

فصل سوم

حالت‌های ماده و فشار

چرا بسیاری از کوهنوردان در ارتفاع زیاد (معمولاً بیشتر از ۵۰۰۰ متر) ناچار به استفاده از کپسول اکسیژن می‌شوند؟



اصل پاسکال



فشار در شاره‌ها



مفهوم فشار و ارتباط آن با نیرو



مفهوم جرم، حجم و چگالی



حالت‌های ماده

در کتاب **علوم تجربی پایه نهم**، با برخی پدیده‌هایی که به موضوع فشار مربوط می‌شود آشنا شده‌اید. در این فصل هم با طرح پرسش‌های دیگر (شکل ۱-۳)، ابتدا به حالت‌های مختلف مواد، با توجه به میزان تراکم‌پذیری و چگالی آنها، پرداخته می‌شود. سپس پدیده‌ها و مثال‌های دیگری درباره فشار، با کمی دقت بیشتر، مورد بررسی قرار می‌گیرد.



ب) چرا در قله‌های مرتفع کوه نفس کشیدن دشوارتر از سطح زمین است؟

الف) ویژگی‌های مواد در حالت‌های مختلف جامد، مایع و گاز چگونه است؟

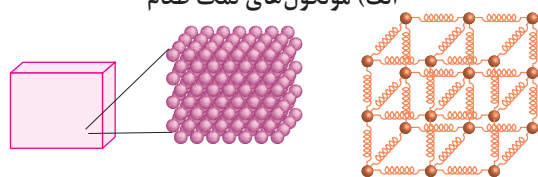
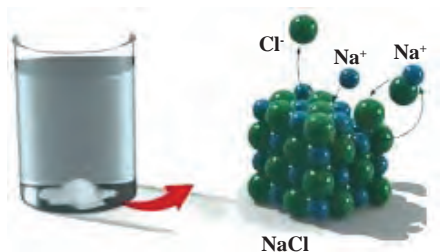


ت) اصل پاسکال چگونه برای بالابرها کاربرد دارد؟

ب) چرا بالن هوای داغ به سمت بالا می‌رود؟

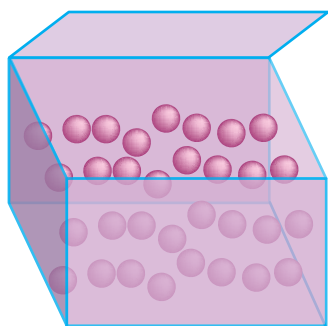
شکل ۱-۳ پرسش‌هایی که در این فصل بررسی خواهند شد

۳-۱ حالت‌های مختلف ماده



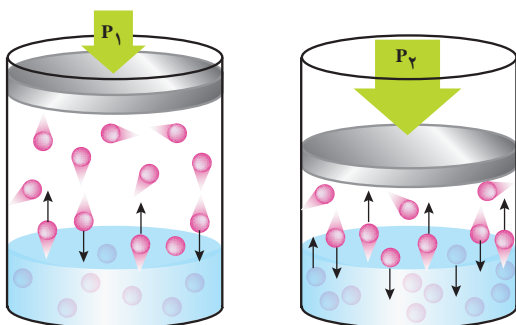
شکل ۲-۳ حالت جامد

الف) حالت جامد: در اجسام جامد فاصله مولکول‌ها از یکدیگر (در حدود یک آنگستروم یا 10^{-10} m) مانند فاصله مولکول‌ها در حالت مایع است. در این حالت فاصله مولکول‌ها بسیار کمتر از فاصله مولکول‌ها در حالت گاز است (شکل ۲-۳ الف). مولکول‌های جامد به دلیل نیروی بین مولکولی قوی در جای خود قرار دارند و تنها در محل خود دارای حرکت رفت و برگشت (نوسانی) هستند، به همین دلیل تراکم‌پذیر نیستند و حجم و شکل معینی دارند (شکل ۲-۳ ب).



شکل ۳-۳ حالت مایع

ب) حالت مایع: فاصله بین مولکول‌های مایع کمی از فاصله بین آنها در حالت جامد بیشتر است، این فاصله نیز تقریباً یک آنگستروم ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$) است. به دلیل کاهش نیروی بین مولکولی در مایعات، مولکول‌ها روی یکدیگر و درون مایع می‌لغزند و حرکت می‌کنند. مایعات به شکل ظرف خود در می‌آیند و تقریباً تراکم‌ناپذیرند (شکل ۳-۳).



شکل ۳-۴ حالت گاز

ج) حالت گاز: فاصله بین مولکول‌ها در فاز گاز، آنقدر زیاد می‌شود که نیروی بین مولکولی از بین می‌رود، در نتیجه مولکول‌ها آزادانه به اطراف در حرکت‌اند و با یکدیگر و با دیواره ظرف خود برخورد می‌کنند. گازها شکل ثابت و حجم معینی ندارند و همواره تمام حجم ظرف خود را اشغال می‌کنند. بنابراین حجم گاز برابر حجم ظرف است (شکل ۳-۴).



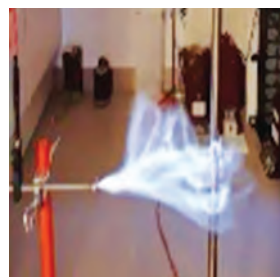
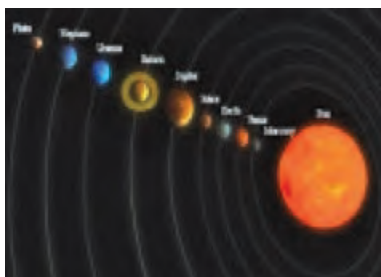
چرا متراکم کردن یک بطری پلاستیکی در بسته پر از هوا، ساده‌تر از متراکم کردن یک بطری پلاستیکی در بسته محتوی آب است؟

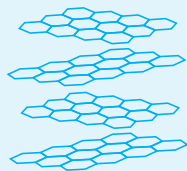
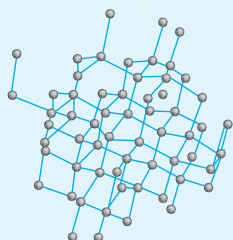
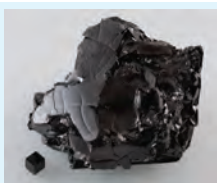
فکر کنید



کاربرد در صنعت و فناوری: حالت چهارم «پلازما»

وقتی گازی تا دماهای بالا گرم می‌شود، بسیاری از الکترون‌هایی که هر اتم را احاطه کرده‌اند، از هسته آزاد می‌شوند. این حالت که مجموعه‌ای از ذرات، بار الکتریکی دارند (مقادیر مساوی الکترون‌های بار منفی و یون‌های بار مثبت) پلازما نامیده می‌شود. (شعله آتش، درون ستارگان و اطراف آنها، گاز داخل یک لامپ نئون، چاقوی پلازما، دستگاه برش «CNC» و ... گونه‌هایی از پلازما و کاربرد آن هستند).





انواع جامدات

الف) جامد بلورین یا کریستال : هرگاه مایعی را به

آرامی سرد کنیم تا به جامد تبدیل شود، مولکول هایش برای قرار گرفتن در یک طرح منظم زمان لازم را دارند و جامد بلورین تشکیل می شود. فلزات، نمک ها و الماس از این نوع جامدات به شمار می روند.

