# الفصل 11

استاتيكا الموائع

مخطط الفصل

11-1 ما المائع؟

• ذكر الأطوار الشائعة للمادة.

• شرح الخصائص الفيزيائية للمواد الصلبة والسوائل والغازات.

• وصف ترتيب الذرات في المواد الصلبة والسوائل والغازات.

11-2 الكثافة

• تَعريف الكثافة.

• حساب كتلة خزان من كثافة السائل داخله.

• مقارنة بين كثافات المواد المختلفة.

11-3 الضغط

• تعريف الضغط.

• شرح العلاقة بين الضغط والقوة.

• حساب القوة عند معرفة الضغط والمساحة.

11-4 تغير الضغط بتغير العمق في الموائع

• تعريف الضغط من حيث الوزن.

• شرح اختلاف الضغط مع العمق في الموائع.

• حساب الكثافة عند معرفة الضغط والارتفاع.

11-5 مبدأ باسكال

• تعريف الضغط.

• ذكر نص مبدأ باسكال.

• فهم تطبيقات مبدأ باسكال.

• اشتقاق علاقات بين القوى في نظام هيدروليكي.

11-6 ضغط المقياس والضغط المطلق وقياس الضغط

• تعريف ضغط المقياس والضغط المطلق.

• فهم عمل البارومترات.

11-7 مبدأ أرشيميدس

• تعريف قوة الطفو.

• ذكر نص مبدأ أرشيميدس.

• فهم لماذا تطفو الأشياء أو تغوص.

• فهم العلاقة بين الكثافة ومبدأ أرشيميدس.

11-8 التماسك والالتصاق في السوائل: الشد السطحي والخاصية الشعرية

• فهم قوى التماسك والالتصاق.

• تعريف الشد السطحي.

• فهم الخاصية الشعرية.

11-9 الضغوط في جسم الإنسان

• شرح مفهوم الضغط في جسم الإنسان.

• شرح ضغط الدم الانقباضي والانبساطي.

• وصف الضغوط في العين والرئتين والعمود الفقري والمثانة والجهاز الهيكلي.

**مقدمة عن استاتيكا الموائع** الكثير مما نقدره في الحياة هو مائع: نسمة من هواء الربيع المنعش؛ اللهب الأزرق الساخن في موقد الغاز؛ الماء الذي نشربه ونسبح فيه ونستحم به. الدم في عروقنا. ما المائع بالضبط؟ هل يمكننا فهم الموائع عن طريق القوانين المقدمة بالفعل، أم ستظهر لنا قوانين جديدة من دراستها؟ الخصائص الفيزيائية للموائع الساكنة أو الثابتة وبعض القوانين التي تحكم سلوكهم هي موضوع هذا الفصل. تستكشف **ديناميكا الموائع وتطبيقاتها البيولوجية والطبية** تستكشف تدفق الموائع.

## 11-1 ما هو المائع؟

الصور الأكثر شيوعًا للمادة هي الصورة الصلبة والسائلة والغازية والبلازما؛ تُعرف هذه الحالات **بالأطوار الشائعة للمادة**. المواد الصلبة لها شكل وحجم محددين، والسوائل لها حجم محدد ولكن شكلها يتغير اعتمادًا على الحاوية التي تُحفظ بها، وليس للغازات شكل ولا حجم محددين؛ حيث تتحرك جزيئاتها لملئ الحاوية التي تُحفظ بها. البلازما ليس لها شكل ولا حجم محددين، أيضًا. (انظر الشكل 11-2.) تُعتبر السوائل والغازات والبلازما موائع لأنها تخضع لقوى القص، بينما تقاومها المواد الصلبة. لاحظ أن مدى خضوع الموائع إلى قوى القص (وبالتالي التدفق بسهولة وسرعة) يعتمد على كمية تسمى اللزوجة والتي سيتم مناقشتها بالتفصيل في **اللزوجة والسريان الطبقى؛ قانون بوازوي**. يمكننا أن نفهم أطوار المادة وما الذي نعتبره مائع، من خلال التفكير في القوى بين الذرات التي تكون المادة في الأطوار الثلاثة.

A screenshot of a map

Description automatically generated with medium confidence

الشكل 11-2 (أ) يكون للذرات الموجودة في المادة الصلبة، دائمًا، نفس الجيران المثبتة بالقرب من منازلها بواسطة قوى- مُمَثلة هنا بزنبركات. هذه الذرات، ترتبط ببعضها البعض. الصخرة مثال على المواد الصلبة. تحتفظ هذه الصخرة بشكلها بسبب القوى التي تثبت ذراتها معًا. (ب) ترتبط الذرات الموجودة في السائل ارتباطًا وثيقًا ولكن يمكن أن تنزلق فوق بعضها البعض. تقاوم القوى بين الذرات بشدة محاولات تقريبهم من بعضهم البعض وأيضًا تحافظ على ارتباطهم معًا. الماء مثال على السوائل. يمكن أن يتدفق الماء، لكنه يبقى أيضًا في أي وعاء مفتوح بسبب القوى بين ذراته. (ج) الذرات في الغاز مفصولة- عن بعضها البعض- بمسافات أكبر بكثير من حجم الذرات نفسها، وتتحرك بحرية. يجب وضع الغاز في حاوية مغلقة لمنعه من الخروج. (د) تتكون البلازما من إلكترونات وبروتونات وأيونات متباعدة عن بعضها وتتحرك بحرية، مثل الغازات.

تكون الذرات في المواد الصلبة على ارتباط وثيق، بواسطة قوى بينية تسمح للذرات بالاهتزاز ولكن دون تغيير مواقعها. (يمكن اعتبار هذه القوى زنبركات يمكن شدها أو انضغاطها، ولكن ليس من السهل كسرها.) وبالتالي فإن المادة الصلبة تقاوم جميع أنواع الإجهاد. لا يمكن تشويه المادة الصلبة بسهولة لأن الذرات التي تتكون منها المادة الصلبة غير قادرة على التحرك بحرية. تقاوم المواد الصلبة أيضًا الانضغاط، لأن ذراتها تشكل هيكل شبكي تكون فيها الذرات على نفس المسافة من بعضها البعض. عند الانضغاط، تجبر الذرات على دفع بعضها البعض. تضمنت معظم الأمثلة التي درسناها حتى الآن أجسامًا صلبة لا تتشوه كثيرًا عند إجهادها.

#### عمل روابط: تفسير دون المجهري للمواد الصلبة والسوائل

تُفسْر الخصائص الذرية والجزيئية الخصائص العيانية للمواد الصلبة والسوائل. هذا التفسير دون المجهري هو أحد موضوعات هذا الكتاب ويُسلَط الضوء عليه في الخصائص الكبيرة والصغيرة في **حفظ الزخم**. انظر، على سبيل المثال، الوصف المجهري للتصادم والزخم أو الوصف المجهري للضغط في الغاز. هذا الجزء مكرس بالكامل للتفسير دون المجهري للمواد الصلبة والسوائل.

في المقابل، تتشوه السوائل بسهولة عند إجهادها ولا تعود إلى شكلها الأصلي بمجرد زوال القوة؛ لأن الذرات حرة الانزلاق ويمكنها تغيير جيرانها - أي أنها تتدفق (لذا فهي نوع من الموائع)، ولكن الجزيئات متماسكة معًا بسبب التجاذب المتبادل. عند وضع سائل في وعاء دون غطاء، فإنه يبقى في الوعاء (بشرط عدم وجود ثقوب في الحاوية تحت سطح السائل!). لأن الذرات متماسكة بشكل وثيق، فإن السوائل، مثل المواد الصلبة، تقاوم الانضغاط.

الذرات في الغازات والجسيمات المشحونة في البلازما مفصولة متباعدة بمسافة كبيرة مقارنة بحجم الجزيئات. وبالتالي، فإن القوى بين الجسيمات ضعيفة جدًا، إلا عندما تصطدم ببعضها البعض. وبالتالي فإن الغازات والبلازما لا تتدفق فقط (وبالتالي تعتبر موائع) ولكن أيضًا من السهل نسبيًا انضغاطها؛ نظرًا لوجود مساحة كبيرة وقوة قليلة بين الجزيئات. عند وضعها في حاوية مفتوحة، على عكس السوائل، فإن الغازات سوف تهرب. الفرق الرئيسي هو أن الغازات تُنضغط بسهولة، في حين أن السوائل لا تنضغط. يصعب احتواء البلازما لأنها تحتوي على الكثير من الطاقة. عند مناقشة كيفية تدفق المواد، سنشير عمومًا إلى كل من الغازات والسوائل ببساطة **بموائع**، ونفرق بينهما فقط عند تصرف أحدهما بطريقة مختلفة عن الآخر.

## 11-2 الكثافة

ما الذي يزن أكثر، طن من الريش أم طن من الطوب؟ هذا اللغز القديم يستغل الفرق بين الكتلة والكثافة. الطن له نفس الكتلة، بالطبع. لكن الطوب له كثافة أكبر بكثير من الريش، لذا فإننا نميل إلى التفكير فيه على أنه أثقل.

(انظر الشكل 11).

الكثافة، كما سترى، هي خاصية مهمة للمواد. إنها جوهرية، على سبيل المثال، لتحديد ما إذا كان كائن يغوص أو يطفو في سائل. الكثافة هي الكتلة لكل وحدة حجم لمادة أو كائن. في شكل معادلة، تُعرف الكثافة

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑1 |  |

يُشار إلى الكثافة بالحرف اليوناني \*\*\*\*\*\*\* (rho)، \*\*\*\*\*\*\* الكتلة و \*\*\*\*\*\*\* الحجم الذي تشغله المادة.

#### كثافة

الكثافة هي الكتلة لكل وحدة حجم.

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑2 |  |

حيث \*\*\*\*\*\* الكثافة ، \*\*\*\*\*\* الكتلة، \*\*\*\*\*\*\*\* الحجم الذي تشغله المادة

في لغز الريش والطوب، الكتل متساوية، لكن الحجم الذي يشغله الريش أكبر بكثير، لأن كثافته أقل بكثير. وحدة النظام الدولي للكثافة هي \*\*\*\*\*\*\* ، بعض الكثافات معطاة في الجدول 11-1. النظام المتري أنشئ بحيث تكون كثافة الماء \*\*\*\*\*\*\* وهذا يكافئ \*\*\*\*\*\*\* . لذلك اختيرت الوحدة الأساسية للكتلة ( \*\*\*\*\*\*\*) لتساوي \*\*\*\*\*\*\* من الماء، والذي له حجم \*\*\*\*\*\*\* .

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| المادة |  | المادة |  | المادة |  |
| المواد الصلبة |  | السوائل |  | الغازات |  |
| الألومنيوم | 2.7 | المياه \*\*\*\*\* | 1.000 | الهواء |  |
| النحاس (الأصفر) | 8.44 | الدم | 1.05 | ثاني أكسيد الكربون |  |
| النحاس (متوسط) | 8.8 | ماء البحر | 1.025 | أول أكسيد الكربون |  |
| الذهب | 19.32 | الزئبق | 13.6 | الهيدروجين | 0.090 |
| الحديد أو الصلب | 7.8 | كحول الإيثانول | 0.79 | الهيليوم |  |
| الرصاص | 11.3 | بنزين | 0.68 | الميثان | 0.72 |
| البوليسترين | 0.10 | جلسرين | 1.26 | النيتروجين |  |
| التنغستن | 19.30 |  |  | أكسيد النيتروز | 1.98 |
| اليورانيوم | 18.70 |  |  | أكسجين | 1.43 |
| الخرسانة | 2.30-3.0 |  |  | بخار \*\*\*\*\* | 0.60 |
| الفلين | 0.24 |  |  |  |  |
| الزجاج (متوسط) | 2.6 |  |  |  |  |
| الجرانيت | 2.7 |  |  |  |  |
| قشرة الأرض | 3.3 |  |  |  |  |
| الخشب | 0.3-0.9 |  |  |  |  |
| الجليد \*\*\* | 0.917 |  |  |  |  |
| العظام | 1.7-2.0 |  |  |  |  |
| الفضة | 10.49 |  |  |  |  |

الجدول 11-1 كثافات المواد المختلفة

Text, whiteboard

Description automatically generated

شكل 11-4 طن من الريش وطن من الطوب لهما نفس الكتلة ، لكن الريش يصنع كومة أكبر بكثير لأن كثافته أقل بكثير.

كما ترى من خلال فحص الجدول 11-1، قد تساعد كثافة كائن ما في تحديد تركيبه. كثافة الذهب، على سبيل المثال ، تبلغ حوالي 2.5 مرة كثافة الحديد، أي حوالي 2.5 ضعف كثافة الألومنيوم. تكشف الكثافة أيضًا شيئًا عن طور المادة وبنيتها. لاحظ أن كثافات السوائل والمواد الصلبة متقاربة، بما يتفق مع حقيقة أن ذراتهم مرتبطة ارتباط وثيقة ببعضها البعض. كثافة الغازات أقل بكثير من تلك للسوائل والمواد الصلبة، لأن الذرات في الغازات مفصولة عن بعضها البعض بكميات كبيرة من الفضاء الفارغ.

#### تجربة منزلية: السكر والملح

تبدو كومة من السكر وكومة من الملح متشابهتين جدًا، لكن أيهما يزن أكثر؟ إذا كان حجماهما متساويين، فإن أي اختلاف في الكتلة يرجع إلى الكثافة المختلفة (بما في ذلك الفضاء الهوائى بين البلورات). أيهما تعتقد أنه له كثافة أكبر؟ ما قيمة كثافتيهما؟ ما الطريقة التي استخدمتها لتحديد هاتين القيمتين؟

مثال 11-1

**حساب كتلة الخزان من حجمه**

خزان تبلغ مساحة سطحه \*\*\*\*\* وعمقه 40.0 م. ما كتلة المياه الموجودة خلف السد؟ (انظر الشكل 11-5 للاطلاع على منظر خزان كبير - موقع سد الممرات الثلاثة على نهر اليانغتسي في وسط الصين.)

