كثافة الماء تساوي ثلث كثافة الجرانيت تقريبًا.

مسائل تدريبية

27. إن كثافة القرميد الشائع الاستخدام أكبر 1.8 مرة من كثافة الماء. ما الوزن الظاهري لقالب من القرميد حجمه $0.20\ \text{m}^3$ مغمور تحت الماء؟

$$F_{\text{الظاهري}} = F_g - F_{\text{الطفو}}$$

$$= \rho_{\text{القرميد}} Vg - \rho_{\text{الماء}} Vg$$

$$= (\rho_{\text{القرميد}} - \rho_{\text{الماء}})Vg$$

$$= (1.8 \times 10^3\ \text{kg/m}^3 - 1.00 \times 10^3\ \text{kg/m}^3)(0.20\ \text{m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 1.6 \times 10^3\ \text{N}$$

28. يطفو سباح في بركة ماء، بحيث يعلو رأسه قليلاً فوق سطح الماء. فإذا كان وزنه 610 N فما حجم الجزء المغمور من جسمه؟

لما كان السباح طافيًا، فإنه يزيح كمية من الماء وزنها يساوي وزن السباح.

$$F_g = F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{الماء}} Vg$$

$$V = \frac{F_g}{\rho_{\text{الماء}}\, g}$$

$$= \frac{610\ \text{N}}{(1.00 \times 10^3\ \text{kg/m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 6.2 \times 10^{-2}\ \text{m}^3$$

29. ما مقدار قوة الشد في حبل يحمل كاميرا وزنها 1250 N مغمورة في الماء، إذا علمت أن حجم الكاميرا $16.5 \times 10^{-3}\ m^3$؟

لحمل الكاميرا وهي مغمورة في الماء فإن قوة الشد في الحبل يجب أن تساوي الوزن الظاهري للكاميرا.

$$T = F_{\text{الظاهري}}$$

$$= F_g - F_{\text{الطفو}}$$

$$= F_g - \rho_{\text{الماء}} Vg$$

$$= 1250\ \text{N} - (1.00\times10^3\ \text{kg/m}^3)(16.5\times10^{-3}\ \text{m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 1.09\times10^3\ \text{N}$$

30. لوح من الفلين الصناعي كثافته تساوي 0.10 مرة من كثافة الماء تقريبًا. ما أكبر وزن من قوالب القرميد تستطيع وضعها على لوح الفلين الصناعي الذي أبعاده $1.0\ m \times 1.0\ m \times 0.10\ m$ ، بحيث يطفو اللوح على سطح الماء، وتبقى قوالب القرميد جافة؟

سيزيح لوح الفلين حجمًا مقداره

$$V = (1.0\ \text{m})(1.0\ \text{m})(0.10\ \text{m}) = 0.10\ \text{m}^3$$ **من الماء**

وزن لوح الفلين يساوي

$$F_{g,\text{لوح الفلين}} = \rho_{\text{لوح الفلين}} Vg$$

$$= (1.0\times10^2\ \text{kg/m}^3)(0.10\ \text{m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 98\ \text{N}$$

قوة الطفو تساوي

$$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{الماء}} Vg$$

$$F_{\text{الطفو}} = (1.00\times10^3\ \text{kg/m}^3)(0.10\ \text{m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 980\ \text{N}$$

وزن قوالب القرميد التي تستطيع وضعها على لوح الفلين

$$F_{g,\text{قوالب القرميد}} = F_{\text{الطفو}} - F_{g\ \text{لوح الفلين}}$$

$$= 980\ \text{N} - 98\ \text{N}$$

$$= 8.8\times10^{2}\ \text{N}$$

31. يوجد عادة في الزوارق الصغيرة قوالب من الفلين الصناعي تحت المقاعد؛ لتساعدها على الطفو في حال امتلأ الزورق بالماء. ما أقل حجم تقريبي من قوالب الفلين اللازمة ليطفو قارب وزنه 480 N؟

قوة الطفو على قوالب الفلين يجب أن تساوي 480 N.

ونحن نفترض أن الزورق مصنوع من مادة كثيفة.

$$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{الماء}} V g$$

$$V = \frac{F_{\text{الطفو}}}{\rho_{\text{الماء}}\, g}$$

$$= \frac{480\ \text{N}}{(1.00\times10^{3}\ \text{kg/m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 4.9\times10^{-2}\ \text{m}^3$$

موقع واجباتي

الموائع المتحركة : مبدأ برنولي

Fluids in Motion: Bernoulli's Principle

■ **الشكل 15–1** يوضح النفخ فوق سطح صفيحة من الورق مبدأ برنولي.

حاول تنفيذ التجربة الموضحة في **الشكل 15–1**. ضع قطعة من ورق دفتر ملاحظاتك أسفل شفتك السفلى قليلاً، ثم انفخ بقوة فوق سطحها العلوي. لماذا ترتفع قطعة الورق؟ يقلل نفخ الهواء الضغط فوق الورقة. وبسبب انخفاض الضغط أعلى الورقة فإن ضغط الهواء الساكن نسبيًّا أسفل الورقة يدفع الورقة إلى أعلى. إن العلاقة بين السرعة والضغط المؤثر عن طريق الموائع المتحركة يسمى مبدأ برنولي نسبة إلى العالم السويسري دانييل برنولي.

ينص **مبدأ برنولي** على أنه عندما تزداد سرعة المائع يقل ضغطه. وهذا المبدأ تمثيل لمبدأ حفظ الشغل والطاقة عند تطبيقه على الموائع. ويعتبر تدفق المائع عبر مقطع ضيق حالة من الحالات التي تزداد فيها سرعة المائع. فصنابير الماء في بعض خراطيم الحدائق يمكن أن تتسع أو تضيق؛ لذا تتغير سرعة تدفق الماء.

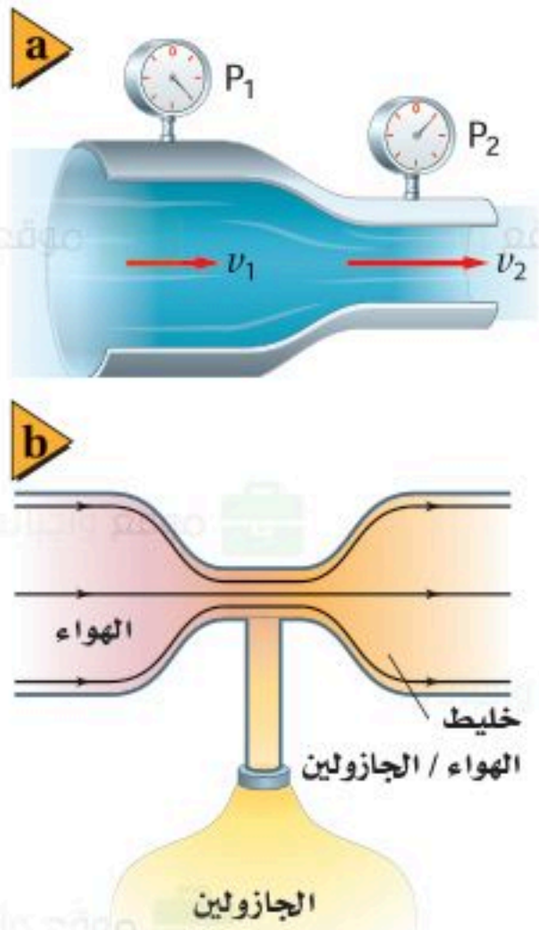
ولعلك لاحظت أنّ سرعة الماء تتزايد في جدول الماء (الوادي) عندما يمر عبر مقطع ضيّق في مجرى الجدول، وعمومًا يغير اتساع أو ضيق مجرى المائع - كخرطوم الماء أو قناة جدول الماء- من سرعة المائع، بحيث يبقى معدل التدفق للمائع محفوظًا. وبالإضافة إلى الجداول وخراطيم الماء فإن ضغط الدم في دورتنا الدموية يعتمد جزئيًّا على مبدأ برنولي. كما تتضمن معالجة أمراض القلب إزالة الانسداد في الشرايين والأوردة، وتجنب حدوث تخثرات في الدم.

لنأخذ حالة أنبوب أفقي مملوء بمائع مثالي يتدفق بسهولة؛ فإذا عبرت كمية معينة من المائع في أحد طرفي الأنبوب، فإن الكمية نفسها يجب أن تخرج من الطرف الآخر. افترض الآن أن المقطع العرضي أصبح أضيق، كما في **الشكل 16–1a**، فيجب أن تزداد سرعة تدفق المائع للحفاظ على كتلته المنتقلة عبر المقطع الضيّق خلال فترة زمنية ثابتة. لكن كلما ازدادت سرعة المائع ازدادت طاقته الحركية، وهذا يعني أن هناك محصلة شغل بُذلت على المائع السريع الحركة، وينتج هذا الشغل المحصل عن الفرق بين الشغل الذي بُذل لانتقال كمية من المائع داخل الأنبوب والشغل الذي بذل عن طريق المائع لدفع الكمية نفسها من المائع خارج الأنبوب. ويتناسب الشغل طرديًّا مع القوة المؤثرة في المائع، والتي تعتمد بدورها على الضغط. فإذا كانت محصلة الشغل موجبة وجب أن يكون ضغط المائع في المدخل عند بداية المقطع (حيث تكون سرعة المائع أقل) أكبر من الضغط في المخرج عند نهاية المقطع، حيث تكون سرعة المائع أكبر.

تطبيقات على مبدأ برنولي هناك بعض التطبيقات العملية الشائعة على مبدأ برنولي، ومنها مرش (بخّاخ) الطلاء، ومرذاذ العطر. ويعمل المرذاذ البسيط في زجاجة العطر بنفخ الهواء عبر الجزء العلوي من الأنبوب المغمور في العطر، فينخفض الضغط عند قمة الأنبوب، بحيث يصبح أقل من الضغط داخل الزجاجة، ونتيجة لذلك، يندفع العطر عبر تيار الهواء.

موقع واجباتي

يعد المــازج (Carburetor) في محرك الجازولين، حيث يختلط الهواء بالجازولين، ، تطبيقًا شــائعًا آخر على مبدأ برنولي. إن أحد أجزاء المازج عبارة عــن أنبوب فيه ضيق في منطقة معينــة، كما في **الشــكل 16b–1** ، ويكون الضغط على الجازولين في خــزان الوقود مماثلاً للضغط في الجزء الأكثر اتســاعًا في الأنبــوب. لكنّ تدفق الهواء عــبر المقطع الضيّق من الأنبــوب والموصول بخزان الوقود يجعل الضغط منخفضًا؛ لــذا يندفع الوقود في منطقة تدفق الهــواء. وتتغير كمية الوقود الممزوجة بالهواء في الأنبــوب تبعًا لتنظيم هذا التدفق. تتجه السيارات الحديثة إلى اســتخدام محقنة الوقود أو نفثه بدلاً من نظام المازج، ولكن لا تزال أنظمة المازج شائعة الاســتخدام في السيارات القديمة، وفي الآلات ذات المحركات التي تدار بالجازولين ومنها آلات جز العشب.



■ **الشكل 16–1** يكون الضغط P_1 أكبر من P_2؛ لأن v_1 أقل من v_2 (**a**). يعمل الضغط المنخفض في الجزء الضيق من أنبوب المــازج (carburetor) على سحب الوقود إلى مجرى الهواء (**b**).

خطــوط الانســياب يســتنفد صانعو الســيارات والطائرات الكثير من الوقت والجهد في اختبار تصاميم جديدة للســيارات والطائرات داخل أنفاق هوائية للتحقق من قدرتها على العمــل بكفاءة عظمى في أثناء حركتها خلال الهواء. ويُمثَّل تدفق الموائع حول الأجســام بخطوط الانســياب الموضحة في **الشــكل 17–1**. وتحتاج الأجسام إلى طاقة أقل لتتحرك عبر تدفق منتظم من خطوط الانسياب.

يمكن توضيح خطوط الانســياب بصورة أفضل من خلال التمثيل البســيط الآتي: تخيل أنك تضيف بعناية قطرات صغيرة من صبغة الطعام داخل مائع ينســاب بشــكل منتظم، فإذا بقيت الخطوط الملونة التي تشــكلت دقيقة ومحددة قيل عندئذ؛ إن التدفق انســيابيٌّ. لاحظ أنه إذا ضاق مجرى التدفق فإن خطوط الانسياب تتحرك مقتربة بعضها من بعض. وتشــير خطوط الانسياب التي تفصلها مسافات قليلة إلى سرعة انسياب كبيرة؛ لذا يكون الضغــط منخفضًا. من جهة أخرى إذا تحركت خطوط الانســياب حركة ملتفة كالدوّامة بحيث أصبحت منتشرة، فعندئذ يقال: إن المائع مضطرب. ولا يطبق مبدأ برنولي في حالة التدفق المضطرب للموائع.

■ **الشكل 17–1** تدفق خطوط للهواء فوق سيارة جرى اختبارها في نفق رياح.

32. **الطفو والغطس** هل تطفو علبة شراب الصودا في الماء أم تغوص فيه؟ جرّب ذلك. وهل يتأثر ذلك بكون الشراب خاليًا من السكر أم لا؟ تحتوي بعض علب شراب الصودا على الحجم نفسه من السائل 354 ml، وتزيح الحجم نفسه من الماء، فما الفرق بين العلبة التي تغوص والأخرى التي تطفو؟

يذوب $\frac{1}{4}$ كأس من السكر تقريبًا في كأس من شراب الصودا العادي، مما يجعله أكثر كثافة من الماء.

أما شراب الصودا الخالي من السكر فيحتوي على كمية قليلة من المحليات الصناعية؛ لذا يكون شراب الصودا الخالي من السكر أقل كثافة من شراب الصودا العادي (المحلى).

33. **الطفو والكثافة** تزوَّد صنارة الصيد بقطعة فلين تطفو بحيث يكون عشر حجمها تحت سطح الماء. ما كثافة الفلين؟

وزن الماء المزاح يساوي وزن قطعة الفلين.

$$F_g = \rho_{\text{الماء}} V_{\text{الماء}} g = \rho_{\text{الفلين}} V_{\text{الفلين}} g$$

لذا فإن

$$\frac{\rho_{\text{الفلين}}}{\rho_{\text{الماء}}} = \frac{V_{\text{الماء}}}{V_{\text{الفلين}}} = \frac{1}{10}$$

كثافة الفلين عُشر كثافة الماء تقريبًا.

34. الطفو في الهواء يرتفع منطاد الهيليوم؛ لأن قوة طفو الهواء تحمله، فإذا كانت كثافة غاز الهيليوم $0.18\ kg/m^3$ وكثافة الهواء $1.3\ kg/m^3$، فما حجم منطاد الهيليوم اللازم لرفع قالب من الرصاص وزنه 10 N؟

القوة الظاهرية؛ $F_{الظاهرية}$ يجب أن تساوي $-10\ N$ حتى تعاكس وزن قالب الرصاص

$$F_{الظاهري} = F_g - F_{الطفو}$$

$$= \rho_{الهيليوم} V_{المنطاد} g - \rho_{الهواء} V_{المنطاد} g$$

$$= (\rho_{الهيليوم} - \rho_{الهواء}) V_{المنطاد} g$$

لذا فإن:

$$V_{المنطاد} = \frac{F_{الظاهري}}{(\rho_{الهيليوم} - \rho_{الهواء})g}$$

$$= \frac{-10\ N}{(0.18\ kg/m^3 - 1.3\ kg/m^3)(9.80\ m/s^2)}$$

$$= 0.9\ m^3$$

35. انتقال الضغط صُمّمت لعبة قاذفة للصواريخ بحيث يدوس الطفل على أسطوانة من المطاط، مما يزيد من ضغط الهواء في أنبوب القاذف فيدفع صاروخًا خفيفًا من الرغاوي الصناعية في السماء، فإذا داس الطفل بقوة 150 N على مكبس مساحته $2.5\times10^{-3}\ m^2$، فما القوة المنتقلة إلى أنبوب القذف الذي مساحة مقطعه $4.0\times10^{-4}\ m^2$؟

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

$$= \frac{(150\ N)(4.0\times10^{-4}\ m^2)}{2.5\times10^{-3}\ m^2}$$

$$= 24\ N$$

36. الضغط والقوة رُفعت سيارة تزن $2.3\times10^4\ N$ عن طريق أسطوانة هيدروليكية مساحتها $0.15\ m^2$.

a. ما مقدار الضغط في الأسطوانة الهيدروليكية؟

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

$$= \frac{2.3\times10^4\ N}{0.15\ m^2}$$

$$= 1.5\times10^5\ Pa$$

b. ينتج الضغط في أسطوانة الرفع عن طريق التأثير بقوة في أسطوانة مساحتها $0.0082\ m^2$، ما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في هذه الأسطوانة الصغيرة لرفع السيارة؟

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

$$= \frac{(2.3\times10^4)(0.0082\ m^2)}{0.15\ m^2}$$

$$= 1.3\times10^3\ N$$

37. الإزاحة أيّ مما يلي يزيح ماءً أكثر عندما يوضع في حوض مائي؟

a. قالب ألومنيوم كتلته $1.0\ kg$، أم قالب رصاص كتلته $1.0\ kg$؟

سيغطس كل من قالب الألومنيوم وقالب الرصاص إلى قاع الحوض المائي. ولما كانت كثافة الألومنيوم أقل من كثافة الرصاص فإن قالب الألومنيوم الذي كتلته 1kg له حجم أكبر من حجم قالب الرصاص الذي كتلته 1kg. وعليه سيزيح قالب الألومنيوم كمية أكبر من الماء.

b. قالب ألومنيوم حجمه $10\ cm^3$، أم قالب رصاص حجمه $10\ cm^3$؟

سيغطس كلا القالبين، وسيزيح كل منهما الحجم نفسه من الماء، $10\ cm^3$.

