فصل ۳

ویژگی‌های فیزیکی مواد

حالت‌های ماده ۳ـ۱
ویژگی‌های فیزیک مواد در مقیاس نانو ۳ـ۲
نیروهای بین مولکولی ۳ـ۳
فشار در شاره‌ها ۳ـ۴
شناوری و اصل ارشمیدس ۳ـ۵
شارهٔ در حرکت و اصل برنولی ۳ـ۶
پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳

پیامدها

دانش‌آموزان با درک مفاهیم اساسی در مورد ویژگی‌های فیزیکی مواد :

- قادرند مواد را بر حسب ویژگی‌های فیزیکی آنها به چهار دستهٔ جامد، مایع، گاز و پلاسما تقسیم‌بندی کنند.
- از مفاهیم فشار در زندگی خود استفاده کنند.
- اصل شناوری و اصل برنولی را در پدیده‌ها، ابزارها و موقعیت‌های مختلف بتواند به‌کار برد.

چه شناختی مطلوب است؟

- مواد به چهار حالت در طبیعت یافت می‌شوند.
- نیروهای بین مولکولی کوتاه‌بردند و در فواصل چند اتم یا مولکول اثر می‌کنند.
- پدیده‌های بسیاری را به کمک ویژگی نیروی بین مولکولی (هم‌چسبی و دگرچسبی) می‌توان توضیح داد.
- ویژگی‌های فیزیکی مواد درمقیاس نانو تغییر می‌کند.
- فشار در یک شاره ساکن، به ارتفاع از سطح شاره، چگالی و شتاب گرانش زمین بستگی دارد.
- بر هر جسمی که درون شاره‌ای باشد، نیروی رو به بالا از طرف شاره وارد می‌شود.
- در یک شارهٔ محصور در حال حرکت، هرجا فشار شاره بیشتر باشد، تندی آن کمتر است و برعکس.

چه پرسش‌هایی باید در نظر گرفته شوند؟

- تفاوت مواد را از منظر نیروی بین‌مولکولی بیان کنید.
- در مقیاس نانو، ویژگی‌های مواد چه تغییری می‌کند؟
- عوامل مؤثر بر فشار در یک شاره چیست؟
- به یک جسم شناور در یک شاره چه نیروهایی وارد می‌شود؟
- اصل برنولی چیست؟

در پایان این واحد یادگیری دانش‌آموزان چه دانش و مهارت‌های اساسی را کسب می‌کنند؟

دانش‌آموزان خواهند دانست که :

- واژگان کلیدی : جامد، مایع، گاز، پلاسما، نیروهای بین‌مولکولی، فشار، شاره، شناوری، نیروی شناوری، اصل ارشمیدس، اصل برنولی
- انواع مواد و ویژگی‌های فیزیکی آنها
- بررسی مواد در مقیاس نانو
- فشار در شاره‌ها و عوامل مؤثر در آن
- اصل ارشمیدس و عوامل مرتبط به آن
- اصل برنولی و عوامل مرتبط به آن

دانش‌آموزان قادر خواهند بود که :

- ویژگی‌های فیزیکی مواد مختلف را بر حسب نیروی بین‌مولکولی توضیح دهند.
- ویژگی‌های فیزیکی مواد را در مقیاس نانو توضیح دهند.
- تفاوت نانو ذره‌ها و نانو لایه‌ها را بیان کنید.
- عوامل مؤثر در فشار شاره‌ها را بیان کنند.
- اصل ارشمیدس و نیروهای وارد بر یک جسم را در شاره بیان کنند.
- اصل برنولی را بیان کنند و کاربرد آن را در چند پدیده توضیح دهند.

بودجه‌بندی پیشنهادی فصل سوم

- **جلسهٔ اول و دوم** : تصویر شروع فصل + بخش ۳ـ۱ و بخش ۳ـ۲
- **جلسهٔ سوم** : بخش ۳ـ۳
- **جلسهٔ چهارم و پنجم** : بخش ۳ـ۴
- **جلسهٔ ششم** : بخش ۳ـ۵
- **جلسهٔ هفتم** : بخش ۳ـ۶
- **جلسهٔ هشتم** : جمع‌بندی، رفع اشکال و حل پرسش‌ها و تمرین‌های باقیمانده از پایان فصل
- **جلسهٔ نهم** : آزمون تشریحی فصل سوم

بررسی پرسش‌ها و مسئله‌های پایان فصل را، در جلسه‌های مختلف توزیع کنید.

فصل ۳
ویژگی های فیزیکی مواد

توجه :
همان‌طور که در کتاب درسی نیز اشاره شده است همکاران ارجمند می‌توانند این فصل را قبل از فصل دوم آموزش دهند.

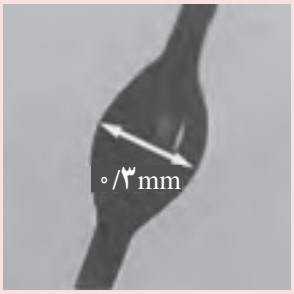
راهنمای تدریس : در تصویر شروع فصل که با یک پرسش شروع شده است، لازم است ذهن دانش‌آموزان را برای دقایقی به آن معطوف کنید. از آنجا که دانش‌آموزان در زندگی روزمره و در جاهای مختلف با این پدیده مواجه شده‌اند، شناخت دلایل آن می‌تواند برای آنها جذاب و مفید باشد.

۳ــ۱ــ حالت‌های ماده

راهنمای تدریس : هدف از این بخش آشنا ساختن دانش‌آموزان با حالت‌های ماده از دیدگاه مولکولی است. هرچند در کتاب‌های علوم دورهٔ اول تا حدودی با ساختار اتم و مولکول آشنا شده‌اند ولی در اینجا توجه دانش‌آموزان را به اندازهٔ تقریبی اتم‌ها، که حدود $1A^{\circ}=10^{-10}m$ است معطوف کنید. همچنین اشاره کنید که مولکول‌ها از اتم‌ها ساخته شده‌اند و مولکول‌ها می‌توانند حاوی دو، سه و . . . اتم باشند. به مولکول‌هایی که حاوی تعداد بسیار زیادی اتم باشند به آن (پلیمر) می‌گویند.

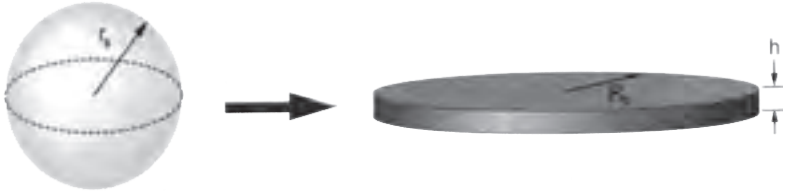
فعالیت پیشنهادی

هدف اصلی این **برآورد** اندازهٔ یک مولکول است. برای انجام این فعالیت بهتر است به توصیه‌هایی که در ادامه آمده است، توجه شود. به‌جای روغن می‌توانید از صابون مایع نیز استفاده کنید. برای جداسازی یک قطره روغن یا صابون مایع و قرار دادن آن بر سطح آب می‌توانیم انتهای یک مو را به آرامی داخل ظرف محتوی روغن یا صابون مایع کرده و آن را خارج کنیم و به آرامی روی سطح آب درون ظرف قرار دهیم. توجه کنید که ضخامت موی انسان حدود ۰/۱mm و قطر قطرهٔ روغنی که در انتهای مو تشکیل می‌شود حدود ۰/۳mm است (شکل ۱).



شکل ۱

همچنین برای آنکه گسترش قطرهٔ روغن یا صابون مایع را بر روی سطح آب به خوبی مشاهده کنیم بهتر است به کمک نمک‌پاش! مقداری فلفل را بر روی سطح آب بپاشیم. این کار را پیش از قرار دادن قطرهٔ روغن روی سطح آب انجام می‌دهیم.
پس از آنکه گسترش سطح قطرهٔ روغن یا صابون مایع بر روی سطح آب به حد کافی رسید و تقریباً متوقف گردید با توجه به اندازه‌گیری قطر لایهٔ روغن یا صابون مایع روی آن می‌توانیم اندازهٔ تقریبی قطر یک مولکول را با توجه به شکل ۲ پیدا می‌کنیم.



شکل ۲

نکتهٔ مهم پیرامون فعالیت پیشنهادی : همان‌طور که اشاره شد هدف اصلی این برآورد اندازهٔ یک مولکول است ولی باید توجه کرد که ضخامت لایهٔ روغن یا صابونی که روی سطح آب تشکیل می‌شود نمی‌تواند کمتر از قطر یک مولکول باشد. هرچند نمی‌توان تضمین کرد که لایه از یک مولکول تشکیل شده باشد.

جامد : همان‌طور که در کتاب نیز اشاره شده است مهم‌ترین وجه تمایز جامد با دیگر حالت‌های ماده این است که اتم‌ها یا مولکول‌های جامد در جای خود ثابت‌اند و تنها نوسان بسیار بسیار اندکی نسبت به وضعیت تعادل خود دارند. به عبارت دیگر جاذبه یا برهم‌کنش بین اتم‌ها یا مولکول‌های جامد آن‌قدر شدید است که نمی‌گذارد مانند مولکول‌های مایع یا گاز به اطراف حرکت کنند.

در ادامهٔ تدریس باید موضوع تقسیم‌بندی جامدها به دو نوع بلورین و بی‌شکل مطرح شود. برای ورود به این بحث پیشنهاد می‌شودکه چند نوع جامد مختلف مانند گچ، چوب، آهن و شیشه را مثال بزنید و از دانش‌آموزان بخواهید تا به فرق آنها با یکدیگر اشاره کنند. به احتمال زیاد بیشتر اشارهٔ دانش‌آموزان به تفاوت‌های ظاهری خواهد بود و کمتر به تفاوت در ساختار داخلی آنها و نحوهٔ قرار گرفتن اتم‌ها نسبت به یکدیگر اشاره کنند. با این حال، همین موضوع فضای مناسبی را فراهم می‌کند تا توجه دانش‌آموزان را به تفاوت ساختاری جامدها نسبت به یکدیگر جلب و آنچه در کتاب درسی در خصوص جامدهای بلورین و بی‌شکل آمده، برای دانش‌آموزان مطرح کنید.

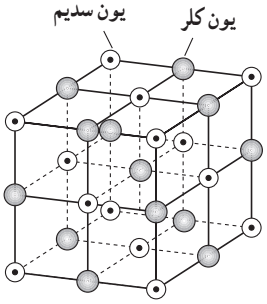
دانستنی برای معلم

مواد آمورف، جامدهای بی‌شکل

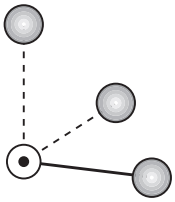
مقدمه : تقریباً تمام مواد جامدی که ما امروزه با آنها سروکار داریم، بلورند؛ یعنی به‌صورت مجموعه‌ای از اتم‌ها یا مولکول‌هایی هستند که به‌صورت شبکه‌ای منظم و مشخص در کنار هم قرار گرفته‌اند. به عبارت دقیق‌تر، بلور یک آرایهٔ دوره‌ای سه‌بعدی از اتم و مولکول‌هاست و فیزیک حالت جامد به عنوان گسترشی از فیزیک اتمی، به مطالعهٔ آنها و همچنین چگونگی رفتار و برهم‌کنش الکترون‌های موجود در آنها می‌پردازد.

جامدهای بلورین : یک جامد بلورین ایده‌آل از تکرار بی‌پایان واحدهای ساختاری مشابه (بلورک‌های کوچک) در فضا به‌وجود می‌آید (شکل ۳). فیزیک‌دانان حالت جامد، برای راحتی، عموماً کارشان را با توجه به خواص و ویژگی‌های این‌گونه جامدها محدود کرده‌اند. هرچند بررسی دقیق این مواد نیز می‌تواند فوق‌العاده پیچیده باشد. در ساده‌ترین جامدهای بلورین، مانند مس، نقره، آهن، آلومینیم و فلزات قلیایی به‌ندرت می‌توان شاهد یک بلور ایده‌آل بود. حتی ساختار شبکهٔ بلورک‌های کوچک نیز به‌ندرت کامل است. در بعضی از نواحی این بلورک‌ها، اتم‌ها در محل نادرستی قرار گرفته‌اند (شکل ۴) و یا شاید اصلاً حضور ندارند (شکل ۵)؛ همین‌طور

ناخالصی‌هایی از جنس اتم‌های دیگر نیز در آنها یافت می‌شود (شکل ۶). در حالت‌هایی، مثلاً در شیشه و بسیاری از بسپارها، نظم آرایش اتم‌ها به چنان فاصله‌های کوتاهی محدود می‌شود که به سختی می‌توان ادعا کرد که ماده دارای ساختار بلوری است (شکل ۷). از همین‌رو این مواد، مواد آمورف یا جامدهای بی‌شکل نامیده می‌شوند. سرانجام در مراحل پیچیده‌تر، با مواد مهم و متداول دیگری مانند چوب و پشم‌شیشه سروکار داریم که ماهیت ترکیبی دارند و بررسی ویژگی‌های آنها بسیار دشوار است.

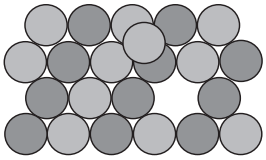


الف) ساختار بلوری سدیم کلرید، در این بلور هر یون توسط ۶ یون همسایه اول‌بار مخالف احاطه می‌شود.

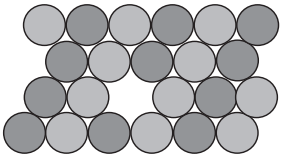


ب) واحد ساختار بلوری سدیم کلرید

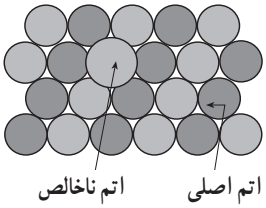
شکل ۳



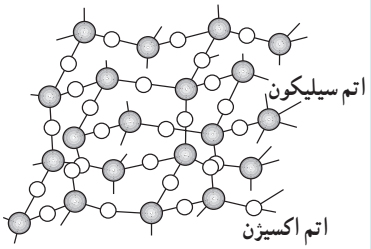
شکل ۴



شکل ۵

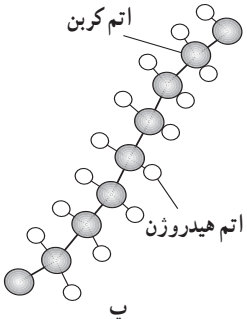


شکل ۶



الف

ب



پ

الف) ساختار بی‌شکل شیشه

ب و پ) یک مولکول بسپار را نشان می‌دهد که ساختار بی‌شکل دارند.

شکل ۷

جامدهای بی‌شکل : آرایش اتم‌ها یا مولکول‌ها در جامدهای بی‌شکل، مانند شیشه‌ها و بسیاری از بسپارها، کاملاً منظم نیست و از این نظر با جامدهای بلورین تفاوت دارند. همان‌گونه که پیش از این اشاره کردیم، اتم‌ها در بلور در شبکهٔ منظمی قرار دارند و در نتیجه، اگر چگونگی نقش اتم‌ها را در یک ناحیه از ماده بدانیم، می‌توانیم به دقت پیش‌بینی کنیم که اتم‌ها در سایر بخش‌های بلور باید کجا باشند. در جامدهای بی‌شکل، اتم‌ها چنین نظمی را در مکان خود ندارند، اما این موضوع به آن معنی نیست که به‌طور کاتوره‌ای در کنار یکدیگر چیده شده‌اند.