طريقة الحل

يمكننا حساب حجم الخزان من أبعاده وإيجاد كثافة الماء من الجدول 11-1. ثم يمكننا بعدها إيجاد الكتلة من تعريف الكثافة

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑3 |  |

**الحل**

يمكننا حساب الكتلة \*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

حجم الخزان \*\*\*\*\*\*\* هو مساحته \*\*\*\*\* مضروبة في عمقه \*\*\*\*\*\* :

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑4 |  |

كثافة الماء \*\*\* من الجدول 11-1 هي \*\*\*\*\*\*\* . بالتعويض عن \*\*\*\*\*\* و \*\*\*\*\*\*\* في تعبير الكتلة يعطينا

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑5 |  |

المناقشة

يحتوي خزان كبير على كتلة كبيرة جدًا من الماء. في هذا المثال، وزن الماء في الخزان هو \*\*\*\*\*\*\* حيث \*\*\*\*\* التسارع الناتج عن جاذبية الأرض (حوالي \*\*\*\*\*\*\*\* ). من المعقول أن نسأل عما إذا كان يجب أن يوفر السد قوة مساوية لهذا الوزن الهائل. الجواب لا. كما سنرى في الأجزاء التالية، فإن القوة التي يجب أن يوفرها السد يمكن أن تكون أصغر بكثير من وزن الماء الذي يحجزه.

A picture containing mountain, outdoor, sky, nature

Description automatically generated

الشكل 11-5 سد الممرات الثلاثة في وسط الصين. عند اكتماله في عام 2008 ، أصبح أكبر محطة للطاقة الكهرومائية في العالم ، حيث يولد طاقة مكافئة لتلك التي تولدها 22 محطة طاقة نووية متوسطة الحجم. يبلغ ارتفاع السد الخرساني 181 م وعرضه 2.3 كم. يبلغ طول خزانه 660 كم. نزح أكثر من مليون شخص بسبب إنشاء الخزان.   
(credit: le grand portage)

### 11-3 الضغط

لا شك أنك سمعت كلمة **الضغط** تُستخدم عن الحديث عن الدم (ضغط الدم المرتفع أو المنخفض) وعن الطقس (أنظمة الطقس ذات الضغط المرتفع والمنخفض). هذان مجرد مثالين من أمثلة عديدة للضغوط في الموائع. يُعرّف الضغط على أنه

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑6 |  |

حيث \*\*\*\*\* هي القوة المطبقة على مساحة ÷÷÷÷÷ عمودية على القوة.

#### الضغط

يُعرف **الضغط** على أنه القوة مقسومة على المساحة العمودية على القوة المطبقة، أو

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑7 |  |

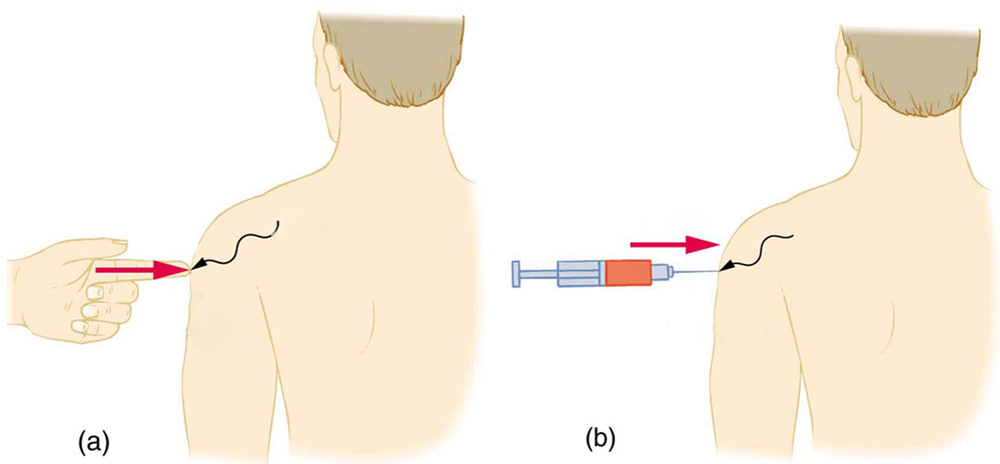
يمكن أن يكون لقوة معينة تأثير مختلف تمامًا اعتمادًا على المساحة التي تطبق عليها القوة ، كما هو موضح في الشكل 11-6. وحدة النظام الدولي للضغط هي الباسكال، حيث

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑8 |  |

بالإضافة إلى الباسكال، هناك العديد من وحدات الضغط الأخرى الشائعة الاستخدام. في الأرصاد الجوية، يوصف الضغط الجوي غالبًا بوحدة المليبار (mb) ، حيث

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑9 |  |

لا تزال تُستخدم وحدة الرطل لكل بوصة مربعة ( \*\*\*\*\*\*\*\*\* أو \*\*\*\*\*\*\* ) أحيانًا عند قياس ضغط الإطارات، ولا يزال يُستخدم الملليمتر زئبق (مم زئبق) عند قياس ضغط الدم. يُعرف الضغط لجميع حالات المادة ولكنه مهم بشكل خاص عند مناقشة الموائع.

  
الشكل 11-6 (أ) في حين أن الشخص الذي يُوخَزُ بإصبع يصبح غاضبًا، فإن القوة المطبقة لها تأثير ضئيل. (ب) على النقيض من ذلك، فإن نفس القوة المطبقة على مساحة مساوية لمساحة الطرف الحاد للإبرة كبيرة بما يكفي لاختراق الجلد.

مثال 11-2

**حساب القوة التي يمارسها الهواء: ما القوة التي يمارسها الضغط؟**

يعمل رائد فضاء خارج محطة الفضاء الدولية حيث يكون الضغط الجوي صفر. يقرأ مقياس الضغط على خزان الهواء الخاص به \*\*\*\*\*\*\*\*\* . ما القوة التي يبذلها الهواء داخل الخزان على الطرف المسطح للخزان الأسطواني ، الذي قطره 0.150 م؟

طريقة الحل

يمكننا إيجاد القوة التي تٌمارس من تعريف الضغط \*\*\*\*\*\*\*\* ، بشرط أن نتمكن من إيجاد المساحة \*\*\*\*\*\*\* التي يؤثرعليها.

الحل

من خلال إعادة ترتيب تعريف الضغط لحساب القوة ، نرى أن

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑10 |  |

الضغط \*\*\*\*\* معطى، ويمكن حساب مساحة نهاية الأسطوانة \*\*\*\*\*\* من العلاقة \*\*\*\*\*\*\* . لذلك ،

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑11 |  |

المناقشة

مذهل! لا عجب أن الخزان يجب أن يكون قويًا. لأن \*\*\*\*\*\*\* ، نرى أن القوة التي يمارسها الضغط تتناسب طرديًا مع المساحة المتأثرة والضغط نفسه.

القوة المؤثرة على نهاية الخزان عمودية على سطحه الداخلي. لأن سبب القوة المؤثرة هو سائل ساكن. لقد رأينا بالفعل أن السوائل لا يمكنها تحمل قوى القص (الجانبية) ولا يمكنها ممارسة قوى القص، أيضًا. ضغط المائع ليس له اتجاه، لأنه كمية قياسية. القوى الناتجة عن الضغط لها اتجاهات معروفة جيدًا: تكون دائمًا عمودية على أي سطح. (انظر الإطار في الشكل 11-7، على سبيل المثال). أخيرًا، لاحظ أن الضغط يُمارس على جميع الأسطح. السباحون، وكذلك الإطارات، يشعرون بالضغط من جميع الجوانب. (انظر الشكل 11-8.)

Diagram

Description automatically generated

شكل 11-7 الضغط داخل هذا الإطار يمارس قوى عمودية على جميع الأسطح التي يتصل بها. تمثل الأسهم اتجاهات ومقادير القوى المبذولة عند نقاط مختلفة. لاحظ أن السوائل الساكنة لا تمارس قوى القص.

Diagram

Description automatically generated

شكل 11-8 هناك ضغط على جميع جوانب هذا السباح، لأن الماء كان ليتدفق إلى الفضاء الذي يشغله، إذا لم يكن السباح هناك. تمثل الأسهم اتجاهات ومقادير القوى المؤثرة في نقاط مختلفة على السباح. لاحظ أن القوى أكبر في الأسفل، نظرًا لزيادة العمق، مما يعني قوة محصلة لأعلى أو قوة طفو تتوازن مع وزن السباح.

## 11-4 تغير الضغط بتغير العمق في مائع

إذا فرقعة أذنيك على متن طائرة أو شعرت بألم أثناء الغوص العميق في حمام السباحة، فقد جربت تأثير العمق على الضغط في مائع. على سطح الأرض، ضغط الهواء الذي يُمارس عليك هو نتيجة وزن الهواء فوقك. ينخفض هذا الضغط مع صعودك إلى ارتفاع عالي؛ لأن وزن الهواء فوقك يقل. تحت الماء، يزداد الضغط المؤثر عليك بزيادة العمق. في هذه الحالة، يكون الضغط الذي يُمارس عليك نتيجة لوزن الماء ووزن الغلاف الجوي فوقك. قد تلاحظ تغير في ضغط الهواء خلال استخدامك للمصعد الذي ينقلك بين العديد من الطوابق، لكنك تحتاج فقط للغوص حوالي متر تحت سطح حمام السباحة، لتشعر بزيادة الضغط. الفرق أن الماء أكثر كثافة من الهواء، حيث تبلغ كثافته 775 مرة كثافة الهواء.

فكر في الحاوية في الشكل 11-9. قاعها يدعم وزن المائع فيه. فلنحسب الضغط الذي يُمارسه وزن المائع على القاع. هذا **الضغط** هو وزن المائع \*\*\*\*\*\* مقسومًا على المساحة \*\*\*\*\*\* التي تدعمه (مساحة قاع الحاوية):

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑12 |  |

يمكننا حساب كتلة المائع من كثافته وحجمه:

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑13 |  |

يمكن حساب الحجم \*\*\*\*\* من أبعاد الحاوية.

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑14 |  |

حيث \*\*\*\*\*\* مساحة مقطع الحاوية و \*\*\*\*\*\*\* هي عمق الحاوية. دمج المعادلتين السابقتين يعطينا

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑15 |  |

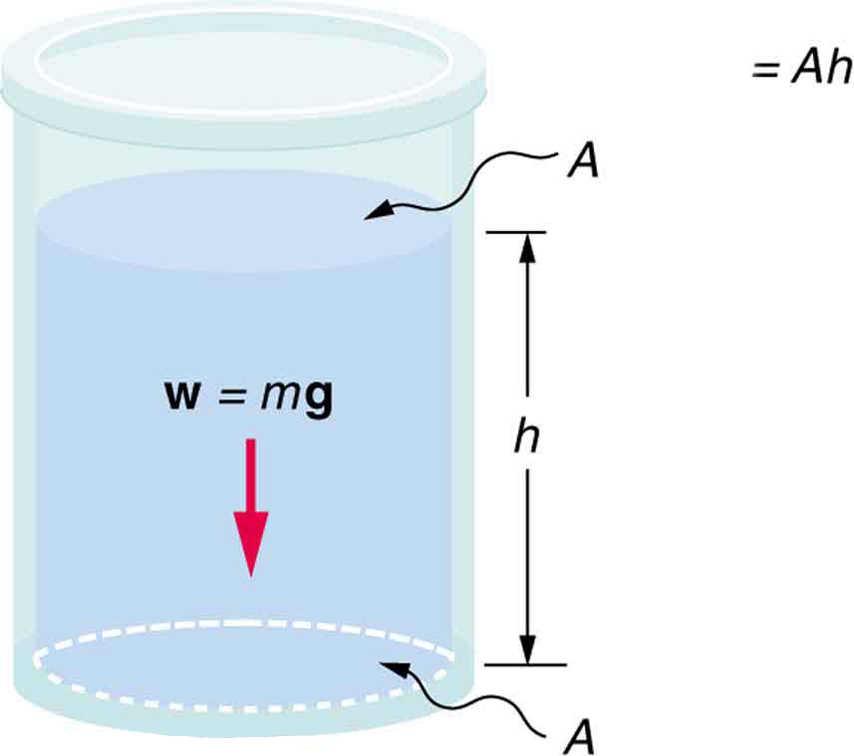
إذا عوضنا في هذا التعبير عن الضغط ، نحصل على

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑16 |  |

تتلاشى المساحة، إذا أعدنا ترتيب المتغيرات نحصل على

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑17 |  |

هذه القيمة هي الضغط الناتج عن وزن المائع. المعادلة لها صلاحية عامة تتجاوز الشروط الخاصة التي اشتُقت بموجبها هنا. حتى لو لم تكن الحاوية موجودة، فسيظل المائع المحيط يمارس هذا الضغط، مما يبقي السائل ساكنًا. وبالتالي فإن المعادلة \*\*\*\*\*\*\* تمثل الضغط الناتج عن وزن أي مائع متوسط الكثافة عند أي عمق تحت سطحه. فيما يخص السوائل التي تكاد تكون غير قابلة للانضغاط، فإن هذه المعادلة صحيحة مع الأعماق الكبيرة. فيما يخص الغازات القابلة للانضغاط، يمكن للمرء تطبيق هذه المعادلة مادامت تغيرات الكثافة صغيرة عند العمق المطلوب. يوضح المثال 11-4 هذا الموقف.



الشكل 11-9 يدعم الجزء السفلي من هذه الحاوية الوزن الكامل للمائع الموجود فيه. لا يمكن للجوانب الرأسية أن تمارس قوة لاعلى على المائع (لأنه لا يمكنه تحمل قوة القص)، وبالتالي يجب أن يدعم القاع كل شيء.

مثال 11-3

**حساب متوسط الضغط والقوة المؤثرة: ما القوة التي يجب أن يتحملها السد؟**

في المثال 11-1، حسبنا كتلة الماء في خزان كبير. سنفكر الآن في الضغط والقوة المؤثرة على السد الذي يحتفظ بالمياه. (انظر الشكل 11-10) يبلغ عرض السد 500 متر، وعمق المياه 80.0 متر. (أ) ما متوسط الضغط على السد بسبب المياه؟ (ب) احسب القوة المؤثرة على السد وقارنها بوزن الماء في السد (وجد سابقاً \*\*\*\*\*\*\*\*\*\* ).

طريقة الحل لـ (أ)

متوسط الضغط \*\*\*\*\*\*\*\*\* بسبب وزن الماء هو الضغط عند متوسط العمق \*\*\*\*\*\*\*\* 40.0 م ، لأن الضغط يزداد خطيًا مع العمق.

