



قلم‌زنی در ایران

تغییر حالت قیر از مایع به جامد و از جامد به مایع، به صنعتگران قلم‌زن کمک می‌کند تا بدون سوراخ‌شدن فلز، بر روی آن نقش و نگارهای متنوعی ایجاد کنند.

ویژگی‌های ماده

هنگامی که رفتار ماده را در حالت‌های گاز، مایع و جامد مورد بررسی قرار می‌دهیم، سؤال‌های زیادی مشابه سؤال‌های زیر برای ما مطرح می‌شوند:

چرا تغییر شکل جامدها مشکل است؟ چرا مایع‌ها شکل ظرف را به خود می‌گیرند؟ چرا قطره آبی که از شیر جدا می‌شود، در حین سقوط نیز قطره باقی می‌ماند؟ چرا گازها را می‌توان متراکم کرد، ولی مایع‌ها را نمی‌توان به آسانی متراکم کرد؟



شکل ۵-۱- مراحل سقوط یک قطره شیر و برخورد آن به سطح این مایع در لحظه‌های مختلف عکس‌برداری شده است. در عکس‌برداری از رنگ‌های متفاوت نور استفاده شده است.

این مشاهده‌ها و بسیاری پدیده‌های دیگر را، که در این فصل با آن‌ها آشنا خواهید شد، می‌توان با توجه به نیروهای بین مولکول‌ها و چگونگی حرکت مولکول‌ها در داخل ماده توضیح داد.

۱-۵ حالت‌های مختلف ماده

می‌دانیم که مولکول‌ها کوچک‌ترین جزء سازنده ماده‌اند^۱. اندازه اتم‌ها در حدود یک انگستروم (10^{-10} m) است. اندازه مولکول‌ها بستگی به این امر دارد که از چند اتم تشکیل شده است. در فعالیت زیر می‌توانید اندازه یک مولکول روغن را برآورد کنید.

فعالیت ۱-۵

یک قطره روغن را روی سطح آب بچکانید. قطره روغن روی سطح آب گسترش می‌یابد. هرچه سطح آب وسیع‌تر باشد، گسترش روغن بیش‌تر است. این گسترش آن قدر ادامه می‌یابد تا در روی سطح آب لایه‌نازکی که ضخامت آن در حدود اندازه یک مولکول است تشکیل شود. با اندازه‌گیری تقریبی مساحت روغن در روی سطح آب و نیز اندازه‌گیری حجم قطره (در فصل ۱ روشی برای اندازه‌گیری آن داده شده است) می‌توانید ضخامت لایه را برآورد کنید. ضخامت لایه برآوردی از اندازه مولکول روغن است.

ماده‌ها در حالت (فاز)های گاز، مایع و جامد یافت می‌شوند. اکنون به بررسی این حالت‌ها می‌پردازیم.

الف - گاز: در حالت گازی مولکول‌ها آزادانه به اطراف حرکت می‌کنند و با یکدیگر و با دیواره ظرف برخورد می‌کنند. فاصله مولکول‌ها در حالت گاز در حدود چند ده برابر فاصله آن‌ها در مایع و جامد است. ویژگی‌هایی را که در بالا شرح دادیم می‌توان تا حدودی با انجام فعالیت‌ها و مشاهده‌های زیر دریافت.

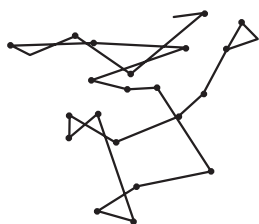
فعالیت ۲-۵

در یک ظرف نوشابه پلاستیکی را ببندید و سعی کنید آن را متراکم کنید. سپس آن را پر از آب کنید و دوباره سعی کنید آن را متراکم کنید. در کدام حالت متراکم کردن ظرف مشکل‌تر است؟

۱- در مواردی نیز که کوچک‌ترین جزء سازنده ماده اتم است برای سادگی از واژه مولکول برای این جزء استفاده

از این فعالیت می‌توان دریافت که فاصله مولکول‌ها در حالت گاز بیش‌تر از فاصله آن‌ها در حالت مایع است.

وقتی یک گل خوشبو را وارد اتاق می‌کنید و یا این‌که در یک شیشه عطر را در اتاق باز می‌کنید، بوی خوش آن‌ها را می‌توانید در تمام اتاق حس کنید. برای توجیه این پدیده می‌توان گفت که وقتی مولکول هوا به مولکول عطر برخورد می‌کند، مسیر حرکت آن را تغییر می‌دهد. مولکول عطر پس از این برخورد به حرکت خود در امتداد یک خط مستقیم ادامه می‌دهد. برخورد بعدی با یک مولکول دیگر



شکل ۲-۵

هوا مجدداً مسیر مولکول عطر را تغییر می‌دهد، در نتیجه، مولکول‌های عطر مطابق شکل (۲-۵) در مسیر خط شکسته حرکت می‌کنند. به این ترتیب مولکول‌های عطر در اثر برخورد با مولکول‌های هوا به قسمت‌های مختلف اتاق منتقل می‌شوند. این پدیده، پخش مولکول‌های عطر در اتاق نامیده می‌شود. از این مشاهده می‌توان دریافت که مولکول‌ها در هوا آزادانه به اطراف حرکت و با یکدیگر برخورد می‌کنند.

ب- مایع: فاصله مولکول‌ها در مایع در مقایسه با گاز بسیار کم است (در حدود 10^{-10} m). در مایع مولکول‌ها به اطراف خود حرکت می‌کنند و به سهولت روی هم می‌لغزند.

فعالیت ۳-۵

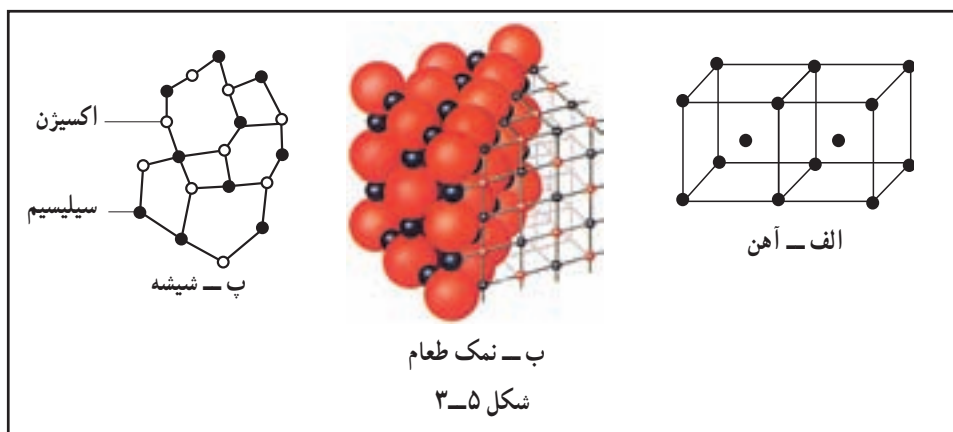
یک قطره جوهر را در داخل آب بریزید. مدتی صبر کنید. چه مشاهده می‌کنید؟ این مشاهده کدام ویژگی مایع را که در بالا شرح داده شد نشان می‌دهد؟

فعالیت ۴-۵

هنگامی که لیوانی را که پر از آب است کج می‌کنیم، آب به راحتی از آن می‌ریزد. این پدیده کدام یک از ویژگی‌های مایع را که در بالا ذکر شد نشان می‌دهد؟

پ- جامد: در جامد فاصله مولکول‌ها مانند فاصله آن‌ها در مایع است (یعنی، در حدود 10^{-10} m). آن‌ها نمی‌توانند، مانند وضعیتی که در حالت‌های مایع و گاز دارند، آزادانه به اطراف حرکت کنند. بلکه، در جامد در مکان‌های خاصی قرار می‌گیرند و فقط می‌توانند در اطراف این مکان‌ها حرکت‌های نوسانی (درفت و برگشتی) بسیار کوچکی انجام دهند.