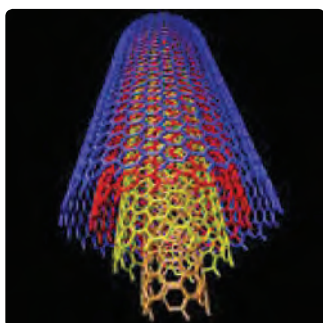
ب) جامد بی شکل: هرگاه یک مایع را به سرعت

سرد کنیم تا به جامد تبدیل شود، مولکول های آن برای قرار گرفتن در یک طرح منظم زمان لازم را ندارد و جامد بی شکل تشکیل می شود. شیشه از این نوع جامدات است. جامدهای بی شکل مثل شیشه و قیر، که «آمورف» نامیده می شوند، در پیوندهایشان ساختارهای مولکولی طولانی و منظم وجود ندارد و حالتشان به هنگام ذوب یا انجماد تغییر نمی کند و فقط سفت یا شل می شوند.

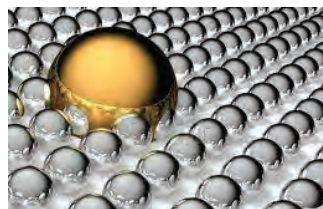


مقداری جوهر را درون لیوان محتوی آب بریزید. مقداری افشانه خوشبوکننده نیز درون هوای اتاق پخش کنید. الف) مشاهده خود را شرح دهید. ب) از پدیده های اشاره شده، که پخش نام دارند، در مورد حرکت مولکول ها چه نتیجه ای می توان گرفت؟

۳-۲ مواد در مقیاس نانو



الف) نانو لوله کربنی



ب) نظم اتمی در ساختار نانویی
شکل ۳-۵ مواد در ابعاد نانو

علم و فناوری نانو، توانایی در اختیار گرفتن ماده در ابعاد نانو (۵ تا ۱۰ اتم در کنار هم تقریباً به طول ۱ نانومتر هستند) و بهره برداری از خواص جدید فیزیکی و شیمیایی این بُعد از مواد در ابزارها و دستگاه های نوین است (شکل ۳-۵). در واقع فناوری نانو به معنی انجام مهندسی مواد در ابعاد اتمی - مولکولی و در نتیجه ساخت موادی با خواص متفاوت در ابعاد نانو است. به بیان دیگر اگر ماده ای را تا حد یک دانه شکر کوچک کنیم، خواص آن تقریباً مشابه همان ماده اولیه است؛ اما وقتی میزان کوچک تر شدن (حتی فقط در یک بعد از سه بعدش) به ابعاد نانومتری برسد، خواص ماده به گونه ای تغییر می کند که دیگر قوانین معمولی فیزیک خواص آن را توجیه نمی کند زیرا این تغییرات می تواند شامل تغییر رنگ، شفافیت، واکنش پذیری و خواص مغناطیسی و... باشد؛ مثلاً رنگ نانو ذرات طلا می تواند آبی، زرد یا قرمز باشد (شکل ۳-۶) و یا نقطه ذوب قطعه نانویی طلا 427°C است، در صورتی که نقطه ذوب طلای معمولی 1062°C است.



شکل ۳-۶ رنگ نانو ذرات طلا

یکی از ویژگی‌های مهم علم نانو میان رشته‌ای بودن آن است. تحقیق کنید آیا در رشته تحصیلی شما، این علم کاربردی دارد؟ نمونه‌ای از آن را، به کلاس ارائه دهید.

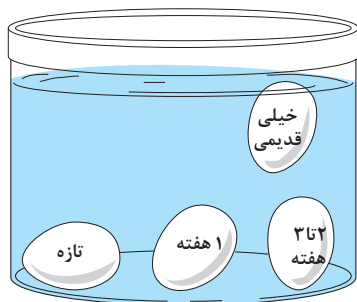
تحقیق کنید



۳-۳ چگالی

یک عدد تخم مرغ را درون لیوانی با آب معمولی بیندازید و بار دیگر همین تخم مرغ را در داخل لیوانی که آب آن با دو قاشق سوپ خوری از نمک شور شده است، بیندازید. در این دو حالت چه تفاوتی مشاهده می‌کنید؟ چه دلیلی برای آن می‌توان مطرح کرد؟

تجربه کنید



الف) استفاده از مفهوم چگالی در تشخیص میزان تازگی تخم مرغ



ب) تفاوت محل قرارگیری چوب پنبه و آهن در داخل آب

شکل ۳-۷ تصویر اجسام مختلف در داخل آب

در کتاب **علوم تجربی پایه هفتم**، نسبت جرم به حجم چند جسم را محاسبه کردید و با مفهوم چگالی آشنا شدید. همچنین دیدید هنگامی که چند جسم مختلف در داخل آب قرار داده می‌شوند، چه اتفاقی می‌افتد (شکل ۳-۷). در این بخش نیز بیشتر با این مفهوم آشنا خواهید شد.

مفهوم و رابطه چگالی: یکی از ویژگی‌های فیزیکی هر ماده در همه فازها (جامد، مایع، گاز) چگالی است. جرم اتم‌ها و فاصله بین آنها (حجم یا فضای اشغال شده) در یک ماده، چگالی آن را تعیین می‌کند. چگالی معیاری از تراکم ماده و مقدار جرمی است که در فضایی مشخص وجود دارد. نسبت جرم (با نماد m) به حجم (با نماد V) هر جسمی را چگالی (با نماد ρ) آن جسم می‌نامند.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (۱-۳)$$

یکای چگالی در SI، با توجه به رابطه (۱-۳)، کیلوگرم بر مترمکعب ($\frac{kg}{m^3}$) است.

نکته



چگالی نسبی: نسبت چگالی یک جسم به چگالی جسم دیگر، چگالی نسبی نامیده می‌شود و کمیتی بدون یکا است. معمولاً چگالی جامدات و مایعات را با چگالی آب خالص ($4^\circ C$) مقایسه می‌کنند و چگالی گازها را با چگالی هوا مقایسه می‌کنند.

$$d = \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad (۲-۳)$$



شکل ۳-۸ شناوری روغن بر روی آب

درمایعی با مواد مخلوط نشدنی، اجسام با چگالی بیشتر پایین تر از اجسام با چگالی کمتر، قرار می گیرند. به همین دلیل از آنجا که چگالی آب (۴°C) برابر $1 \frac{g}{cm^3}$ است، هر جسم با چگالی کمتر از آن روی آب شناور می شود. مطابق شکل ۳-۸ روغن به دلیل چگالی کمتر از آب، روی آب قرار می گیرد.

چگالی مخلوط یا آلیاژ

اگر دو یا چند جسم را با جرم های m_1, m_2, \dots و حجم های V_1, V_2, \dots با هم مخلوط کنیم و هنگام مخلوط شدن کاهش حجمی رخ ندهد، چگالی مخلوط از رابطه زیر به دست می آید:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_1 + m_2 + \dots}{V_1 + V_2 + \dots}$$

بیشتر بدانید



چرا ورزشکاران در هنگام استراحت های کوتاه، باید به جای آب از نوشیدنی های معدنی ویژه استفاده کنند؟

فکر کنید



در یک آزمایش تشخیص طبی، قند خون ناشتای شخصی $(\frac{mg}{dlit})$ میلی گرم دسی لیتر ۷۸ است. مفهوم این نتیجه آزمایش چیست؟