نیروهای بین اتمی و پیوندهای بین اتم‌ها در جامدهای بی‌شکل نیز شباهت زیادی به نیروها و پیوندها در جامدهای بلورین دارند. این شباهت‌ها باعث می‌شود که فاصلهٔ اتم‌ها، تعداد همسایه‌های اول هر اتم به‌طور میانگین در تمام نقاط نمونهٔ جسم جامد یکسان باشد. در یک جامد بی‌شکل، پیرامون هر اتم بسیار شبیه به پیرامون هر اتم دیگر است، ولی دقیقاً یکسان نیست. به‌علت این تغییرات بسیار کوچک در فاصله و سمت‌گیری در تمام ماده این نتیجه به‌دست می‌آید که مکان دقیق اتم‌های دور را نمی‌توان پیش‌بینی کرد.

انواع جامدهای بی‌شکل : جامدهای بی‌شکل را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم‌بندی کرد. گروه اول آنهایی هستند که وقتی ساخته می‌شوند ساختار بی‌شکل به خود می‌گیرند. اینها همان مواد سازندهٔ شیشه طبیعی‌اند. گروه دیگر موادی هستند که معمولاً به‌صورت ساختار بلورین جامد می‌شوند، ولی آنها را می‌توان با سرد کردن سریع ماده مذاب و یا از طریق مایع کردن بخار آن بر روی یک سطح سرد به‌دست آورند.

ماهیت بی‌شکل شیشه‌های طبیعی کاملاً پایدار است، اما موادی که تنها می‌توان با سرد کردن سریع مادهٔ مذاب و یا بخار آنها را تولید کرد، معمولاً، وقتی تا دمای معینی گرم می‌شوند، به‌سرعت به شکل بلور در می‌آیند.

یکی از ساده‌ترین و متداول‌ترین مواد سازندهٔ شیشه طبیعی، سیلیس بی شکل، SiO_2، است که به شکل‌های بلورین به‌صورت کریستوبالیت و کوارتز نیز یافت می‌شود. شیشه‌های معمولی پنجره (و یا بطری‌ها) عمدتاً از SiO_2 به اضافهٔ Na_2O و CaO ساخته می‌شوند. اما هزاران فرمول شیشه برای مقاصد خاصی وجود دارد که برای تغییر خواص اپتیکی، الکتریکی، مکانیکی و یا گرمایی، مواد دیگری به آنها می‌افزایند. ترکیب‌های گوگرد«S»، سلنیم«Se» یا تلوریم«Te»، با عناصری چون ارسنیک«As» و ژرمانیم«Ge»، نیز شیشه‌های دیگری‌اند که به‌خاطر نیم‌رسانا بودن، مورد توجه‌اند. این شیشه‌ها کالکوژینِد نامیده می‌شوند.

گروه دیگری از مواد سازندهٔ شیشه‌های طبیعی که از مولکول‌های خیلی بزرگ (ماکرومولکول‌ها) تشکیل می‌شوند. این‌گونه مولکول‌ها نمی‌توانند دوران کنند و به‌راحتی با یکدیگر جور شوند (این خاصیت را ممانعت فضایی می‌نامند) درنتیجه نمی‌توانند بلور تشکیل دهند. گلیسیرین و گلوکز نمونه‌های ساده‌ای از این مورد هستند. اما بسیاری از پلیمرها مانند پلی‌استرین و لاستیک‌ها بی‌شکل‌اند.

تهیهٔ جامدهای بی‌شکل : جامدهای بی‌شکل از طریق سرمایش سریع به‌دست می‌آیند عبارت‌اند از : فلزات خالص، آلیاژها و عنصرها و ترکیبات نیم‌رسانا. برای تهیهٔ این‌گونه مواد به‌صورت جامد چند روش متفاوت وجود دارد.

در یک شیوهٔ کارآمد، فواره‌ای از مادهٔ مذاب را روی لبهٔ یک چرخ مسی که به سرعت می‌گردد و یا بین دو غلتک چرخان، می‌افشانند و ماده در آنجا جامد می‌شود. این جامد را پیوسته بیرون می‌کشند و به این ترتیب نوار بلندی از مادهٔ بی‌شکل تشکیل می‌شود. روش دیگری برای تهیهٔ نمونه‌های کوچک از جامدهای بی‌شکل، سرد کردن مادهٔ مذاب در آب است. روش‌های دیگر متضمن رسوب دادن بخار بر روی یک سطح سردند. هدف همهٔ این روش‌ها و تکنیک‌ها، منجمد کردن اتم‌ها در مکان‌های نامنظم در دمای آنقدر پایین است که انرژی گرمایی برای بازآرایش اتم‌ها به شکل بلورین کافی نیست.

در واقع، لایه‌هایی از جامدهای فلزی بی‌شکل را می‌توان با سرد کردن بخار آنها بر روی سطحی که تا دمای نیتروژن مایع یا هلیم مایع سرد شده است، به‌دست آورد. لیکن، اینها، هنگامی که تا دمای اتاق گرم می‌شوند، تقریباً همیشه به‌صورت بلور در می‌آیند.

پاسخ فعالیت ۳ــ۱

فعالیت ۳ــ۱ را باید دانش‌آموزان (ترجیحاً به‌طور گروهی) تحقیق کنند و گزارشی به کلاس ارائه دهند.

پدیدهٔ پخش در مایع‌ها

راهنمای تدریس : ابتدا فعالیت ساده‌ای مطابق شکل ۳ــ۴ کتاب درسی، را دانش‌آموزان به‌طور گروهی انجام دهند و نتیجهٔ مشاهدات خودرا پس از بحث در گروه، به کلاس درس ارائه دهند.

گاز

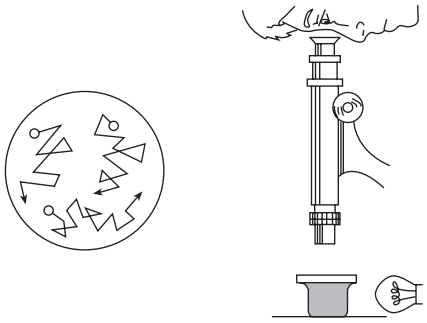
راهنمای تدریس : در اینجا ویژگی گازها به‌طور عام مورد نظر است و از بحث در خصوص مدل آرمانی گازها که به گاز آرمانی موسوم است و در فصل چهارم مورد بررسی قرار می‌گیرد لازم نیست بپردازید.

فعالیت ۳ــ۲

هدف اصلی این فعالیت مقایسه بین تراکم‌پذیری گازها و مایع‌هاست.

حرکت براونی: در بررسی حرکت براونی لازم است توجه کنید که ذره‌های دود به‌طور زیگزاگی و نامنظم حرکت می‌کنند و با توجه به این نوع حرکت ذرات دود، نتیجه می‌شود که ذرات و مولکول‌های هوا یا گاز نیز باید رفتار و حرکت مشابهی داشته باشند.

در صورت امکان آزمایش شکل ۳ــ۷ را برای دانش‌آموزان انجام دهید تا با جزئیات حرکت براونی بیشتر آشنا شوند. به این منظور ظرفی شیشه‌ای را از دود پر کنید (مثلاً تکه‌ای کاغذ در آن آتش زده و خاموش کنید) و مطابق شکل ۸ توسط لامپی روشن پرتوهای نور به آن بتابانید. به کمک میکروسکوپ به ذره‌های دود درون ظرف نگاه کنید و به حرکت نامنظم و درهم و برهم آنها توجه کنید. این حرکت کاتوره‌ای را حرکت براونی نیز می‌گویند.



شکل ۸

پاسخ پرسش ۳ــ۱

الف) ذرات هوا که با تندی بسیار زیادی در حرکت‌اند (در دمای اتاق حدود $500\ m/s$ است) سبب می‌شوند تا مولکول‌های عطر با وجود حرکت کاتوره‌ای و نامنظم، در مدت چند ثانیه از یک سوی اتاق به سوی دیگر اتاق پراکنده شوند. تندی میانگین مولکول‌های مایع بسیار اندک است و به عبارتی تنها روی یکدیگر می‌لغزند.

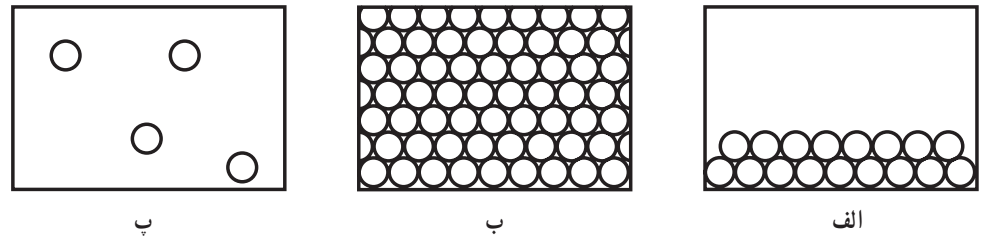
ب) اگر پدیدهٔ پخش در هوا رخ نمی‌داد، سبب می‌شد تا جو زمین به‌طور لایه‌ای شکل بگیرد. به‌طوری‌که در لایه‌های نزدیک به سطح زمین، مولکول‌های سنگین‌تر قرار می‌گرفتند.

پرسش‌های پیشنهادی

۱ در کدام یک از سه حالت ماده، ذره‌های ماده
الف) منظم‌اند.
ب) نامنظم‌اند.
پ) با آزادی در جهت‌های مختلف حرکت می‌کنند.
ت) در مکان‌های ثابتی نوسان می‌کنند.

۲ الف) چگونه می‌توان حرکت براونی را مشاهده کرد؟
ب) در این آزمایش چه پدیده‌ای را مشاهده می‌کنید؟
پ) حرکت براونی چه دلیلی برای ذره‌ای بودن ماده ارائه می‌دهد؟
ت) گاهی هنگام نگاه کردن به ذره‌ای در میکروسکوپ، ذره ناگهان ناپدید می‌شود. چرا چنین است؟

۳ شکل ۹ چگونگی قرار گرفتن مولکول‌ها را در جامدها، مایع‌ها و گازها نشان می‌دهد.
الف) کدام یک از شکل‌ها ترتیب قرار گرفتن مولکول‌های یک جامد را نشان می‌دهد؟
ب) کدام‌یک از این شکل‌ها ترتیب قرار گرفتن مولکول‌های یک مایع را نشان می‌دهد؟



دانستنی برای معلم

حرکت براونی

در سال ۱۸۲۸ گیاه‌شناسی به نام رابرت براون، حرکت «درهم و برهم» و بی‌وقفه گرده‌های گیاهی را در آب توصیف کرد. ذرات کوچکی که او در میکروسکوپ خود مشاهده کرده بود، به‌طور بی‌وقفه در حرکت بودند. آلبرت اینشتین در ماه مه ۱۹۰۵، هنگامی که بیست‌وشش سالش بود و در ادارهٔ ثبت اختراعات برای دولت سوئیس کار می‌کرد، مقالهٔ کوتاهی برای Annalen der Physik فرستاد که در آن حرکت براونی به‌صورت کمی توضیح داده شده بود. او در این مقاله نشان داد که حرکت براونی ذرات، بر اثر نیروهای متغیری است که از برخورد ذرات با مولکول‌ها حاصل می‌شوند. هرچند در آن زمان، حتی وجود مولکول‌ها هم برای همهٔ دانشمندان مسلم نشده بود. اما چند سال بعد ژان پرن با استفاده از نتایج اینشتین توانست جرم مولکول‌ها را از طریق اندازه‌گیری‌هایش در حرکت براونی تعیین کند، و بی هیچ تردیدی وجود مولکول‌ها را نشان دهد.

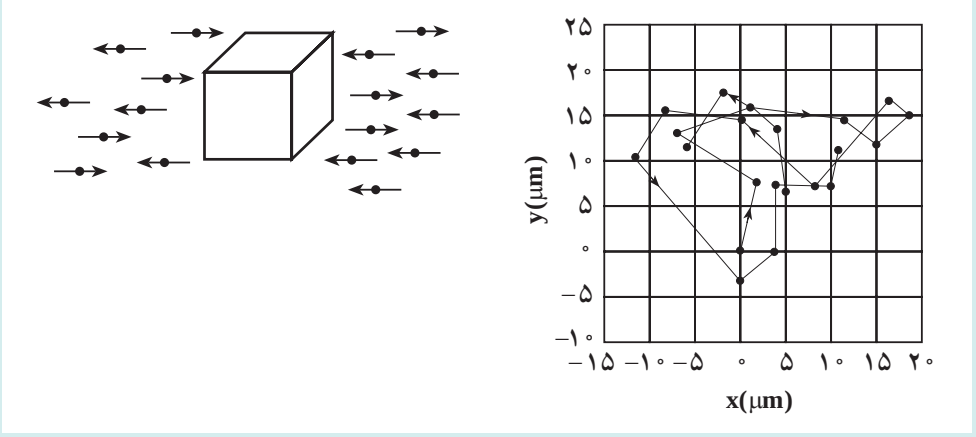
اگرچه براون و پرن ذرات کوچک موجود در آب را مطالعه کردند، اما در اینجا حرکت براونی در هوا را که ساده‌تر است به بحث می‌گذاریم. نمودار سمت چپ شکل ۹ مکعبی را نشان می‌دهد که مولکول‌های اکسیژن و نیتروژن موجود در هوا آن را بمباران می‌کنند؛ به‌خاطر سادگی فقط حرکت در یک بعد را در نظر گرفته‌ایم. فشار وارد بر مکعب از برخورد مولکول‌ها حاصل می‌شود. برخورد مولکول‌ها با مکعب را طی زمانی بسیار کوتاه، که به‌طور متوسط فقط برای ۱۰۰ برخورد با هر وجه مکعب کفایت کند، در نظر می‌گیریم. اما در تعداد این برخوردها افت‌وخیزهای آماری وجود خواهد داشت؛ گاهی تعداد برخوردها بیشتر و گاهی کمتر است. با در نظر گرفتن نظریهٔ سادهٔ آماری، متوسط افت‌وخیزها در تعداد برخوردها حدود $\sqrt{۱۰۰}$ خواهد بود، یعنی افت‌وخیز فشار وارد بر هر وجه نسبت به میانگین فشار در حدود ۱۰ درصد است. مکعب بر اثر این نیروهای متغیر خنثی نشده، گاهی به چپ، گاهی به راست، گاهی بیشتر و گاهی کمتر به حرکت درخواهد آمد. ولی اگر همان فشار از برخورد ۱۰/۰۰۰ مولکول بسیار کوچک در همان زمان وارد شود، افت‌وخیز میانگین فشار ۱۰ بار کمتر یعنی فقط ۱ درصد خواهد شد و حرکت مکعب حدود ۱۰ بار کمتر خواهد بود. بدین‌سان، بزرگی افت وخیزهای فشار و همچنین حرکت براونی ناشی از آن بستگی دارد به تعداد ذرات موجود در حجم معین گاز.

زمانی که افت‌وخیز فشار بر ذره نیرو وارد می‌آورد، ذره در ابتدا حرکت می‌کند و سپس حرکت آن بر اثر اصطکاک ناشی از گران‌روی کند می‌شود؛ هرچه گران‌روی بیشتر باشد، جابه‌جایی ذره کمتر است. پس از آن، ذره بر اثر افت‌وخیز بعدی فشار دوباره به حرکت در می‌آید. اما جابه‌جایی کتره‌ای بعدی همان‌قدر که ممکن است از جابه‌جایی اولی کم کند، ممکن است به آن اضافه کند. در این صورت، ذره «گشت کتره‌ای» خواهد داشت. چون احتمال حرکت در همهٔ جهت‌ها یکسان است، جابه‌جایی‌های متعدد در طول زمان تمایل به حذف یکدیگر خواهند داشت. و میانگین جابه‌جایی مجموعه‌ای از ذرات صفر خواهد بود. اما مربع این جابه‌جایی‌های انحرافی، $(\Delta X)^۲$، لزوماً مثبت خواهد بود و با گذشت زمان انباشته خواهد شد؛ در واقع کل مربع جابه‌جایی‌های انحرافی باید متناسب با گذشت زمان باشد. اینشتین دریافت که برای کره‌ای به شعاع a، داریم :

$$\overline{(\Delta x)^۲} = \frac{RT / N_A}{۳\mu\eta a}\Delta\tau \qquad (۱)$$

که در آن η ضریب گران روی، $\Delta\tau$ زمان سپری شده، R ثابت گازها، و T دمای مطلق است. در اینجا RT=PV است، که در آن P فشار و V حجم هر مول گاز محتوی N_A مولکول است. توجه کنید که میانگین مربعی انحراف $\overline{(\Delta x)^۲}$ با گران‌روی η و همچنین با N_A، تعدادمولکول‌ها در هر مول گاز، تناسب معکوس دارد.