در جامدهای بلورین مولکول‌ها در طرح‌های منظمی مانند شکل‌های (۵-۳ الف و ب) در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و جامدهای بلورین از تکرار این طرح‌ها حاصل می‌شوند. فلزها و بیشتر سنگ‌ها مانند نمک طعام و الماس جامدهای بلورین هستند.



جامدهای بلورین معمولاً هنگامی تشکیل می‌شوند که مایع را به آهستگی سرد کنیم. در این صورت مولکول‌ها فرصت دارند که در طرح منظمی خود را مرتب کنند. در جامدهای بی‌شکل مانند شیشه، برخلاف جامدهای بلورین، مولکول‌ها، مانند شکل (۵-۳ پ) در طرح منظمی در کنار یکدیگر قرار ندارند. این جامدها، معمولاً از سرد کردن سریع مایع به دست می‌آیند. با این عمل مولکول‌ها فرصت کافی پیدا نمی‌کنند که خود را در طرح منظمی مرتب کنند. در نتیجه، تا حدود زیادی در وضعیت نامنظمی که در حالت مایع داشتند باقی می‌مانند. دیدیم که فاصله مولکول‌ها در گاز بسیار بیشتر از فاصله آن‌ها در جامد و مایع است. با معرفی کمیت بسیار مهمی به نام چگالی می‌توان درستی این امر را تحقیق کرد.

۵-۲- چگالی

ما در زندگی روزمره با جامدها، مایع‌ها و گازهای مختلف سروکار داریم. ممکن است بخواهیم جرم آن‌ها را با یکدیگر مقایسه کنیم و ببینیم مثلاً در میان مایع‌ها جرم یک حجم معین از کدام مایع بیشتر از دیگری است. برای پاسخ دادن به این سؤال لازم است به آزمایش (۵-۱) توجه کنید:

آزمایش ۵-۱

وسایل و مواد لازم: یک لیوان، مایع‌های مختلف مانند: آب، الکل صنعتی، روغن، مایع ظرف‌شویی، ... و ترازو
یک لیوان اختیار کنید و حجم داخلی آن را اندازه‌گیری کنید. سپس در آن مایع‌های مختلف بریزید و جرم آن‌ها را اندازه‌گیری و جدول زیر را تکمیل کنید.

مایع	حجم (V) m ^۳	(جرم m) kg	m/V kg/m ^۳
آب			
الکل صنعتی			
مایع ظرف‌شویی			
روغن			

نتیجه را به کلاس گزارش دهید.

جرم یکای حجم از هر جسم، چگالی آن نامیده می‌شود و چگالی را با نماد ρ نمایش می‌دهیم. اگر جرم جسم m و حجم آن V باشد، چگالی آن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (۱-۵)$$

یکای چگالی kg/m^3 است. در آزمایش (۱-۵) با تقسیم کردن جرم هر مایع به حجم آن چگالی آن مایع را به دست آورده‌اید. چگالی مواد مختلف در سه حالت جامد، مایع و گاز در جدول (۱-۵) آمده است.

چگالی آب را که در آزمایش (۱-۵) به دست آمده است با آنچه که در جدول (۱-۵) برای آب ذکر شده مقایسه و در صورتی که تفاوتی مشاهده می‌کنید علت‌های ممکن را بیان کنید.

فعالیت ۵-۵

در روی بعضی اجناس (مانند روغن، شامپو، مایع ظرف‌شویی و ...) جرم یا حجم آن‌ها نوشته شده است. چگالی آن‌ها را اندازه‌گیری کنید.

فعالیت ۵-۶

چگالی یک جامد، مانند قاشق، کارد و ... را به دست آورید.
برای اندازه‌گیری حجم آن‌ها می‌توانید از یک استوانه مدرج حاوی آب استفاده کنید. با انداختن این اجسام در این استوانه حجم آب به اندازه حجم جسم افزایش می‌یابد.

جدول ۵-۱- چگالی برخی مواد

چگالی (kg/m ^۳)	گازها	چگالی (kg/m ^۳)	مایع‌ها	چگالی (kg/m ^۳)	جامدها
۲	دی‌اکسید کربن	۱۳۶۰۰	جیوه	۲۱۴۰۰	پلاتین
۱/۴۳	اکسیژن	۱۰۰۰	آب (۴°C)	۱۹۳۰۰	طلا
۱/۲۹	هوا	۸۰۰ - ۹۵۰	نفت	۱۱۳۰۰	سرب
۰/۱۸	هلیوم	۹۲۰	هوای مایع (-۱۹۴°C)	۱۰۵۰۰	نقره
۰/۰۹	هیدروژن	۸۱۰	ازت مایع (-۱۹۶°C)	۸۹۳۰	مس
		۷۹۰	الکل (اتانول)	۷۸۰۰	آهن (فولاد)
		۱۲۵	هلیوم مایع (-۲۶۹°C)	۶۹۰۰	روی
				۲۵۰ - ۱۰۰۰	چوب
				۲۷۰۰	آلومینیوم
				۹۲۰	یخ

* در مواردی که دما ذکر نشده است، چگالی مربوط به دمای °C است.

فعالیت ۵-۷

از مقایسه چگالی هوا در حالت‌های گاز و مایع و نیز هلیوم در این دو حالت چه نتیجه‌ای می‌توان در مورد فاصله مولکول‌ها در حالت‌های گاز و مایع به دست آورد؟

یکی از موارد استفاده از چگالی این است که می‌توان با استفاده از آن با داشتن هریک از دو کمیت جرم یا حجم دیگری را محاسبه کرد.

مثال ۵-۱

جرم یک لیتر آب چند کیلوگرم است؟

حل: با استفاده از جدول (۵-۱) چگالی آب 1000 kg/m^3 است. یک لیتر

برابر با 10^{-3} m^3 است. در نتیجه:

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

$$1000 = \frac{m}{10^{-3}}$$

که از آن مقدار $m = 1 \text{ kg}$ به دست می‌آید.

فعالیت ۵-۸

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

فعالیت ۵-۹

حجم داخل یک سطل را با روش‌های مختلف اندازه بگیرید و نتیجه‌ها را با یکدیگر مقایسه کنید.