فکر کنید



جدول ۳-۱ چگالی چند ماده مختلف در فشار یک اتمسفر بر حسب $(\frac{kg}{m^3})$

جامد	چگالی	مایع	چگالی	گاز (در دمای ۲۰°C)	چگالی
طلا	۱۹۳۲۰	جیوه	۱۳۶۰۰	کلر	۲/۹۹۴
سرب	۱۱۳۰۰	گلیسرین	۱۲۶۰	کربن دی اکسید	۱/۹۸
مس	۸۹۰۰	خون	۱۰۵۰	کربن مونو اکسید	۱/۴۶۵
فولاد	۷۹۰۰	چدن مذاب	۶۸۰۰	اکسیژن	۱/۴۳
آلومینیوم	۲۷۰۰	آب در ۴°C	۱۰۰۰	هوا	۱/۲۹
پودرسیمان	۱۸۰۰	آلومینیوم مذاب	۲۳۵۰	آمونیاک	۰/۷۷
یخ	۹۲۰	روغن ذرت	۹۰۰	متان	۰/۶۶۸
چوب گردو	۶۵۰	نفت	۸۳۰	هلیوم	۰/۱۶۶
چوب پنبه	۲۵۰	الکل	۸۰۰	هیدروژن	۰/۰۸۹

مثال

حجم بتن مصرفی در یک ستون ۵/۲ مترمکعب است. اگر چگالی آن $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 10^3 \times 2/4$ باشد، وزن این ستون چند نیوتن است؟ ($g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$)



پاسخ: از رابطه ۳-۱ داریم:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \frac{2/4 \times 10^3 \text{ kg}}{\text{m}^3} = \frac{m}{2/5 \text{ m}^3} \Rightarrow m = 2/5 \text{ m}^3 \times 2/4 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 6 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow W = mg = 6 \times 10^3 \text{ kg} \times 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 6 \times 10^4 \text{ N}$$

تمرین کنید



الف) چگالی چوب پنبه و مس را، با توجه به مقادیر جدول ۳-۱، بر حسب ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$) محاسبه کنید.
ب) حجم ۱ kg چوب پنبه بیشتر است یا ۱ kg مس؟
پ) جرم 1 cm^3 چوب پنبه بیشتر است یا 1 cm^3 مس؟

تمرین کنید



درون یک بوتۀ ذوب فلزات $24/2 \text{ kg}$ از آلومینیوم مذاب پر شده است. با توجه به جدول ۳-۱ تعیین کنید:
الف) حجم داخلی این بوتۀ بر حسب دسی متر مکعب
ب) در این بوتۀ به جای آلومینیوم مذاب چند کیلوگرم چدن مذاب جای می‌گیرد؟
پ) اگر تمام آلومینیوم مذاب در داخل یک قالب ریخته شود، حجم آن پس از سرد شدن چند cm^3 خواهد شد؟

۳-۲ مفهوم فشار



شکل ۳-۹ ارتباط فشار و سطح

شاید کاربرد پمپ را در منازل، به ویژه در آپارتمان‌ها دیده باشید، یا وقتی دهانۀ لوله خروجی هوای یک تلمبه دستی دوچرخه را می‌بندید و پیستون تلمبه را به سمت داخل می‌برید، فشار هوای محبوس در تلمبه را احساس کرده باشید. در شکل ۳-۹ هر چه سطح تماس فرد با میخ‌ها بیشتر باشد، اثر میخ‌ها را کمتر احساس می‌کند. این مثال‌ها کفایت می‌کند تا مفهوم فشار و تفاوتش با نیرو را به خوبی درک کنیم.



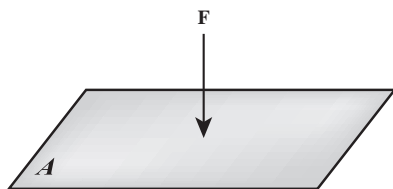
در یک تخته با ابعاد (10 cm و 10 cm) به فاصلۀ هر سانتی متر میخ‌هایی وارد کنید. سپس بادکنکی را باد کرده و بر میخ‌ها فشار دهید. این حالت را با حالتی که فقط یک میخ به بادکنک فشار می‌آورد، مقایسه کنید. چه تفاوتی مشاهده می‌شود؟ با توجه به مثال‌ها و تجربه بالا، عوامل مؤثر بر فشار را بررسی کنید.

تجربه کنید





در درس **علوم تجربی پایه نهم** دیدید که جامدها بر سطح تکیه‌گاه خود و شاره‌ها بر دیواره ظرفشان و بر سطح هر جسمی که در داخل آنها قرارگیرد، فشار وارد می‌کنند. فشار برابر است با بزرگی نیرویی که عمود بر یکای سطح وارد می‌شود.



$$P = \frac{F}{A} \quad \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) \quad (3-3)$$

در این رابطه، F نیروی عمودی از طرف جسم جامد، و یا شاره بر حسب نیوتن (N) و A مساحت سطح تماس بر حسب مترمربع (m^2) است.

فشار کمیتی نرده‌ای و فرعی با یکای پاسکال (Pa) است. یعنی یک پاسکال برابر با نیروی عمودی 1 N وارد بر سطح 1 m^2 است که برای اندازه‌گیری فشارهای بسیار کم از آن استفاده می‌شود؛ مثلاً فشار یک برگ اسکناس روی میز، حدود یک پاسکال است. در این فصل با واحدهای بزرگ‌تر، که در صنعت نیز کاربرد دارند، آشنا خواهید شد.

مثال



فشار هوای درون یک هواپیمای مسافری در ارتفاع $7/5 \times 10^3\text{ m}$ از سطح دریا، تقریباً $0/4$ اتمسفر از فشار هوای بیرون آن، بیشتر است. در این صورت چه نیرویی بر حسب نیوتن به هر پنجره ($30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$) آن وارد می‌شود؟ ($1\text{ atm} \cong 10^5\text{ Pa}$)

پاسخ: بیشتر بودن فشار هوای درون هواپیما نسبت به بیرون آن عامل وارد شدن نیرویی به درها و پنجره‌های آن از داخل هواپیما می‌شود، و براساس رابطه (3-3) این نیرو برابر است با:

$$A = 30\text{ cm} \times 30\text{ cm} = 9 \times 10^2\text{ cm}^2 = 9 \times 10^2 \times 10^{-4}\text{ m}^2 = 9 \times 10^{-2}\text{ m}^2$$

$$P = 0/4\text{ atm} = 0/4 \times 10^5\text{ Pa}$$

$$F = P \times A = 0/4 \times 10^5\text{ Pa} \times 9 \times 10^{-2}\text{ m}^2 = 3/6 \times 10^3\text{ N}$$

تحقیق کنید



حادثه‌ای که در عکس مشاهده می‌کنید، در آوریل سال ۱۹۸۸ میلادی، وقتی هواپیمای بویینگ ۷۳۷ در ارتفاع $7/3 \times 10^3$ متری، پرواز می‌کرد، رخ داده است، تحقیق کنید که این حادثه، به چه علت رخ داده و چه ارتباطی با مفهوم فشار داشته است؟

۳-۵ فشار شاره‌ها

در بخش اول این فصل اشاره شد، شاره‌ها حتی اگر ساکن هم باشند، مولکول‌های آنها در حرکت‌اند و همین برخورد مولکول‌ها به اطراف خود، سبب به‌وجود آمدن نیروی شاره می‌گردد. این نیرو نیز عامل به‌وجود آورنده فشار است، که مقدارش بر هر سطح فرضی درون شاره، از رابطه (3-3) قابل محاسبه است. در این بخش، ابتدا با فشار در مایعات آشنا می‌شوید، سپس با توجه به ویژگی مشترک شاره‌ها، می‌توانید فشار در گازها را نیز بررسی کنید.



