

# ویژگی های فیزیکی مواد

مدرس: مسعود رهنمون

سال تحصیلی ۹۶-۹۵

**حالت های مختلف ماده:** در طبیعت، ماده در سه حالت اصلی یافت می شود: گاز، مایع و جامد. هر یک از این حالت های کلاسیک را فاز نیز می نامند. هر فاز با فاز دیگر از دو نقطه نظر متفاوت است: جنبش مولکول ها و ذرات جسم و آزادی نسبی آنها و همچنین فاصله بین ذرات.



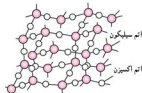
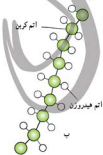
1- جامدات :

در جامدات فاصله ی بین مولکول ها در حدود آنگستروم یعنی  $10^{-10}m$  است. این فاصله در حدود قطر اتم است. در جامدات نیروهای بین مولکولی به قدری است که مولکول ها نمی توانند حرکت انتقالی داشته باشند. در نتیجه جامدات دارای شکل هستند و مولکول های آنها فقط می توانند در جای خودشان حرکت ارتعاشی داشته باشند. برای درک بهتر این مطلب، فرض کنید که مولکول ها مانند توپ هایی هستند که توسط فنرهایی به هم متصل شده اند. این فنرها همان نیروهای بین مولکولی هستند. اگر دو مولکول بخواهند از هم دور شوند این نیرو جاذبه و اگر دو مولکول بخواهند به هم بیش از هم نزدیک شوند، این نیروها دافعه خواهند بود. البته لازم به ذکر است که نیروهای بین مولکولی از قوتون هوک پیروی نمی کنند. جامدات به دو صورت می توانند وجود داشته باشند، بلورین و بی شکل

جامد بلورین (*crystalline solid*): اگر مایع مذاب اولیه را به آهستگی سرد کنیم، مولکول ها در طرح های منظمی در کنار یکدیگر قرار می گیرند. با تکرار این طرح ها در یک ساختار سه بعدی جامد بلورین شکل می گیرد. فلزاتی مانند آهن و سنگ هایی مانند نمک طعام و نیتريد بور و ... از مهم ترین جامدهای بلورین هستند.



جامد بی شکل یا آمورف (*amorphous solid*): اگر مایع مذاب اولیه را سریعاً سرد و منجمد کنیم، مولکول ها فرصت کافی برای مرتب شدن در یک طرح منظم در کنار یکدیگر را ندارند. به این قبیل جامدها جامد بی شکل (آمورف) می گویند. در یک جامد بی شکل، اتم ها و مولکول ها به صورت کاتوره ای (*random*) توزیع شده اند در بسیاری از جامدهای بی شکل، ذرات می توانند تا اندازه ای آزادانه «حرکت کنند» لاستیک، شیشه و پلاستیک از مهم ترین جامدهای بی شکل اند.



الف - ساختار بی شکل نیتشه ب و پ - یک مولکول بسیار را نشان می دهد که ساختار بی شکل دارد.

مایع (liquid): در این حالت فاصله مولکول ها و ذرات بسیار کم و تقریباً برابر قطر یک مولکول است به گونه ای که اساساً نمی توان مایعات را متراکم کرد. اما هنوز هم مولکول ها آزادی نسبی در حرکت و لغزش بر روی یکدیگر را دارند. حالت مایع، حد واسط بین حالت گاز و حالت جامد است. در مایعات، مولکول ها به قدری آهسته حرکت می کنند که نیروهای جاذبه بین مولکولی می توانند آنها را در حجم معینی نگه دارند. با این حال، جنبش مولکول ها هنوز سریع تر از آن است که نیروهای جاذبه بین مولکولی بتوانند آنها را در مواضع مشخصی از شبکه بلوری ثابت نگه دارند. به همین دلیل است که مایعات حجم معینی دارند اما شکل مشخصی ندارند، یعنی جاری می شوند و شکل ظرفی را که در آن قرار دارند، به خود می گیرند.