۵-۳- نیروهای چسبندگی

اگر به یک قطره آب که از شیر می‌چکد توجه کنیم، می‌بینیم که قطره پس از جدا شدن از شیر در تمام طول مسیر به صورت قطره باقی می‌ماند. مولکول‌های این قطره در حین سقوط از یکدیگر دور نمی‌شوند و متصل به یکدیگر باقی می‌مانند. برای توجیه این پدیده می‌توان گفت که بین مولکول‌های مایع یک نیروی ربایشی وجود دارد که نیروی چسبندگی نامیده می‌شود. این نیرو مولکول‌های مایع را در قطره متصل به یکدیگر نگاه می‌دارد. تأثیر این نیرو را می‌توان در پدیده‌های مختلف مشاهده کرد. اکنون ممکن است این سؤال مطرح شود که چرا این نیروی ربایشی باعث نمی‌شود که مولکول‌ها

درهم فرو روند. برای توضیح دادن این امر می توان گفت که وقتی مولکول ها به هم بسیار نزدیک می شوند یک نیروی رانشی قوی بین آن ها ایجاد می شود که از نزدیک شدن بیش تر آن ها جلوگیری می کند. در واقع، این که ظرف حاوی آب در فعالیت (۵-۲) را به آسانی نمی توان متراکم کرد حاکی از این است که با متراکم کردن اندک ظرف، مولکول های آن، آن قدر به یکدیگر نزدیک می شوند که نیروی رانشی قوی که در بالا به آن اشاره شد بین مولکول ها ایجاد شود. این نیرو مانع متراکم کردن بیش تر آب می شود. نیروی رانشی بین مولکول ها عاملی است که مایع ها را تقریباً تراکم ناپذیر می کند. در نتیجه، با توجه به نکات بالا می توان گفت که در فاصله های خیلی کوتاه (در مقایسه با فاصله بین مولکول ها در حالت مایع) نیروی بین مولکولی رانشی است و در فاصله های بیشتر این نیرو ربایشی است. نیروهای بین مولکولی کوتاه برد هستند. یعنی، وقتی فاصله مولکول ها چند برابر فاصله بین مولکولی می شود نیروهای بین مولکولی بسیار کوچک و عملاً صفر می شوند.

فعالیت ۵-۱۰

با توجه به مطالبی که در بالا درمورد نیروهای بین مولکولی بیان شد، توضیح دهید چرا مولکول های عطر در شکل (۵-۲) ناگهان تغییر مسیر می دهند؟

۵-۴- کشش سطحی

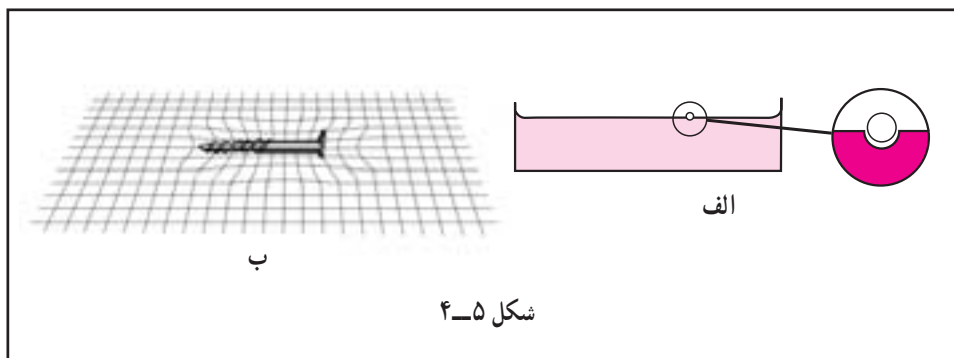
دیدیم که تشکیل قطره آب وجود نیروهای چسبندگی را نشان می دهد. ولی پدیده های دیگری نیز وجود دارند که به کمک آن ها می توان به وجود نیروهای چسبندگی پی برد. یکی از این پدیده ها اثر کشش سطحی است که اکنون به توصیف آن می پردازیم.

آزمایش ۵-۲

وسایل لازم: سوزن، دستمال کاغذی و یک ظرف آب
سوزن را بر روی یک تکه کوچک دستمال کاغذی قرار دهید و آن ها را روی سطح آب بگذارید. پس از مدتی دستمال خیس می شود و از سطح آب پایین می رود.
سوزن بر روی سطح آب شناور باقی می ماند.

اگر به سطح آب توجه کنید، ملاحظه خواهید کرد که مطابق شکل (۵-۴ الف) در سطح آب یک فرورفتگی ایجاد می شود. این پدیده مشابه نگاهداری یک پیچ توسط یک پارچه توری است.

همان طور که در شکل (۴-۵) دیده می‌شود، با قرار دادن پیچ یک فرورفتگی در پارچه توری ایجاد می‌شود.



شکل ۴-۵



همان طور که نخ‌های توری به یکدیگر متصل‌اند و پیچ را نگاه می‌دارند، مولکول‌های آب نیز مانند شکل (۴-۵) -الف) با نیروهای چسبندگی یکدیگر را می‌ربایند و باعث می‌شوند که سطح آب مانند یک توری یا پوسته کشیده رفتار کند و سوزن را نگاه دارد. این رفتار سطح را کشش سطحی می‌نامند.

شکل ۵-۵

فعالیت ۵-۱۱

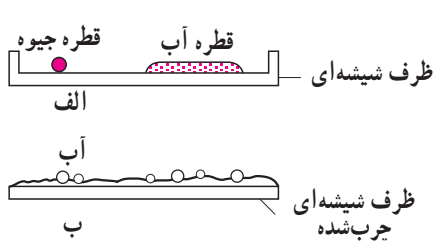
در شکل (۵-۵) حشره چگونه می‌تواند روی آب بایستد؟

۵-۵- نیروهای چسبندگی سطحی

دیدیم که بین مولکول‌های یک ماده یک نیروی چسبندگی وجود دارد. این نیرو باعث می‌شود که پدیده‌های جالبی رخ دهد که در بحث‌های قبل دیدیم. هنگامی که دو ماده مختلف در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند نیز پدیده‌هایی اتفاق می‌افتند که اکنون به توصیف آن‌ها می‌پردازیم.

فعالیت ۵-۱۲

یک قطره آب را بر روی یک ظرف شیشه‌ای تمیز و خشک قرار دهید. یک بار نیز سطح شیشه را با روغن چرب کنید و سپس قطره را روی سطح آن قرار دهید. آزمایش بالا را با یک قطره جیوه بر روی یک ظرف شیشه‌ای تمیز تکرار کنید. مشاهده‌های خود را به کلاس گزارش کنید و توجه‌های خود را به بحث بگذارید.



شکل ۵-۶

در آزمایش اول قطره آب مطابق شکل (۵-۶-الف) بر روی سطح پهن می‌شود. در این صورت می‌گویند آب سطح شیشه را تر می‌کند. در آزمایش دوم قطره آب مطابق شکل (۵-۶-ب) به صورت کروی درمی‌آید. قطره جیوه بر طبق شکل (۵-۶-الف) بر روی ظرف شیشه‌ای به صورت کروی درمی‌آید.

برای توجیه این مشاهدات می‌توان گفت بین مولکول‌های آب و شیشه نیز نیرویی وجود دارد که نیروی چسبندگی سطحی نامیده می‌شود. در فعالیت اول نیروی چسبندگی سطحی بیش‌تر از نیروی چسبندگی است و آب بر روی سطح شیشه پهن می‌شود. در فعالیت دوم، نیروی چسبندگی سطحی کمتر از نیروی چسبندگی است و آب به صورت کروی درمی‌آید.

