



## ویژگی‌های فیزیکی مواد



## آشنایی با ماده

### تعاریف اولیه

می‌خواهیم انواع حالت‌های ماده و چگونگی حرکت ذرات را در این حالت‌ها مورد بررسی قرار دهیم.

**ماده:** به هر چیزی که فضا را اشغال کند و حجم داشته باشد، ماده می‌گوییم.

مواد از ذره‌های ریزی به نام اتم، مولکول و یا یون ساخته شده‌اند و ابعاد ذرات سازنده مواد معمولاً از مرتبهٔ آنگستروم ( $1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$ ) است. البته به این موضوع توجه کنید که ابعاد برخی از درشت مولکول‌ها مانند بسپارها یا همان پلیمرها، می‌تواند تا ۱۰۰۰ آنگستروم باشد.

**نکته** هر مولکول از دو اتم یا بیشتر تشکیل شده است و الکترون‌های مشترک آن‌ها را کنار هم نگه می‌دارد.

برای بررسی حالات مختلف ماده باید دو پارامتر را مورد بررسی قرار دهیم:

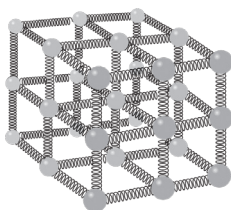
**۱- حرکت ذرات:** به‌طور کلی ذرات یک ماده می‌توانند دو نوع حرکت ارتعاشی و انتقالی داشته باشند. در حرکت ارتعاشی هر ذره در مکان معینی نسبت به بقیه ذرات قرار گرفته است و جای خود را تغییر نمی‌دهد. در این نوع حرکت، ذرات سر جای خود با دامنهٔ مشخصی ارتعاش می‌کنند. (مانند زمانی که شما سر کلاس درس، در جای خود نشسته‌اید. در این حالت وضعیت شما نسبت به سایر دوستانتان ثابت است و فقط می‌توانید سر جای خود اندکی ارتعاش کنید!!)

در حرکت انتقالی جای ذرات تغییر می‌کند و ذرات ماده نسبت به یکدیگر وضعیت مشخصی ندارند. (مانند زمانی که شما وسط حیاط مدرسه در زنگ تفریح این طرف و آن طرف می‌دوید.)

**۲- فاصلهٔ ذرات:** یکی از پارامترهایی که در شکل‌گیری حالات مختلف ماده تأثیرگذار است، میانگین فاصله، ذرات تشکیل‌دهنده، ماده از یکدیگر است که در ادامه به‌طور دقیق‌تر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### انواع حالت‌های مواد

به‌طور کلی مواد به چهار حالت جامد، مایع، گاز و پلاسما وجود دارند که در ادامه هر یک را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

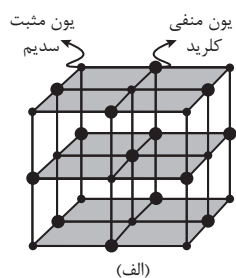


**جامد:** در اجسام جامد، ذرات حرکت ارتعاشی دارند اما حرکت انتقالی ندارند. در این حالت فاصلهٔ ذرات از یکدیگر مقدار ثابتی است و در حدود یک آنگستروم است. برای این که درک درستی از اجسام جامد پیدا کنید، نگاهی دقیق به شکل مقابل ببیندازید.

فرض کنید تعدادی تپله را توسط چند فنر به یکدیگر متصل کرده باشیم، اگر ضربهٔ کوچکی به این سازه بزنیم، مشاهده می‌کنیم که تپله‌ها سر جای خود شروع به ارتعاش می‌کنند اما هیچ تپله‌ای جای خود را تغییر نمی‌دهد. ساختار اتم‌ها در جسم جامد نیز به این صورت است. تپله‌ها نشان‌دهندهٔ اتم‌ها و فنرهای بین آن‌ها نشان‌دهندهٔ پیوند بین اتم‌ها است. اگر اتم‌ها از حد معینی به هم نزدیک‌تر شوند و یا از هم دورتر شوند، نیروی کشسانی بین فنرها، آن‌ها را به وضع اولیه برمی‌گرداند و جسم جامد، شکل و اندازهٔ اولیه‌اش را به‌دست می‌آورد.

**نکته** وقتی جسم جامد گرما دریافت می‌کند، محدوده و دامنهٔ نوسان اتم‌های آن بیشتر می‌شود و جسم جامد منبسط می‌شود.

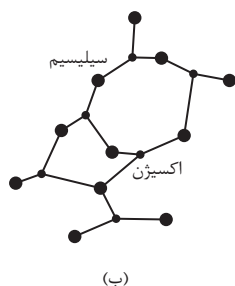
**انواع جامد:** جامدات را به دو گروه جامدات بلورین و جامدات بی‌شکل تقسیم می‌کنند.



**(الف) جامدات بلورین:** جامداتی که مولکول‌ها و اتم‌های آن‌ها به‌طور منظم در الگوهای سه‌بعدی تکرار شونده کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، جامدات بلورین نام دارند. فلزها، نمک‌ها، اغلب مواد معدنی و الماس جزو جامدهای بلورین هستند.

**نکته** جامدات بلورین معمولاً هنگامی تشکیل می‌شوند که مایع را به آهستگی سرد می‌کنیم. در این فرایند مولکول‌ها فرصت کافی دارند که در طرح‌های منظم خود را مرتب کنند.

**(ب) جامدات بی‌شکل:** در این جامدات مولکول‌ها در طرح منظمی کنار هم قرار ندارند.



**نکته** برخی از جامدات بی‌شکل هنگامی به وجود می‌آیند که مایع را به سرعت سرد کنیم. مثلاً اگر شیشه را به سرعت سرد کنیم، مولکول‌ها فرصت کافی ندارند تا در طرح منظمی مرتب شوند و در وضعیت نامنظمی که در حالت مایع داشتند، باقی می‌مانند.

**مایع:** در مایعات ذرات هم حرکت ارتعاشی و هم حرکت انتقالی دارند. در این حالت ذرات می‌توانند به راحتی روی هم بلغزند؛ به همین دلیل است که مایعات می‌توانند به شکل ظرف درآیند.

فاصله ذرات مایع مانند جامدات مقدار ثابتی و در حدود یک آنگستروم است. به همین خاطر مایعات نیز مانند جامدات حجم ثابتی دارند. گاز: ذرات گازها مانند ذرات مایع‌ها هم حرکت ارتعاشی و هم حرکت انتقالی دارند. در این حالت برخلاف حالت مایع، فاصله ذرات ثابت نیست. در حالت گاز فاصله ذرات چندین برابر فاصله بین ذرات در حالت جامد و مایع است. برای مثال فاصله بین مولکول‌های هوا در شرایط عادی حدود  $35 \text{ \AA}$  است. به همین دلیل است که گازها حجم ثابتی ندارند و می‌توانند تمام فضایی که در اختیار دارند را به طور کامل اشغال کنند.

**تراکم‌پذیری یا تراکم‌ناپذیری، مسأله این است!**

اگر به خاطر داشته باشید گفتیم که فاصله بین ذرات جامدات و مایعات مقدار ثابتی است، در صورتی که فاصله بین ذرات گازها مقدار ثابتی نیست. این ویژگی باعث می‌شود که گازها تراکم‌پذیر شوند. فرض کنید داخل سرنگ در بسته‌ای مقداری هوا وجود داشته باشد. هنگامی که به انتهای سرنگ فشار وارد می‌کنیم، افزایش فشار باعث می‌شود که فاصله بین مولکول‌های گاز کاهش یابد و در نتیجه حجم گاز کاهش یافته و گاز متراکم شود. اما اگر به جای هوا، یک مایع و یا یک ماده جامد داشتیم، چون فاصله بین ذرات آن‌ها ثابت است، متراکم نمی‌شوند؛ بنابراین، جامدات و مایعات تراکم‌ناپذیرند.

### حرکت براونی و پدیده پخش

دیدید که ذرات مایعات و گازها برخلاف جامدات دارای حرکت انتقالی هستند. به طور کلی مولکول‌های مایع و گاز به صورت کاتوره‌ای و نامنظم به اطراف حرکت می‌کنند و با یکدیگر برخورد می‌کنند که به این حرکت در اصطلاح حرکت براونی گویند.

به‌طور مثال اگر به یک لیوان آب، یک قطره جوهر اضافه کنیم و یا در یک اتاق مقداری گلاب بپاشیم بعد از مدتی ذرات جوهر به تمام آب و ذرات گلاب به تمام فضای اتاق می‌رسند. به این پدیده در اصطلاح پخش می‌گویند. دلیل این پدیده دست به دست شدن مولکول‌های جوهر بین مولکول‌های آب است که به علت حرکت براونی صورت می‌گیرد.

**نکته** به دلیل فاصله زیاد مولکول‌های گاز نسبت به مایع، آزادی عمل مولکول‌های گاز بیشتر بوده و پدیده پخش در گازها سریع‌تر از

مایع‌ها رخ می‌دهد.

**پلازما:** حالت چهارم ماده پلازما نام دارد. وقتی گازی تا دماهای خیلی زیاد گرم شود، یک یا چند الکترون از هر اتم آزاد می‌شود. ماده حاصل مجموعه‌ای از الکترون‌های آزاد، یون‌ها و اتم‌های خنثی خواهد بود که پلازما نام دارد. خورشید، ستارگان، لایه‌های بالای جو زمین، آذرخش، شفق‌های قطبی و شعله‌های آتش از جنس پلازما هستند.

**نکته** مواد پلازما برخلاف گاز رسانای بسیار خوب الکتریسیته و گرما هستند. برای این که تصویر منظمی از مواد داشته باشید، کافی است جدول زیر را به دقت بررسی کنید.

| ویژگی              | حالت                                                    | جامد                                                                                   | مایع                                                             | گاز                                                              |
|--------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| چگونگی حرکت ذره‌ها | مولکول‌ها در سر جای خود حرکت ارتعاشی دارند (تبله و فنر) | مولکول‌ها علاوه بر حرکت ارتعاشی به صورت نامنظم و کاتوره‌ای حرکت می‌کنند (حرکت براونی). | مولکول‌ها به صورت نامنظم و کاتوره‌ای حرکت می‌کنند (حرکت براونی). | مولکول‌ها به صورت نامنظم و کاتوره‌ای حرکت می‌کنند (حرکت براونی). |
| فاصله بین ذرات     | در حدود یک آنگستروم                                     | در حدود یک آنگستروم                                                                    | در حدود یک آنگستروم                                              | بسیار بیشتر از یک آنگستروم                                       |
| شکل ماده           | دارای شکل ثابت هستند                                    | به شکل ظرف درمی‌آیند.                                                                  | شکل ثابتی ندارند و آن قدر منبسط می‌شوند که تمام فضا را پر کنند.  | شکل ثابتی ندارند و آن قدر منبسط می‌شوند که تمام فضا را پر کنند.  |
| حجم و تراکم پذیری  | حجم ثابت دارند و تراکم‌ناپذیرند.                        | حجم ثابت دارند و تراکم‌ناپذیرند.                                                       | حجم ثابت دارند و تراکم‌ناپذیرند.                                 | حجم ثابت ندارند و تراکم‌ناپذیرند.                                |

**نکته** مواد پلازما تقریباً تمام ویژگی‌های گازها را دارند با این تفاوت که برخلاف گازها رسانای خوب الکتریسیته و گرما هستند.

### ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس نانو

پیشوند نانو به معنای یک میلیاردم است به عبارت دیگر یک نانومتر برابر  $10^{-9}$  متر است. طول ده اتم کربن در کنار یکدیگر تقریباً برابر یک نانومتر است.

علوم نانو شاخه‌ای از علوم است که تغییر در ویژگی‌های مواد را بر حسب اندازه‌ن‌ها بررسی و توصیف می‌کند. ویژگی‌های فیزیکی مواد از قبیل: نقطه ذوب، رسانندگی الکتریکی و گرمایی، شفافیت، استحکام، رنگ و ... اغلب می‌تواند در مقیاس نانو تغییر کند. به طور مثال دمای ذوب یک قطعه طلا حدود  $1064^{\circ}\text{C}$  است اما دمای ذوب قطعه‌ای طلا با ابعاد نانومتر حدود  $427^{\circ}\text{C}$  است.

**نانوذره:** اگر ابعاد یک ذره را در هر سه بعد کوچک کنیم، نانو ذره خواهیم داشت.

**نانولایه:** فرض کنید ورقه‌ای از یک ماده داشته باشیم که ضخامت آن در حد نانومتر باشد، در این صورت یک نانو لایه در اختیار داریم. ویژگی‌های فیزیکی در این حالت نیز با یک قطعه معمولی از آن ماده متفاوت است.

به طور مثال اگر آلومینیم در مجاورت هوا قرار بگیرد، تبدیل به آلومینیم اکسید می‌شود. این ماده در حالت عادی عایق الکتریسیته است. اما هنگامی که دو سیم آلومینیمی را به یکدیگر متصل می‌کنیم، جریان الکتریکی در آن‌ها برقرار می‌شود، زیرا ضخامت لایه آلومینیم اکسید در حد نانومتر است و در این حالت آلومینیم اکسید مانند یک رسانا عمل می‌کند.

## نیروهای بین مولکولی

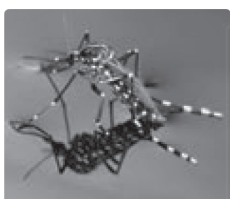


همان‌طور که در درسنامه قبل خواندید، بین مولکول‌های مواد مختلف نیروهایی وجود دارد. این نیروها در فاصله بین مولکولی یعنی حدود یک آنگستروم جاذبه و در کم‌تر از آن دافعه هستند. در ادامه می‌خواهیم این نیروها را با دقت بیش‌تری بررسی کنیم.

**نیروی هم‌چسبی:** به نیروی جاذبه بین مولکول‌های یک مایع، نیروی هم‌چسبی می‌گوییم.

**نکته** اگر فاصله بین مولکول‌های یک مایع از حد مشخصی (فاصله بین مولکولی) کم‌تر کنیم، نیروی دافعه بزرگی بین آن‌ها به وجود می‌آید که از تراکم‌پذیری مایع جلوگیری می‌کند.

**نکته** به‌طور کلی نیروهای بین مولکولی چه از نوع جاذبه و چه دافعه کوتاه‌برد هستند. یعنی وقتی فاصله بین مولکول‌ها چند برابر می‌شود این نیروها ضعیف شده و عملاً صفر می‌شوند.



**پدیده کشش سطحی:** به علت نیروی هم‌چسبی مولکول‌های سطح مایع، پدیده‌ای به نام کشش سطحی رخ می‌دهد، در واقع به دلیل نیروی جاذبه‌ای که مولکول‌های مایع به یکدیگر وارد می‌کنند، سطح مایع شبیه یک پوسته تحت کشش رفتار می‌کند و کشش سطحی روی می‌دهد. راه رفتن برخی از حشرات بر روی آب به دلیل این پدیده است.



**نکته** به دلیل وجود کشش سطحی، سطح قطره‌آبی که آزادانه سقوط می‌کند مانند یک پوسته کشیده می‌شود و تمایل دارد که کم‌ترین مساحت ممکن را داشته باشد. از آنجایی که به ازای حجم معین، کره نسبت به هر شکل هندسی دیگر کوچک‌ترین مساحت را دارد، بنابراین قطرات مایعات در حال سقوط تمایل دارند به صورت کروی ایجاد شوند.

**نکته** افزایش دمای آب باعث کاهش نیروهای هم‌چسبی سطح مایع شده و در نتیجه باعث کاهش کشش سطحی می‌شود.

**نکته** اضافه کردن انواع شوینده‌ها و صابون به آب نیز باعث کاهش کشش سطحی آب می‌شود.

**نیروی دگرچسبی:** به نیروی جاذبه بین مولکول‌های یک مایع و یک جامد نیروی دگرچسبی می‌گویند. هم‌چسبی و دگرچسبی، هر دو نیروهایی بین مولکولی هستند، تفاوت آن‌ها در این است که هم‌چسبی، جاذبه بین مولکول‌های مشابه و دگرچسبی، جاذبه بین مولکول‌های نامشابه است.

**ترشوندگی:** به طور کلی در تماس یک مایع و سطح جامد دو اتفاق ممکن است رخ دهد:

(الف) سطح جامد تر (یا خیس) شود.

(ب) سطح جامد تر (یا خیس) نشود.



(الف) سطح جامد تر شود: در این حالت نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و سطح جامد، بزرگ‌تر از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های مایع است. به‌طور مثال هنگامی که مقداری آب را روی سطح شیشه‌ای تمیز می‌ریزیم، آب بر روی سطح شیشه پخش می‌شود. زیرا نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های شیشه و آب، بزرگ‌تر از نیروی

هم چسبی بین مولکول‌های آب است و مولکول‌های شیشه، آب را به روی خود می‌کشد.

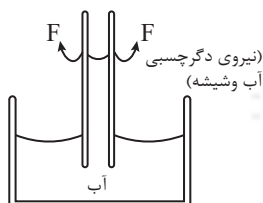


ب) سطح جامد تر نشود: در این حالت نیروی هم چسبی بین مولکول‌های مایع، بزرگ‌تر از نیروی دگر چسبی بین مولکول‌های مایع و سطح جامد است. به طور مثال هنگامی که مقداری جیوه را به روی سطح شیشه‌ای می‌ریزیم برخلاف آب، مولکول‌های جیوه پخش نمی‌شوند و به صورت قطرات کروی روی سطح قرار می‌گیرند، زیرا نیروی هم چسبی مولکول‌های جیوه، بزرگ‌تر از نیروی دگر چسبی مولکول‌های جیوه و شیشه است و شیشه نمی‌تواند جیوه را به روی خودش بکشد.

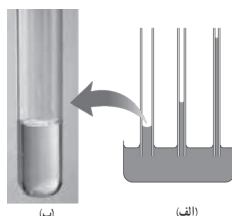
**نکته** اگر سطح شیشه‌ای را چرب کرده و سپس روی آن آب بریزیم، مولکول‌های آب مانند جیوه به صورت قطرات کروی روی سطح قرار می‌گیرند. زیرا در این حالت مولکول‌های روغن بین آب و شیشه قرار می‌گیرند و دیگر مولکول‌های شیشه نمی‌توانند مولکول‌های آب را به سمت خود بکشند و در این حالت نیروی هم چسبی مولکول‌های آب بزرگ‌تر از نیروی دگر چسبی مولکول‌های آب و روغن است. به نظر شما چرا هنگام شستن ظرف‌ها و یا لباس‌های کثیف علاوه بر مواد شوینده از آب گرم استفاده می‌کنیم؟ زیرا با افزایش دما و اضافه کردن مواد شوینده، نیروی هم چسبی مولکول‌های آب کاهش پیدا کرده و مولکول‌های آب بهتر در سطوح کثیف و الیاف لباس نفوذ می‌کنند.

### اثر مویینیگی

یعنی مانند مو نازک. به لوله‌هایی که قطر دهانه آن‌ها حدود یک دهم میلی‌متر باشد، لوله مویین گویند. در ادامه می‌خواهیم رفتار آب و جیوه را در لوله‌های مویین بررسی کنیم.

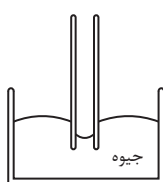


الف) رفتار آب در لوله مویین: همان طور که می‌دانید نیروی چسبندگی بین مولکول‌های آب و شیشه بزرگ‌تر از نیروی هم چسبی بین مولکول‌های آب است. بنابراین زمانی که یک لوله مویین را داخل آب می‌کنیم، مولکول‌های شیشه مولکول‌های آب را به سمت خود می‌کشند و آب شروع به بالا رفتن می‌کند و سطح آب به صورت مقعر درمی‌آید. به شکل مقابل دقت کنید.

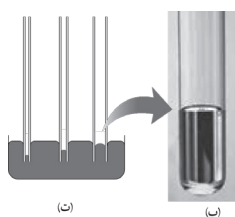


**نکته** مولکول‌های آب تا زمانی که بالا رفتن در لوله مویین ادامه می‌دهند که وزن ستون مایع برابر برآیند نیروهای دگر چسبی شود. بنابراین هر چه لوله مویین مورد نظر نازک‌تر باشد، آب تا ارتفاع بیشتری می‌تواند بالا برود، زیرا به ازای وزن و حجم مشخص، هر چه سطح مقطع کم‌تر شود، ارتفاع بیشتر می‌شود به شکل‌های زیر دقت کنید:

نمونه: در گیاهان لوله‌های مویین بسیار پاریکی به نام آوند وجود دارد که به کمک پدیده مویینیگی آب را از ریشه به برگ درختان می‌رساند. هر چه ارتفاع درختان بیشتر باشد، آوندهای آن‌ها نازک‌تر می‌شود تا بتوانند آب را تا ارتفاع‌های بیشتری برسانند.



ب) رفتار جیوه در لوله مویین: همان طور که می‌دانید نیروی هم چسبی بین مولکول‌های جیوه بزرگ‌تر از نیروی چسبندگی بین مولکول‌های جیوه و شیشه است. بنابراین مولکول‌های شیشه نمی‌توانند مولکول‌های جیوه را بر روی سطح خود به سمت بالا بکشند، در نتیجه جیوه در لوله‌های مویین کمی پایین‌تر می‌رود و سطح آن به صورت محدب درمی‌آید. به شکل زیر دقت کنید.



هر چه لوله موئین نازک‌تر باشد، سطح جیوه در لوله موئین مقدار بیشتری پایین می‌رود.



تمرین ۱. چند لوله خیلی باریک با قطرهای داخلی متفاوت را به‌طور عمود وارد ظرف آبی می‌کنیم. سطح آب درون لوله‌ها چگونه

(سراسری تئوری ۶۶)

است؟

- (۱) در سطوح مختلف و همه بالاتر از سطح آب ظرف
- (۲) در سطوح مختلف و همه پایین‌تر از سطح آب ظرف
- (۳) در یک سطح و بالاتر از سطح آب ظرف
- (۴) در تمام لوله‌ها هم سطح آب ظرف



## فشار

## فشار ناشی از جامدات

**فشار:** به نسبت اندازه نیروی عمودی وارد شده از یک جسم به جسم دیگر بر مساحت سطح تماس بین دو جسم، فشار می‌گوییم. فشار

$$P = \frac{F_{\perp}}{A}$$

را با حرف (P) نمایش می‌دهیم و با توجه به رابطه مقابل مقدار آن را به دست می‌آوریم:

اگر نیرو ( $F_{\perp}$ ) بر حسب نیوتون (N) و مساحت (A) بر حسب مترمربع ( $m^2$ ) باشد، فشار بر حسب نیوتون بر مترمربع به دست می‌آید که آن را به افتخار بلز پاسکال، پاسکال نامیده‌اند و با  $P_a$  نشان داده می‌شود.

