

آیا جیوه همواره بر روی سطح جامد به شکل قطره‌های کروی درمی‌آید؟

پاسخ: خیر - این موضوع بستگی به این دارد که نیروی چسبندگی مولکول‌های جیوه بیشتر است یا نیروی چسبندگی سطحی که بین مولکول‌های جیوه و مولکول‌های سطحی که جیوه روی آن ریخته می‌شود. آزمایش نشان می‌دهد هرگاه ورقه‌ای از جنس روی را با دستمالی آغشته به اسید سولفوریک رقیق پاک کنیم و جیوه بر روی آن بریزیم، قطره‌ی جیوه روی ورقه‌ی روی پخش می‌شود.

فعالیت ۱۳-۵

یک قطره آب را بر روی یک طرف سینی‌ای تمیز و خشک قرار دهید. یکبار بر سطح سینه را با زدن حباب‌کننده و سپس قطره را روی سطح آن قرار دهید. آزمایش بالا را با یک قطره جیوه و روی یک طرف سینی تمیز تکرار کنید. مشاهده‌های خود را به کلاس گزارش کنید و توجه‌های خود را به بحث بگذارید.

در آزمایش این قطره آب حلقه‌ای شکل شده است. اما بر روی سطح جیوه چنین نمی‌شود. در این صورت می‌تواند آب سطح سینه را تمیز کند. در آزمایش دوم قطره آب حلقه‌ای شکل شده است. اما به صورت کروی درمی‌آید. قطره جیوه بر سطح شکل شده است. اما بر روی طرف سینی به صورت کروی درمی‌آید.

برای توجه این مشاهده‌ها می‌توان گفت بین مولکول‌های آب و سینه تمیزی وجود دارد که نیروی چسبندگی سطحی باشد. در فعالیت اول نیروی چسبندگی سطحی بین آب و سینی چسبندگی است و آب بر روی سطح سینه چسبیده است. در فعالیت دوم، نیروی چسبندگی سطحی کمتر از نیروی چسبندگی است و آب به صورت کروی درمی‌آید.

هدف موبینگی

بزرگ‌ترین اثرهای نیروی چسبندگی سطحی، سوراخگی است که گویا به توصیف آن می‌پردازد.

آزمایش ۱۳-۵

وسایل لازم: یک طرف آب، یک طرف جیوه، توله‌های مومین، قطره‌های سفید و توله‌های مومین را وارد طرف‌های آب و جیوه کنید و مشاهده‌های خود را یادداشت کنید و به کلاس گزارش دهید. مثال‌های توجه‌های خود را در کلاس به بحث بگذارید.

در آزمایش بالا می‌توان مشاهده‌های خود را مشاهده کرد. آب سطحی است و توله مومین دارای فرورفتگی است. آب به توله مومین بالا می‌رود و سطح آن بالاتر از سطح آب طرف قرار می‌گیرد. آب سطح خود بر توله مومین دارای فرورفتگی است.

۵-۶- موبینگی

هدف: آشنایی با یکی دیگر از آثار چسبندگی سطحی به نام

پدیده‌ی موبینگی

راهنمای تدریس: در صورتی که امکانات لازم برای

انجام آزمایش ۳-۵ فراهم شده باشد، انجام این آزمایش توسط گروه‌های دانش‌آموزی می‌تواند شروع خوبی برای درگیر کردن دانش‌آموزان با پدیده‌ی موبینگی باشد. پس از انجام آزمایش و بحث دانش‌آموزان در گروه‌های خود، از نماینده هر گروه بخواهید تا نتیجه مشاهده‌های خود را براساس آنچه تاکنون از مفهوم چسبندگی و چسبندگی سطحی فراگرفته‌اند شرح دهند. پس از ارائه دیدگاه‌های دانش‌آموزان، با توجه به آنچه در کتاب درسی آمده است به جمع‌بندی موضوع بپردازید.

در ظرفی محتوی آب قطعه‌ای گچ تحریر بیندازید. مشاهده خواهید کرد که حباب‌هایی در تمام جهت‌ها از گچ بیرون می‌آید. از دانش‌آموزان بخواهید پس از بحث در گروه‌های خود دلایل خود را برای آنچه مشاهده می‌کنند به کلاس ارائه کنند. این فعالیت ساده به زیبایی پدیده‌ی موبینگی را نشان می‌دهد. آب بر اثر پدیده‌ی موبینگی، که ناشی از چسبندگی سطحی بین مولکول‌های آب و گچ است، به داخل گچ نفوذ می‌کند و اندک هوای موجود درون گچ را به صورت حباب‌های کوچک هوا از اطراف قطعه گچ خارج می‌کند. این فعالیت هم‌چنین می‌تواند اهمیت رنگ کردن دیوارهای گچی را برای جلوگیری از نفوذ آب به درون آن‌ها برای دانش‌آموزان تبیین کند. این فعالیت را به نحو دیگری نیز می‌توانید انجام دهید. قطعه گچی را بشکینید و با زبان خود آن را لمس کنید. خواهید دید که زبان شما به قطعه گچ می‌چسبد. این فعالیت ساده نیز می‌تواند شروع مناسبی برای پدیده‌ی موبینگی و یا ادامه‌ی آموزش این پدیده باشد.

فعالیت پیشنهادی

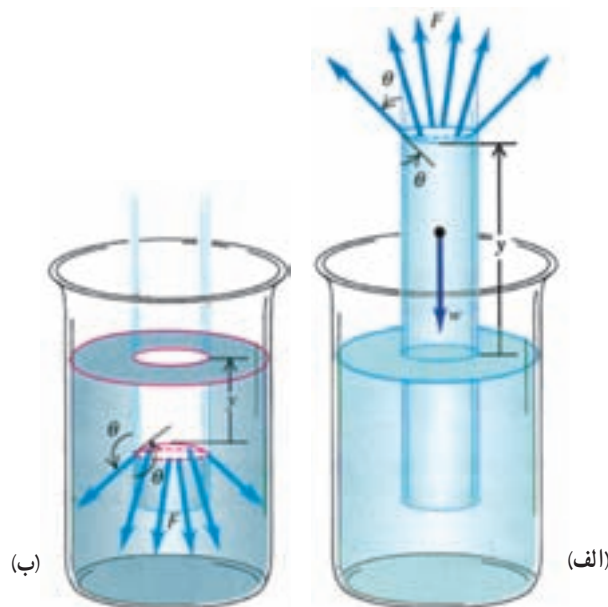
پس از حمام کردن، بدن و موی سر خود را با حوله خشک می‌کنیم. توضیح دهید چرا از حوله استفاده می‌کنیم؟
پاسخ: به پدیده‌ی مویینگی اشاره شود.

دانستنی



مویینگی و زاویه‌ی تماس

همان‌طور که در پدیده‌ی مویینگی مشاهده شد سطح جداکننده‌ی مایع در مجاورت جسم جامدی نظیر دیواره‌ی ظرف یا لوله به پایین و یا بالا خمیده می‌شود. زاویه‌ی برخورد این سطح با دیواره‌ی جامد را زاویه‌ی تماس^۱ می‌نامند. در شکل ۵-۱۴ الف و ب به ترتیب زاویه‌ی تماس برای دو ظرف شیشه‌ای محتوی آب و جیوه نشان داده شده است. در شکل الف زاویه‌ی تماس θ کم‌تر از 90° است زیرا نیروی چسبندگی بین مولکول‌های آب و شیشه بیش‌تر از نیروی چسبندگی مولکول‌های آب است و به عبارت دیگر آب شیشه را تر می‌کند و سطح جداکننده روبه بالا خمیده می‌شود و $\theta < 90^\circ$ است. در حالی که در شکل ۵-۱۴ ب زاویه‌ی تماس θ بیش‌تر از 90° است. زیرا نیروی چسبندگی مولکول‌های جیوه بیش‌تر از نیروی چسبندگی سطحی مولکول‌های جیوه و شیشه است و به عبارت دیگر جیوه شیشه را تر نمی‌کند و سطح جداکننده روبه پایین خمیده می‌شود و $\theta > 90^\circ$ است. اندازه‌ی زاویه‌ی تماس به ترکیب شیمیایی جامد، مایع، گاز و یا هوای مجاور بستگی دارد. هم‌چنین میزان خلوص و دمای این مواد نیز می‌تواند در اندازه‌ی θ مؤثر باشد.