۵-۶- مویبندی

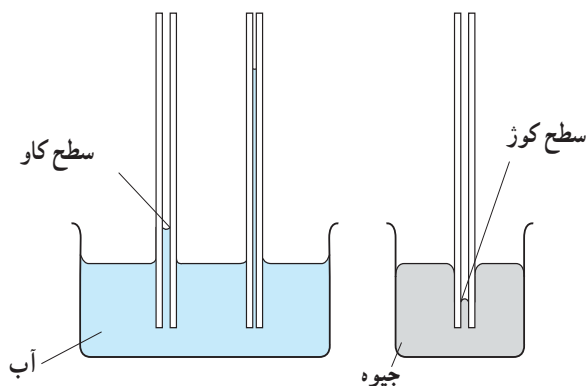
یکی دیگر از اثرهای نیروی چسبندگی سطحی، مویبندی است که اکنون به توصیف آن می‌پردازیم:

آزمایش ۵-۳

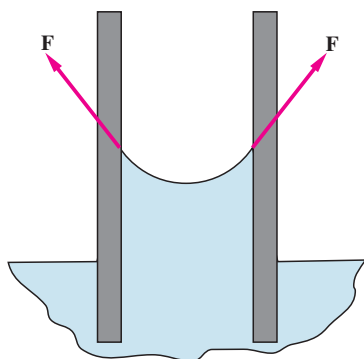
وسایل لازم: یک ظرف آب، یک ظرف جیوه، لوله‌های مویب با قطرهای متفاوت لوله‌های مویب را وارد ظرف‌های آب و جیوه کنید و مشاهدات خود را یادداشت کنید و به کلاس گزارش دهید. دلیل‌های توجیهی خود را در کلاس به بحث بگذارید.

در آزمایش (۳-۵) می‌توان موردهای زیر را مشاهده کرد:

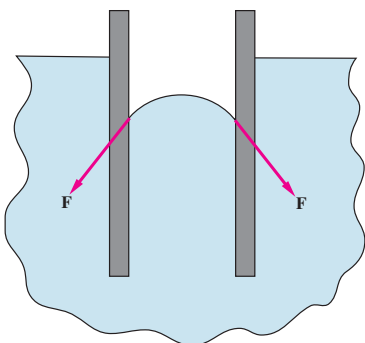
- ۱- سطح آب در لوله مویب دارای فرورفتگی است.
- ۲- آب در لوله مویب بالا می‌رود و سطح آن بالاتر از سطح آب ظرف قرار می‌گیرد.
- ۳- سطح جیوه در لوله مویب دارای برآمدگی است.



شکل ۵-۷



شکل ۵-۸



شکل ۵-۹

۴- جیوه در لوله موئین بالا می‌رود ولی سطح آن پایین‌تر از سطح جیوه در ظرف قرار می‌گیرد. در مورد اول نیروی چسبندگی سطحی بیشتر از نیروی چسبندگی است. در نتیجه مولکول‌های آب به طرف سطح داخلی لوله موئین کشیده می‌شوند و در سطح آب مانند شکل (۵-۸) فرورفتگی ایجاد می‌شود.

از طرف سطح داخلی لوله موئین نیروی F مطابق شکل به آبی که با لوله در تماس است وارد می‌شود. این نیرو باعث بالا رفتن آب در لوله موئین می‌شود.

در مورد سوم، نیروی چسبندگی بیش‌تر از نیروی چسبندگی سطحی است. مولکول‌های جیوه که به سطح داخلی لوله موئین نزدیک‌اند به طرف مرکز لوله کشیده می‌شوند و در سطح جیوه مطابق شکل (۵-۹) برآمدگی ایجاد می‌شود.

از طرف سطح داخلی لوله موئین نیروی F مطابق شکل به جیوه‌ای که با لوله در تماس است وارد می‌شود. این نیرو باعث پایین رفتن جیوه در لوله موئین می‌شود.

فعالیت ۵-۱۳

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

فناوری و کاربرد



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.

فعالیت ۵-۱۴

در گذشته در ایران به جای قیراندود کردن چگونه از نفوذ آب باران به داخل ساختمان جلوگیری می‌کردند؟

فعالیت ۵-۱۵

در گیاهان آب و مواد غذایی لازم دیگر بر اساس موئینگی از آوندهای چوبی بالا می‌روند. مواد دیگری را نام ببرید که در اثر این خاصیت آب در آن‌ها نفوذ می‌کند.

اکنون که با نیروهای بین مولکولی آشنا شده‌ایم به بررسی برخی خواص مایع‌ها و گازها می‌پردازیم.

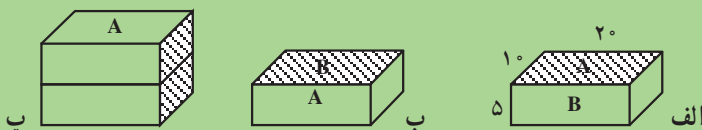
۵-۷ فشار

اگر با کفش روی برف بایستیم، مقداری در آن فرو می‌رویم. ولی اگر چوب اسکی به پا داشته باشیم، کمتر در برف فرو می‌رویم علت چیست؟ در این مثال، وزن تغییر نکرده است. بلکه سطح

تماس ما با برف افزایش یافته است. در حالتی که چوب اسکی به پا داریم، نیروی وارد بر سطح در مقایسه با حالتی که با کفش در برف ایستاده‌ایم در سطح بیش‌تری توزیع شده است و در نتیجه کمتر در برف فرو می‌رویم.

فعالیت ۵-۱۶

در شکل (۵-۱۰ الف) آجری به ابعاد $5\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ نشان داده شده است. مساحت وجه A برابر 20 cm^2 و مساحت وجه B برابر 100 cm^2 است. سطح مقداری ماسه نرم را صاف کنید و آجر را از وجه B روی آن قرار دهید. (شکل ۵-۱۰ ب) مقدار فرورفتگی آجر را در شن اندازه‌گیری و یادداشت کنید. سپس آجر را از وجه A روی ماسه قرار دهید و آجر یکسان دیگری را روی آن بگذارید (شکل ۵-۱۰ پ). مقدار فرورفتگی را مجدداً اندازه‌گیری و یادداشت کنید. مشاهده خود را به کلاس گزارش دهید و توجیه آن را به بحث بگذارید.



شکل ۵-۱۰

از فعالیت (۵-۱۶) مشاهده خواهیم کرد که مقدار فرورفتگی در دو حالت یکسان است. علت این است که در آزمایش دوّم، هم وزن را دوبرابر کرده‌ایم و هم سطح تماس را. در نتیجه، نیرویی که به هر بخش از سطح تماس وارد می‌شود مانند حالت اول است. کمیتی که ما در این جا با آن سروکار داریم، اندازه نیروی عمودی وارد بر واحد سطح است که فشار نامیده می‌شود. اگر اندازه نیروی عمود بر سطح A برابر F باشد، فشار وارد بر سطح A با رابطه زیر تعریف می‌شود.