**نکته** حواستان باشد که با این که نیرو کمیتی برداری است، اما فشار یک کمیت نرده‌ای است.

در ادامه می‌خواهیم شما را با یک رابطه جدید برای به دست آوردن فشار جامدات آشنا کنیم.

فرض کنید مطابق شکل مقابل استوانه‌ای فلزی به ارتفاع h و چگالی  $\rho$  بر سطحی قرار گرفته باشد. برای

به دست آوردن فشار ناشی از آن، می‌توانیم به صورت زیر عمل کنیم:

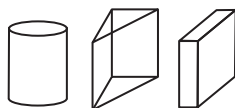
$$P = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} \xrightarrow{\rho = \frac{m}{V}} P = \frac{\rho Vg}{A} \xrightarrow{V = Ah} P = \frac{\rho(Ahg)}{A} = \rho gh$$

$P \leftarrow$  چگالی بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب ( $\frac{kg}{m^3}$ )

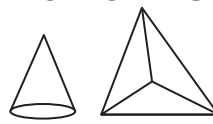
$g \leftarrow$  شتاب گرانش بر حسب نیوتون بر کیلوگرم ( $\frac{N}{kg}$ )

$h \leftarrow$  ارتفاع جسم بر حسب متر (m)

**نکته** فقط برای اجسام جامد همگنی که سطح مقطع ثابت دارند می‌توان از رابطه  $\rho gh$  استفاده کرد. به شکل‌های زیر دقت کنید:



(ب)



(الف)

در شکل‌های گروه (ب) سطح مقطع جسم در هر ارتفاعی یکسان است و حجم این اجسام برابر  $Ah$  است و می‌توان برای آن‌ها از رابطه

$\rho gh$  استفاده کرد. اما در شکل‌های گروه (الف) چون سطح مقطع جسم ثابت نیست و با افزایش ارتفاع سطح مقطع جسم کاهش

می‌یابد، بنابراین نمی‌توان از  $\rho gh$  استفاده کرد.

**مثال** مطابق شکل مقابل یک مخروط فلزی به چگالی  $\rho$  و ارتفاع  $h$  بر سطحی قرار گرفته است. فشاری که این مخروط به سطح زیرین



خود وارد می‌کند، مطابق کدام گزینه است؟

(۱)  $\rho gh$

(۲)  $\frac{1}{3}\rho gh$

(۳)  $\frac{1}{3}\rho gh$

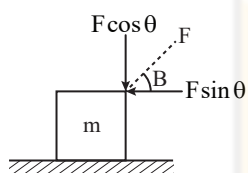
(۴)  $\frac{1}{4}\rho gh$

**پاسخ** گزینه ۳

با توجه به این که سطح مقطع جسم جامد مورد نظر ثابت نیست، پس فشار آن را نمی‌توان  $\rho gh$  به دست آورد. بنابراین گزینه

(۱) همان ابتدا رد می‌شود. حالا برای به دست آوردن فشار ناشی از این مخروط داریم:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} \xrightarrow{\rho = \frac{m}{V}} P = \frac{\rho Vg}{A} \xrightarrow{hAV = \frac{1}{3}Ah} P = \frac{\rho(\frac{1}{3}Ah)g}{A} = \frac{1}{3}\rho gh$$



**نکته** دقت کنید که در رابطه  $P = \frac{F}{A}$ ،  $F$  نیرویی است که به طور عمودی به سطح وارد می‌شود.

به طور مثال در شکل مقابل برای به دست آوردن فشار ناشی از نیروی  $F$  باید مؤلفه‌ای از  $F$  را در نظر بگیریم که عمود بر سطح است.

**نکته** اگر جسمی داخل آسانسور قرار بگیرد، دیگر شتاب گرانش برابر  $g$  نسبت به و به جای آن باید از شتاب ظاهری گرانش  $g'$  استفاده

کنیم که به صورت مقابل به دست می‌آید:

$$g' = (g \pm a)$$

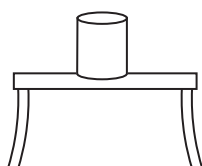
در این رابطه  $a$  شتاب حرکت آسانسور است و  $g$  شتاب گرانش در محل مورد نظر است. برای تشخیص علامت بین  $a$  و  $g$  به صورت زیر عمل می‌کنیم:

اگر حرکت آسانسور به سمت بالا بود (+) و اگر حرکت آسانسور به سمت پایین بود (-) اگر حرکت آسانسور تندشونده بود (+) و اگر حرکت آسانسور کندشونده بود (-) دقت کنید که علامت بین  $a$  و  $g$  حاصل ضرب این علامت‌ها است. به مثال‌های زیر دقت کنید:

|                                   |                                                          |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|
| $g' = (g + a) = 12 \frac{m}{s^2}$ | آسانسور با شتاب $2 \frac{m}{s^2}$ تندشونده بالا می‌رود:  |
| $g' = (g - a) = 8 \frac{m}{s^2}$  | آسانسور با شتاب $2 \frac{m}{s^2}$ کندشونده بالا می‌رود:  |
| $g' = (g + a) = 12 \frac{m}{s^2}$ | آسانسور با شتاب $2 \frac{m}{s^2}$ کندشونده پایین می‌رود: |

### فشار ناشی از شاره‌ها

به طور کلی مایعات و گازها را شاره می‌نامیم. همان طوری که در قسمت‌های گذشته مطالعه کردید، ذرات سازنده شاره‌ها دائم‌آدر حال حرکت و جنب و جوش می‌باشند. این ذرات با یکدیگر و با دیواره ظرف برخورد می‌کنند و به آن نیرو وارد می‌کنند که این نیرو باعث به وجود آمدن فشار می‌شود.



رابطه فشار در شاره: فرض کنید مطابق شکل مقابل استوانه‌ای حاوی آب را روی یک میز قرار داده ایم. برای به دست آوردن فشار ناشی از آب در عمق  $h$  به صورت زیر عمل می‌کنیم.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} \xrightarrow{\rho = \frac{m}{V}} P = \frac{\rho Vg}{A} \xrightarrow{V=Ah} P = \frac{\rho(Ah)g}{A} \Rightarrow \boxed{P = \rho gh}$$

اگر چگالی ( $\rho$ ) بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب ( $\frac{kg}{m^3}$ )، شتاب گرانش ( $g$ ) بر حسب متر بر مجذور ثانیه ( $\frac{m}{s^2}$ ) و عمق مایع ( $h$ ) بر حسب متر ( $m$ ) باشد، فشار بر حسب پاسکال ( $Pa$ ) به دست می‌آید.

**نکته** برای به دست آوردن فشار بر حسب پاسکال حتماً باید چگالی را بر حسب  $\frac{kg}{m^3}$  جایگذاری کنید. اگر چگالی بر حسب  $\frac{g}{cm^3}$  به شما داده شد، واحد آن را به صورت زیر تبدیل کنید:

$$\frac{g}{cm^3} \xrightarrow{\times 1000} \frac{kg}{m^3}$$

دقت کنید که با توجه به رابطه  $P = \rho gh$  فشار ناشی از شاره‌ها فقط به چگالی ( $\rho$ ) و عمق شاره ( $h$ ) بستگی دارد و به شکل ظرف و مساحت سطح قاعده بستگی ندارد.

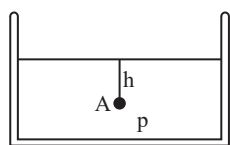
**اختلاف فشار دو نقطه در مایع:** برای به دست آوردن اختلاف فشار دو نقطه از یک مایع می‌توانیم از رابطه زیر استفاده کنیم:

$$\Delta P = \rho g \Delta h \text{ یا } P_2 - P_1 = \rho g \Delta h$$

$\Delta P \leftarrow$  اختلاف فشار بر حسب پاسکال ( $Pa$ )

$\Delta h \leftarrow$  اختلاف عمق دو مایع بر حسب متر ( $m$ )

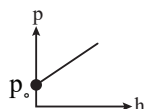
### فشار کل در مایع



گاهی اوقات کل فشار وارد شده به یک نقطه از مایع خواسته می‌شود. در این حالت باید علاوه بر فشار مایع، فشار هوا را هم در نظر بگیریم. به طور مثال در شکل مقابل، فشار وارد شده به نقطه  $A$  به صورت زیر به دست می‌آید.

$$P_A = P_{\text{مایع}} + P_0 = \rho gh + P_0$$

اگر فشار کل ایجاد شده در عمق  $h$  از مایعی را با  $P$  نشان دهیم، نمودار  $P - h$  به صورت مقابل خواهد بود.



همان طور که در نمودار بالا می‌بینید؛ هنگامی که در سطح مایع هستیم،  $h$  برابر صفر است و فشار موجود در سطح مایع برابر فشار هوا ( $P_0$ ) است. هر چه به سمت قسمت‌های عمیق تر مایع برویم،  $h$  افزایش یافته و در نتیجه فشار ایجاد شده نیز بیشتر می‌شود. دقت کنید که شیب نمودار  $P - h$  برابر مقدار  $\rho g$  است.

### مسائل ترکیبی



**نکته** گاهی اوقات مسائل فشار مایعات با مبحث گرما ترکیب می‌شود، فرض کنید مطابق شکل مقابل داخل استوانه‌ای فلزی مقداری روغن قرار داشته باشد به نظر شما با افزایش دمای روغن، فشار ناشی از آن چگونه تغییر می‌کند؟

اگر از انبساط ظرف صرف نظر کنیم با افزایش دما، حجم و ارتفاع روغن افزایش می‌یابد. اگر سطح مقطع ظرف را ثابت در نظر بگیریم،

حجم و ارتفاع روغن به یک نسبت افزایش می‌یابد، با افزایش حجم، چگالی مایع به همان نسبت کاهش می‌یابد و در نتیجه فشار ناشی از روغن که برابر  $\rho gh$  است، تغییر نمی‌کند به عبارت دیگر داریم:

ثابت می‌ماند  $P \xrightarrow{P=\rho gh} \rho \xrightarrow{\rho=\frac{m}{V}} V \xrightarrow{V=Ah} h$  زیاد می‌شود  $\Rightarrow$  افزایش دما با یک شیوه دیگر هم می‌توان ثابت ماندن فشار را ثابت کرد. همان طور که می‌دانید با افزایش دما، جرم ماده ثابت می‌ماند، بنابراین طبق رابطه  $P = \frac{mg}{A}$  چون  $m$  و  $A$  ثابت هستند، در نتیجه  $P$  نیز ثابت است.