ابوریحان بیرونی

فیزیک‌دان (طبیعی‌دان) مسلمان
هم‌عصر ابن‌سینا، ابوریحان محمد بیرونی
از دانشمندان بزرگ اسلامی است.
او در علم فیزیک به‌خصوص
در مباحث حرکت و تعادل شاره‌ها
شهرت یافت. بیرونی با امکانات
محدود آن زمان توانست اختلاف
چگالی آب در دماهای مختلف را
دریابد. او در کتاب «الآثار الباقیه عن
القرون الخالیه» به بحث از تعادل
شاره‌ها و نیز شرح پدیده‌هایی که
مبنتی بر فشار شاره‌ها و توازن و
تعادل آنهاست پرداخته است.

تجربه کنید

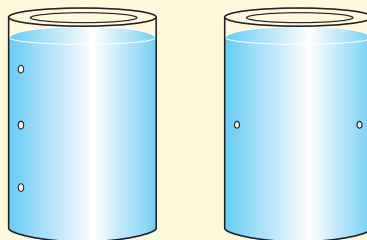


۱- دو بطری آب معدنی خالی را تهیه کنید. سه سوراخ کوچک در
نقاط هم‌ارتفاع سه طرف بطری آب معدنی خالی اول و سه سوراخ دیگر
در سه نقطه هم‌ارتفاع با راستا با ارتفاع متفاوت از بطری آب معدنی خالی دوم
ایجاد کنید. سپس در هر کدام آب بریزید و نقاط بالای آنها را بفشارید.
الف) سرعت و فاصله افقی آب خارج شده سه سوراخ هم‌ارتفاع بطری
اول چه ارتباطی با هم دارند؟

ب) سرعت و فاصله افقی آب خارج شده سه سوراخ در نقاط با ارتفاع
مختلف بطری دوم چه ارتباطی با هم دارند؟

ج) با فشار دادن نقاط بالای هر کدام از بطری‌ها، مشاهده خود را با
ذکر دلیل شرح دهید.

۲- این فعالیت را با مایعی که چگالی متفاوت با آب دارد تکرار کنید
و به سؤالات بالا در این حالت نیز پاسخ دهید.



۳-۵-۱ محاسبه اختلاف فشار دو نقطه در مایع ساکن: همانند

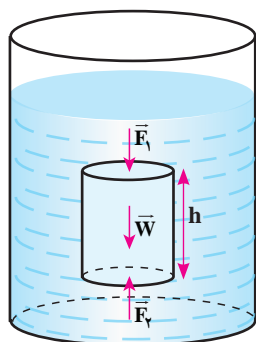
شکل ۳-۱۰ در ظرفی محتوی مایع ساکن با چگالی ρ ، یک استوانه فرضی به
ارتفاع h و مساحت قاعده A در نظر می‌گیریم. با توجه به تعادل مایع، برآیند
نیروهای وارد بر این استوانه در راستای قائم (و هر راستای دلخواه) یعنی
وزنش (W) و نیروها F_1 و F_2 ، که از پایین و بالا از طرف مایع زیرین و روی
این استوانه بر آن وارد می‌شوند، صفر است. بر مبنای آنچه از برآیند بردارها در
فصل اول آموخته‌اید می‌توان نوشت:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_2 - F_1 - W = 0$$

$$W = mg = (\rho V)g = (\rho Ah)g \rightarrow P_2 A - P_1 A = \rho gh A$$

$$P_2 - P_1 = \rho gh$$

$$(4-3)$$



شکل ۳-۱۰ استوانه فرضی

مثال

فشار در عمق ۹ متری آب درون یک دریاچه، چه مقدار از فشار در عمق ۱ متری بیشتر است؟

(چگالی آب دریاچه را $\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$ در نظر بگیرید.)

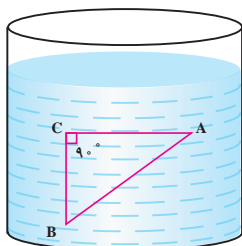
پاسخ:

$$h = 9m - 1m = 8m$$

$$P_2 - P_1 = \rho gh \Rightarrow P_2 - P_1 = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 10 \frac{N}{kg} \times 8m = 8 \times 10^4 Pa$$



تمرین کنید



در شکل رو به رو، اختلاف فشار بین دو نقطه A و B چند کیلوپاسکال است؟

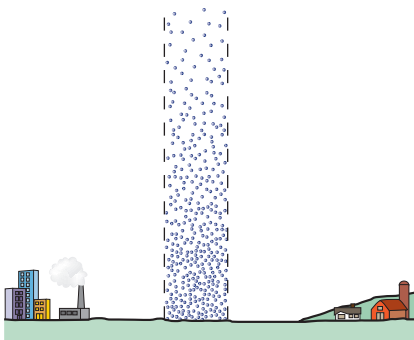
چگالی مایع $8 \times 10^2 \frac{\text{g}}{\text{Lit}}$ ، $AB = 13 \text{ cm}$ ، $AC = 12 \text{ cm}$ است.

۳-۵-۲ فشار هوا

تجربه کنید



یک لیوان را پر از آب کنید و یک صفحه مقوایی، که تمام دهانه لیوان را می پوشاند، روی دهانه لیوان را محکم نگه دارید، آنگاه درحالی که صفحه مقوایی را با دست نگه داشته اید، لیوان را وارونه کنید. چرا مقوا و آب درون لیوان سقوط نمی کنند؟



شکل ۳-۱۱ فشار هوا

فشار هوا چگونه به وجود می آید؟ همان طور که فشار

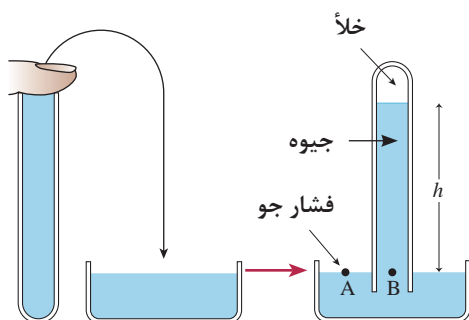
آب را وزن مولکول های آب به وجود می آورد، اطراف کره زمین نیز، تا ارتفاع معینی مولکول های هواست و چون هوا دارای جرم است، به علت وزنش فشاری وارد می کند که «فشار هوا» نام دارد (شکل ۳-۱۱). روش های مختلفی برای اندازه گیری فشار هوا وجود دارد. یکی از مهم ترین روش ها، آزمایش توریچلی^۱ است.

۳-۵-۳ آزمایش توریچلی: براساس طرح آزمایش توریچلی

(شکل ۳-۱۲)، لوله یک سر بسته ای به طول حدود ۱ متر را از جیوه پر کرده و با بستن دهانه آن به کمک دست لوله را برمی گردانیم و در ادامه، دهانه آن را در داخل تشتکی محتوی جیوه فرو می بریم. برداشتن دست خود از دهانه لوله مقداری جیوه از لوله پایین می آید و در ارتفاع معینی ثابت می ماند. اگر آزمایش در سطح دریای آزاد و در هوای آرام انجام شده باشد، این ارتفاع ۷۶ سانتی متر خواهد شد. در شکل ۳-۱۳ فشار نقطه A، فشار هوا است و به دلیل هم ترازی نقاط A و B، که هر دو به مایع جیوه مربوط اند، می توان نوشت:

$$P_A = P_B = P_0$$

از طرفی فشار P_B همان فشار ستون جیوه مربوط به بالای نقطه B است:

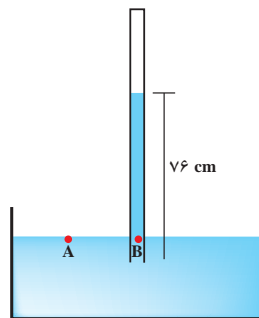


شکل ۳-۱۲ آزمایش توریچلی

$$P_0 = P_B = \rho gh = (136 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \times (9.8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}) \times (76 \times 10^{-2} \text{ m})$$

$$\rightarrow P_0 = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} \approx 1.01 \text{ Pa}$$

شکل ۳-۱۳ محاسبه فشار هوا
توسط آزمایش توربیجلی



۷۰ cmHg چند پاسکال و چند کیلوپاسکال است؟

پاسخ:

$$P_P = (\rho_{Hg})(g)(h_{Hg}) = (13600 \frac{kg}{m^3}) \times (9.8 \frac{N}{kg}) \times (0.76 m) \cong 9.8 \times 10^4 Pa = 98 kPa$$

مثال



نکته



از سطح زمین به سمت ارتفاعات بالاتر، تراکم و تعداد مولکول‌های هوا کمتر می‌شود، در نتیجه در نزدیکی سطح زمین فشار هوا تقریباً به ازای هر ۱۰ متر افزایش ارتفاع، ۱ میلی‌متر جیوه کاهش می‌یابد.