38. التفكير الناقد اكتشفت في المسألة التدريبية رقم 4، أنه عندما يمر إعصار فوق منزل فإنّ المنزل ينهار أحيانًا من الداخل إلى الخارج. فكيف يفسر مبدأ برنولي هذه الظاهرة؟ وماذا يمكن أن نفعل لتقليل خطر اندفاع الباب أو الشباك إلى الخارج وتحطمه؟

يكون ضغط هواء الإعصار السريع أقل من ضغط الهواء الساكن نسبيًّا داخل المنزل؛ مما يولّد قوة هائلة على النوافذ والأبواب وجدران المنزل. ويمكن تقليل هذا الفرق في الضغط عن طريق فتح الأبواب والنوافذ؛ وذلك للسماح للهواء بالتدفُّق بحرية خارج المنزل.

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

4–1 الموادّ الصلبة Solids

الأهداف

- **تربط** خصائص المواد الصلبة بتراكيبها.
- **تفسر** لماذا تتمدّد المواد الصلبة وتتقلص عندما تتغير درجة الحرارة.
- **تحسب** تمدّد المواد الصلبة.
- **توضح** أهمية تمدّد المواد بالحرارة.

المفردات

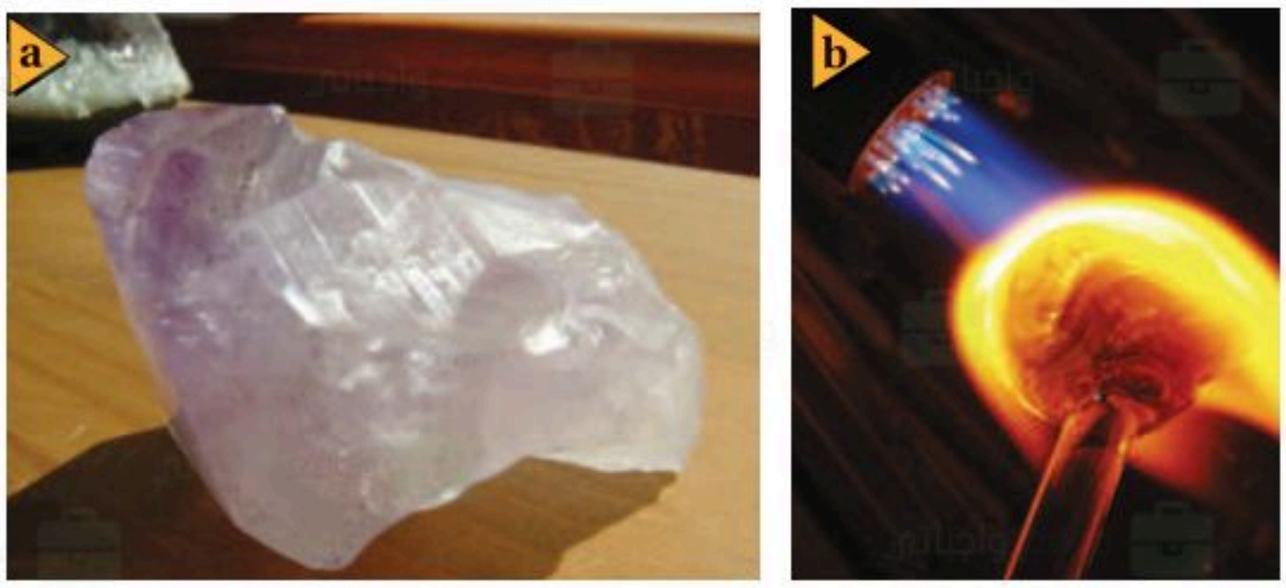
الشبكة البلورية
المواد الصلبة غير البلورية
معامل التمدّد الطولي
معامل التمدّد الحجمي

كيف تختلف الموادّ الصلبة عن السائلة؟ المواد الصلبة قاسية، ويمكن أن تُقطّع عدة قطع، وتحتفظ بشكلها، كما يمكنك دفع المادة الصلبة. أمّا السوائل فتتدفق، وإذا دفعت سائلاً، كالماء مثلاً، بإصبعك، فإن إصبعك يتحرك خلاله، فخصائص المواد الصلبة تختلف عن خصائص المواد السائلة، لكنك إذا شاهدت قطعة من الزبد تُسخّن، وتفقد شكلها، فقد تتساءل عما إذا كان الحد الفاصل بين حالتي الصلابة والسيولة واضحًا ومحددًا دائمًا.

الأجسام الصلبة Solid Bodies

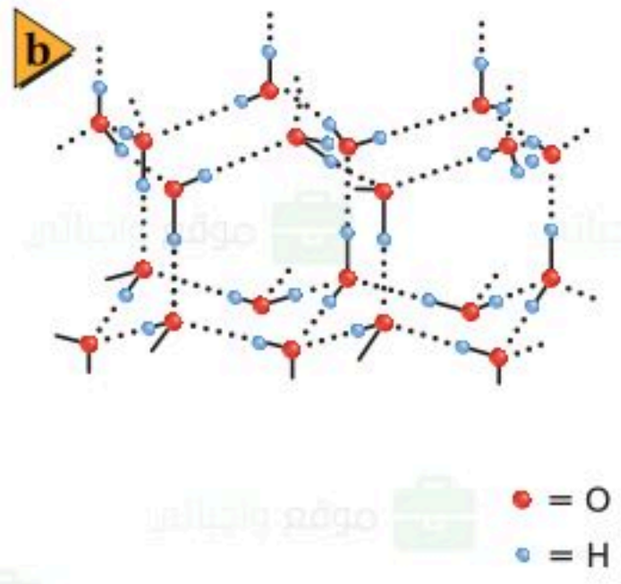
يصعب التفريق بين المواد الصلبة والسائلة تحت ظروف معينة ، فمثلاً في أثناء تسخين عبوة زجاجية لصهرها، يتم التغير من حالة الصلابة إلى حالة السيولة بشكل تدريجي، بحيث يصعب معرفة الحالة في لحظة ما. وبعض الموادّ الصلبة (ومنها الكوارتز البلوري) يتكون من جزيئات مصطفة بأنماط مرتبة ومنظمة، وبعض المواد الصلبة الأخرى (ومنها الزجاج) مكونة من جزيئات ليس لها ترتيب منتظم، وحالها في ذلك مشابه للسوائل. وكما ترى في **الشكل 18–1**، فالكوارتز والكوارتز غير البلوري (ويسمى أيضًا الكوارتز الزجاجي) متماثلان كيميائيًّا، ولكن خصائصهما الفيزيائية مختلفة تمامًا.

فعندما تنخفض درجة حرارة السائل ينخفض متوسط الطاقة الحركية لجزيئاته، وعندما تبدأ الجزيئات في التباطؤ تؤثر قوة التماسك بصورة أكبر. وتصبح جزيئات بعض المواد الصلبة متجمدة على نمط ثابت يُسمى **الشبكة البلّورية**، الموضحة في **الشكل 19–1**. وعلى الرغم من أن قوة التماسك تحجز الجزيئات في مكانها إلا أن الجزيئات في المواد الصلبة البلورية لا تتوقف عن الحركة تمامًا، بل تتذبذب حول أماكن ثابتة. وهناك مواد أخرى – منها الزبدة والزجاج – لا تشكّل جزيئاتها نمطًا بلوريًّا ثابتًا ومحددًا. وهذه المواد التي ليس لها تركيب بلوري منتظم ولكن لها حجم وشكل محددان تُسمى **المواد الصلبة غير البلورية**، كما تصنّف أيضًا على أنها سوائل لزجة أو بطيئة التدفق.



■ **الشكل 18–1** تترتب الجزيئات في الشبكة البلورية في نمط منظم (**a**). تنصهر المواد الصلبة البلورية عند درجة حرارة معينة. الكوارتز غير البلوري متماثل كيميائيًا مع الكوارتز البلوري، ولكن جزيئاته عشوائية الترتيب. وعندما ينصهر الكوارتز غير البلوري تتغير خصائصه ببطء على مدى معين من درجات الحرارة، مما يسمح بتشكيله بطريقة مشابهة للزجاج المعروف (**b**).

موقع واجباتي



الشكل 19 – 1 الجليد هو الشكل الصلب للماء، وله حجم أكبر من الشكل السائل للكتلة نفسها من الماء (**a**)، التركيب البلوري للجليد على شكل شبكة بلورية (**b**).

الضغط والتجمد عندما يتحول سائل إلى مادة صلبة فإن جزيئاته عادة تُعيد ترتيب نفسها لتصبح قريبة من بعضها البعض أكثر ممّا كانت عليه في الحالة السائلة، مما تجعل المواد الصلبة أكثر كثافة من السوائل. وكما تعلمت سابقًا، فإن للماء حالة خاصة في تمدّده؛ حيث تكون كثافته أكبر ما يمكن عند $4C^{\circ}$، مما يجعله يتمدد عند تجمده، فإن الزيادة في الضغط تجبر الجزيئات على الاقتراب من بعضها البعض لتقاوم التجمد؛ لذا فإنه عند التعرض لضغط أكبر تنخفض درجة تجمد الماء على نحو طفيف.

كانت هناك فرضية مقترحة لتفسير تكوُّن طبقة رقيقة من الماء السائل بين الزلاجات والجليد. تزعم الفرضية أن الضغط الناجم عن الزلاجات فوق سطح الجليد يخفض درجة التجمد، مما يؤدي إلى صهر بعض الجليد. لكن الحسابات الفعلية لمقدار الضغط الناتج عن الزلاجات (حتى الرفيعة منها) لا يكفي لصهر الجليد بسبب درجة حرارته المنخفضة جدًّا، وقد بينت القياسات الحديثة أن الاحتكاك بين الشفرات والجليد يولد طاقة حرارية كافية لصهر الجليد وتشكيل طبقة رقيقة من الماء. وقد عُزّز هذا التفسير عن طريق بعض القياسات التي بينت أن درجة حرارة رذاذ الجليد المتطاير أعلى بشكل ملحوظ من درجة حرارة الجليد نفسه، وعملية انصهار الجليد بالطريقة نفسها هي التي تحدث خلال التزلج على الثلج.

مرونة المواد الصلبة من الممكن أن تؤدي القوى الخارجية المؤثرة في الأجسام الصلبة إلى انحناء هذه الأجسام. وتسمى قدرة الأجسام الصلبة على العودة إلى شكلها الأصلي عندما يزول تأثير القوى الخارجية بمرونة المواد الصلبة. أمّا إذا حدث تشوه كبير جدًّا فإن الجسم لا يعود إلى شكله الأصلي؛ لأنه قد تجاوز حد مرونته. وتعتمد المرونة على القوى الكهرومغناطيسية التي تحافظ على بقاء جزيئات المادة معًا.

إن قابلية الطرق وقابلية السحب خاصيتان تعتمدان على تركيب المادة ومرونتها؛ فالذهب يمكن تشكيله على صورة رقائق دقيقة جدًّا، ولذلك يُقال: إنه قابل للطرق. والنحاس يمكن سحبه على شكل سلك، ولذلك يقال: إنه قابل للسحب.

مُنح البروفيسور كارل وايمان جائزة الملك فيصل لعام 1417هـ/ 1997م لنجاحه، مع زميله الدكتور إريك كورنل، في اكتشاف أنَّ للمادة حالة جديدة لم تسبق مشاهدتُها هي حالة التكاثف التي تحدث إذا انخفضت درجة حرارتها تحت مستوى معين.

المصدر: موقع جائزة الملك فيصل/ فرع العلوم

التمـدد الحراري للمواد الصلبة Thermal Expansion of Solids

من الإجراءات المعتادة عند تصميم الجسور الخرسانية والفولاذية على الطرق السريعة، أن يترك المهندسون فجوات صغيرة (فواصل)، تسمى وصلات التمدد، بين أجزاء الجسور، وذلك للسماح بتمدد أجزاء الجسر في أيام الصيف الحارة. تتمدد الأجسام بمقدار يسير فقط عندما تتعرض للتسخين، ولكن هذا المقدار اليسير قد يكون عدة سنتمترات في حالة جسر طوله 100 m، وإذا أُغفلت فجوات التمدد هذه في التصميم فقد يتقوس الجسر أو تتحطم أجزاؤه. وقد تحطم درجات الحرارة العالية كذلك مسارات السكك الحديدية التي تُغفل فيها وصلات التمدد، انظر **الشكل 20–1**. وتصمم بعض المواد –ومنها زجاج الأفران التي تستخدم في الطبخ في التجارب المختبرية لتتمدّد بأقل ما يمكن. وتصنع مرايا التلسكوبات الكبيرة من مادة السيراميك، والتي تصمّم لتعمل دون تمدد حراري يذكر.

الشكل 20–1 لقد تسببت درجات الحرارة العالية أيام الصيف الحارة في تقوس مسارات سكة الحديد.

ولكي تفهم تمدد الموادّ الصلبة المسخنة، تصور المواد الصلبة مجموعة من الجزيئات المتصلة معًا من خلال نوابض، حيث تمثل النوابض قوى التجاذب بين الجزيئات؛ فعندما تصبح الجزيئات قريبة جدًّا بعضها من بعض فإن النابض يدفعها بعيدًا. وعندما تسخّن المادة الصلبة تزداد الطاقة الحركية لجزيئاتها وتبدأ في الاهتزاز السريع، وتتحرك مبتعدة بعضها عن بعض، مما يُضعف قوى التجاذب بين الجزيئات فتهتز باضطراب أكثر من السابق؛ بسبب زيادة درجة الحرارة، ويزداد متوسط التباعد بين الجزيئات، فتتمدد المادة الصلبة.

يتناسب التغير في طول المادة الصلبة طرديًّا مع التغير في درجة حرارتها، كما هو موضّح في **الشكل 21–1**. فإذا ازدادت درجة حرارة جسم صلب بمقدار $20\ ^\circ C$ فإن تمدده يساوي ضعف تمدده عندما تكون الزيادة في درجات حرارته بمقدار $10\ ^\circ C$. ويتناسب التمدّد أيضًا طرديًّا مع طول الجسم؛ لذا يتمدّد قضيب طوله 2 m ضعف تمدد قضيب طوله 1 m عند التغير نفسه في درجة الحرارة. ويمكن إيجاد الطول الجديد L_2 للمادة الصلبة عند درجة حرارة T_2 باستخدام المعادلة الآتية، حيث L_1 الطول عند درجة الحرارة T_1 ؛ أمّا ألفا α، فتمثل **معامل التمدد الطولي للمادة**.

$$L_2 = L_1 + \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

موقع واجباتي

موقع واجباتي

باستخدام مبادئ الجبر البسيطة، يمكنك حل المعادلة بالنسبة للمعامل α.

$$L_2 - L_1 = \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T$$

معامل التمدد الطولي

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T}$$

معامل التمدد الطولي يساوي التغير في الطول مقسومًا على الطول الأصلي والتغير في درجة الحرارة.

ووحدة معامل التمدد الطولي هي ($^{\circ}C^{-1}$ أو $\frac{1}{^{\circ}C}$). ولأن الموادّ الصلبة تتمدد في ثلاثة أبعاد فإن **معامل التمدد الحجمي** β، يعادل ثلاثة أضعاف معامل التمدّد الطولي.

معامل التمدّد الحجمي

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T}$$

معامل التمدّد الحجمي يساوي التغير في الحجم مقسومًا على الحجم الأصلي والتغير في درجة الحرارة.

إن وحدة المعامل β هي ($\frac{1}{^{\circ}C}$ أو $^{\circ}C^{-1}$). ويبين **الجدول 2–1** معاملي التمدد الحراري لمجموعة من المواد المختلفة.

الشكل 21–1 يتناسب التغير في طول المادة طرديًا مع الطول الأصلي والتغير في درجة الحرارة.