شکل ۵-۱۴

^۱contact angle

فشار ناشی از سطح خمیده‌ی مایع: سطح خمیده (کاو یا کوژ) فشار اضافی بر مایع وارد می‌کند. برای محاسبه‌ی این فشار خود را محدود به موردی می‌کنیم که مایع در لوله‌ای به شعاع داخلی r قرار دارد. سطح خمیده‌ی مایع کلاهیکی کروی تشکیل می‌دهد که سطح آن با سطح داخلی لوله زاویه‌ی تماس θ می‌سازد. جزئی از مرز تماس مایع با جدار لوله‌ی جامد، به طول ΔL ، تحت تأثیر نیروی کشش سطحی $F = \sigma \Delta L$ است، که در آن σ ضریب ثابت کشش سطحی است.

این نیرو در امتداد مماس بر سطح آبگون قرار دارد و با تجزیه‌ی آن به دو مؤلفه داریم: ΔF_\perp عمود بر جدار و دیگری $\Delta F_\parallel = \Delta F \cos \theta = -\sigma \Delta L \cos \theta$ موازی با جدار لوله.

مؤلفه‌ی ΔF_\perp موجب فشاری می‌شود که نسبت به فشار جو اضافی است.

برای به‌دست آوردن این فشار اضافی مؤلفه نیروی ΔF_\perp را بر مساحت مقطع $A = \pi r^2$ ، تقسیم می‌کنیم. بنابراین داریم:

$$P = \frac{\Delta F_\perp}{A} = \frac{-2\sigma \times 2\pi r \cos \theta}{\pi r^2} = \frac{-2\sigma \cos \theta}{r}$$

همان‌طور که دیده می‌شود اگر $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ باشد داریم $\cos \theta > 0$ و فشار اضافی منفی است و اگر $\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi$ باشد، داریم $\cos \theta < 0$ و فشار اضافی مثبت خواهد بود.

ارتفاع بالا آمدگی (یا پایین‌رفتنگی) مایع در لوله‌ی موئین از این واقعیت تعیین کرد که مایع درون لوله در صورتی ترازمند خواهد بود که مجموع فشار هیدرواستاتیک ρgh و فشار زیر سطح خمیده $P = -2\sigma \cos \theta / r$ ، برابر صفر باشد. بنابراین:

$$\rho gh - \frac{2\sigma \cos \theta}{r} = 0 \Rightarrow h = \frac{2\sigma \cos \theta}{r\rho g}$$

همان‌طور که دیده می‌شود برای مایع خیس‌کننده زاویه‌ی تماس حاده ($\cos \theta > 0$) است و بالا آمدگی مثبت (شکل ۵-۱۴ الف) و برای مایعی که خیس نمی‌کند که زاویه‌ی تماس منفرجه ($\cos \theta < 0$) است بالا آمدگی منفی است. سطح مایعی که خیس نمی‌کند در لوله پایین‌تر از سطح آن در ظرف خواهد بود (شکل ۵-۱۴ ب).

فعالیت ۵-۱۳

برای انجام این فعالیت می‌توانید لوله‌ی موئین را در ظرفی محتوی روغن فروبرده و خارج کنید. در این صورت هم سطح درونی و هم سطح بیرونی لوله چرب می‌شود. هرگاه این لوله را درون ظرفی محتوی آب فروبرید، سطح آب در آن دارای برآمدگی خواهد شد و هم‌چنین سطح آن نسبت به سطح آب درون ظرف پایین‌تر می‌رود.

فعالیت ۵-۱۴

این فعالیت را دانش‌آموزان باید پس از تحقیق پاسخ دهند. دانش‌آموزان ممکن است پس از تحقیق به موارد زیر اشاره کنند:

استفاده از مخلوط «کاه + گل» برای پوشش بیرونی دیوارها و بام خانه.

فعالیت ۵-۱۵

در مواد بسیاری جذب یا نفوذ آب به دلیل موینگی است. موادی از قبیل خاک - گچ - قند - پارچه‌های نخی و کتان - کاغذ.

از طرف سطح داخلی توله موین نیروی Δ مطابق شکل به جوی‌های که با توله در تماس است وارد می‌شود. این توله باعث باین رفتن جوی در توله موین می‌شود.

فعالیت ۵-۱۳
از دانش‌آموزان بخواهید که در آن سطح آب در توله موین دارای رنگی باشد و سطح آن نسبت به سطح آب در طرف باین رود.

فناوری و کاربرد

مفاهیم ساختن از فیل خاک و آجر و سیمان به سبب موینگی آب را به درون خود می‌کشند. برای جلوگیری از این عمل، از غیر که آب در آن نفوذ نمی‌کند، استفاده می‌کنند و قبل از ساختن ساختمان زمین را آغوش می‌کنند تا از نفوذ رطوبت به داخل ساختمان جلوگیری شود.

فعالیت ۵-۱۴
در گذشته در ایران به جای فراموش کردن چگونه از نفوذ آب باران به داخل ساختمان جلوگیری می‌کردند؟

فعالیت ۵-۱۵
در گیاهان آب و مواد غذایی لازم دیگر و سانس موینگی از آن‌ها می‌جوی بالا می‌رود. 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.

تذکره
اگر با کشش روی برف بایستیم، فشاری در آن فرو می‌رویم. وقتی اگر چوب نسکی به پا داشته باشیم، کمتر در برف فرو می‌رویم علت چیست؟ در این مثال، وزن تغییر نکرده است، بلکه سطح

۱۲۲

۵-۷- فشار

مفهوم فشار آشنا شده‌اند. به همین جهت برای شروع آموزش این بخش بهتر است با فعالیتی ساده ذهن دانش‌آموزان را دوباره با این مفهوم درگیر کنیم.

هدف: آشنایی با تعریف فشار به طور عام
راهنمای تدریس: دانش‌آموزان در دوره‌ی راهنمایی با

پونزی را مطابق شکل ۵-۱۵ بین دو انگشت شست و نشانه خود بگیرید. از دانش‌آموزان بپرسید در صورتی که پونز را بین دو انگشت اندکی بفشاریم چه احساسی خواهیم داشت. دانش‌آموزان با توجه به درکی (شهودی و تجربی) که از این موضوع دارند خواهند گفت که در محل تماس شست با نوک پونز احساس درد نسبتاً شدیدی خواهیم داشت. همین‌جا فرصت مناسبی است که از آن‌ها بپرسید با وجود این که نیروهای وارد از طرف انگشتان به پونز برابر ولی در جهت مخالف یکدیگرند چرا فقط در محل تماس نوک پونز با انگشت شست احساس درد می‌کنیم؟



شکل ۵-۱۵

نشان ما با برف افزایش یافته است. در حالتی که جوب آبگرم به یا داریم، نیروی وارد بر سطح در مقایسه با حالتی که با کفش در برف ایستادیم در سطح بیشتری توزیع شده است و در نتیجه کمتر در برف فرو می‌رویم.

فعالیت ۵-۱۶

در شکل ۱۶-۵ الف) القما آجری به ابعاد $20 \times 10 \times 10$ سانتی‌متر نشان داده شده است. مساحت وجه A برابر $20 \times 10 = 200$ و مساحت وجه B برابر $10 \times 10 = 100$ است. سطح فشاری ماسه‌زرد را صاف کنید و آجر را از وجه B روی آن قرار دهید. شکل ۱۶-۵ ب) آجر را مجدداً در همان آجر قرار دهید و آجر را از روی آن بگذارید. سپس آجر را از روی A روی ماسه قرار دهید و آجر یکسان دیگری را روی آن بگذارید. شکل ۱۶-۵ ج) آجر را مجدداً در همان آجر قرار دهید و آجر را از روی آن بگذارید. مشاهده خود را به کلاس گزارش دهید و توجه آن را به بحث بگذارید.



شکل ۱۶-۵

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

$$P = \frac{F}{A} \quad (16-2)$$

واحد فشار در SI، N/m^2 است که با نمک (Pa) نامیده می‌شود. در این رابطه اگر F و A را دورانی کنید، فشار P غیر متغیر نمی‌گردد.