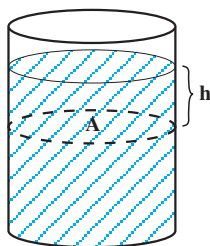
$$P = \frac{F}{A} \quad (۵-۲)$$

واحد فشار در SI، N/m^2 است که پاسکال (Pa) نامیده می‌شود. در این رابطه اگر F و A را دوبرابر کنیم، فشار P تغییر نمی‌کند.

فعالیت ۵-۱۷

چرا پاشنه نوک تیز به کف چوبی اتاق آسیب می‌رساند؟

۵-۸- محاسبه فشار در مایع‌ها



شکل ۵-۱۱

برای محاسبه فشار در داخل مایع‌ها، مایعی را با چگالی ρ در داخل یک ظرف مطابق شکل (۵-۱۱) در نظر می‌گیریم. وزن مایعی که در بالای سطح A در عمق h از سطح مایع قرار گرفته است فشاری را در این سطح ایجاد می‌کند که اکنون به محاسبه آن می‌پردازیم:

جرم مایع موجود در بالای سطح A برابر است با:

$$m = \rho V = \rho h A$$

وزن این بخش از مایع برابر با $\rho h A g$ است. در نتیجه، فشار حاصل از مایعی که در بالای A

$$P = \frac{\rho h A g}{A}$$

قرار دارد در این عمق برابر است با:

$$P = \rho g h$$

(۵-۳)

مثال ۵-۲

در داخل ظرف شکل (۵-۱۱) به ارتفاع 20 cm آب ریخته‌ایم. فشار ناشی از

مایع در ته ظرف چه قدر است؟

حل:

$$P = \rho g h = 1000 \times 9.8 \times 0.2 = 1960 \text{ Pa}$$

رابطه (۵-۳) نشان می‌دهد که فشار ناشی از مایع ساکن فقط به عمق از سطح آزاد مایع

بستگی دارد و نقاط هم‌عمق هم‌فشارند. هم‌چنین، هرچه عمق بیشتر شود فشار مایع افزایش می‌یابد.

این امر را در هنگام شناکردن در زیر آب حس می‌کنیم.

فعالیت ۵-۱۸

یک قوطی خالی را انتخاب و آن را در عمق‌های مختلف سوراخ کنید. سپس

آن را پر از آب کنید. مشاهده‌های خود را توجیه کنید.

رابطه (۵-۳) را می‌توان برای گازها نیز به کار برد. یعنی، اگر گاز در داخل محفظه‌ای محبوس

باشد، فشار ناشی از وزن گاز از این رابطه به دست می‌آید. ولی، چون چگالی گازها خیلی کم است،

هنگامی که ارتفاع گاز داخل محفظه کوچک است، اختلاف فشار در نقاط مختلف داخل محفظه ناچیز است و در نتیجه، فشار را در این موارد می‌توان در تمام نقاط گاز یکسان در نظر گرفت.

۹-۵- فشار هوا

هوا گازی است که اطراف کره زمین را اشغال کرده است و در زندگی جانداران و گیاهان نقش اساسی و حیاتی دارد. در اثر وجود هوا پدیده‌های متفاوتی در سطح زمین ایجاد می‌شود که در این بخش و بخش‌های بعد به بررسی برخی از آن‌ها می‌پردازیم.

در بخش قبل دیدیم که فشار ناشی از وزن گاز، در مواردی که ارتفاع آن کم است، ناچیز است. در مورد جو زمین ارتفاع هوا زیاد است و فشار ناشی از آن قابل ملاحظه است. این فشار، فشار هوا نامیده می‌شود.

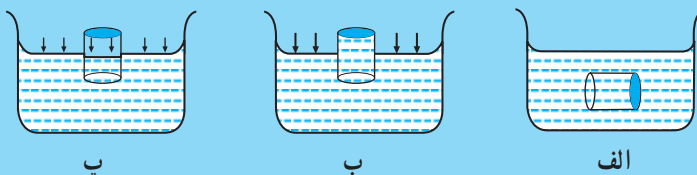
فعالیت ۱۹-۵

در 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.

آزمایش ۴-۵

وسایل لازم: یک لیوان، یک ظرف

در ظرفی آب بریزید و لیوان را مطابق شکل (۵-۱۲-الف) در داخل ظرف قرار دهید. سپس در حالی که دقت می‌کنید هوا به داخل لیوان وارد نشود، انتهای آن را مطابق شکل (۵-۱۲-ب) بیرون آورید. مشاهده خود را یادداشت کنید. سپس لیوان را به صورت وارونه مطابق شکل (۵-۱۲-پ) وارد آب کنید. چه مشاهده می‌کنید؟ توجه‌های خود را در کلاس به بحث بگذارید.



شکل ۱۲-۵

در این آزمایش مشاهده می‌کنید که در حالت اول آب مطابق شکل (۵-۱۲-ب) درون لیوان باقی می‌ماند. چه عاملی مانع پایین آمدن آب در لیوان وارونه می‌شود؟ هوا به سطح آب درون ظرف نیرو وارد می‌کند و آب را در درون لیوان نگاه می‌دارد. در شکل (۵-۱۲-پ)، هوای داخل لیوان که خارج نشده است نیز به سطح آب نیرو وارد می‌کند و مانع بالا رفتن آن می‌شود. در واقع اگر به طریقی می‌توانستیم هوای داخل لیوان را خالی کنیم، آب در داخل لیوان بالا می‌رفت.

فعالیت ۵-۲۰

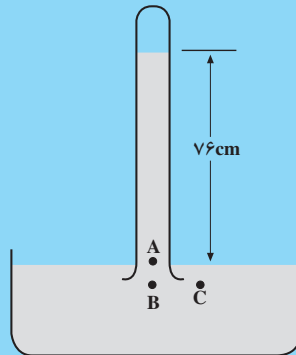
هنگامی که با نی نوشابه می‌نوشیم، چرا نوشابه از نی بالا می‌آید؟

فعالیت ۵-۲۱

آزمایش (۵-۴) را با یک لیوان پلاستیکی انجام دهید. اگر در حالت (ب) ته لیوان را سوراخ کنید چه اتفاقی می‌افتد؟ مشاهده خود را توجیه کنید.

آزمایش ۵-۵

وسایل لازم: یک لوله آزمایش بلند (در حدود یک متر)، یک ظرف حاوی جیوه. لوله را پر از جیوه کنید و در حالی که سر آن را با انگشت مسدود کرده‌اید، لوله را وارونه کنید و درون ظرف حاوی جیوه فرو برید و انگشت خود را از آن دور کنید. مشاهدات خود را به کلاس گزارش دهید. (چون جیوه سمی است و ممکن است جذب پوست شود، آزمایش را با یک دستکش پلاستیکی انجام دهید.)



شکل ۵-۱۳

در این آزمایش نیز جیوه درون لوله آزمایش وارونه باقی می ماند. ولی برخلاف آزمایش (۴-۵) که در آن آب تمام لیوان وارونه را پر می کرد، در این جا قسمتی از بالای لوله وارونه خالی می ماند. چون در حین آزمایش مانع وارد شدن هوا به داخل لوله آزمایش شده ایم، در این قسمت خلأ خواهیم داشت. اگر این آزمایش در سطح دریای آزاد انجام شود، ارتفاع ستون جیوه ۷۶ سانتی متر خواهد شد. اگر آزمایش در محلی که بالاتر از سطح دریای آزاد قرار دارد انجام شود، ارتفاع ستون جیوه کمتر خواهد شد.