مثال



شهرکرد با ارتفاع ۲۰۶۰ متری از سطح دریا از میان مراکز استان‌ها به‌عنوان مرتفع‌ترین شهر از سطح دریا به‌حساب می‌آید که به‌همین علت آن را بام ایران نیز می‌خوانند. اگر فشار هوا در سطح دریا ۷۶ cmHg باشد، فشار هوا در این شهر چند cmHg است؟

پاسخ:

$$\frac{2060 m}{10 m} = 206 \xrightarrow{\text{با توجه به نکته بالا}} \Delta P \cong -206 mmHg = -20.6 cmHg \Rightarrow P_0 \cong 76 - 20.6 = 55.4 cmHg$$

تمرین کنید



فشار مایعی در کف ظرف ۱۵۰ cmHg است. بررسی کنید نیرویی که از مایع به کف ظرف وارد می‌شود چند نیوتون است؟

$$(\rho_{Hg} = 13600 \frac{kg}{m^3}, g = 9.8 \frac{N}{kg}, A = 20 cm^2)$$

نکته



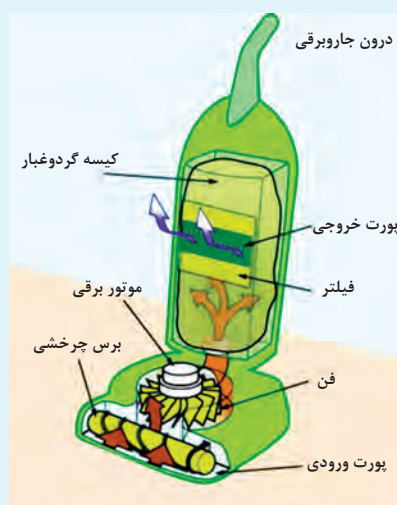
فشار هوا در سطح آزاد دریا تقریباً با مقادیر زیر برابر است:

$$P_0 = 10^5 Pa = 1 atm = 76 cmHg = 760 mmHg$$

فکر کنید



ارتفاع قله اورست، در حدود ۸۸۴۸ متر است. به کوهنوردانی که قصد صعود به این قله را دارند، همواره توصیه می‌شود که حتماً کیسول اکسیژن به همراه داشته باشند. به نظر شما، این موضوع چه ارتباطی به مفهوم فشار هوا دارد؟



جارو برقی چگونه کار می‌کند؟

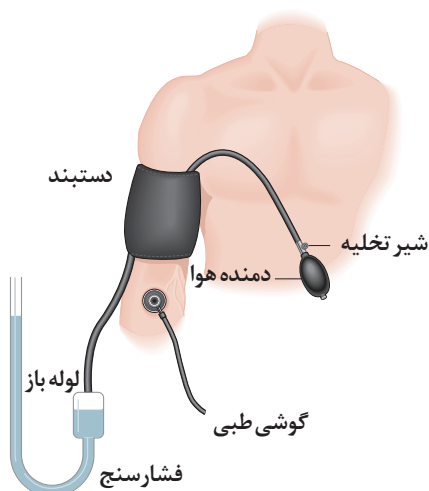
در یک جارو برقی، مشابه مکش با یک نی نوشیدنی (البته کمی پیچیده‌تر)، عمل می‌شود. وقتی جاروبرقی روشن می‌شود، با به کار افتادن موتور و چرخش فن متصل به آن با پره‌های زاویه‌دار (مانند پروانه هواپیما)، هوا را مطابق شکل، به سمت درگاه (پورت) خروجی می‌برد. هنگامی که ذرات هوا رو به جلو حرکت می‌کنند، تراکم ذرات (و در نتیجه فشار هوا) در جلوی فن افزایش می‌یابد و در ناحیه پشت فن، کاهش می‌یابد. افت فشار پشت فن، مانند افت فشاری است که در پشت نی، بعد از مکیدن ایجاد می‌شود و در نتیجه خلأ جزئی ایجاد شده درون جارو برقی، هوای محیط اطراف، به سمت جارو برقی (از مسیر درگاه ورودی) هل داده می‌شود. جریان هوا نیز، ذرات ریز را از روی فرش یا موکت و... جمع‌آوری می‌کند.

۳-۵-۴ محاسبه فشار در یک نقطه در داخل شاره: در بخش ۳-۵-۱ نشان داده شد که اختلاف فشار دو نقطه درون مایع از رابطه $P_2 - P_1 = \rho gh$ محاسبه می‌شود. حال اگر نقطه ۱ را در سطح آزاد مایع در نظر بگیریم ($P_1 = P_0$)، در این صورت فشار در هر نقطه در عمق h ، از سطح آزاد مایع (مانند نقطه ۲) از رابطه زیر به دست می‌آید که آن را فشار کل یا واقعی شاره در نقطه ۲ می‌نامیم:

$$P_2 = \rho gh + P_0 \quad (۵-۳)$$



فشار هوا بر سطح مایعی به چگالی $\frac{4}{5} \frac{g}{cm^3}$ برابر با 75 cmHg است. اگر چگالی جیوه $\frac{1}{36} \times 10^1 \frac{g}{cm^3}$ و $g = 10 \frac{N}{kg}$ باشد، فشار کل در عمق 40 cm مایع، چند کیلوپاسکال و چند سانتی‌متر جیوه است؟



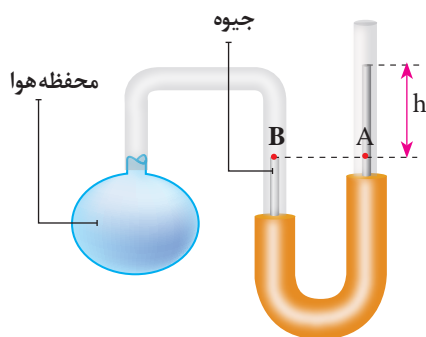
فشار پیمانه‌ای: در اندازه‌گیری فشارخون (شکل ۳-۱۴)