فعالیت ۵-۱۷

چرا پاشنه نوک تیز به کف چوبی اتاق آسیب می‌رساند؟

پس از شنیدن پاسخ دانش‌آموزان به پرسش بالا و جمع‌بندی نظرات آن‌ها، بین سه مفهوم نیرو، سطح مقطع و همچنین میزان فشردن پونز بین انگشتان دست ارتباط برقرار کنید و مفهوم فشار را به صورت زیر برای آن‌ها تعریف کنید.

$$\text{اندازه‌ی نیروی عمود بر سطح} = \frac{\text{فشار}}{\text{سطح}}$$

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

یابه‌طور نمادین

پس از آن یکای فشار در SI، N/m^2 که پاسکال Pa نامیده می‌شود، را معرفی کنید.

ممکن است دانش‌آموزان بپرسند چرا فشار به صورت اندازه‌ی نیروی عمود بر سطح تعریف می‌شود؟ باید گفته شود که در تعریف فشار با نیروهایی می‌خواهیم سروکار داشته باشیم که موجب فشردن شدن لایه‌های جسم بر روی یکدیگر شود.

فعالیت ۵-۱۶

هدف: زمینه‌سازی برای درک و معرفی مفهوم فشار

در صورتی که نخواهید مطابق فعالیت پیشنهادی فرایند تدریس را سامان دهید می‌توانید ابتدا از دانش‌آموزان بخواهید این فعالیت را انجام دهند و سپس به معرفی مفهوم و یکای فشار بپردازید. و در صورتی که مطابق فعالیت پیشنهادی فرایند تدریس را شروع کردید می‌توانید فعالیت ۵-۱۶ را برای درک عمیق‌تر دانش‌آموزان از این مفهوم در ادامه‌ی تدریس بررسی کنید. بهتر است فرصت کافی در اختیار گروه‌های دانش‌آموزی قرار دهید تا پس از بررسی فعالیت ۵-۱۶ گزارش یافته‌های خود را به کلاس درس ارائه دهند.

فعالیت ۵-۱۷

هدف: استفاده از مفهوم فشار برای توضیح پدیده‌ی موردنظر

این فعالیت در واقع پرسشی است تا دانش‌آموزان بتوانند بین اجزای تعریف فشار، یعنی نیرو و سطح ارتباط برقرار کنند. و با توجه به این که سطح پاشنه‌های نوک تیز کم است فشار زیادی به کف چوبی اتاق وارد شده و به آن آسیب می‌رساند.



تمرین پیشنهادی

مساحت سرپهن پونزی 1 cm^2 و مساحت نوک تیز آن 1 cm^2 است. هرگاه این پونز را توسط انگشت شست خود و با نیروی 20 N در تخته‌ای فروکنیم، الف) انگشت و پونز چه فشاری برهم وارد می‌کنند؟ ب) پونز و چوب چه فشاری برهم وارد می‌کنند؟

هدف: آشنایی با یکاهای مختلف فشار

همان‌طور که اشاره شد یکای فشار در SI به صورت N/m^2 تعریف می‌شود که به احترام بلز پاسکال^۱ فیزیکدان و ریاضیدان فرانسوی، پاسکال (Pa) نامیده می‌شود. به غیر از SI، یکاهای متداول دیگری نیز برای فشار، مانند سانتی‌متر جیوه، بار، جو (اتمسفر) و ... وجود دارد که خوب است دانش‌آموزان با آن‌ها آشنا شوند.

$$1 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg} = 760 \text{ mmHg} = 101325 \text{ Pa}$$

هم‌چنین در فناوری خلأ یکای متداول، تور (torr) است که

$$1 \text{ torr} = 133 \text{ Pa}$$

۵-۸ - محاسبه‌ی فشار در مایع‌ها

هدف: آشنایی با نحوه‌ی پیدا کردن فشار ناشی از مایع در

یک عمق معین

راهنمای تدریس: پیش از پیدا کردن رابطه‌ی فشار

مایع در عمق معین بهتر است با مثال‌هایی ذهن دانش‌آموزان را به فشار ناشی از مایع‌ها معطوف کنیم. می‌توانیم ابتدا از خود دانش‌آموزان بخواهیم تا مثال یا تجربه‌ای که در این زمینه دارند بیان کنند. در ادامه می‌توان به مثال‌هایی همچون دردی که شناگر در قسمت‌های عمیق استخر در گوش‌های خود احساس می‌کند و یا پوشش ضخیم و شکل خاص زیردیای‌ها اشاره کنیم.

شکل ۳-۵: محاسبه فشار در مایع‌ها

برای محاسبه فشار در داخل مایع‌ها، مایع را با چگالی ρ در داخل یک ظرف مطلقاً شکل استوانه‌ای در نظر می‌گیریم. وزن مایع 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:

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

وزن آن بخش از مایع برابر با mg است. در نتیجه فشار حاصل از مایع که در بالای A قرار دارد در این عمق برابر است با:

$$F = mg = \rho Ahg$$

مثال ۳-۵

در داخل ظرف شکل ۳-۵ به ارتفاع 20 cm آب ریخته‌ایم. فشار ناشی از مایع در عمق 5 cm محاسبه کنید.

$$P = \rho gh = 1000 \times 9.8 \times 0.05 = 490 \text{ Pa}$$

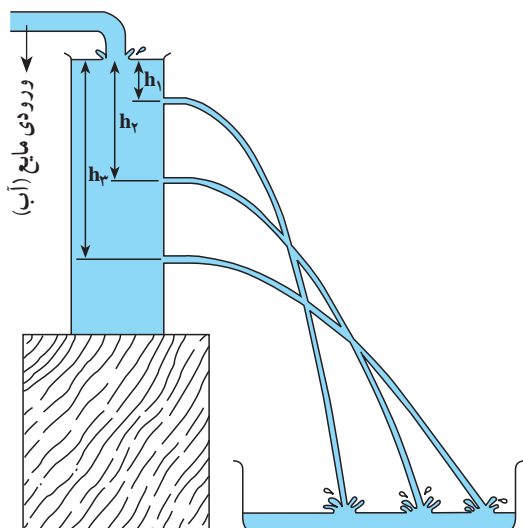
رابطه ۳-۵ نشان می‌دهد که فشار ناشی از مایع دارای قطب به عمق از سطح آزاد مایع بستگی دارد و نقاط هم‌عمق هم‌فشارند. هرچند، هرچه عمق بیشتر شود فشار مایع افزایش می‌یابد. این امر را در هنگام شنا کردن در زیر آب حس می‌کنیم.

فعالیت ۳-۵

یک ظرف حاوی را انتخاب و آن را در عمق‌های مختلف سوراخ کنید. سپس آن را پر از آب کنید. مشاهده‌های خود را توصیف کنید.

رابطه ۳-۵ را می‌توان برای گازها نیز به کار برد. حتی، اگر گاز در داخل محفظه‌ای محبوس باشد، فشار ناشی از وزن گاز از این رابطه بدست می‌آید. ولی، چون چگالی گازها خیلی کم است،

^۱ - Blaise Pascal (1633 - 1662)



شکل ۵-۱۶

هدف: آشنایی با عوامل مؤثر در فشار ناشی از یک مایع و سائیلی مطابق شکل ۵-۱۶ تدارک ببینید. به این منظور می‌توانید از ظرف‌های بزرگ یک‌بار مصرف دوغ یا نوشابه استفاده کنید و در سه قسمت آن سوراخ‌های ریزی ایجاد کنید و سر آن را درست در زیر شیر آبی قرار دهید. ابتدا جلوی سوراخ‌ها را با انگشت دست خود بگیرید تا ظرف از آب پر شود. پس از آن جریان آب شیر را به گونه‌ای تنظیم کنید تا همزمان با بیرون ریختن آب از روزنه‌ها، سطح آب درون ظرف ثابت بماند.

این فعالیت ساده نشان می‌دهد که فشار ناشی از مایع به عمق مایع بستگی دارد و هرچه عمق بیشتر شود فشار نیز افزایش می‌یابد.