الجدول 2–1

		معامل التمدد الحراري عند 20 °C	
	المادة	معامل التمدد الطولي $(^{\circ}C^{-1})\ \alpha$	معامل التمدد الحجمي $(^{\circ}C^{-1})\ \beta$
المواد الصلبة	الألومنيوم	25×10^{-6}	75×10^{-6}
	الزجاج (الناعم)	9×10^{-6}	27×10^{-6}
	الزجاج (واقي الفرن)	3×10^{-6}	9×10^{-6}
	الأسمنت	12×10^{-6}	36×10^{-6}
	النحاس	16×10^{-6}	48×10^{-6}
السوائل	الميثانول		1200×10^{-6}
	البنزين		950×10^{-6}
	الماء		210×10^{-6}

موقع واجباتي

مثـــــال 4

التمدّد الطولي قضيب معدني طوله 1.60 m عند 21 °C، فإذا وضع هذا القضيب في فرن وسُخّن إلى درجة حرارة 84 °C، وقيس طوله فوجد أنه ازداد بمقدار 1.7 mm، فما معامل التمدد الطولي للمادة المصنوع منها القضيب؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- وضح بالرسم القضيب الذي ازداد طوله بمقدار 1.7 mm عند درجة حرارة 84 °C وأصبح طوله أكبر مما كان عليه عند درجة حرارة 21 °C.
- حدد الطول المبدئي للقضيب L_1، والتغير في الطول ΔL.

المعلوم	المجهول
$L_1 = 1.60\ m$	$\alpha = ?$
$\Delta L = 1.7 \times 10^{-3}\ m$	
$T_1 = 21\ ^\circ C$	
$T_2 = 84\ ^\circ C$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب معامل التمدّد الطولي مستخدمًا الطول المعلوم، والتغير في كل من الطول ودرجة الحرارة.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T}$$

عوّض مستخدمًا $\Delta T = (T_2 - T_1) = 84\ ^\circ C - 21\ ^\circ C$، $L_1 = 1.60\ m$، $\Delta L = 1.7 \times 10^{-3}\ m$

$$\alpha = \frac{1.7 \times 10^{-3}\ m}{(1.60\ m)\ (84\ ^\circ C - 21\ ^\circ C)}$$

$$= 1.7 \times 10^{-5}\ ^\circ C^{-1}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تم التعبير عن الوحدات بطريقة صحيحة بوحدة $^\circ C^{-1}$.
- **هل الجواب منطقي؟** إن مقدار المعامل قريب من القيمة المقبولة للنحاس.

موقع واجباتي

39. قطعة من الألومنيوم طولها 3.66 m عند درجة حرارة 28 °C−. كم يزداد طول القطعة عندما تصبح درجة حرارتها 39 °C؟

$$L_2 = L_1 + \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

لذا فإن:

$$\Delta L = \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

$$= (25\times10^{-6}\ °C^{-1})(3.66\ m)(39°C - (-28°C))$$

$$= 6.1\times10^{-3}\ m = 6.1\ mm$$

40. قطعة من الفولاذ طولها 11.5 cm عند 22 °C، فإذا سُـــخّنت حتى أصبحت درجة حرارتها 1221 °C، وهي قريبة من درجة حرارة انصهارها، فكم يبلغ طولها بعد التسخين؟(معامل التمدد الطولي للفولاذ $12 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$)

$$L_2 = L_1 + \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

$$= (0.115\ m) + (12\times10^{-6}\ °C^{-1})(0.115\ m)(1221°C - 22°C)$$

$$= 1.2\times10^{-1}\ m = 12\ cm$$

41. مُلئ وعاء زجاجي سعته 400 ml عند درجة حرارة الغرفة بماء بارد درجة حرارته 4.4 °C. ما مقدار الماء المسكوب من الوعاء عندما يسخن الماء إلى 30.0 °C ؟

في البداية كان الوعاء الزجاجي يحوي ماءً حجمه 400 ml ودرجة حرارته 4.4°C. أوجد التغير في الحجم عند 30.0°C.

$$\Delta V = \beta V \Delta T$$

$$= (210\times10^{-6}\ °C^{-1})(400\times10^{-6}\ m^3)(30.0°C - 4.4°C)$$

$$= 2\times10^{-6}\ m^3 = 2\ ml$$

موقع واجباتي

42. مُلئ خزان شاحنة لنقل البنزين سعته 45,725 L بالبنزين لينقله من مدينة الدمام نهارًا حيث كانت درجة الحرارة 38.0 °C، إلى مدينة تبوك ليلاً حيث درجة الحرارة 2.0 °C –.

a. كم لترًا من البنزين سيكون في خزان الشاحنة في تبوك؟

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T} = \frac{V_2 - V_1}{V_1 \Delta T}$$

$$V_2 = \beta V_1 \Delta T + V_1$$

$$= (950 \times 10^{-6}\ °C^{-1})(45725\ L)(-2.0°C - 38.0°C) + 45725\ L$$

$$= 4.4 \times 10^4\ L$$

b. ماذا حدث للبنزين؟

يتناقص حجم البنزين؛ لأن درجة الحرارة انخفضت، في حين تبقى كتلة البنزين كما هي.

43. حُفر ثقب قطره 0.85 cm في صفيحة من الفولاذ عند 30.0 °C فكان الثقب يتسع بالضبط لقضيب من الألومنيوم له القطر نفسه. ما مقدار الفراغ بين الصفيحة والقضيب عندما يبردان لدرجة حرارة 0.0 °C؟

يتقلص الألومنيوم بدرجة أكبر من الفولاذ. افترض أن L تمثل قطر القضيب.

$$\Delta L_{\text{الألومنيوم}} = \alpha L \Delta T$$

$$= (25 \times 10^{-6}\ °C^{-1})(0.85\ cm)(0.0°C - 30.0°C)$$

$$= -6.38 \times 10^{-4}\ cm$$

بالنسبة إلى الفولاذ: يتقلص قطر الثقب في صفيحة الفولاذ وفق المعادلة التالية

$$\Delta L_{\text{الفولاذ}} = \alpha L \Delta T$$

$$= (12 \times 10^{-6}\ °C^{-1})(0.85\ cm)(0.0°C - 30.0°C)$$

$$= -3.06 \times 10^{-4}\ cm$$

مقدار الفراغ بين القضيب والصفيحة يساوي:

$$\frac{1}{2}(6.4 \times 10^{-4}\ cm - 3.1 \times 10^{-4}\ cm) = 1.6 \times 10^{-4}\ cm$$

44. دُرِّجت مسطرة من الفولاذ بوحدة الملمترات، بحيث تكون دقيقة بصورة مطلقة عند $30.0\ ^\circ C$. فما النسبة المئوية التي تمثل عدم دقة المسطرة عند $-30.0\ ^\circ C$ ؟

ستقل المسافات الفاصلة بين تدريجات الملمترات على المسطرة الفولاذية؛ بسبب أن الفولاذ يتقلّص عند التبريد.

$$\%\text{عدم الدقة} = (100)\left(\frac{\Delta L}{L}\right)$$

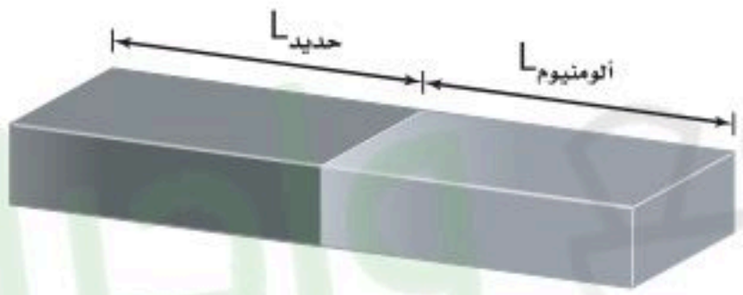
$$= (100)\alpha(T_f - T_i)$$

$$= (100)(12\times10^{-6}\ ^\circ C^{-1})(-30.0^\circ C - 30.0\ ^\circ C)$$

$$= -0.072\%$$

مسألة تحفيز

تحتاج إلى صنع قضيب طوله $1.00\ m$ يتمدّد بازدياد الحرارة بالطريقة نفسها التي يتمدد بها قضيب من النحاس طوله $1.00\ m$. يشترط في القضيب المطلوب أن يكون مصنوعًا من جزأين، أحدهما من الفولاذ والآخر من الألومنيوم موصولين معًا، كما يبين الشكل. فكم يجب أن يكون طول كل منهما؟



$$L_{\text{نحاس}} = L_{\text{ألومنيوم}} + L_{\text{فولاذ}}$$

$$\alpha_{\text{نحاس}}\ L_{\text{نحاس}}\ \Delta T = (\alpha_{\text{ألومنيوم}}\ L_{\text{لومنيوم}} + \alpha_{\text{فولاذ}}\ L_{\text{فولاذ}})\ \Delta T$$

عوض مستخدمًا

$$L_{\text{ألومنيوم}} = L_{\text{نحاس}} - L_{\text{فولاذ}}$$

فينتج

$$L_{\text{فولاذ}} = \frac{(\alpha_{\text{نحاس}} - \alpha_{\text{ألومنيوم}})L_{\text{نحاس}}}{\alpha_{\text{فولاذ}} - \alpha_{\text{ألومنيوم}}}$$

$$= \frac{(16\times10^{-6}\ ^\circ C^{-1} - 25\times10^{-6}\ ^\circ C^{-1})(1.00\ m)}{12\times10^{-6}\ ^\circ C^{-1} - 25\times10^{-6}\ ^\circ C^{-1}}$$

$$= 0.69\ m$$

$$L_{\text{ألومنيوم}} = L_{\text{نحاس}} - L_{\text{فولاذ}}$$

$$= 1.00\ m - 0.69\ m = 0.31\ m$$

المزدوج الحراري

■ **الشكل 22–1** في منظم الحرارة (الثيرموستات) المبين هنا، يتحكم شريط حلزوني الشكل مصنوع من فلزين (مزدوج حراري) في تدفق الزئبق لفتح الدوائر الكهربائية وإغلاقها.

تطبيقات التمدّد الحراري تتمدّد المواد المختلفة بمعدلات مختلفة، كما أشير إليها بمعاملات التمدّد المختلفة الموضحة في **الجدول 2–1**. وعلى المهندسين الأخذ بعين الاعتبار معدلات التمدّد المختلفة هذه عند تصميم المباني. فمثلاً تستخدم القضبان الفولاذية غالبًا لتقوية الأسمنت؛ لذا يجب أن يكون للفولاذ والأسمنت معامل التمدد نفسه، وإذا لم يكن كذلك فإن المبنى سيتصدع في الأيام الحارّة. وبطريقة مماثلة، يكون على طبيب الأسنان استخدام الموادّ التي يحشو بها الأسنان بحيث تتمدد وتتقلص بالمعدل نفسه لتمدد مينا الأسنان.

إنّ المعدلات المتباينة للتمدد لها تطبيقات مهمة؛ فمثلاً يستفيد المهندسون من هذه الاختلافات في صنع أداة مفيدة تُسمى المزدوج الحراري، وهي عبارة عن شريحة ثنائية الفلز تستخدم في منظمات الحرارة (أجهزة الثرموستات).

يتكون المزدوج الحراري من شريحتين من فلزين مختلفين، ملحومتين أو مثبتتين إحداهما إلى جوار الأخرى، وتكون إحداهما عادة من النحاس الأصفر، والأخرى من الحديد، وعند تسخينهما يتمدد النحاس الأصفر أكثر من الحديد. وعندما يُسخّن الشريط الثنائي الفلز (النحاس الأصفر والحديد)، يصبح جزء النحاس أطول من جزء الحديد، ونتيجة لذلك ينحني الشريط الثنائي الفلز بحيث يكون النحاس على السطح الخارجي للمنحنى، وعندما يبرد ينحني في الاتجاه العكسي، حيث يكون النحاس في الجزء الداخلي للمنحنى.

يُركَّب الشريط الثنائي الفلز في منظم الحرارة (الثرموستات) في أجهزة التدفئة المنزلية، كما في **الشكل 22–1**، بحيث ينحني في اتجاه نقطة التوصيل الكهربائي عندما تبرد الغرفة؛ فعندما تنخفض درجة حرارة الغرفة أقل من درجة الحرارة المحددة في جهاز الثرموستات ينحني الشريط الثنائي الفلز بمقدار يكون كافيًا لإحداث توصيل كهربائي مع المفتاح حيث يُشغِّل المُسخِّن، وحينما تصل درجة حرارة الغرفة إلى درجة الحرارة المحددة في جهاز الثرموستات تفتح الدائرة الكهربائية، ويتوقف المسخِّن عن العمل. أما في أجهزة التبريد فيصمم الشريط الثنائي الفلز بحيث ينحني لإحداث توصيل كهربائي يشغل المبرد إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى حد معين في جهاز الثيرموستات، وعندما تنخفض الحرارة عن حد معين ينحني في الاتجاه المعاكس، فيوقف عمل المبرد.

موقع واجباتي

45. **التقلص الحراري النسبي** إذا ركَّبت بابًا من الألومنيوم في يوم حار على إطار باب من الأسمنت، وأردت أن يكون الباب محكم الإغلاق تمامًا في أيام الشتاء الباردة، فهل ينبغـــي أن تجعل الباب محكمًا في الإطار أم تترك فراغًا إضافيًّا؟

أحكم إغلاق الباب؛ لأن الألومنيوم عند التبريد يتقلص أكثر من تقلص الأسمنت.

46. **حالات المادة** لماذا يعد الشمع مادة صلبة؟ ولماذا يُعد أيضًا سائلاً لزجًا؟

يمكن أن يُعد الشمع مادة صلبة لأن حجمه وشكله محددان.
ويمكن اعتباره مائعًا لزجًا لأن جسيماته لا تشكل نمطا بلوريا ثابتا.

47. **التمدد الحراري** هل يمكنك تسخين قطعة من النحاس بحيث يتضاعف طولها؟

معامل التمدد الطولي للنحاس يساوي $16\times10^{-6}/°C$.

وعند مضاعفة طول قطعة النحاس تكون:

$\Delta L = L = \alpha L \Delta T$، أيْ أن:

$$\alpha \Delta T = 1$$

$$\Delta T = \frac{1}{\alpha}$$

$$= \frac{1}{16\times10^{-6}\ °C^{-1}}$$

$$= 63000°C$$

لمضاعفة طول قطعة النحاس يجب أن تزداد درجة حرارتها بمقدار $6.3\times10^{4}\ °C$
وعند تلك الدرجة يتبخر النحاس.

48. **حالات المادة** هل يزودنا الجدول 2–1 بطريقة للتمييز بين الموادّ الصلبة والسوائل؟

معاملات التمدد الحجمي للسوائل أكبر كثيرًا من معاملات التمدد الحجمي للمواد الصلبة.

49. **المواد الصلبة والسوائل** يمكن تعريف المادة الصلبة على أنها تلك المـــادة التي يمكن ثنيها على الرغم من أنها تقاوم الانحناء. فسر كيف ترتبط هذه الخصائص مع ترابط الذرات في المـــواد الصلبة لكنها لا تنطبق على السوائل؟

تكون جسيمات المادة الصلبة متقاربة ولذلك تكون أكثر ارتباطًا، كما تهتزّ تلك الجسيمات حول موضع ثابت، مما يسمح للمادة الصلبة بالانثناء على الرغم من أنها تقاوم الانحناء.
وتكون جسيمات المادة السائلة متباعدة وأقل ارتباطًا. ولما كانت الجسيمات حرة التدفق بعضها فوق بعض فإن السوائل لا تنثني.

50. **التفكيـــر الناقـــد** قُطع من الحلقة الحديدية الصلبة في الشكل 23–1 قطعة صغيرة. فإذا سُخِّنت الحلقة التي في الشكل، فهل تصبح الفجوة أكبر أم أصغر؟ وضح إجابتك.

الشكل 23–1

ستصبح الفجوة أكثر اتساعًا. وستزيد أبعاد الحلقة جميعها عند تسخينها.

مختبر الفيزياء

التبريد بالتبخر

هل سبق أن سكبت كمية صغيرة من الكحول على جلدك؟ من المحتمل أنك قد شعرت بالبرودة. وقد تعلمت سابقًا أن هذه البرودة تكون نتيجة التبخر. ستختبر في هذه التجربة المعدلات التي تتبخر بها أنواع مختلفة من الكحول. إن الكحول مادة مكونة من مجموعة الهيدروكسيل الوظيفية (OH–) مرتبطة مع الكربون أو مع سلسلة كربونية. وستستنتج من خلال ملاحظاتك عن التبريد بالتبخر الشدة النسبية لقوى التماسك في الكحول الخاضع للاختبار.