الحل لـ (أ)

متوسط الضغط بسبب وزن السائل هو

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑18 |  |

بالتعويض عن كثافة الماء من الجدول 11-1 و عن قيمة \*\*\*\*\* بـ \*\*\*\*\*\* ، نحصل على

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑19 |  |

طريقة الحل لـ (ب)

القوة التي يمارسها الماء على السد هي جداء متوسط الضغط ومساحة الاتصال:

الحل لـ (ب)

حصلنا بالفعل على قيمة \*\*\*\*\*\* . مساحة السد \*\*\*\*\*\*\* ، لذلك

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑20 |  |

المناقشة

على الرغم من أن هذه القوة تبدو كبيرة، إلا أنها صغيرة مقارنة بوزن الماء في الخزان ( \*\*\*\*\*\*\* ) - في الواقع، إنها فقط \*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\* من الوزن. لاحظ أن الضغط المحسوب في الجزء (أ) مستقل تمامًا عن عرض وطول البحيرة - فهو يعتمد فقط على متوسط عمقها عند السد. وهكذا، فإن القوة تعتمد فقط على متوسط عمق المياه وأبعاد السد، وليس على الاتساع الأفقي للخزان. في المخطط، يزداد سمك السد مع العمق لموازنة القوة المتزايدة بسبب الضغط المتزايد.

A picture containing chart

Description automatically generated

الشكل 11-10 يجب أن يتحمل السد القوة التي تمارسها ضده المياه التي يحتفظ بها. هذه القوة صغيرة مقارنة بوزن الماء خلف السد.

الضغط الجوي هو مثال آخر على الضغط بسبب وزن مائع. سبب الضغط الجوي هو وزن الهواء عند ارتفاع معين. يختلف الضغط الجوي على سطح الأرض قليلاً بسبب التدفق الواسع النطاق للهواء الناجم عن دوران الأرض (يؤدي هذا إلى "ارتفاع" و "انخفاض" في الطقس). ومع ذلك، فإن متوسط الضغط عند سطح البحر هو الضغط الجوي القياسي \*\*\*\*\* ، وقيمته المقاسة هي

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑21 |  |

هذه العلاقة تعني أن، متوسط وزن عمود هواء مساحته \*\*\*\*\*\*\* على سطح الأرض، عند مستوى سطح البحر، يساوي \*\*\*\*\*\*\* ، ويكافئ \*\*\*\*\*\*\*\* . انظر الشكل (11-11)

Diagram

Description automatically generated

الشكل 11-11 متوسط الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر \*\*\*\*\*\*\*\*\*\* (ما يعادل 1 ضغط جوي) ، لأن عمود الهواء فوق \*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\* من سطح الأرض والممتد إلى الجزء العلوي من الغلاف الجوي يزن \*\*\*\*\*\*\*\* .

مثال 11-4

**حساب متوسط الكثافة: ما مدى كثافة الهواء؟**

احسب متوسط كثافة الغلاف الجوي، إذا علمت أنه يمتد إلى ارتفاع 120 كم. قارن هذه الكثافة مع كثافة الهواء المدرجة في الجدول 11-1.

طريقة الحل

يمكننا حساب الكثافة من العلاقة \*\*\*\*\*\*\*\*، لذا

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑22 |  |

بالتعويض عن قيمة \*\*\*\*\* بالضغط الجوي و قيمة \*\*\*\*\*\* المعطاة و قيمة \*\*\*\* المعلومة ، يمكننا حساب \*\*\*\*\* .

**الحل**

بالتعويض عن القيم المعلومة في تعبير \*\*\*\*\*\*\* نحصل على

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑23 |  |

المناقشة

هذه النتيجة هي متوسط كثافة الهواء بين سطح الأرض وقمة الغلاف الجوي للأرض، والذي ينتهي على ارتفاع 120 كم. ترد كثافة الهواء عند مستوى سطح البحر في الجدول 11-1 وتساوي \*\*\*\*\*\*\*\*\* - حوالي 15 ضعف متوسط قيمتها. لأن الهواء قابل للانضغاط، فإن أعلى قيمة لكثافته تكون بالقرب من سطح الأرض وتنخفض بسرعة مع الارتفاع.

مثال 11-5

**حساب العمق تحت سطح الماء: ما عمق الماء الذي يُسبب نفس الضغط مثل الغلاف الجوي بأكمله؟**

احسب العمق تحت سطح الماء الذي يُسبب عنده وزن الماء ضغط يساوي 1.00 ضغط جوي.

طريقة الحل

نبدأ بحل المعادلة \*\*\*\*\*\*\*\* لحساب العمق \*\*\*\*\*\*\*\*\* :

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑24 |  |

نعوض عن \*\*\*\*\* بـ \*\*\*\*\*\*\* و \*\*\*\*\*\* بكثافة الماء.

الحل

بالتعويض عن القيم المعلومة في تعبير \*\*\*\*\*\* ، نحصل على

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑25 |  |

المناقشة

10.3 م فقط من الماء تولد نفس الضغط الناتج عن 120 كم من الهواء. نظرًا لأن الماء غير قابل للانضغاط تقريبًا، يمكننا إهمال أي تغير في كثافته عند هذا العمق.

ما الضغط الكلي عند عمق 10.3 متر في حمام سباحة؟ هل الضغط الجوي على سطح الماء يؤثر على الضغط أدناه؟ الجواب نعم. يبدو هذا منطقيًا جدًا، حيث يجب دعم كل من وزن الماء ووزن الغلاف الجوي. لذا فإن الضغط الكلي على عمق 10.3 م هو 2 ضغط جوي - نصفه من الماء ونصفه الآخر من الهواء أعلاه. سنرى في **مبدأ باسكال** أن ضغوط الموائع تُجمع دائمًا بهذه الطريقة.

## 11-5 مبدأ باسكال

يُعرّف **الضغط** بأنه القوة لكل وحدة مساحة. هل يمكن زيادة الضغط في مائع عن طريق الضغط مباشرة على المائع ؟ نعم، ولكن من أسهل كثيرًا إذا كان المائع محبوس. فى القلب، على سبيل المثال، يُرفع ضغط الدم عن طريق الضغط المباشر على الدم في نظام مغلق (الصمامات مغلقة في غرفة). إذا حاولت الضغط على سائل في نظام مفتوح، مثل نهر، فإن السائل يتدفق بعيدًا. لا يمكن أن يتدفق السائل المحبوس بعيدًا، وبالتالي يزداد الضغط بسهولة أكبر نتيجة للقوة المطبقة.

ماذا يحدث للضغط في مائع محبوس؟ لأن الذرات الموجودة في المائع لها حرية الحركة، فإنها تنقل الضغط إلى جميع أجزاء المائع وإلى جدران الحاوية. بشكل ملحوظ، ينتقل الضغط غير منقوص. تسمى هذه الظاهرة **بمبدأ باسكال**، لأن الفيلسوف والعالم الفرنسي بليز باسكال (1623-1662) هو أول من ذكرها: التغير في الضغط المطبق على مائع محبوس ينتقل دون أي نقصان إلى جميع أجزاء المائع وإلى جدران الحاوية له.

#### مبدأ باسكال

ينتقل التغير في الضغط المطبق على مائع محبوس إلى جميع أجزاء المائع وإلى جدران الحاوية له.

مبدأ باسكال، وهو حقيقة مثبتة تجريبياً، وهذا ما يجعل الضغط مهمًا جدًا في الموائع. نظرًا لأن التغير في الضغط ينتقل غير منقوص في مائع محبوس، غالبًا، ما نعرف عن الضغط أكثر مما نعرف الكميات الفيزيائية الأخرى في الموائع. علاوة على ذلك، يشير مبدأ باسكال إلى أن الضغط الكلي في المائع هو مجموع الضغوط من المصادر المختلفة. سنجد هذه الحقيقة - أن الضغوط تُجمع - مفيدة للغاية.

عاش بليز باسكال حياة مثيرة للاهتمام حيث أنه تلقى تعليمه في المنزل من قبل والده الذي أزال جميع كتب الرياضيات المدرسية من منزله ونهى عنه دراسة الرياضيات حتى سن الخامسة عشر. هذا بالطبع رفع من فضول الصبى. في سن الثانية عشرة، بدأ بتعليم نفسه الهندسة الرياضية. على الرغم من هذا الحرمان المبكر، استمر باسكال في تقديم مساهمات كبيرة في المجال الرياضي نظرية الاحتمالات، ونظرية الأعداد، والهندسة. وهو معروف أيضًا بكونه مخترع أول آلة حاسبة رقمية ميكانيكية، بالإضافة إلى مساهماته في مجال الموائع الساكنة.

### تطبيق لمبدأ باسكال

يوجد أحد أهم التطبيقات التكنولوجية لمبدأ باسكال في النظم الهيدروليكية، وهو نظام لمائع محبوس يُستخدم لممارسة قوى. أكثر الأنظمة الهيدروليكية شيوعًا هي تلك التي تُشغل فرامل السيارة. فلنفكر أولاً في النظام الهيدروليكي البسيط الموضح في الشكل 11-12.

Diagram

Description automatically generated

شكل 11-12 نظام هيدروليكي عادى به أسطوانتان مملوءتان بمائع، ومغطاتان بمكبسين ومتصلتان بأنبوب يسمى الخط الهيدروليكي. القوة لأسفل على المكبس الأيسر تخلق ضغطًا ينتقل غير منقوص إلى جميع أجزاء السائل المحبوس. ينتج عن هذا قوة لأعلى على المكبس الأيمن أكبر لأن مساحة المكبس الأيمن أكبر.

### العلاقة بين القوى في النظم الهيدروليكية

يمكننا اشتقاق علاقة بين القوى في النظام الهيدروليكي البسيط الموضح في الشكل 11-12 من خلال تطبيق مبدأ باسكال. لاحظ أولاً أن المكبسين في النظام على نفس الارتفاع، وبالتالي لن يكون هناك فرق في الضغط بسبب اختلاف العمق. الآن، الضغط الناتج عن \*\*\*\*\*\*\* المؤثرة على المساحة \*\*\*\*\*\* هو ببساطة \*\*\*\*\*\*\*. وفقًا لمبدأ باسكال، ينتقل هذا الضغط غير منقوص في جميع أنحاء المائع وإلى جميع جدران الحاوية. وبالتالي، يشعر المكبس الآخر بضغط \*\*\*\*\*\* يساوي \*\*\*\*\*\*\*\*. أي أن \*\*\*\*\*\*\*\*\*\* .

لكن لأن \*\*\*\*\*\*\*\*، فإن \*\*\*\*\*\*\*\*\*\*.

توضح هذه المعادلة العلاقة بين نسب القوة إلى المساحة في أي نظام هيدروليكي، بما أن للمكابس نفس الارتفاع الرأسي و الاحتكاك في النظام لا يكاد يذكر. يمكن للأنظمة الهيدروليكية أن تزيد أو تقلل من القوة. لجعل القوة أكبر، يُطبق الضغط على مساحة أكبر. على سبيل المثال، إذا طبقت قوة مقدارها 100 نيوتن على الأسطوانة اليسرى في الشكل 11-12 وكانت مساحة الأسطوانة اليمنى أكبر بخمس مرات- الأسطوانة اليسرى-، فإن القوة الناتجة هي 500 نيوتن. تتشابه الأنظمة الهيدروليكية مع الرافعات البسيطة، ولكنها تتمتع بميزة أنه يمكن إرسال الضغط عبر خطوط منحنية ملتوية إلى عدة أماكن في آن.

مثال 11-6

**حساب قوة الاسطوانات التابعة: يضغط باسكال على المكابح**

فكر في النظام الهيدروليكي للسيارات الموضح في الشكل 11-13.

Diagram

Description automatically generated

الشكل 11-13 تستخدم الفرامل الهيدروليكية مبدأ باسكال. يبذل السائق قوة مقدارها 100 نيوتن على دواسة الفرامل. تزداد هذه القوة بواسطة الرافعة البسيطة ومرة أخرى بواسطة النظام الهيدروليكي. تستقبل كل من الأسطوانات التابعة المتطابقة نفس الضغط، وبالتالي تنتج نفس القوة \*\*\*\*\*\*\*\*\*. تُمثل مساحات المقطع العرضية الدائرية للأسطوانات الرئيسة والتابعة بـ \*\*\*\*\* و \*\*\*\*\*\*\* ، على التوالي.

تُطبق قوة مقدارها 100 نيوتن على دواسة الفرامل، والتي تؤثر على أسطوانة - تسمى الرئيسة – عن طريق رافعة. تُبذل قوة مقدارها 500 نيوتن على الأسطوانة الرئيسة. (يمكن للقارئ التحقق من أن القوة تبلغ 500 نيوتن باستخدام تقنيات الاستاتيكا من **تطبيقات الاستاتيكا، بما في ذلك استراتيجيات حل المشكلات**.) وينتقل الضغط الناتج في الأسطوانة الرئيسة إلى أربع أسطوانات تابعة. يبلغ قطر الأسطوانة الرئيسة 0.500 سم، ويبلغ قطر كل أسطوانة تابعة 2.50 سم. احسب القوة \*\*\*\*\*\* الناتجة في كل من الأسطوانات التابعة.

**طريقة الحل**

القوة \*\*\*\*\* معطاة وهي القوة المطبقة على الأسطوانة الرئيسة. مساحات المقطع العرضية \*\*\*\*\*\* و \*\*\*\*\*\*\*\* يمكن حسابها من أقطارها المعلومة. عندها يمكن استخدام العلاقة \*\*\*\*\*\*\* لإيجاد القوة \*\*\*\*\*\*\* . عالج هذا جبريًا للحصول على \*\*\*\*\* في جانب وعوض عن القيم المعلومة:

**الحل**

يمكننا استخدام العلاقة \*\*\*\*\*\* لحساب \*\*\*\*\*\*\*\* :

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑26 |  |

**المناقشة**

هذه القيمة هي القوة التي تمارسها كل من الأسطوانات الأربعة التابعة. لاحظ أنه يمكننا إضافة العديد من الأسطوانات التابعة كما نرغب. لو كان لكل منها قطر \*\*\*\*\*\* سم، ستؤثر كل منها بقوة \*\*\*\*\*\*\*\* .

يمكن لنظام هيدروليكي بسيط، مثل آلة بسيطة، أن يزيد القوة ولكن لا يمكنه بذل شغل أكثر من الشغل المبذول عليه. الشغل هو القوة مضروبة في المسافة الناتجة بسبب تأثير القوة، تتحرك الأسطوانة التابعة مسافة أصغر من الأسطوانة الرئيسة. علاوة على ذلك، كلما زاد عدد التابعات، قلت المسافة التي تتحركها كل منها. العديد من الأنظمة الهيدروليكية - مثل مكابح القدرة (مكابح السيارات) وتلك الموجودة في الجرافات - لديها مضخة بمحرك تبذل معظم الشغل في النظام. تتحقق حركة أرجل العنكبوت جزئيًا بواسطة الهيدروليكيا. باستخدام الهيدروليكيا، يمكن للعنكبوت القافز أن يصنع قوة تجعله قادرًا على القفز 25 ضعف طوله!