پرن در آزمایش اولیه‌اش پیرامون حرکت براونی، حرکت کره‌های منفرد کندر رومی را در آب زیر نظر گرفت، و مکان آنها را در هر ۲۰ ثانیه مشخص کرد. کره‌ها کوچک بودن و قطری در حدود طول موج نور آبی رنگ داشتند، ولی جرم آنها حدود ۱ میلیارد بار بزرگ‌تر از مولکول اکسیژن یانیتروژن بود. نمودار سمت راست شکل ۹ شبیه‌سازی رایانه‌ای نوع نتایجی را نشان می‌دهد که پرن با اندازه‌گیری‌های خود با استفاده از میکروسکوپ به‌دست آورده بود. نقطه‌ها نشان‌دهنده مکان‌های کره در هر یک از مشاهدات‌اند؛ خطوطی که نقطه‌ها را به هم متصل می‌کنند فقط سلسله مراتب را نشان می‌دهند ــ ذرات به‌طور کتره‌ای و نامنظم از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر سوق داده می‌شوند.



شکل ۹ــ در سمت چپ، ذره‌ای در هوا با مولکول‌های گاز بمباران می‌شود، و این برخوردها فشار هوا را بر ذره وارد می‌کنند. در سمت راست، شبیه‌سازی مکان‌های ذرهٔ کندر در آب در هر ۳۰S نشان داده شده است.

اگر پرن می‌توانست اندازه‌گیری‌ها را ۱۰۰ بار سریع‌تر یعنی هر ۰/۳ ثانیه یک‌بار انجام دهد، نقشی با همان ویژگی گشت کتره‌ای، اما در مقیاس یک‌دهم، به‌دست می‌آمد. اگر اندازه‌گیری‌ها هر ۳۰۰۰ ثانیه یک بار یعنی ۱۰۰ با آهسته‌تر انجام می‌شد، باز هم نقشی مشابه، اما با مقیاسی ده مرتبه بزرگ‌تر، حاصل می‌شد. حرکت براونی، فراکتال‌گونه است ــ یعنی نقش آن در هر مقیاسی یکسان است. هرچه مقیاس کوچک‌تر شود، میانگین سرعت سوق از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر، به نسبت عکس ضریب مقیاس بزرگ‌تر می‌شود. اما این سرعت هنوز هم از میانگین سرعت لحظه‌ای کره‌ها خیلی کوچک‌تر است. برای هر ذره‌ای که با گاز یا مایع در تعادل دمایی باشد، متوسط انرژی جنبشی برابر است با :

$$(۱/۲)mv^{\bar{۲}} = (۳/۲)RT/N_A = (۳/۲)kT$$

که در آن $k=R/N_A$ ثابت بولتزمن است. بنابراین متوسط انرژی جنبشی کرهٔ کندری با میانگین انرژی هر مولکول هوا برابر می‌شد. با استفاده از این رابطه، میانگین سرعت لحظه‌ای کره‌های کندری در حدود (cm/s)۱ بود؛ ولی حرکت سوقی چنین کره‌ای در هر ۳۰ ثانیه نوعاً از ۱/۱۰۰۰ سانتی‌متر هم کمتر است.

پرن با استفاده از ۲۰ اندازه‌گیری که در ۱۰ دقیقه انجام شده بود. همانند آنچه در شکل ۹ آمده است، توانست ۲۰ مقدار برای $(\Delta x)^۲$ و ۲۰ مقدار برای $(\Delta x)^۲$ که به همان اندازه مفید است، به‌دست آورد. پس از تعیین مقدار میانگین $(\Delta x)^۲$، با اندازه‌گیری حرکت ذرات بسیار متعددی در تعداد زیادی از بازه‌های ۳۰ ثانیه‌ای، پرن با کمک معادلهٔ (۱) دریافت که در هریک از مول گاز $N_A=۶\times۱۰^{۲۳}$ مولکول وجود دارد. عدد N_A را عدد آووگادرو و جرم آنها را هم تعیین کرد. اودر سال ۱۹۲۶، به‌خاطر این موفقیت، برندهٔ جایزهٔ نوبل شد.

آشنایی با دینامیک شاره‌ها

دینامیک شاره‌ها، مطالعهٔ حرکت مایعات و گازها است. هیدرودینامیک حرکت مایعات را مورد بررسی قرار می‌دهد، و آئرودینامیک به مطالعهٔ مکانیک هوا (و سایر گازها) می‌پردازد. مطالعهٔ این مباحث با یکدیگر هم‌پوشانی دارد و اغلب این واژه‌ها را به‌جای همدیگر به‌کار می‌برند. حوزهٔ کاربرد دینامیک شاره‌ها در علوم و مهندسی بسیار گسترده است و شامل مباحث زیر می‌شود : هواشناسی، اقیانوس‌شناسی، ترابری (مثلاً برای اتومبیل‌ها و هواپیماها) توربین‌ها، پمپ‌ها، دمنده‌ها، گردش خون در موجودات زنده، طراحی سازه‌ها، فیزیک هسته‌ای، و زمینه‌های ورزشی نظیر بیس‌بال و گلف.

شاره‌ها که شامل مایعات و گازها (و درنتیجه پلاسماها) می‌شوند، موادی هستند که پیوسته و بی‌هیچ محدودیتی بر اثر اعمال نیروی خارجی (تنش برشی)، هرچند کوچک، تغییر شکل می‌دهند. جامدات که شاره نیستند، هم بر اثر اعمال تنش برشی تغییر شکل می‌دهند، ولی در برابر تغییر شکل مقاومت زیادی از خود نشان می‌دهند و در مرحله‌ای که حد تغییر شکل است، بر اثر تنش بیشتر با گسیختگی روبه‌رو می‌شوند. ویژگی متمایزکننده دیگر شاره‌ها این است که حتی بر اثر اعمال نیروهای خیلی کوچک هم جاری می‌شوند، درحالی‌که جامدات برای جابه‌جایی نیاز به نیروهای خیلی بیشتری دارند.

گاهی تمایزگذاری بین جامد و شاره به‌صورت دل‌به‌خواه است. موادی نظیر شیشه و کوه‌های یخ در دوره‌های زمانی بسیار طولانی مانند مایعات جاری می‌شوند. ذرات جامد پودر شده هم، مثل نمکی که از نمک‌پاش پاشیده می‌شود، مانند مایع رفتار می‌کند؛ خمیردندان بسته به فشار اعمال شده هم خواص جامد دارد و هم خواص مایع. از لحاظ میکروسکوپیکی، حالت‌های متفاوت ماده را به کمک فاصلهٔ بین‌مولکول‌ها و نیروهای بین‌مولکولی می‌توان از یکدیگر متمایز کرد. در مواد جامد، مولکول‌ها خیلی نزدیک به هم قرار گرفته‌اند و نیروهای پیوندی خیلی قوی بین آنها برقرار است. در مایعات، فاصلهٔ بین مولکول‌ها معمولاً بیشتر است و مولکول‌ها از طریق نیروی چسبندگی ضعیفی برهم‌کنش دارند. در گازها، فاصلهٔ بین مولکول‌ها باز هم بیشتر است، و بین مولکول‌ها یا اصلاً پیوندی وجود ندارد یا پیوند بسیار ضعیفی برقرار است. جنبهٔ متمایزکنندهٔ دیگر مایعات این است که مولکول‌های تشکیل‌دهنده از هیچ‌گونه نظم و ترتیب دوربردی پیروی نمی‌کنند و چیدمانشان آرایش خاصی ندارد، و حتی وقتی مایع (از لحاظ ماکروسکوپیکی) در حالت سکون قرار دارند، موقعیت و سمت‌گیری مولکول‌ها به‌طور مداوم در حال تغییر است.

یکی از وجوه تمایز ماکروسکوپیکی بین مایعات و گازها میزان تراکم‌پذیری آنهاست. تراکم‌پذیری به معنی تغییر چگالی بر اثر تغییر فشار اعمال شده روی سیستم است. تراکم‌پذیری نتیجهٔ مستقیم خواص میکروسکوپی ماده، یعنی فاصله و نیروی بین مولکولی است. مایعات را به تقریب می‌توان تراکم‌ناپذیر دانست. این موضوع به‌طور کلی در مورد گازها صدق نمی‌کند، اگرچه اغلب به‌خاطر سهولت در انجام محاسبات آنها را تراکم‌ناپذیر در نظر می‌گیرند. به عنوان مثال، وقتی هوا با سرعتی کمتر از $50\ m/s$ در حال شارش باشد، فرض تراکم‌ناپذیری اغلب نتایج قابل قبولی به‌دست می‌دهد.

۳ــ۲ــ ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس نانو

راهنمای تدریس: در این بخش، به موضوع علم نانو و فناوری نانو از منظر تغییر ویژگی‌های فیزیکی مواد پرداخته شده است. از جمله ویژگی‌های فیزیکی مواد می‌توان به نقطه ذوب، رسانایی، کدر بودن و شفاف بودن، رنگ، استحکام و ... اشاره کرد. همان‌طور که در کتاب درسی نیز آمده است، در مقیاس نانو برخی از ویژگی‌های فیزیکی مواد تغییر می‌کند. بهره‌گیری از این تغییرات، موضوع فناوری نانو است که می‌تواند منجر به تولیداتی شود که تأثیر چشمگیری در زندگی بشر داشته باشد.

در این بخش فرصت مناسبی است که فعالیت‌هایی را به طور گروهی برای دانش‌آموزان علاقه‌مند در این زمینه از علم معرفی کنیم. این فعالیت‌ها که ماهیتی بین رشته‌ای دارند و اجرای آنها ممکن است تا چندین ماه زمان لازم داشته باشند فرصتی را برای گروه‌های دانش‌آموزی فراهم می‌کند تا یک موضوع و پدیده را از جنبه‌های مختلفی مورد بررسی قرار دهند. فهرستی از فعالیت‌های مناسب (به‌همراه راهنمای معلم) را می‌توانید در بستهٔ آموزشی «به علوم نانو خوش آمدید» انتشارات مدرسه ببینید. این بستهٔ آموزشی، منبع مناسبی برای دانش‌آموزان علاقه‌مند است. افزون بر این می‌توانید برای آگاهی خودتان نسبت به موضوع علم و فناوری نانو به درس‌نامه‌ای با همین عنوان که در مجلهٔ رشد فیزیک شمارهٔ ۱۰۴ منتشر شده است مراجعه کنید.

حل تمرین ۳ــ۱

مقدار تقریبی حجم هر اتم به قطر $10^{-10}\,m$ برابر است با :

$$V_1 = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{\pi}{6}(2R)^3 \simeq 0/5 \times 10^{-30}\,m^3$$

از طرفی حجم یک مکعب به ابعاد $1\,nm$ برابر است با :

$$V_2 = a^3 = (10^{-9})^3 = 10^{-27}\,m^3$$

به این ترتیب تعداد تقریبی اتمی را که می‌توان در این مکعب جای داد برابر است با

$$N = \frac{V_2}{V_1} = \frac{10^{-27}\,m^3}{0/5 \times 10^{-30}\,m^3} \approx 2000$$

این پاسخ در حالتی قابل قبول است که فضاهای خالی که به دلیل کنار هم قرار گرفتن اتم‌ها ایجاد می‌شود را نادیده بگیریم. در حالی که می‌دانیم تقریباً نیمی از فضای حجم $1\,nm^3$، خالی می‌ماند. بنابراین درست‌تر آن است که بگوییم در مکعبی به ابعاد یک نانومتر مکعب از مرتبهٔ 10^3 اتم می‌توان جای داد.

پاسخ پرسش ۳ــ۲

زیرا در کاربردهای علمی و صنعتی روزمره، با ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس معمولی سروکار داریم و این دما برای آن کاربردها صحیح است.

پاسخ فعالیت ۳ــ۳

افزون‌برجست‌وجوهای اینترنتی، همکاران برای دانش‌افزایی در زمینهٔ علوم و فناوری نانو و همچنین پشتیبانی دانش‌آموزان علاقه‌مند، می‌توانید از بسته آموزشی «به علوم نانو خوش آمدید» که شامل یک کتاب و DVD است استفاده کنید. این بسته آموزشی توسط انتشارات مدرسه عرضه شده است.

۳ــ۳ــ نیروهای بین مولکولی

راهنمای تدریس: برای شروع پیشنهاد می‌شود ابتدا پرسش صفحه بعد را مطرح کنید.

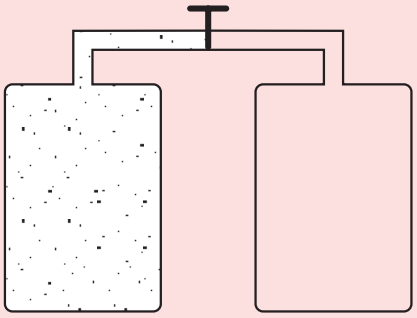
پرسش‌های پیشنهادی

۱ دو ظرف پر از گاز را با لولهٔ شیرداری به هم وصل می‌کنیم.

الف) اگر شیر لوله را باز کنیم، چه اتفاقی می‌افتد؟

ب) اگر استوانهٔ اول با جامد یا مایع پر شده بود، با باز کردن شیر لوله چه اتفاقی می‌افتاد؟ تبخیر ناچیزی را که صورت می‌گیرد نادیده بگیرید.

بدون شک پاسخ دانش‌آموزان به هر دو قسمت پرسش پیشنهادی فضای مناسبی را فراهم می‌آورد تا علاوه بر مقایسهٔ نیروهای بین‌مولکولی در سه حالت ماده، موضوع بحث را با تمرکز بیشتری بر نیروهای بین‌مولکولی در مایع سوق دهیم.



آویزان شدن قطره‌های باران از شاخ‌وبرگ درختان و سیم‌های برق و نیفتادن آنها برای مدتی، مثال‌های مناسبی برای توجه دانش‌آموزان به نیروهای بین‌مولکولی در مایع‌هاست.

در ادامه ضمن اشاره به آنچه در کتاب درسی آمده است خوب است که دو ویژگی مهم نیروهای بین‌مولکولی را با تأکید بیشتری مورد توجه قرار دهید.

دو ویژگی مهم نیروهای بین‌مولکولی

۱ نیروهای بین‌مولکولی کوتاه‌بُرد هستند. یعنی، وقتی فاصلهٔ بین مولکول‌ها به چند برابر ابعاد مولکول می‌رسد، بسیار کوچک و عملاً صفر می‌شوند. به همین دلیل است که این نیرو در گازها دیده نمی‌شود.