سؤال التجربة

ما الفرق بين معدلات تبخر أنواع مختلفة من الكحول؟ وما أوجه الشبه بينها؟

الأهداف

- **تجمع** البيانات حول تبخر أنواع مختلفة من الكحول وتنظمها.
- **تقارن** بين معدلات تبخر أنواع مختلفة من الكحول.
- **تحلّل** سبب تبخر بعض أنواع الكحول بمعدل أكبر مقارنة بالأنواع الأخرى.
- **تستنتج** العلاقة بين قوى التماسك ومعدلات التبخر.

احتياطات السلامة

- **الموادّ الكيميائية المستخدمة في هذه التجربة قابلة للاشتعال وسامّة، فلا تستنشق الأبخرة المتصاعدة من هذه الكيماويات، ولا تترك مصدرًا مشتعلاً بالقرب من هذه المواد، واستخدم هذه المواد في غرفة جيدة التهوية أو تحتوي على جهاز طرد الغازات.**
- **احذر ملامسة هذه المواد لجلدك أو ملابسك، وأخبر معلمك فورًا إذا وقع حادث أو انسكبت إحدى هذه الموادّ.**
- **اغسل يديك جيدًا بعد إنهاء التجربة.**

المواد والأدوات

ميثانول (كحول الميثيل)
إيثانول (كحول إيثيلي)
2–بروبانول (كحول إيزوبروبيلي)
شريط لاصق (قطعتان)
مقياس حرارة (غير زئبقي)
ورق ترشيح (ثلاث قطع $2.5\ cm \times 2.5\ cm$)
رباطات مطاطية صغيرة

الخطوات

1. غلّف مقياس الحرارة بقطعة مربعة من ورق الترشيح، وثبتها جيدًا برباط مطاطي صغير. ولتنفيذ ذلك ضع الرباط المطاطي أولاً على مقياس الحرارة، ثم لف الورقة حول مقياس الحرارة، ولف الرباط المطاطي حول الورقة، واحرص على أن تكون الورقة ملفوفة بإحكام حول نهاية مقياس الحرارة.
2. أحضر إناءً صغيرًا فيه ميثانول، وضع نهاية مقياس الحرارة المغطاة بالورقة فيه. ولا تدع الإناء ينقص، واترك مقياس الحرارة في الإناء دقيقة واحدة.
3. سجّل بعد دقيقة واحدة درجة الحرارة التي يقرؤها مقياس الحرارة في جدول البيانات في العمود T_1. حيث تمثل هذه القراءة درجة الحرارة الابتدائية للميثانول.

السائل	T_2(°C)	T_1(°C)	$\triangle T$ (°C)
كحول الميثيل	24.0	12.0	12.0
كحول الإيثيل	24.1	16.3	7.8
كحول الأيزوبروبيل	24.2	18.5	5.7

4. أزل مقياس الحرارة من الميثانول وضعه على حافة الطاولة بحيث يمتد طرف مقياس الحرارة 5 cm تقريبًا خلف الحافة. واستخدم الشريط اللاصق لتثبيت مقياس الحرارة في مكانه.
5. راقب درجة الحرارة خلال التجربة، وبعد مضي أربع دقائق راقب، ثم سجل درجة الحرارة في البيانات في العمود T_2.
6. أزل الرباط المطاطي من مقياس الحرارة، وتخلص من ورقة الترشيح حسب تعليمات المعلم.
7. كرر الخطوات من 1 إلى 6، متخذًا الإيثانول سائلاً في هذه الحالة، وسجّل النتائج في جدول البيانات.
8. كرر الخطوات من 1 إلى 6، متخذًا كحول الأيزوبروبيل سائلاً في هذه الحالة، وسجّل النتائج في جدول البيانات.

التحليل

1. **فسر النتائج** هل أظهر مقياس الحرارة في أثناء محاولاتك ارتفاعًا في درجة الحرارة أم انخفاضًا؟ ولماذا؟

تنخفض درجة الحرارة. فالتبخر يعد عملية تبريد.

2. احسب ΔT لكل من السوائل، وذلك بإيجاد الفرق بين درجة الحرارة النهائية ودرجة الحرارة الابتدائية للسوائل $(T_2 - T_1)$.

عينة إجابات: ميثانول 12.0°C، إيثانول 7.8 °C، كحول أيزوبروبيل 5.7 °C

3. استخدم الصيغ الكيميائية للميثانول (CH_3OH)، والإيثانول (C_2H_5OH)، وكحول الأيزوبروبيل (C_3H_7OH)؛ لتحديد الكتلة المولية لكل من المحاليل التي تم اختبارها. ستحتاج إلى الرجوع للجدول الدوري لحساب الكتلة المولية.

ميثانول 32 g /mol، إيثانول 46 g /mol، كحول أيزوبروبيل 60 g /mol.

4. **استنتج** ماذا تستنتج من قيمة ΔT في كل محاولة بالنسبة لمعدل التبخر للأنواع المختلفة من الكحول؟

كلما زادت قيمة ΔT زاد معدل التبخر.

5. **التفكير الناقد** لماذا وُضع الورق على مقياس الحرارة بدلاً من استخدام مقياس الحرارة وحده؟

لأن الورق يمتص الكحول ويبقية قريبًا من مقياس الحرارة على العكس من الزجاج. كما تحتفظ الورقة بالكحول فترة زمنية أطول تكون كافية للحصول على القراءات الضرورية.

موقع واجباتي

الاستنتاج والتطبيق

1. استخدم معدلات التبخر للكحول التي درستها، كيف يمكن أن تحدد أي أنواع الكحول قوة تماسكه أكبر؟

لأن كحول الأيزوبروبيل هو الأبطأ في التبخر، فستكون قوى تماسكه هي الأكبر.

2. أي أنواع الكحول قوة تماسكه أقل؟

الميثانول هو الأسرع في التبخر، لذا فقوى تلاصقه هي الأضعف.

3. ما العلاقة العامة التي وجدتها بين التغير في درجة الحرارة (ΔT) والكتلة المولية للكحول؟

كلما ازدادت الكتلة المولية للكحول ازدادت قوى التماسك وتناقص معدل التبخر.

4. **كوّن فرضية** هل يؤدي تشغيل مروحة في المختبر إلى تغيير درجة حرارة الغرفة؟ وهل يغير قيمة ΔT التي راقبتها؟ وضح ذلك.

ستعمل المروحة على زيادة معدل التبخر، ويزيد معدل التغير في درجة الحرارة (ΔT).

التوسع في البحث

توقع مقدار ΔT لكحول 1- بيوتانول الذي صيغته الكيميائية C_4H_9OH بالنسبة إلى قيم ΔT لأنواع الكحول التي اختبرتها.

إن ΔT للـ 1- بيوثانول (كتلته المولية 74 g/mol) ستكون أقل من التغيرات الملاحظة للكحول قيد الاختبار.

الفيزياء في الحياة

بدأت دائرة الأرصاد الجوية الأمريكية في استخدام دليل برودة الرياح عام 2001م، وكانت خرائط الطقس القديمة تعتمد على البيانات المستخلصة من تجارب تجمد الماء التي أُجريت في منطقة القطب الجنوبي سنة 1940م. وضح كيف ترتبط برودة الرياح مع التبريد بالتبخر؟ ولماذا تعد هذه الظاهرة مهمة في الطقس البارد؟ وما التعديل الذي أضافته الخرائط الحديثة للخرائط القديمة؟

تزيد برودة الرياح معدل تبخر الرطوبة من الجلد. يأخذ دليل برودة الرياح بعين الاعتبار تأثيرات زيادة التبريد التبخري والحملي. ويمكن خلال الطقس البارد أن تزيد الرياح كثيرًا من خطر الإصابات المرتبطة مع البرد، ومنها قرصة الصقعة.

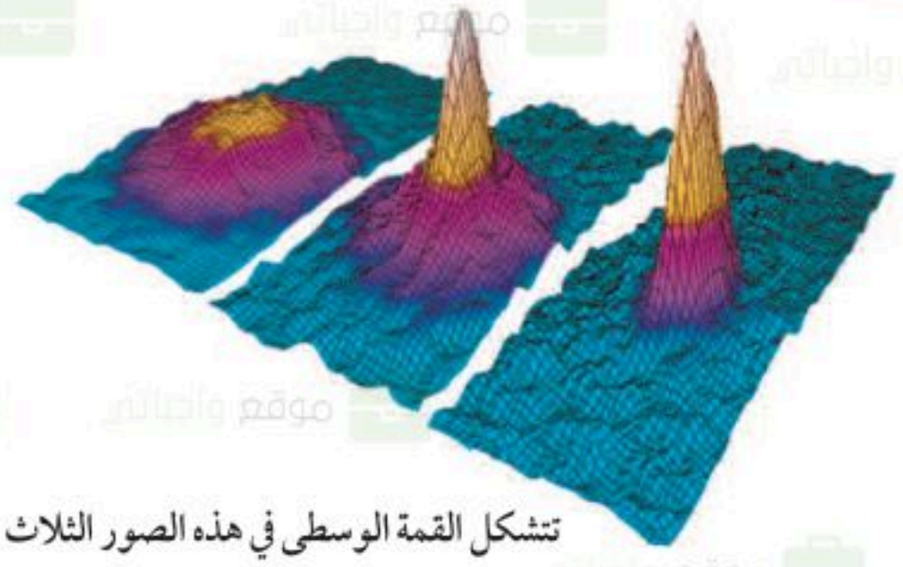
المادة العجيبة A Strange Matter

أصبحت حالات المادة الأربع الأكثر شيوعًا (الصلبة، والسائلة، والغازية، والبلازما) مألوفة لديك، ولكن هل علمت أن هناك حالة خامسة للمادة؟ تَعرَّفْ تكثّف بوز – أينشتاين (BEC).

ما تكثّف بوز - أينشتاين؟ إن بدايات BEC كانت عام 1920م من خلال الدراسات التي قام بها ستندراناث بوز على قوانين فيزياء الكم التي تخضع لها طاقات الفوتونات. فقد طبّق أينشتاين معادلات بوز على الذرات، وأظهرت المعادلات أنه إذا كانت درجة الحرارة لذرات معينة منخفضة فإن معظم الذرات ستكون في مستوى الطاقة الكمي نفسه. وبتعبير آخر، عند درجات الحرارة المنخفضة جدًّا تهبط الذرات التي تحتل مستويات مختلفة للطاقة فجأة إلى أقل مستوى ممكن للطاقة. وعند درجات الحرارة هذه – والتي لا توجد في الطبيعة، ولكن يمكن إيجادها في المختبر باستخدام تقنية متقدمة جدًّا – لا يمكن التمييز بين ذرات BEC كما تكون مواقعها متماثلة.

كيف نشأت BEC؟ تمكن العالمان إيرك كورنيل وكارل وايمن من التوصل إلى أول حالة BEC في عام 1995م، ولإيجاد BEC استخدم العالمان ذرات عنصر الروبيديوم. وكان عليهما أن يقررا كيفية تبريد هذه الذرات إلى درجة حرارة أخفض من أي درجة تم الوصول إليها حتى تلك اللحظة.

وقد تندهش عندما تعلم أن إحدى الخطوات المهمة للوصول إلى درجات حرارة منخفضة جدًّا هي استخدام أشعة الليزر لتبريد ذرات الروبيديوم. يمكن لليزر صهر الفلز، ويمكنه أيضًا تبريد عينة من الذرات إذا ضُبط؛ لكي ترتد فوتوناته عن الذرات، وفي هذه الحالة ستحمل الفوتونات جزءًا من طاقة الذرات ممّا يؤدي إلى انخفاض



تتشكل القمة الوسطى في هذه الصور الثلاث عند تكثف الذرات لتكوين BEC.

درجة حرارة العينة، ولكن أشعة الليزر لن تُبرّد العينة إذا لم يتم ضبطها بدقة عالية.

وعندما تُضبط أشعة الليزر عند التردّد المناسب فإن النتيجة تكون عبارة عن عينة ذراتها باردة جدًّا.

تُحفظ هذه الماده المتكوّنة في حيّزٍ يحدده شعاع الليزر مع المجال المغناطيسي، ولا تُحفظ في وعاء ماديّ لمنع حدوث تماسٍّ حراري يكسبها حرارة.

تُبرّد هذه العينة عن طريق الليزر إلى درجة حرارة ($\frac{1}{10000}$K) تقريبًا)، لكنها بذلك لن تكون باردة بما يكفي لتكوين BEC؛ لذا يستخدم العلماء التبريد بالتبخير لإنجاز الخطوة النهائية للوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة. وتتم عملية التبريد بالتبخير كالآتي:

يتم احتجاز الذرات في وعاء ثم يطبق عليه مجال مغناطيسي قوي جداً، يؤثر هذا المجال عليها بقوة فيسمح للذرات ذات الطاقة الأعلى بالانطلاق تاركة الذرات ذات الطاقة المتدنية جداً، وهذه هي الذرات التي تتكثف فجأة لتكوين BEC.

التوسع

1. **قوِّم** الصعوبات التي يمكن أن تواجه العلماء للتغلب على إيجاد تطبيقات لحالة BEC.
2. **قارن** هل عملية التبريد بالتبخير التي توجد حالة BEC هي العملية نفسها التي تساعدك على الحفاظ على برودتك في يوم حار؟ وضح ذلك

التوسع

1. **قوِّم الصعوبات التي يمكن أن تواجه العلماء للتغلب على إيجاد تطبيقات لحالة BEC.**

ستختلف الإجابات. قد يذكر الطلاب أنه من الصعب جدا إيجاد حالة BEC، وتكون قابلة للتطبيق فقط تحت ظروف خاصة جدًّا محدودة ومقيدة في مختبر الفيزياء.

2. **قارن هل عملية التبريد بالتبخير التي توجِد حالة BEC هي العملية نفسها التي تساعدك على الحفاظ على برودتك في يوم حار؟ وضح ذلك**

مع أن الظرفين الذين تحدث فيها العمليتان تبدوان ظاهريًّا مختلفين جدًّا، إلا أن ظرف العملية الأساسية للتبريد التبخري مماثل لظرف الآخرى. فعندما تغادر الجسيمات (الذرات أو الجزيئات) ذات الطاقة الحركية الكبيرة العينة تكون الجسيمات المتبقية ذات متوسط طاقة حركية منخفض أو درجة حرارة منخفضة.

الفصل 1

دليل مراجعة الفصل

1–1 خصائص الموائع Properties of fluids

المفردات

- الموائع
- الضغط
- باسكال
- القانون العام للغازات
- قانون الغاز المثالي
- التمدد الحراري
- البلازما

المفاهيم الرئيسة

- من خصائص المواد في الحالة السائلة القدرة على التدفق وعدم ثبات الشكل.
- الضغط يساوي القوة مقسومة على المساحة التي تؤثر فيها القوة. $P = \frac{F}{A}$
- يمكن استخدام القانون العام للغازات لحساب التغير في الحجم، ودرجة الحرارة، وضغط الغاز المثالي.

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

- يمكن كتابة قانون الغاز المثالي على النحو الآتي: $PV = nRT$

1–2 القوى داخل السوائل Forces within Liquids

المفردات

- قوى التماسك
- قوى التلاصق

المفاهيم الرئيسة

- قوى التماسك هي قوى التجاذب التي تؤثر بها الجزيئات المتماثلة بعضها في بعض، وينتج كلٌّ من التوتر السطحي واللزوجة عن قوى التماسك.
- قوى التلاصق هي قوى تجاذب تؤثر بها جزيئات المواد المختلفة بعضها في بعض، وتنتج الخاصية الشعرية عن قوى التلاصق.

1–3 الموائع الساكنة و الموائع المتحركة Fluids at Rest and in Motion

المفردات

- مبدأ باسكال
- قوة الطفو
- مبدأ أرخميدس
- مبدأ برنولي
- خطوط الانسياب

المفاهيم الرئيسة

- ينتقل التغير في الضغط، دون نقصان، خلال السائل اعتمادًا على مبدأ باسكال. $F_2 = \frac{F_1 A_2}{A_1}$
- يتناسب الضغط عند عمق معين طرديًّا مع وزن المائع عند ذلك العمق. $P = \rho hg$
- قوة الطفو تساوي وزن المائع المزاح عن طريق جسم اعتمادًا على مبدأ أرخميدس.

$$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{المائع}} Vg$$

- ينص مبدأ برنولي على أن ضغط المائع ينخفض كلّما ازدادت سرعته.

1–4 المواد الصلبة Solids

المفردات

- الشبكة البلورية
- الموادّ الصلبة غير البلورية
- معامل التمدد الطولي
- معامل التمدد الحجمي

المفاهيم الرئيسة

- تترتب الجزيئات في المواد الصلبة البلورية وفق نمط منتظم، أما المواد الصلبة غير البلورية فلا يوجد لجزيئاتها نمط منتظم.
- يتناسب التمدد الحراري طرديًّا مع التغير في درجة الحرارة والحجم الأصلي، ويعتمد ذلك على نوع المادة.

