



شُل و سفت شدن قیر به
صنعتگران قلم زن کمک
می‌کند تا بدون سوراخ شدن
فلز بر روی آن نقش و نگارهای
متنوعی ایجاد کنند.

قلم‌زنی در ایران

چرا تغییر شکل جامدها مشکل است؟ چرا مایع‌ها شکل ظرف را به خود می‌گیرند؟ چرا قطره‌آبی که از شیر جدا می‌شود هنگام سقوط نیز به شکل قطره باقی می‌ماند؟ چرا گازها را می‌توان متراکم کرد ولی مایع‌ها به آسانی متراکم نمی‌شوند؟ چگونه برخی از حشرات روی آب می‌ایستند؟ چرا آب روی برگ نیلوفر آبی به صورت قطره در می‌آید (شکل ۱-۵)؟ چگونه آب از آوندهای درختان بلند بالا می‌رود؟ چگونه فشار وارد بر پدال ترمز می‌تواند سبب توقف خودرو شود؟



شکل ۱-۵ قطره‌های آب روی برگ نیلوفر آبی

با توجه به نیروهای بین مولکولی و چگونگی حرکت مولکول‌های درون ماده می‌توانیم به این پرسش‌ها پاسخ دهیم و یا بسیاری از پدیده‌هایی را توجیه کنیم که با برخی از آنها در این فصل آشنا خواهیم شد.

۱-۵ حالت‌های مختلف ماده

مواد از اتم‌ها و مولکول‌ها ساخته شده‌اند. اندازه اتم‌ها از مرتبه یک آنگستروم ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$) است. اندازه مولکول به این بستگی دارد که از چند اتم ساخته شده باشد و از حدود 1 \AA برای مولکول‌های کوچک تا 1000 \AA برای مولکول‌های خیلی بزرگ است. با انجام فعالیت ۱-۵ می‌توانید به تخمینی از مرتبه بزرگی فاصله بین مولکول‌های روغن مایع برسید.

فعالیت ۱-۵

در ظرف آبی کم عمق با سطحی بزرگ (مانند سینی) آب بریزید و روی سطح آب مقداری پودر بچه یا پودر فلفل بپاشید. انتهای یک سوزن ته‌گرد یا یک تار مو را در روغن مایع (یا روغن زیتون) بزنید و درآورید. قطره بسیار کوچکی از روغن در نوک سوزن یا تار مو ایجاد می‌شود. حجم این قطره را با برآورد کردن قطر آن یا به هر روش دیگری تعیین کنید. قطره را وسط ظرف آب بیندازید. قطره با پس‌راندن پودر، روی سطح آب پخش می‌شود و یک لکه روغن روی آب تشکیل می‌شود. صبر کنید تا مساحت لکه به بیشترین مقدار خودش برسد. اکنون مساحت لکه را اندازه بگیرید. با معلوم بودن حجم قطره و مساحت لکه، ضخامت لایه روغن به دست می‌آید. این ضخامت برآوردی از مرتبه بزرگی فاصله بین مولکول‌های روغن است.^۱

مثال ۱-۵

در فعالیت ۱-۵ اگر حجم قطره $5 \times 10^{-5} \text{ cm}^3$ و قطر لکه 1 cm باشد،
 الف) ضخامت لکه چقدر است؟
 ب) اگر فاصله متوسط مولکول‌های روغن کنار هم 10 \AA باشد، لکه روغن از چند لایه مولکول روی هم درست شده است؟

۱- این روش برای تخمین ابعاد مولکول روغن را «لردریلی» (Lord Rayleigh)، برنده جایزه نوبل فیزیک ۱۹۰۴ پیشنهاد کرده

است. گفته می‌شود، در حالت آرمانی قطره روغن آنقدر روی سطح آب پخش می‌شود تا لایه‌ای با ضخامت یک مولکول ایجاد شود.

پاسخ:

$$\text{مساحت لکه} = A = \pi r^2 = 3/14 \times 25 \approx 79 \text{ cm}^2$$

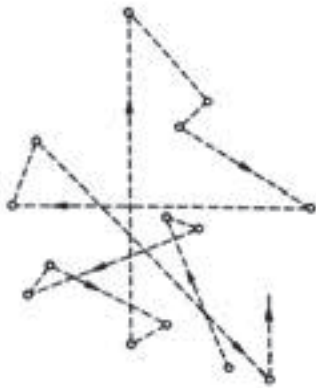
(الف)

حجم قطره برابر با حجم لکه است و از طرفی حجم لکه از حاصلضرب مساحت لکه (A) در ضخامت آن (h) به دست می‌آید. بنابراین داریم:

$$\text{حجم قطره} = \text{حجم لکه} = Ah \Rightarrow 5 \times 10^{-5} = 79h \Rightarrow h = 6/3 \times 10^{-7} \text{ cm} = 63 \text{ \AA}$$

(ب) تعداد لایه‌ها برابر است با

$$\text{لایه } 6 \approx (63 \text{ \AA}) \div (10 \text{ \AA})$$



شکل ۵-۲- طرح‌واره‌ای از مسیر یک مولکول عطر در هوا (بزرگ شده به اندازه 10^6 مرتبه)

معمولاً ماده به حالت (فاز) گاز، مایع و جامد یافت می‌شود که به بررسی آنها می‌پردازیم.

الف) گاز: در حالت گاز، مولکول‌ها آزادانه به اطراف حرکت و با یکدیگر و با دیواره‌های ظرفی

که در آن قرار دارند برخورد می‌کنند. فاصله میانگین مولکول‌های کنار هم در حالت گاز خیلی بیشتر از این فاصله در حالت مایع و جامد است. مثلاً فاصله میانگین مولکول‌های هوا در شرایط معمولی در حدود 35 \AA است.

فعالیت ۲-۵

در یک ظرف نوشابه پلاستیکی خالی را ببندید. در این حالت ظرف پر از هوا است. سعی کنید ظرف را متراکم کنید. همین کار را وقتی ظرف پر از آب است نیز انجام دهید. از این آزمایش چه نتیجه‌ای در مورد تراکم‌پذیری مایع‌ها و گازها می‌گیرید؟

وقتی گلی خوشبو را با خود به اتاق می‌آورید یا در شیشه عطری را در اتاق باز می‌کنید، بوی خوش در همه جای اتاق حس می‌شود. برای توجیه این پدیده می‌توان گفت وقتی مولکول‌های عطر با یکدیگر یا با مولکول‌های هوا برخورد می‌کنند تغییر مسیر می‌دهند. هر مولکول عطر در فاصله دو برخورد بی‌درپی روی مسیری مستقیم حرکت می‌کند و هر برخورد مسیر آن را تغییر می‌دهد. در نتیجه مولکول‌های عطر خطی شکسته را می‌پیمایند (شکل ۵-۲) و به این ترتیب به همه جای اتاق می‌روند. این پدیده را **پخش** مولکول‌های عطر در اتاق می‌نامیم. با مشاهده پخش شدن بو در اتاق می‌توان دریافت که مولکول‌ها در هوا آزادانه و در جهت‌های مختلف حرکت و به یکدیگر برخورد می‌کنند.

(ب) جامد: در جامدها فاصله مولکول‌ها از هم بسیار کمتر از این فاصله در گازها و در حدود 10^{-10} m است. مولکول‌های جامد نمی‌توانند آزادانه به اطراف حرکت کنند، بلکه در مکان‌های خاصی قرار می‌گیرند و فقط نوسان‌های بسیار کوچکی در همین مکان‌ها انجام می‌دهند.

مولکول‌های برخی از جامدها در طرح‌های منظمی مانند شکل‌های ۳-۵-الف و ب کنار هم قرار می‌گیرند. جسم جامدی را که از تکرار این طرح‌های منظم ساخته می‌شود **جامد بلورین** می‌نامیم. فلزها، نمک‌ها، اغلب مواد معدنی و الماس (شکل ۴-۵) جامدهای بلورین هستند. جامدهای بلورین معمولاً هنگامی تشکیل می‌شوند که مایع را به آهستگی سرد کنیم. در این فرایند مولکول‌ها فرصت کافی دارند که در طرح‌های منظم خود را مرتب کنند.

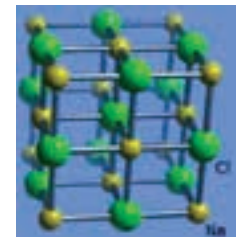
در **جامدهای بی‌شکل** مانند شیشه، برخلاف جامدهای بلورین، مولکول‌ها مانند شکل ۳-۵-پ در طرح منظمی کنار هم قرار ندارند. برخی از این جامدها از سرد کردن سریع مایع به دست می‌آیند. در این شرایط مولکول‌ها فرصت کافی ندارند تا در طرحی منظم مرتب شوند و به این ترتیب تا حد زیادی در وضعیت نامنظمی که در حالت مایع داشتند باقی می‌مانند.^۱

(پ) مایع: این حالت از ماده حالتی بین گاز و جامد بلورین است. در مایع فاصله مولکول‌ها مانند فاصله آنها در جامد یعنی در حدود 10^{-10} m است. مولکول‌های مایع نظم اتمی و تقارن بلوری جامدات را ندارند. با این حال به اندازه گازها هم بی‌نظم نیستند.