نتیجه این آزمایش به سطح مقطع لوله آزمایش بستگی ندارد. یعنی اگر سطح مقطع لوله را تغییر دهیم (مثلاً اندازه آن را دو برابر کنیم) ارتفاع ستون جیوه تغییر نخواهد کرد. (چرا؟) اکنون می توانید فشار هوا را در سطح دریای آزاد تعیین کنید. در این محل، همان طور که در آزمایش (۵-۵) دیدیم، ارتفاع ستون جیوه داخل لوله وارونه در شکل (۵-۱۳) برابر ۷۶ سانتی متر است. فشاری که ستون جیوه در سطح A ایجاد می کند برابر با فشار هوا در روی سطح جیوه در داخل ظرف است. زیرا، در غیر این صورت فشار در نقطه های هم عمق B و C در این شکل متفاوت خواهد بود و مایع بین این دو نقطه جریان خواهد یافت و چون این امر اتفاق نمی افتد باید فشار در سطح A و سطح جیوه در داخل ظرف برابر باشند. فشاری که ستون جیوه در سطح A ایجاد می کند، با استفاده از رابطه (۵-۳) و جدول (۵-۱) برابر است با:

$$P = \rho gh = 13600 \times 9.81 \times 0.76 = 101325 \text{ Pa}$$

این فشار یک اتمسفر (atm) نامیده می شود. در نتیجه، فشار هوا در سطح دریای آزاد برابر با 101325 Pa یا یک اتمسفر است. متداول است که به جای محاسبه ρgh فشار را برحسب ارتفاع ستون جیوه (معمولاً برحسب میلی متر) بیان می کنند. بنابراین، فشار هوا در سطح دریای آزاد برابر با 760 میلی متر جیوه (mmHg) است.

با افزایش ارتفاع از سطح زمین، فشار هوا کاهش می یابد. رابطه فشار هوا با ارتفاع از سطح زمین پیچیده است. ولی می توان نشان داد که تا ارتفاع 2000 متر از سطح زمین فشار هوا تقریباً به ازای هر 10 m یک میلی متر جیوه کاهش می یابد.

مثال ۳-۵

شهر تهران به طور متوسط در ارتفاع 1400 متر از سطح آزاد دریا قرار دارد، فشار هوا در آن چند میلی متر جیوه و چند پاسکال است؟

دیدیم که به ازای هر 10 m یک میلی‌متر جیوه از فشار هوا کم می‌شود، در نتیجه، فشار هوا در تهران 14° میلی‌متر جیوه از فشار هوا در سطح آزاد دریا کمتر است. یعنی $760 - 140 = 620\text{ mmHg}$ است.

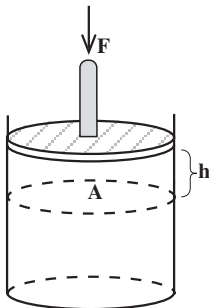
$$\text{فشار هوا در تهران} = 0.620 \times 13600 \times 9/8 = 82633\text{ Pa}$$

فعالیت ۵ - ۲۲

آیا آزمایش (۵-۵) را می‌توان با آب انجام داد و فشار هوا را تعیین کرد؟

۵-۱- محاسبه فشار در مایع‌ها با در نظر گرفتن فشار هوا

در بخش (۵-۸) فشار ناشی از مایع را در عمق h محاسبه کردیم. در این بخش فشار مایع را هنگامی که یک نیروی خارجی اضافی، مثلاً نیروی ناشی از فشار هوا، به سطح مایع وارد می‌شود محاسبه می‌کنیم. برای این کار پیستونی را مطابق شکل (۵-۱۴) بر روی مایع قرار می‌دهیم فرض کنید نیروی F به پیستون وارد می‌شود.



شکل ۵-۱۴

در این حالت، نیروی وارد بر سطح مایع در این عمق برابر است با وزن مایع در بالای این سطح (ρghA) به علاوه نیروی F . در نتیجه، فشار در این عمق برابر است با:

$$P = \frac{\rho ghA + F}{A}$$

$$P = \rho gh + \frac{F}{A} \quad (۵-۴)$$

یعنی، با اعمال نیروی F ، فشار در تمام نقاط مایع به اندازه $\frac{F}{A}$ افزایش می‌یابد.

مثال ۵-۴

فرض کنید که در مثال (۵-۲) یک پیستون با جرم ناچیز بر روی آب قرار دهیم و یک وزنه 20° کیلوگرمی بر روی آن بگذاریم. فشار مایع (ناشی از وزنه و وزن مایع)

در ته ظرف چه قدر است؟ فرض کنید که سطح مقطع پیستون 200 cm^2 است.
 حل: با استفاده از رابطه (۴-۵) داریم:

$$P = \rho gh + \frac{F}{A}$$

$$= 1960 + \frac{200 \times 9 / 8}{200 \times 10^{-4}} = 99960 \text{ Pa}$$

مشاهده می شود که در این مثال عمده فشار از وزنه 200 کیلوگرمی حاصل شده است.

اگر در شکل (۱۱-۵) در بالای مایع هوا وجود داشته باشد، به سطح آزاد مایع نیرو وارد می کند و در نتیجه فشار حاصل از آن، که همان فشار هواست، را نیز باید در رابطه (۳-۵) منظور کنیم. بنابراین، با استفاده از رابطه (۴-۵) داریم

$$P = P_0 + \rho gh \quad (5-5)$$

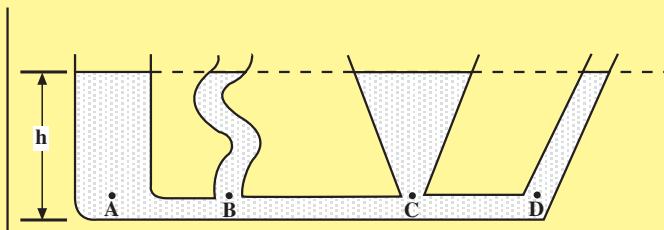
این فشار، فشار کل و یا فشار مطلق در عمق h از سطح مایع نامیده می شود. از این به بعد هر جا که در مورد فشار مایع یا گاز صحبت می شود، منظور فشار کل است.