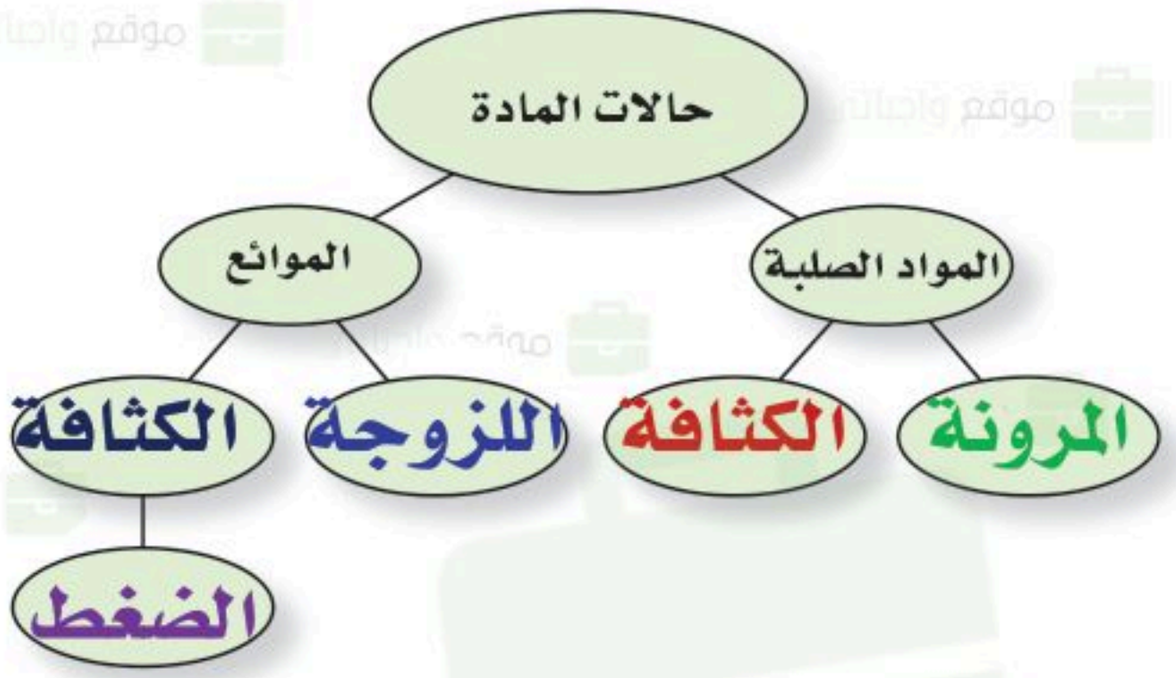
$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T} \qquad \beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T}$$

موقع واجباتي

الفصل 1
التقويم

خريطة المفاهيم

51. أكمل خريطة المفاهيم أدناه مستخدمًا المصطلحات الآتية: الكثافة، اللزوجة، المرونة، الضغط.
ويمكن استخدام المفهوم الواحد أكثر من مرة.



إتقان المفاهيم

52. كيف تختلف القوة عن الضغط؟ (1-1)

تعتمد القوة فقط على دفع الجسم أو سحبه، في حين يعتمد الضغط على القوة، كما يعتمد على المساحة التي تؤثر فيها القوة.

53. حُصِر غاز في وعاء مغلق بإحكام، ووضع سائل في وعاء له الحجم نفسه وكان لكل من الغاز والسائل حجم محدد، فكيف يختلف أحدهما عن الآخر؟ (1-1)

لن يتغير حجم السائل، وسيتمدد الغاز بحسب حجم الوعاء الذي يحويه.

54. ما أوجه التشابه والاختلاف بين الغازات والبلازما؟ (1-1)

كلاهما ليس له حجم أو شكل محدد. يتكوّن الغاز من ذرات، أما البلازما فتتكوّن من أيونات موجبة الشحنة وإلكترونات سالبة الشحنة. وجسيمات البلازما ذات طاقة عالية جدًا مقارنة بجسيمات الغاز. وتوصل البلازما الكهرباء، أما الغازات فلا توصل الكهرباء.

55. تتكون الشمس من البلازما، فكيف تختلف بلازما الشمس عن تلك التي على الأرض؟ (1-1)

بلازما الشمس حارة جدًا، والأكثر أهمية من ذلك أن كثافتها عالية جدًا للدرجة أن كثافتها أكبر من كثافة أغلب المواد الصلبة على الأرض.

56. **البحيرات** تنصهر البحيرات المتجمدة خلال فصل الربيع، فما تأثير ذلك في درجة حرارة الهواء فوق البحيرة؟ (2-1)

لكي ينصهر الجليد يجب أن يمتصّ كمية من الطاقة مساوية للحرارة اللازمة لانصهاره من الهواء والماء، مما يؤدي إلى تبريد الهواء فوقه.

الفصل 1
التقويم

57. الكشافة تُغطي المطّارات التي يستخدمها الكشافة أحيانًا بكيس من قماش الكتّان. إذا رطّبت الكيس الذي يغطي المطرة فإن الماء في المطرة سيبرد. فسر ذلك. (2–1)

يتبخّر الماء الموجود في كيس القماش ممتصًّا الطاقة من المطرة (القِرْبة) ومن الماء داخلها.

58. ماذا يحدث للضغط عند قمة الإناء إذا ازداد الضغط عند قاعه اعتمادًا على مبدأ باسكال؟ (3–1)

تنتقل التغيرات في الضغط بالتساوي إلى جميع أجزاء الإناء؛ حيث يزداد الضغط عند قمته.

59. ينتقل تيار مائي خلال خرطوم ويخرج من فوهته. فماذا يحدث لضغط الماء عندما تزداد سرعته؟ (3 1)

يقل ضغط الماء حسب مبدأ برنولي.

60. بم تخبرك الأواني المستطرقة الموضحة في الشكل 24–1 عن الضغط المؤثر بواسطة السائل؟ (3–1)

■ الشكل 24–1

توضح الأواني المستطرقة أن الضغط لا يعتمد على شكل الوعاء.

61. قارن بين ضغط الماء على عمق 1 m تحت سطح بركة صغيرة وضغط الماء عند العمق نفسه تحت سطح بحيرة؟ (3–1)

حجم الماء أو شكله غير مهمّين، بل المهم هو العمق فقط؛ لذا يكون الضغط متساويا في كلتا الحالتين.

62. كيف يختلف ترتيب الذرات في المادة البلورية عن ترتيبها في المادة غير البلورية؟ (4–1)

تترتّب الذرات في المادة البلورية في نمط مرتب، أمّا في المادة غير البلورية فتكون الذرات عشوائيّة، أيْ ليس لها نمط مرتب.

63. هل يعتمد معامل التمدد الطولي على وحدة الطول المستخدمة؟ فسر ذلك. (4–1)

لا؛ فمعامل التمدّد مقياس لتمدّد الجسم بالنسبة إلى طوله الكلي. أما الوحدات والطول الكلي فلا يغيران من قيمة α.

موقع واجباتي

الفصل 1 التقويم

تطبيق المفاهيم

64. يستقر صندوق على شكل متوازي مستطيلات على وجهه الأكبر على طاولة. فإذا أُدير الصندوق بحيث أصبح يستقر على وجهه الأصغر، فهل يزداد الضغط على الطاولة، أم ينقص أم يبقى دون تغيير؟

يزداد الضغط، ويبقى الوزن كما هو، فالضغط هو الوزن المؤثر في وحدة المساحة.

65. بَيّن أن وحدة الباسكال تكافئ وحدة $kg/m.s^2$.

$$Pa = N/m^2$$

$$= (kg.m/s^2)/m^2$$

$$= kg/m.s^2$$

66. **شحن البضائع** أيهما تغطس لمسافة أعمق في الماء: باخرة مملوءة بكرات تنس الطاولة أم باخرة فارغة مماثلة لها؟ فسر إجابتك.

سوف تغطس الباخرة المملوءة بكرات التنس إلى عمق أكبر داخل الماء؛ لأن لها وزنا أكبر.

67. ما عمق وعاء من الماء الضغط عند قاعه يساوي قيمة الضغط في قاع وعاء مملوء بالزئبق، وعمقه 10.0 cm، علمًا بأن كثافة الزئبق تزيد 13.55 مرة على كثافة الماء؟

$$P_{\text{الماء}} = P_{\text{الزئبق}}$$

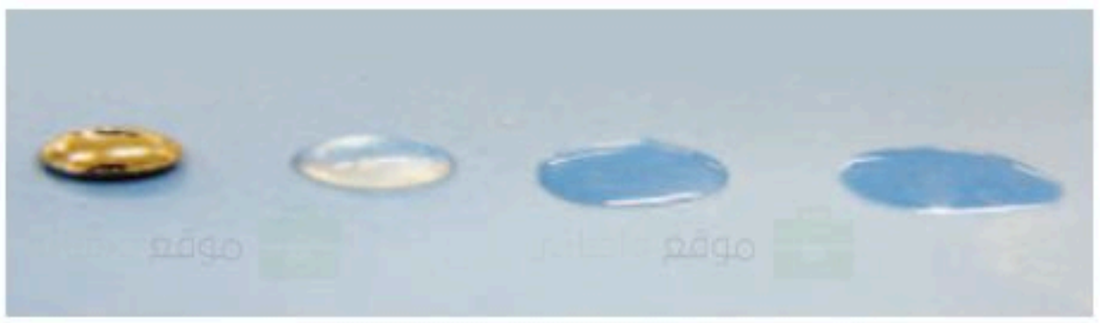
$$\rho_{\text{الماء}}\, h_{\text{الماء}}\, g = \rho_{\text{الزئبق}}\, h_{\text{الزئبق}}\, g$$

$$h_{\text{الماء}} = \left(\frac{\rho_{\text{الزئبق}}}{\rho_{\text{الماء}}}\right) h_{\text{الزئبق}}$$

$$= (13.55)(10.0\ cm)$$

$$= 136\ cm$$

68. وضعت قطرات من الزئبق، والماء، والإيثانول والأسيتون على سطح مستو أملس، كما في **الشكل 25–1**. ماذا تستنتج عن قوى التماسك في هذه السوائل من خلال هذا الشكل ؟



■ الشكل 25–1

تكون قوى التماسك الأقوى في الزئبق، في حين تكون الأضعف في الأسيتون، وكلما كانت قوة التماسك أكبر اتخذت القطرة شكلا كرويًا أكثر.

تقويم الفصل 1

69. يتبخر الكحول بمعدل أسرع من تبخر الماء عند درجة الحرارة نفسها، ماذا تستنتج من هذه الملاحظة عن خصائص الجزيئات في كلا السائلين؟

أن قوى التماسك للماء أكبر من قوى التماسك للكحول.

70. افترض أنك استخدمت مثقبًا لإحداث ثقب دائري في صفيحة من الألومنيوم. إذا سخنت الصفيحة، فهل يزداد حجم الثقب أم يقل؟ فسر ذلك.

كلما سُخّنت الصفيحة أكثر ازداد حجم الثقب؛ فالتسخين ينقل المزيد من الطاقة لجسيمات الألومنيوم مما يسبّب زيادة حجم الألومنيوم.

71. وضعت خمسة أجسام في خزان من الماء كثافاتها على النحو الآتي:

a. $0.85\ g/cm^3$ **d.** $1.15\ g/cm^3$

b. $0.95\ g/cm^3$ **e.** $1.25\ g/cm^3$

c. $1.05\ g/cm^3$

وكثافة الماء $1.00\ g/cm^3$. ويوضح **الشكل 26–1** ستة مواقع محتملة لهذه الأجسام، اختر المواقع من 1 إلى 6 لكل من الأجسام الخمسة. (ليس من الضروري اختيار المواقع كلها)

الشكل 26–1

يجب أن تكون مواقع الأجسام على النحو الآتي:

a–1, b–2, c–6, d–6, e–6

72. تم تسخين حجمين متساويين من الماء في أنبوبين ضيقين ومتماثلين، إلا أن الأنبوب A مصنوع من الزجاج العادي، والأنبوب B مصنوع من الزجاج القابل للتسخين في الأفران. وعندما ارتفعت درجة الحرارة، ارتفع مستوى الماء في الأنبوب B أكثر من الأنبوب A. فسر ذلك.

يتمدّد الزجاج المستخدم في الأفران بمقدار أقل من الزجاج العادي عند التسخين. فلا يرتفع الماء في الأنبوب (A) كثيرًا؛ لأن أنبوب الزجاج العادي قد تمدّد وازداد حجمه.

إتقان حلّ المسائل

1–1 خصائص الموائع

73. **الكتاب المقرر** كتاب فيزياء كتلته 0.85 kg، وأبعاد سطحه $24.0\ cm \times 20.0\ cm$، يستقر على سطح طاولة.

a. ما القوة التي يؤثر بها الكتاب في الطاولة؟

القوة التي يؤثر بها الكتاب في الطاولة تساوي وزن الكتاب.

$$W = mg = (0.85\ kg)(9.80\ m/s^2)$$

$$= 8.3\ N$$

تقويم الفصل 1

b. ما الضغط الذي يؤثر به الكتاب؟

الضغط الذي يؤثر به الكتاب يساوي:

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

$$= \frac{mg}{lW}$$

$$= \frac{(0.85\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}{(2.40\times10^{-1}\ \text{m})(2.00\times10^{-1}\ \text{m})}$$

$$= 1.7\times10^{2}\ \text{Pa}$$

74. أسطوانة مصمتة كتلتها 75 kg وطولها 2.5 m ونصف قطر قاعدتها 7.0 cm تستقر على إحدى قاعدتيها. ما مقدار الضغط الذي تؤثر به؟

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

$$= \frac{mg}{\pi r^2}$$

$$= \frac{(75\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}{\pi(0.070\ \text{m})^2}$$

$$= 4.8\times10^{4}\ \text{Pa}$$

75. ما مقدار القوة الرأسية الكلية أسفل الغلاف الجوي التي تؤثر في قمة رأسك الآن؟ افترض أن مساحة قمة رأسك $0.025\ \text{m}^2$ تقريبًا.

$$F = PA$$

$$= (1.01\times10^{5}\ \text{Pa})(0.025\ \text{m}^2)$$

$$= 2.5\times10^{3}\ \text{N}$$

76. **المشروبات الغازية** إن غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) المذاب في شراب الصودا يجعله يفور، وتتم عادة إذابة كمية من غاز ثاني أكسيد الكربون تساوي 8.0 L تقريبًا عند ضغط يساوي الضغط الجوي ودرجة حرارة 300.0 K في زجاجة مشروبات غازية سعتها 2 L. إذا كانت الكتلة المولية للغاز CO_2 تساوي 44 g/mol.

a. فما عدد المولات من غاز ثاني أكسيد الكربون في زجاجة سعتها 2 L؟

وفق قانون الغاز المثالي فإن

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$= \frac{(1.01\times10^{5}\ \text{Pa})(0.0080\ \text{m}^3)}{(8.31\ \text{Pa.m}^3/\text{mol.K})(300.0\ \text{K})}$$

$$= 0.33\ \text{moles}$$

موقع واجباتي

b. وما كتلة غاز ثاني أكسيد الكربون الموجودة في زجاجة صودا سعتها 2 L؟

الكتلة المولية لغاز ثاني أكسيد الكربون تساوي

$$M = 12 + 2(16)$$

$$= 44\ \text{g/mol}$$

لذا فإن الكتلة تساوي

$$m = nM$$

$$= (0.32\ \text{mol})(44\ \text{g/mol})$$

$$= 14\ \text{g}$$

77. كما هو موضّح في **الشكل 27–1**، يتكوّن مقياس الحرارة ذو الضغط الثابت من أسطوانة تحتوي على مكبس يتحرك بحرية داخل الأسطوانة، ويبقى كل من الضغط وكمية الغاز داخل الأسطوانة ثابتين. وعندما ترتفع درجة الحرارة أو تنخفض يتحرك المكبس إلى أعلى الأسطوانة أو إلى أسفلها. إذا كان ارتفاع المكبس في الأسطوانة 20 cm عند 0 °C، فما ارتفاع المكبس عندما تكون درجة الحرارة 100 °C؟