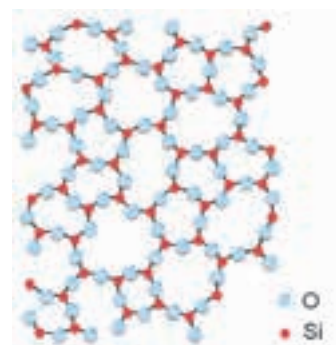
مایع به راحتی جاری می‌شود، به شکل ظرف خودش درمی‌آید و تقریباً تراکم ناپذیر است. پدیده پخش در مایع‌ها نیز مانند گازها رخ می‌دهد ولی با سرعت کمتر. اگر چند قطره جوهر را به آرامی درون لیوان آب بیندازید، شاید مدتی در حدود بیست دقیقه طول بکشد تا به طور کامل در لیوان پخش شود (شکل ۵-۵).



(الف)



(ب)



(پ)

شکل ۳-۵- جامدهای بلورین و جامدهای بی‌شکل

۲-۵ چگالی

آهن سنگین‌تر است یا چوب؟ این پرسشی مبهم و گنگ است. تا وقتی ندانیم ابعاد جسم آهنی و جسم چوبی چقدر است نمی‌توانیم به این پرسش پاسخ دهیم. قطعاً یک قطعه تخته بزرگ چوبی از یک میخ کوچک آهنی سنگین‌تر است.



شکل ۴-۵- الماس کوه نور



شکل ۵-۵- جوهر به کندی در آب پخش می‌شود.

۱- درست‌تر آن است که بگوییم ماده‌ای مانند شیشه یا قیر که ساختار بلورین ندارند و در فیزیک به آنها آمورف می‌گویند به هنگام انجماد یا ذوب تغییر حالت (فاز) نمی‌دهند؛ بلکه فقط سفت یا شل می‌شوند، یعنی ساختار مولکولی آنها (برخلاف جامدهای بلورین) تغییر نمی‌کند. به همین دلیل در مباحث فیزیکی پیشرفته‌تر، جامد بی‌شکل را مایعی سفت نیز می‌نامند.

الف) وزنه‌هایی فلزی، هم جنس و با جرم‌های متفاوت تهیه کنید. جرم و حجم هر کدام را اندازه بگیرید؛ سپس نسبت جرم به حجم را برای هر وزنه حساب کنید. نتیجه‌ای که به دست می‌آورید را به کلاس گزارش دهید.

ب) همین فعالیت را برای ماده دیگری مانند چوب (با بریدن یک قطعه چوب به مکعب‌هایی با ابعاد مختلف) تکرار و نتیجه‌های به دست آمده از قسمت‌های الف و ب را باهم مقایسه کنید.

همان گونه که با انجام فعالیت ۳-۵ دریافتید نسبت جرم به حجم برای نمونه‌های هم جنس یکسان است. به نسبت جرم به حجم هر جسم چگالی آن جسم می‌گوییم.

$$\text{چگالی جسم} = \frac{\text{جرم جسم}}{\text{حجم جسم}}$$

جرم جسم را با m ، حجم جسم را با V و چگالی آن را با ρ نشان می‌دهیم. بنابراین

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (۱-۵)$$

در دستگاه SI یکای جرم کیلوگرم (kg)، یکای حجم متر مکعب (m^3) و بنابراین یکای چگالی کیلوگرم بر متر مکعب (kg/m^3) است. از یکاهای دیگر و پرکاربرد چگالی g/cm^3 ، $kg/liter$ و $g/liter$ است^۱.

مثال ۲-۵

چگالی خون $1/050 \text{ g/cm}^3$ است. جرم یک لیتر خون چند کیلوگرم است؟ هر لیتر معادل 1000 cm^3 است.

پاسخ:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow 1/050 = \frac{m}{1000} \Rightarrow m = 1050 \text{ g} = 1/050 \text{ kg}$$

تمرین ۱-۵

نشان دهید $1 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ g/liter}$ و $1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/liter}$.

۱- در برخی کتاب‌های فیزیک، لیتر را با نماد L و cm^3 را با نماد cc نشان می‌دهند.

چگالی هر ماده یکی از ویژگی‌های مهم آن به شمار می‌رود که کاربردهای گوناگونی دارد. مثلاً ضدیخ خودرو، محلول گلیکول است که به آن کمی مواد ضد خوردگی اضافه می‌شود. میزان غلظت گلیکول در محلول ضدیخ، که دمای انجماد محلول را تعیین می‌کند، با اندازه‌گیری چگالی این محلول به دست می‌آید. در پزشکی با آزمایش چگالی خون که در حالت عادی بین 1.04 g/cm^3 و 1.06 g/cm^3 است می‌توان به افزایش یا کاهش گلبول‌های سرخ خون پی برد. زیرا افزایش گلبول‌های سرخ خون باعث افزایش چگالی آن می‌شود. با اندازه‌گیری چگالی آلیاژی از طلا و مس می‌توان درصد جرم طلا و مس به کار رفته در آن را تعیین کرد. جدول ۱-۵ چگالی برخی مواد را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۵- چگالی برخی مواد

چگالی (kg/m ^۳) جامدها	چگالی (kg/m ^۳) مایع‌ها	چگالی (kg/m ^۳) گازها*	چگالی (kg/m ^۳)
ایریدیم	جیوه	کلر (Cl _۲)	۲۲۶۵۰
طلا	گلیسرین	بوتان (C _۴ H _{۱۰})	۱۹۳۲۰
سرب	خون	گوگرد دی‌اکسید (SO _۲)	۱۱۳۴۰
نقره	آب دریا	کربن دی‌اکسید (CO _۲)	۱۰۴۹۰
مس	آب (۴°C)	آرگون (Ar)	۸۹۳۰
برنج	هوای مایع (-۱۹۴°C)	کربن مونواکسید (CO)	۸۴۰۰-۸۷۰۰
آهن	روغن زیتون	نیتروژن (N _۲)	۷۸۵۰
قلع	ازت مایع (-۱۹۶°C)	اکسیژن (O _۲)	۷۲۸۰
روی	اتانول (C _۲ H _۵ OH)	هوا	۷۱۳۰
آلومینیم	بنزین	متان (CH _۴)	۲۷۱۰
سیمان	هلیوم مایع (-۲۶۹°C)	هلیوم (He)	۲۳۰۰
یخ		هیدروژن (H _۲)	۹۲۰
لیتیم			۵۳۰
چوب			۲۵۰-۱۰۰۰

* گازها در دمای ۲۰°C و فشار ۱ atm

الف) با استفاده از سرنگ مدرج بزرگ و ترازوی دقیق، چگالی برخی از مایع‌های در دسترس مانند شیر، روغن، مایع ظرفشویی و ... را اندازه بگیرید. می‌توانید قبل و بعد از پرکردن سرنگ جرم آن را اندازه بگیرید و به این روش جرم مایع را تعیین کنید.

ب) چگالی چند جسم جامد در دسترس مانند قاشق، تیله، وزنه‌های فلزی و ... را اندازه بگیرید. برای اندازه‌گیری حجم شکل‌های نامنظم می‌توانید از استوانهٔ مدرج یا ظرف سرریز استفاده کنید. چگالی‌های به دست آمده را با مقادیر آنها در جدول ۱-۵ مقایسه کنید.

مثال ۳



جرم مجسمه‌ای برنزی (آلیاژی از مس، قلع، روی و ...) 40 kg و حجم آن 0.05 m^3 است. اگر چگالی برنز 8000 kg/m^3 باشد، حجم فضای خالی درون مجسمه چقدر است؟

پاسخ:

حجم مقدار برنز استفاده شده برابر است با

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{40}{8000} = 0.005 \text{ m}^3$$

در نتیجه، حجم فضای خالی چنین می‌شود:

$$V_{\text{فضای خالی}} = \text{حجم برنز} - \text{حجم مجسمه} = 0.05 - 0.005 = 0.045 \text{ m}^3$$

فعالیت ۵

الف) با استفاده از جدول ۱-۵ تعیین کنید چگالی هوا در حالت مایع چند برابر چگالی هوا در فشار 1 atm و دمای 20°C است.

ب) با توجه به پاسخ قسمت الف فاصلهٔ مولکول‌های هوا در حالت گاز چند برابر آن در حالت مایع است؟

پ) قسمت‌های الف و ب را برای هلیوم نیز انجام دهید.

فعالیت ۴

الف) اگر برای اندازه‌گیری جرم جسمی ترازو در اختیار نداشته باشید، چگونه می‌توانید جرم آن را تعیین کنید؟

ب) حجم داخل یک بطری را با روش‌های مختلف اندازه بگیرید و نتیجه‌ها را با یکدیگر مقایسه کنید.