تمرین ۵-۱

- الف - فشار ناشی از آب در عمق ۴ متری یک استخر چه قدر است؟
 ب - فشار کل در این عمق چه قدر است؟

مثال ۵-۵

همان طور که در شکل (۱۵-۵) نشان داده شده است، ظرف های مختلف به یکدیگر متصل شده اند. در این ظرف مایع می ریزیم. سطح آزاد مایع در تمام ظرف ها در یک



شکل ۱۵-۵

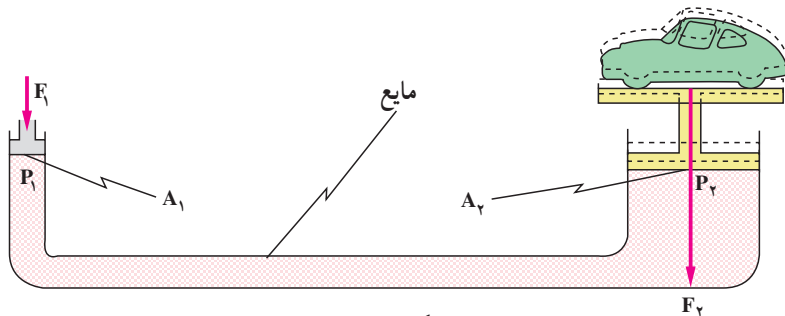
ارتفاع قرار می‌گیرند. با توجه به رابطه (۵-۵) علت این امر را توضیح دهید.
حل: اگر سطح آزاد مایع در این ظرف‌ها در یک ارتفاع نباشند، بر طبق رابطه (۵-۵) باید فشار مایع در نقاط A, B, C و D متفاوت باشد و این امر باعث می‌شود که مایع جریان یابد. چون این امر اتفاق نمی‌افتد باید سطح‌های آزاد هم ارتفاع باشند.

ملاحظه می‌شود که در رابطه (۴-۵) فشار مایع در تمام نقاط به اندازه $\frac{F}{A}$ افزایش یافته است. به همین ترتیب در رابطه (۵-۵) فشار تمام نقاط مایع به اندازه فشار هوا افزایش یافته است. این نتیجه‌ها نمونه‌هایی از کاربرد اصل پاسکال است. بر طبق این اصل فشار وارد بر مایع محصور بدون کاهش به تمام قسمت‌های مایع و دیواره‌های ظرف منتقل می‌شود. یکی از کاربردهای مهم اصل پاسکال، بالابر هیدرولیکی است.

فناوری و کاربرد



بالابر هیدرولیکی: از این بالابر برای بالا بردن اجسام سنگین، مثلاً اتومبیل (برای پنچرگیری و یا تعویض چرخ‌ها)، استفاده می‌شود.
 طرح ساده این بالابر در شکل (۱۶-۵) نشان داده شده است.



شکل ۱۶-۵

هنگامی که نیروی F_2 برابر با وزن اتومبیل به پیستون سمت راست وارد می‌شود، بنا بر اصل پاسکال فشار حاصل از آن که برابر $\frac{F_2}{A_2}$ است به تمام نقاط مایع، از جمله به سطح زیر پیستون سمت چپ، منتقل می‌شود. برای خنثی کردن نیروی حاصل از آن

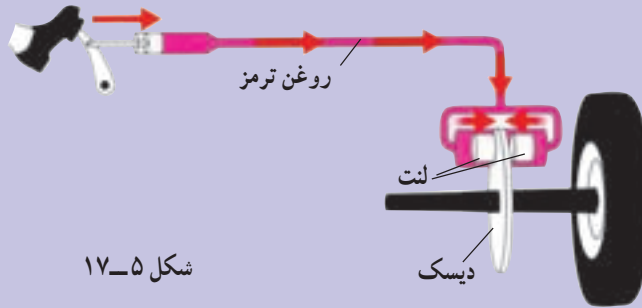
باید نیروی F_1 به این پیستون وارد شود. فشار حاصل از این دو نیرو باید با یکدیگر برابر باشند. در نتیجه:

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

بر طبق این رابطه اگر A_2 خیلی بزرگ‌تر از A_1 باشد، F_2 نیز باید بسیار بزرگ‌تر از F_1 باشد. در نتیجه، می‌توان اجسام سنگین را با نیروی کمی بالا برد.

تمرین ۵-۱۰

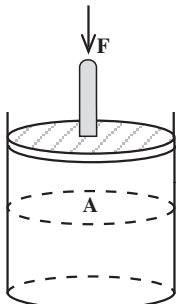
در شکل زیر دستگاه ترمز اتومبیل نشان داده شده است. توضیح دهید که این دستگاه چگونه عمل می‌کند.



شکل ۵-۱۷

۵-۱۱- فشار در گازها

در حالی که با انگشت خود دهانه یک سرنگ را بسته‌اید، با حرکت پیستون آن هوای داخل سرنگ را فشرده کنید. چه حس می‌کنید؟ در هنگام باد کردن لاستیک دوچرخه، چرا رفته‌رفته انجام این کار مشکل‌تر می‌شود؟ چرا وقتی بیج باد دوچرخه را شل می‌کنیم، باد آن خالی می‌شود؟



شکل ۵-۱۸

مثال‌های بالا و مثال‌های مشابه نشان می‌دهند که هوای داخل سرنگ و لاستیک‌ها دارای فشارند. در این حالت‌ها فشار را چگونه می‌توان محاسبه کرد؟ برای انجام این کار گازی را در نظر می‌گیریم که مطابق شکل (۵-۱۸) داخل یک محفظه قرار دارد و از طریق پیستون نیروی F به آن وارد می‌شود.

فشاری که این نیرو در زیر بیستون ایجاد می‌کند، برابر با $\frac{F}{A}$ است. بر طبق اصل پاسکال این فشار بدون کاهش به تمام قسمت‌های گاز و دیواره‌های ظرف منتقل می‌شود. بنابراین، با توجه به این که فشار ناشی از وزن گاز ناچیز است، فشار گاز در داخل ظرف با رابطه زیر داده می‌شود:

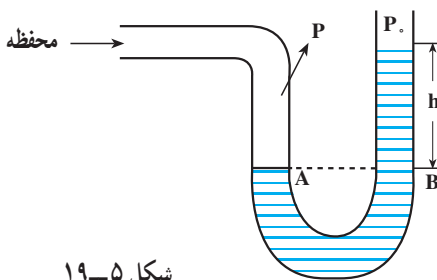
$$P = \frac{F}{A} \quad (۶-۵)$$

آیا اکنون می‌توانید به پرسش‌هایی که در ابتدای این بخش ذکر شد پاسخ دهید؟

فعالیت ۵-۲۳

با دست خود خروجی یک تلمبه برای بادکردن چرخ دوچرخه را مسدود و هوای داخل آن را فشرده کنید. فشار گاز داخل تلمبه را برآورد کنید.

برای اندازه‌گیری فشار گاز از فشارسنج استفاده می‌شود.



شکل ۵-۱۹

فشارسنج: برای اندازه‌گیری فشار داخل

یک محفظه آن را به یک لوله U شکل مطابق شکل (۵-۱۹) وصل می‌کنیم.