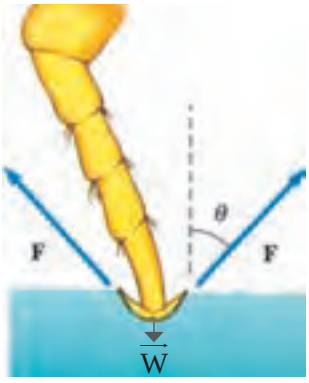
۲ وقتی فاصلهٔ بین مولکول از حد معینی (نسبت به ابعاد مولکول) کمتر شود نیروی بین مولکولی دافعه است. همین موضوع سبب می‌شود که متراکم کردن مایع‌ها (و جامدها) بسیار بسیار دشوار باشد.

پاسخ پرسش ۳ــ۳

نیروهای بین مولکولی در محدوده چندین مولکول مجاور عمل می‌کنند. وقتی قطعه‌های یک شیشهٔ شکسته را به یکدیگر نزدیک می‌کنیم، در واقع فاصله بین مولکول‌های قسمت شکسته شده مربوط به هر قطعه با قطعهٔ دیگر، بسیار بیشتر از ابعاد یک مولکول شیشه است. هر چند با چشمان خود (به جهت تفکیک اندک) تصور می‌کنیم که قطعه‌های شکسته شده به هم نزدیک‌اند ولی از نظر مولکولی فاصلهٔ بین قسمت‌های شکسته شده بسیار بیشتر از ابعاد یک مولکول است و چون نیروهای بین مولکولی در این ابعاد فاصله، عمل نمی‌کنند، لذا دو قطعهٔ شیشه به هم نمی‌چسبند. با گرم کردن دو قطعهٔ شیشه‌ای، نوسان مولکول‌های دو قطعهٔ شیشه‌ای که مجاور هم قرار گرفته‌اند افزایش می‌یابد و همین سبب می‌شود تا فاصله بین مولکول‌های مجاور به چندین مولکول برسد و نیروهای بین مولکولی عمل کنند و قطعه‌ها به یکدیگر بچسبند.

کشش سطحی : در این بخش دانش‌آموزان با پدیده‌های دیگری آشنا می‌شوند که به کمک آنها می‌توان وجود نیروهای بین مولکولی در مایع‌ها را پی برد. به همین جهت پیش از هرگونه شرحی در این خصوص از دانش‌آموزان بخواهید فعالیت **۳ــ۴** را انجام دهند. این فعالیت ساده به خوبی پدیدهٔ کشش سطحی را برای دانش‌آموزان نمایش می‌دهد.

هدف شکل ۳ــ۱۰ الف استفاده از پدیدهٔ کشش سطحی برای توصیف ایستادن حشره بر روی سطح آب است. همان‌طور که در شکل کتاب درسی نیز به‌خوبی نشان می‌دهد در محل تماس پاهای حشره با سطح آب، فرورفتگی کمی وجود دارد که ناشی از کشش سطحی آب است و نیروی رو به بالای لازم ($\vec{F}$) جهت غلبه بر نیروی وزن ($\vec{W}$) حشره را تأمین می‌کند (شکل روبه‌رو).



برایند دو نیروی $\vec{F}$ ناشی از سطح آب و نیروی وزن $\vec{W}$ به تعادل می‌رسد.

پاسخ فعالیت ۳ــ۴

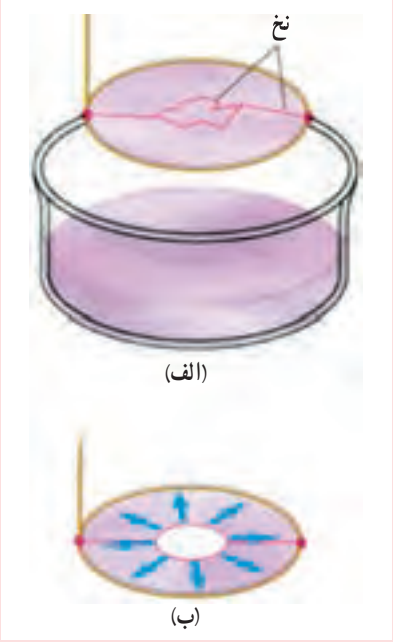
هدف این فعالیت، مشاهده کشش سطحی در مایع‌ها است.

با گذاشتن سوزن ته‌گرد و یا تیغ بر روی سطح آب، دانش‌آموزان با واقعیت شگفت‌انگیزی مواجه می‌شوند. آنها مشاهده می‌کنند با وجود آنکه چگالی آهن یا فولاد بیش از هفت برابر چگالی آب است، سوزن یا تیغ بر روی سطح آب باقی می‌ماند. همین‌جا فرصت مناسبی است تا پدیدهٔ کشش سطحی را به کمک دانش آموزان توصیف کنید. هنگام توصیف این پدیده سعی کنید که توجه دانش‌آموزان را به موضوع تعادل اجسام معطوف کنید و با رسم شکل مناسب نتیجه بگیرید که نیروی وزن سوزن یا تیغ که روبه پایین است با نیروی بین‌مولکول‌های سطح آب که روبه بالاست خنثی می‌شود.

افزودن قطره‌های مایع شوینده (حتی یکی دو قطره) سبب کاهش نیروی بین مولکول‌های آب می‌شود و به عبارت دیگر نیروی هم‌چسبی مولکول‌های آب و کشش سطحی آب را کاهش می‌دهد.

فعالیت پیشنهادی

یک حلقهٔ فلزی که نخ مسدودی به آن ضمیمه شده است مطابق شکل الف تهیه کنید. این مجموعه را داخل آب صابون فرو برده و بیرون بیاورید. همان‌طور که خواهید دید لایهٔ نازکی از آب صابون در حلقهٔ فلزی تشکیل می‌شود که نخ‌ها را درون خود در بر می‌گیرد. اگر لایهٔ محصور در داخل نخ مسدود را پاره کنید، نخ به شکل دایره‌ای کامل در می‌آید (شکل ب) ــ دلیل این پدیده آن است که در امتداد شعاع حلقه کشش‌هایی بر نخ وارد می‌شود و آن را به شکل یک دایرهٔ کامل در می‌آورد. لازم به ذکر است این نیرو پیش از پاره کردن لایهٔ آب صابون نیز وجود دارد ولی از دو طرف بر نخ وارد و در نتیجه خنثی می‌شود.



دانستنی برای معلم

بستگی کشش سطحی به دما

در جدول زیر بستگی کشش سطحی آب به دما نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود و انتظار نیز داشتیم با افزایش دما کشش سطحی آب کاهش می‌یابد. این موضوع را می‌توانید به عنوان یک طرح (پروژه) برای دانش‌آموزان علاقه‌مند مطرح کنید تا به عنوان فعالیتی خارج از کلاس به آن بپردازند و در صورت امکان نتیجه را به کلاس ارائه کنند. توجه کنید که این آزمایش باید بسیار دقیق و بر اساس راهکار خلاقانه‌ای انجام شود که دانش‌آموزان پیدا می‌کنند.

دما ($^{\circ}C$)	کشش سطحی (Nm^{-1})
۰	۰/۰۷۵۶
۲۰	۰/۰۷۲۵
۵۰	۰/۰۶۷۹
۱۰۰	۰/۰۵۸۸

پاسخ پرسش ۳ــ۴

الف) اگر در فعالیت ۳ــ۴، دمای آب را نیز افزایش دهید، خواهید دید که هم‌چسبی مولکول‌های آب کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر افزایش دما سبب کاهش هم‌چسبی مولکول مایع می‌شود (لازم است توجه کنید که این موضوع در خصوص گازها برعکس است). بنابراین دمای قطره‌های بزرگ‌تر روغن، کمتر است.

ب) افزایش دما، سبب کاهش نیروی هم‌چسبی مولکول‌های مایع می‌شود.

پ) به قسمت الف و ب توجه کنید.

پاسخ فعالیت۳ــ۵

اضافه شدن یک لایهٔ دوده یا روغن به سطح شیشه، سبب می‌شود که ارتباط بین مولکول‌های آب با مولکول‌های شیشه قطع شود و به یکدیگر نیرویی وارد نکنند (توجه کنید ضخامت لایهٔ روغن یا لایهٔ دود، ده‌ها برابر ابعاد یک مولکول آب یا شیشه است). از آنجا که نیروهای بین مولکولی کوتاه برد هستند، همین امر سبب می‌شود رفتار مولکول آب‌ها روی سطح دوده یا روغن نسبت به حالتی که روی سطح شیشه ریخته می‌شود تغییر کند.

پاسخ فعالیت ۳ــ۶

به کمک این فعالیت ساده، می‌توان شناختی کلی از نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های آب و مولکول‌های کارت به‌دست آورد. آزمایش نشان می‌دهد که این نیرو بین ۰/۱۰ تا ۰/۱۵ نیوتون است.

پاسخ فعالیت ۳ــ۷

یکی از ابتکارات معماران قدیم ایرانی، برای جلوگیری از نفوذ آب به داخل سازه‌ها، استفاده از ترکیب خاک رس و آهک بود که از آن به نسبت ۶ به ۴، گلی سفت می‌ساختند و آن را چندین روز وَرز می‌دادند. از این گِل، که ساروج نامیده می‌شد برای ساختن بناهایی که درمعرض آب بودند استفاده می‌کردند. در برخی منابع به استفاده از سفیدهٔ تخم‌مرغ در تهیه ساروج نیز اشاره شده است.

پرسش پیشنهادی

۱ آیا جیوه همواره بر روی سطح جامد به شکل قطره‌های کروی در می‌آید؟
پاسخ : خیر ــ 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، قطرهٔ جیوه روی ورقهٔ روی پخش می‌شود.

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

فعالیت پیشنهادی

در ظرفی محتوی آب قطعه‌ای گچ تحریر بیندازید. مشاهده خواهید کرد که حباب‌هایی در تمام جهت‌ها ازگچ 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 پدیدهٔ مویینگی را نشان می‌دهد. آب بر اثر پدیدهٔ مویینگی، که ناشی از چسبندگی سطحی بین مولکول‌های آب و گچ است، به داخل گچ نفوذ می‌کند و اندک هوای موجود درون گچ را به‌صورت 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 به‌نحو دیگری نیز می‌توانید انجام دهید. قطعه گچی را بشکنید 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 پدیدهٔ مویینگی و یا ادامهٔ آموزش این پدیده باشد.

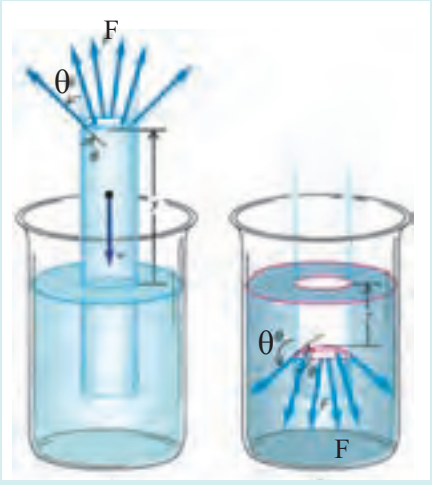
دانستنی برای معلم

مویینگی و زاویهٔ تماس

همان‌طور که پدیدهٔ مویینگی مشاهده شد سطح جداکنندهٔ مایع در مجاورت جسم جامدی نظیر دیوارهٔ ظرف یا لوله به پایین و یا بالا خمیده می‌شود. زاویهٔ برخورد این سطح با دیوارهٔ جامد را **زاویهٔ تماس**[1] می‌نامند. در شکل الف و ب به‌ترتیب زاویهٔ تماس برای دو ظرف شیشه‌ای محتوی آب و جیوه نشان داده شده است. در شکل الف زاویهٔ 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

۱ــ

و سطح جداکننده رو به بالا خمیده می‌شود و $\theta<90^\circ$ است. درحالی‌که در شکل ب زاویهٔ 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 رو به پایین خمیده می‌شود و $\theta>90^\circ$ است. اندازهٔ زاویهٔ تماس به ترکیب شیمیایی جامد، مایع، گاز و یا هوای مجاور بستگی دارد. همچنین میزان خلوص و دمای این مواد نیز می‌تواند در اندازهٔ θ مؤثر باشد.



(ب) (الف)

فشار ناشی از سطح خمیدهٔ مایع : سطح خمیده (کاو یا کوژ) فشار اضافی بر مایع وارد می‌کند. برای محاسبهٔ این فشار خود را محدود به موردی می‌کنیم که مایع در لوله‌ای به شعاع داخلی r قرار دارد. سطح خمیدهٔ مایع کلاهکی کروی تشکیل می‌دهد که سطح آن با سطح داخلی لوله زاویهٔ تماس θ می‌سازد. جزئی از مرز تماس مایع با جدار لولهٔ 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 تجزیهٔ آن به دو مؤلفه داریم : ΔF_1 عمود بر جدار و دیگری $\Delta F_2=F\cos\theta=\sigma\Delta L\cos\theta$ موازی با جدار لوله.

مؤلفهٔ ΔF_2 موجب فشاری می‌شود که نسبت به فشار جوّ اضافی است.

برای به‌دست آوردن این فشار اضافی مؤلفهٔ نیروی ΔF_2 را بر مساحت مقطع $A=\pi r^2$، تقسیم می‌کنیم بنابراین داریم :

$$P=\frac{\Delta F_2}{A}=\frac{-2\sigma\times 2\pi r\cos\theta}{\pi r^2}=\frac{-2\sigma\cos\theta}{r}$$

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

ارتفاع بالا آمدگی (یا پایین رفتگی) مایع در لولهٔ مویین را از این واقعیت می‌توان تعیین کرد که مایع درون لوله درصورتی 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 زاویهٔ تماس حاده ($\cos\theta>0$) است و بالا آمدگی مثبت (شکل الف) و برای مایعی که خیس نمی‌کند که زاویهٔ تماس منفرجه ($\cos\theta<0$) است بالاآمدگی منفی است. سطح مایعی که خیس نمی‌کند در لوله پایین‌تر از سطح آن در ظرف خواهد بود (شکل ب).

۳ــ۴ــ فشار در شاره‌ها

راهنمای تدریس: دانش‌آموزان درعلوم سال نهم و در یک فصل به‌طورکامل و از طریق انجام فعالیت‌ها و آزمایش ماده با مفاهیم اولیه فشار در حالت‌های مختلف ماده آشنا شده‌اند. لذا توصیه می‌شود افزون برملاحظهٔ فصل فشار علوم نهم، راهنمای معلم این فصل را نیز که حاوی فعالیت‌های پیشنهادی متنوعی برای شناخت بهتر دانش‌آموزان است ملاحظه کنید. برخی از این فعالیت‌ها را می‌توانید درسال دهم نیز انجام دهید و از دانش‌آموزان بخواهید تا باتوجه به مفاهیم جدیدی که فراگرفته‌اند به توصیف آنچه رخ می‌دهد بپردازند.

پاسخ پرسش ۳ــ۵

انتظار می‌رود دانش‌آموزان با توجه به رابطهٔ ۳ـ۳ به این نکته اشاره کنند که در سطح مایع، فشار ناشی از هوا $P_{\circ}$ وجود دارد. در عمق یکسانی از سطح مایع فشار ناشی از مایع در هر نقطهٔ هم‌تراز یکسان است.

پاسخ تمرین ۳ــ۲

الف)

= فشار ناشی از آب

$\rho gh = (۱۰۰۰ kg/m^۳)(۹/۸N/kg)(۵/۰m) = ۴۹۰۵۰Pa$

فشار کل = $P = P_{۰} + \rho gh = ۱/۰۱ \times ۱۰^۵Pa + ۴۹۰۵۰Pa$

$= ۱۵۰۰۵۰Pa \simeq ۱/۵ \times ۱۰^۵Pa$

ب) دانش‌آموزان با رابطهٔ $P = \frac{F}{A}$ از علوم سال نهم آشنایی دارند. به این ترتیب داریم

$F = PA = (۱/۵ \times ۱۰^۵Pa)(۱۰^{-۴}m^۲) = ۱۵N$

این نیرو معادل وزن یک جسم ۱/۵کیلوگرمی است که می‌تواند برای گوش دردناک و ناراحت‌کننده باشد.