یا فشار باد لاستیک‌ها درواقع اختلاف فشار شاره با فشار هوای محیط محاسبه می‌شود. مثلاً اگر گفته شود فشار هوای درون یک لاستیک ۲ اتمسفر (2 atm) است، یعنی فشار هوای داخل لاستیک ۲ اتمسفر از فشار هوای بیرون آن، بیشتر است. به این اختلاف فشار، «فشار پیمانه‌ای» گفته می‌شود:

$$P - P_0 = \text{فشار پیمانه‌ای} \quad (۶-۳)$$

فشار شاره
فشار هوای محیط

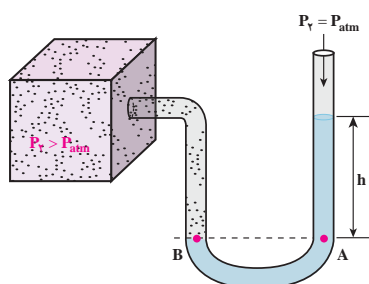
شکل ۳-۱۴ دستگاه اندازه‌گیری فشار خون



شکل ۳-۱۵ فشار سنج‌های U شکل

در فشارسنج‌های U شکل (شکل ۳-۱۵) که درون آنها مایعی به چگالی ρ است، یک دهانه لوله به مخزن یا محفظه شاره بسته می‌شود. حال اختلاف ارتفاع مایع در دو شاخه (h)، معرف اختلاف فشار شاره موردنظر با هواست. یعنی:

$$P - P_0 = \rho gh$$



مطابق شکل روبه‌رو، فشارسنج ساده‌ای را به مخزن گازی وصل و شیر مخزن را باز می‌کنیم، مشاهده می‌شود سطح جیوه در شاخه‌ای که دهانه آن باز است، $47/5 \text{ cm}$ بالاتر از سطح جیوه در شاخه دیگر قرار می‌گیرد.

$$(g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}, P_0 = 76 \text{ cmHg})$$

الف) فشار پیمانه‌ای گاز را بر حسب سانتی‌متر جیوه و پاسکال محاسبه کنید.

ب) فشار مخزن گاز چند سانتی‌متر جیوه است؟

پاسخ: الف) چون نوع مایع جیوه است، اختلاف ارتفاع جیوه در دو شاخه لوله، یعنی h معرف فشار پیمانه‌ای بر حسب سانتی‌متر جیوه است:

$$\Delta P = 47/5 \text{ cmHg}$$

$$\Rightarrow \Delta P = \rho gh = (10/36 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(10 \frac{\text{N}}{\text{kg}})(47/5 \times 10^{-2} \text{ m}) = 6/46 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = P_{\text{گاز}} - P_0 \Rightarrow P_{\text{گاز}} = \Delta P + P_0 = 47/5 \text{ cmHg} + 76 \text{ cmHg} = 123/5 \text{ cmHg}$$

مثال

+ -
× ÷



کاربرد در صنعت و فناوری: انواع فشارسنج‌ها

۱- فشارسنج‌هایی که فشار را براساس ارتفاع مایع درونشان اندازه‌گیری می‌کنند:

الف) مانومترها که اختلاف فشار دو شاره را بر حسب اختلاف ارتفاع مایع درون خود اندازه می‌گیرند.

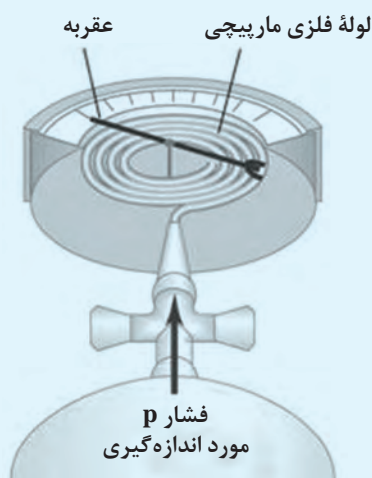
ب) انواع U شکل، تفاضلی، پیزومتر).

ب) بارومترها که فقط فشار هوا را اندازه می‌گیرند (خشک، جیوه‌ای).

۲- فشارسنج بوردون برای اندازه‌گیری فشار پیمانه‌ای شاره‌ها به کار می‌رود (برای مثال در اندازه‌گیری باد لاستیک وسیله‌های نقلیه).

۳- فشار سنج‌های دیجیتالی که تا ده بار را در دماهایی بین یک تا 50°C درجه سلسیوس اندازه‌گیری می‌کنند. نکته ۱: فشارسنج‌ها فشار پیمانه‌ای، یعنی اختلاف فشار میان فشار واقعی شاره و فشار جو را اندازه می‌گیرند و طوری درجه‌بندی شده‌اند، که در فشار جو، عدد صفر را نشان می‌دهند.

نکته ۲: در اکثر فشارسنج‌های صنعتی، فشار بر حسب psi و bar اندازه‌گیری می‌شود، که رابطه تبدیل آنها به صورت $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ و $1 \text{ psi} \cong 6890 \text{ Pa}$ است.



ساختمان فشارسنج‌های بوردون

برخی از فشارسنج‌ها، از یک لوله مسدود قابل انعطاف، استفاده می‌کنند، تغییر فشار درون یا بیرون لوله، یا هر دو، سبب تغییر در ابعاد آن می‌شود.

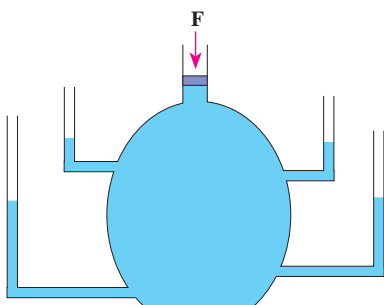
این تغییر به صورت نوری، الکتریکی، یا مکانیکی آشکار می‌شود. در این نوع فشارسنج‌ها وقتی فشار درون لوله فلزی مارپیچی افزایش می‌یابد، لوله اندکی راست می‌شود و عقربه متصل به آن را منحرف می‌کند.

از این نوع فشارسنج‌ها معمولاً برای اندازه‌گیری فشار گاز درون مخزن‌ها استفاده می‌کنند.

نکته



رابطه اختلاف فشار شاره‌ها $P_2 - P_1 = \rho gh$ برای تمام شاره‌های در حال تعادل، به کار می‌رود. بنابراین می‌توان، اختلاف فشار بین دو نقطه درون یک گاز را که در محفظه‌ای به حال سکون قرار دارد، از این رابطه محاسبه کرد. چون چگالی گازها کمتر از مایعات است، مقدار این اختلاف فشار، ناچیز است، به همین دلیل، فشار گاز درون یک کپسول گاز یا درون یک اتاق، در تمام نقاط آن، تقریباً یکسان فرض می‌شود.

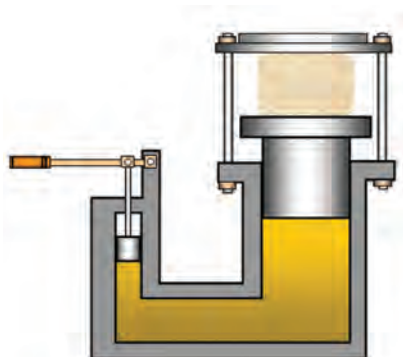


شکل ۱۶-۳ انتقال فشار

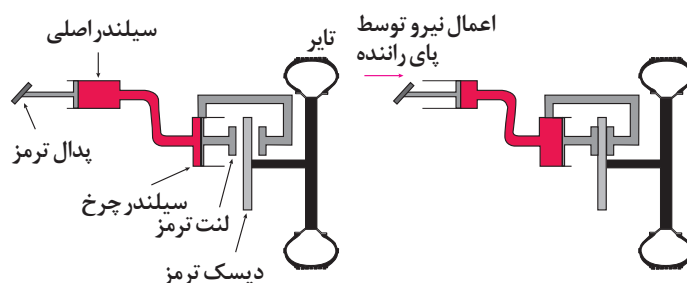
۳-۵-۵ اصل پاسکال: بر طبق این اصل، تغییر فشار در هر

نقطه از شاره محبوس، ساکن و تراکم‌ناپذیر بدون تغییر به تمام نقاط شاره و دیواره‌های اطراف منتقل می‌شود. وقتی در مرکز پمپاژ آب شهر، فشار ۱۰ واحد زیاد شود، فشار در همه لوله‌های متصل به این دستگاه، به شرط اینکه آب لوله‌ها ساکن باشد، ۱۰ واحد زیاد می‌شود (شکل ۱۶-۳).