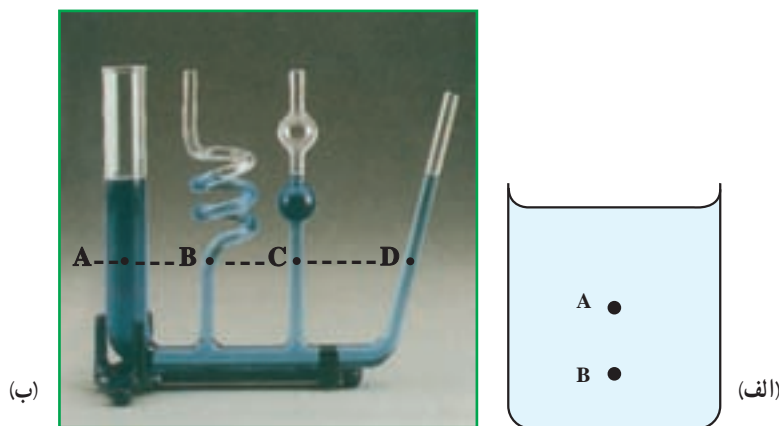
در صورتی که مایع دیگری به جز آب در اختیار داشته باشید می‌توان وابستگی فشار به چگالی را نیز به کمک همین آزمایش نشان داد. پس از انجام فعالیت پیشنهادی فرصت مناسبی است تا مطابق آنچه در کتاب درسی آمده است فشار ناشی از مایع در عمق معین را به دست آورید.

پس از به دست آوردن رابطه‌ی فشار ناشی از مایع‌ها، $P = \rho gh$ ، از دانش‌آموزان بخواهید بر روی اجزای این رابطه تعمق کنند. انتظار می‌رود دانش‌آموزان به موارد زیر اشاره کنند.

۱- فشار ناشی از مایع در حال سکون تنها به فاصله از سطح آزاد مایع بستگی دارد و به شکل ظرف بستگی ندارد.

۲- هرچه فاصله (عمق) از سطح آزاد مایع بیشتر شود، فشار آن بیشتر می‌شود. ($P_B > P_A$)

۳- فشار در نقاط هم‌عمق از سطح آزاد مایع یکسان است. (شکل ۵-۱۷ ب، $P_A = P_B = P_C = P_D$)



شکل ۵-۱۷

فعالیت ۵-۱۸

هدف: کاربرد رابطه‌ی $P = \rho gh$

در این فعالیت دانش‌آموزان خواهند دید هرچه سوراخ در عمق بیشتر باشد به‌وجود آمده باشد آب با سرعت بیشتری از آن خارج می‌شود (شکل ۵-۱۶). برای توجیه مشاهده به رابطه‌ی $P = \rho gh$ توجه شود.

تمرین پیشنهادی



الف) در عمق‌های 10° و 20° متری از سطح دریا، فشار ناشی از آب را حساب کنید.
 ب) در چه عمقی فشار ناشی از آب 115 kPa است؟
 (چگالی متوسط آب دریا را 1150 kg/m^3 بگیرید.)

پاسخ:

الف) $10^\circ \text{ Pa} \times 1/15$ ، $20^\circ \text{ Pa} \times 2/30$

ب) در عمق 100 متری

دانستنی

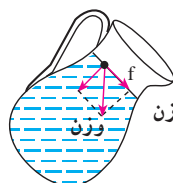


نیروی وارد بر هر سطح در داخل مایع بر آن سطح عمود است.

در شکل ۵-۱۸ یک پارچ آب نشان داده شده است. آب در داخل پارچ ساکن است و نیروی وزن ذرات آب در راستای قائم است و در نتیجه بر سطح آب عمود است. حال اگر پارچ را خم کنیم، نیروی وزن هر ذره مؤلفه‌ای در امتداد سطح آزاد مایع پیدا می‌کنند؛ (نیروی مماسی) (شکل ۵-۱۹) و مایع جاری می‌شود و ذرات مایع آن قدر حرکت می‌کنند تا این که دوباره نیروی وزن مانند شکل ۵-۲۰، در راستای عمود بر سطح آزاد آب قرار گیرد. اگر آب پارچ منجمد شده باشد نیروهای مماسی در شکل ۵-۱۹ نمی‌توانند ذرات یخ را جابه‌جا کنند و در خم کردن پارچ وضعیت سطح یخ در داخل پارچ تغییر نمی‌کند. لازم به تذکر است که در خم کردن پارچ وضعیت شکل ۵-۲۰ به سرعت برقرار می‌شود و تغییر وضعیت سطح آب از شکل ۵-۱۸ تا شکل ۵-۲۰ را نمی‌توان به‌خوبی مشاهده کرد. اگر به‌جای آب از مایعی مانند عسل که به کندی روان می‌شود استفاده کنیم، این تغییر وضعیت سطح مایع را می‌توانیم بهتر مشاهده کنیم.



شکل ۵-۲۰- وضعیت آب داخل پارچ در حال تعادل

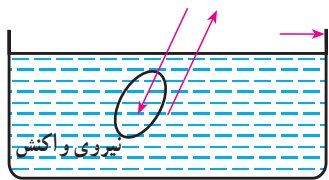


شکل ۵-۱۹- وضعیت آب داخل پارچ بلافاصله بعد از خم کردن آن



شکل ۵-۱۸- وضعیت آب داخل پارچ قبل از خم کردن آن

نیروهای موازی سطح را نیروهای برشی می‌نامیم. مثلاً نیروی f در شکل ۵-۱۹ یک نیروی برشی است. از آزمایش‌های بالا می‌توان نتیجه گرفت که مایع‌ها برخلاف جامدها، نمی‌توانند نیروهای برشی را تحمل کنند و با اندک نیروی برشی شروع به حرکت می‌کنند.



شکل ۵-۲۱

اکنون فرض کنید نیرویی که از طرف مایع ساکن در شکل ۵-۱۸ به قرص وارد می‌شود بر سطح قرص عمود نباشد. بر طبق قانون سوم نیوتون، واکنش این نیرو نیز بر سطح مایع مجاور سطح عمود نیست و مانند شکل ۵-۲۱ مؤلفه‌ای موازی سطح قرص خواهد داشت. این نیرو برشی است و باعث حرکت مایع خواهد شد. در صورتی که ما مایع را ساکن فرض کرده‌ایم.

رفتار گازها نیز مانند رفتار مایع‌هاست و نمی‌توانند نیروهای برشی را تحمل کنند. هنگامی که دست خود را به آرامی در هوا حرکت می‌دهیم، با این کار هوا را جابه‌جا می‌کنیم. نیروی لازم برای این کار آن قدر کم است که واکنش آن را حس نمی‌کنیم. در نتیجه مطالب بالا در مورد گازها نیز درست است. یعنی می‌توان گفت که در شماره‌های ساکن نیرویی که به هر سطح وارد می‌شود بر آن سطح عمود است.



قابل چشم‌پوشی باشد. برای درک بهتر این موضوع مثالی که در ادامه آمده است را برای دانش‌آموزان مطرح کنید تا به حل آن بپردازند. این مثال به خوبی نشان می‌دهد که اختلاف فشار هوا بین نقطه‌های مختلف یک اتاق نسبت به فشار هوا ناچیز است و می‌توان آن را نادیده گرفت.

ادامه‌ی راهنمای تدریس: رابطه‌ی فشار در مایع‌ها، $P = \rho gh$ را می‌توان برای محاسبه‌ی فشار در جامدها و گازها نیز به کار برد. ضمن اشاره‌ی این موضوع به دانش‌آموزان، توجه آن‌ها را به کم بودن چگالی گازها در مقایسه با چگالی مایع‌ها جلب کنید. این موضوع سبب می‌شود که اختلاف فشار در نقطه‌های مختلف درون یک ظرف یا هوای داخل یک اتاق

تمرین پیشنهادی



اختلاف فشار هوا در بالا و پایین اتاقی به ارتفاع ۳ متر را در شرایط متعارفی حساب کنید. (جرم مولی متوسط هوا تقریباً ۲۹ گرم است.)

پاسخ: در شرایط متعارفی یک مول هوا حجمی برابر ۲۲/۴ لیتر اشغال می‌کند. در نتیجه چگالی هوا برابر

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0.029}{0.0224} = 1.3 \text{ kg/m}^3$$

است با:

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_2 - P_1 = \rho gh \\ &= 1.3 \times 9.8 \times 3 = 38.22 \text{ Pa} \end{aligned}$$

ملاحظه می‌شود که این اختلاف فشار در مقایسه با فشار هوای اتاق که حدود 10^5 Pa است، ناچیز است و می‌توان با تقریب خوبی فشار هوا را در تمام اتاق یکسان فرض کرد.