۵-۳ نیروهای بین مولکولی

در فعالیت ۵-۲ دیدیم که متراکم کردن بطری پلاستیکی پر از آب و در بسته امکان پذیر نیست. به کمک نیروهای بین مولکولی می توان این پدیده را توجیه کرد. وقتی سعی می کنیم فاصله بین مولکول های مایع را کم کنیم نیروی دافعه شدیدی بین آنها ظاهر می شود که از تراکم پذیری مایع جلوگیری می کند. وقتی باران می بارد لایه ای از آب روی شاخه و برگ درختان می نشیند و با بزرگ شدن این لایه، قطره شدن آب مانند شکل ۵-۶ الف آغاز می شود. با افزایش مقدار آب و با سنگین تر شدن قطره آب شکل آن به صورت ۵-۶ ب در می آید و در آستانه سقوط قرار می گیرد. مولکول های آب روی سطح قطره از بقیه مولکول های آب روی شاخه کمی دور می شوند. در این حالت نیروی بین مولکولی به صورت جاذبه ظاهر می شود و در برابر نیروی وزن مقاومت می کند. این نیروی جاذبه بین مولکولی را **نیروی هم چسبی** می نامیم. با بزرگ تر شدن جرم قطره بالاخره نیروی وزن از نیروی هم چسبی مولکول ها بیشتر می شود و قطره به شکل کره سقوط می کند (شکل ۵-۶ پ).



(پ)



(ب)



(الف)

شکل ۵-۶ با سنگین تر شدن لایه آب، نیروی وزن بر نیروی هم چسبی غلبه می کند و آب شروع به چکیدن می کند.

از این دو مثال نتیجه می گیریم که مولکول های آب در شرایط عادی در وضعیت تعادل قرار دارند و وقتی آنها را کمی به هم نزدیک یا کمی از هم دور کنیم نیروهای دافعه یا جاذبه بین مولکول ها ظاهر می شود. این نیرو در جهتی است که مولکول ها را به وضعیت اولیه خود بازگرداند. نیروهای بین مولکولی کوتاه برد هستند، یعنی وقتی فاصله بین مولکول ها چند برابر فاصله بین مولکولی شود، نیروهای بین مولکولی بسیار کوچک و عملاً صفر خواهند شد. تراکم ناپذیری و خاصیت کشسانی اجسام جامد را نیز می توان به روش مشابهی با نیروهای بین مولکولی توجیه کرد.

فعالیت ۵-۷

وقتی شیشه می شکند با نزدیک کردن قطعه های آن به هم نمی توان اجزای شیشه را دوباره به هم چسباند؛ ولی اگر قطعه های شیشه را آنقدر گرم کنیم که نرم شوند می توان آنها را به هم چسباند. این پدیده ها را با توجه به کوتاه برد بودن نیروهای بین مولکولی توجیه کنید.

با توجه به نیروهای بین مولکولی بسیاری از پدیده‌ها از جمله کشش سطحی، ترشوندگی و موئینگی را می‌توان بررسی کرد:

کشش سطحی: پدیده‌های طبیعی فراوانی نشان می‌دهد که مولکول‌های سطح مایع‌ها تحت کشش قرار دارند. این موضوع سبب می‌شود که سطح مایع مانند پوسته‌ای کشیده شده عمل کند. برخی از حشره‌ها می‌توانند روی سطح برکه‌ها راه بروند (شکل ۵-۷-الف). سوزنی که به دقت بر سطح آب قرار داده شود، روی آب شناور می‌ماند (شکل ۵-۷-ب). قطره‌های کوچک آب و حباب‌های صابون کروی شکل هستند (شکل ۵-۷-پ). همه این پدیده‌ها نشانه‌ای از وجود کشش سطحی هستند. کشش سطحی ناشی از هم‌چسبی مولکول‌های سطح مایع است و آن را می‌توان با نیروهای بین مولکولی توضیح داد. در سطح مایع به دلیل تغییر از وضعیت مایع به بخار، فاصله مولکول‌ها از یکدیگر به طور متوسط بیشتر از فاصله مولکول‌های درون مایع است. بنابراین همان‌طور که پیشتر دیدیم با افزایش فاصله بین مولکول‌ها نیروهای بین مولکولی به صورت جاذبه ظاهر می‌شود و این باعث می‌شود که رفتار مولکول‌ها در سطح مایع چنان باشد که گویی سطح مایع تحت کشش قرار گرفته است.



(پ)



(ب)



(الف)

شکل ۵-۷-الف) ایستادن حشره‌ها روی آب، ب) قرار گرفتن سوزن روی آب و پ) تشکیل حباب‌های صابون جلوه‌هایی از کشش سطحی هستند.

فعالیت ۵-۸



الف) سعی کنید سوزن ته‌گرد یا گیره کاغذ را روی سطح آب شناور کنید. برای این منظور می‌توانید از دستمال کاغذی استفاده کنید.
ب) پس از شناور شدن سوزن یا گیره روی سطح آب، سطح آب را به دقت مشاهده کنید و مشاهدات خود را به کلاس گزارش دهید.
پ) اکنون یک قطره صابون مایع را به آرامی به آب درون ظرف بیافزایید. مشاهدات خود را به کلاس گزارش کنید و دلیلی برای آن بیابید.

ترشوندگی: دیدیم که نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های یک ماده سبب بروز پدیده‌های جالبی می‌شود. هنگامی که دو ماده مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند نیز جاذبه مولکولی مشابهی بین مولکول‌های آنها ظاهر می‌شود که به آن نیروی **دگرچسبی** یا **چسبندگی** می‌گوییم. هم‌چسبی و دگرچسبی هر دو نیروهایی بین مولکولی هستند. تفاوت آنها در این است که جاذبه، بین مولکول‌های مشابه باشد یا نامشابه.

هرگاه مایعی در تماس با جامدی قرار گیرد دو حالت می‌تواند رخ دهد. یکی اینکه دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و جامد از هم چسبی بین مولکول‌های مایع بیشتر باشد. در این صورت می‌گوییم مایع، جامد را **تر می‌کند**. مثلاً در شکل ۵-۸ الف می‌بینیم که آب سطح شیشه تمیز را تر کرده و روی آن پهن شده است. اما اگر نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های مایع از نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و جامد بیشتر باشد می‌گوییم مایع جامد را **تر نمی‌کند**. در شکل ۵-۸ ب می‌بینیم که سطح شیشه با جیوه تر نشده و جیوه به شکل قطره روی سطح شیشه باقی مانده است.



ب) قطره‌های جیوه روی شیشه



الف) پخش آب روی سطح شیشه

شکل ۵-۸- شکل‌های پخش شدن آب روی شیشه تمیز و قطره‌ای شدن جیوه روی شیشه

فعالیت ۵-۹



بخش آب روی سطح شیشه چرب

سطح یک شیشه را با روغن چرب کنید و سپس روی آن چند قطره آب بریزید چه چیزی مشاهده می‌کنید؟ مشاهده خود را توجیه کنید و به کلاس گزارش دهید.

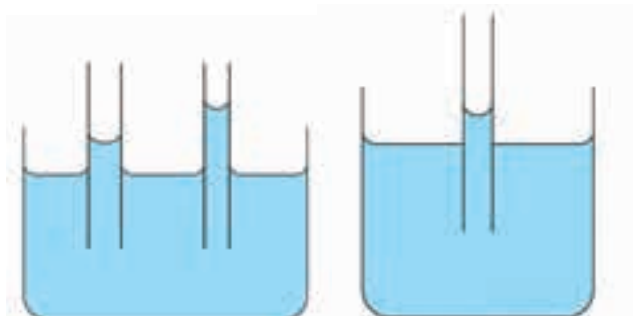
موینگی: اگر چند لوله موئین شیشه‌ای و تمیز با قطرهای متفاوت را درون یک ظرف آب قرار دهیم مشاهده می‌کنیم که:

۱- آب در لوله‌های موئین بالا می‌رود و سطح آن بالاتر از سطح آب ظرف قرار می‌گیرد. (شکل ۵-۹ الف)

۲- هرچه قطر لوله موئین کوچک‌تر باشد ارتفاع ستون آب در آن بیشتر است. (شکل ۵-۹ ب)



ب)

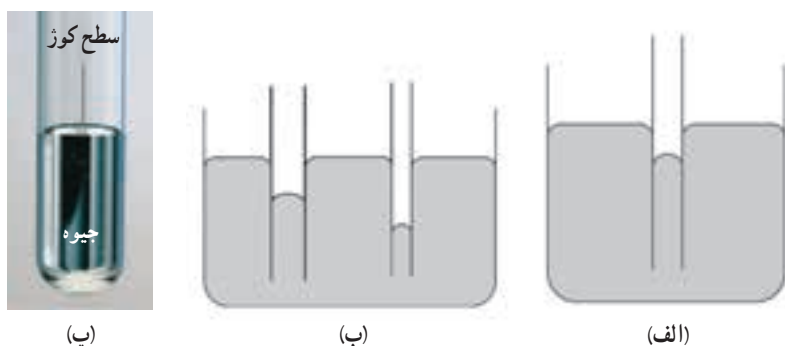


ب)