لوله حاوی یک مایع (معمولاً جیوه) با چگالی ρ است. اختلاف فشار هوا و فشار گاز داخل محفظه باعث می‌شود که مایع از دو طرف لوله U شکل در یک سطح قرار نگیرند. از

اختلاف سطح آنها می‌توان این اختلاف فشار را به دست آورد. فرض کنید P_0 فشار هوا و P فشار گاز داخل محفظه است. چون فشار مایع در نقاط A و B یکسان است (چرا؟)، اختلاف فشار P_0 و P برابر با فشار حاصل از ارتفاع h از مایع است، یعنی:

$$P - P_0 = \rho gh \quad (۷-۵)$$

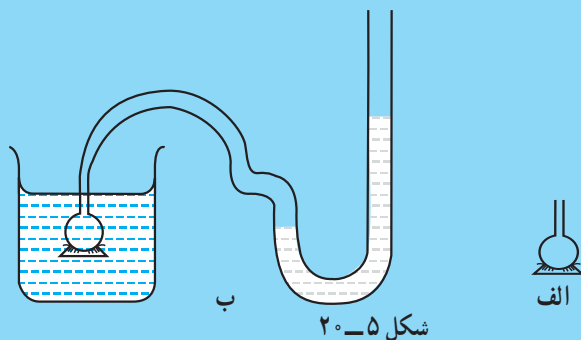
با اندازه‌گیری h می‌توان مقدار ρgh را محاسبه کرد. این کمیت، که برابر اختلاف فشار گاز درون محفظه و فشار هوا است، فشار پیمانه‌ای نامیده می‌شود. در اندازه‌گیری فشار خون و یا فشار هوای داخل لاستیک‌های اتومبیل فشار پیمانه‌ای اندازه‌گیری می‌شود. (به‌عنوان مثال، فشار پیمانه‌ای هوای داخل تایر در لاستیک اتومبیل در حدود 220 kPa است). برای به دست آوردن فشار کل باید فشار پیمانه‌ای را با فشار هوا جمع کرد. (یعنی فشار کل هوای داخل تایر در حدود 320 kPa است.)

فعالیت ۵-۲۴

با استفاده از یک سرنگ و یک لوله باریک قابل خم کردن مانند نی نوشابه یا شیلنگ کولر و... یک فشارسنج بسازید. فشار گاز داخل سرنگ را با استفاده از آبی که داخل لوله می‌ریزید اندازه‌گیری کنید.

آزمایش ۵-۶

وسایل لازم: فشارسنج، قیف، پوسته قابل ارتجاع
به انتهای یک قیف یک پوسته قابل ارتجاع (مثلاً بادکنک) را مطابق شکل (۵-۲۰-ب) وصل کنید و انتهای دیگر قیف را مطابق شکل (۵-۲۰-الف) به فشارسنج متصل کنید.



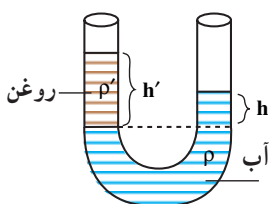
شکل ۵-۲۰

با وارد کردن قیف در داخل مایع می‌توانید فشار مایع را اندازه‌گیری کنید. با انجام این آزمایش: ۱- چگونگی بستگی فشار به عمق ۲- یکسان بودن فشار در نقاط هم‌عمق را تحقیق کنید. هم‌چنین، تحقیق کنید که آیا فشار در هر نقطه در مایع به جهت‌گیری پوسته در آن نقطه بستگی دارد یا خیر؟

از این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که اندازه نیروی وارد بر پوسته به جهت‌گیری پوسته بستگی ندارد و فقط به فشار در مکانی که پوسته در آن قرار دارد وابسته است. یعنی، در یک عمق معین اندازه نیروی وارد بر پوسته در حالتی که در وضعیت افقی قرار دارد و در حالتی که به صورت قائم قرار گرفته است یکسان است.

تمرین‌های فصل پنجم

- ۱- در هنگام پاک کردن تخته سیاه ذرات گچ به طور نامنظم به اطراف حرکت می‌کنند. حرکت نامنظم آن‌ها را چگونه می‌توان توجیه کرد؟
- ۲- جرم نفت موجود در یک بشکه پر نفت خانگی را تخمین بزنید.
- ۳- حجم یک گرم طلا چند سانتی متر مکعب است؟
- ۴- تخمین بزنید که هوای داخل کلاس شما چند کیلوگرم است. اگر تمام آن را مایع کنیم چه حجمی را اشغال می‌کند؟ (از جدول ۵-۱ استفاده کنید).
- ۵- قطعه‌ای به شما داده شده و ادعا می‌شود که از طلای خالص ساخته شده است. چگونه می‌توانید درستی این ادعا را بررسی کنید؟
- ۶- چرا پونز راحت‌تر از میخ به داخل چوب فرو می‌رود؟
- ۷- فشاری را که در هنگام ایستادن در روی زمین ایجاد می‌کنید برآورد کنید.
- ۸- در چه عمقی از دریا فشار ده برابر فشار جو در سطح دریا است (چگالی آب دریا را 1150 kg/m^3 فرض کنید)؟



شکل ۲۱-۵

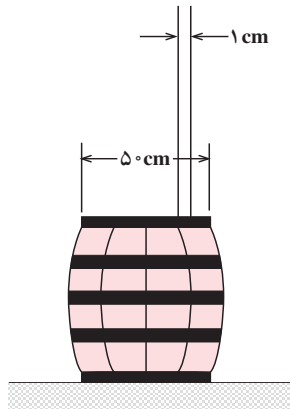
- ۹- در یک ظرف لوله U شکل حاوی آب مطابق شکل مقابل مقداری روغن ریخته‌ایم.

الف - نشان دهید :

$$\frac{h'}{h} = \frac{\rho}{\rho'} \quad (7-5)$$

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

- ۱۰- آزمایش شکل (۲۲-۵) 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 دررفت. اگر قطر درپوش 5 cm باشد، در این لحظه چه نیرویی از طرف آب به درپوش وارد شده است؟ قطر داخلی لوله 1 cm است.



شکل ۵-۲۲

۱۱- فشار هوا را در محلی که زندگی می‌کنید برآورد کنید.

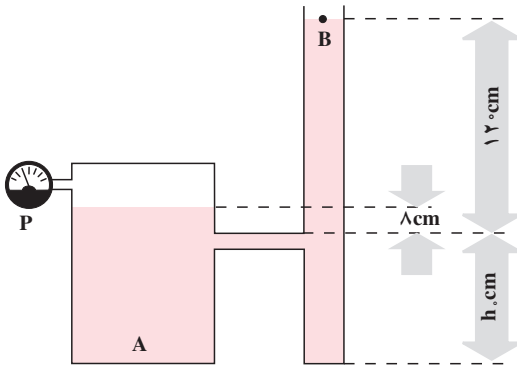
۱۲- اگر در مخزن شکل (۵-۲۳) آب بریزیم، وقتی سطح مایع از h بالاتر می‌رود، هوا در داخل ظرف A به دام می‌افتد. اگر سطح مایع در ظرف A، 8 cm بالاتر از h و در B، 12 cm بالاتر از h باشد؛

الف - فشارسنج چه عددی را نشان می‌دهد؟ (این فشارسنج فشار پیمانه‌ای را اندازه‌گیری

می‌کند.)

ب - فشار کل گاز محبوس

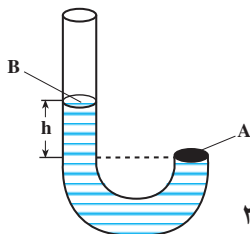
چه قدر است؟



شکل ۵-۲۳

۱۳- در شکل (۵-۲۴) 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.



شکل ۵-۲۴

الف - فشار مایع در A چقدر است؟

ب - اگر شعاع لوله r باشد، چه نیرویی از طرف مایع به

درپوش A وارد می‌شود؟