الشكل 27–1

لما كان الضغط ثابتًا فإن، $V_1/T_1 = V_2/T_2$. ويتناسب ارتفاع المكبس طرديًّا مع حجم الأسطوانة؛ لذا فإن

$$\frac{h_1}{T_1} = \frac{h_2}{T_2}$$

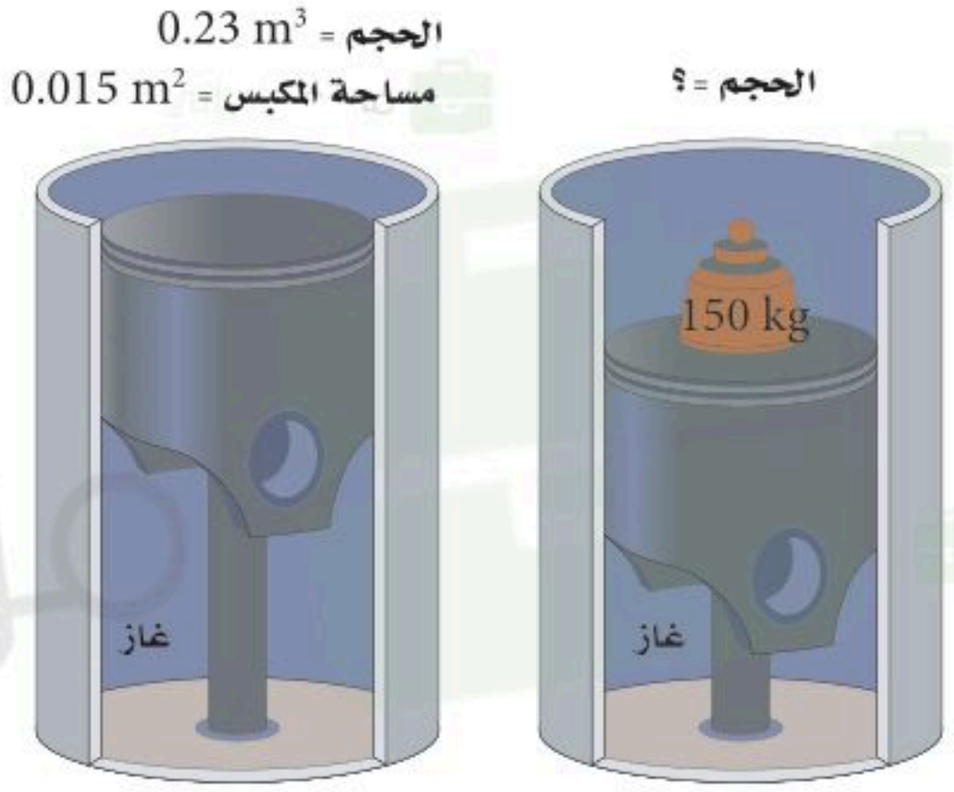
$$h_2 = \frac{h_1 T_2}{T_1}$$

$$= \frac{(20\ \text{cm})(373\ \text{K})}{273\ \text{K}}$$

$$= 3 \times 10^1\ \text{cm}$$

تقويم الفصل 1

78. يَحصر مكبس مساحته $0.015\ m^2$ كمية ثابتة من الغاز في أسطوانة حجمها $0.23\ m^3$. فإذا كان الضغط الابتدائي للغاز $1.5\times10^5\ Pa$، ووضع جسم كتلتـــه $150\ kg$ على المكبس، فتحرك المكبس في اتجاه الأسفل إلى موقع جديد كما موضّح في **الشكل 28–1**، فما الحجم الجديد للغاز داخل الأسطوانة؟، علمًا بأن درجة الحرارة ثابتة؟



الشكل 28–1

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$V_2 = \frac{P_1V_1}{P_2}$$

$$= \frac{P_1V_1}{\left(P_1 + \frac{mg}{A}\right)}$$

$$= \frac{(1.5\times10^5\ Pa)(0.23\ m^3)}{1.5\times10^5\ Pa + \frac{(150\ kg)(9.80\ m/s^2)}{0.015\ m^2}}$$

$$= 0.14\ m^3$$

79. المركبات يصمم إطار سيارة معينة ليستخدم عند ضغط معاير مقداره 30.0 psi، أو 30.0 باوند لكل إنش مربع (واحد باوند لكل إنش مربع يساوي $6.90\times10^3\ Pa$) ومصطلح ضغط معاير يعني الضغط الأعلى من الضغط الجوي. إن الضغط الحقيقي داخل الإطار يســاوي $1.01\times10^5 Pa + (30.0 psi)(6.90\times10^3\ Pa/psi) = 3.08\times10^5\ Pa$، وعندما تتحرك السيارة تزداد درجة حرارة الإطار ويزداد الضغط والحجم كذلك. افترض أنك ملأت إطار السيارة للحجم $0.55\ m^3$ عند درجة حــرارة 280 K وكان الضغط الابتدائي 30.0 psi، ولكــن ازدادت درجة حرارة الإطار في أثناء القيادة لغايــة 310 K وازداد الحجم ليصبح $0.58\ m^3$.

a. ما مقدار الضغط الجديد في الإطار؟

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$P_2 = \frac{P_1V_1T_2}{T_1V_2}$$

$$= \frac{(3.08\times10^5\ Pa)(0.55\ m^3)(310\ K)}{(280\ K)(0.58\ m^3)}$$

$$= 3.2\times10^5\ Pa$$

b. ما الضغط المعاير الجديد؟

$$P_{\text{المعاير}} = \frac{(30.0\ psi)(0.55\ m^3)(310\ K)}{(280\ K)(0.58\ m^3)}$$

$$= 32\ psi$$

تقويم الفصل 1

3–1 الموائع الساكنة والموائع المتحركة

80. الخزان إذا كان عمق الماء خلف سد 17m، فما ضغط الماء عند المواقع المختلفة الآتية؟

a. عند قاعدة السد.

$$P = \rho hg$$

$$= (1.00\times10^3\ \text{kg/m}^3)(17\ \text{m})(9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 1.7\times10^5\ \text{Pa}$$

b. على عمق 4.0 m من سطح الماء.

$$P = \rho hg$$

$$= (1.00\times10^3\ \text{kg/m}^3)(4.0\ \text{m})(9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 3.9\times10^4\ \text{Pa}$$

81. يستقر أنبوب اختبار رأسيًّا على حامل أنابيب اختبار، ويحتوي على زيت ارتفاعه 2.5cm وكثافته 0.81g/cm^3، وماء ارتفاعه 6.5 cm. ما مقدار الضغط المؤثر للسائلين عند قاع أنبوب الاختبار؟

$$P = P_{\text{الزيت}} + P_{\text{الماء}}$$

$$= \rho_{\text{الزيت}}\ h_{\text{الزيت}}\ g + \rho_{\text{الماء}}\ h_{\text{الماء}}\ g$$

$$= (810\ \text{kg/m}^3)(0.025\ \text{m})(9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$+ (1.00\times10^3\ \text{kg/m}^3)(0.065\ \text{m})(9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 8.4\times10^2\ \text{Pa}$$

82. الأثريات تمثال طائر أثري مصنوع من معدن أصفر مُعلق بميزان نابضي، تشير قراءة الميزان النابضي إلى 11.81 N عندما يُعلق التمثال في الهواء، وتشير إلى 11.19 N عندما يُغمر التمثال كليًّا في الماء.

a. أوجد حجم التمثال.

$$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{الماء}}\ Vg = F_g - F_{\text{الظاهري}}$$

لذا فإن

$$V = \frac{F_g - F_{\text{الظاهري}}}{\rho_{\text{الماء}}\ g}$$

$$= \frac{11.81\ \text{N} - 11.19\ \text{N}}{(1.00\times10^3\ \text{kg/m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 6.33\times10^{-5}\ \text{m}^3$$

b. هل تمثال الطائر مصنوع من الذهب ($\rho = 19.3\times10^3\ \text{kg/m}^3$) أم مصنوع من الألومنيوم المطلي بالذهب ($\rho = 2.7\times10^3\ \text{kg/m}^3$)؟

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$= \frac{F_g}{Vg}$$

$$= \frac{11.81\ \text{N}}{(6.33\times10^{-5}\ \text{m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 19.0\times10^3\ \text{kg/m}^3$$

تمثال الطائر مصنوع من الذهب

تقويم الفصل 1

83. خلال تجربة في علم البيئة وضع حوض لتربية الأسماك مملوء حتى منتصفه بالمـــاء على ميزان، فكانت قراءة الميزان 195 N.

a. أُضيف حجر وزنه 8 N إلى الحوض، فإذا غطس الحجر إلى قاع الحوض، فما قراءة الميزان؟

$$F_g = 195\ \text{N} + 8\ \text{N}$$

$$= 203\ \text{N}$$

b. أُزيل الحجر من الحوض، وعدّلت كمية الماء حتى عادت قراءة الميزان ثانيـــة 195 N، فإذا أضيفت ســـمكة تزن 2 N إلى الحوض، فما قراءة الميزان في حالة وجود السمكة في الحوض؟

$$F_g = 195\ \text{N} + 2\ \text{N}$$

$$= 197\ \text{N}$$

قوة الطفو، في كلتا الحالتين، تساوي وزن الماء المزاح.

84. ما مقدار قوة الطفو المؤثرة في كرة وزنها 26.0 N إذا كانت تطفو على سطح ماء عذب؟

إذا كانت الكرة طافية

$$F_{\text{الطفو}} = F_g = 26.0\ \text{N}$$

85. ما مقدار أقصى وزن يستطيع أن يرفعه في الهواء بالون مملوء بحجم $1.00\ \text{m}^3$ من غاز الهيليوم؟ افترض أن كثافة الهواء $1.20\ \text{kg/m}^3$ وكثافة غاز الهيليوم $0.177\ \text{kg/m}^3$، وأهمل كتلة البالون.

$$F_{\text{الظاهري}} = F_g - F_{\text{الطفو}}$$

$$= \rho_{\text{الهيليوم}} Vg - \rho_{\text{الهواء}} Vg$$

$$= (\rho_{\text{الهيليوم}} - \rho_{\text{الهواء}}) Vg$$

$$= (0.177\ \text{kg/m}^3 - 1.20\ \text{kg/m}^3)$$

$$(1.00\ \text{m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= -10.0\ \text{N}$$

أقصى وزن يستطيع أن يرفع البالون في الهواء يساوي 10.0 N.

موقع واجباتي

86. تزن صخرة 54 N في الهواء، وعندما غمرت في سائل كثافته ضعف كثافة الماء أصبح وزنها الظاهري 46 N. ما وزنها الظاهري عندما تُغمر في الماء؟

$$F_{\text{الظاهري، الماء}} = F_g - \rho_{\text{الماء}} Vg$$

و

$$F_{\text{الظاهري، السائل}} = F_g - 2\rho_{\text{الماء}} Vg$$

أو

$$V = \frac{F_g - F_{\text{الظاهري، السائل}}}{2\rho_{\text{الماء}} g}$$

عوض مقدار V من المعادلة السابقة في المعادلة الأولى

$$F_{\text{الظاهري، الماء}} = F_g - \rho_{\text{الماء}} g\left(\frac{F_g - F_{\text{الظاهري، السائل}}}{2\rho_{\text{الماء}} g}\right)$$

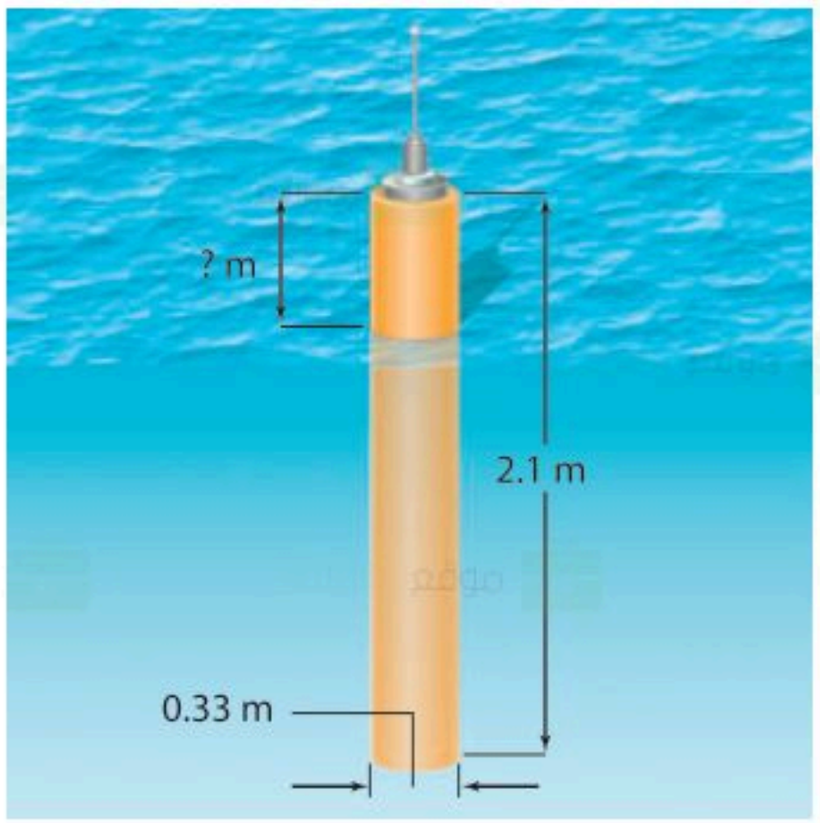
$$= F_g - \left(\frac{1}{2}\right)\left(F_g - F_{\text{الظاهري، السائل}}\right)$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)\left(F_g - F_{\text{الظاهري، السائل}}\right)$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)(54\ \text{N} + 46\ \text{N})$$

$$= 5.0 \times 10^1\ \text{N}$$

87. جغرافية المحيطات انظر إلى **الشكل 29–1**، تستخدم عوّامة كبيرة لحمل جهاز يستخدم في دراسة جغرافية المحيطات، وكانت العوّامة مصنوعة من خزان أسطواني مجوف. فإذا كان ارتفاع الخزان 2.1 m، ونصف قطره 0.33 m، والكتلة الكلية للعوّامة وجهاز البحث 120 kg تقريبًا. ويجب على العوّامة أن تطفو بحيث يكون أحد طرفيها فوق سطح الماء؛ وذلك لحمل جهاز بث راديوي.
افترض أن العوّامة تحوي الجهاز، وأن كتلتها موزعة بانتظام، فكم يكون ارتفاع العوّامة فوق سطح الماء عندما تطفو؟



■ الشكل 29–1

ارتفاع العوّامة فوق سطح الماء يساوي

$$L_{\text{فوق سطح الماء}} = \left(1 - \frac{V_{\text{الماء}}}{V_{\text{العوّامة}}}\right) L_{\text{الكلي}}$$

$$= \left(1 - \frac{\left(\frac{m}{\rho}\right)_{\text{الماء}}}{\pi r^2 h}\right) L_{\text{الكلي}}$$

$$= \left(1 - \frac{m}{\pi r^2 h \rho_{\text{الماء}}}\right) L_{\text{الكلي}}$$

$$= \left(1 - \frac{120\ \text{kg}}{\pi\left(\left(\frac{1}{2}\right)(0.33\ \text{m})\right)^2 (2.1\ \text{m})(1.00\times10^3\ \text{kg/m}^3)}\right)(2.1\ \text{m})$$

$$= 0.70\ \text{m}$$

تقويم الفصل 1

4–1 المواد الصلبة

88. إذا كان طول قضيب مصنوع من معدن مجهول 0.975 m عند 45 °C، وتناقص طوله ليصبح 0.972 m عند 23 °C، فما معامل تمدده الطولي؟

$$\alpha = \frac{L_2 - L_1}{L_1(T_2 - T_1)}$$

$$= \frac{0.972\ \text{m} - 0.975\ \text{m}}{(0.975\ \text{m})(23°\text{C} - 45°\text{C})}$$

$$= 1.4 \times 10^{-4}\ °\text{C}^{-1}$$

89. صمّم مخترع مقياس حرارة من قضيب ألومنيوم طوله 0.500 m عند درجة حرارة 273 K. واعتمد المخترع قياس طول قضيب الألومنيوم لتحديد درجة الحرارة. فإذا أراد المخترع أن يقيس تغيرًا في درجة الحرارة مقداره 1.0 K، فكم يجب أن تكون دقة قياس طول القضيب؟

$$\Delta T = 1.0\ \text{K} = 1.0°\text{C}$$

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T$$

$$= (25 \times 10^{-6}\ °\text{C}^{-1})(0.500\ \text{m})(1.0°\text{C})$$

$$= 1.3 \times 10^{-5}\ \text{m}$$

90. **الجسور** جسر أسمنتي طوله 300 m في شهر أغسطس عندما كانت درجة الحرارة 50 °C، فكم يكون مقدار الفرق في الطول في إحدى ليالي شهر يناير إذا كانت درجة الحرارة 10 °C؟

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T$$

$$= \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

$$= (12 \times 10^{-6}\ °\text{C}^{-1})(300\ \text{m})(50°\text{C} - 10°\text{C})$$

$$= 0.1\ \text{m}$$

91. أنبوب من النحاس طوله 2.00 m عند 23 °C. ما مقدار التغير في طوله إذا ارتفعت درجة حرارته إلى 978 °C؟