فشار ناشی از گاز

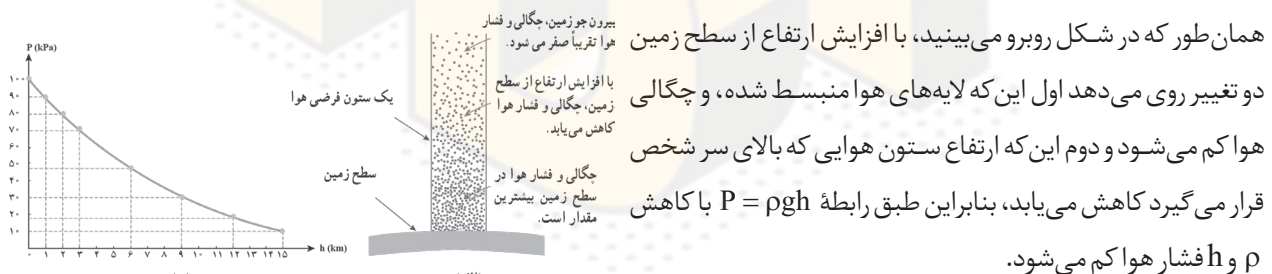
**نکته** برای به دست آوردن فشار ناشی از گازها هم می‌توان از رابطه  $P = \rho gh$  استفاده کرد. در این صورت  $h$  ارتفاع و  $\rho$  چگالی گاز است که نسبت به چگالی مایعات، بسیار کم‌تر است. به مثال زیر توجه کنید:

**مثال** چگالی هوای تهران در دمای  $20^\circ\text{C}$  تقریباً  $\frac{1\text{ kg}}{\text{m}^3}$  است. اختلاف بین فشار هوای بالا و پایین برج آزادی با ارتفاع  $45\text{ cm}$ ، چند پاسکال است؟ ( $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ )

(۱)  $450$  (۲)  $400$  (۳)  $45 \times 10^4$  (۴)  $4 \times 10^4$  (برگرفته از کتاب درسی)

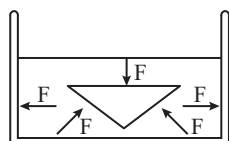
**پاسخ گزینه ۱**  $\Delta P = \rho g \Delta h = 1 \times 10 \times 45 = 450 \text{ Pa}$

برای به دست آوردن اختلاف فشار هوای دو نقطه که اختلاف ارتفاع زیادی دارند دیگر نمی‌توانیم از رابطه  $P = \rho gh$  استفاده کنیم. زیرا چگالی هوا در ارتفاع‌های متفاوت، تغییر می‌کند و مقدار ثابتی ندارد. به طور کلی جاذبه زمین، مولکول‌های هوا را به سمت زمین می‌کشد بنابراین با کاهش ارتفاع لایه‌های هوا متراکم‌تر شده و چگالی هوا بیشتر می‌شود و با افزایش ارتفاع لایه‌های هوا منبسط‌تر می‌شود و چگالی هوا کاهش می‌یابد. در نمودار زیر تغییرات چگالی هوا بر حسب ارتفاع از سطح زمین بررسی شده است.



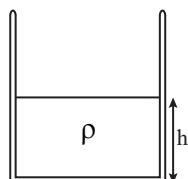
دقت کنید که در رابطه  $P = \rho gh$ ،  $h$  ارتفاع ستون هوایی است که بالای سر شخص قرار می‌گیرد و نه ارتفاع شخص نسبت به زمین.

نیروی ناشی از ستون مایع



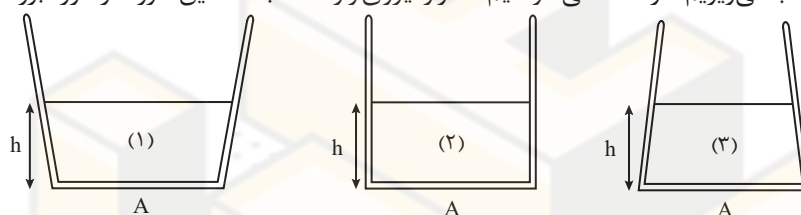
فرض کنید مطابق شکل، یک منشور را داخل ظرف آبی قرار دهیم. آب به تمام وجوه منشور، دیواره ظرف و کف ظرف فشار و نیرو وارد می‌کند. همان‌طور که در شکل زیر می‌بینید، جهت نیروی حاصل از فشار همواره به سطح مورد نظر عمود است.

برای به دست آوردن اندازه نیروی حاصل از فشار کافی است طبق رابطه  $F = PA$  فشار وارد شده به سطح مورد نظر را در مساحت سطح ضرب کنیم. به‌طور مثال برای به دست آوردن نیروی وارد شده از طرف مایع به کف ظرف داریم:



$$\left. \begin{array}{l} F = PA \\ P = \rho gh \end{array} \right\} \Rightarrow F = \rho ghA$$

**ظروف گلدانی:** گاهی اوقات ظروف حاوی مایع دارای سطح مقطع ثابتی نیستند. فرض کنید مطابق شکل‌های زیر، داخل سه ظرف متفاوت تا ارتفاع یکسان آب می‌ریزیم. در ادامه می‌خواهیم فشار و نیروی وارد شده به کف این ظروف را مورد بررسی قرار دهیم:



**الف) فشار وارد شده از طرف مایع به کف ظرف:** طبق رابطه  $P = \rho gh$  فشار ناشی از مایع فقط به ارتفاع و چگالی مایع بستگی دارد و شکل ظرف اهمیتی ندارد. بنابراین داریم:

$$P = \rho gh \Rightarrow P_1 = P_2 = P_3$$

**ب) وزن مایع:** طبق رابطه  $W = mg$ ، وزن مایع به جرم کل مایع بستگی دارد با توجه به این که حجم و جرم آب موجود در ظرف (۱) بیشتر از ظرف (۲) و (۳) است، داریم:

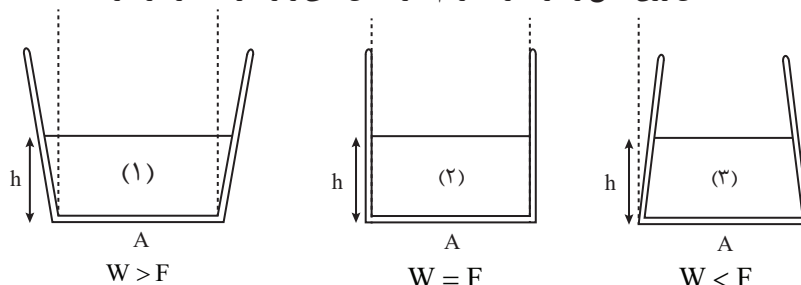
$$W = mg \Rightarrow W_1 > W_2 > W_3$$

**ج) نیروی وارد شده از طرف مایع به کف ظرف (F):** طبق رابطه  $F = (\rho gh)A$  نیرویی که از طرف مایع به کف ظرف وارد می‌شود علاوه بر چگالی و ارتفاع مایع به مساحت کف ظرف هم بستگی دارد. از آنجایی که در ظروف مورد نظر A و h یکسان است، داریم:

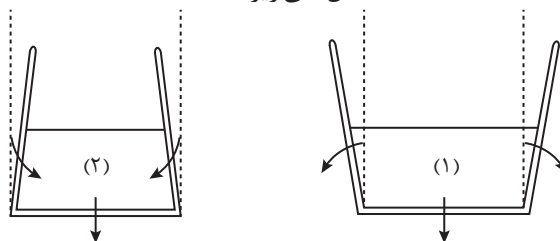
$$F = \rho ghA \Rightarrow F_1 = F_2 = F_3$$

مهم‌ترین نکته‌ای که باید به آن توجه کنید، تفاوت بین دو نیروی وزن مایع و نیروی حاصل از فشار وارد شده به کف ظرف است. برای مقایسه این دو نیرو به صورت زیر عمل می‌کنیم.

ابتدا از کف ظرف مورد نظر دو خط چین به سمت بالای ظرف رسم می‌کنیم. به مقدار مایعی که بین دو خط چین قرار می‌گیرد در اصطلاح ستون مایع می‌گوییم. برای به دست آوردن نیروی وارد شده از طرف مایع به کف ظرف (F) کافی است وزن ستون مایع را در نظر بگیریم. اما برای به دست آوردن (W) باید کل وزن مایع را در نظر بگیریم. در شکل‌های زیر F و W در هر ظرف مقایسه شده‌اند:



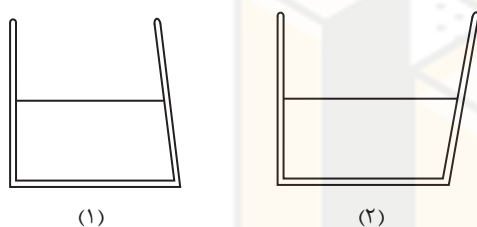
**مثال** همان‌طور که مشاهده گردید، در ظرف (۱) نیروی وارد شده از ظرف مایع به کف ظرف، کوچک‌تر از وزن مایع است، زیرا فقط مقداری از مایع که دقیقاً بالای سطح مورد نظر قرار دارد به آن نیرو وارد می‌کند و بقیه مایع به دیواره‌های ظرف نیرو وارد می‌کند. بنابراین  $W > F$  همین‌طور در ظرف (۳) نیروی وارد شده به کف ظرف بیشتر از وزن مایع است. زیرا علاوه بر آن مایع دیواره‌ها نیز به کف ظرف فشار و نیرو وارد می‌کنند. به این ترتیب  $W < F$  است. به شکل‌های زیر دقت کنید:



**مثال** شکل زیر دو ظرف با سطح قاعده یکسان را که تا یک ارتفاع در آن‌ها آب ریخته شده است، نشان می‌دهد. لذا می‌توان گفت: وزن مایع ظرف اول ..... نیرویی است که مایع به قاعده وارد می‌کند و وزن مایع ظرف دوم ..... نیرویی است

(سراسری تهرانی ۷۵)

که مایع به قاعده وارد می‌کند.



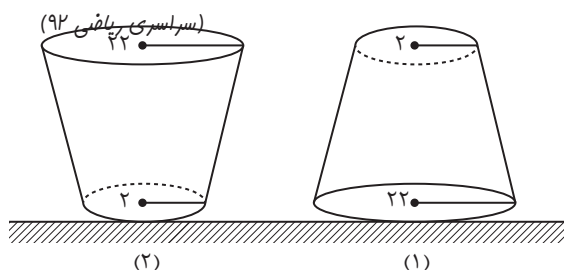
- (۱) کم‌تر از - بیشتر از
- (۲) کم‌تر از - کم‌تر از
- (۳) بیشتر از - کم‌تر از
- (۴) مساوی - نیز مساوی

**پاسخ:** گزینه ۱

**مثال** در تمام ظروف بررسی شده نیرویی که از طرف ظرف به تکیه‌گاه شوار می‌شود، برابر مجموع وزن ظرف و مایع است.

**مثال** در شکل روبه‌رو، حجم و عمق آب در دو ظرف پر از آب با هم برابر است. اگر نیرویی که ظرف‌ها به سطح افقی وارد می‌کنند به ترتیب  $F_1$  و  $F_2$  و فشار آب در کف ظرف‌ها  $P_1$  و  $P_2$  باشد، کدام رابطه درست است؟ (جرم ظرف‌ها با هم برابر

است)



$$(1) \quad P_1 = \frac{1}{4} P_2 \text{ و } F_1 = F_2$$

$$(2) \quad P_1 = P_2 \text{ و } F_1 = 4 F_2$$

$$(3) \quad P_1 = 4 P_2 \text{ و } F_1 = F_2$$

$$(4) \quad P_1 = P_2 \text{ و } F_1 = \frac{1}{4} F_2$$

**پاسخ:** گزینه ۳

پاسخ با توجه به این که  $h$  و  $\rho$  در دو ظرف یکسان است، طبق رابطه  $P = \rho gh$  فشار وارد شده به کف دو ظرف برابر است و  $P_1 = P_2$  است. در قسمت بعدی سؤال، نیروی وارد شده از طرف ظرف‌ها به سطح افقی را می‌خواهد که برابر مجموع وزن ظرف و وزن کل مایع می‌باشد که در دو ظرف یکسان است و داریم  $F_1 = F_2$ .