11-6 • ضغط القياس (او المقياس) والضغط المطلق وقياس الضغط

#### عمل روابط: الحفاظ الطاقة

يخبرنا تطبيق " الحفاظ على الطاقة" على نظام هيدروليكي أن النظام لا يمكنه بذل شغل أكثر مما هو مطبق عليه. ينقل الشغل الطاقة، وبالتالي لا يمكن أن يتجاوز خرج الشغل دخله. تُستخدم مكابح القدرة والأنظمة الهيدروليكيا الأخرى المماثلة المضخات لتزويد طاقة إضافية عند الحاجة.

## 11-6 ضغط المقياس (أداة القياس) والضغط المطلق وقياس الضغط

إذا دخلت محطة وقود مع إطار شبه فارغ تقريبًا، ستلاحظ أن مقياس الإطارات يقرأ صفرًا تقريبًا عند البدء في ملئه. في الواقع، إذا كان هناك ثقب في الإطار، فإن المقياس سيقرأ صفر، على الرغم من وجود الضغط الجوي في الإطار. لماذا يقرأ المقياس صفر؟ لا يوجد لغز هنا. صُممت مقاييس الإطارات ببساطة لقراءة صفر عند الضغط الجوي وموجب عندما يكون الضغط أكبر من الضغط الجوي.

وبالمثل، يزيد الضغط الجوي من ضغط الدم في كل جزء من الدورة الدموية. (كما هو مذكور في **مبدأ باسكال**، الضغط الكلي في المائع هو مجموع الضغوط من المصادر مختلفة – في هذه الحالة ، القلب والغلاف الجوي.) ولكن الضغط الجوي ليس له تأثير محصل على تدفق الدم لأنه يزيد الضغط الخارج من القلب والعائد إليه أيضًا. المهم هو مقدار زيادة ضغط الدم عن الضغط الجوي. وبالتالي، تُجرى قياسات ضغط الدم، مثل قياسات ضغط الإطارات، بالنسبة إلى الضغط الجوي.

باختصار، من الشائع جدًا أن تتجاهل مقاييس الضغط الضغط الجوي - أي تقرأ صفر عند الضغط الجوي. لذلك نُعرف ليكون الضغط بالنسبة إلى الضغط الجوي. ضغط المقياس موجب للضغوط فوق الضغط الجوي وسالب للضغوط تحته.

#### ضغط المقياس

ضغط المقياس هو الضغط بالنسبة إلى الضغط الجوي. ضغط المقياس موجب للضغوط فوق الضغط الجوي وسالب للضغوط تحته.

في الواقع، يؤدي الضغط الجوي إلى زيادة الضغط في أي مائع غير مغلق في حاوية صلبة. يحدث هذا بسبب مبدأ باسكال. الضغط الكلي، أو **الضغط المطلق**، هو مجموع ضغط المقياس والضغط الجوي: \*\*\*\*\*\*\*\* حيث \*\*\*\*\*\*\*\* هو الضغط المطلق، \*\*\*\*\*\*\* هو ضغط المقياس، و \*\*\*\*\*\* هو الضغط الجوي. على سبيل المثال، إذا قرأ مقياس الإطارات 34 رطل لكل بوصة مربعة، فإن الضغط المطلق هو 34 رطلًا لكل بوصة مربعة بالإضافة إلى 14.7 رطل لكل بوصة مربعة، أو 48.7 رطل لكل بوصة مربعة (ما يعادل 336 كيلو باسكال).

#### الضغط المطلق

الضغط المطلق هو مجموع ضغط المقياس والضغط الجوي.

لأسباب سنستكشفها لاحقًا، في معظم الحالات، لا يمكن أن يكون الضغط المطلق في السوائل سالبًا. السوائل تدفع بدلاً من أن تسحب، لذا فإن أقل ضغط مطلق هو صفر. (الضغط المطلق السالب هو سحب.) وبالتالي فإن أصغر ضغط مقياس ممكن هو \*\*\*\*\*\*\*\* (هذا يجعل \*\*\*\*\*\*\* صفر). لا يوجد حد نظري لمدى ضخامة ضغط المقياس.

هناك مجموعة كبيرة من الأجهزة لقياس الضغط، تتراوح من مقاييس الإطارات إلى أصفاد ضغط الدم. مبدأ باسكال له أهمية كبيرة في هذه الأجهزة. يسمح الانتقال غير المنقوص للضغط عبر سائل باستشعار دقيق للضغوط عن بعد. غالبًا ما يكون الاستشعار عن بعد أكثر ملاءمةً من وضع جهاز قياس في نظام، مثل شريان شخص.

يوضح الشكل 11-14 أحد الأنواع العديدة لمقاييس الضغط الميكانيكية المستخدمة. في جميع مقاييس الضغط الميكانيكية، ينتج عن الضغط قوة تُحول إلى قراءة.

Diagram

Description automatically generated

الشكل 11-14 يستخدم هذا المقياس عديم السائل منفاخًا مرنًا متصلًا بمؤشر ميكانيكي لقياس الضغط.

تستخدم فئة كاملة من أجهزة القياس خاصية أن الضغط الناتج عن وزن ماء يُعطى بالعلاقة \*\*\*\*\*\* . فكر في الأنبوب الذي له شكل حرف ( \*\*\*\* ) الموضح في شكل 11-15، على سبيل المثال. يسمى هذا الأنبوب البسيط مانومتر. في الشكل 11-15 (أ) ، كلا جانبي الأنبوب مفتوحان على للجو. وبالتالي فإن الضغط الجوي يضغط على كلا الجانبين بالتساوي مما يلغي تأثيره. إذا كان السائل أعمق في جانب، فهناك ضغط أكبر على الجانب الأعمق، ويتدفق السائل بعيدًا عن هذا الجانب حتى يتساوى الضغط.

دعونا نفحص كيفية استخدام المانوميتر لقياس الضغط. افترض أن أحد جوانب الأنبوب متصل بمصدر ضغط مثل بالون في الشكل 11-15 (ب) أو جرة فول سوداني مفرغة كالموضحة في الشكل 11-15 (ج). ينتقل الضغط غير منقوص إلى المانوميتر، ولم يعد مستوى السائل في الجانبين متساوي. في الشكل 11-15 (ب) \*\*\*\*\* أكبر من الضغط الجوي ، بينما في الشكل 11-15 (ج) \*\*\*\*\*\* أقل من الضغط الجوي. في كلتا الحالتين، يختلف ))) عن الضغط الجوي بمقدار \*\*\*\*\*\* ، حيث )))))) كثافة المائع في المانوميتر. في الشكل 11-15 (ب) \*\*\*\*\* يمكن أن يدعم عمودًا من المائع ارتفاعه \*\*\*\*\* ، ولذلك يجب أن يمارس ضغط \*\*\*\*\*\* أكبر من الضغط الجوي (يكون ضغط المقياس \*\*\*\*\*\* موجبًا). في الشكل 11-15 (ج)، يمكن أن يدعم الضغط الجوي عمود مائع ارتفاعه \*\*\*\* ، وبالتالي يكون \*\*\*\*\*\* أقل من الضغط الجوي بمقدار \*\*\*\*\*\*\* (ضغط المقياس ))))))) سالب). يعد المانوميتر الذي له جانب مفتوح للجو جهازًا مثاليًا لقياس ضغط المقياس. نحصل على ضغط المقياس \*\*\*\*\*\*\*\* عن طريق قياس \*\*\*\*\*\*.

الشكل 11-15 مانوميتر له جانب مفتوح للجو. (أ) يجب أن يكون لعمق المائع نفس القيمة في كلا الجانبين، أو سيكون الضغط الذي يمارسه كل جانب على الأسفل غير متساوٍ وسيتدفق من الجانب الأعمق. (ب) يُنقل ضغط المقياس الموجب )))))) إلى جانب المانوميتر الذي يدعم عمودًا من مائع له ارتفاع \*\*\*\*\*\*. (ج) بالمثل، يكون الضغط الجوي أكبر من ضغط المقياس السالب \*\*\*\*\*\*\* بمقدار )))))))))) .

غالبًا ما يُستخدم مانومتر الزئبق لقياس ضغط الدم الشرياني. يُوضع سوار قابل للنفخ على الجزء العلوي من الذراع كما هو موضح في الشكل 11-16. عن طريق الضغط على المنفاخ، يمارس الشخص الذي يقوم بالقياس ضغط ينتقل غير منقوص إلى كل من الشريان الرئيسي في الذراع والمانومتر. عندما يتجاوز هذا الضغط المطبق ضغط الدم، ينقطع تدفق الدم تحت الحزام. ثم يقوم الشخص الذي يقوم بالقياس بخفض الضغط المطبق ببطء ويستمع لاستئناف تدفق الدم. ضغط الدم ينبض بسبب ضخ القلب، فيكون له حدان الحد الأقصى، الذي يسمى **الضغط الانقباضي**، والحد الأدنى، الذي يسمى **الضغط الانبساطي**، مع كل نبضة قلب. يُقاس الضغط الانقباضي عن طريق ملاحظة قيمة \*\*\*\*\* عندما يبدأ تدفق الدم أول مرة عند خفض ضغط السوار. يُقاس الضغط الانبساطي عن طريق ملاحظة قيمة \*\*\*\*\*\* عند تدفق الدم دون انقطاع.

ضغط الدم العادى لشاب بالغ يرفع الزئبق إلى ارتفاع 120 ملم عند الانقباض و 80 ملم عند الانبساط. يُقال عادةً أنه 120 على 80 ، أو 120\80. يمثل الضغط الأول أقصى مُخرج للقلب؛ والثاني بسبب مرونة الشرايين في الحفاظ على الضغط بين النبضات. كثافة سائل الزئبق في المانومتر أكبر بـ 13.6 مرة من الماء ، وبالتالي فإن ارتفاع السائل سيكون 1\13.6 من ذلك في مانومتر الماء. هذا الارتفاع المنخفض يمكن أن يجعل القياسات صعبة، لذلك تُستخدم مانومترات الزئبق لقياس الضغوط الأكبر، مثل ضغط الدم. كثافة الزئبق حوالي \*\*\*\*\*\*\*\* .

#### الضغط الانقباضي

الضغط الانقباضي هو الحد الأقصى لضغط الدم.

#### الضغط الانبساطي

الضغط الانبساطي هو ضغط الدم الأدنى.

A picture containing military, military uniform, uniform

Description automatically generated

الشكل 11-16 في قياسات ضغط الدم الروتينية، يوضع سوار قابل للنفخ في أعلى الذراع عند نفس مستوى القلب. يفحص تدفق الدم أسفل السوار مباشرةً، ويُنقل ضغط الدم إلى مانومتر مملوء بالزئبق. (Credit: US Army photo by spc. micah e. clare \ 4th bct)

مثال 11-7

**حساب ارتفاع كيس المحلول: ضغط الدم والحقن الوريدي**عادةً ما يُجرى الحقن في الوريد بمساعدة قوة الجاذبية. بافتراض أن كثافة السائل الذي المراد حقنه هي 1.00 جم / مل ، في أي ارتفاع يجب وضع كيس المحلول فوق نقطة الدخول بحيث يدخل السائل فقط في الوريد إذا كان ضغط الدم في الوريد أعلى من الضغط الجوي بمقدار 18 ملم زئبق ؟

طريقة الحل (أ)

لكي يدخل السائل إلى الوريد فقط، يجب أن يتجاوز ضغطه عند الدخول ضغط الدم في الوريد (18 مم زئبق فوق الضغط الجوي). لذلك نحتاج إلى حساب ارتفاع السائل الذي يتوافق مع ضغط المقياس هذا.

**الحل**

نحتاج، أولًا، إلى تحويل الضغط إلى وحدة النظام الدولي. لأن \*\*\*\*\*\*\*\* ،

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑27 |  |

إذا أدنا ترتيب \*\*\*\*\*\* لوضع \*\*\*\* في طرف نحصل على \*\*\*\* . إذا عوضنا عن القيم المعلومة في المعادلة نحصل على

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑28 |  |

**المناقشة**

يجب وضع كيس المحلول على ارتفاع 0.24 متر فوق نقطة الدخول في الذراع حتى يدخل السائل فقط في الذراع. عمومًا، يُوضع كيس المحلول أعلى من هذا. ربما لاحظت أن الأكياس المستخدمة في جمع الدم توضع أسفل المتبرع للسماح للدم بالتدفق بسهولة من الذراع إلى الكيس، وهو عكس اتجاه التدفق عما هو مطلوب في المثال الموضح هنا.

البارومتر هو جهاز يقيس الضغط الجوي. يظهر بارومتر الزئبق في الشكل 11-17. يقيس هذا الجهاز الضغط الجوي، بدلاً من قياس ضغط المقياس، نظرًا لوجود فراغ مثالي تقريبًا فوق الزئبق في الأنبوب. ارتفاع الزئبق يساوي \*\*\*\*\*. عندما يتغير الضغط الجوي، يرتفع الزئبق أو ينخفض، مما يعطي أدلة مهمة للمتنبئين بالطقس. يمكن أيضًا استخدام البارومتر كمقياس للارتفاع، حيث يختلف متوسط الضغط الجوي باختلاف الارتفاع. البارومترات والمانومترات الزئبقية شائعة جدًا لدرجة أن وحدة \*\*\*\*\*\*\* غالبًا ما تُستخدم للضغط الجوي وضغط الدم.

الشكل 11-17 يقيس بارومتر الزئبق الضغط الجوي. الضغط الناتج عن وزن الزئبق يساوي، \*\*\*\*\* ، الضغط الجوي. الغلاف الجوي قادر على إجبار الزئبق في الأنبوب على الارتفاع إلى ارتفاع \*\*\*\*\* ، لأن الضغط فوق الزئبق يساوي صفرًا.

## 11-7 مبدأ أرشيميدس

عندما تسترخي في حوض استحمام دافئ، تشعر بأن ذراعيك أثقل بشكل غريب. هذا بسبب أن دعم طفو الماء لم يعد موجودًا. من أين تأتي قوة الطفو هذه؟ لماذا تطفو بعض الأشياء ولا تطفو أخرى؟ هل الأجسام التي تغوص تحصل على أي دعم من المائع؟ هل جسمك يطفو بفعل الهواء أم فقط بالونات الهيليوم؟ (انظر: شكل 11-18.)