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T$$

$$= \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

$$= (16 \times 10^{-6}\ °\text{C}^{-1}$$

$$)(2.00\ \text{m})(978°\text{C} - 23°\text{C})$$

$$= 3.1 \times 10^{-2}\ \text{m}$$

موقع واجباتي

تقويم الفصل 1

92. مـا التغير في حجـم قالب من الأسـمنت حجمه $1.0\ m^3$ إذا ارتفعت درجة حرارته بمقدار $45\ ^\circ C$؟

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T$$

$$= (36\times10^{-6}\ ^\circ C^{-1})(1.0\ m^3)(45^\circ C)$$

$$= 1.6\times10^{-3}\ m^3$$

93. **الجسور** يسـتخدم عمال بناء الجسور عادة مسامير فولاذية بحيث تكون أكبر من ثقب المسمار؛ وذلك لجعل الوصلة مشدودة أكثر. ويُبرّد المسمار قبل وضعه في الثقب. افترض أن العامل حفر ثقبًا نصف قطره $1.2230\ cm$ لمسمار نصف قطره $1.2250\ cm$، فلأي درجة حرارة يجب أن يُبرّد المسمار ليدخل في الثقب بشكل محكم إذا كانت درجة حرارته الابتدائية $20.0\ ^\circ C$؟

$$L_2 = L_1 + \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

$$T_2 = T_1 + \frac{(L_2 - L_1)}{\alpha L_1}$$

$$= 20.0^\circ C + \frac{1.2230\ cm - 1.2250\ cm}{(12\times10^{-6}\ ^\circ C^{-1})(1.2250\ cm)}$$

$$= -1.2\times10^{2}\ ^\circ C$$

94. خزان مصنـوع من الفولاذ نصف قطره $2.000\ m$ وارتفاعه $5.000\ m$ مُلئ بالميثانول عند درجة حرارة $10\ ^\circ C$. فإذا ارتفعت درجة الحرارة حتى $40.0\ ^\circ C$، فما مقدار الميثانول الذي سـيتدفق خارج الخزان إذا تمدّد كل من الخزان والميثانول؟

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T$$

$$= (\beta_{\text{الميثانول}} - \beta_{\text{الفولاذ}})(\pi r^2 h)(T_2 - T_1)$$

$$= (1200\times10^{-6}\ ^\circ C^{-1} - 35\times10^{-6}\ ^\circ C^{-1})$$
$$)(\pi)(2.000\ m)^2\ (5.000\ m)(40.0^\circ C - 10.0^\circ C)$$

$$= 2.3\ m^3$$

95. سُـخنت كرة من الألومنيوم حتى أصبحت درجة حرارتها $580\ ^\circ C$، فإذا كان حجم الكرة $1.78\ cm^3$ عند درجة حرارة $11\ ^\circ C$، فما مقدار الزيادة في حجم الكرة عند $580\ ^\circ C$؟

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T$$

$$= (75\times10^{-6}\ ^\circ C^{-1})(1.78\ cm^3)(580^\circ C - 11^\circ C)$$

$$= 7.6\times10^{-2}\ cm^3$$

تقويم الفصل 1

96. إذا أصبح حجم كـــرة من النحاس $2.56\ cm^3$ بعد تســـخينها من $12\ ^\circ C$ إلى $984\ ^\circ C$، فما حجم الكرة عند $12\ ^\circ C$ ؟

$$V_2 = V_1 + V_1\beta\Delta T = V_1(1 + \beta\Delta T)$$

$$V_1 = \frac{V_2}{1+\beta\Delta T}$$

$$= \frac{2.56\ cm^3}{(1 + (48\times10^{-6}\ ^\circ C^{-1})(984^\circ C - 12^\circ C))}$$

$$= 2.4\ cm^3$$

97. صفيحة من الفولاذ مربعة الشكل طول ضلعهـــا $0.330\ m$، سُخنت من $0\ ^\circ C$ حتى أصبحت درجة حرارتها $95\ ^\circ C$.

a. ما مقدار تغير طول جوانب المربع؟

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T = \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

$$= (12\times10^{-6}\ ^\circ C^{-1})(0.330\ m)(95^\circ C - 0^\circ C)$$

$$= 3.8\times10^{-4}\ m$$

b . ما نسبة التغير في مساحة المربع؟

$$\text{نسبة التغير} = \frac{\Delta A}{A_1}$$

$$= \frac{A_2 - A_1}{A_1}$$

$$= \frac{L_2^{\,2} - L_1^{\,2}}{L_1^{\,2}}$$

$$= \frac{(L_1 + \Delta L)^2 - L_1^{\,2}}{L_1^{\,2}}$$

$$= \frac{(0.330\ m + 3.8\times10^{-4}\ m)^2 - (0.330\ m)^2}{(0.330\ m)^2}$$

$$= 2.3\times10^{-3}$$

98. مكعب من الألومنيوم حجمه $0.350\ cm^3$ عند درجة حرارة $350.0\ K$، فإذا بُرّد إلى $270.0\ k$ فما مقدار:

a. حجمه عند درجة $270.0\ K$؟

$$V_2 = V_1 + V_1\beta\Delta T$$

$$= V_1 (1 + \beta\Delta T)$$

$$= V_1(1 + \beta(T_2 - T_1))$$

$$= (0.350\ m^3)(1 + (75\times10^{-6}\ ^\circ C^{-1})$$

$$(270.0\ K - 350.0\ K))$$

$$= 0.348\ m^3$$

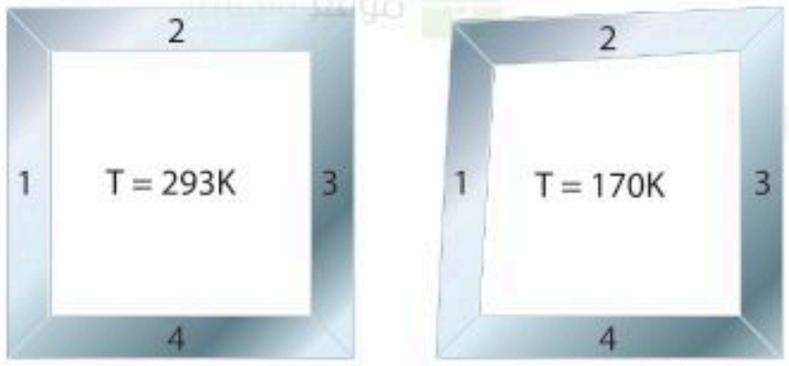
b. طول ضلع المكعب عند درجة 270.0 K؟

$$L = (V_2)^{\frac{1}{3}}$$

$$= (0.348\ \text{m}^3)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 0.703\ \text{m}$$

99. الصناعة صمّم مهندس قطعة ميكانيكية مربعة الشكل لنظام تبريد خاص. تتألف القطعة الميكانيكية من قطعتين مستطيلتين من الألومنيوم، وقطعتين مستطيلتين من الفولاذ، وكانت القطعة المصممة مربعة تمامًا عند درجة 293 K، ولكن عند درجة 170 K أصبحت القطعة مفتولة كما في **الشكل 30–1**. حدد أي القطع المبينة في الشكل مصنوعة من الفولاذ، وأيها مصنوعة من الألومنيوم؟



الشكل 30–1

يعاني الجزءان 1 و 2 انكماشًا أكبر في الطول من الجزأين 3 و 4 ؛ لذا فإن الجزأين 1 و 2 يجب أن يكونا مصنوعين من الألومنيوم الذي معامل تمدده أكبر من معامل تمدد الفولاذ.

مراجعة عامة

100. ما مقدار الضغط المؤثر في جسم الغواصة عند عمق 65 m؟

$$P = P_{\text{الجوي}} + \rho_{\text{الماء}}\, gh$$

$$= (1.01\times10^5\ \text{Pa}) + (1.00\times10^{-3}\ \text{kg/m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)(65\ \text{m})$$

$$= 7.4\times10^5\ \text{Pa}$$

موقع واجباتي

101. جهاز الغطس يسبح غطّاس مستخدمًا جهاز الغطس على عمق 5.0 m تحت الماء مطلقًا $4.2 \times 10^{-6}\ m^3$ من فقاقيع الهواء. ما حجم تلك الفقاقيع قبل وصولها إلى سطح الماء تمامًا؟

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$V_2 = \frac{P_1V_1}{P_2}$$

$$= \frac{(P_{\text{الجوي}} + \rho_{\text{الماء}}gh)V_1}{P_{\text{الجوي}}}$$

$$= \frac{(1.01\times10^5\ Pa + (1.00\times10^3\ kg/m^3)(9.80\ m/s^2)(5.0\ m))(4.2\times10^{-6}\ m^3)}{1.01\times10^5\ Pa}$$

$$= 6.2\times10^{-6}\ m^3$$

موقع واجباتي

102. تطفو كرة بولنج وزنهـا 18 N بحيث ينغمر نصفها فقط في الماء.

a. ما مقدار قطر كرة البولينج؟

$$F_g = \rho V_{\text{الماء}}\, g = \rho\left(\frac{V_{\text{الكرة}}}{2}\right) g$$

حيث إن

$$V_{\text{الكرة}} = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3 = \frac{\pi d^3}{6}$$

ومن ثم فإن

$$F_g = \frac{1}{2}\rho\left(\frac{\pi d^3}{6}\right) g$$

لذا فإن

$$d = \sqrt[3]{\frac{12F_g}{\pi\rho g}}$$

$$= \sqrt[3]{\frac{(12)(18\ \text{N})}{\pi(1.00\times10^3\ \text{kg/m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)}}$$

$$= 0.19\ \text{m}$$

b. ما الوزن الظاهري تقريبًا لكرة بولنج تزن 36 N؟

يطفو قضيب من الألومنيوم في حوض زئبق. فهل يطفو

غَطَس نصف كرة البولنج عندما كان وزنها 18 N؛ لذا يجب أن يكون الوزن الظاهري لكرة وزنها 36 N قريبًا من الصفر.

تقويم الفصل 1

103. يطفو قضيب من الألومنيوم في حوض زئبق. فهل يطفو القضيب إلى أعلى أكثر أم أن جزءًا أكبر منه سـينغمر عند تسخين الزئبق والألومنيوم معًا؟

لما كان معامل التمدد الحجمي للزئبق أكبر من معامل التمدد الحجمي للألومنيوم. فإن الألومنيوم يصبح أكثر كثافة من الزئبق عند تسخينهما، وسوف يغطس إلى عمق أكبر في الزئبق.

104. وضع 100.0 ml من الماء في وعاء من الزجاج العادي سعته 800.0 ml عند 15.0 °C. كم سيرتفع مستوى الماء أو ينخفض عندما يُسخن كل من الإناء والماء إلى 50.0 °C؟

يتمدد الماء:

$$\Delta V = \beta V \Delta T$$

$$= (210\times10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1})(100.0\ \text{ml})(35.0^\circ\text{C})$$

$$= 0.735\ \text{ml}$$

يتمدد الوعاء:

$$\Delta V = \beta V \Delta T$$

$$= (27\times10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1})(800.0\ \text{ml})(35.0^\circ\text{C})$$

$$= 0.756\ \text{ml}$$

سوف ينخفض مستوى الماء قليلًا، ولكن ليس إلى المستوى الذي يمكن ملاحظته.

105. **صيانة السيارات** تُستخدم رافعة هيدروليكية لرفع السيارات لصيانتها، وتسمى رافعة الأطنان الثلاثة. فإذا كان قطر المكبس الكبير 22 mm، وقطر المكبس الصغير 6.3 mm. افترض أن قوة ثلاثة أطنان تعادل 3.0×10^4 N.

a. فما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في المكبس الصغير لرفع وزن مقداره ثلاثة أطنان؟

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

$$= \frac{F_1 \pi r_2^{\,2}}{\pi r_1^{\,2}}$$

$$= F_1\left(\frac{d_2^{\,2}}{d_1^{\,2}}\right)$$

$$= (3.0\times10^4\ \text{N})\left(\frac{6.3\ \text{mm}}{22\ \text{mm}}\right)^2$$

$$= 2.5\times10^3\ \text{N}$$

b. تستخدم معظم رافعات السيارات رافعة لتقليل القوة اللازمة للتأثير فيها في المكبس الصغير. فإذا كان طول ذراع المقاومة 3.0 cm، فكم يجب أن يكون طول ذراع القوة لرافعة مثالية لتقليل القوة إلى 100.0 N؟

$$F_r L_r = F_e L_e$$

$$L_e = \frac{F_r L_r}{F_e}$$

$$= \frac{(2.5\times10^3\ \text{N})(3.0\ \text{cm})}{100.0\ \text{N}}$$

$$= 75\ \text{cm}$$

تقويم الفصل 1

106. المنطاد يحتوي منطاد الهواء الساخن على حجم ثابت من الغاز. عندما يُسخَّن الغاز يتمدد ويطرد بعض الغاز خارجًا من النهاية السفلى المفتوحة، لذلك تنخفض كتلة الغاز في المنطاد. فلماذا ينبغي أن يكون الغاز في المنطاد أكثر سخونة لرفع حمولة من الأشخاص إلى قمة ارتفاعها 2400 m عن سطح البحر، مقارنة بمنطاد مهمته رفع الحمولة ذاتها من الأشخاص إلى ارتفاع 6 m عن مستوى سطح البحر؟

يكون الضغط الجوي منخفضًا عند الارتفاعات العالية؛ لذا فإن كتلة حجم المائع المزاح بمنطاد له الحجم نفسه تكون أقل عند الارتفاعات الكبيرة. وللحصول على قوة الطفو نفسها عند الارتفاعات الكبيرة ينبغي للمنطاد أن ينفث غازًا أكثر، وهذا يتطلب درجة حرارة أكبر.

107. عالم الأحياء تستطيع بعض النباتات والحيوانات العيش تحت ضغط مرتفع جدًّا.

a. ما مقدار الضغط المؤثر بوساطة الماء في جسم سمكة أو دودة تعيش بالقرب من قاع أخدود مائي في منطقة بورتوريكو الذي يبلغ عمقه 8600 m تحت سطح المحيط الأطلنطي؟ افترض أن كثافة مياه البحر $1030\ kg/m^3$.

الضغط يساوي

$$P = \rho gh$$

$$= (1030\ kg/m^3)(9.80\ m/s^2)(8600\ m)$$

$$= 8.7\times10^7\ Pa$$

b. ما كثافة الهواء عند ذلك الضغط بالنسبة لكثافته فوق سطح المحيط؟

$$(8.7\times10^7\ Pa)/(1.01\times10^5\ Pa) = 860$$

الضغط داخل الماء أكبر 860 مرة من الضغط الجوي المعياري؛ لذا سوف تكون كثافة الهواء أكبر 860 مرة من كثافة الهواء عند سطح المحيط.

التفكير الناقد

108. تطبيق المفاهيم إذا كنت تغسل الأواني في حوض، فطفا أحد الأواني، فملأته بماء الحوض فغطس إلى القاع، فهل ارتفع مستوى الماء في الحوض أم انخفض عندما انغمر الإناء؟

عندما يكون الإناء طافيًا، يكون قد أزاح كمية من الماء؛ ووزن هذه الكمية المزاحة يساوي وزن الإناء. أما عندما يغطس الإناء فيكون قد أزاح كمية من الماء، ووزن هذه الكمية المزاحة أقل من وزن الإناء، وذلك لأن قوة الطفو تساوي وزن الماء المزاح. وفي الحالة الثانية أزاح الإناء كمية أقل من الماء وسينخفض مستوى الماء في الحوض.

موقع واجباتي

تقويم الفصل 1

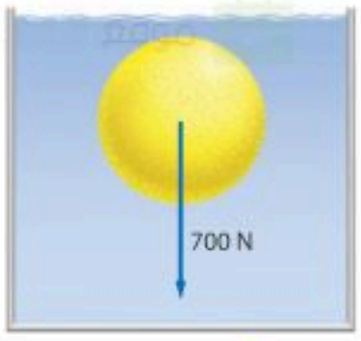
109. تطبيق المفاهيم إن الأشخاص الملازمين للسرير أقل احتمالاً للإصابة بمرض تَقرُّح الفراش إذا استخدموا فرشة الماء بدلاً من الفرشات العادية. فسّر ذلك.

يتوافق سطح فرشة الماء ويتكيف مع تضاريس الجسم أكثر من الفرشة العادية. كما يهبط الجسم في فرشة الماء بسهولة أكبر. ولأن $\rho_{H_2O} > \rho_{\text{الفرشة}}$ فإن قوة الطفو من فرشة الماء تكون أقل.