خلأ

خلأ به وضعیتی از محیط گازی اطلاق می‌شود که فشار گاز در آن پایین تر از فشار جو است. ارسطو معتقد بود که چون نور نمی‌تواند به داخل خلأ نفوذ کند، با توجه به قابل رؤیت بودن نور ستارگان در زمین، خلأ نمی‌تواند وجود داشته باشد. پلوتارخ بر آن بود که «طبیعت از خلأ نفرت دارد». نظر ارسطو را ارباب کلیسا تا قرن هفدهم نیز پابرجا نگه داشته بودند و حتی نام بردن از «خلأ» را کفر می‌دانستند. رنه دکارت گفته بود: «این با خرد در تناقض است که گفته شود خلأ وجود دارد یا فضایی وجود دارد که در آن مطلقاً چیزی نیست». با این حال، در حدود سال ۱۶۴۰ بود که گاسپارو برتی فشارسنجی آبی ساخت و خلأ را در فضای بالای ستون آب پدید آورد.



آزمایش معروفی که در سال ۱۶۴۳ توسط دانشمند ایتالیایی، اوانجلیستا توریچلی، طراحی و در سال ۱۶۴۴ توسط وینچنزو ویویانی اجرا شد، سرانجام فیلسوفان را نسبت به وجود خلأ قانع کرد. در این آزمایش، انتهای لوله‌ای به طول تقریباً یک متر را می‌بستند و سپس آن را با جیوه پر می‌کردند. آزمایشگر

انتهای باز را با شست خود می‌بست و لوله را به‌طور معکوس در تشتی حاوی جیوه فرو می‌برد. در این حال، آزمایشگر انگشت خود را کنار می‌کشید. سطح جیوه در داخل لوله تا ارتفاع حدود ۷۶۰ mm در بالای سطح تشت جیوه پایین می‌آمد، و فضای داخل لوله در بالای سطح جیوه خالی باقی می‌ماند. به خاطر ترس از تکفیر، آزمایش توریچلی در ایتالیا مخفی نگاه داشته شد، اما طولی نکشید که خبر ایجاد خلأ به کشورهای دیگر که اقتدار کلیسا در آن‌ها به اندازه‌ی رُم نبود، رسید. آزمایش توریچلی در فرانسه (که در آن زمان از پاپ فرانسوی پیروی می‌کرد) و همین‌طور در آلمان و انگلیس تکرار شد.

نخستین پمپ خلأ نوع پیستونی را اُتوفون گریکه در سال ۱۶۵۴ در آلمان ساخت، و نوع اصلاح شده‌ای از آن نیز در سال ۱۶۶۰ توسط رابرت بویل در انگلستان طراحی شد. در اواخر قرن هفدهم، پمپ‌های خلأ مکانیکی و فشارسنج‌های جیوه‌ای را در انواع آزمایش‌ها به‌کار می‌بردند. اختراع لامپ‌التهابی در اواخر قرن نوزدهم، که می‌بایستی هنگام تولید تخلیه می‌شد، اولین بار خلأ را در فرایند تولید وارد کرد و فناوری تجارتهی خلأ را پدید آورد. یکاهای فشار در گستره‌ی خلأ عبارت‌اند از: پاسکال (در دستگاه SI)، تور و میلی‌بار. فشار جو برابر 1.013×10^5 پاسکال، ۷۶۰ تور، یا 1.013×10^5 میلی‌بار است. یکای تور، به افتخار توریچلی نام‌گذاری شده است که در ابتدا به عنوان میلی‌متر جیوه (mmHg) معروف بود. گستره‌ی فشارهای قابل دسترس در خلأ (از ۷۶۰ تا کمتر از 10^{-12} تور) به اندازه‌ای وسیع است که به صورت جدول ۵-۳ تقسیم‌بندی می‌شود.

جدول ۵-۳- گستره‌ی فشارهای قابل دسترس در خلأ

خلأ	تور (Torr)	پاسکال (Pa)	میلی بار (mbar)
خلأ کم	۷۶۰-۱	۱۰ ^۲ -۱۰ ^۵	۱-۱۰ ^۲
خلأ متوسط	۱۰ ^{-۲} -۱	۱۰ ^{-۱} -۱۰ ^۲	۱۰ ^{-۲} -۱
خلأ زیاد	۱۰ ^{-۸} -۱۰ ^{-۳}	۱۰ ^{-۶} -۱۰ ^{-۱}	۱۰ ^{-۸} -۱۰ ^{-۳}
خلأ بسیار زیاد (UHV)	۱۰ ^{-۱۲} -۱۰ ^{-۸}	۱۰ ^{-۱۰} -۱۰ ^{-۶}	۱۰ ^{-۱۲} -۱۰ ^{-۸}
خلأ بسیار بسیار زیاد (XHV)	< ۱۰ ^{-۱۲}	< ۱۰ ^{-۱۰}	< ۱۰ ^{-۱۲}

رابطه‌ی فشار با چگالی مولکول‌ها با معادله‌ی $p = knT$ که در آن k ثابت بولتزمن، n تعداد مولکول‌ها در هر میلی‌لیتر، و T دما برحسب کلوین است، یا این که به صورت $p = 1/3 \times 10^{-11} nT$ که در آن p برحسب تور است، داده می‌شود. در چندین نوع فشارسنج (مثل فشارسنج یونشی)، چگالی مولکولی (n) را به جای فشار اندازه‌گیری می‌کنند.

طبق جدول ۵-۴، شرایط و حالت‌های گاز در گستره‌های مختلف فشار، تفاوت‌های زیادی با هم دارند. ستون دوم در جدول ۵-۴ تعداد مولکول‌های گاز را در هر میلی‌لیتر نشان می‌دهد: در فشار 10^{-16} تور (کمترین فشاری که هم تولیدشدنی و هم اندازه‌گرفتنی است) در هر میلی‌لیتر فقط حدود سه مولکول وجود دارد. ستون سوم، تعداد مولکول‌های گاز را که در هر ثانیه بر هر سانتی‌متر مربع برخورد می‌کنند، نشان می‌دهد. در ستون چهارم، گستره‌ی بسیار وسیع پارامترهای خلأ به روشن‌ترین شکل نشان داده شده است. مسافت آزاد میانگین، فاصله‌ی میانگین بین برخوردهای مولکول‌های گاز است؛ مسافت آزاد میانگین در فشار جو فقط 67nm (یعنی در حدود 2000 برابر فاصله‌ی بین اتم‌ها در بلور فلزی)، و در فشار 10^{-16} Torr در حدود سه برابر فاصله‌ی بین زمین و خورشید است. ستون آخر، مدت زمان لازم برای تشکیل تک‌لایه‌ای از مولکول‌های گاز جذب شده را روی سطح نشان می‌دهد (با این فرض که هر مولکول گاز که به سطح برخورد می‌کند به آن می‌چسبد). این مدت زمان، از $2/9\text{ns}$ در فشار جو تا 160 سال در فشار 10^{-16} تور گسترده است.

جدول ۵-۴- گستره‌ی فشارهای قابل دسترس در خلأ

فشار (Torr)	چگالی مولکولی mol. ml^{-1}	شار مولکولی $\text{mol. cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	مسافت آزاد میانگین	زمان تک‌لایه‌ای
۷۶۰	$2/5 \times 10^{11}$	$2/9 \times 10^{23}$	67nm	$2/9\text{ns}$
۱	$3/3 \times 10^{16}$	$3/8 \times 10^{20}$	$51\ \mu\text{m}$	$2/2\ \mu\text{s}$
10^{-2}	$3/3 \times 10^{13}$	$3/8 \times 10^{17}$	$5/1\ \text{cm}$	$2/2\ \text{ms}$
10^{-8}	$3/3 \times 10^8$	$3/8 \times 10^{12}$	$5/1\ \text{km}$	$3/7\ \text{min}$
10^{-12}	$3/3 \times 10^2$	$3/8 \times 10^6$	$5/1 \times 10^4\ \text{km}$	$25\ \text{d}$
10^{-16}	$3/3$	$3/8 \times 10^0$	$5/1 \times 10^8\ \text{km}$ ($3/4\ \text{AU}^*$)	$160\ \text{y}$

* یکای نجومی، فاصله‌ی زمین تا خورشید است.