Graphical user interface, website

Description automatically generated

الشكل 11-18 (أ) حتى الأشياء التي تغوص، مثل هذا المرساة، تكون مدعومة جزئيًا بواسطة عند غمرها. (ب) يمكن تعديل كثافة الغواصات (خزانات سائل الرص) بحيث تطفو أو تغوص حسب الرغبة. (credit: allied navy) (ج) بالونات مليئة بالهيليوم تسحب خيوطها لأعلى، مما يدل على تأثير قوة طفو الهواء. (credit: crystl)

الإجابات على كل هذه الأسئلة، والكثير غيرها، مبنية على حقيقة أن الضغط يزداد مع زيادة العمق في مائع. هذا يعني أن القوة لأعلى على الجزء السفلي من كائن في مائع أكبر من القوة لأسفل على الجزء العلوي من الكائن. هناك صافي قوة لأعلى أو **قوة طفو** على أي كائن في أي مائع. (انظر الشكل 11-19.) إذا كانت قوة الطفو أكبر من وزن الكائن، فإن الكائن سيرتفع إلى السطح ويطفو. إذا كانت قوة الطفو أقل من وزن الكائن، فسيغرق الكائن. إذا كانت قوة الطفو تساوي وزن الكائن، فسيظل الكائن معلقًا عند هذا العمق. تكون قوة الطفو موجودة دائمًا سواء كان الكائن يطفو أو يغوص أو معلقًا في مائع.

#### قوة الطفو

قوة الطفو هي صافي القوة لأعلى المؤثرة على أي كائن في أي مائع.

شكل 11-19 يزداد الضغط الناتج عن وزن السائل مع زيادة العمق لأن \*\*\*\*\*\*\*. هذا الضغط والقوة لأعلى على قاع الأسطوانة أكبر من القوة لأسفل على الجزء العلوي من الأسطوانة. الفرق بينهما هو قوة الطفو \*\*\*\*\*\*\*\* . (تلغي القوى الأفقية بعضها البعض.)

ما مدى كبر قوة الطفو هذه؟ للإجابة على هذا السؤال، فكر فيما يحدث عند إزالة جسم مغمور من سائل، كما في الشكل 11-20.

الشكل 11-20 (أ) تؤثر قوة الطفو \*\*\*\*\* على كائن مغمور في مائع. إذا كانت \*\*\*\*\*\* أكبر من وزن الكائن، يرتفع الكائن. إذا كانت \*\*\*\*\*\*\* أقل من وزن الكائن، سيغوص الكائن. (ب) إذا أزيل الجسم، فإن سائل وزنه \*\*\*\*\*\*\*\* يستبدله. لأن هذا الوزن مدعوم بالمائع المحيط، يجب أن تساوي قوة الطفو وزن السائل المزاح. أي أن، \*\*\*\*\*\*\*\* ، هذا نص مبدأ أرشيميدس.

الفضاء الذي يشغله الكائن يملؤوه مائع وزنه \*\*\*\*\*\*. هذا الوزن مدعوم بالسائل المحيط، وبالتالي يجب أن تتساوى قوة الطفو مع وزن المائع المزاح بواسطة الكائن. إنه نتاج عبقرية عالم الرياضيات اليوناني والمخترع أرشيميدس ( قبل الميلاد). ذكر هذا المبدأ قبل وقت طويل من وضع مفاهيم القوة. ذكره بالكلمات، لذلك، **مبدأ أرشيميدس** هو كما يلي: قوة الطفو على كائن ما تساوي وزن السائل الذي يزيحه. في شكل معادلة، مبدأ أرشيميدس هو

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑29 |  |

حيث \*\*\*\*\*\*\* هو قوة الطفو و \*\*\*\*\*\*\* هو وزن المائع المزاح بواسطة الكائن. مبدأ أرشميدس صحيح في العموم، لأي كائن في أي مائع، إذا كان مغمور كليًا أو جزئيًا.

مبدأ أرشميدس

وفقًا لهذا المبدأ، فإن قوة الطفو على كائن ما تساوي وزن المائع الذي يزيحه. في شكل معادلة، مبدأ أرشيميدس هو

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑30 |  |

حيث \*\*\*\*\*\* هي قوة الطفو و \*\*\*\*\*\* هو وزن المائع المزاح.

قُدمت ملابس للسباحة عالية التقنية في عام 2008 استعدادًا لأولمبياد بكين. تنص القاعدة الدولية أن هذه الملابس لا ينبغي أن تسبب أي طفو. كيف يمكننا التأكد من تحقق هذه القاعدة؟

عمل روابط: تجربة منزلية

كثافة رقائق الألومنيوم 2.7 مرة كثافة الماء. خذ قطعة من ورق الالومنيوم ولفها على شكل كرة اسقطها في الماء. هل تغوص؟ لماذا نعم أو لماذا لا؟ هل يمكنك أن تجعلها تغوص؟

### الطفو والغوص

أسقط قطعة من الصلصال في الماء. سوف تغرق. ثم شكل قطعة الصلصال على شكل قارب، وسوف تطفو. يزيح القارب كمية من الماء أكثر من قطعة الصلصال في الحالة الأولى ويواجه قوة طفو أكبر. وينطبق الشيء نفسه على السفن الفولاذية.

المثال 11-8

حساب قوة الطفو: تعتمد على الشكل

(أ) احسب قوة الطفو على 10000 طن متري من الفولاذ الصلب المغمور تمامًا في الماء، وقارن ذلك بوزن الفولاذ. (ب) ما هي أقصى قوة طفو يمكن أن يمارسها الماء على نفس الفولاذ إذا شُكل على هيئة قارب بحيث يمكنه أن يزيح \*\*\*\*\*\*\*\*\* من الماء؟

طريقة الحل لـ(أ)

لإيجاد قوة الطفو، يجب أن نجد وزن الماء المزاح. يمكننا حساب الوزن عن طريق كثافتي الماء والصلب الموضحتين في الجدول 11-1. لأن الفولاذ مغمور تمامًا، فإن حجمه وحجم الماء متساويان. بمجرد معرفة حجم الماء، يمكننا حساب كتلتها ووزنها.

**الحل لـ (أ)**

أولاً، نستخدم تعريف الكثافة \*\*\*\*\*\*\*\* لإيجاد حجم الفولاذ، ثم نعوض بقيمة الكتلة والكثافة. هذا يعطينا

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑31 |  |

لأن الفولاذ مغمور بالكامل، فإن \*\*\*\*\*\*\* في دا =في س ت،. يمكننا الآن إيجاد كتلة الماء المزاح من العلاقة بين حجمها وكثافتها، وكلاهما معروف. هذا يعطينا

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑32 |  |

حسب مبدأ أرشيميدس، وزن الماء المزاح يساوي \*\*\*\*\*\*\*\* ، لذلك فإن قوة الطفو

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑33 |  |

وزن الصلب هو \*\*\*\*\* ، وهو أكبر بكثير من قوة الطفو، وهو أكبر بكثير من قوة الطفو، لذلك فإن الصلب سيظل مغمورًا. لاحظ أن قوة الطفو مقربة لرقمين لأن كثافة الصلب معطاة لرقمين.

**طريقة الحل (ب)**

هنا نحصل على الحد الأقصى لحجم الماء الذي يمكن أن يزيحه القارب الفولاذي. قوة الطفو هي وزن هذا الحجم من الماء.

**حل لـ (ب)**

يمكن حساب كتلة الماء المزاح من علاقتها بالكثافة والحجم، وكلاهما معروف. لذلك

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑34 |  |

أقصى قوة طفو هي وزن الماء كله، أو

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑35 |  |

**المناقشة**

تبلغ أقصى قوة طفو عشرة أضعاف وزن الفولاذ، مما يعني أن السفينة يمكن أن تحمل حمولة تسعة أضعاف وزنها دون أن تغوص.

عمل روابط: تجربة منزلية

استخدم قطعة من ورق الألومنيوم المنزلي التي له سمك 0.016 ملي متر و طولها وعرضها 15 سم و 10 سم، على التوالي. (أ) ما كتلة هذه القطعة؟ (ب) إذا كانت الورقة مطوية بحيث يكون له أربعة جوانب، وأضيفت مشابك ورق إلى هذا "القارب"، فما شكل القارب الذي سيسمح لقطعة الورق بحمل أكبر قدر من "الحمولة" عند وضعها في الماء؟ اختبر توقعك.

### الكثافة ومبدأ أرشيميدس

تلعب الكثافة دورًا هامًا في مبدأ أرشيميدس. متوسط كثافة الكائن هو ما يحدد في النهاية ما إذا كان سيطفو أم لا. إذا كان متوسط كثافته أقل من كثافة المائع المحيط، فسوف يطفو. هذا لأن المائع، ذو الكثافة الأعلى، يحتوي على كتلة أكبر وبالتالي وزن أكبر في نفس الحجم. وبالتالي فإن قوة الطفو، التي تساوي وزن المائع المزاح، تكون أكبر من وزن الجسم. وبالمثل، فإن الكائن الذي كثافته أكبر من كثافة المائع سيغوص.

مدى غمر أي كائن يطفو على العلاقة بين كثافة الكائن وكثافة المائع. في الشكل 11-21 ، على سبيل المثال ، يكون للسفينة الغير محملة كثافة أقل وبالتالي يكون الجزء المغمور منها أقل مقارنة بنفس السفينة وهي محملة. يمكننا اشتقاق تعبير كمي لكسر الغمر عن طريق الكثافة. كسر الغمر هو النسبة بين الحجم المغمور إلى حجم الكائن، أو

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑36 |  |

الحجم المغمور يساوي حجم السائل المزاح، وهو ما نسميه \*\*\*\*\*\*\*\* . الآن يمكننا الحصول على العلاقة بين الكثافتين عن طريق التعويض في التعبير \*\*\*\*\*\*\*\*\*\* . هذا يعطينا

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑37 |  |

حيث \*\*\*\* هو متوسط كثافة الكائن و \*\*\*\*\*\* هو كثافة المائع. لأن الكائن يطفو، فإن كتلته وكتلت المائع المزاح متساويتان، و لذلك فإنهما يلغيان بعضهما البعض من المعادلة، تاركين

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑38 |  |

A picture containing text, boat

Description automatically generated

الشكل 11-21 سفينة غير محملة (أ) تطفو في الماء أعلى من السفينة المحملة (ب).

نستخدم العلاقة الأخيرة لقياس الكثافة. عن طريق قياس الجزء المغمور من كائن عائم - على سبيل المثال، بواسطة هيدرومتر. من المفيد تعريف نسبة كثافة الكائن إلى كثافة المائع (عادة ماء) كما في حالة **الجاذبية النوعية**:

|  |  |
| --- | --- |
| ‏0‑39 |  |

حيث \*\*\*\*\* هي متوسط كثافة الكائن أو المادة و \*\*\*\*\* هي كثافة الماء عند 4.00 درجة مئوية. الجاذبية النوعية ليس لها أبعاد. إذا طاف كائن، فإن جاذبيته النوعية أقل من واحد. إذا غاص، فإن جاذبيتها النوعية أكبر من واحد. علاوة على ذلك، كسر الغمر لكائن عائم يساوي جاذبيته النوعية. إذا كانت الجاذبية النوعية لجسم ما تساوي 1 بالضبط، فسيظل معلقًا في المائع، لا يغوص ولا يطفو. يحاول الغواصون أن يكونوا على هذه الحالة حتى لا يحتاجوا لعمل مجهود للبقاء على نفس العمق مما يسهل حركتهم. نقيس الجاذبية النوعية للموائع، مثل حمض البطارية، سائل المبرد، والبول، كمؤشر على حالتها. يظهر جهاز لقياس الجاذبية النوعية في الشكل 11-22.

### الجاذبية النوعية

الجاذبية النوعية هي نسبة كثافة كائن ما إلى مائع (عادةً ماء).

A picture containing table

Description automatically generated

الشكل 11-22 يطفو هيدرومتر في سائل له جاذبية نوعية 0.87. يُملأ الهيدرومتر الزجاجي بالهواء ويُوزن بالرصاص في الأسفل. يطفو عاليًا في الموائع ذات الكثافات العالية وتمت معايرته ووضّح عليه تدريج لقيم للجاذبية النوعية بحيث يمكن قراءتها منه مباشرةً.

مثال 11-9

حساب متوسط الكثافة: المرأة العائمة

لنفترض أن امرأة تزن 60.0 كجم تطفو في المياه العذبة مع حجمها مغمور عندما تمتلئ رئتيها بالهواء. ما هو متوسط كثافتها؟

طريقة الحل

يمكننا إيجاد كثافة المرأة بحل المعادلة

11-41

11-42

لكثافة الجسم. هذه العوائد

نعرف كلًا من الكسر المغمور وكثافة الماء ، وبالتالي يمكننا حساب كثافة المرأة.

الحل

بإدخال القيم المعروفة في التعبير عن كثافتها ، نحصل عليها

11-43

الحالي.

كثافتها أقل من كثافة السوائل. نتوقع هذا لأنها تطفو. كثافة الجسم هي أحد مؤشرات نسبة الدهون في الجسم ، والاهتمام بالتشخيص الطبي والتدريب الرياضي. (انظر الشكل 11-23.)

A picture containing text

Description automatically generated

الشكل 11-23 موضوع في "خزان دهون" ، حيث يتم وزنه وهو مغمور بالكامل كجزء من تحديد كثافة الجسم. يجب أن يفرغ الشخص رئتيه تمامًا وأن يحمل وزنًا معدنيًا حتى يغرق. يتم إجراء تصحيحات للهواء المتبقي في رئتيه (تقاس بشكل منفصل) ووزن المعدن. يتم استخدام وزنه المصحح المغمور ووزنه في الهواء واختبارات الضغط على المناطق الدهنية الطريقة الحل لحساب النسبة المئوية للدهون في الجسم.

هناك العديد من الأمثلة الواضحة لأجسام أو مواد منخفضة الكثافة تطفو في سوائل عالية الكثافة - زيت على الماء ، ومنطاد هواء ساخن ، وقليل من الفلين في النبيذ ، وجبل جليدي ، وشمع ساخن في "مصباح الحمم" ، على سبيل المثال لا الحصر . تشمل الأمثلة الأقل وضوحًا ارتفاع الحمم البركانية في البركان والسلاسل الجبلية العائمة على القشرة عالية الكثافة والوشاح تحتها. حتى الأرض التي تبدو صلبة لها خصائص الموائع.