الف)

شکل ۵-۹- شکل آب در لوله‌های موئین

- ۳- سطح آب در بالای لوله موئین فرورفته است. (شکل‌های ۵-۹)
- اکنون همین آزمایش‌ها را با جیوه انجام می‌دهیم و مشاهده می‌کنیم که:
- ۱- جیوه در لوله‌های موئین مقداری بالا می‌رود ولی سطح آن پایین‌تر از سطح جیوه ظرف قرار می‌گیرد. (شکل ۵-۱۰-الف)
- ۲- هرچه قطر لوله موئین کوچک‌تر باشد ارتفاع ستون جیوه در آن کمتر است. (شکل ۵-۱۰-ب)
- ۳- سطح جیوه در لوله موئین برآمده است (شکل‌های ۵-۱۰-۳)



شکل ۵-۱۰- شکل جیوه در لوله‌های موئین

در مورد آب نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های آب و مولکول‌های شیشه بیشتر از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب است. در نتیجه آب سطح شیشه را تر می‌کند و مانند شکل ۵-۹ در لوله بالا می‌رود. در مورد جیوه نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های جیوه و مولکول‌های شیشه کمتر از نیروی هم‌چسبی بین خود مولکول‌های جیوه است. در نتیجه جیوه سطح شیشه را تر نمی‌کند و مانند شکل ۵-۱۰ سطح جیوه در لوله موئین پایین‌تر از سطح جیوه درون ظرف قرار می‌گیرد.

فعالیت ۱۰-۵

آزمایشی طراحی کنید که در آن سطح آب در لوله موئین دارای برآمدگی باشد و سطح آن نسبت به سطح آب در ظرف پایین‌تر باشد.

فعالیت ۱۱-۵

مصالح ساختمانی از قبیل خاک و آجر و سیمان به سبب موئینگی آب را به درون خود می‌کشند. برای جلوگیری از این عمل، از قیر که آب در آن نفوذ نمی‌کند، استفاده می‌کنند و قبل از ساختن ساختمان زمین را قیراندود می‌کنند تا از نفوذ رطوبت به داخل ساختمان جلوگیری شود. تحقیق کنید در گذشته در ایران به جای قیراندود کردن چگونه از نفوذ آب باران به داخل ساختمان جلوگیری می‌کردند؟

بالارفتن آب از شاخ و برگ درختی بلند

چگونه آب و شیره گیاهی از ریشه یک درخت بزرگ به شاخ و برگ آن می‌رسد؟ پاسخ این پرسش ساده به نظر می‌رسد و با نگاهی ابتدایی می‌توان گفت بالا رفتن شیره گیاهی ناشی از اثر همزمان فشار اسمزی در ریشه و پدیده موینگی در آوندهای درختان است. اما این پاسخ مدت‌ها است که به چالش کشیده شده است. در واقع پژوهشگران بر این باورند که آوند درختان آنقدر باریک نیست که بتواند بر اثر موینگی آب و شیره گیاهی را تا چنان ارتفاع بلندی بالا بکشد. مدل دیگری که بیشتر مورد قبول پژوهشگران قرار گرفته است مدلی موسوم به **کشش - هم چسبی** است. بر مبنای این مدل، تبخیر آب از سطح برگ باعث کاهش فشار در ستون شاره‌ای می‌شود که از ریشه تا ساق و برگ گیاهان امتداد دارد. در واقع شیره گیاهی به صورت زنجیری بلند که ناشی از هم چسبی متقابل مولکول‌های شاره است، بر اثر این فشار منفی به بالا کشیده می‌شود. اما بر این مدل هم ایرادهایی وارد است و از جمله برخی پژوهشگران بر این باورند که هم چسبی مولکول‌های شاره به حدی نیست که بتواند این فشار بالا را تاب بیاورد و این زنجیره در جایی گسسته خواهد شد. برخی دیگر از پژوهشگران این احتمال را مطرح کرده‌اند که آب یا شیره گیاهی در چند مرحله به بالا کشیده می‌شود. هر حال تاکنون این امکان به وجود نیامده است که این امر به طور دقیق از لحاظ آزمایشگاهی بازسازی و این پدیده از لحاظ نظری کاملاً درک شود.

۴-۵ فشار در شاره‌ها

شاید به هنگام شنا کردن در عمق یک استخر، فشار آب روی پرده گوش خود را حس کرده باشید. یا ممکن است هنگامی که سر شیر باز آبی را با انگشت خود گرفته‌اید متوجه فشاری شده باشید که آب بر انگشتتان وارد می‌آورد.

وقتی شاره (مایع یا گاز) ساکن باشد هر بخشی از شاره به بخش مجاور خود و نیز به هر سطحی که با آن در تماس است، مانند دیواره طرف یا سطح جسم غوطه‌ور در شاره، نیرویی عمودی وارد می‌کند. با اینکه شاره در کل ساکن است می‌دانیم که مولکول‌های آن در حرکت‌اند. در واقع نیرویی که شاره وارد می‌کند ناشی از برخورد همین مولکول‌ها با اطراف خود است.

فشار متوسط، \bar{P} ، که به یک سطح فرضی درون شاره وارد می‌شود. به صورت نسبت اندازه نیروی عمودی وارد بر این سطح به مساحت آن سطح تعریف می‌شود:

$$\bar{P} = \frac{F}{A} \quad (۲-۵)$$

که در آن F نیروی عمودی از طرف شاره (بر حسب N) و A مساحت سطح فرضی (بر حسب m^2) است. در SI یکای فشار پاسکال (Pa) است، به طوری که

$$1 \text{ Pa} = \frac{1N}{1m^2}$$

یک زیر دریایی در عمق 900 متری اقیانوس ساکن است. این زیر دریایی پنجره‌ای به شکل دایره و به قطر 0.5 m دارد. اگر فشار متوسط آب در محل پنجره 9×10^6 Pa باشد نیرویی که آب بر سطح خارجی این پنجره وارد می‌کند چقدر است؟

پاسخ: مساحت پنجره برابر است با

$$A = \pi r^2 = 3.14 \times 0.25^2 = 0.2 \text{ m}^2$$

و در نتیجه

$$F = A \bar{P} = 0.2 \times 9 \times 10^6 = 1.8 \times 10^6 \text{ N}$$



۵-۵ محاسبه فشار در مایع‌ها

پیش از آنکه به محاسبه فشار در مایع‌ها بپردازیم، خوب است تجربه‌های زیر را در نظر بگیریم. در تجربه نخست، روی بدنه یک ظرف استوانه‌ای پلاستیکی دو سوراخ هم ارتفاع و هم اندازه ایجاد می‌کنیم (شکل ۱۱-۵). در حالی که سوراخ‌ها را بسته‌ایم، ظرف را پر از آب می‌کنیم. اکنون یکی از سوراخ‌ها را باز می‌کنیم و سرعت خروج آب از آن را اندازه می‌گیریم. بار دیگر ظرف را پر از آب می‌کنیم و این اندازه‌گیری را برای سوراخ دیگر انجام می‌دهیم. از این تجربه درمی‌یابیم سرعت خروج آب از سوراخ‌های هم ارتفاع یکسان است. در تجربه‌ای دیگر، روی بدنه همان ظرف سه سوراخ هم اندازه در ارتفاع‌های متفاوت ایجاد می‌کنیم (شکل ۱۲-۵). سوراخ‌ها را می‌بندیم و ظرف را پر از آب می‌کنیم. سپس یکی از سوراخ‌ها را باز می‌کنیم و سرعت خروج آب از آن را اندازه می‌گیریم. با تکرار این تجربه در مورد سوراخ‌های دیگر درمی‌یابیم که سرعت خروج آب از سوراخ‌های پایین‌تر بیشتر است.