110. حلّل تعتمد إحدى طرائق قياس النسبة المئوية لمحتوى الدهون في الجسم على حقيقة أن الأنسجة الدهنية أقل كثافة من الأنسجة العضلية. كيف يمكن تقدير معدل كثافة شخص باستخدام ميزان وبركة سباحة؟ وما القياسات التي يحتاج الطبيب إلى تدوينها لإيجاد معدل النسبة المئوية للدهون في جسم شخص ما؟

يزن الطبيب الشخص بشكل طبيعي، ثم يزنه وهو مغمور تمامًا في الماء. وللتأكد من الانغمار التام لا بد من إضافة أثقال إلى الشخص؛ لأن كثافة الإنسان عادة أقل من كثافة الماء. كما يجب أن يقاس حجم الماء الذي يزيحه الشخص. أما متوسط كثافة الشخص فيمكن حسابه من توازن القوى التي تبقي الشخص في حالة اتزان تحت الماء.

111. حلّل واستنتج يلزم قوة رأسية إلى أسفل مقدارها 700 N لغمر كرة من البلاستيك كليًّا كما في **الشكل 31–1**. إذا علمت أن كثافة البلاستيك $95\ kg/m^3$، فما مقدار:



الشكل 31–1

a. النسبة المئوية للجزء المغمور من الكرة إذا تُركت تطفو بحرية؟

كثافة الكرة البلاستيكية بالنسبة إلى كثافة الماء تساوي

$$\frac{95\ kg/m^3}{1.00\times10^3\ kg/m^3} = 0.095$$

لذا ينغمر 9.5% من الكرة الطافية.

b. وزن الكرة في الهواء؟

وزن الماء المزاح بـ 9.5% من الكرة الطافية يساوي وزن الكرة كاملة وهي في الهواء، F_g. وتلزم قوة رأسية إضافية مقدارها 700 N لغمر النسبة المتبقية من حجم الكرة؛ 90.5%، لذا فإن

$$\frac{F_g}{0.095} = \frac{700\ N}{0.905}$$

$$F_g = 7\times10^1\ N$$

موقع واجباتي

تقويم الفصل 1

c. حجم الكرة؟

$$F_{\text{الطفو}} = F_g + F_{\text{رأسية إلى أسفل}}$$

$$\rho_{\text{الماء}} Vg = \rho_{\text{الكرة}} Vg + F_{\text{رأسية إلى أسفل}}$$

$$V = \frac{F_{\text{رأسية إلى أسفل}}}{(\rho_{\text{الماء}} - \rho_{\text{الكرة}})g}$$

$$= \frac{700\,\text{N}}{(1.00\times10^3\,\text{kg/m}^3 - 95\,\text{kg/m}^3)(9.80\,\text{m/s}^2)}$$

$$= 8\times10^{-2}\,\text{m}^3$$

112. **تطبيق المفاهيم** تُوضع الأسماك الاستوائية التي تُربى في أحواض السمك المنزلية عند شرائها في أكياس بلاستيكية شفافة مملوءة جزئيًّا بالماء. إذا وضعت سمكة في كيس مغلق داخل الحوض، فأي الحالات المبينة في الشكل 32-1 تمثل أفضل ما يمكن أن يحدث؟ فسر استدلالك.

■ الشكل 32-1

إن كثافة الماء في الكيس بالإضافة إلى كثافة السمك والبلاستيك مجتمعةً قريبةٌ من كثافة الماء في حوض الماء. لذا يجب أن يطفو الكيس على مستوى الماء في الكيس وعلى ارتفاع مستوى الماء نفسه في حوض الماء.

الكتابة في الفيزياء

113. تتمدد بعض المواد الصلبة عندما تبرد، ومن أكثر الأمثلة شيوعًا تمدد الماء عند انخفاض درجة حرارته بين $4\,^\circ\text{C}$ و $0\,^\circ\text{C}$، ولكن تتمدد الأربطة المطاطية أيضًا عند تبريدها، ابحث عن سبب هذا التمدد.

تُصنع الأربطة المطاطية من جزيئات المطاط الطويلة التي تسمى البوليمرات، والتي تتخذ هيئة سلاسل مزوّدة ببعض الوصلات الطويلة. وتنشأ خصائص المطاط من قدرة هذه الوصلات على الالتواء والدوران. وعندما يُبرّد المطاط تستطيل هذه الوصلات بخط مستقيم تمامًا كوصلات سلسلة الحديد التي تمسكها بأحد طرفيها وتسمح لها بأن تتدلى بحرية. ولما كانت الوصلات مرتبة بتلك الطريقة فإن للبوليمرات فوضى (إنتروبي) صغيرة نسبيًّا. إن إضافة الحرارة إلى هذه البوليمرات تزيد من حركتها الحرارية، وتبدأ عندها الوصلات في الاهتزاز ويتزايد عدم ترتيبها. وإذا جُعلت هذه الوصلات تهتز بهذه الطريقة فإنك سترى أن متوسط طولها يصبح أقل مقارنة بحالة بقاء السلسلة معلقة دون حركة.

موقع واجباتي

تقويم الفصل 1

114. بحث العالم جاي–لوســاك في قوانين الغاز، فكيف ساهم إنجاز جاي–لوساك في اكتشاف صيغة الماء؟

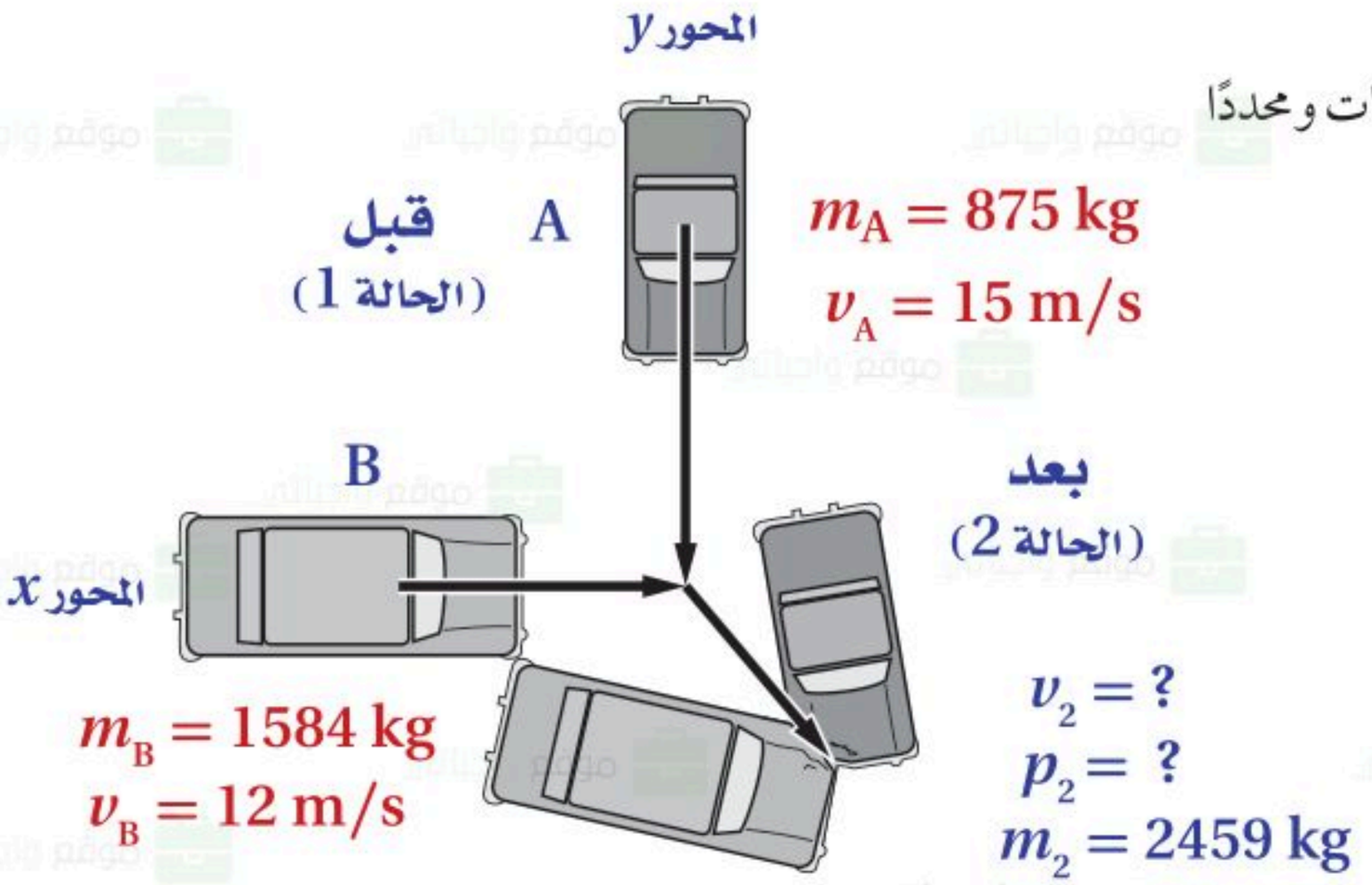
كان العالم الفرنسي جاي – لوساك مهتمًا أيضًا بصعود المنطاد إلى ارتفاعات عالية. وقد اكتشف أنه عندما يكون للغازات درجة الحرارة نفسها والضغط نفسه فإن أحجامها تتفاعل بنسب ذات أعداد صغيرة وصحيحة. وقد أسهم إنجاز جاي – لوساك في اكتشاف صيغة الماء، وذلك بإثباته أن حجمين من غاز الهيدروجين يتفاعلان مع حجم واحد من غاز الأكسجين. وبنى أفوجادرو نتائجه على ما توصل إليه جاي – لوساك، وذلك عند صياغة العلاقة بين مولات الغاز والحجم.

مراجعة تراكمية

115. تتحرك سيارة كتلتها 875 kg في اتجاه الجنوب بسرعة 15 m/s فتصطدم بسيارة أخرى كبيرة كتلتها 1584 kg وتتحرك في اتجاه الشرق بسرعة 12 m/s، فتلتصقان معًا بعد التصادم، بحيث يكون الزخم الخطي محفوظًا.

(فيزياء 2)

a. مثّل الحالة بالرسم، معينًا محاور الإحداثيات ومحددًا الحالة قبل التصادم وبعده.



b. أوجد سرعة حطام السيارتين مقدارًا واتجاهًا بعد التصادم مباشرة، وتذكّر أن الزخم كمية متجهة.

$$p_{A1} = m_A v_A = (875\,\text{kg})(15\,\text{m/s})$$

$$= 1.31\times10^4\,\text{kg. m/s}\ \text{جنوبًا}$$

$$p_{B1} = m_B v_B = (1584\,\text{kg})(12\,\text{m/s})$$

$$= 1.90\times10^4\,\text{kg. m/s}\ \text{شرقًا}$$

$$p_2 = \sqrt{{p_{A1}}^2 + {p_{B1}}^2}$$

$$= \sqrt{(1.31\times10^4\,\text{kg.m/s})^2 + (1.90\times10^4\,\text{kg. m/s})^2}$$

$$= 2.3\times10^4\,\text{kg.m/s}$$

$$\tan\theta = \frac{p_{B1}}{p_{A1}}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{p_{B1}}{p_{A1}}\right)$$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{1.90\times10^4\,\text{kg.m/s}}{1.31\times10^4\,\text{kg.m/s}}\right)$$

$$= 55^\circ\ \text{شرق الجنوب}$$

$$v_2 = \frac{p_2}{m_2} = \frac{2.3\times10^4\,\text{kg.m/s}}{2459\,\text{kg}}$$

$$= 9.4\,\text{m/s}$$

c. ينزلق الحطام على سطح الأرض ثم يتوقف، فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي عندما كان الحطام ينزلق 0.55. ومع افتراض أن التسارع ثابت، فما مقدار مسافة الانزلاق بعد التصادم؟

لحساب المسافة، استخدم معادلة الحركة :

$$v^2 = v_i^2 + 2a(d - d_i)$$

ولما كانت السرعة المتجهة النهائية تساوي صفرًا، و أن $d_i = 0$، فحل المعادلة بالنسبة إلى d

$$d = \frac{-v_i^2}{2a}$$

لحساب التسارع، لاحظ أن القوة التي تقلّل من سرعة السيارات تساوي قوة الاحتكاك

$$(m_A + m_B)a = -\mu_k(m_A + m_B)g$$

$$a = -\mu_k g$$

لذا فإن المسافة تساوي

$$d = \frac{v_0^2}{2\mu_k g}$$

$$= \frac{(9.4\ \text{m/s})^2}{(2)(0.55)(9.80\ \text{m/s}^2)} = 8.2\ \text{m}$$

116. يرفع محـــرك قدرته 188 W حمـــلاً بمعدل (سرعة) 6.50 cm /s. ما مقـــدار أكبر حمل يمكن للمحرك أن يرفعه عند هذا المعدل؟ (فيزياء 2)

$$v = 6.50\ \text{cm/s} = 0.0650\ \text{m/s}$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = F(\frac{d}{t}) = Fv$$

$$P = F_g v$$

$$F_g = \frac{P}{v} = \frac{188\ \text{W}}{0.0650\ \text{m/s}} = 2.89 \times 10^3\ \text{N}$$

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. غاز حجمه 10.0 L محصور في أسطوانة قابلة للتمدد، فإذا تضاعف الضغط ثلاث مرات وازدادت درجة الحرارة 80.0 % عند قياسها بمقياس كلفن، فما الحجم الجديد للغاز؟

(A) 2.70 L (C) 16.7 L

(B) 6.00 L (D) 54.0 L

2. حجم عينة من غاز النيتروجين يساوي $0.080\ m^3$ عند ضغط جوي معياري 101.3 kPa، فإذا كان يوجد 3.6 mol من الغاز، فما مقدار درجة الحرارة؟

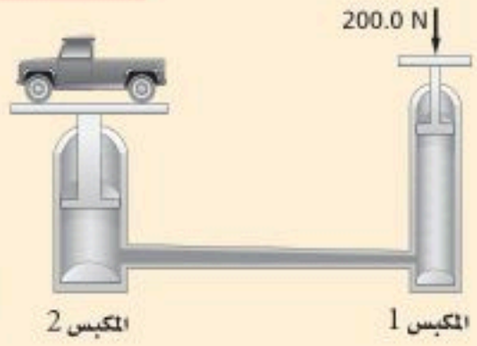
(A) 0.27 K (C) 0.27 °C

(B) 270 K (D) 270 °C

3. يؤثر عامل بقوة مقدارها 200.0 N في مكبس مساحته $5.4\ cm^2$، فإذا كان هذا المكبس هو المكبس الأول لرافعة هيدروليكية، كما هو موضح في الرسم أدناه، فما مقدار الضغط المؤثر في المائع الهيدروليكي؟

(A) 3.7×10^1 Pa (C) 3.7×10^3 Pa

(B) 2.0×10^3 Pa (D) 3.7×10^5 Pa



4. إذا كان المكبس الثاني في الرسم أعلاه يؤثر بقوة مقدارها 41000 N، فما مساحة المكبس الثاني؟

(A) $0.0049\ m^2$ (C) $0.11\ m^2$

(B) $0.026\ m^2$ (D) $11\ m^2$

5. ما مقدار الوزن الظاهري لنموذج مصنوع من خشب خاص كثافته $1.10\ g/cm^3$، إذا أزاح 786 ml ماءً، عندما غُمر في بحيرة من الماء العذب؟

(A) 0.770 N (C) 7.70 N

(B) 0.865 N (D) 8.47 N

6. ما مقدار قوة الطفو لجسم كتلته 17 kg إذا أزاح 85 L من الماء؟

(A) 1.7×10^2 N (C) 1.7×10^5 N

(B) 8.3×10^2 N (D) 8.3×10^5 N

7. أي الأجسام الآتية لا يحتوي على مادة في حالة البلازما؟

(A) إضاءة النيون (C) البرق

(B) النجوم (D) المصابيح العادية

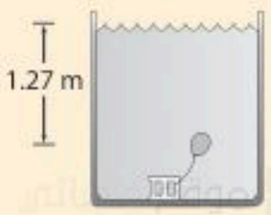
8. ما كتلة عينة من غاز ثاني أكسيد الكربون حجمها 365 ml عند ضغط جوي 3.0 (1 atm = 101.3 kPa) ودرجة حرارة 24 °C، إذا علمت أن الكتلة المولية لثاني أكسيد الكربون 44.0 g /mol؟

(A) 0.045 g (C) 45 g

(B) 2.0 g (D) 2.0 kg

الأسئلة الممتدة

9. بالون مملوء بالهواء حجمه 125 ml عند ضغط جوي معياري 101.3 kPa. فإذا استقر البالون على عمق 1.27 m تحت سطح الماء في بركة سباحة، كما في الشكل، فما الحجم الجديد للبالون؟



$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2}$$

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_{\text{جوي}} + \rho hg}$$

$$V_2 = \frac{(101.3 \times 10^3\ \text{Pa})(125\ \text{ml})}{101.3 \times 10^3\ \text{Pa} + (1.00 \times 10^3\ \text{kg/m}^3)(1.27\ \text{m})(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 111\ \text{ml}$$

موقع واجباتي