از دیگر کاربردهای فراوان این اصل می‌توان در ترمز روغنی خودروها، لوله‌های کرم یا خمیردندان، دستگاه منگنه آبی یا خرد کردن کاغذ (شکل ۱۷-۳) و ... را نام برد. همچنین در شکل ۱۸-۳ شیوه عملکرد ترمز یک خودرو را از نمایی نزدیک‌تر مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۷-۳ دستگاه منگنه آبی

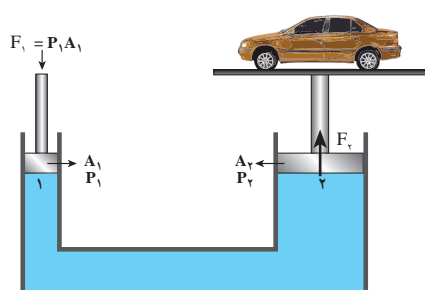


شکل ۱۸-۳ شیوه عملکرد ترمز خودرو



چرا مایعات تراکم ناپذیرند؟

وقتی مولکول‌ها به هم بسیار نزدیک شوند، یک نیروی دافعه قوی، میان آنها ایجاد می‌شود که از نزدیک شدن بیشتر آنها جلوگیری می‌کند. وقتی که بطری پر از آب را متراکم می‌کنیم مولکول‌ها آن قدر به هم نزدیک می‌شوند که نیروی رانشی بین آنها ایجاد می‌گردد و این نیرو مانع از تراکم بیشتر آب می‌گردد. نیروی رانشی بین مولکول‌ها عاملی است که مایعات را تراکم‌ناپذیر می‌سازد.



شکل ۱۹-۳ بالابر هیدرولیکی

یک کاربرد اصل پاسکال را می‌توان در بالابرهای خودرو (دستی یا کمپرسوری) مورد بررسی قرار داد. در شکل ۱۹-۳ مشاهده می‌کنید که نیروی F_1 ، به پیستونی به مساحت A_1 وارد می‌شود و فشار مایع در همه جا به میزان $\frac{F_1}{A_1}$ زیاد می‌شود. در نتیجه با توجه به اصل پاسکال در محل پیستون به مساحت A_2 خواهیم داشت:

$$P_1 = P_2 \rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (۷-۳)$$



در یک کارگاه مکانیکی از یک بالابر هیدرولیکی، برای بالا بردن خودروها استفاده می‌شود. در این بالابر، یک محفظه شامل هوای فشرده شده، نیرویی را بر پیستون کوچک به شعاع ۵ cm وارد می‌کند. این فشار توسط یک مایع تراکم‌ناپذیر به پیستون بزرگی به شعاع ۱۵ cm منتقل می‌شود. هوای فشرده شده درون محفظه باید چه نیرویی را به پیستون کوچک وارد کند تا خودرویی به وزن $1/8 \times 10^4 \text{ N}$ را بالا ببرد؟

پاسخ:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow F_1 = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)F_2 = \left(\frac{\pi(5 \times 10^{-2} \text{ m})^2}{\pi(15 \times 10^{-2} \text{ m})^2}\right) \times 1/8 \times 10^4 \text{ N} = 2 \times 10^3 \text{ N}$$

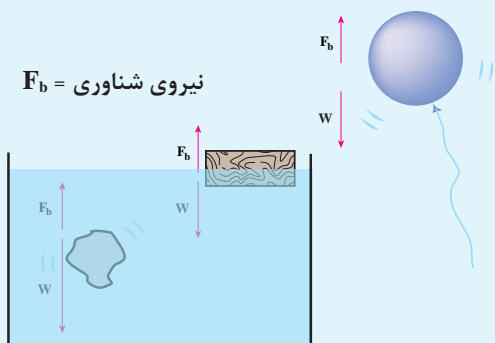
در مثال قبل، فشار مخزن هوای متصل به پیستون کوچک، هنگام بلند کردن خودرو، چند پاسکال است؟





نیروی شناوری

F_b = نیروی شناوری

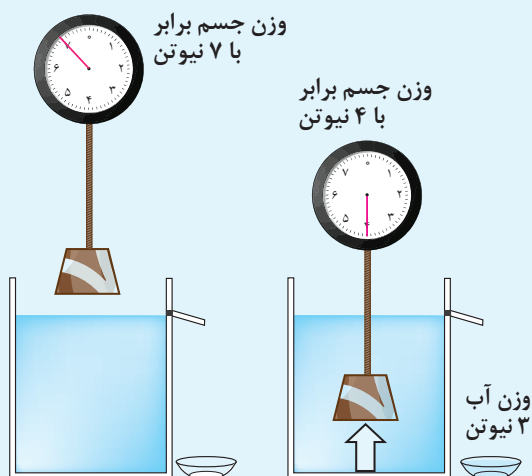


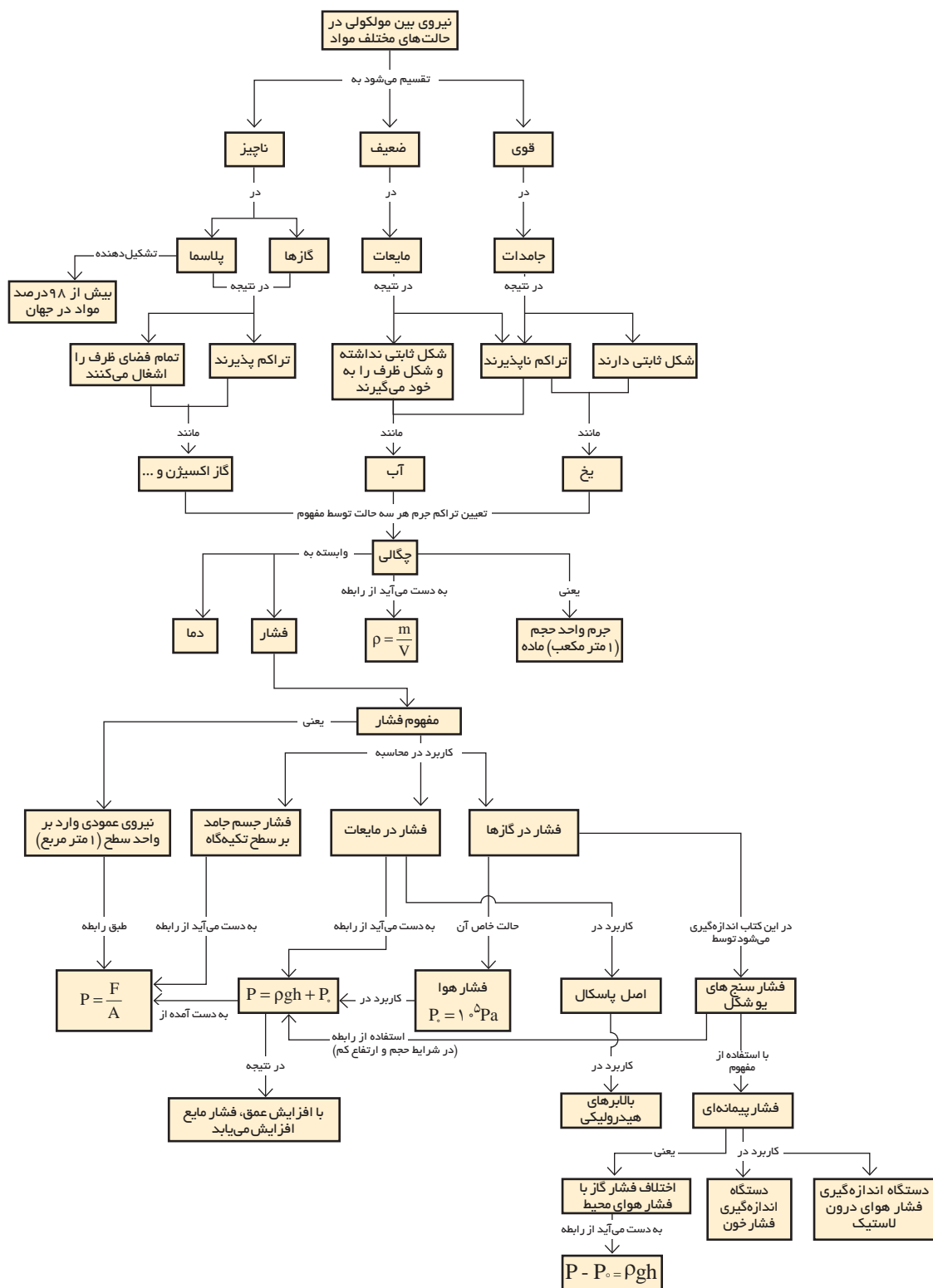
چرا یک قطعه چوب یا یک کشتی نفت کش روی آب دریا شناور می ماند، ولی یک تکه سنگ به ته ظرف محتوای آب می رود؟ و یا چرا یک بادکنک محتوای گاز هلیوم، در هوا به سمت بالا حرکت می کند؟ تمامی این موارد و موارد مشابه به مفهومی به نام نیروی شناوری برمی گردد. در واقع چون فشار در شاره با افزایش عمق زیاد می شود، نیروی بالاسویی که بر سطح زیرین جسم غوطه ور