المزيد من قياسات الكثافة

يظهر الشكل 11-24 أحد أكثر التقنيات شيوعًا لتحديد الكثافة.

A picture containing text, scale, device, screenshot

Description automatically generated

الشكل 11-24 (أ) يتم وزن عملة معدنية في الهواء. (ب) يتم تحديد الوزن الظاهري للعملة المعدنية وهي مغمورة بالكامل في سائل ذي كثافة معروفة. يتم استخدام هذين القياسين لحساب كثافة العملة المعدنية.

كائن ، هنا عملة معدنية ، يتم وزنه في الهواء ثم وزنه مرة أخرى أثناء غمره في سائل. يمكن حساب كثافة العملة المعدنية ، وهو مؤشر على أصالتها ، إذا كانت كثافة السوائل معروفة. يمكن أيضًا استخدام هذه التقنية نفسها لتحديد كثافة السائل إذا كانت كثافة العملة المعدنية معروفة. كل هذه الحسابات تستند إلى مبدأ أرشيميدس.

ينص مبدأ أرشيميدس على أن قوة الطفو على الجسم تساوي وزن السائل المزاح. هذا ، بدوره ، يعني أن الجسم يبدو أنه يزن أقل عند غمره ؛ نسمي هذا القياس الوزن الظاهري للجسم. يعاني الجسم من نقص واضح في الوزن يساوي وزن المائع المزاح. بدلاً من ذلك ، في الموازين التي تقيس الكتلة ، يعاني الجسم من فقدان واضح للكتلة يساوي كتلة المائع المزاح. هذا هو

11-44

11-45

أو

يوضح المثال التالي استخدام هذه التقنية.

حساب الكثافة: هل العملة أصلية؟

تم تحديد كتلة العملة اليونانية القديمة في الهواء لتكون 8.630 جم. عند غمر العملة المعدنية في الماء كما هو موضح في الشكل 11-24 ، تكون كتلتها الظاهرية 7.800 جم. احسب كثافته ، بالنظر إلى أن كثافة الماء وأن التأثيرات الناجمة عن السلك المعلق للعملة لا تذكر.

طريقة الحل

لحساب كثافة العملة ، نحتاج إلى كتلتها (المعطاة) وحجمها. حجم العملة المعدنية يساوي حجم الماء المزاح. يمكن إيجاد حجم الماء المزاح عن طريق حل معادلة الكثافة.

الحل

حجم الماء حيث يتم إزاحة كتلة الماء. كما لوحظ ، فإن كتلة الماء المزاح تساوي خسارة الكتلة الظاهرة ، وهي. وبالتالي فإن حجم الماء

. هذا هو أيضًا حجم العملة المعدنية ، لأنها مغمورة بالكامل. يمكننا الآن العثور على

كثافة العملة باستخدام تعريف الكثافة:

11-46

الحالي.

يمكنك أن ترى من الجدول 11-1 أن هذه الكثافة قريبة جدًا من كثافة الفضة النقية ، وهي مناسبة لهذا النوع من العملات القديمة. معظم المنتجات المقلدة الحديثة ليست من الفضة النقية.

هذا يعيدنا إلى مبدأ أرشيميدس وكيف نشأ. كما تقول القصة ، كلف ملك سيراكيوز أرشيميدس بمهمة تحديد ما إذا كان صانع التاج الملكي يزود تاجًا من الذهب الخالص. يصعب تحديد نقاء الذهب من خلال اللون (يمكن تخفيفه بمعادن أخرى ويظل يبدو أصفر مثل الذهب الخالص) ، ولم يتم تصور تقنيات تحليلية أخرى بعد. حتى الشعوب القديمة ، أدركت أن كثافة الذهب كانت أكبر من كثافة أي مادة أخرى كانت معروفة في ذلك الوقت. يُزعم أن أرشيميدس تألم بسبب مهمته وكان مصدر إلهامه في أحد الأيام أثناء وجوده في الحمامات العامة ، وهو يفكر في الدعم الذي أعطته المياه لجسده. لقد توصل إلى مبدأه المشهور الآن ، ورأى كيفية تطبيقه لتحديد الكثافة ، وركض عارياً في شوارع سيراكيوز وهو يصرخ "eureka!" (اليونانية "لقد وجدتها"). يمكن ملاحظة سلوك مماثل في علماء الفيزياء المعاصرين من وقت لآخر!

الطفو

متى تطفو الأشياء ومتى تغوص؟ تعلم كيف يعمل الطفو مع الكتل. تظهر الأسهم القوى المطبقة ، ويمكنك تعديل خصائص الكتل و الموائع.

انقر لعرض المحتوى (https://phet.colorado.edu/sims/density-and-buoyancy/buoyancy\_en.html) الشكل 11-25

11-8 التماسك والالتصاق في السوائل: التوتر السطحي والخاصية الشعرية

التماسك والالتصاق في السوائل

ينفخ الأطفال فقاعات الصابون ويلعبون في رذاذ المرشة في يوم صيفي حار. (انظر الشكل 11-26.) يحافظ العنكبوت تحت الماء على مصدر الهواء في فقاعة لامعة يحملها ملفوفة حوله. يقوم الفني بسحب الدم في أنبوب صغير القطر بمجرد لمسه لقطرة في إصبع مثقوب. تكافح رضيعة خُدَّج لنفخ رئتيها. ما هو الخيط المشترك؟ كل هذه الأنشطة تهيمن عليها قوى الجذب بين الذرات والجزيئات في السوائل - سواء داخل السائل أو بين السائل ومحيطه.

تسمى قوى الجذب بين جزيئات من نفس النوع قوى التماسك. يمكن الاحتفاظ بالسوائل ، على سبيل المثال ، في حاويات مفتوحة لأن قوى التماسك تبقي الجزيئات معًا. تسمى قوى الجاذبية بين الجزيئات من أنواع مختلفة قوى الالتصاق. مثل هذه القوى تجعل القطرات السائلة تتشبث بألواح النوافذ ، على سبيل المثال. في هذا القسم نفحص التأثيرات المنسوبة مباشرة إلى قوى التماسك والالتصاق في السوائل.

قوى التماسك

تسمى قوى الجذب بين جزيئات من نفس النوع قوى التماسك.

قوى التلاصق

تسمى قوى الجاذبية بين الجزيئات من أنواع مختلفة قوى الالتصاق.

A picture containing person

Description automatically generated

الشكل 11-26 تنتج فقاعات الصابون في هذه الصورة عن قوى التماسك بين الجزيئات في السوائل. (credit: steve ford elliott)

تَوَتُّرٌ سَطْحِيّ

تتسبب قوى التماسك بين الجزيئات في تقلص سطح السائل إلى أصغر مساحة سطح ممكنة. هذا التأثير العام يسمى التوتر السطحي. يتم سحب الجزيئات الموجودة على السطح إلى الداخل بواسطة قوى التماسك ، مما يقلل من مساحة السطح. تواجه الجزيئات داخل السائل قوة صافية صفرية ، نظرًا لأن لها جيران من جميع الجوانب.

تَوَتُّرٌ سَطْحِيّ

تتسبب قوى التماسك بين الجزيئات في تقلص سطح السائل إلى أصغر مساحة سطح ممكنة. هذا التأثير العام يسمى التوتر السطحي.

عمل الوصلات: التوتر السطحي

القوى بين الذرات والجزيئات تكمن وراء التأثير العياني الذي يسمى التوتر السطحي. تعمل هذه القوى الجذابة على تقريب الجزيئات من بعضها البعض وتميل إلى تقليل مساحة السطح. هذا مثال آخر على تفسير تحت المجهر لظاهرة عيانية.

يمكن لنموذج سطح السائل الذي يتصرف مثل الصفيحة المرنة الممتدة أن يفسر بشكل فعال تأثيرات التوتر السطحي. على سبيل المثال ، يمكن لبعض الحشرات أن تمشي على الماء (بدلًا من أن تطفو بداخله) كما كنا نسير على الترامبولين - فهي تبعج السطح كما هو موضح في الشكل 11-27 (أ). يوضح الشكل 11-27 (ب) مثالًا آخر ، حيث توضع إبرة على سطح الماء. لا يمكن لإبرة الحديد أن تطفو لأن كثافتها أكبر من كثافة الماء. بدلاً من ذلك ، يتم دعم وزنها بواسطة قوى في السطح الممتد والتى تحاول جعل السطح أصغر أو أكثر استواءً. إذا تم وضع الإبرة في اتجاه لأسفل على السطح ، فإن وزنها الذي يعمل على مساحة أصغر سيكسر السطح ، وسيغرق.

القوة (التوتر السطحي) موازية للسطح. (ب) إبرة حديدية تعمل بالمثل على خدش سطح الماء حتى تنمو قوة الاستعادة (التوتر السطحي) لتساوي وزنه.

يتناسب التوتر السطحي مع مقدار قوة التماسك ، والتي تختلف باختلاف نوع السائل. يُعرَّف التوتر السطحي بأنه القوة f لكل وحدة طول التي يمارسها غشاء سائل ممتد:

11-47

يسرد الجدول 11-3 قيم بعض السوائل. بالنسبة للحشرة في الشكل 11-27 (أ) ، فإن وزنها مدعوم بالمكونات لاعلى للقوة التوتر السطحي: أين محيط قدم الحشرة الملامسة للماء. يوضح الشكل 11-28 طريقة واحدة لقياس التوتر السطحي. يمارس غشاء السائل قوة على السلك المتحرك في محاولة لتقليل مساحة سطحه. يعتمد حجم هذه القوة على التوتر السطحي للسائل ويمكن قياسه بدقة.

التوتر السطحي هو سبب تشيكل السوائل لفقاعات وقطرات. تتسبب قوة التوتر السطحي الداخلي في أن تكون الفقاعات الكروية تقريبًا وترفع ضغط الغاز المحبوس بالداخل بالنسبة للضغط الجوي بالخارج. يمكن إظهار أن قياس الضغط داخل فقاعة كروية يتم الحصول عليه بواسطة

11-48

أين نصف قطر الفقاعة. وبالتالي يكون الضغط داخل الفقاعة أكبر عندما تكون الفقاعة هي الأصغر. يتم توضيح جزء آخر من الدليل على ذلك في الشكل 11-29. عندما يُسمح للهواء بالتدفق بين بالونين بحجم غير متساوٍ ، فإن البالون الأصغر يميل إلى الانهيار ، ويملأ البالون الأكبر.

اللازمة لتثبيت السلك في مكانه

Diagram, shape

Description automatically generated

الشكل 11-29 مع إغلاق الصمام ، يتم توصيل بالونين من أحجام مختلفة بكل طرف من طرفي الأنبوب. عند فتح الصمام ، يتناقص حجم البالون الأصغر مع تحرك الهواء لملء البالون الأكبر. يتناسب الضغط في البالون الكروي عكسيًا مع نصف قطره ، بحيث يكون للبالون الأصغر ضغطًا داخليًا أكبر من البالون الأكبر ، مما يؤدي إلى هذا التدفق.

المثال 11-11

التوتر السطحي: الضغط داخل فقاعة

احسب ضغط المقياس داخل فقاعة صابون في نصف القطر باستخدام التوتر السطحي للمياه والصابون في الجدول 11-3. تحويل هذا الضغط إلى مم زئبق. طريقة الحل

يتم إعطاء نصف القطر ويمكن إيجاد التوتر السطحي في الجدول 11-3 ، وبالتالي يمكن إيجاده مباشرة من المعادلة.

الحل

استبدال وفي المعادلة

11-49

نستخدم عامل تحويل لتحويل هذا إلى وحدات مم زئبق:

11-50

الحالي.

لاحظ أنه إذا تم عمل ثقب في الفقاعة ، فسيتم إجبار الهواء على الخروج ، وسنخفض نصف القطر الفقاعة ، وسيقل ضغط المقياس إلى الصفر ، وسيقل الضغط المطلق بالداخل إلى الضغط الجوي (760 مم زئبق) ).

تحتوي الرئتان على مئات الملايين من الأكياس المبطنة بالمخاط والتي تسمى الحويصلات الهوائية ، وهي متشابهة جدًا في الحجم ويبلغ قطرها حوالي 0.1 ملم. (انظر الشكل 11-30.) يمكنك الزفير بدون عمل عضلي عن طريق السماح للتوتر السطحي بتقليص هذه الحويصلات. المرضى الذين يتنفسون بمساعدة جهاز التنفس بالضغط الموجب ، يتم نفخ الهواء في الرئتين ، ولكن يُسمح لهم عمومًا بالزفير من تلقاء أنفسهم. حتى إذا كان هناك شلل ، فإن التوتر السطحي في الحويصلات الهوائية سوف يطرد الهواء من الرئتين. نظرًا لأن الضغط يزداد مع انخفاض نصف قطر الحويصلات الهوائية ، هناك حاجة إلى التنفس العميق من حين لآخر لإعادة نفخ الحويصلات بالكامل. أجهزة التنفس مبرمجة للقيام بذلك ونجد أنه من الطبيعي ، كما تفعل الكلاب والقطط المرافقة لنا ، أن تأخذ نفسًا عميقا قبل أن تستقر في قيلولة.

1 في 20 درجة مئوية ما لم ينص على خلاف ذلك.

الشكل 11-30 تتفرع الأنابيب القصبية في الرئتين إلى هياكل أصغر حجمًا ، وتنتهي أخيرًا في الحويصلات الهوائية. تعمل الحويصلات الهوائية مثل الفقاعات الصغيرة. يساعد التوتر السطحي للبطانة المخاطية في الزفير ويمكن أن يمنع الاستنشاق إذا كان كبيرًا جدًا.

ينتج التوتر في جدران الحويصلات الهوائية عن نسيج الغشاء وعنصر سائل على جدران الحويصلات يحتوي على بروتين شحمي طويل يعمل كمنشط سطحي (مادة تقلل التوتر السطحي). تنتج الحاجة إلى المنشط السطحى من ميل الحويصلات الصغيرة للانهيار ويمتلئ الهواء بالحويصلات الكبيرة مما يجعلها أكبر (كما هو موضح في الشكل 11-29). أثناء الاستنشاق ، يتم تفكيك جزيئات البروتين الدهني ويزداد توتر الجدار مع زيادة نصف القطر (زيادة التوتر السطحي). أثناء الزفير ، تنزلق الجزيئات معًا مرة أخرى ويقل التوتر السطحي ، مما يساعد على منع انهيار الحويصلات الهوائية. لذلك يعمل المنشط السطحى على تغيير توتر الجدار بحيث لا تنهار الحويصلات الصغيرة ويمنع الحويصلات الكبيرة من التوسع أكثر من اللازم. هذا التغيير في التوتر هو خاصية فريدة لهذه المواد الخافضة للتوتر السطحي ، ولا توجد فى المنظفات (التي تقلل التوتر السطحي ببساطة). (انظر الشكل 11-31-)

الشكل 11-31 التوتر السطحي كدالة فى مساحة السطح. يتناقص التوتر السطحي للمؤثر السطحي للرئة مع تناقص المساحة. هذا يضمن عدم انهيار الحويصلات الصغيرة وعدم قدرة الحويصلات الكبيرة على التوسع بشكل مفرط.