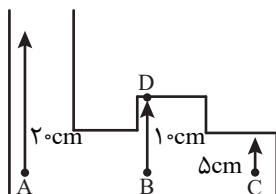


## اصل هم‌فشاری

### یک مثال مهم

این بخش را با یک مثال شروع می‌کنیم.

فرض کنید مطابق شکل مقابل داخل ظرفی مقداری آب ریخته باشیم. می‌خواهیم فشار حاصل از آب را در نقاط A، B و C با یکدیگر مقایسه کنیم.



$$P_A = P_B = P_C$$

طبق یک اصل بسیار مهم، نقاط هم‌سطح داخل یک مایع همواره فشارهای برابر دارند. بنابراین داریم:

اما واقعاً چگونه ممکن است فشار آب وارد شده به نقاط A و B با یکدیگر برابر باشند؟!



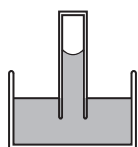
هنگامی که ظرفی با دو دهانه را پر از مایع می‌کنید، مایع موردنظر تمایل دارد در دو قسمت به یک اندازه بالا بیاید. مثلاً اگر آب پاشی را مطابق شکل مقابل پر از آب کنید، آب در لوله آب‌پاش و مخزن آن تا یک ارتفاع بالا می‌آید. در ظرف مثال ما هم باید همین اتفاق رخ دهد. آب تمایل دارد هم در شاخه B و هم در شاخه A به یک اندازه بالا برود اما در نقطه D آب به سقف ظرف برخورد می‌کند و دیگر نمی‌تواند بالاتر برود.

به نظر شما اگر ظرف مورد نظر را در نقطه D سوراخ کنیم، چه اتفاقی می‌افتد؟! بله دقیقاً درست است. آب در نقطه D به سمت بالا فوراً می‌زند تا خود را به ارتفاع آب شاخه A برساند. بنابراین آب به اندازه کمبود ارتفاعی که دارد به نقطه D فشار و نیرو وارد می‌کند. طبق قانون سوم نیوتون، سقف ظرف نیز به همان اندازه به آب فشار و نیرو وارد می‌کند. بنابراین اگر فشار وارد شده به نقطه A به اندازه 20 cm آب باشد، فشار وارد شده به نقطه B هم به اندازه 20 cm آب است که 10 cm آن را واقعاً آب وارد می‌کند و بقیه آن را سقف ظرف تأمین می‌کند. به عبارت دیگر در رابطه  $P = \rho gh$ ، مقدار h عمق نقطه موردنظر نسبت به بیشترین ارتفاعی است که سطح مایع دارد. (همان سطح آزاد مایع خودمان!)

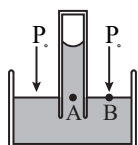
تمام این‌ها رو گفتیم که به همان اصل اولیه برسیم که نقاط هم‌سطح داخل یک مایع همواره فشارهای برابر دارند به این اصل، اصل هم‌فشاری نقاط هم‌تراز می‌گوییم.

### جوسنج آزمایش توریچلی

جوسنج یا فشارسنج جیوه‌ای یا بارومتر (هر سه تاشون یکی هستن)، وسیله‌ای است که برای اندازه‌گیری فشار هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد. اصول کار جوسنج در آزمایش زیر که به آزمایش توریچلی معروف است، مورد بررسی قرار می‌گیرد.



**آزمایش توریچلی:** فرض کنید لوله‌ای را که لبه لب پر از جیوه است وارد ظرف حاوی جیوه کنیم و مطابق شکل انتهای آن را از ظرف بیرون بیاوریم. در این حالت جیوه از انتهای لوله کمی پایین می‌رود و در سطح مشخصی می‌ایستد. هر چه ارتفاع جیوه در لوله بیشتر باشد، فشار هوای محیط بیشتر است. اما چرا؟



همان‌طور که در درسنامه قبل گفتیم، نقاط هم‌سطح داخل یک مایع همواره فشارهای برابر دارند. بنابراین در شکل زیر نقاط A و B هم‌فشار هستند.

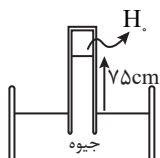
فشار وارد شده به نقطه B برابر فشار هوای محیط است و فشار وارد شده به نقطه A برابر فشار ستون جیوه است. (دقت کنید که قسمت انتهایی لوله، خلأ است و فشاری ایجاد نمی‌کند) بنابراین در این آزمایش فشار هوای محیط برابر فشار ستون جیوه است.

**نکته** در سطح آزاد دریا معمولاً ارتفاع جیوه به ۷۶cm می‌رسد. بنابراین می‌گوییم فشار هوا در سطح آزاد دریا به اندازه ۷۶ سانتی‌متر جیوه است که بر حسب پاسکال برابر است با:

$$P = \rho gh = 13600 \times 9.8 \times \frac{76}{100} = 101292.8 = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

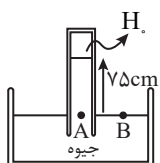
به این فشار یک جو یا یک اتمسفر گویند. در ادامه در قالب چند تست نمونه، نکات بسیار مهمی را در مورد این آزمایش بررسی می‌کنیم.

**مثال** در شکل مقابل، در انتهای لوله مقداری گاز هیدروژن محبوس است. کدام گزینه در مورد فشار هوای محیط مورد نظر درست است؟



- (۱) فشار هوای محیط دقیقاً برابر ۷۵cmHg است.
- (۲) فشار هوای محیط کم‌تر از ۷۵cmHg است.
- (۳) فشار هوا محیط بیشتر از ۷۵cmHg است.
- (۴) فشار هوای محیط دقیقاً برابر ۷۵cmHg است.

**پاسخ** گزینه «۳» همان‌طور که گفتیم، فشار نقاط A و B با یکدیگر برابر است، بنابراین داریم:



$$\left. \begin{array}{l} P_B = P_0 \\ P_A = P_{\text{جیوه}} + P_{\text{هیدروژن}} \end{array} \right\} \Rightarrow P_0 = P_{\text{جیوه}} + P_{\text{هیدروژن}}$$

بنابراین فشار هوای محیط برابر مجموع فشار ستون جیوه و فشار هیدروژن است. چون ارتفاع ستون جیوه ۷۵cm است. پس فشار هوای محیط قطعاً از ۷۵ سانتی‌متر جیوه بیشتر است.

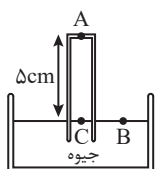
**مثال** اگر در شکل مقابل فشار هوای محیط ۷۵cmHg باشد، فشار نقاط A و B به ترتیب از راست به چپ چند سانتی‌متر جیوه است؟

- است؟
- (۱) ۷۵-۵۰
  - (۲) ۲۵-۵۰
  - (۳) ۷۵-۲۵
  - (۴) ۵۰-۲۵

**پاسخ:** گزینه «۳» چون نقاط هم‌سطح داخل یک مایع، فشارهای برابر دارند، پس فشار وارد شده به نقطه B برابر

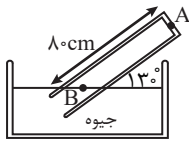
فشار وارد شده به نقطه C بوده و برابر فشار هوا یا محیط یعنی ۷۵cmHg می‌شود. به عبارت دیگر داریم:

از طرف دیگر فشار وارد شده به نقطه B برابر مجموع فشار ستون جیوه و فشار نقطه A است، بنابراین داریم:



$$P_B = P_{\text{ستون جیوه}} + P_A \Rightarrow 75 = 50 + P_A \Rightarrow P_A = 25 \text{ cmHg}$$

**مثال** مطابق شکل مقابل، لوله‌ای به صورت مایل در ظرف حاوی جیوه قرار می‌دهیم. فشار نقاط A و B به ترتیب از راست به



چپ چند پاسکال است؟

(۱)  $80 - 37/5$

(۲)  $75 - 37/5$

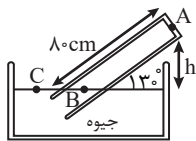
(۳)  $80 - 40$

(۴)  $75 - 35$

باز هم همان اصل معروف می‌گوید: «نقاط هم‌فشار داخل یک مایع، فشارهای برابر دارند» پس داریم:

$$P_B = P_C = P_{\text{جیوه}} = 75 \text{ cmHg}$$

از طرف دیگر فشار وارد شده به نقطه B برابر مجموع فشار ستون جیوه و فشار نقطه A است. برای به دست آوردن فشار ستون جیوه نیز کافی است ارتفاع جیوه را از سطح آزاد مایع به دست آوریم. بنابراین داریم:

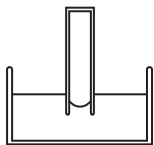


$$\sin 30^\circ = \frac{h}{80} \Rightarrow 80 \sin 30^\circ = 40 \text{ cm} \Rightarrow P_{\text{ستون جیوه}} = 40 \text{ cmHg}$$

$$P_B = P_{\text{ستون جیوه}} + P_A \Rightarrow 75 = 40 + P_A \Rightarrow P_A = 35 \text{ cmHg}$$

**مثال** مطابق شکل مقابل لوله‌ای به طول ۱ m و قطر ۱۰ cm را ۲۵ سانتی‌متر در ظرف جیوه فرو می‌کنیم. اگر فشار هوای محیط

۷۵ cmHg باشد، جیوه نسبت به سطح آزاد مایع داخل ظرف، چند سانتی‌متر در لوله بالا می‌رود؟



(۲) ۵۰

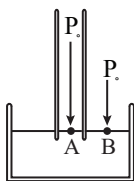
(۱) ۷۵

(۴) صفر

(۳) ۲۵

اگر کمی به شکل دقت کنید، متوجه می‌شوید که انتهای لوله باز است و هم در داخل لوله و هم

خارج آن، فشار هوا وجود دارد و فشار نقاط A و B با یکدیگر برابر بوده و برابر فشار هوا است و دیگر



دلیلی ندارد جیوه در لوله بالا رود.

دقت کنید که قطر لوله مورد نظر ۱۰ cm است، پس لوله مورد نظر موئین نیست و پدیده موئینگی در آن روی نمی‌دهد.

### تبدیل واحدهای فشار

فشار یکی از پر واحدترین کمیت‌ها در فیزیک است برای گزارش فشار از واحدهایی مانند سانتی‌متر جیوه، میلی‌متر جیوه، پاسکال، اتمسفر، بار و تور استفاده می‌کنیم.

**پاسکال (Pa):** یک پاسکال برابر فشاری است که نیروی عمودی یک نیوتون به مساحتی به اندازه یک مترمربع وارد می‌کند.

بار (bar): هر  $10^5$  پاسکال یک بار است.