شکل ۱۱-۵ - استوانه‌ای با دو سوراخ هم‌تراز

از این تجربه‌ها درمی‌یابیم که اولاً مایع بر دیواره ظرف خود فشار وارد می‌آورد، دوم آنکه این فشار در نقاط هم‌تراز، یکسان است. ولی در نقاط با ارتفاع متفاوت، یکسان نیست و با افزایش عمق (نسبت به سطح آزاد) فشار بیشتر می‌شود. و سوم اینکه مایع عمود بر دیواره ظرف خارج می‌شود. یکسان بودن فشار در نقاط هم‌تراز شاره ساکن را می‌توان از قوانین نیوتون نیز نتیجه گرفت. در اینجا می‌خواهیم با به کار بردن قوانین نیوتون بستگی فشار مایع به عمق آن را به دست آوریم. به این منظور، شکل ۱۲-۵ را ببینید. در شکل، بخشی از مایع ساکن را که بین دو سطح هاشور خورده قرار دارد را در نظر بگیرید. برآیند نیروهای قائم وارد بر این بخش از مایع صفر است و بنابراین از قانون دوم نیوتون در راستای قائم داریم:

$$F_2 = F_1 + mg$$

یا

$$P_2 A = P_1 A + mg$$

که در آن P_1 و P_2 به ترتیب فشار در سطح‌های ۱ و ۲، A مساحت این دو سطح، و m جرم مایعی است که بین دو سطح مورد نظر قرار دارد. بدیهی است که حجم این مایع برابر است با

$$V = Ah$$



شکل ۱۲-۵ - استوانه‌ای با سه سوراخ غیر هم‌تراز

با توجه به رابطه $\rho = \frac{m}{V}$ که در آن چگالی مایع است، داریم

$$m = \rho V = \rho Ah$$

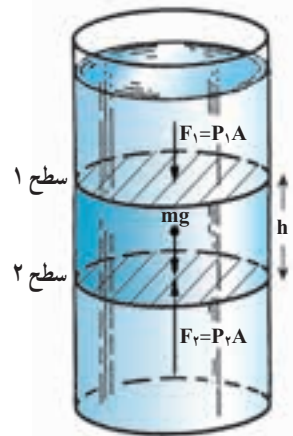
بنابراین می توان نوشت :

$$P_2 A = P_1 A + (\rho Ah)g$$

و از آنجا

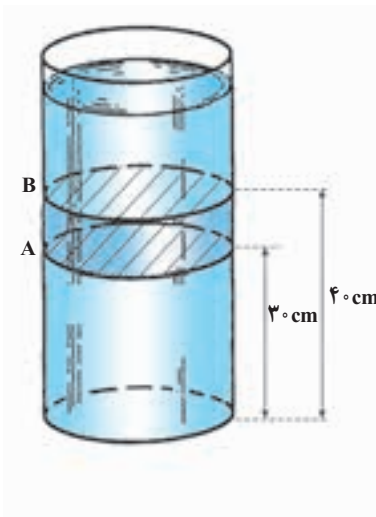
$$P_2 = P_1 + \rho gh$$

(۳-۵)



شکل ۳-۵-۱ نیروی فشار وارد بر قاعده بالایی و نیروی فشار وارد بر قاعده پایینی با نیروی گرانی وارد بر حجم محصور موازنه می شود.

مثال ۵-۵



الف) در یک ظرف استوانه‌ای بلند، مطابق شکل مقداری آب می ریزیم. اختلاف فشار بین دو سطحی که با A و B مشخص شده اند را به دست آورید.
ب) اگر در ظرف به جای آب، روغن مایعی با چگالی $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ بریزیم اختلاف فشار این دو سطح چقدر می شود؟ ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

پاسخ :

الف) با توجه به رابطه ۳-۵ و با مراجعه به جدول ۱-۵ اختلاف فشار دو سطح را محاسبه می کنیم :

$$P_2 = P_1 + \rho gh \Rightarrow \Delta P = \rho gh = 1000 \times 10 \times 0.1 = 1000 \text{ Pa}$$

ب) اختلاف فشار بین دو سطح برابر است با

$$\Delta P = \rho gh = 900 \times 10 \times 0.1 = 900 \text{ Pa}$$

فشار هوا : اگر در رابطه ۳-۵ سطح ۱ را سطح آزاد مایع در نظر بگیریم فشار در آن سطح

برابر با فشار هوا است که معمولاً آن را با P_0 نمایش می دهیم. اگر فشار در عمق h را به جای P_1 با P

نمایش می توانیم رابطه ۳-۵ را به صورت زیر بنویسیم :

$$P = P_0 + \rho gh$$

(۴-۵)

فشاری که هوا بر سطح آزاد مایع وارد می‌کند، ناشی از برخورد مولکول‌های هوا با سطح آزاد مایع است. همان‌طور که خواهیم دید مقدار متوسط این فشار در سطح دریای آزاد، حدود $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ است و به آن ۱ اتمسفر (1 atm) نیز می‌گویند. با افزایش ارتفاع از سطح زمین فشار و چگالی هوا کاهش می‌یابد. برای درک بهتر فشار هوا فعالیت زیر را انجام دهید.

فعالیت ۱۲-۵

داخل یک بطری پلاستیکی مقدار کمی آب جوش بریزید و در آن را محکم ببندید. سپس آب سرد روی آن بریزید. مشاهده خود را به کلاس گزارش کنید و علت را در کلاس به بحث بگذارید.

مثال ۶-۵

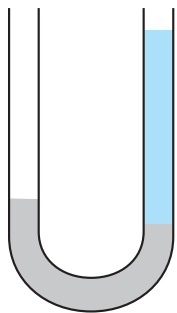
در عمق ۱۰ متری یک دریاچه فشار چقدر است؟ فشار هوا در سطح دریاچه را 1.0 atm بگیرید.

پاسخ:

با توجه به رابطه ۴-۵ و مراجعه به جدول ۱-۵ فشار در عمق h را محاسبه می‌کنیم.

$$P = P_0 + \rho gh = 1.0 \times 10^5 + 1000 \times 9.8 \times 10 = 1.98 \times 10^5 \text{ Pa} = 1.97 \text{ atm}$$

مثال ۷-۵



در یک لوله U شکل، مقداری جیوه قرار دارد. در شاخه سمت راست آنقدر آب می‌ریزیم تا ارتفاع آب به $54/4 \text{ cm}$ برسد (شکل روبه‌رو). اختلاف ارتفاع جیوه در دو شاخه چند سانتی‌متر است؟

پاسخ: نقاط A و B هر دو در جیوه هستند، هم‌ترازند و شماره نیز ساکن است. بنابراین

$$P_A = P_B$$

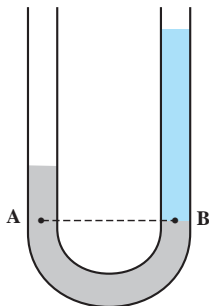
در نتیجه

$$P_0 + \rho_{\text{جیوه}} gh_{\text{جیوه}} = P_0 + \rho_{\text{آب}} gh_{\text{آب}}$$

$$\rho_{\text{جیوه}} h_{\text{جیوه}} = \rho_{\text{آب}} h_{\text{آب}}$$

$$13/6 \times h_{\text{جیوه}} = 1 \times 54/4$$

$$h_{\text{جیوه}} = 4 \text{ cm}$$



که در آن از چگالی‌های جیوه و آب که در جدول ۱-۵ داده شده است استفاده کردیم.

رابطه ۳-۵ را می‌توان برای گازها نیز به کار برد. مثلاً می‌توان اختلاف بین فشار هوای بالا و پایین یک ساختمان را با استفاده از این رابطه حساب کرد. با توجه به اینکه چگالی گازها خیلی کم است در محفظه‌های کوچک گاز که ارتفاع آنها کم است، اختلاف فشار در نقاط مختلف داخل محفظه ناچیز است و در نتیجه می‌توان فشار را در این موارد در تمام نقاط گاز یکسان گرفت.

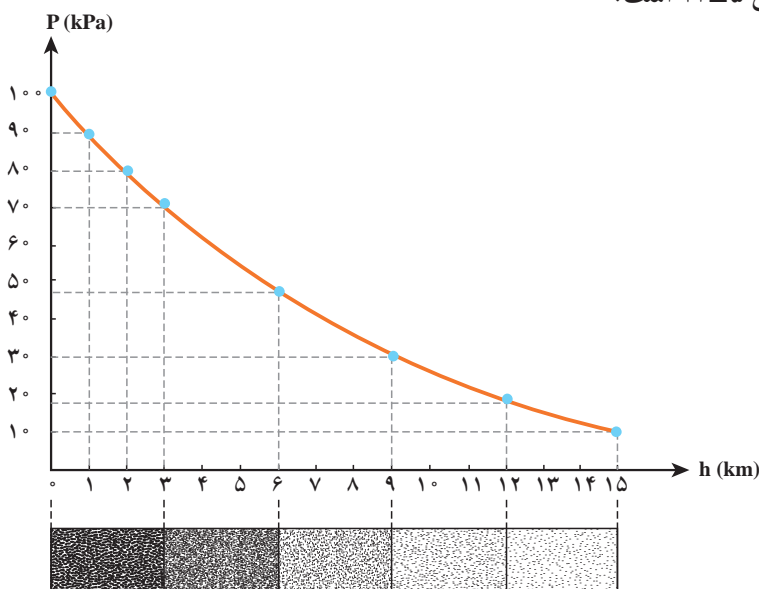


چگالی هوای تهران در دمای 20°C تقریباً $1/0\text{ kg/m}^3$ است. اختلاف بین فشار هوای بالا و پایین برج آزادی، با ارتفاع 45m ، چقدر است؟

پاسخ:

$$P_2 = P_1 + \rho gh \Rightarrow P_2 - P_1 = \rho gh = 1/0 \times 9/8 \times 45 = 440\text{ Pa}$$

توجه کنید برای محاسبه اختلاف فشار بین دو نقطه از هوا که اختلاف ارتفاع قابل توجهی دارند، نمی‌توان از رابطه ۳-۵ استفاده کرد. زیرا با افزایش زیاد ارتفاع از سطح زمین، چگالی هوا به شدت کاهش می‌یابد. محاسبه دقیق نشان می‌دهد تغییر فشار برحسب ارتفاع از سطح زمین مطابق نمودار شکل ۱۳-۵ است.