إذا دخل الماء إلى الرئتين ، فإن التوتر السطحي كبير جدًا ولا يمكنك الشهيق. هذه مشكلة خطيرة في إنعاش ضحايا الغرق. تحدث مشكلة مماثلة عند الأطفال حديثي الولادة الذين يولدون بدون هذا الفاعل بالسطح - يصعب تضخيم رئتيهم. تُعرف هذه الحالة بمرض الغشاء الهياليني وهي سبب رئيسي لوفاة الرضع ، لا سيما في الولادات المبكرة. تم تحقيق بعض النجاح في علاج مرض غشاء الهيالين عن طريق رش مادة خافضة للتوتر السطحي في ممرات تنفس الرضيع. ينتج انتفاخ الرئة مشكلة معاكسة للحويصلات الهوائية. تتدهور الجدران السنخية لضحايا انتفاخ الرئة ، وتتحد الأكياس لتشكل أكياسًا أكبر. نظرًا لأن الضغط الناتج عن التوتر السطحي يتناقص مع زيادة نصف القطر ، فإن هذه الأكياس الكبيرة تنتج ضغطًا أقل ، مما يقلل من قدرة ضحايا انتفاخ الرئة على الزفير. الاختبار الشائع لانتفاخ الرئة هو قياس ضغط وحجم الهواء الذي يمكن زفيره.

تكوين الصلات: الاستقصاء عن المنزل

(1) حاول تعويم إبرة الخياطة على الماء. لكي يعمل هذا النشاط ، يجب أن تكون الإبرة نظيفة جدًا حيث أن الزيت الموجود في أصابعك يمكن أن يكون كافيًا للتأثير على خصائص سطح الإبرة. (2) ضع شعيرات فرشاة الدهان في الماء. اسحب الفرشاة للخارج ولاحظ أن الشعيرات ستلتصق ببعضها لفترة قصيرة. يكفي التوتر السطحي للماء المحيط بالشعيرات لتثبيت الشعيرات معًا. عندما تجف الشعيرات ، يتبدد تأثير التوتر السطحي. (3) ضع حلقة من الخيط على سطح الماء الراكد بحيث يكون كل الخيط ملامسًا للماء. لاحظ شكل الحلقة. الآن ضع قطرة من المنظف في منتصف الحلقة. ماذا يحدث لشكل الحلقة؟ لماذا؟ (4) رش الفلفل على سطح الماء. أضف قطرة من المنظف. ماذا يحدث؟ لماذا؟ (5) تعويم اثنين من الثقاب بالتوازي مع بعضهما البعض واضف قطرة من المنظف بينهما. ماذا يحدث؟ ملاحظة: لكل تجربة جديدة ، يجب استبدال الماء وغسل الوعاء لتحريره من أي منظف متبقي.

الالتصاق والخاصية الشعرية

لماذا تتقطر المياه على سيارة مصقولة بالشمع ولكن ليس على دهان السيارة فقط ؟ الجواب هو أن قوى الالتصاق بين الماء والشمع أصغر بكثير من القوى اللاصقة بين الماء والطلاء. تعتبر المنافسة بين قوى الالتصاق والتماسك مهمة في السلوك العياني للسوائل. عامل مهم في دراسة أدوار هاتين القوتين هو الزاوية بين المماس لسطح السائل والسطح. (انظر الشكل 11-32.) ترتبط زاوية التلامس ارتباطًا مباشرًا بالقوة النسبية لقوى التماسك والالتصاق. كلما زادت قوة قوة التماسك بالنسبة إلى قوة الالتصاق ، زادت قوة قوة التماسك ، وكلما زاد ميل السائل إلى تكوين قطرة. كلما كانت أصغر ، كلما كانت القوة النسبية أصغر ، بحيث تكون قوة اللصق قادرة على تسطيح القطرة. يسرد الجدول 11-4 زوايا التماس لعدة مجموعات من السوائل والمواد الصلبة.

زاوية تماس

تسمى الزاوية بين المماس على سطح السائل والسطح بزاوية التماس.

الشكل 11-32 في الصورة ، تتقطر الماء على طلاء السيارة المشمع وتتسطح على الطلاء غير المشمع. (أ) يشكل الماء قطرات على السطح المشمع لأن قوى التماسك المسؤولة عن التوتر السطحي أكبر من القوى اللاصقة التي تميل إلى تسطيح القطرة. (ب) يتم تسطيح قطرات الماء الموجودة على الطلاء المكشوف إلى حد كبير لأن قوى الالتصاق بين الماء والطلاء قوية وتتغلب على التوتر السطحي. ترتبط زاوية التماس ارتباطًا مباشرًا بالقوى النسبية لقوى التماسك والالتصاق. كلما كانت أكبر ، زادت نسبة التماسك إلى قوى الالتصاق. (credit: p. p. urone)

إحدى الظواهر المهمة المتعلقة بالقوة النسبية لقوى التماسك والالتصاق هي الخاصية الشعرية- ميل السائل إلى الارتفاع في أنبوب ضيق ، أو أنبوب شعري. يتسبب هذا الفعل في سحب الدم إلى أنبوب صغير القطر عندما يلمس الأنبوب قطرة.

الخاصية الشعرية

يُطلق على ميل السائل إلى الارتفاع في أنبوب ضيق ، أو أنبوب شعري ، الخاصية الشعرية او الفعل الشعرى.

إذا تم وضع أنبوب شعري عموديًا في سائل ، كما هو موضح في الشكل 11-33 ، فإن الحركة الشعرية سترفع أو قمع السائل داخل الأنبوب اعتمادًا على مزيج المواد. يعتمد التأثير الفعلي على القوة النسبية لقوى التماسك والالتصاق ، وبالتالي زاوية التلامس الواردة في الجدول. إذا كان أقل من ، فسيتم رفع السائل ؛ إذا كانت أكبر من ، سيتم قمعها. الزئبق ، على سبيل المثال ، له توتر سطحي كبير جدًا وزاوية تلامس كبيرة مع الزجاج. عند وضعه في أنبوب ، ينحني سطح عمود من الزئبق إلى أسفل ، مثل قطرة إلى حد ما. يُطلق على السطح المنحني للسائل في الأنبوب اسم الغضروف المفصلي. ميل التوتر السطحي هو دائما لتقليل مساحة السطح. وبالتالي فإن التوتر السطحي يعمل على تسطيح سطح السائل المنحني في أنبوب شعري. ينتج عن هذا قوة نزولية في الزئبق وقوة تصاعدية في الماء ، كما هو موضح في الشكل 11-33.

. يمارس التوتر السطحي إلى أسفل

الجدول 11-4 زوايا التلامس لبعض المواد

يمكن للعمل الشعري أن يحرك السوائل أفقيًا على مسافات كبيرة جدًا ، ولكن الارتفاع الذي يمكن أن يرفع أو يثبط السائل في الأنبوب يكون مقيدًا بوزنه. يمكن إثبات أن هذا الارتفاع تم إعطاؤه بواسطة

11:51

إذا نظرنا إلى العوامل المختلفة في هذا التعبير ، فقد نرى كيف يكون منطقيًا. الارتفاع يتناسب طرديًا مع التوتر السطحي ، وهذا هو السبب المباشر له. علاوة على ذلك ، يتناسب الارتفاع عكسًا مع نصف قطر الأنبوب - فكلما كان نصف القطر أصغر ، يمكن رفع السائل ، لأن الأنبوب الأصغر يحتوي على كتلة أقل. كما يتناسب الارتفاع عكسياً مع كثافة السوائل ، لأن الكثافة الأكبر تعني كتلة أكبر في نفس الحجم. (انظر الشكل 11-34.)

الشكل 11-34 (أ) يعتمد العمل الشعري على نصف قطر الأنبوب. كلما كان الأنبوب أصغر ، زاد الارتفاع. الارتفاع لا يكاد يذكر بالنسبة للأنابيب ذات نصف القطر الكبير. (ب) السائل الأكثر كثافة في نفس الأنبوب يرتفع إلى ارتفاع أصغر ، وتكون جميع العوامل الأخرى هي نفسها.

حساب نصف قطر الأنبوب الشعري: العمل الشعري: عصارة الأشجار

هل يمكن أن يكون النشاط الشعري هو المسؤول الوحيد عن ارتفاع النسغ في الأشجار؟ للإجابة على هذا السؤال ، احسب نصف قطر الأنبوب الشعري الذي من شأنه أن يرفع النسغ 100 متر إلى قمة خشب أحمر عملاق ، بافتراض أن كثافة النسغ تساوي ، وزاوية التلامس الخاصة بها صفرًا ، وتوترها السطحي هو نفسه الماء عند .

طريقة الحل

يتم تحديد الارتفاع الذي يرتفع عنده السائل نتيجة عمل الشعيرات الدموية ، وكل كمية معروفة باستثناء.

الحل

ينتج عن حل القيم المعروفة واستبدالها

11-52

الحالي.

هذه النتيجة غير معقولة. يتحرك النسغ في الأشجار عبر نسيج الخشب ، والذي يشكل أنابيب ذات نصف قطر صغير مثل. هذه القيمة أكبر بحوالي 180 مرة من نصف القطر الضروري هنا لرفع النسغ. هذا يعني أن العمل الشعري وحده لا يمكن أن يكون المسؤول الوحيد عن وصول النسغ إلى قمم الأشجار.

كيف تصل النسغ إلى قمم الأشجار العالية؟ (تذكر أن عمودًا من الماء يمكن أن يرتفع فقط إلى ارتفاع 10 أمتار عندما يكون هناك فراغ في الأعلى - انظر المثال 11-5.) لم يتم حل السؤال تمامًا ، ولكن يبدو أنه تم سحبه لأعلى مثل سلسلة مثبتة معا بقوى التماسك. عندما يدخل كل جزيء من النسغ إلى ورقة ويتبخر (عملية تسمى النتح) ، يتم سحب السلسلة بأكملها إلى أعلى . لذلك يجب أن يكون هناك ضغط سلبي ناتج عن تبخر الماء لسحب النسغ من خلال نسيج الخشب

أوعية. في معظم الحالات ، يمكن للسوائل أن تدفع ولكنها لا تمارس سوى سحب ضئيل ، لأن قوى التماسك تبدو أصغر من أن تمسك الجزيئات بإحكام. ولكن في هذه الحالة ، توفر قوى التماسك لجزيئات الماء قوة سحب قوية جدًا. يوضح الشكل 11-35 جهازًا واحدًا لدراسة الضغط السلبي. أظهرت بعض التجارب أنه يمكن تحقيق ضغوط سلبية كافية لسحب النسغ إلى قمم الأشجار الأطول.

الشكل 11-35 (أ) عندما يرتفع المكبس ، فإنه يمد السائل قليلاً ، مما يجعله تحت الشد ويخلق ضغطًا مطلقًا سالب. (ب) ينفصل السائل في النهاية ، مما يعطي حدًا تجريبيًا للضغط السالب في هذا السائل.

11-9 ضغوط في الجسم

ضغط في الجسم

بجانب قياس درجة حرارة الشخص ووزنه ، يعد قياس ضغط الدم أكثر الفحوصات الطبية شيوعًا. السيطرة على ارتفاع ضغط الدم مسؤولة إلى حد كبير عن الانخفاض الكبير في وفيات النوبات القلبية والسكتات الدماغية التي تحققت في العقود الثلاثة الماضية. يمكن قياس الضغوط في أجزاء مختلفة من الجسم وغالبًا ما توفر مؤشرات طبية قيمة. في هذا القسم ، نأخذ في الاعتبار بعض الأمثلة مع بعض الفيزياء المصاحبة لها.

يسرد الجدول 11-5 بعض الضغوط المقاسة بوحدة mm hg ، وهي الوحدة الأكثر شيوعًا.

قياس ضغط نظام الجسم بوحدة ملم زئبق

ضغط الدم

عادة ما تنتج قياسات ضغط الدم الشرياني الشائعة قيم 120 ملم زئبق و 80 ملم زئبق ، على التوالي ، للضغوط الانقباضية والانبساطية. كلا الضغطين لهما آثار صحية. عندما يكون الضغط الانقباضي مرتفعًا بشكل مزمن ، يزداد خطر الإصابة بالسكتة الدماغية والنوبات القلبية. ومع ذلك ، إذا كانت منخفضة للغاية ، فإن الإغماء يمثل مشكلة. يزيد الضغط الانقباضي بشكل كبير أثناء التمرين لزيادة تدفق الدم ويعود إلى طبيعته بعد ذلك. لا ينتج عن هذا التغيير أي آثار سيئة ، وفي الواقع ، قد يكون مفيدًا الى الدورة الدموية. يمكن أن يكون الضغط الانبساطي مؤشرا على توازن السوائل. عندما يكون منخفضًا ، فقد يشير إلى أن الشخص ينزف داخليًا ويحتاج إلى نقل الدم. على العكس من ذلك ، يشير ارتفاع الضغط الانبساطي إلى تضخم الأوعية الدموية ، والذي قد يكون بسبب نقل الكثير من السوائل إلى الدورة الدموية. ارتفاع ضغط الدم الانبساطي هو أيضًا مؤشر على أن الأوعية الدموية لا تتمدد بشكل صحيح لتمرير الدم من خلالها. هذا يمكن أن يجهد القلب بشكل خطير في محاولته ضخ الدم.