**سانتی‌متر جیوه (cmHg):** فشاری که ستونی از جیوه به ارتفاع ۱ cm ایجاد می‌کند، معادل ۱ cmHg است.

نمونه: فرض کنید پشه بزرگی حاوی آب در اختیار داریم که فشار ناشی از آب در کف پشه ۲۰ cmHg است. معنی این جمله

### چیست؟

معنی این جمله این است؛ یعنی اگر آب داخل این بشکه را خالی کنیم و تا ارتفاع ۲۰ cm داخل آن جیوه بریزیم، فشاری که جیوه ایجاد می‌کند به اندازه فشاری است که هم‌اکنون آب داخل بشکه ایجاد کرده است. به عبارت دیگر ارتفاع ستون جیوه معیاری است برای بیان اندازه فشار.

**تبدیل سانتی‌متر جیوه به پاسکال:** برای تبدیل سانتی‌متر جیوه (cmHg) به پاسکال (Pa) می‌توانید از رابطه  $P = \rho gh$  استفاده کنید. فقط کافی است به جای  $h$ ، ارتفاع جیوه بر حسب متر و به جای  $\rho$ ، چگالی جیوه را بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب جایگذاری کنید تا فشار بر حسب پاسکال به دست آید.

اتمِسفر یا جو (atm): فشار معادل ستونی از جیوه به ارتفاع ۷۶ سانتی‌متر (در دمای  $0^\circ\text{C}$  و  $g = 9.81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ ) یک اتمسفر نام دارد. همان‌طور که در تست بالا مشاهده کردید، یک اتمسفر اندکی بیشتر از یک بار است. میلی‌متر جیوه (mmHg) یا تور (torr): فشاری که ستونی از جیوه به ارتفاع ۱ mm ایجاد می‌کند، معادل ۱ mmHg است.

**نکته** برای تبدیل cmHg به mmHg و یا برعکس مانند تبدیل واحد cm به mm و یا برعکس عمل می‌کنیم:  $1 \text{ cmHg} = 10 \text{ mmHg}$

**نکته** یکاهای cmHg و mmHg به چگالی جیوه که تابع دما است و هم‌چنین مقدار  $g$  که از محلی به محل دیگر تغییر می‌کند، بستگی دارند.

بنابراین پاسکال یکای مناسب‌تری برای فشار است.

**جمع‌بندی:** در نمودار زیر چگونگی تبدیل یکاهای فشار به یکدیگر را به‌طور خلاصه برایتان مشخص کرده‌ام:

$$\text{mmHg} \xleftrightarrow[\times 10]{\times 10^{-1}} \text{cmHg} \xleftrightarrow[\text{P}=\rho gh]{\text{P}=\rho gh} \text{Pa} \xleftrightarrow[\times 10^5]{\times 10^{-5}} \text{bar}$$

$$76 \text{ cmHg} = 1 \text{ atm}$$

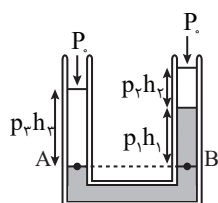
در بعضی از مسائل از شما خواسته می‌شود که فشار ستونی از یک مایع را بر حسب سانتی‌متر جیوه به دست آورید. در این مسائل کافی است مایع  $(\rho gh)$  را برابر جیوه  $(\rho gh)$  قرار دهید و ارتفاع جیوه را به دست آورید که همان حکم فشار را دارد:

$$(\rho gh)_{\text{مایع}} = (\rho gh)_{\text{جیوه}}$$

### لوله‌های U شکل

فرض کنید مطابق شکل مقابل، چند مایع مخلوط‌نشده در یک لوله U شکل به حال تعادل قرار داشته باشند. برای به دست آوردن رابطه‌ای بین ارتفاع و فشار حاصل این مایع‌ها به صورت زیر عمل می‌کنیم:

قبل از هر اقدامی دو نقطه از شکل را انتخاب می‌کنیم که شرایط زیر را داشته باشند:



۱- هم‌سطح باشند.

۲- داخل یک مایع باشند.

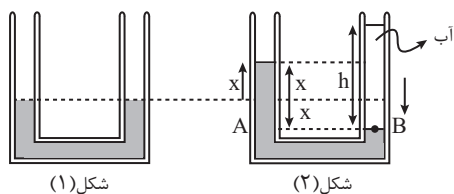
۳- ترجیحاً روی یکی از مرزهای جدایی دو محیط باشند.

در شکل بالا این دو نقطه را با حروف A و B مشخص کرده‌ایم. همان‌طور که می‌دانید نقاط هم‌سطح داخل یک مایع همواره فشارهای برابری دارند. بنابراین فشار در نقاط A و B نیز یکسان است. داریم:

$$P_A = P_B \Rightarrow \rho_2 gh_2 + P_0 = \rho_1 gh_1 + \rho_2 gh_2 + P_0 \Rightarrow \rho_2 gh_2 = \rho_1 gh_1 + \rho_2 gh_2 \Rightarrow \rho_2 h_2 = \rho_1 h_1 + \rho_2 h_2$$

معمولاً در سؤالات لوله‌های U شکل، ارتفاع و یا چگالی یک مایع مجهول است که به کمک روش بالا می‌توانیم آن را به دست آوریم. دقت کنید که رابطه به دست آمده یک رابطه کلی نیست و با توجه به شکل سؤال تغییر می‌کند.

اضافه کردن مایع به یک طرف لوله U شکل: فرض کنید مطابق شکل (۱) مقداری جیوه داخل لوله U شکل به حالت تعادل قرار داشته باشد. اگر در شاخه سمت راست مقداری آب بریزیم، سطح جیوه در شاخه سمت راست به اندازه X پایین آمده و در شاخه سمت چپ نسبت به حالت اولیه به اندازه X بالا می‌رود. به شکل‌های زیر دقت کنید.

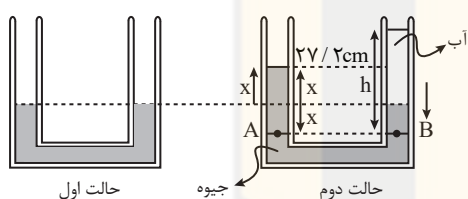


بنابراین اختلاف ارتفاع سطح جیوه در دوشاخه در حالت جدید برابر  $2x$  می‌شود. در این حالت برای به دست آوردن جابه‌جایی جیوه در هر شاخه (x) به صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$P_A = P_B \Rightarrow \rho_{\text{جیوه}} g(2x) = \rho_{\text{آب}} g(h)$$

**مثال** درون لوله U شکل شیشه‌ای، جیوه قرار دارد و محل سطح آزاد جیوه را روی یکی از شاخه‌ها علامت گذاری می‌کنیم. اگر به آرامی در شاخه دیگر آن قدر آب بریزیم تا ستون آب  $27/2 \text{ cm}$  شود، سطح جیوه در شاخه مقابل، از محل علامت گذاری چند سانتی‌متر بالا می‌رود؟ (چگالی جیوه  $13/6$  برابر چگالی آب است).

۰/۵ (۱)      ۱ (۲)      ۲ (۳)      ۴ (۴)



ابتدا شکل ساده‌تر دو حالت مسأله، رسم می‌کنیم.

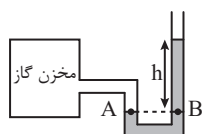
گزینه «۲» پاسخ

با توجه به این: که فشار وارد شده به دو نقطه A و B با یکدیگر برابر است، داریم:

$$P_A = P_B \Rightarrow \rho_{\text{جیوه}} g(2x) = \rho_{\text{آب}} g(h) \Rightarrow 13/6(2x) = 1(27/2) \Rightarrow x = 1 \text{ cm}$$

فشارسنج U شکل (مانومتر)

برای اندازه‌گیری فشار شاره‌ها از وسیله‌ای به نام مانومتر استفاده می‌شود. همان‌طور که در شکل زیر می‌بینید، این وسیله از یک لوله U شکل حاوی مایع تشکیل شده است. مایع داخل لوله U شکل معمولاً آب یا جیوه است. برای به دست آوردن فشار گاز محبوس در داخل مخزن کافی است فشار نقاط A و B را برابر هم قرار دهیم و داریم:



$$P_A = P_B \Rightarrow P_{\text{گاز}} = \rho gh + P_0$$

در رابطه بالا به  $P_{\text{گاز}}$  فشار مطلق می‌گویند.

**فشار پیمانه‌ای:** به اختلاف فشار گاز و فشار هوا ( $P_{\text{گاز}} - P_0$ ) فشار پیمانه‌ای گویند و آن را با  $P_g$  نشان می‌دهند. با توجه به رابطه بالا

$$P_{\text{گاز}} = \rho gh + P_0 \Rightarrow \underbrace{P_{\text{گاز}} - P_0}_{\text{فشار پیمانه‌ای}} = \rho gh \Rightarrow P_g = \rho gh$$

فشار پیمانه‌ای گاز برابر  $\rho gh$  است، به عبارت دیگر داریم:

دقت کنید که برای به دست آوردن فشار پیمانه‌ای باید فشار گاز را منهای فشار هوا کنید.

به‌طور مثال: فرض کنید در محلی که فشار هوا  $1 \text{ atm}$  است، فشار مطلق دو گاز A و B به ترتیب  $1/5 \text{ atm}$  و  $5/5 \text{ atm}$  است. در این

صورت برای به دست آوردن فشار پیمانه‌ای A و B داریم:

$$P_{gA} = P_A - P_o = ۱/۵ - ۱ = ۰/۵ \text{ atm}$$

$$P_{gB} = P_B - P_o = ۰/۵ - ۱ = -۰/۵ \text{ atm}$$

منفی شدن فشار پیمانه‌ای به این معنی است که فشار گاز مورد نظر کمتر از فشار هوای محیط است. به \bart دیگر می‌توانیم بگوییم که فشار گاز A،  $۰/۵ \text{ atm}$  بیشتر از فشار هوا و فشار گاز B،  $۰/۵ \text{ atm}$  کمتر از فشار هوای محیط است.



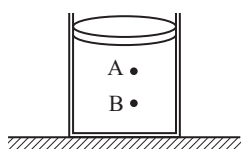
## اصل پاسکال و بالابر هیدرولیکی

### اصل پاسکال

فشار وارنده به یک نقطه از مایع عیناً به تمام نقاط مایع وارد می‌شود. به عبارت دیگر افزایش فشار تمام نقاط درون یک مایع یکسان است.