پاسخ تمرین ۳ــ۳

اختلاف فشار در بالا و پایین جسم برابر است با

$\Delta P = \rho g \Delta h$

که در آن Δh برابر طول ضلع مکعب، یعنی ۲۰cm است.

به این ترتیب داریم :

$(۱۰۵ - ۱۰۰) \times ۱۰^۳Pa = \rho(۹/۸N/kg)(۰/۲m)$

$\rho = ۲/۵ \times ۱۰^۳ kg/m^۳$

پاسخ تمرین ۳ــ۴

با استفاده از رابطهٔ $P = \frac{F}{A}$ ، نیروی عمودی ناشی از این ستون فرضی هوا را، که در واقع برابر وزن این ستون هواست، به‌دست می‌آوریم.

$F = (۱۰^۵Pa)(۱m^۲) = ۱۰^۵N$

$F = W = mg \Rightarrow ۱۰^۵N = (۹/۸N/kg)m$

$m \simeq ۱۰^۴kg$

با توجه به نمودار، حدود هفتاد درصد این جرم، از سطح زمین تا ارتفاع ۹ کیلومتری توزیع شده است.

پاسخ پرسش ۳ــ۶

الف) از آنجا که چگالی آب حدود ۱۴ مرتبه از چگالی جیوه کمتر است، لذا اگر توریچلی درنظر داشت از آب استفاده کند، مجبور بود لوله‌ای بلند به طول حدود ۱۰ متر فراهم کند! شکل الف به این موضوع اشاره دارد.

ب) بالا رفتن جیوه درون لوله‌های غیرمویین، مربوط به فشار هواست و ستون جیوه در هر لوله به‌قدری بالا می‌رود که طول ستون جیوه فشاری معادل فشار هوا به‌وجود آورد.

ب) این سوراخ ریز برای ورود هوا به داخل بدنهٔ لاکی خودکار و وارد کردن فشار به سطح جوهر درون لوله، تعبیه شده است. کافی است یک خودکار را انتخاب کنید و این سوراخ ریز را با چسب نواری مسدود کنید. خواهید دید که پس از کمی نوشتن، دیگر جوهر به گوی فلزی غلتان نمی‌رسد و خودکار نمی‌نویسد.

پاسخ فعالیت۳ــ۸

آزمایش کنید ۵ــ۱ کتاب فیزیک ۲ و آزمایشگاه سابق، می‌تواند به‌شما کمک کند. به شکل صفحه بعد توجه کنید.

پاسخ تمرین ۳ــ۵

نکته‌ای که در حل این تمرین باید به آن توجه شود این است که خونی که در سیاهرگ جریان دارد درحال برگشت از بافت‌هاست و فشار آن به شدت افت کرده است. لذا به همین دلیل محلول سرم را در سیاهرگ تزریق می کنند که فشار خون در آن نسبت به سرخرگ بسیار کمتر است (بین ۱۰ تا ۲۰ برابر کمتر است).

$$\Delta P = \rho g h$$

$$۱۳۳۰\,Pa = (۱۰۴۵\,kg/m^۳)(۹/۸\,N/kg)h \Rightarrow h \simeq ۱۳\,cm$$

این حداقل ارتفاعی است که سرم باید نصب شود، در عمل دست‌کم حدود ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر بالاتر از بازوی بیمار، کیسهٔ پلاستیکی را آویزان می کنند.

پاسخ فعالیت ۳ــ۹

وقتی فویل آلومینیمی را مچاله می کنید مقداری هوا لابه‌لای آن محبوس می‌شود. از آنجا که چگالی هوا، بیش از دو هزار مرتبه کمتر از چگالی آلومینیم است، لذا فویل مچاله شده روی سطح آب به‌طور شناور می‌ماند. حتی اگر فویل مچاله شده را با چکش هم فشرده کنید باز هم ممکن است روی آب شناور بماند. وقتی پوش‌برگ را چندین مرتبه روی‌هم تا می‌زنید، هوای محبوس در فویل از لابه‌لای آن خارج می‌شود. در این صورت فویل به ته آب درون ظرف می‌رود.

پرسش‌های پیشنهادی

۱ عمق زیردریایی‌ها را چگونه تعیین می‌کنند؟
پاسخ : زیردریایی‌ها مجهز به فشارسنج‌هایی هستند که فشار آب بیرون زیردریایی و فشار کل را اندازه می‌گیرند. با داشتن فشار کل، می‌توان عمق محل زیردریایی را تعیین کرد.

۲ از فشارسنج می‌توان به‌عنوان ارتفاع‌سنج استفاده کرد. فرض کنید در بالای تپه‌ای فشارسنجی که همراه دارید کاهش ۸mm–Hg را نشان می‌دهد. ارتفاع تپه ازسطح دریا چقدر است؟
پاسخ : ۱۸۰m

دانستنی برای معلم

خلأ

خلأ به وضعیتی از محیط گازی اطلاق می‌شود که فشار گاز در آن پایین‌تر از فشارمحیط است. ارسطو معتقد بود که چون نور نمی‌تواند به داخل خلأ نفوذ کند، باتوجه به قابل رؤیت بودن نور ستارگان در زمین، خلأ نمی تواند 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 وحتی نام بردن از«خلأ» را کفر می‌دانستند. رنه‌دکارت 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 ۱۶۴۰بود که گاسپارو بِرتی فشارسنجی آبی ساخت و خلأ را در فضای بالای ستون آب پدید آورد.
آزمایش معروفی که درسال ۱۶۴۳توسط دانشمند ایتالیایی، اوانجلیستا توریچلی، طراحی و درسال 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 ۷۶۰mm در بالای سطح تشت جیوه پایین می‌آمد، فضای داخل لوله دربالای سطح جیوه خالی باقی می‌ماند. به خاطر ترس از تکفیر، آزمایش توریچلی درایتالیا مخفی نگه داشته شد، اما طولی کشید که خبر ایجاد خلأ به کشورهای دیگر که اقتدار کلیسا در آنها به اندازهٔ رُم نبود، رسید. آزمایش توریچلی درفرانسه (که در آن زمان از پاپ فرانسوی پیروی می‌کرد) و همین‌طور درآلمان 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 ۱۶۶۰توسط رابرت بویل در انگلستان طراحی شد. در اواخر قرن هفدهم، پمپ های خلأ مکانیکی و فشارسنج های جیوه ای را

در انواع آزمایش‌ها به کار می‌بردند. اختراع لامپ التهابی در اواخر قرن نوزدهم، که می‌بایستی هنگام تولید تخلیه می‌شد، اولین بار خلأ را در فرایند تولید وارد کرد و فناوری تجارتی خلأ را پدید آورد.

یکاهای فشار در گسترهٔ خلأ عبارت اند از : پاسکال (در دستگاهSI)، تور ومیلی‌بار. فشار جو در سطح دریا برابر $۱/۰۱۳\times۱۰^{۵}$ پاسکال، ۷۶۰تور یا $۱/۰۱۳\times۱۰^{۳}$میلی بار است. یکای تور، به افتخار توریچلی نام گذاری شده است که در ابتدا به‌عنوان میلی‌مترجیوه (mmHg) معروف بود. گسترهٔ فشارهای قابل دسترس درخلأ (از ۷۶۰تا کمتراز$۱۰^{-۱۲}$تور) به اندازه‌ای وسیع است که به صورت جدول الف تقسیم‌بندی می‌شود.

جدول الف ـ گستره فشارهای قابل دسترس درخلأ

خلأ	تور (Torr)	پاسکال (Pa)	میلی‌بار (mbar)
خلأ کم	۱–۷۶۰	$۱۰^{۲}$–$۱۰^{۵}$	۱–$۱۰^{۳}$
خلأمتوسط	$۱۰^{-۳}$–۱	$۱۰^{-۱}$–$۱۰^{۲}$	$۱۰^{-۳}$–۱
خلأ زیاد	$۱۰^{-۸}$–$۱۰^{-۳}$	$۱۰^{-۶}$–$۱۰^{-۱}$	$۱۰^{-۸}$–$۱۰^{-۳}$
خلأ بسیار زیاد(UHV)	$۱۰^{-۱۲}$–$۱۰^{-۸}$	$۱۰^{-۱۰}$–$۱۰^{-۶}$	$۱۰^{-۱۲}$–$۱۰^{-۸}$
خلأبسیار بسیار زیاد(XHV)	$<۱۰^{-۱۲}$	$<۱۰^{-۱۰}$	$<۱۰^{-۱۲}$

رابطهٔ فشار با چگالی مولکول‌ها با معادلهٔ $p=knT$ که در آن k ثابت بولتزمن، n تعداد مولکول‌ها در هر میلی‌متر، و T دما برحسب کلوین است، یا اینکه به صورت $p=۱/۰۳۶\times۱۰^{-۱۹}$ 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 ب، شرایط و حالت‌های گاز در گستره‌های مختلف فشار، تفاوت‌های زیادی باهم دارند. ستون دوم درجدول ۵ـ۴تعداد مولکول‌های گاز را در هر میلی‌لیتر نشان می دهد : در فشار$۱۰^{-۱۶}$تور (کمترین فشاری که هم تولید شدنی و هم‌اندازه گرفتنی است) درهر میلی‌لیتر فقط حدود سه مولکول وجود دارد. ستون سوم، تعداد مولکول‌های گاز را که در هر ثانیه بر هر سانتی‌مترمربع برخورد می کنند، نشان می‌دهد. در ستون چهارم، گسترهٔ بسیار وسیع پارامترهای خلأ به روشن‌ترین شکل نشان داده شده است. مسافت آزاد میانگین، فاصلهٔ میانگین بین برخوردهای مولکول‌های گاز است؛ مسافت آزاد میانگین در فشارجو فقط ۶۷ mm (یعنی در حدود ۲۰۰۰برابر فاصلهٔ بین اتم‌ها در بلور فلزی)، و در فشار$۱۰^{-۱۶}$ Torr درحدود سه برابر فاصلهٔ بین زمین و خورشید است. ستون آخر، مدت زمان لازم برای تشکیل تک لایه‌ای از مولکول‌های گاز جذب شده را روی سطح نشان می‌دهد (با این فرض که هر مولکول گاز که به سطح برخورد می‌کند به آن نمی‌چسبد). این مدت زمان، از ۲/۹ ns در فشارجو تا۱۶۰سال در فشار $۱۰^{-۱۶}$ تور گسترده است.

جدول ب ـ گستره فشارهای قابل دسترس درخلأ

فشار (Torr)	چگالی مولکولی $mol.ml^{-1}$	شار مولکولی $mol.cm^{-2}.s^{-1}$	مسافت آزاد میانگین	زمان تک لایه‌ای
۷۶۰	$۲/۵\times۱۰^{۱۹}$	$۲/۹\times۱۰^{۲۳}$	۶۷nm	۲/۹ ns
۱	$۳/۳\times۱۰^{۱۶}$	$۳/۸\times۱۰^{۲۰}$	۵۱μm	۲/۲μs
$۱۰^{-۳}$	$۳/۳\times۱۰^{۱۳}$	$۳/۸\times۱۰^{۱۷}$	۵/۱ cm	۲/۲ms
$۱۰^{-۸}$	$۳/۳\times۱۰^{۸}$	$۳/۸\times۱۰^{۱۲}$	۵/۱ km	۳/۷min
$۱۰^{-۱۲}$	$۳/۳\times۱۰^{۲}$	$۳/۸\times۱۰^{۸}$	$۵/۱\times۱۰^{۴}$km	۲۵d
$۱۰^{-۱۶}$	۳/۳	$۳/۸\times۱۰^{۴}$	$۵/۱\times۱۰^{۸}$km=(۳/۴AU*)	۱۶۰y

فشار درفضای بین ستاره‌ای را در حدود$۱۰^{-۱۸}$ 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$۱۰^{-۱۱}$ تور تخلیه می‌شود وسپس آن را در هلیوم مایع در دمای k ۴/۲فرو می‌برند؛ فشار برآورد شده در این شرایط از مرتبهٔ$۱۰^{-۳۰}$ تور است. فشار در سطح کرهٔ ماه به هنگام شب در حدود$۱۰^{-۱۳}$تور است.
کاربرد خلأ برای تحقیقات علمی در موارد زیر بسیار متداول است : ۱) برای اینکه سطح‌ها در حالت تمیز یا حالت کاملاً مشخص نگه‌داری شوند (درمطالعهٔ سطوح از خلأ بسیار زیاد استفاده می‌شود) ، ۲) به‌منظور تولید پلاسما و نگه‌داری آن به‌صورت خالص (فیزیک پلاسما وتوکامک‌ها)، ۳) در راه‌اندازی دستگاه‌های باریکهٔ الکترونی و یونی، شتاب‌دهنده، برخورد دهنده و حلقه‌های انبارشی، و ۴) برای شبیه‌سازی شرایط فضایی.
در کاربردهای صنعتی در موارد زیر از خلأاستفاده می‌شود : ۱) بلند کردن وانتقال دادن (خلأ کم)؛ ۲)پردازش گرمایی، بسته‌بندی، خشک‌کردن، گاززدایی، عایق‌سازی یا الکتریکی (خلأ زیاد)؛ و ۳) ساخت لامپ‌های روشنایی، لامپ‌های خلأ و برخی ابزارهای حالت جامد.

* AU :یکای نجومی، فاصلهٔ زمین تا خورشید است.

دانستنی برای معلم

آیا رابطهٔ $p=\rho gh$ همواره برای محاسبهٔ فشار در گازها صادق است؟

برای بررسی دقیق‌تر موضوع بالا بهتر است با یک مثال شروع کنیم. فرض کنید چگالی هوا دراطراف زمین و در تمام ارتفاع‌ها یکنواخت و برابر $۱/۳\ kg/m^۳$ باشد. اگر P_h فشار هوا در ارتفاع h و $P_۰$ فشار هوا در سطح زمین باشد، داریم :

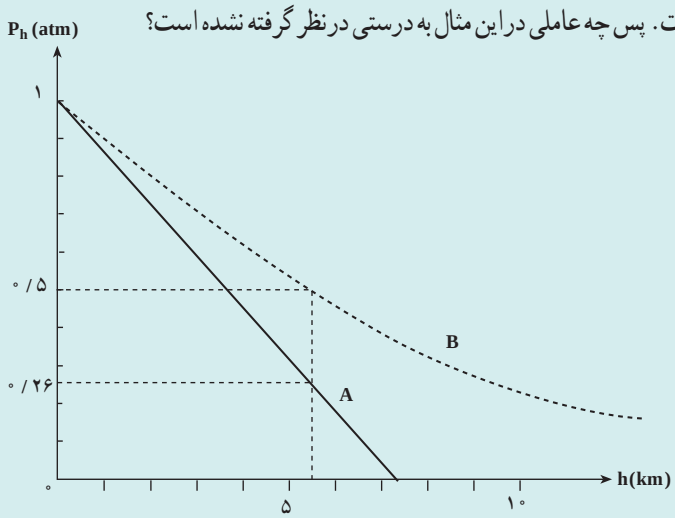
$$P_۰ = P_h + \rho gh$$

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

$$P_h = P_۰ - \rho gh = ۱ - \frac{۱/۳ \times ۹/۸ \times h}{۱۰^۵} = ۱ - ۰/۰۰۰۱۳\ h(atm)$$

منحنی P_h برحسب h درشکل زیر رسم شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود هنگامی که اختلاف ارتفاع بین دونقطه زیاد باشد، تغییر فشار قابل ملاحظه است و نمی‌توان آن را نادیده گرفت؛ مثلاً اختلاف فشار قلهٔ دماوند و سطح دریا از این روش برابر با ۰/۷۴ جوّ به‌دست می‌آید.