فشار در فضای بین ستاره‌ای را در حدود 10^{-18} تور برآورد می‌کنند. این فشار را می‌توان با آزمایشی که روی زمین انجام می‌شود، مقایسه کرد. در این آزمایش کره‌ای با حجم یک لیتر تا 10^{-11} تور تخلیه می‌شود و سپس آن را در هلیوم مایع در دمای $4/2\text{K}$ فرومی‌برند؛ فشار برآورد شده در این شرایط از مرتبه‌ی 10^{-3} تور است. فشار در سطح کره‌ی ماه به هنگام شب در حدود 10^{-13} تور است.

کاربرد خلأ برای تحقیقات علمی در موارد زیر بسیار متداول است: (۱) برای این که سطح‌ها در حالت تمیز یا حالت کاملاً مشخص نگهداری شوند (در مطالعه‌ی سطوح از خلأ بسیار زیاد استفاده می‌شود)، (۲) به منظور تولید پلاسما و نگهداری آن به صورت خالص (فیزیک پلاسما و توکامک‌ها)، (۳) در راه‌اندازی دستگاه‌های باریکه‌ی الکترونی و یونی، شتابدهنده، برخورددهنده، و حلقه‌های انبارشی، و (۴) برای شبیه‌سازی شرایط فضایی.

در کاربردهای صنعتی در موارد زیر از خلأ استفاده می‌شود: (۱) بلند کردن و انتقال دادن (خلأ کم)؛ (۲) پردازش گرمایی، بسته‌بندی، خشک کردن، گاززدایی، عایق‌سازی گرمایی یا الکتریکی (خلأ زیاد)؛ و (۳) ساخت لامپ‌های روشنایی، لامپ‌های خلأ و برخی ابزارهای حالت جامد.



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.

۹-۵-۱ 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 مختلفی 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.

۹-۵-۲ فعالیت

در داخل یک بطری پلاستیکی مقدار کمی آبجوش 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.

۹-۵-۳ آزمایش

وسایل لازم: یک لیوان، یک ظرف در ظرفی آب بریزید و لیوان را مطابق شکل الف-۱-۹-۵ در داخل ظرف قرار دهید. سپس در جایی که دقت می‌کنید هوا به داخل لیوان وارد نشود، انتهای آن را مطابق شکل الف-۲-۹-۵ به بیرون آورید. مشاهده خود را یادداشت کنید. سپس لیوان را به صورت وارونه مطابق شکل الف-۳-۹-۵ به بیرون آب کنید. چه مشاهده می‌کنید؟ توجه‌های خود را در کلاس به بحث بگذارید.

شکل الف-۳-۹-۵

۱۴۰

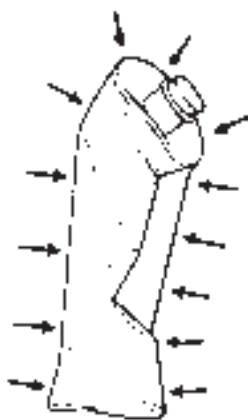
۹-۵- فشار هوا

راهنمای تدریس: برای شروع این بخش بهتر است توجه دانش‌آموزان را به چند آزمایش ساده جلب کنیم که نشان می‌دهند هوا فشار دارد. این فعالیت‌ها می‌توانند به عنوان ایجاد انگیزه برای شروع بحث نیز در نظر گرفته شوند.

هدف : هوا به عنوان ترکیبی از چند گاز مختلف فشار دارد. یک بادکنک معمولی را در اختیار یکی از دانش‌آموزان بگذارید و بگذارید تا با همهی توان خود در آن بدمد به طوری که بادکنک بترکد. سپس از دانش‌آموزان بخواهید که به توجیه این موضوع بپردازند. انتظار می‌رود دانش‌آموزان بگویند هوایی که وارد بادکنک شده است به پوسته‌ی آن فشار وارد می‌کند و وقتی این فشار از حد معینی بیش‌تر شود، بادکنک می‌ترکد.

از رابطه‌ی $P = \rho gh$ فشار هوا را بین دو نقطه به ارتفاع ۱ km و ۱۰ km محاسبه نمایید. نتیجه آن که دانش‌آموزان خواهند دید هرگاه ارتفاع ستون هوایی که به محاسبه‌ی فشار هوا می‌پردازند قابل توجه باشد، اختلاف فشار هوا بین دو نقطه نیز قابل ملاحظه خواهد شد. به این ترتیب در مورد جوّ زمین که ارتفاع آن زیاد است، فشار هوای ناشی از آن قابل ملاحظه خواهد شد.

ادامه‌ی راهنمای تدریس: با انجام هر یک از فعالیت‌هایی که پیشنهاد شد به خوبی می‌توان توجه دانش‌آموزان را به وجود فشار هوا و یا این که هوا به عنوان ترکیبی از چند گاز متفاوت، فشار دارد جلب کرد. در ادامه می‌توان دوباره توجه دانش‌آموزان را به تفاوت فشار هوا بین نقاط مختلف یک اتاق (مثال پیشنهادی بخش قبل) نمود و پس از آن با استفاده



شکل ۵-۲۲

فعالیت ۵-۱۹

هدف : نشان دادن فشار هوا

برای انجام بهتر این فعالیت می‌توان مقدار کمی آب را در یک قوطی فلزی (مانند قوطی‌های ۴ لیتری روغن) ریخت و آن را روی شعله قرار دهیم تا آب به جوش آید. پس از آن شعله را خاموش کرده و در قوطی را محکم ببندید. مقداری آب سرد بر روی قوطی بریزید. خواهید دید که قوطی مچاله می‌شود (شکل ۵-۲۲). این آزمایش ساده نیز گواهی بر وجود فشار هواست.

آزمایش ۵-۴

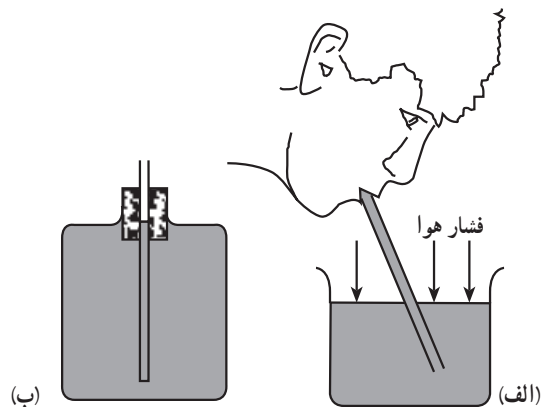
هدف : نشان دادن فشار هوا

با انجام این آزمایش و شرحی که در ادامه‌ی آن آمده است و به روشنی به ذکر دلایل آزمایش پرداخته است می‌تواند دوباره توجه دانش‌آموزان را به وجود فشار هوا جلب کند. بهتر است پیش از آن که دانش‌آموزان شرح کتاب درسی را در خصوص این آزمایش بخوانند از آن‌ها بخواهید که پس از مشورت و بحث در گروه‌های خود به آنچه مشاهده می‌کنند بپردازند و پس از آن برای جمع‌بندی موضوع توجه آن‌ها را به شرح کتاب جلب کنید.

فعالیت ۵-۲۰

هدف: آشنایی با فشار هوا

توصیه می‌شود این فعالیت به‌طور عملی در کلاس درس انجام شود (شکل ۵-۲۳-الف). برای درک بهتر این موضوع، فعالیت مذکور را مطابق شکل ۵-۲۳-ب نیز انجام داده تا دانش‌آموزان به نقش فشار هوا در خصوص بالارفتن آب از نی آشنا شوند.



شکل ۵-۲۳

فعالیت ۵-۲۱

هدف: آشنایی با فشار هوا

بهتر است این فعالیت پس از آزمایش ۵-۴ انجام شود. واضح است با سوراخ کردن ته لیوان در هر دو حالت ذکر شده در آزمایش ۵-۴، هوا وارد شده به لیوان باعث می‌شود سطح آب درون لیوان با سطح آب درون ظرف هم‌تراز شود.

آزمایش ۵-۵

هدف: آشنایی با فشارسنج ساده‌ی جیوه‌ای برای اندازه‌گیری فشار هوا

این آزمایش را به نحوی که شرح آن در کتاب درسی آمده است انجام داده و به جهت سمی بودن جیوه به توصیه‌های آن نیز توجه شود.

تعمیم آزمایش: این آزمایش را با چند لوله‌ی دیگر انجام دهید که سطح مقطع متفاوت دارند. آزمایش نشان می‌دهد ارتفاع ستون جیوه در این لوله‌ها یکسان است. به همین دلیل در صورتی که مقدار جیوه در آزمایشگاه مدرسه مقدار کمی است برای نتیجه‌گیری بهتر آزمایش از لوله‌هایی با سطح مقطع کوچک استفاده کنید.