وارد می آید، بزرگ تر از نیروی پایین سویی است، که بر سطح بالایی جسم وارد می آید و در نتیجه یک نیروی شناوری بالاسو به جسم وارد می شود. در برخی از موارد این نیرو با وزن جسم برابر و در نتیجه جسم بر روی سطح شاره شناور می ماند. در برخی مواقع این نیرو از نیروی وزن جسم کمتر بوده و جسم درون شاره غرق می شود و در مواردی همچون بادکنک حاوی گاز هلیوم، این نیرو از نیروی وزن گاز محبوس در بادکنک، بیشتر بوده و آن را به طرف بالا هدایت می کند.

اصل ارشمیدس

اگر تمام یا بخشی از جسم، درون شاره ای (مایع یا گاز) فرو رود، نیروی بالاسویی از شاره به جسم وارد می شود، که اندازه اش با وزن شاره جابه جا شده، برابر است. یک نتیجه جالب اصل ارشمیدس این است که وزن اجسام در هوا، بیشتر از وزن آنها، در آب است. در شکل روبه رو مشاهده می شود، وزن قطعه ۷ نیوتنی وقتی کامل در آب فرو می رود، با نیروسنج، ۴ نیوتن اندازه گیری می شود. در واقع این ۳ نیوتن وزن گمشده، برابر با وزن آب جابه جا شده است.

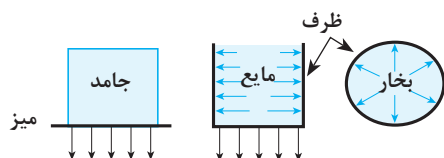




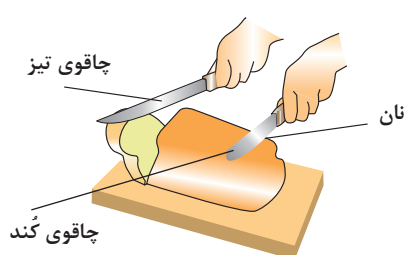
چندپرسی



۱- با استفاده از جدول ۱-۳ چه ارتباطی بین چگالی یک ماده و حالت‌های مختلف آن (مانند آب، بخار آب و یخ) وجود دارد؟



۲- در شکل روبه‌رو فشار در حالت‌های مختلف باهم مقایسه شده است، برداشت خود را بیان کنید.



۳- به کمک مفاهیم فشار و نیرو، تفاوت چاقوی تیز و کند را در برش مواد غذایی بیان کنید.

۴- با استفاده از یک فشارسنج چگونه می‌توان ارتفاع یک آسمان خراش را اندازه‌گیری کرد؟

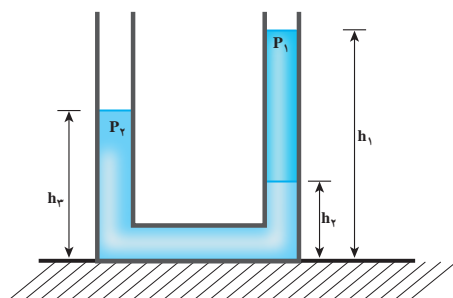
۵- با تحقیق توضیح دهید، که در هر یک از وسایل زیر، چگونه فشار هوا یا اصل پاسکال، تأثیرگذار است؟
(الف) پمپ خلأ (ب) پمپ مایع دستشویی (ج) سرنگ (د) دستگاه منگنه آبی

۶- چرا طبق اصول ایمنی آتش‌نشانی بر روی آتش ناشی از نفت و بنزین، نباید آب پاشید؟

چندمسئله

۱- میانگین چگالی لایه‌های مختلف زمین $\frac{5}{3} \frac{g}{cm^3}$ و شعاع زمین تقریباً 6380 km است. جرم زمین چند کیلوگرم است؟

۲- حجم داخلی مخزنی برابر 60 Lit است و با مایعی که چگالی نسبی آن (نسبت به آب) 0.72 است، پر شده است. جرم این مایع چند کیلوگرم است؟ ($1 \frac{g}{cm^3}$ چگالی آب است).

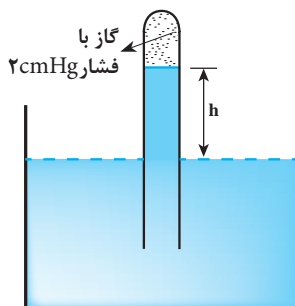


۳- دستگاه شکل روبه‌رو در تعادل است.

نسبت چگالی دو مایع ($d = \frac{\rho_2}{\rho_1}$) چه اندازه است؟

$$(h_1 = 30 \text{ cm}, h_2 = 12 \text{ cm}, h_3 = 20 \text{ cm})$$

۴- فشار در سطح آب و در کف دریاچه‌ای به ترتیب 95 kPa و 610 kPa است. اگر چگالی آب دریاچه $1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ و $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ باشد، عمق دریاچه چند متر است؟



۵- در شکل مقابل درون ظرف، مایعی با چگالی $6/8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ و فشار هوا 72 cmHg است. ارتفاعی که این مایع در لوله بالا رفته است (h)، چند سانتی متر است؟

پروژه پایانی

پروژه : ساخت موشک آبی

روش ساخت موشک آبی را تحقیق کنید و با رعایت نکات ایمنی آن را در یک گروه بسازید. پس از ساخت به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

- ۱- کدام یک از نکات و قوانین فیزیکی، که در این کتاب آموختید، در ساخت آن به کار می‌رود. آنها را شرح دهید.
- ۲- برای ساخت موشک، چه مهارت‌هایی را آموختید؟



توجه: هنرجویان عزیز می‌توانند، به جای پروژه بالا، پروژه ساخت پمپ خلأ ساده را انتخاب کنند و باز هم به پرسش‌های مشابه ذکر شده در بالا پاسخ دهند. (نمونه ویدئوی ساخت پمپ خلأ ساده، را مشاهده کنید).