این مثال و نتیجهٔ به دست آمده نیز غیرواقعی است زیرا براین اساس آن ضخامت جوّ درحدود ۷/۷ km تخمین زده می‌شود. درصورتی که می‌دانیم این ضخامت درحدود ۱۰۰۰ کیلومتر است. پس چه عاملی دراین مثال به درستی درنظر گرفته نشده است؟



نمودار A بدون تغییرات ρ چگالی نسبت به ارتفاع

نمودار B با تغییرات ρ چگالی نسبت به ارتفاع

در این مثال چگالی هوا در تمام ارتفاع‌ها یکسان فرض شده است. ولی در ادامه خواهیم داشت که این فرض درست نیست. در شاره‌ها، وزن شارهٔ موجود در بالای هر لایه باعث می‌شود که آن لایه متراکم شود. در نتیجه با زیاد شدن عمق، چگالی شاره افزایش می یابد. در به‌دست آوردن رابطهٔ اخیر تغییر چگالی با ارتفاع درنظر گرفته نشده است. ما دراین محاسبه‌ها، چگالی را در همه جای شاره یکسان فرض کرده‌ایم. بستگی چگالی به عمق در مایع‌ها قابل ملاحظه نیست زیرا، مایع‌ها تا حدود زیادی تراکم‌ناپذیرند. در نتیجه لایه‌ها بسیار کم متراکم می‌شوند ومی‌توان گفت چگالی مایع‌ها عملاً درتمام مایع یکسان است. درنتیجه، رابطهٔ اخیر باتقریب بسیار خوبی برای مایع‌ها صادق است. ولی درمورد گازها خصوصاً هنگامی که مثلاً مانند جوزمین، با ارتفاع زیادی از گاز سروکار داریم، باید تغییرچگالی با ارتفاع را نیز درمحاسبه‌های خود درنظر بگیریم. می‌توان نشان داد که اگر تغییرات چگالی با ارتفاع را درنظر بگیریم و فشار جوّ را برحسب ارتفاع محاسبه کنیم، منحنی خط‌چین درشکل بالا به دست می آید. با مقایسهٔ این دو منحنی ملاحظه می‌شود برای به‌دست آوردن پاسخ‌های واقعی‌تر باید تغییر چگالی با ارتفاع را نیز درنظر گرفت. با استفاده از منحنی خط‌چین، اختلاف فشار قله دماوند و سطح دریا برابر با ۰/۵ جوّ به دست می‌آید.

۳ــ۵ــ شناوری و اصل ارشمیدس

راهنمای تدریس : هدف این بخش آشناکردن دانش‌آموزان با پدیدهٔ شناوری و اصل ارشمیدس است. از آنجا که در بخش‌های قبلی دانش‌آموزان با مفاهیم موردنیاز برای توصیف پدیدهٔ شناوری آشنا شده‌اند، لذا این بخش را مطابق روند کتاب درسی به‌طور تجربی (با انجام فعالیت‌های ساده) و توضیح و توصیف آنچه توسط دانش‌آموزان مشاهده می‌شود دنبال کنید.

انجام آزمایش (شکل۲ــ۲۴) برای بررسی اصل ارشمیدس می‌تواند شناخت خوبی از شناوری و این اصل برای دانش‌آموزان فراهم کند.

پاسخ پرسش ۳ــ۷

از راست به چپ

- نیروی شناوری بیشتر از وزن بادکنک محتوای گاز هلیم است و بادکنک رو به بالا می‌رود.
- نیروی شناوری با وزن قطعه برابر است و قطعه روی آب شناور می‌ماند.
- نیروی وزن بیشتر از نیروی شناوری است و قطعه سنگ درون آب سقوط می‌کند تا به کف ظرف برسد.
- نیروی شناوری با نیروی وزن برابر است و جسم درون آب به‌صورت غوطه‌ور می‌ماند.

پاسخ پرسش ۳ــ۸

۱ در شکل الف (سمت راست) نیروی وزن بزرگ‌تر از نیروی شناوری است و جسم به طرف کف ظرف سقوط می‌کند. در این شرایط چگالی جسم بیشتر از چگالی شاره است.
درشکل الف (سمت چپ) نیروی شناوری بزرگ‌تر از نیروی وزن جسم است و جسم به طرف بالا حرکت می‌کند تا در سطح آب به‌طور شناور بماند. در این شرایط چگالی جسم کمتر از چگالی شاره است.
در حالت شناوری، نیروی وزن با نیروی شناوری در حال موازنه هستند.

۲ عکس‌العمل ناشی از نیروی شناوری که به انگشت دست وارد شده، به کف ظرف و در نتیجه ترازو وارد می‌شود. لذا عقربه ترازو با وارد کردن انگشت، عدد بزرگ‌تری را نشان می‌دهد.

۳ با تغییر شکل یک قطعه، می‌توان حجم شارهٔ جابه‌جا شده توسط آن را تغییر داد. وقتی جسم به‌صورت مکعب است، حجم شارهٔ جابه‌جا شده توسط آن، نسبت به حالت دیگر که در شکل نشان داده شده کمتر است. در نتیجه قطعهٔ آهنی مکعبی شکل درون آب فرو می‌رود. در حالی که قطعهٔ تغییر شکل یافته (که مشابه U کشیده است) روی سطح آب شناور می‌ماند. اساس ساخت کشتی‌های فولادی، همین تجربهٔ ساده است که شکل آن در کتاب نشان داده شده است.

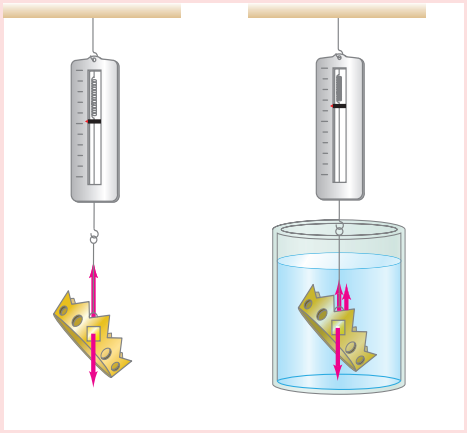
پاسخ فعالیت ۳ــ۱۰

این فعالیت ساده را به کمک یک قطعه چوب و وزنه‌ای فلزی انجام دهید. انتظار می‌رود تا دانش‌آموزان با توجه به مفاهیمی که تاکنون فراگرفته‌اند ابتدا پیش‌بینی کنند و سپس با مشاهده نتیجه آزمایش، بتوانند با دلایل کافی توضیح دهند.
در حالت شکل الف نیرویی معادل وزن قطعه فلزی، به قطعه چوبی وارد می‌شود در حالی که در حالت شکل ب، نیروی شناوری تا حدودی از وزن قطعه می‌کاهد و در نتیجه نیروی کمتری از طرف قطعهٔ فلزی به قطعهٔ چوبی وارد می‌شود. به‌این‌ترتیب در حالت الف، قطعهٔ چوبی بیشتر در آب فرو می‌رود.

پرسش‌های پیشنهادی

۱ توضیح دهید چرا نیروسنج شکل الف نسبت به نیروسنج شکل ب مقدار کمتری را نشان می‌دهد؟

پاسخ: در شکل (ب) نیروسنج نیروی وزن جسم را نشان می‌دهد درحالی‌که در حالت (الف) نیروسنج برآیند دو نیروی شناوری و وزن جسم را نشان می‌دهد.



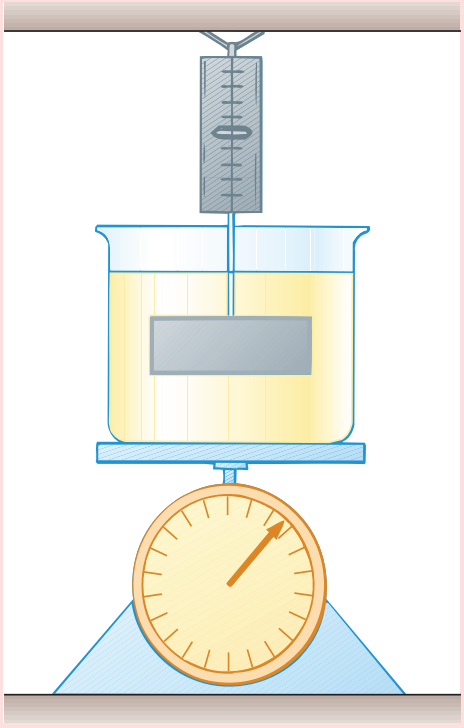
۲ قبل از بردن جسم به درون مایع شکل روبه‌رو، عددی را که به‌ترتیب نیروسنج وترازو می‌خوانند درکدام گزینه درست بیان شده است؟

الف) هر دو عدد بزرگ‌تری را نشان می‌دادند.

ب) هر دو عدد کوچک‌تری را نشان می‌دادند.

پ) ترازو عدد بزرگ تر و نیروسنج عدد کوچک‌تری را نشان می‌دهد.

ت) ترازو عدد کوچک‌تر و نیروسنج عدد بزرگ‌تری را نشان می‌دادند.



پاسخ:

۱ــ در شکل (ب) نیروسنج نیروی وزن جسم را نشان می‌دهد در حالی که در حالت (الف) نیروسنج برآیند دو نیروی شناوری و وزن جسم را نشان می‌دهد.

۲ــ (پ) به جسم که به نیروسنج متصل است در داخل مایع نیروی شناوری به طرف بالا وارد می‌شود و باعث می‌شود نیروی کمتری را نشان دهد و درمورد ترازو عکس العمل نیروی شناوری به طرف پایین به کفه ترازو وارد می‌شود و باعث می‌شود عدد بزرگ‌تری را نشان دهد. به این ترتیب گزینهٔ پ درست است.

۳ــ۶ــ شارهٔ در حرکت و اصل برنولی

راهنمای تدریس: برای شروع پیشنهاد می‌شود که تفاوت حرکت لایه‌ای یک شاره و حرکت تلاطمی آن را به کمک یک آزمایش ساده برای دانش‌آموزان نمایش دهید. دو بطری (ترجیحاً ۱/۵لیتری) را اختیارکنید. بطری اول را از آب پر کنید و درب آن را با دست خود بگیرید وبطری را روی ظرف یا پارچی وارونه کنید و از دانش‌آموزان بخواهید تا به نحوهٔ خروج آب از بطری توجه کنند. ته بطری دوم را روزنه‌ای کوچک ایجاد کنید و روزنه را با چسب نواری مسدود کنید. اکنون بطری را از آب پر کنید و درب آن را با دست خود بگیرید تا آب خارج نشود. چسب نواری را از ته بطری جدا کنید. اکنون دست خود را از درب بطری بردارید و از دانش‌آموزان بخواهید تا به نحوهٔ خروج آب از بطری توجه کنند و با حالت قبل (بطری اول) مقایسه کنند.

در حالت اول، آب به صورت متلاطم از بطری خارج می‌شود، زیرا هم‌زمان با خروج آب، هوا نیز وارد بطری می‌شود و سبب حرکت متلاطم آن می‌شود. در حالت دوم، هوا از روزنهٔ ایجاد شده در ته بطری وارد آن می‌شود و آب به صورت لایه‌ای از بطری خارج می‌شود.

پس از انجام این فعالیت ساده، به بررسی شکل۳ــ۲۵ و خطوط جریان و نقش‌کلی جریان شاره در حرکت لایه‌ای و حرکت متلاطم بپردازید.

پاسخ پرسش ۳ــ۹

انتظار می‌رود که دانش‌آموزان با توجه به معادلهٔ پیوستگی قادر باشند به سادگی به این پرسش پاسخ دهند.

هرچه آب خروجی از شیر، به زمین نزدیک‌تر می‌شود تندی آن افزایش می‌یابد. لذا با توجه به معادلهٔ پیوستگی باید سطح مقطع آن نیز کاهش یابد.

پاسخ فعالیت ۳ــ۱۱

الف) با دمیدن در بالای نی عمودی، هوای بالای نی با تندی زیادی جریان می‌یابد و فشار آن کاهش می‌یابد. به این ترتیب با کاهش فشار هوا، درست در بالای دهانهٔ نی عمودی، فشار هوا به سطح آب سبب بالا رفتن آب از نی می‌شود و به دلیل اختلاف فشار قابل توجه به‌صورت قطرات ریزی به اطراف پاشیده می‌شود.

ب) در واقع این فعالیت ساده نشان می‌دهد که اصل برنولی برای تمامی شاره‌ها (شامل گاز و مایع) برقرار است. پس از برقرار شدن جریان آب بین دو قایق، فشار ناشی از آب کاهش می‌یابد و فشار آب دو طرف قایق‌ها، سبب می‌شود که قایق‌ها به‌طرف هم کشیده شوند.

پاسخ پرسش ۳ــ۱۰

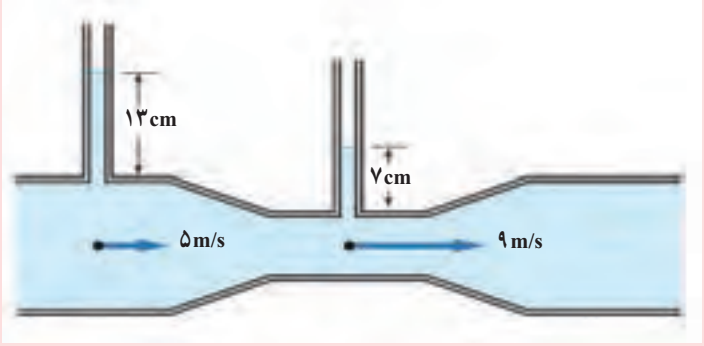
الف) وزش باد (جریان تند هوا) بالای آب دریا و اقیانوس، سبب کاهش فشار هوا می‌شود و همین موضوع به افزایش ارتفاع میانگین امواج دریا کمک می‌کند.

ب) وقتی کامیون درحال حرکت است، فشار هوای روی پوشش برزنتی کاهش می‌یابد و در نتیجه هوای زیر پوشش برزنتی که فشار بیشتری دارد سبب پُف کردن پوشش برزنتی به طرف بالا می‌شود.

پرسش‌های پیشنهادی

۱ شکل زیر لوله‌ای با سطح مقطع متفاوت را نشان می‌دهد که لوله‌های قائمی در دو قسمت آن تعبیه شده است. تمام حجم درون این لوله از شارهٔ درحال حرکتی پرشده است. دریافت خود را دراین شکل باتوجه به اصل برنولی بیان کنید.

پاسخ : باتوجه به اصل برنولی در ناحیه‌ای که سطح مقطع لوله بیشتر است شاره داخل لوله متصل به آن نسبت به قسمتی که لوله باریک شده است بیشتر بالا رفته واین یعنی در این ناحیه فشار بیشتر است زیرا سرعت شاره کمتر است.



۲ با توجه به اطلاعات روی شکل زیر، تندی خروج محلول درون سرنگ را پیدا کنید.