در این آزمایش مشاهده می‌کنید که در حالت اول آب مطلقاً تشکیل نشد (۱-۲). بیایید درون لیوان باقی‌مانده 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 نگه می‌دارد. در شکل (۵-۲۱-۱) بیایید هوای داخل لیوان که خارج نشده است نیز به سطح آب نیرو وارد می‌کند و مانع بالا رفتن آن می‌شود. در واقع اگر به طرفی می‌توانستیم هوای داخل لیوان را خالی کنیم، آب در داخل لیوان بالا می‌رفت.

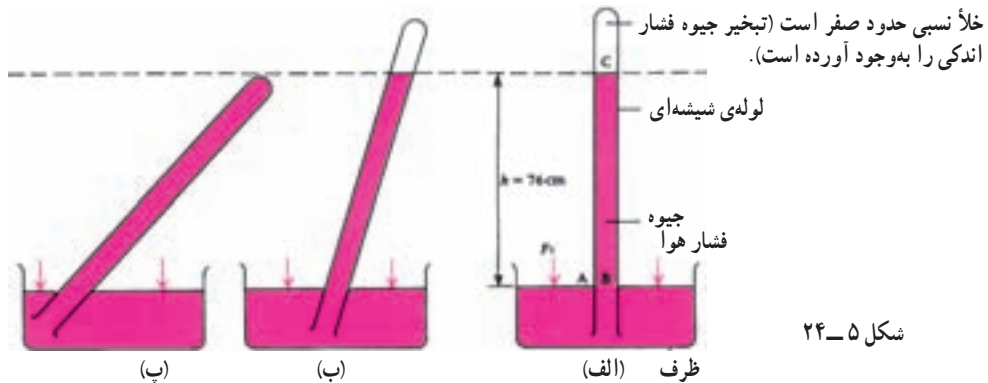
فعالیت ۵-۲۰
هنگامی که با نی نوشابه می‌نوشیم، چرا نوشابه از نی بالا می‌آید؟

فعالیت ۵-۲۱
آزمایش (۵-۲۱-۲) را با یک لیوان پلاستیکی انجام دهید. اگر در حالت ایستاده لیوان را سوراخ کنید چه اتفاقی می‌افتد؟ مشاهده خود را توجیه کنید.

آزمایش ۵-۵
وسایل لازم: یک لوله آزمایش بند در حدود یک متر، یک ظرف حاوی جیوه، لوله را برز جیوه کنید و در حالی که سر آن را با انگشت مسدود کرده‌اید، لوله را وارونه کنید و درون ظرف حاوی جیوه فرو برد 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.)

۱۳۹

علاوه بر این می توان اثر کج کردن لوله ی فشارسنج را نیز مشاهده کرد. در شکل ۵-۲۴ الف که لوله قائم است ارتفاع جیوه از سطح جیوه در ظرف ۷۶cm است. در شکل ۵-۲۴ ب جیوه در همان ارتفاع ۷۶cm از سطح جیوه در ظرف می ماند. در شکل ۵-۲۴ پ دیگر خلأی در لوله نیست و جیوه همی لوله را پر می کند، زیرا ارتفاع جیوه کم تر از ۷۶cm است. در این حالت جیوه به ته لوله فشار وارد می کند.



نکات مهمی که باید در حین انجام این آزمایش توجه شود :

- ۱- لوله باریک باشد و حداکثر طول آن ۸۰cm باشد تا هم مصرف جیوه کاهش یابد و هم دقت آزمایش بیش تر شود. (قطر ۱cm)
- ۲- در صورت موجود بودن جیوه ریز در آزمایشگاه، از آن استفاده کنید.
- ۳- شیشه باید ضخیم و محکم باشد.
- ۴- جیوه از معرض تنفس دور شود.
- ۵- در موقع پر کردن لوله کج باشد و سپس قائم شود.

در این آزمایش نیز جیوه درون لوله آزمایش وارونه باقی می ماند. ولی برخلاف آزمایش (۲) که در آن آب تمام لوله وارونه را پر می کرد، در این جا قسمتی از بالای لوله وارونه خالی می ماند. چون در حین آزمایش مایع وارونه هوا به داخل لوله آزمایش نمی آید، در این قسمت خلأ خواهد داشت. اگر این آزمایش در سطح دریای آزاد انجام شود، ارتفاع ستون جیوه ۷۶ سانتیمتر خواهد شد. اگر آزمایش در محلی که بالاتر از سطح دریای آزاد قرار دارد انجام شود، ارتفاع ستون جیوه کمتر خواهد شد.

تیمتجان 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. (معمولاً)

اکنون می توانه فشار هوا را در سطح دریای آزاد تعیین کنیم. در این محل، همان طوری که در آزمایش (۲) دیدیم، ارتفاع ستون جیوه داخل لوله وارونه در شکل (۲) برابر ۷۶ سانتیمتر 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 هر دو صورت فشار در نقطه های هم عمق ۲ و ۳ در این شکل مطابقت 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 ارتفاع از رابطه (۲) و جدول (۲) برابر است با:

$$P = \rho g h = (13600 \text{ kg/m}^3) \times (9.8 \text{ m/s}^2) \times (0.76 \text{ m}) = 101328 \text{ Pa}$$

این فشار یک اتمسفر استاندارد نامیده می شود. در نتیجه فشار هوا در سطح دریای آزاد برابر با 101328 Pa یا یک اتمسفر است. متداول است که به جای محاسبه اتمسفر فشار را بر حسب ارتفاع ستون جیوه (معمولاً بر حسب سانتیمتر یا اینچ) بیان می کنند. بنابراین، فشار هوا در سطح دریای آزاد برابر با ۷۶۰ میلی متر جیوه، 760 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 با ارتفاع ۲۰۰۰ متر از سطح زمین فشار هوا تقریباً ۱۰ درصدی کمتر می شود. کاهشی در جیوه کاهش می یابد.

مثال ۳-۵
شهر تهران به طور متوسط در ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح آزاد دریا قرار دارد. فشار هوا در آن چند میلی متر جیوه و چند پاسکال است؟

ادامه ی راهنمای تدریس: پس از انجام آزمایش

۵-۵ و حالت های دیگر آن که در قسمت تعمیم به آن اشاره شد، فشار هوا را در محلی که هستید اندازه بگیرید. برای این کار ابتدا ارتفاع ستون جیوه را در لوله ی قائم به دقت اندازه بگیرید و سپس با توجه به این که چگالی جیوه 13600 g/cm^3 است از رابطه ی $p = \rho g h$ ، فشار هوا را در محیط انجام آزمایش اندازه بگیرید. در صورتی که محل آزمایش در سطح دریای آزاد باشد، داریم:

$$P = \rho g h = (13600 \text{ kg/m}^3) \times (9.8 \text{ m/s}^2)$$

$$\times (0.76 \text{ m}) = 101328 \text{ Pa}$$

موضوع توجه کامل داشته باشند. به کمک تناسب می‌توان
یکاهای مختلف فشار را به هم تبدیل کرد.

مثال ۳-۵

هدف: استفاده از رابطه $p = \rho gh$ برای محاسبه‌ی فشار
هوا در ارتفاع معینی از سطح آزاد دریا

پس از محاسبه‌ی فشار هوا در محل آزمایش، دوباره
می‌توانید توجه دانش‌آموزان را به یکاهای دیگر فشار جلب کنید.