شکل ۱۳-۵ نمودار فشار هوا برحسب ارتفاع از سطح دریای آزاد. نوار زیر محور افقی تغییر چگالی هوا برحسب ارتفاع را نشان می‌دهد. لایه‌های با هوای فشرده‌تر که چگالی بیشتری دارند تیره‌تر نشان داده شده‌اند.

آزمایش توریچلی: آزمایش زیر را توریچلی^۱ (۱۶۴۷-۱۶۰۸م) فیزیکدان ایتالیایی در سال ۱۶۴۳ میلادی پیشنهاد کرد. در این آزمایش لوله آزمایشی شیشه‌ای به طول حدود ۱m را با جیوه پر می‌کنند و آنگاه انتهای باز لوله را با انگشت می‌بندند و سپس آن را در تشت پر از جیوه به طور قائم وارونه می‌کنند^۲. با برداشتن انگشت ستون جیوه در لوله مقداری پایین می‌آید. اگر آزمایش در سطح دریای آزاد انجام شود ارتفاع ستون جیوه از سطح جیوه در شرایط طبیعی در حدود ۷۶۰mm می‌شود

۱- Evangelista Torricelli

۲- چون جیوه و بخار آن بسیار سمی است، ممکن است جذب پوست یا مخاط تنفسی شود. لذا از انجام این آزمایش توسط دانش‌آموزان خودداری شود.

(شکل ۵-۱۴). اگر آزمایش در محلی بالاتر از سطح دریای آزاد انجام شود، ارتفاع ستون جیوه کمتر خواهد بود. اکنون می‌توانیم فشار هوا در محل انجام آزمایش را تعیین کنیم. قبلاً دیدیم فشار در نقاط هم‌تراز شاره ساکن، یکسان است. بنابراین

$$P_A = P_B = P_C$$

از طرفی می‌دانیم، فشار نقطه‌های B و C همان فشار جو است:

$$P_B = P_C = P_0 = \text{فشار هوا}$$

و فشار در نقطه A برابر است با

$$P_A = \rho gh + \text{فشار فضای بالای لوله}$$

فشار فضای بالای لوله، که اصطلاحاً به آن خلأ توریحلی گفته می‌شود، تقریباً صفر است (در این

فضا، بخار جیوه با فشاری بسیار کم وجود دارد که قابل چشم‌پوشی است). بنابراین می‌توانیم بنویسیم:

$$P_A = \rho gh$$

و یا

$$P_0 = \rho gh$$

یعنی فشار هوا در محل انجام آزمایش برابر است با ρgh که در آن h ارتفاع ستون جیوه درون لوله آزمایش توریحلی است. بنابراین می‌توان از آزمایش توریحلی برای اندازه‌گیری فشار جو استفاده کرد. براساس این آزمایش دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار جو طراحی و ساخته شده‌اند که به آنها **جوسنج** یا **بارومتر** گفته می‌شود.

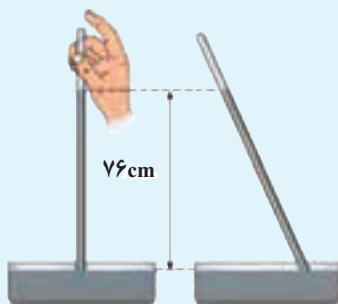
با استفاده از جدول ۵-۱ فشار هوا در سطح دریای آزاد چنین می‌شود:

$$P_0 = \rho gh = 13600 \times 9.81 \times \frac{760}{1000} \approx 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

همان‌طور که قبلاً دیدیم به این مقدار فشار، ۱ atm می‌گویند. در نتیجه، فشار هوا در سطح دریای

آزاد برابر با $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ یا ۱ atm است. متداول است که به جای محاسبه ρgh فشار را بر حسب ارتفاع ستون جیوه (معمولاً بر حسب میلی‌متر) بیان می‌کنند. بنابراین فشار هوا در سطح دریای آزاد برابر با ۷۶۰ میلی‌متر جیوه (mmHg) است. به ۱ mmHg، به افتخار توریحلی ۱ torr نیز گفته می‌شود.

فعالیت ۵-۱۳



الف) اگر در آزمایش توریحلی لوله را از وضعیت قائم اندکی کج کنید، سطح جیوه در لوله بالا می‌رود ولی ارتفاع قائم جیوه در لوله تغییر نمی‌کند. علت را توضیح دهید.
ب) برای لوله غیرمومین، اگر سطح مقطع لوله تغییر کند، ارتفاع ستون جیوه تغییر نمی‌کند. علت را توضیح دهید.

پ) چرا توریحلی در آزمایش خود ترجیح داد به جای آب از جیوه استفاده کند؟

فشار پیمانه‌ای (سنجه‌ای): در زندگی روزمره آنچه اغلب

به عنوان فشار یک شاره بیان می‌شود، در واقع اختلاف فشار شاره مورد نظر با فشار هوای محیط است. مثلاً وقتی فشار خون یک بیمار ۱۲۰ mmHg (یعنی ۱۲۰ mmHg) بیان می‌شود (شکل ۵-۱۵) در واقع به این معنی است که فشار خون بیمار ۱۲۰ mmHg بیشتر از فشار هوا است یا وقتی می‌گویند فشار هوای درون لاستیک یک خودرو ۲/۲ atm است، یعنی فشار هوای داخل لاستیک، ۲/۲ atm از فشار هوای بیرون بیشتر است. به این اختلاف فشار، **فشار پیمانه‌ای (سنجه‌ای)** می‌گوییم و آن را با **فشارسنج** یا **مانومتر** اندازه می‌گیریم:

$$P_g = P - P_0$$

فشار پیمانه‌ای



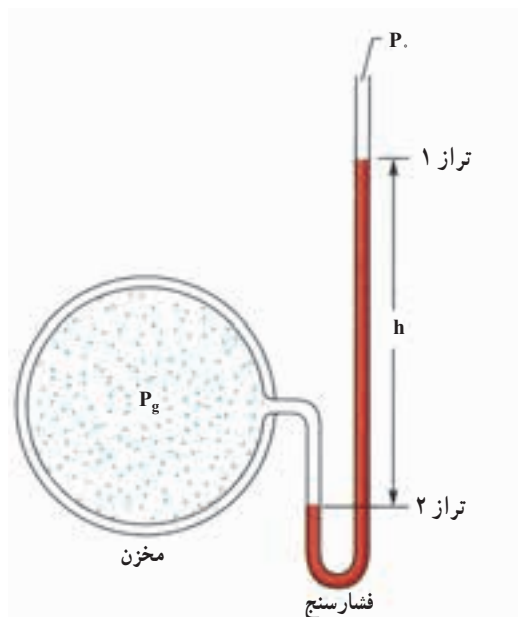
شکل ۵-۱۵- دستگاه فشارسنج برای اندازه‌گیری فشار خون

که در آن، P فشار شاره و P_0 فشار هوای محیط است. یکی از انواع متداول فشارسنج‌ها، فشارسنج U شکل است (شکل ۵-۱۶). لوله فشارسنج U شکل، حاوی مایعی مانند جیوه، آب یا مایع دیگری با چگالی مشخص ρ است. برای اندازه‌گیری فشار گاز درون یک محفظه، آن را از یک طرف به دهانه لوله وصل می‌کنند. اختلاف فشار گاز درون محفظه و فشار هوا سبب می‌شود که سطح مایع در دو شاخه یکسان نباشد. از این اختلاف سطح می‌توان برای اندازه‌گیری اختلاف فشار گاز درون محفظه (P) و فشار هوای محیط (P_0) استفاده کرد.

$$P - P_0 = \rho gh$$

$$P_g = \rho gh \quad (5-5)$$

با دانستن چگالی مایع (ρ)، شتاب جاذبه (g) و اندازه‌گیری ارتفاع h ، P_g که همان فشار پیمانه‌ای گاز درون محفظه است، تعیین می‌شود. توجه کنید که هرچند در اغلب موارد P_g کمیتی مثبت است ولی می‌توان حالت‌هایی را یافت که برای آنها P_g مقداری منفی است. در واقع فشار پیمانه‌ای بسته به اینکه $P > P_0$ یا $P < P_0$ باشد، می‌تواند مثبت یا منفی باشد.