**مثال** در شکل روبه‌رو، فشار در نقاط A و B در درون مایع برابر  $P_A$  و  $P_B$  است. وزنه‌ای را روی پیستون آزاد قرار می‌دهیم. اگر در

اثر وزنه، افزایش فشار در آن نقاط  $\Delta P_A$  و  $\Delta P_B$  باشد، کدام رابطه درست است؟



$$(1) \Delta P_B < \Delta P_A \text{ و } P_B = P_A$$

$$(2) \Delta P_B = \Delta P_A \text{ و } P_B < P_A$$

$$(3) \Delta P_B = \Delta P_A \text{ و } P_B > P_A$$

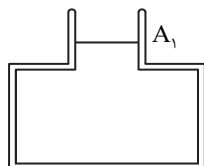
$$(4) \Delta P_B > \Delta P_A \text{ و } P_B > P_A$$

**پاسخ** گزینه ۳، با توجه به رابطه  $\rho gh$  چون  $h_B > h_A$  است، در نتیجه  $P_B > P_A$  است. از طرف دیگر طبق اصل پاسکال افزایش

فشار تمام نقاط مایع یکسان است. بنابراین داریم:  $\Delta P_A = \Delta P_B$

فرض کنید مطابق شکل مقابل، ظرفی با سطح مقطع‌های متفاوت در اختیار داشته باشیم و مقداری مایع به ظرف اضافه کنیم، طبق

اصل پاسکال افزایش فشار وارد شده به سطح مقطع‌های  $A_1$  و  $A_2$  با یکدیگر برابر است، بنابراین داریم:



$$\Delta P_1 = \Delta P_2 \Rightarrow \frac{\Delta F_1}{A_1} = \frac{\Delta F_2}{A_2}$$

در این رابطه  $\Delta F$  افزایش نیروی وارد شده به سطح مقطع ظرف است.

### بالابر هیدرولیکی

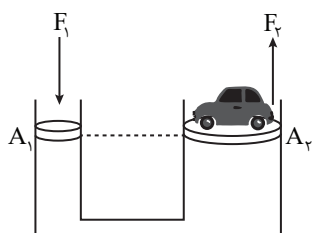
وسیله‌ای است که برای بلند کردن اجسام سنگین استفاده می‌شود. همان‌طور که در شکل زیر می‌بینید، یک بالابر هیدرولیکی مانند

یک لوله U شکل ساده است. با این تفاوت که سطح مقطع دو شاخه آن با یکدیگر برابر نیست.

مایع داخل بالابر هیدرولیکی معمولاً آب یا روغن است که بین دو پیستون محبوس شده است. معمولاً جسم سنگین را بر روی پیستون

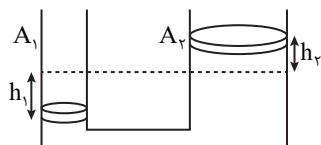
بزرگ قرار می‌دهند، حالا اگر نیرویی مانند  $F_1$  به پیستون کوچک به سمت پایین وارد کنیم، به پیستون بزرگ نیرویی مانند  $F_2$  و به سمت

بالا وارد می‌شود و با توجه به اصل پاسکال داریم:



$$\text{اصل پاسکال: } \Delta P_1 = \Delta P_2 \Rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow \frac{A_2}{A_1} = \frac{F_2}{F_1}$$

حالا فرض کنید بر اثر نیروی وارد شده، پیستون کوچک به اندازه  $h_1$  به سمت پایین و پیستون بزرگ به اندازه  $h_2$  به سمت بالا حرکت کرده باشد. از آن جایی که حجم مایع منتقل شده در دوشاخه یکسان است، داریم:



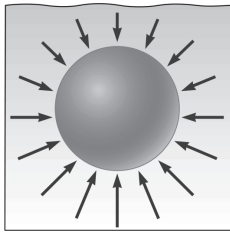
$$\Delta V_1 = \Delta V_2 \Rightarrow A_1 h_1 = A_2 h_2 \Rightarrow \frac{A_2}{A_1} = \frac{h_1}{h_2}$$

دقت کنید که از رابطه  $\frac{A_2}{A_1} = \frac{F_2}{F_1}$  فقط زمانی می‌توانید استفاده کنید که دو پیستون هم‌تراز باشند. اما رابطه  $\frac{A_2}{A_1} = \frac{h_1}{h_2}$  همواره قابل استفاده است.

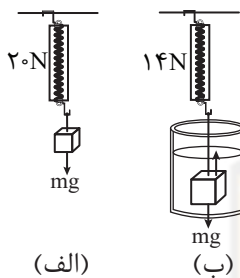


## اصل ارشمیدس

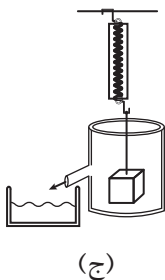
فرض کنید مطابق شکل زیر جسمی داخل مایعی قرار گرفته باشد.



در شکل زیر نیروهای وارد شده به جسم به طور کیفی رسم شده است. همان طور که می بیند در قسمت های بالایی جسم به دلیل کاهش عمق و فشار شاره، نیروی کمتری به جسم وارد می شود و هر چه به قسمت های پایینی نزدیک می شویم، به دلیل افزایش عمق و فشار شاره، اندازه نیروی وارد شده به جسم نیز افزایش می یابد. چون اندازه نیروهای جانبی برابر بوده و مخالف جهت هم هستن، پس برآیند آن ها صفر می شود و در راستای افقی نیروی خالصی به جسم وارد نمی شود. اما همان طور که در شکل زیر می بینید، برآیند نیروهای وارد شده به جسم در راستای قائم صفر نیست و نیروی خالصی به سمت بالا به جسم وارد می شود که آن را با  $F_b$  نشان می دهند و به آن نیروی شناوری می گویند.



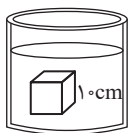
در ادامه با بررسی یک آزمایش بسیار زیبا اندازه نیروی ارشمیدس را به دست می آوریم.  
فرض کنید جسمی به وزن  $20\text{ N}$  را مطابق شکل (الف) به یک نیروسنج متصل کنیم. بدیهی است که در این حالت نیروسنج مقدار  $20\text{ N}$  را نشان می دهد. حالا مطابق شکل (ب) جسم را داخل ظرف آبی قرار می دهیم. اگر در این حالت عدد نشان داده شده، توسط نیروسنج را نگاه کنید، متوجه می شوید که نیروسنج عدد کمتری را نشان می دهد. به عنوان مثال در این حالت نیروسنج  $14\text{ N}$  را نشان می دهد. در واقع این کاهش ۶ نیوتونی نیرو به خاطر نیروی شناوری است که مایع به سمت بالا به جسم وارد می کند.



صبر کنید آزمایش ما هنوز تمام نشده است. حالا فرض کنید همان جسم متصل شده به نیروسنج را در ظرفی مطابق شکل زیر وارد کنیم. همان طور که در شکل (ج) می بینید، با وارد شدن جسم درون ظرف آب، سطح آب مقداری بالا می آید و از دریچه ایجاد شده، از ظرف بیرون می ریزد. حالا اگر وزن آب بیرون ریخته شده را به دست آوریم، متوجه می شویم که برابر  $6\text{ N}$  است که دقیقاً برابر اندازه نیروی شناوری است که آب به جسم مورد نظر وارد می کند. به بیان دقیق تر طبق اصل ارشمیدس:

(وقتی تمام یا قسمتی از یک جسم در شاره ای فرو رود، شاره نیرویی بالاسو به آن وارد می کند که با وزن شاره جابه جاشده برابر است.)

**مثال** مطابق شکل مقابل مکعبی به ضلع  $10\text{ cm}$  و چگالی  $2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  در ظرف آبی قرار دارد. اندازه نیروی شناوری وارد به جسم چند نیوتون است؟ ( $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$  و  $\rho_{\text{آب}} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ )



۱۰ (۱)

۲۰ (۲)

۱۵ (۳)

۵ (۴)

$$V = a^3 = (10/1)^3 = 10^{-2} \text{ m}^3$$

**پاسخ:** گزینه ۱ ابتدا حجم جسم مورد نظر را به دست می آوریم:

حجم مایع جابه جاشده برابر حجم جسم است. حالا به کمک چگالی مایع، جرم مایع جابه جاشده را به دست می آوریم:

$$m = \rho V = 10^3 \times 10^{-2} = 10 \text{ kg}$$

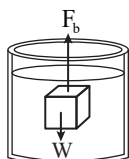
همان طور که گفتیم اندازه نیروی شناوری برابر وزن مایع جابه جاشده است. بنابراین داریم:

$$\text{وزن} \quad mg = 1 \times 10 = 10 \text{ N}$$

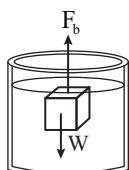
مایع جابه جاشده  $F_b$

هنگامی که جسمی داخل شاره ای قرار می‌گیرد، علاوه بر نیروی شناوری، نیروی وزن نیز به آن وارد می‌شود. با مقایسهٔ بزرگی نیروی وزن و نیروی شناوری می‌توانیم چگونگی رفتار جسم را در شاره بررسی کنیم:

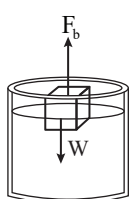
۱-  $F_b = W$ : در این حالت برآیند نیروهای وارد شده به جسم صفر است و جسم درون شاره به صورت غوطه‌ور باقی می‌ماند.



۲-  $F_b > W$ : در این حالت برآیند نیروهای وارد شده به جسم به سمت بالا خواهد بود و جسم شروع به بالارفتن می‌کند.

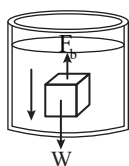


**نکته** در حالت (۲) بالارفتن جسم تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که جسم به سطح شاره برسد و قسمتی از جسم از شاره خارج شود. به گونه‌ای که اندازهٔ  $F_b$  و  $W$  برابر یکدیگر شود در این حالت جسم بر روی شاره به حال سکون قرار می‌گیرد و در اصطلاح جسم روی شاره شناور می‌شود.



در این حالت در رابطهٔ  $V \cdot F_b = \rho g V$  برابر حجمی از جسم است که داخل شاره قرار گرفته است.

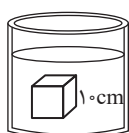
۳-  $F_b < W$ : در این حالت برآیند نیروی وارد شده به جسم به سمت پایین خواهد بود و جسم شروع به پایین رفتن می‌کند.



**نکته** در حالت (۳) پایین رفتن جسم تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که جسم به کف ظرف برسد در این حالت علاوه بر وزن و نیروی شناوری، نیروی عمودی سطح نیز به جسم وارد می‌شود و با توجه به این که جسم ساکن است، برآیند نیروهای وارد شده آن صفر است و داریم:

**مثال** مطابق شکل مقابل مکعبی به جرم  $5 \text{ kg}$  و به ضلع  $10 \text{ cm}$  را در ظرف آبی رها می‌کنیم. کدام گزینه در مورد حرکت این

مکعب درست است؟ (  $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$  و  $\rho_{\text{آب}} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  )



(۱) غوطه‌ور می‌شوند.

(۲) به سمت بالا می‌رود.

(۳) به سمت پایین می‌رود.

(۴) بستگی به فشار هوا دارد.

**پاسخ** گزینهٔ (۲) ابتدا وزن جسم را به دست می‌آوریم:  $W_{\text{جسم}} = mg = 50 \times 10 = 50 \text{ N}$

دقت کنید که در رابطهٔ بالا  $\rho$  چگالی مایع است و  $V$  حجم مایع جابه‌جا شده است که برابر حجم مکعب می‌باشد.

با توجه به این که  $F_b > W$  است، جسم به سمت بالا شروع به حرکت می‌کند.