$1 \times 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ a} + \text{m} = 76 \text{ cmHg}$
چون دانش‌آموزان با رابطه‌ی بالا به‌خوبی می‌توانند ارتباط بین
یکاهای مختلف فشار را به‌خاطر بسپارند توصیه می‌شود به این

تمرین پیشنهادی

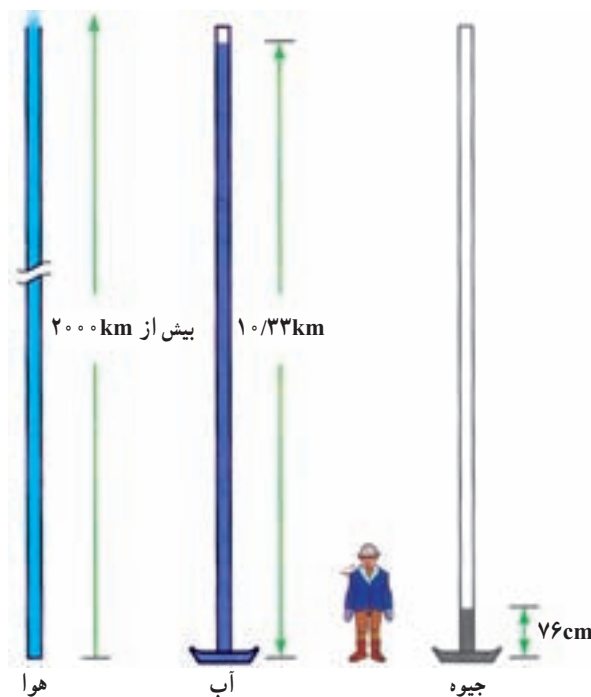


فشار هوا را از شهرهای زیر که ارتفاع تقریبی آن‌ها از سطح دریای آزاد داده شده است به دست آورید.
کرج (۱۳۶۰m)، مریوان (۱۲۸۵m)، بروجن (۲۳۰۰m)، محلات (۱۶۰۰m)، بندرانزلی (دریای خزر)، جزیره‌ی کیش
(خلیج فارس).

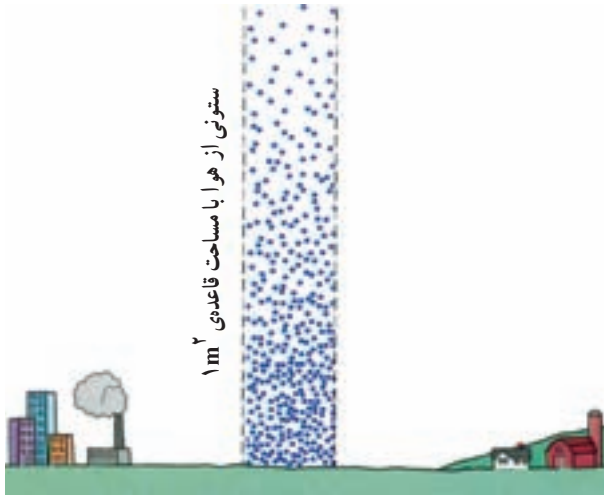
فعالیت ۲۲-۵

هدف: اندازه‌گیری فشار هوا به کمک جوسنج آبی

پاسخ: این فعالیت مثبت است. فشار هوا را می‌توان با جوسنج آبی اندازه گرفت ولی مشکل کار در عمل آن
است که باید از لوله‌ای استفاده کرد که طول آن حدود ۱۱ متر باید باشد. در شکل ۵-۲۵ الف، ب و پ این موضوع
برای جیوه، آب و هوا با یکدیگر مقایسه شده است.



شکل ۵-۲۵



شکل ۵-۲۶

الف) جرم ستونی از هوا را پیدا کنید که مساحت قاعده‌ی آن 1m^2 است و از سطح دریا تا بالای جو امتداد دارد (شکل ۵-۲۶). فرض کنید که فشار هوا در سطح دریا 76cm-Hg ، شتاب گرانی، مستقل از ارتفاع و برابر 9.8m/s^2 است.

ب) نتیجه‌ی حاصل در قسمت الف را در مساحت سطح زمین ضرب کنید تا جرم کل جو را به دست آورید. زمین را کره‌ای به شعاع 6400km بگیریید.

پاسخ: الف) 2176kg

ب) حدود $10^{21} \times 1/75\text{kg}$

دانستنی



آیا رابطه‌ی $p = \rho gh$ همواره برای محاسبه‌ی فشار در گازها صادق است؟ برای بررسی دقیق‌تر موضوع بالا بهتر است با یک مثال شروع کنیم. فرض کنید چگالی هوا در اطراف زمین و در تمام ارتفاع‌ها یکنواخت و برابر 1.3kg/m^3 باشد. اگر فشار هوا در ارتفاع h و P_0 فشار هوا در سطح زمین باشد، داریم:

$$P_0 = P_h + \rho gh$$

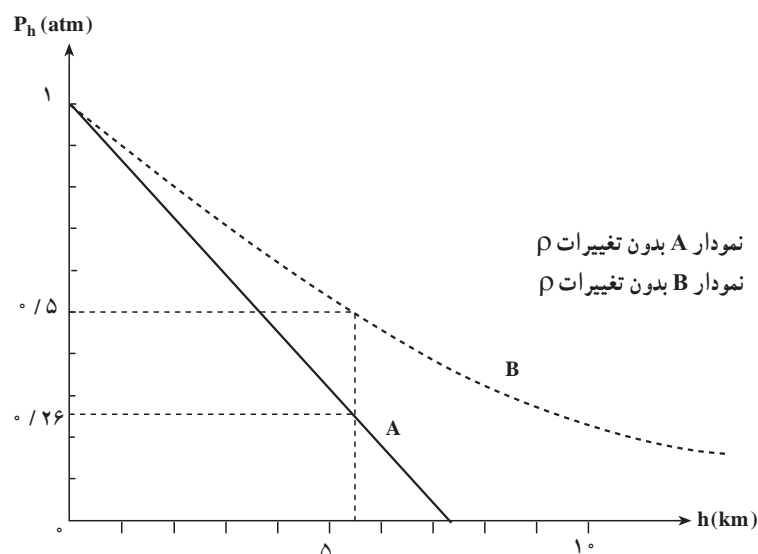
با قرار دادن مقادیر ρ و g در این رابطه خواهیم داشت

$$P_h = P_0 - \rho gh = 1 - \frac{1.3 \times 9.8 \times h}{10^5}$$

$$= 1 - 0.000123h \text{ (atm)}$$

منحنی P_h بر حسب h در شکل ۵-۲۷ رسم شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود هنگامی که اختلاف ارتفاع بین دو نقطه زیاد باشد، تغییر فشار قابل ملاحظه است و نمی‌توان آن را نادیده گرفت. مثلاً اختلاف فشار قله‌ی دماوند و سطح دریا از این روش برابر با 0.74% جو به دست می‌آید.

این مثال و نتیجه‌ی به دست آمده نیز غیرواقعی است. زیرا براساس آن ضخامت جو در حدود 7.7km تخمین زده می‌شود. در صورتی که می‌دانیم این ضخامت در حدود 1000 کیلومتر است. پس چه عاملی در این مثال به درستی در نظر گرفته نشده است؟



شکل ۵-۲۷

در این مثال چگالی هوا در تمام ارتفاعها یکسان فرض شده است. ولی در ادامه خواهیم دید که این فرض درست نیست.

در شماره‌ها، وزن شاره‌ی موجود در بالای هر لایه باعث می‌شود که آن لایه متراکم شود. در نتیجه با زیاد شدن عمق، چگالی شاره افزایش می‌یابد. در به‌دست آوردن رابطه‌ی اخیر تغییر چگالی با ارتفاع در نظر گرفته نشده است. ما در این محاسبه‌ها، چگالی را در همه‌جای شاره یکسان فرض کرده‌ایم. بستگی چگالی به عمق در مایع‌ها قابل ملاحظه نیست. زیرا، مایع‌ها تا حدود زیادی تراکم ناپذیرند. در نتیجه لایه‌ها بسیار کم متراکم می‌شوند و می‌توان گفت که چگالی مایع‌ها عملاً در تمام مایع یکسان است. در نتیجه، رابطه‌ی اخیر با تقریب بسیار خوبی برای مایع‌ها صادق است. ولی در مورد گازها خصوصاً هنگامی که مثلاً مانند جو زمین، با ارتفاع زیادی از گاز سروکار داریم، باید تغییر چگالی با ارتفاع را نیز در محاسبه‌های خود در نظر بگیریم. می‌توان نشان داد که اگر تغییرات چگالی با ارتفاع را در نظر بگیریم و فشار جو را برحسب ارتفاع محاسبه کنیم، منحنی خط‌چین در شکل ۵-۲۷ به‌دست می‌آید. با مقایسه‌ی این دو منحنی ملاحظه می‌شود برای به‌دست آوردن پاسخ‌های واقعی‌تر باید تغییر چگالی با ارتفاع را نیز در نظر گرفت. با استفاده از منحنی خط‌چین، اختلاف فشار قله دماوند و سطح دریا برابر با ۰/۵ جو به‌دست می‌آید.