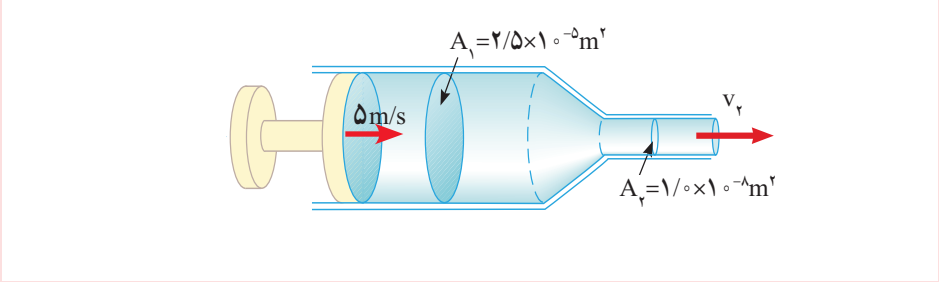
پاسخ :

$v_۱=۵\ m/s$ و $A_۱=۲/۵\times ۱۰^{-۵}m^۲$

$A_۲=۱/۰\times ۱۰^{-۸}m^۲$ و $v_۲=?$

$A_۱v_۱=A_۲v_۲ \Rightarrow ۲/۵\times ۱۰^{-۵}m^۲\times ۵\ m/s = ۱/۰\times ۱۰^{-۸}m^۲\times v_۲$

$\Rightarrow v_۲=۱/۲۵\times ۱۰^{۴}m/s$



پرسش‌های پیشنهادی

الف) مطابق شکل الف دو قوطی نوشابه را در فاصلهٔ نزدیکی از یکدیگر قرار دهید، و به کمک یک نی نوشابه، در فضای بین دو قوطی بدمید. دلیل آنچه را که مشاهده می‌کنید توضیح دهید.

ب) با توجه به نتایج آزمایش بالا، چرا مسافران هنگام رسیدن قطار مترو به ایستگاه، باید از خط زرد فاصله بگیرند؟

(الف)

(ب)

پ) چرا در بزرگراه‌ها که خودروها با تندی زیادی در حرکت‌اند، باید فاصلهٔ جانبی عرضی را رعایت کنند؟ چرا کورس گذاشتن شانه به شانهٔ دو خودرو که با تندی زیادی در حرکت‌اند، خطرناک است؟

پاسخ :

الف) قوطی‌های نوشابه به هم نزدیک می‌شوند زیرا مطابق اصل برنولی چون هوای بین نوشابه‌ها تندی بیشتری دارد، بنابراین فشار دراین ناحیه کم شده و نوشابه‌ها به طرف هم جذب می‌شوند.

ب) هوای اطراف قطار به دلیل حرکت قطار با تندی بیشتری نسبت به هوای اطراف حرکت می‌کند بنابراین در نزدیکی قطار یک ناحیه کم‌فشار ایجاد می‌شود که برای احتیاط باید از این ناحیه فاصله گرفت.

پ) به دلیل ناحیه کم‌فشاری که بین دو خودروی درحال حرکت ایجاد می‌شود احتمال کشیده شدن آن به طرف هم وجود دارد.

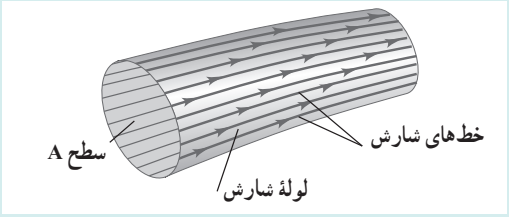
دانستنی برای معلم

شارش شاره

شارش شاره، همان‌طور که در جریان تندآب رودخانه یا پیچ وتاب شعلهٔ آتش دیده می‌شود، می‌تواند بسیار پیچیده باشد. اما برخی از وضعیت‌ها را می‌توان توسط مدل‌های آرمانی نسبتاً ساده‌ای بیان کرد. یک **شارهٔ آرمانی**، شاره‌ای است که تراکم‌ناپذیر است (یعنی، چگالی آن نمی‌تواند تغییر کند) و اصطکاک داخلی (که **چسبندگی** یا **وشکسانی** نامیده می‌شود) ندارد. در اغلب موارد مایع‌ها تقریباً تراکم‌ناپذیرند، همچنین در یک گاز اگر اختلاف فشار از یک ناحیه به ناحیهٔ دیگر آن چندان زیاد نباشد می‌توان آن را تراکم‌ناپذیر در نظر گرفت. چنانچه شاره‌ای درون یک لوله یا اطراف یک مانع جریان یابد، وقتی دو لایهٔ مجاور شاره نسبت به یکدیگر حرکت کنند اصطکاک داخلی باعث تنش‌های برشی در آن می‌شود. دربرخی موارد می‌توان این نیروهای برشی را در مقایسه با نیروهای ناشی از گرانش و اختلاف فشار نادیده گرفت.

مسیر یک ذرهٔ منفرد در یک شاره درحال حرکت، **خط شارش** نامیده می‌شود. اگر نقش کلی شارش با زمان تغییر نکند شارش، **شارش پایا** نامیده می‌شود. در شارش پایا هر جزء شاره که از نقطهٔ معینی می‌گذرد خط شارش یکسانی را دنبال می‌کند. دراین حالت اگر چه سرعت یک ذرهٔ خاصی ممکن است هم ازنظر جهت و هم‌اندازه، درحین حرکت آن تغییر کند، اما «نقشهٔ» سرعت‌های شاره در نقطه‌های متفاوت در فضا ثابت می‌ماند. **خط جریان** یک منحنی است که خط مماس در هر نقطهٔ آن در جهت سرعت شاره در آن نقطه است. وقتی نقش شارش با زمان تغییر کند، خط‌های جریان با خط‌های شارش برخورد نمی‌کنند. تنها به بررسی حالت‌های شارش پایا،که درآنها خط‌های جریان و خط‌های شارش یکی هستند، می‌پردازیم.

خط‌های شارش که از کناره‌های یک جزء فرضی سطح می‌گذرند، مانند سطح A در شکل۱ لوله‌ای به نام **لولهٔ شارش** تشکیل می‌دهند. با توجه به تعریف خط شارش، در شارش پایا شاره نمی‌تواند از جدار لولهٔ شارش عبور کند؛ و شاره‌ها در لوله‌های شارش مختلف نمی‌توانند باهم مخلوط شوند.



شکل۱ــ لولهٔ شارش توسط خط‌های شارش محدود شده است. در شارش پایا، شاره نمی‌تواند از دیوارهای لولهٔ شارش عبور کند.

شکل ۲ نقش‌های شارش شاره را ازچپ به راست در اطراف تعدادی مانع نشان می‌دهد. این عکس‌ها با تزریق رنگ درون آب درحال شارش بین دو صفحهٔ شیشه‌ای نزدیک به‌هم تهیه شده است. این نقش‌ها نوعی **شارش لایه‌ای** هستند، به طوری که لایه‌های مجاور شاره به آرامی روی یکدیگر می‌لغزند و شارش پایاست (منظور از لایه، یک ورقهٔ نازک است). در آهنگ‌های شارش به حد کافی بزرگ، یا وقتی سطح‌های مرزی باعث تغییر ناگهانی در سرعت می‌شوند، شارش می‌تواند نامنظم و آشوبناک شود. این وضعیت **شارش متلاطم** نامیده می‌شود (شکل۳). در شارش متلاطم نقش حالت پایا وجود ندارد؛ نقش شارش به‌طور پیوسته تغییر می‌کند.

شکل ۲ــ شارش لایه‌ای اطراف مانع‌هایی با شکل‌های مختلف.

شکل ۳ــ شارش دود از سر چوب‌های عود تا نقطهٔ معینی به صورت لایه‌ای بالا می‌روند و سپس متلاطم می‌شوند.

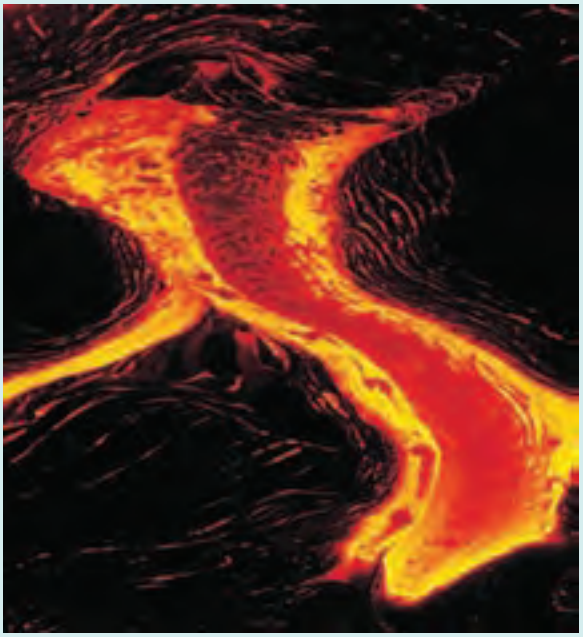
دانستنی برای معلم

چسبندگی

چسبندگی اصطکاک داخلی درون یک شاره است. نیروهای چسبندگی با حرکت یک بخش از یک شاره نسبت به بخش دیگر مخالفت می‌کند. چسبندگی دلیل تلاشی است که برای پارو زدن یک قایق در آب آرام صورت می‌گیرد، چسبندگی همچنین دلیل بر این است که پارو کار انجام می‌دهد. اثرهای چسبندگی در شارش شاره‌ها در لوله‌ها، جریان خون، روغن‌کاری بخش‌هایی از موتور و بسیاری دیگر از موقعیت‌ها از اهمیت برخوردارند.

شاره‌هایی نظیر آب یا بنزین که به راحتی شارش می‌یابند، نسبت به مایع‌های غلیظی مانند عسل یا روغن موتور دارای چسبندگی

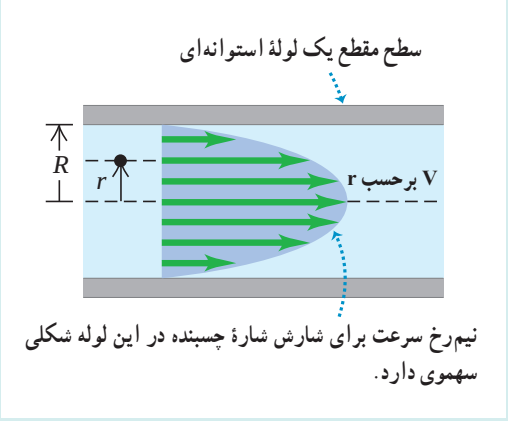
کمتری هستند. چسبندگی همهٔ شاره‌ها به شدت به دما بستگی دارد، به‌طوری که با افزایش دما چسبندگی گازها افزایش و چسبندگی مایع‌ها کاهش می‌یابد (شکل۱). یک هدف مهم درتهیهٔ روغن‌ها برای روغن‌کاری موتورها، این است که تغییر دمایی چسبندگی را تا حد امکان کاهش دهند.



شکل ۱ــ گدازه‌های آتشفشان نمونه‌ای از یک شارهٔ چسبنده است. چسبندگی با افزایش دما، کاهش می‌یابد. هرچه گدازه داغ‌تر باشد راحت‌تر جریان می‌یابد.

یک شارهٔ چسبنده تمایل به چسبیدن به سطح جامدی دارد که با آن درتماس است. همواره یک لایه مرزی نازک شاره در نزدیک سطح وجود داردکه شاره نسبت به سطح تقریباً ساکن است. به همین دلیل ذره‌های غبار می‌توانند به پرهٔ پنکه حتی وقتی به سرعت می‌چرخد بچسبند، و اینکه نمی‌توان همهٔ لکه‌های روی بدنهٔ اتومبیل را تنها با فوران آب شیلنگ شست.

چسبندگی اثرهای مهمی روی شارش مایع درون لوله‌ها، ازجمله جریان خون در دستگاه گردش خون دارد. ابتدا شاره‌ای با چسبندگی صفر را درنظر بگیرید. از معادلهٔ برنولی نتیجه می‌گیریم که فشار در هر دو سر لوله یکسان است. اما اگر چسبندگی را به حساب آوریم این نتیجه به‌سادگی درست نیست. برای بررسی دلیل آن، شکل۲ را درنظر بگیرید که نیم رخ شارش را برای شارش لایه‌ای یک شارهٔ چسبنده در یک لولهٔ استوانه‌ای بلند نشان می‌دهد. به‌دلیل چسبندگی،تندی درجدارهٔ لوله صفر(چون شاره می‌چسبد) و درمرکز آن بیشترین است. این حرکت شبیه لغزیدن تعداد زیادی لولهٔ هم مرکز نسبت به یکدیگر است، به‌طوری که لولهٔ مرکزی بزرگ‌ترین تندی را دارد و بیرونی‌ترین لوله ساکن است. نیروهای چسبنده بین لوله‌ها با این لغزش مخالفت می‌کنند، بنابراین برای نگه‌داشتن جریان شاره باید فشار بزرگ‌تری به عقب شاره نسبت به جلوی آن وارد کنیم. به همین دلیل برای خروج شاره از تیوب خمیردندان یا بستهٔ سس گوجه‌فرنگی باید آنها را فشار دهیم (هردو شاره چسبنده‌اند). انگشت‌های شما فشاری به عقب شاره وارد می‌کنند که از فشار جو درجلوی شاره خیلی بیشتر است.



شکل ۲ــ نیم‌رخ سرعت برای یک شارهٔ چسبنده در یک لولهٔ استوانه‌ای

اختلاف فشار لازم برای نگه‌داشتن آهنگ شارش حجمی معینی به بیرون یک لولهٔ استوانه‌ای به‌طول L و شعاع R با L/R^4 متناسب است. اگر R به نصف کاهش یابد، فشار لازم به اندازهٔ $2^4=16$ برابر افزایش می‌یابد؛ با کاهش R به‌اندازهٔ ۹۰/۰ (۱۰درصد کاهش) اختلاف فشارلازم به‌اندازهٔ $(1/0/90)^4=1/52$ افزایش می‌یابد. (حدود۵۲درصدافزایش). این رابطهٔ ساده ارتباط بین یک برنامهٔ‌غذایی با کلسترول بالا (که به تنگ شدن سرخرگ‌ها تمایل دارد) وفشارخون بالا را بیان می‌کند. به دلیل بستگی R^4، حتی تنگ‌شدن اندک سرخرگ‌ها می‌تواند منجر به افزایش چشمگیری در بالارفتن فشار خون شود و به ماهیچه‌های قلب صدمه بزند.

تلاطم

وقتی تندی شارش شاره‌ای از مقدار معینی فراتر رود شارش دیگر لایه‌ای نیست. درعوض، نقش شارش بی‌اندازه نامنظم و پیچیده می‌شود، و به‌طور پیوسته با زمان تغییر می‌کند و دیگر نقش حالت پایایی وجود ندارد. این شارش نامنظم و آشوبناک، **تلاطم** نامیده می‌شود. شکل۳ (دانستنی قبلی) تفاوت بین شارش لایه‌ای و متلاطم را برای دودی که در هوا بالا می‌رود نشان می‌دهد. معادلهٔ برنولی درجایی که تلاطم وجود داشته باشد کاربرد ندارد زیرا شارش پایا نیست.

اینکه شارشی لایه‌ای یا متلاطم باشد تا اندازه‌ای به چسبندگی شاره بستگی دارد. هرچه چسبندگی بیشتر باشد تمایل شاره برای شارش به صورت ورقه‌ای یا لایه‌ای بیشتر است و جریان عمدتاً به‌صورت لایه‌ای است.

هنگام بررسی معادلهٔ برنولی، فرض کردیم که شارش لایه ای و شاره دارای چسبندگی صفر بوده است. درواقع، *اندکی* چسبندگی لازم است تا اطمینان یابیم که جریان لایه ای است.