همان‌طور که گفتیم برای بررسی حرکت جسم داخل شاره باید  $F_b$  و  $W$  را با یکدیگر مقایسه کنیم. اگر این دو نیرو را به صورت زیر باز کنیم،

$$F_b = \rho_{\text{شاره}} g V$$

به نتیجه جالبی می‌رسیم:

$$W = mg = \rho_{\text{جسم}} g V$$

از آن جایی که حجم شارهٔ جابه‌جا شده و حجم جسم با یکدیگر برابر است، پس به جای مقایسهٔ  $F_b$  و  $W$  کافی است  $\rho_{\text{شاره}}$  و  $\rho_{\text{جسم}}$  را با

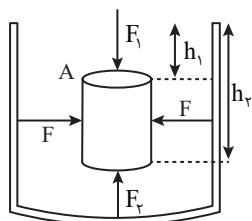
یکدیگر مقایسه کنیم و داریم:

۱- جسم  $\rho_{\text{جسم}} = \rho_{\text{شاره}}$ : جسم به صورت غوطه‌ور قرار می‌گیرد.

۲- جسم  $\rho_{\text{جسم}} > \rho_{\text{شاره}}$ : جسم شروع به بالارفتن می‌کند. (در محاوره می‌گویند جسم سبک‌تر از مایع است و به روی مایع می‌آید.)

۳- جسم  $\rho_{\text{جسم}} < \rho_{\text{شاره}}$ : جسم شروع به پایین رفتن می‌کند. (در محاوره می‌گویند جسم سنگین‌تر از مایع است و به زیر مایع می‌رود.)

خوب است بدانید (حتماً بدانید)



فرض کنید مطابق شکل زیر، استوانه‌ای در داخل مایعی قرار گرفته باشد. همان‌طور که در شکل زیر می‌بینید، نیروهای مختلفی به وجوه این استوانه وارد می‌شود. نیروهای افقی با یکدیگر برابر بوده و در خلاف جهت یکدیگر هستند. بنابراین یکدیگر را خنثی می‌کنند. اما اندازه نیروهای قائم با یکدیگر برابر نیست و برآیند آن‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$F_1 = P_1 A = \rho g h_1 A$$

$$F_2 = P_2 A = \rho g h_2 A$$

با توجه به این که  $h_2 > h_1$  است، پس  $F_2$  نیز بزرگ‌تر از  $F_1$  خواهد بود بنابراین نیروی خالصی از ظرف مایع به جسم به سمت بالا وارد

$$\Delta F = F_2 - F_1 = \rho g h_2 A - \rho g (h_1 - h_2) A = \rho V g \Rightarrow \Delta F = F_b = \rho g V$$

می‌شود که اندازه آن برابر است با:

در رابطه بالا  $\Delta F$  اندازه نیروی خالصی است که از طرف مایع به جسم به طرف بالا وارد می‌شود که به آن نیروی شناوری می‌گویند و آن را معمولاً با  $F_b$  نمایش می‌دهند و  $g$  شتاب گرانش و  $\rho$  چگالی شاره و  $V$  برابر حجم جسم مورد نظر است. دقت کنید که حجم جسم غوطه‌ور برابر حجم شاره جابه‌جا شده است. بنابراین عبارت  $\rho V$  برابر جرم شاره جابه‌جا شده و عبارت  $\rho V g$  برابر وزن شاره جابه‌جا شده خواهد بود.

### شاره در حال حرکت و اصل برنولی

تا این جا شاره‌های ساکن را مورد بررسی قرار دادیم. در ادامه می‌خواهیم شاره‌های در حال حرکت را بررسی کنیم. پارامترهای مختلفی در بررسی شاره‌های متحرک نقش دارند. مانند: تراکم‌پذیر یا تراکم‌ناپذیر بودن، یکنواخت و آشوبناک بودن شاره و ... در کتاب درسی فیزیک دهم برای سادگی کار مدل آرمانی و ساده‌ای از یک شاره تراکم‌ناپذیر که بدون تلاطم و بدون اتلاف انرژی حرکت می‌کند، مورد بررسی قرار گرفته است.

به طور کلی دو نوع جریان را در شاره‌ها می‌توانیم بررسی کنیم:

**الف) حرکت لایه‌ای شاره:** در این حالت شاره بدون تلاطم حرکت می‌کند و نقش کلی خطوط جریان با گذر زمان ثابت می‌ماند.

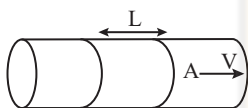


**ب) حرکت متلاطم شاره:** در این حالت مسیر حرکت ذرات شاره و نقش کلی خطوط جریان با گذر زمان به طور مداوم تغییر می‌کند.



**آهنگ جریان شاره:** نسبت حجم شاره جابه‌جا شده در یک لوله به زمان را آهنگ جریان شاره می‌گویند.

فرض کنید مطابق شکل زیر شاره‌ای درون لوله‌ای در جریان باشد. فرض کنید سطح مقطع لوله برابر  $A$  باشد و در مدت زمان  $t$  حجمی از مایع به اندازه  $(AL)$  جریان یابد. در این صورت آهنگ جریان شاره به صورت زیر محاسبه می‌شود:



$$\text{آهنگ جریان شاره} = \frac{\text{حجم شاره}}{\text{زمان}} = \frac{AL}{t} = Av$$

امیدوارم به این نکته دقت کرده باشید که نسبت  $L$  به  $t$  بیانگر نسبت مسافتی است که شاره در مدت زمان  $t$  طی می‌کند که همان تندی حرکت شاره است.

**نکته** یکای آهنگ جریان شاره در SI به صورت مترمکعب بر ثانیه ( $\frac{m^3}{s}$ ) بیان می‌شود.

**مثال** در لوله‌ای به شعاع مقطع ۱۰ cm شاره‌ای با تندی  $5 \frac{m}{s}$  در جریان است. آهنگ جریان این شاره چند واحد SI است؟ ( $\pi = 3$ )

۰/۳ (۴)

۳ (۳)

۰/۱۵ (۲)

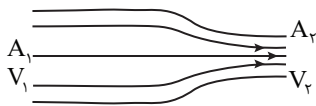
۱/۵ (۱)

$$A = \pi r^2 = 3(0.1)^2 = 0.03 m^2$$

**پاسخ** گزینه ۲، ابتدا سطح مقطع لوله را به دست می‌آوریم:

### معادله پیوستگی:

فرض کنید مطابق شکل زیر جریان پیوسته‌ای از آب در لوله‌ای با دو سطح مقطع متفاوت جریان داشته باشد در حالت پایا حجم آبی که از سطح مقطع‌های مختلف لوله عبور می‌کند، ثابت می‌ماند بنابراین مقدار آبی که در یک مدت زمان معین از یک مقطع لوله می‌گذرد با مقدار آبی که در همان مدت زمان از مقاطع دیگر می‌گذرد برابر است. در نتیجه برای ثابت ماندن مقدار آب عبوری از هر مقطع با نازک شدن لوله، جریان آب تندتر شده و با پهن تر شدن و افزایش سطح مقطع لوله، جریان آب کندتر می‌شود و به طور کلی داریم:

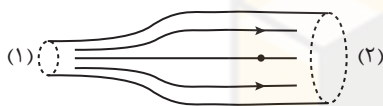


$$A_2 < A_1 \Rightarrow V_2 > V_1 \Rightarrow A_1 V_1 = A_2 V_2$$

در رابطه بالا  $A_1$  و  $A_2$  سطح مقطع لوله و  $V_1$  و  $V_2$  سرعت جریان به ترتیب در مقاطع  $A_1$  و  $A_2$  است. به طور مثال: هنگامی که می‌خواهیم با شلنگ حیاط به باغچه‌ها آب بدهیم، معمولاً انگشت خود را در دهانه شلنگ قرار می‌دهیم، زیرا با این عمل سطح مقطع شلنگ کاهش یافته و در نتیجه سرعت آب افزایش می‌یابد. و یا اگر که به شهر زیبای اصفهان سفر کرده باشید، حتماً از روی سی‌وسه پل عبور کرده‌اید. اگر در این هنگام به جریان آب دقت کنید، متوجه می‌شوید که هنگام عبور آب از دهانه‌های سی‌وسه پل، سرعت آب رودخانه بسیار بیشتر از زمانی است که آب در حالت عادی رودخانه را طی می‌کند. زیرا در دهانه پل سطح مقطع کاهش یافته و در نتیجه سرعت آب افزایش می‌یابد.

**مثال** مطابق شکل زیر، شاره‌ای تراکم‌ناپذیر در لوله‌ای به صورت یکنواخت جریان دارد. اگر شعاع مقطع (۲) سه برابر شعاع مقطع

(۱) باشد، سرعت شاره در نقطه (۲) چند برابر (۱) است؟



- (۱)  $\frac{1}{3}$   
(۲) ۳  
(۳)  $\frac{1}{9}$   
(۴) ۹

$$\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 = \left(\frac{3r_1}{r_1}\right)^2 = 9$$

**پاسخ:** گزینه «۳» ابتدا نسبت سطح مقطع قسمت (۳) را به (۱) پیدا می‌کنیم:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \Rightarrow A_1 V_1 = 9 A_1 (V_2) \Rightarrow V_2 = \frac{1}{9} V_1$$

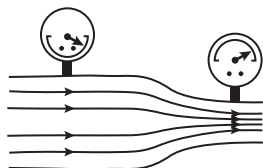
حالا به کمک معادله پیوستگی داریم:

**اصل برنولی:**

با افزایش تندی شاره، فشار داخل شاره کاهش می‌یابد.

اصل برنولی هم برای مایع‌ها و هم برای گازها برقرار است.

همان طور که در شکل زیر می‌بینید در قسمت (۲) سطح مقطع لوله کاهش یافته و در نتیجه سرعت شاره بیشتر می‌شود و به دنبال آن فشار داخل شاره کم می‌شود.

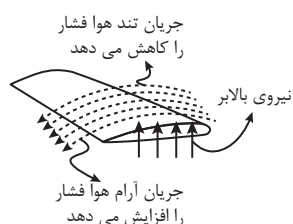


**نکته** برای نشان دادن حرکت شاره از خطوطی به نام خطوط جریان استفاده می‌شود. هر چه مقدار این خطوط به یکدیگر نزدیک‌تر باشند، سرعت شاره بیشتر و فشار داخل آن کم‌تر خواهد بود.

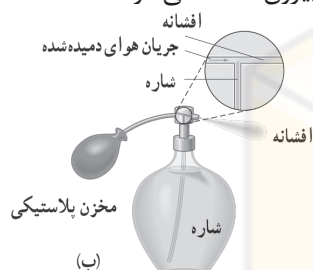
### کاربردهای اصل برنولی

این اصل کاربردهای فراوانی دارد که در ادامه دو مورد آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

**الف) نیروهای بالابر وارنده به بال هواپیما:** بال هواپیما به گونه‌ای طراحی می‌شود که تندی جریان هوا در بالای بال بیشتر از زیر بال باشد به این ترتیب طبق اصل برنولی، فشار هوای بالای بال کم‌تر از فشار وارد شده به زیر بال می‌شود این اختلاف فشار باعث بالا رفتن هواپیما می‌شود.



**ب) افشانه عطر:** همان‌طور که رد شکل زیر می‌بینید، شیشه عطر به یک مخزن پلاستیکی متصل است، با فشار دادن مخزن پلاستیک، جریان سریع هوا باعث کاهش فشار در بالای مخزن عطر می‌شود و عطر از لوله مورد نظر بالا آمده و به بیرون افشانه می‌شود.



یادداشت‌سؤالات و نکات ویژه



یادداشت‌سؤالات و نکات ویژه