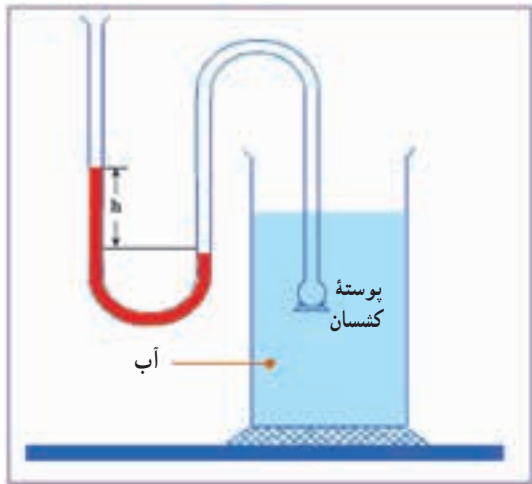
شکل ۵-۱۶- برای اندازه‌گیری فشار پیمانه‌ای گاز در مخزن، لوله U شکل حاوی مایع قرمز که به جو راه دارد به مخزن متصل شده است.

فعالیت ۱۴-۵

با استفاده از یک شیلنگ پلاستیکی شفاف و نرم، خط کش و مقداری آب رنگی فشارسنج U شکلی بسازید. پیستون سرنگ ۵ cc را تا نیمه بیرون بکشید و سر آن را به لوله فشارسنج وصل کنید. با جابه‌جا کردن پیستون، هر بار فشار پیمانه‌ای هوای درون سرنگ را اندازه بگیرید. در مورد مثبت یا منفی بودن فشار پیمانه‌ای هوای درون سرنگ بحث کنید.

آزمایش ۱۰-۱

وسایل لازم:



قیف، پوسته کسسان، سطل پر از آب، لوله U شکل شیلنگ شفاف

شرح آزمایش:

۱- انتهای قیف را مطابق شکل به کمک شیلنگ به یک شاخه لوله U شکل وصل کنید.

۲- در لوله U شکل مقداری آب رنگی بریزید.

۳- به دهانه قیف، پوسته‌ای کسسان مانند بادکنک را وصل کنید.

۴- با وارد کردن قیف در سطل آب موارد زیر را تحقیق کنید.

الف) چگونه بستگی فشار به عمق

ب) یکسان بودن فشار در نقاط هم عمق

پ) عدم بستگی فشار در هر نقطه از مایع به جهت گیری پوسته در آن نقطه.

از این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که فشار وارد بر پوسته به جهت گیری پوسته بستگی ندارد و فقط به مکانی وابسته است که پوسته در آن قرار دارد. یعنی در یک عمق معین فشار وارد بر پوسته در وضعیت افقی و قائم پوسته یکسان است.

مثال ۹-۵

فرض کنید در شکل ۵-۱۶ مایع درون لوله جیوه و اختلاف ارتفاع جیوه در دو شاخه ۱۲ cm است.

الف) فشار پیمانه‌ای گاز درون محفظه چند میلی‌متر جیوه است؟

ب) اگر فشار هوا ۷۵ mmHg باشد، فشار گاز درون محفظه چند میلی‌متر جیوه است؟

پاسخ:

الف)

$$P_g = P - P_0 = \rho gh$$

همان‌طور که پیشتر گفتیم معمولاً به جای محاسبه ρgh ، فشار برحسب ارتفاع ستون جیوه بیان می‌شود. بنابراین

$$P_g = 12 \text{ cmHg} = 12 \text{ mmHg}$$

ب)

$$P_g = P - P_0 \Rightarrow 12 = P - 75 \Rightarrow P = 87 \text{ mmHg}$$

فعالیت ۱۰-۵

در مورد انواع دیگر فشارسنج‌ها تحقیق کنید و چگونگی کارکرد آنها را به کلاس گزارش دهید.

اصل پاسکال: معمولاً برای استفاده از خمیردندان، لولهٔ پر خمیردندان را فشار می‌دهیم تا خمیر از دهانهٔ لوله خارج شود (شکل ۵-۱۷). هرگاه پیستون سرنگ پر از مایع را فشار دهیم، مایع از نوک سوزن با فشار خارج می‌شود و هرچه فشار وارد بر پیستون را بیشتر کنیم، مایع از نوک سوزن با فشار بیشتری خارج می‌شود.



شکل ۵-۱۷ وقتی لولهٔ خمیردندان را فشار می‌دهید، اصل پاسکال را مشاهده می‌کنید.

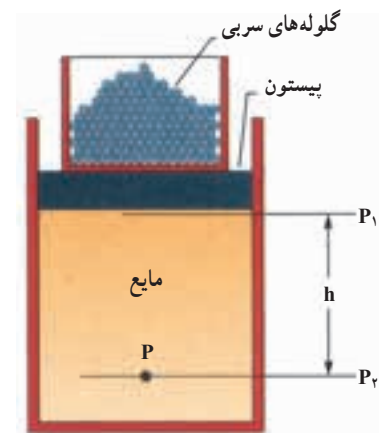
مطابق شکل ۵-۱۸ ظرفی استوانه‌ای و پر از مایع به چگالی ρ را در نظر بگیرید که با پیستونی مسدود شده است. روی پیستون گلوله‌هایی سربی قرار می‌دهیم. فشار ناشی از جو، وزن پیستون و وزن گلوله‌ها را در نقطهٔ (۱) با P_1 نشان می‌دهیم. می‌دانیم که فشار در عمق دلخواه h از این ظرف به اندازهٔ ρgh بیشتر از نقطهٔ (۱) است:

$$P_2 = P_1 + \rho gh$$

حال اگر مقدار گلوله‌های روی پیستون را تغییر دهیم مقدار P_1 نیز تغییر می‌کند. با توجه به تراکم‌ناپذیری مایع و ثابت ماندن مقدار ρgh ، P_2 نیز به اندازهٔ P_1 تغییر خواهد کرد. یعنی تغییر فشار این دو نقطه یکسان است و به ارتفاع h بستگی ندارد.

بلیز پاسکال^۱، دانشمند فرانسوی، این موضوع را برای اولین بار بررسی کرد و نتیجهٔ تحقیقات خود را در سال ۱۶۵۲ میلادی به چاپ رساند. این نتیجه امروزه به عنوان **اصل پاسکال** معروف است و چنین بیان می‌شود:

هر تغییری در فشار وارد بر هر شارهٔ تراکم‌ناپذیر و محبوس، بدون هیچ‌کم و زیاد به تمام بخش‌های شاره و دیواره‌های ظرف منتقل می‌شود.

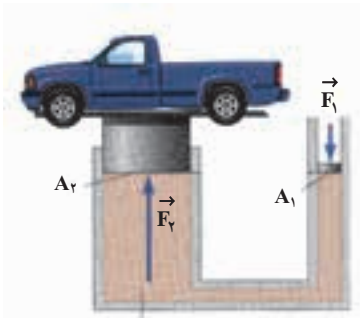


شکل ۵-۱۸ با تغییر فشار خارجی P_1 ، با توجه به تراکم‌ناپذیری مایع، فشار در همهٔ نقاط داخل مایع نیز به همان اندازه تغییر می‌کند.

فعالیت ۱۰-۱۴

یک سرنگ کوچک (مثل سرنگ انسولین)، لولهٔ لاستیکی سرم یا آکواریوم به طول حدود ۵ cm، یک سرنگ بزرگ‌تر ۵ cc (و یا با حجم بیشتر) و مقداری آب رنگی آماده کنید. در سرنگ بزرگ تا حدود ۲ cc آب بکشید و سرنگ انسولین را پر از آب کنید. لولهٔ لاستیکی پر از آب را از یک سر به سرنگ بزرگ و از سر دیگر به سرنگ انسولین وصل کنید. توجه داشته باشید که در سرنگ‌ها یا لوله نباید حباب هوا باشد. با هر دست خود بر یکی از پیستون‌ها نیرو وارد و تفاوت بزرگی نیروها را تجربه کنید.





شکل ۵-۱۹- طرح ساده شده‌ای از یک بالابر هیدرولیکی



بلیز پاسکال

ریاضیدان، فیزیکدان، مخترع و فیلسوف فرانسوی در ۱۹ ژوئن ۱۶۲۳ م. (۱۰۰۲ ه.ش) در فرانسه به دنیا آمد. او کودکی نابغه بود که تمام تحصیلات خود را زیر نظر پدرش به انجام رسانید و در هیچ دانشگاهی به‌طور آکادمیک تحصیل نکرد. او در سال ۱۶۴۵ در حالی که فقط ۲۲ سال داشت نخستین ماشین حساب مکانیکی را پس از ۳ سال تلاش شبانه‌روزی اختراع کرد. این ماشین‌ها به حسابگرهای پاسکال مشهور شد. پاسکال یکی از مهم‌ترین ریاضی‌دانان تاریخ بود که در دو شاخه تحقیقاتی جدید در ریاضیات، هندسه تصویری و نظریه احتمالات نقشی اساسی بازی کرد. او همچنین در علوم طبیعی و کاربردی نیز یکی از سرآمدان دوران خود بود و با تعمیر کار توربچلی نقشی مهم در تبیین مفاهیم علم شماره‌ها از جمله در تبیین مفاهیم فشار شماره و خلأ داشت. او در پایان عمر، مطالعات خود را بر روی فلسفه متمرکز کرد و در حالی که فقط ۳۹ سال داشت در ۱۹ آگوست ۱۶۶۲ م. (۱۰۴۱ ه.ش) در پاریس درگذشت.