يخرج الدم من القلب عند حوالي 120 ملم زئبق ولكن ضغطه يستمر في الانخفاض (إلى ما يقرب من 0) حيث ينتقل من الشريان الأورطي إلى الشرايين الأصغر إلى الأوردة الصغيرة (انظر الشكل 11-36). ترجع اختلافات الضغط في نظام الدورة الدموية إلى تدفق الدم عبر الجهاز وكذلك بسبب وضع الشخص. بالنسبة للإنسان الواقف يكون الضغط في القدمين أكبر منه في القلب بسبب وزن الدم. إذا افترضنا أن المسافة بين القلب وقدم الشخص في وضع مستقيم هي 1-4 متر ، فإن الزيادة في الضغط في القدمين بالنسبة إلى تلك الموجودة في القلب (لعمود ثابت من الدم) تُعطى بواسطة

الوقوف لفترة طويلة يمكن أن يؤدي إلى تراكم الدم في الساقين وتورم. هذا هو السبب في أن الجنود المطلوب منهم الوقوف لفترات طويلة من المعروف أنهم أصيبوا بالإغماء. يمكن أن تساعد الضمادات المرنة حول ربلة الساق في منع هذا التراكم ويمكن أن تساعد أيضًا في توفير ضغط متزايد لتمكين الأوردة من إرسال الدم مرة أخرى إلى القلب. لأسباب مماثلة ، يوصي الأطباء باستخدام الجوارب الضيقة للرحلات الطويلة.

يمكن أيضًا قياس ضغط الدم في الأوردة الرئيسة وغرف القلب والشرايين المؤدية إلى الدماغ والرئتين. ولكن عادة ما يتم رصد هذه الضغوط فقط أثناء الجراحة أو للمرضى في العناية المركزة لأن القياسات اجتياحية . للحصول على قياسات الضغط هذه ، يقوم عمال الرعاية الصحية المؤهلون بربط أنابيب رفيعة ، تسمى القسطرة ، في مواقع مناسبة لنقل الضغوط إلى أجهزة القياس الخارجية.

يتكون القلب من مضختين - الجانب الأيمن يدفع الدم عبر الرئتين والجانب الأيسر يؤدي إلى تدفق الدم عبر باقي الجسم (الشكل 11-36). يؤدي فشل القلب الأيمن ، على سبيل المثال ، إلى ارتفاع الضغط في الوريد الأجوف وانخفاض الضغط في الشرايين المؤدية إلى الرئتين. يؤدي فشل القلب الأيسر إلى ارتفاع الضغط الذي يدخل الجانب الأيسر من القلب وانخفاض ضغط الأبهر. ستتم مناقشة الآثار المترتبة على هذه الضغوط وغيرها على التدفق في الدورة الدموية بمزيد من التفصيل في ديناميكيات الموائع وتطبيقاتها البيولوجية والطبية.

مضختان القلب

يتكون القلب من مضختين - الجانب الأيمن يدفع الدم عبر الرئتين والجانب الأيسر يؤدي إلى تدفق الدم عبر باقي الجسم.

شكل 11-36 تخطيطي للدورة الدموية يوضح الضغوط النموذجية. تعمل المضختان الموجودتان في القلب على زيادة الضغط وينخفض هذا الضغط مع تدفق الدم عبر الجسم. الانحرافات طويلة المدى عن هذه الضغوط لها آثار طبية نوقشت بشيء من التفصيل في ديناميكيات الموائع وتطبيقاتها البيولوجية والطبية. يمكن قياس ضغط الدم الشرياني أو الأبهر فقط بدون تدخل جراحي.

الضغط في العين

يتم الحفاظ على شكل العين عن طريق ضغط الموائع ، والذي يسمى ضغط العين ، والذي يكون عادة في حدود 12.0 إلى 24.0 ملم زئبق. عندما يتم حظر تدفق السوائل في العين ، يمكن أن يؤدي ذلك إلى تراكم الضغط ، وهي حالة تسمى الجلوكوما (الزرق). يمكن أن يصل الضغط الصافي إلى 85.0 مم زئبق ، وهو ضغط كبير بشكل غير طبيعي يمكن أن يؤدي إلى تلف العصب البصري بشكل دائم.

للحصول على فكرة عن القوة المتضمنة ، افترض أن الجزء الخلفي من العين به مساحة ، والضغط الصافي هو 85.0 مم زئبق.

القوة معطاة. للحصول على نيوتن ، نقوم بتحويل المنطقة إلى (). ثم نحسب على النحو التالي:

11-55

ضغط العين

يتم الحفاظ على شكل العين عن طريق ضغط المائع ، والذي يسمى ضغط العين. عندما يتم اعتراض تدفق السوائل في العين ، يمكن أن يؤدي ذلك إلى تراكم الضغط ، وهي حالة تسمى الجلوكوما (الزرق). القوة محسوبة على النحو التالي

11-56

هذه قوة وزن حوالي 680 جم. كتلة من 680 جم على العين (تخيل أن 1-5 رطل موضوعة على عينك) ستكون كافية لإحداث ضرر بها. (القوة العادية هنا هي وزن حوالي 120 جم ، أي أقل من ربع القيمة الأولية).

الأشخاص الذين تزيد أعمارهم عن 40 عامًا هم الأكثر عرضة للإصابة بالزرق ويجب اختبار ضغط العين بشكل روتيني. تتضمن معظم القياسات ممارسة قوة على العين (المخدرة) فوق مساحة معينة (ضغط) ومراقبة استجابة العين. يستخدم نهج عدم الاتصال نفخة من الهواء ويتم قياس القوة اللازمة لعمل ازاحة للعين (الشكل 11-37). إذا كان ضغط العين مرتفعًا ، فسيقل تشوه العين وترتد بقوة أكبر من المعتاد. يمكن الكشف عن الضغوط المفرطة داخل العين بشكل موثوق به والتحكم فيها بشكل فعال في بعض الأحيان.

الشكل 11-37 يمكن قراءة ضغط العين داخل العين باستخدام مقياس توتر العين (tonometer). (credit: developall at the wikipedia project.)

مثال 11-13

حساب ضغط المقياس والعمق: تلف طبلة الأذن

لنفترض أن قوة مقدارها 3.00 ن يمكن أن تمزق طبلة الأذن. (أ) إذا كانت مساحة طبلة الأذن ، احسب الحد الأقصى لضغط المقياس على طبلة الأذن بالنيوتن لكل متر مربع وقم بتحويله إلى ملليمترات من الزئبق. (ب) في أي عمق في المياه العذبة ستتمزق طبلة أذن هذا الشخص ، بافتراض أن ضغط المقياس في الأذن الوسطى يساوي صفرًا؟

طريقة الحل (أ)

يمكن العثور على الضغط مباشرة من تعريفه لأننا نعرف القوة والمساحة. نحن نبحث عن ضغط المقياس. حل ل (أ)

11-57

11-58

طريقة الحل (ب)

هنا سوف نستخدم حقيقة أن ضغط الماء يختلف خطيًا مع العمق تحت السطح.

حل لـ (ب)

11-59

وبالتالي

المناقشة

وبالمثل ، يمكن أن ينشأ الضغط المتزايد على طبلة الأذن من الأذن الوسطى عندما تتسبب العدوى في تراكم السائل.

الضغط المرتبط بالرئتين

يزداد الضغط داخل الرئتين وينخفض مع كل نفس. ينخفض الضغط إلى أقل من الضغط الجوي (مقياس الضغط السلبي) عند الشهيق ، مما يتسبب في تدفق الهواء إلى الرئتين. يزداد فوق الضغط الجوي (مقياس الضغط الإيجابي) عند الزفير ، مما يجبر الهواء على الخروج.

يتم التحكم في ضغط الرئة من خلال عدة آليات. عمل العضلات في الحجاب الحاجز والقفص الصدري ضروري للاستنشاق ؛ هذا العمل العضلي يزيد من حجم الرئتين وبالتالي يقلل الضغط داخلهما الشكل 11-38. التوتر السطحي في الحويصلات الهوائية يخلق ضغطًا إيجابيًا يعارض الاستنشاق. (انظر التماسك والالتصاق في السوائل: التوتر السطحي والخاصية الشعرية.) يمكنك الزفير بدون عمل عضلي عن طريق ترك التوتر السطحي في الحويصلات الهوائية يخلق ضغطه الإيجابي الخاص. يمكن أن يضيف العمل العضلي إلى هذا الضغط الإيجابي لإنتاج الزفير القسري ، كما هو الحال عند نفخ بالون أو النفخ فى شمعة أو السعال.

في الواقع ، ستنهار الرئتان بسبب التوتر السطحي في الحويصلات الهوائية ، إذا لم يتم ربطهما بداخل جدار الصدر عن طريق التصاق المائع. وبالتالي ، فإن ضغط المقياس في المائع الذي يربط الرئتين بداخل جدار الصدر يكون سالبًا ، ويتراوح من أثناء الزفير والاستنشاق ، على التوالي. إذا سمح للهواء بالدخول إلى تجويف الصدر ، فإنه يكسر الارتباط ، وقد تنهار إحدى الرئتين أو كلاهما. يتم تطبيق الشفط على تجويف الصدر لمرضى الجراحة وضحايا الصدمات لإعادة الضغط السالب ونفخ الرئتين.

الشكل 11-38 (أ) أثناء الاستنشاق ، توسع العضلات الصدر ، ويتحرك الحجاب الحاجز للأسفل ، مما يقلل الضغط داخل الرئتين إلى أقل من الضغط الجوي (ضغط مقياس سالب). يكون الضغط بين الرئتين وجدار الصدر أقل للتغلب على الضغط الموجب الناتج عن التوتر السطحي في الرئتين. (ب) أثناء الزفير اللطيف ، تسترخي العضلات ببساطة ويخلق التوتر السطحي في الحويصلات الهوائية ضغطًا موجبًا داخل الرئتين ، مما يجبر الهواء على الخروج. يبقى الضغط بين جدار الصدر والرئتين سالبًا لإبقائهما مرتبطين بجدار الصدر ، ولكنه أقل سالبية منه عند الاستنشاق.

ضغوط أخرى في الجسم

العمود الفقري والجمجمة

عادة ، يوجد ضغط من 5 إلى 12 ملم زئبق في السائل المحيط بالدماغ ويملأ العمود الفقري. يخدم هذا السائل الدماغي النخاعي العديد من الأغراض ، أحدها تزويد الدماغ بالتعويم. قوة الطفو التي يوفرها السائل تساوي تقريبًا وزن المخ ، لأن كثافتهما متساوية تقريبًا. إذا كان هناك فقدان للسوائل ، فإن الدماغ يستقر في داخل الجمجمة ، مما يسبب صداعًا شديدًا وتضييقًا لتدفق الدم وضررًا خطيرًا. يقاس ضغط السائل النخاعي عن طريق إبرة تدخل بين الفقرات تنقل الضغط إلى جهاز قياس مناسب.

ضغط المثانة

غالبًا ما ندرك هذا الضغط الجسدي. في الواقع ، هناك علاقة بين إدراكنا لهذا الضغط والزيادة اللاحقة فيه. يرتفع ضغط المثانة بشكل مطرد من صفر إلى حوالي 25 مم زئبق عندما تمتلئ المثانة إلى سعتها الطبيعية. يؤدي هذا الضغط إلى إثارة منعكس التبول ، مما يحفز الشعور بالحاجة إلى التبول. علاوة على ذلك ، فإنه يتسبب أيضًا في تقلص العضلات حول المثانة ، مما يرفع الضغط إلى أكثر من 100 مم زئبق ، مما يبرز الإحساس. يمكن أن يؤدي السعال والإجهاد والتوتر في الطقس البارد وارتداء الملابس الضيقة والتوتر العصبي البسيط إلى زيادة ضغط المثانة وتحفيز هذا المنعكس. وكذلك وزن جنين المرأة الحامل خاصة إذا كان يركل بقوة أو يدفع للأسفل برأسه ! يمكن قياس ضغط المثانة عن طريق قسطرة أو عن طريق إدخال إبرة عبر جدار المثانة ونقل الضغط إلى جهاز قياس مناسب. يتمثل أحد مخاطر ارتفاع ضغط المثانة (الذي يحدث أحيانًا بسبب انسداد) في أن مثل هذا الضغط يمكن أن يدفع البول إلى العودة إلى الكلى ، مما يتسبب في ضرر شديد محتمل.

الضغوط في نظام الهيكل العظمي

هذه الضغوط هي الأكبر في الجسم ، بسبب القيم العالية للقوة الأولية ، والمساحات الصغيرة التي يتم تطبيق هذه القوة عليها ، مثل المفاصل .. على سبيل المثال ، عندما يرفع الشخص شيئًا بشكل غير صحيح ، فإن القوة من 5000 ن يمكن أن تنشأ بين فقرات العمود الفقري ، ويمكن تطبيق ذلك على منطقة صغيرة مثل. الضغط الناتج حوالي 50 ضغط جوي! يمكن أن يؤدي هذا الضغط إلى إتلاف كل من أقراص العمود الفقري (

الغضروف بين الفقرات) ، وكذلك الفقرات العظمية نفسها. حتى في ظل الظروف العادية ، تكون القوى بين الفقرات في العمود الفقري كبيرة بما يكفي لخلق ضغوط من عدة ضغوط جوية. يمكن تجنب معظم أسباب الضغط المفرط في نظام الهيكل العظمي عن طريق الرفع بشكل صحيح وتجنب النشاط البدني الشديد. (انظر القوى وعزم الدوران في العضلات و

المفاصل.)

هناك العديد من الضغوط الأخرى المثيرة للاهتمام وذات الأهمية الطبية في الجسم. على سبيل المثال ، الضغط الناجم عن الإجراءات العضلية المختلفة يدفع الطعام والفضلات عبر الجهاز الهضمي. يتصرف ضغط المعدة مثل ضغط المثانة ويرتبط بالإحساس بالجوع. عادة ما يكون الضغط في المريء المرتخي سالبا لأن الضغط في تجويف الصدر يكون سالبًا في العادة. وبالتالي ، فإن الضغط الموجب في المعدة قد يدفع الحمض إلى المريء ، مما يسبب "الحموضة المعوية (الحرقة فى المعدة)". يمكن أن يؤدي الضغط في الأذن الوسطى إلى قوة كبيرة على طبلة الأذن إذا كانت تختلف اختلافًا كبيرًا عن الضغط الجوي ، مثل أثناء الغوص. يُلاحظ أيضًا انخفاض الضغط الخارجي أثناء الرحلات الجوية (بسبب انخفاض وزن الهواء فوق سطح الأرض). تربط قناتا استاكيوس الأذن الوسطى بالحنجرة وتسمحان لنا بموازنة الضغط في الأذن الوسطى لتجنب اختلال توازن القوة على طبلة الأذن.

ترتبط العديد من الضغوط في جسم الإنسان بتدفق السوائل. سيتم مناقشة تدفق السوائل بالتفصيل في ديناميكيات الموائع وتطبيقاتها البيولوجية والطبية.