برای شاره‌ای با چسبندگی معین، تندی شارش عاملی تعیین کننده برای آغاز تلاطم است. نقش شارشی که در تندی‌های کم پایدار است به مجرد رسیدن به تندی بحرانی ناپایدار می‌شود، بی‌نظمی‌ها در نقش شارش می‌تواند توسط ناصافی‌ها در دیوارهٔ لوله، تغییرات چگالی شاره و عوامل بسیار دیگری به‌وجود آید. این بی نظمی‌ها در تندی‌های کم شارش از بین می‌رود؛ نقش شارش پایدار و به حفظ طبیعت لایه‌ای خود متمایل می‌شود. (شکل۳ الف). اما وقتی شارش به تندی بحرانی می‌رسد، نقش شارش ناپایدار می‌شود. این بی‌نظمی‌ها دیگر ازبین نمی‌روند اما آنچنان رشد می‌کنند تا نقش شارش لایه‌ای به‌طور کامل از بین برود (شکل ۳ ب).

جریان خون عادی در سرخرگ انسان لایه‌ای است، اما یک بی‌نظمی کوچک مانند آسیبی در قلب می‌تواند سبب جریان متلاطم شود. تلاطم منجر به نوفه می‌شود، به همین دلیل گوش‌دادن به جریان خون با گوشی روش مفیدی برای تشخیص بیماری قلبی است.

(ب) (الف)

شکل۳ــ شارش آب از یک شیر(الف) در تندی‌های کم لایه‌ای. اما (ب) در تندی‌های به حد کافی زیاد متلاطم است.

راهنمای پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳

۱ انتظار می‌رود دانش‌آموزان با توجه به مفهوم چگالی و مقایسهٔ شکل‌ها با یکدیگر بتوانند توضیحی قانع‌کننده ارائه دهند. این شکل‌ها به نوعی نشان‌دهندهٔ تفاوت چگالی حالت‌های مختلف ماده است. ماده درحالت گازی کمترین چگالی را دارد.

۲ بدنهٔ دوچرخه باید استحکام کافی داشته باشد و در اثر ضربه و نیروهایی که به آن وارد می‌شود تغییر شکل پیدا نکند. بنابراین بدنهٔ آن را از یک جامد محکم و ترجیحاً سبک می‌سازند. برای کاهش اصطکاک بین قسمت‌های فلزی که روی هم حرکت می‌کنند یا می‌لغزند از روغن استفاده می‌شود تا خوردگی به حداقل ممکن برسد و طول عمر و کارایی این قطعه‌ها افزایش یابد.
برای اینکه گازها خاصیت تراکم‌پذیری دارند لاستیک‌های دوچرخه را از هوا پر می‌کنند تا سبب حرکت نرم و بدون تکان‌های شدید در حین دوچرخه‌سواری شود.

۳ الف) در دمای اتاق، مولکول‌های زیادی ($500\ m/s$) در حرکت‌اند (در هر cm^3 هوا از مرتبهٔ 10^{19} عدد) و با برخورد به ذرات درشت گچ، سبب حرکت نامنظم و کاتوره‌ای آنها می‌شوند.
ب) اگر برخورد مولکول‌های هوا با ذرات ریز گچ وجود نمی‌داشت انتظار می‌رفت که پس از لحظه‌ای کوتاه به‌طرف زمین سقوط کنند. از آنجا که در عمل مشاهده می‌شود ذرات گچ برای مدت نسبتاً طولانی به‌طور نامنظم در هوا حرکت می‌کنند تا به سطح زمین برسند، نتیجه گرفته می‌شود که مولکول‌های هوا وجود دارند و اثر برخورد آنها سبب حرکت نامنظم ذرات گچ می‌شود.

۴ الف) به پاسخ پرسش ۳ــ۱ مراجعه کنید. همچنین می‌توان به پخش شدن بوی غذا در فضای خانه به عنوان مثال دیگری اشاره کرد.
ب) به‌دلیل خاصیت تراوایی (Permeability) سطح بادکنک، مولکول‌های هوای درون بادکنک دربسته، به تدریج و در مدتی نسبتاً طولانی از آن خارج می‌شوند.

۵ به محتوای کتاب درسی مراجعه شود.

۶ به پاسخ پرسش ۳ــ۳ توجه کنید.

۷ الف) نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب بیشتر از نیروی دگرچسبی مولکول‌های آب و موهای قلم‌مو است. بنابراین وقتی که قلم‌مو را از آب بیرون می‌کشیم، نیروی هم‌چسبی مولکول‌های آب، سبب می‌شود تا لایه‌ای از آب در اطراف موهای قلم تشکیل شود و موهای قلم به یکدیگر بچسبند.
ب) از آنجا که پدیدهٔ مویینگی در لوله‌های باریک‌تر، بهتر رخ می‌دهد، لذا مولکول‌های در لولهٔ a ارتفاع ستون مایع نسبت به لولهٔ b، بیشتر است. نیروی هم‌چسبی مولکول‌های مایع کمتر از نیروی دگرچسبی مایع و مولکول‌های جدارهٔ داخلی لوله است.

۸ الف) انتظار می‌رود دانش‌آموزان به بزرگ‌بودن نیروی هم‌چسبی مولکول‌های آب در مقایسه با نیروی هم‌چسبی اندک ذرات ریزگرد اشاره کنند.
ب) این قسمت را به‌صورت یک کار تحقیقی به دانش‌آموزان (ترجیحاً گروهی) واگذار کنید و از آنها بخواهید نتیجه را به کلاس ارائه دهند. دانش‌آموزان با جستجوی عبارت «راهکارهای مقابله با ریزگردها» در اینترنت، می‌توانند به مطالب مستندی در این خصوص دست یابند.

۹ بزرگ‌بودن نیروی هم‌چسبی مولکول‌های آب، امکان این شکار زیبا و دقیق را توسط ماهی کمان‌گیر فراهم می‌کند.
دانش‌آموزان می‌توانند با جستجوی واژهٔ archerfish در اینترنت، افزون بر تصاویر زیبا، به فیلم‌های جذابی در خصوص شکار حشرات توسط ماهی کمان‌گیر دست یابند.

۱۰ با استفاده از رابطهٔ $P = \frac{F}{A}$ داریم

$$P = ۲atm - ۱atm = ۱atm \simeq ۱۰^{۵}Pa$$
$$A = ۴ \times ۱۰^{-۶}m^{۲}$$
$$F = PA = (۱۰^{۵}Pa)(۴ \times ۱۰^{-۶}m^{۲}) = ۰/۴N$$
$$F = W = mg \Rightarrow m \simeq ۴۰g$$

۱۱ الف) خلأ نسبی (شامل بخار جیوه با چگالی بسیار کم)
ب) فشار هوای بیرون که بر سطح جیوهٔ درون ظرف وارد می‌شود. این فشار با فشار ناشی از ستون جیوهٔ درون لوله برابر است.
پ) در کنار دریا حدود $۱۰^{۵}Pa$ یا $۷۶cmHg$ است.
ت) ارتفاع ستون جیوه کاهش می‌یابد، زیرا فشار هوای وارد شده به سطح جیوهٔ درون ظرف کاهش می‌یابد. انتظار می‌رود به شکل ۳ــ۱۸ مراجعه کنند و براساس آن بتوانند دلیل کاهش فشار هوا در بالای کوه را توضیح دهند.
قسمت (ث) را نیز همکاران عزیز می‌توانند به این پرسش اضافه کنند و از دانش‌آموزان بخواهند با توجه به داده‌های روی شکل، فشار هوا را در محیطی که این جوّسنج قرار گرفته است حساب کنند.

۱۲ الف) با توجه به نمودار شکل ۳ــ۱۸ ب، فشار هوا بین ارتفاع ۲ تا ۳ کیلومتر از سطح زمین بین $۸ \times ۱۰^{۵}Pa$ تا $۷ \times ۱۰^{۵}Pa$ تغییر می‌کند. لذا انتظار می‌رود تا دانش‌آموزان از روی نمودار و با نقطه‌یابی فشار هوای هر شهر را به‌طور تقریبی گزارش کنند.
ب) با جای‌گذاری $P_{۰} = ۱۰^{۵}Pa$ و $\bar{\rho} = ۱/۰۱kg/m^{۳}$ در رابطهٔ $P = P_{۰} - \bar{\rho}gh$، به ازای ارتفاع هر شهر به سادگی می‌توان، فشار هوا را در آن شهر به‌دست آورد. خوب است دانش‌آموزان نتیجه به‌دست آمده در قسمت ب را با قسمت الف مقایسه کنند.

۱۳ اختلاف فشار درون ریهٔ غواص با فشار وارد بر قفسهٔ سینهٔ او، برابر است با :

$$\Delta P = \rho gh \simeq (۱۰۰۰\,kg/m^۳)(۱۰\,N/kg)(۶/۱۵m)$$
$$= ۶/۱۵ \times ۱۰^۴ Pa \simeq ۰/۶۵atm$$

همان‌طور که دیده می‌شود، این اختلاف فشار مقوله قابل توجهی است و به همین دلیل غواص نمی‌تواند صرفاً با گرفتن سر لوله‌ای در دهان خود، در حالی که سر دیگر آن از آب بیرون است، از یک عمقی به پایین نفس بکشد.

۱۴ با درنظرگرفتن دو نقطه هم‌تراز (یکی از نقاط در محل تماس مایع $\rho_۲$ با مایع $\rho_۱$، و نقطه دیگر درست روبه‌روی آن در مایع $\rho_۱$) و استفاده از اصل پاسکال، داریم :

$$P_g + \rho_۱ gh_۱ = \rho_۲ gh_۲ + P_۰$$

با جای‌گذاری مقادیر داده شده خواهیم داشت :

$$۷۶/۵ \times ۱۰^۳ Pa + (۱۳/۶ \times ۱۰^۳ kg/m^۳)(۹/۸۱\,N/kg)(۰/۲۲m) = ۱۰۱ \times ۱۰^۳ Pa + \rho_۲(۹/۸۱\,N/kg)(۰/۴m)$$

$$\Rightarrow \rho_۲ = \frac{۲۵\times۱۰^۳ + ۲۹/۴\times۱۰^۳}{۳/۹} = \frac{۴/۳\times۱۰^۳}{۳/۹} \simeq ۱۱۰۲\,kg/m^۳$$

۱۵ با توجه به شکل زیر و استفاده از اصل پاسکال داریم :

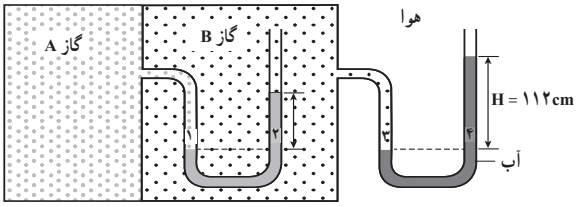
$$P_۱ = P_۲ \Rightarrow P_A = P_B + \rho gh$$
$$P_۳ = P_۴ \Rightarrow P_B = P_۰ + \rho gh$$

با جای‌گذاری مقادیر داده شده داریم :

$$۱/۲۰ \times ۱۰^۵ Pa = P_B + (۱۰۰۰\,kg/m^۳)(۱۰\,N/kg)(h)$$
$$P_B = ۱/۰۱ \times ۱۰^۵ Pa + (۱۰۰۰\,kg/m^۳)(۱۰\,N/kg)(۱/۱۰m) \simeq ۱/۱۲ \times ۱۰^۵ Pa$$

با جای‌گذاری P_B در رابطه بالا داریم :

$$۰/۰۸ \times ۱۰^۵ Pa = ۱۰^۴ h \Rightarrow h = ۰/۸m = ۸۰\,cm$$



۱۶ چون حجم مساوی از آب و روغن استفاده شده است، با توجه به شکل و در محل تماس دو مایع داریم :

$$P + \rho_{oil} gh = P_۰ + \rho_{water} gh$$

که در آن P فشار هوای دمیده شده توسط شخص است. به این ترتیب فشار پیمانه‌ای هوای درون ریهٔ شخص برابر است با

$$\Delta P = P_۰ - P = (\rho_{water} - \rho_{oil}) = (۱۰۰۰\,kg/m^۳ - ۸۰۵\,kg/m^۳)(۹/۸\,N/kg)(۸۰ \times ۱۰^{-۲} m) \simeq ۱۵۳۰gh\ Pa$$

۱۷ چون نوشابه‌های رژیمی حاوی شکر نیستند و مقداری شیرین‌کنندهٔ مصنوعی با چگالی کمتر از چگالی شکر در آنها استفاده شده است، لذا به دلیل نیروی شناوری ناشی از آب روی آب شناور می‌مانند. این نشان می‌دهد که چگالی میانگین قوطی فلزی، نوشابه و گاز به کار رفته در آن کمتر از چگالی آب است و برخلاف نوشابه‌های معمولی، روی آب شناور می‌ماند.
یک فعالیت پیشنهادی ساده در این زمینه می‌توانید انجام دهید. نوشابه معمولی را درون ظرفی محتوی که ابعاد آن نزدیک به نوشابه است، بیندازید. آن‌قدر شکر به آب اضافه کنید تا نوشابه به حالت شناور روی آب قرار گیرد. در این صورت متوجه خواهید شد که در یک قوطی نوشابه معمولی، تقریباً چقدر شکر به کار رفته است.

۱۸ به شکل ۳ـ۲۴ کتاب درسی و شرح آن توجه کنید.

۱۹ هر سه جسم روی آب شناورند و چگالی آنها از چگالی آب کمتر است. چگالی جسم a بزرگ‌تر از جسم c وچگالی جسم c بزرگ‌تر از جسم b است. توجه کنید که جسم a نزدیک به $\frac{۳}{۴}$ آن در آب فرو رفته است در حالی که جسم c نزدیک به – آن. همچنین جسم b حدود $\frac{۱}{۳}$ آن در آب فرو رفته است و در مقایسه با دیگر اجسام، چگالی کمتری دارد.

۲۰ به شکل ۳ـ۲۳ و شرح مرتبط به آن توجه کنید.

۲۱ وقتی شناگر غوطه‌ور است (یعنی به‌طور کامل درون آب است) نیروی شناوری وارد بر آن به بیشینهٔ خود می‌رسد.

۲۲ الف) در قسمت‌های A،C وE تندی آب ثابت است و درقسمت B در حال افزایش و درقسمت D درحال کاهش است. دانش‌آموزان باید توجه کنند که تندی‌آب درقسمت C از قسمت‌های A وE بیشتر است.

ب) $v_C > v_A = v_E$

۲۳ وقتی جریان تند هوا از میان دو نواری کاغذی می‌گذرد بنابر اصل برنولی سبب کاهش فشار هوا می‌شود و در نتیجه فشار هوای اطراف نوارهای کاغذی، که بزرگ‌تر از فشار هوای بین آنهاست، سبب می‌شود تا نوارهای کاغذی به‌طرف یکدیگر نزدیک شوند.

۲۴ وقتی پدال گاز بیشتر فشرده می‌شود، دریچهٔ پروانه‌ای متصل به سیم گاز بازتر می‌شود و میزان هوایی که از فیلتر هوا می‌گذرد افزایش می‌یابد. با افزایش میزان هوای ورودی، تندی هوا در محل لوله ونتوری افزایش می‌یابد و فشار هوا کاهش بیشتری می‌یابد. در نتیجه سوخت بیشتری به بیرون پاشیده می‌شود و با هوای ورودی مخلوط می‌شود و خودرو می‌تواند سریع‌تر حرکت کند.

۲۵ با استفاده از معادلهٔ پیوستگی داریم :

$$A_۱v_۱ = A_۲v_۲$$

$$\pi(\frac{d_۱}{۲})^۲v_۱ = \pi(\frac{d_۲}{۲})^۲v_۲ \Rightarrow d_۱^۲\, v_۱ = d_۲^۲\, v_۲$$

با جای‌گذاری مقادیر داده شده داریم :

$$(۹/۶۰\,\text{cm})^۲(۱/۵۰\,\text{m/s}) = (۲/۵۰\,\text{cm})^۲(v_۲)$$

$$\Rightarrow v_۲ = ۲۲/۱\,\text{m/s}$$