بالا بر هیدرولیکی: بالابرهاى هیدرولیکی براساس اصل پاسکال طراحی می‌شوند. از این

دستگاه برای بالا بردن اجسام سنگین مانند خودرو (برای تعویض چرخ‌ها یا تعمیر آنها) استفاده می‌شود. طرح ساده‌ای از این بالابر در شکل ۵-۱۹ نشان داده شده است.

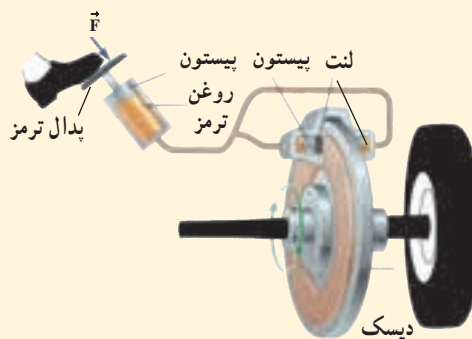
به‌طور معمول و بدون آنکه وسیله‌ای روی بالابر قرار گیرد، فشار در محل پیستون‌های کوچک و بزرگ به ترتیب P_1 و P_2 است. با قرار گرفتن هر چیز سنگینی مانند خودرو روی پیستون بزرگ، فشار این پیستون به اندازه $\frac{F_2}{A_2}$ افزایش می‌یابد (F_2 در این حالت برابر با وزن خودرو است). اگر مایع در تعادل باشد، طبق اصل پاسکال، در محل پیستون کوچک هم به همان اندازه افزایش فشار خواهیم داشت. برای آنکه پیستون کوچک در تعادل بماند، باید نیروی وارد بر آن به اندازه F_1 افزایش یابد، طوری که تغییر فشار در محل پیستون‌ها با هم برابر باشد، در نتیجه:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (۵-۶)$$

از این دستگاه علاوه بر بالا بردن اجسام، برای پرس یا خرد کردن نیز استفاده می‌شود.

تمرین ۵-۲

شکل زیر طرح‌واره ساده‌ای از دستگاه ترمز خودرویی را نشان می‌دهد. با استفاده از اصل پاسکال توضیح دهید که این دستگاه چگونه کار می‌کند.

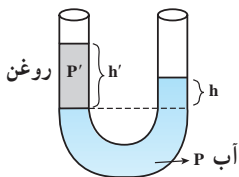


پرسش های فصل پنجم

- ۱ در هنگام پاک کردن تخته سیاه ذرات گچ به طور نامنظم به اطراف حرکت می کنند. حرکت نامنظم آنها را چگونه می توان توجیه کرد؟
- ۲ قطعه ای فلزی به شما داده شده است و ادعا می شود که از طلای خالص ساخته شده است. چگونه می توانید درستی این ادعا را بررسی کنید؟
- ۳ چرا موهای خیس به هم فشرده می شوند؟
- ۴ وزن 1 m^3 شن تقریباً سه برابر وزن 1 m^3 آب است. چرا بادهای نسبتاً ضعیف توده های شن را در صحرا به حرکت درمی آورند، حال آنکه بر اثر یک توفان حتی شدید فقط یک مقدار مختصر آب دریا به سمت بالا پاشیده می شود؟
- ۵ رابطه فشار هوا با ارتفاع از سطح زمین پیچیده است، اما می توان نشان داد که تا ارتفاع 2000 متری از سطح زمین فشار هوا تقریباً به ازای هر 10 m ، یک میلی متر جیوه کاهش می یابد. با این اطلاعات فشار هوا را در محل زندگی خود برآورد کنید.
- ۶ چرا تنفس یک شناگر با لوله ای بلند که تا سطح آب ادامه دارد می تواند به شدت خطر آفرین باشد؟

مسائل فصل پنجم

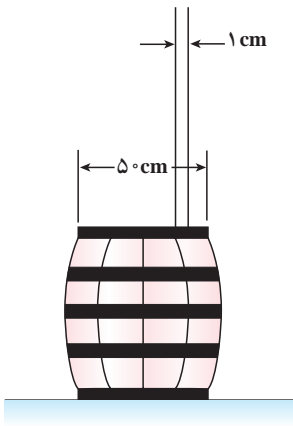
- ۱ تخمین بزنید که هوای داخل کلاس شما چند کیلوگرم است؟ اگر تمام آن را مایع کنیم چه حجمی را اشغال می کند؟ (از جدول ۱-۵ استفاده کنید.)
- ۲ در چه عمقی از دریا فشار 10° برابر فشار جو در سطح دریا است؟ (چگالی آب دریا را 1150 kg/m^3 فرض کنید.)
- ۳ اختلاف فشار ناشی از اختلاف ارتفاع بین مغز و پای شخصی به بلندی $1/83\text{ m}$ چقدر است؟ چگالی خون 10^3 kg/m^3 است.
- ۴ برای نوشیدن آب به چگالی 1000 kg/m^3 با استفاده از نی، تا ارتفاع بیشینه 10 cm ، اختلاف فشار هوای درون دهان با فشار هوای بیرون که باید ایجاد کنیم چقدر است؟
- ۵ طول و عرض و ارتفاع یک اتاق $3/5\text{ m}$ ، $4/2\text{ m}$ و $2/4\text{ m}$ است. الف) وزن هوای درون اتاق در فشار 1 atm و دمای 0°C چقدر است؟ ب) نیروی وارد از هوای داخل اتاق بر کف آن چقدر است؟
- ۶ در یک ظرف لوله U شکل حاوی آب، مطابق شکل مقابل مقداری روغن ریخته ایم. الف) نشان دهید:



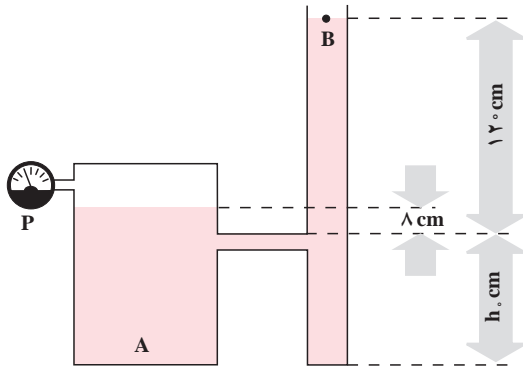
$$\frac{h'}{h} = \frac{\rho}{\rho'}$$

- که در آن ρ' چگالی روغن و ρ چگالی آب و h' ارتفاع ستون روغن است.
- ب) چگونه می توان با این روش چگالی یک مایع نامعلوم را تعیین کرد؟ این آزمایش را انجام دهید و درستی رابطه بالا را تحقیق کنید.

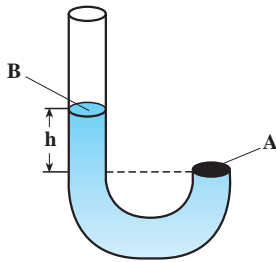
۷ آزمایش شکل روبه‌رو را پاسکال برای اولین بار انجام داد. لوله باریک و بلندی را به بشکه‌ای وصل کرد و در داخل لوله آب ریخت. هنگامی که ارتفاع آب در لوله به $15/3$ متر رسید درپوش بشکه رها شد. اگر قطر درپوش 5°cm باشد، در این لحظه چه نیرویی از طرف آب به درپوش وارد شده است؟ قطر داخلی لوله 1cm است.



۸ اگر در مخزن شکل روبه‌رو آب بریزیم، وقتی سطح مایع از h بالاتر می‌رود، هوا در داخل ظرف A به دام می‌افتد. اگر سطح مایع در ظرف A، 8cm بالاتر از h و در B، 12°cm بالاتر از h باشد: الف) فشارسنج چه عددی را نشان می‌دهد؟ (این فشارسنج فشار پیمانه‌ای را اندازه‌گیری می‌کند.) ب) فشار کل گاز محبوس چقدر است؟



۹ در شکل روبه‌رو مایعی به چگالی ρ در داخل لوله U شکل ریخته شده و انتهای سمت راست آن با درپوشی بسته شده است. مایع تمام بخش سمت راست لوله را اشغال کرده است. اختلاف ارتفاع در نقاط A و B برابر h است. الف) فشار مایع در A چقدر است؟ ب) اگر شعاع لوله r باشد، چه نیرویی از طرف مایع به درپوش A وارد می‌شود؟



۱۰ در شکل روبه‌رو مقدار h چند سانتی‌متر است؟ فشار هوا را $1 \times 10^5\text{Pa}$ و چگالی آب را 1g/cm^3 بگیرید.