تکنه: مایعات و گازها با نام عمومی شاره ها (سیالات) خوانده می شوند. در یک اظهار نظر کلی دیگر می توان گفت: شاره ها موادی هستند که وقتی تحت اثر «نیروهای پیچشی» واقع شوند، جاری می شوند  
پرسش: چگونه می توان اندازه یک مولکول نفت را برآورد کرد؟

هدف اصلی این فعالیت برآورد اندازه ی یک مولکول است. برای انجام این فعالیت بهتر است به توصیه هایی که در ادامه آمده است، توجه شود. به جای روغن مین توانید از صابون مایع نیز استفاده کنید. برای جداسازی یک قطره روغن یا صابون مایع و قرار دادن آن بر سطح آب می توانیم انتهای یک مو را به آرامی داخل ظرف محلولی 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  $0.1 \text{ mm}$  و قطر قطره ی روغنی که در انتهای مو تشکیل می شود حدود  $0.3 \text{ mm}$  است (مطابق شکل هم چنین برای آن که گسترش قطره ی روغن یا صابون مایع را بر روی سطح آب به خوبی مشاهده کنیم بهتر است به کمک نمک پاش! مقداری فلفل بر روی سطح آب بپاشیم. این کار را پیش از قرار دادن قطره ی روغن روی سطح آب انجام می دهیم. پس از آن که گسترش سطح قطره ی روغن یا صابون مایع بر روی سطح آب به حد کافی رسید و تقریباً متوقف گردید با توجه به اندازه گری قطر لایه ی روغن یا صابون مایع بر روی آب می توانیم اندازه ی تقریبی قطر یک مولکول را با توجه به شکل پیدا کنیم.



مثال: در یک آزمایش برای برآورد اندازه تقریبی مولکول نوعی روغن آلی، قطره ای از آن به حجم  $0.001$  میلی متر مکعب را روی سطح ساکن و تمیز آب می چکانیم. روغن پخش می شود و لکه ای دایره ای به قطر  $56$  میلی متر تشکیل می دهد. قطر هر مولکول روغن تقریباً چقدر است؟

فرآیند نفوذ (پخش) در مایعات: دو مایع که قابلیت انحلال در یکدیگر را دارند، وقتی به هم می رسند، در یکدیگر نفوذ می کنند. اگر مایعی را با دقت کافی روی مایع دیگر که چگالی بیشتر دارد بریزیم، در ابتدا مرز مشخصی بین آنها مشاهده می کنیم. این مرز همچنان که مولکولهای دو مایع در هم می آمیزند، به تدریج ناپدید می شود و پس از مدتی به کلی ناپدید می شود. فرآیند نفوذ در مایعات خیلی آهسته تر از گازها است. در مایعات، چون مولکول ها نسبتاً به هم نزدیک اتد، تعداد برخوردهای هر مولکول در یک فاصله زمانی معین بسیار زیاد و مسافت آزاد میانگین برای مولکول یک مایع کوتاه تر از گاز است و از این رو، مایعات به مراتب کندتر از گازها پخش می شوند.



حرکت نامنظم و ناآهسته ای یک مولکول آب

پخش مولکولهای جوهر در آب

**گاز (gas):** در این حالت مولکول ها و ذرات بیشترین فاصله ممکن از یکدیگر و بیشترین آزادی ممکن را نسبت به

یکدیگر دارند. فاصله مولکول ها از هم در حالت گازی ده ها برابر قطر یک مولکول است. به همین دلیل است که گازها نه شکل معین و نه حجم مشخصی دارند. دقیقاً به همین علت نیز حجم گاز نه تنها به تعداد ذرات آن بلکه به دما و فشار نیز بستگی دارد. حجم گازها معمولاً در شرایط دما و فشار استاندارد (STP) دمای صفر درجه سلسیوس و فشار یک اتمسفر (گزارش می شود. ذرات در حالت گازی به صورت کاتوره ای حرکت می کنند و از آنجا که فاصله آنها از یکدیگر زیاد است تعداد برخوردهای میان آن ها بسیار کمتر از حالت های دیگر ماده است. دو یا چند گاز را می توان به هر نسبت پایکیدیگر به صورت کاملاً همگن مخلوط کرد.

نکته: مایعات و گازها با نام عمومی شاره ها (سیالات) خوانده می شوند. در یک اظهار نظر کلی دیگر می توان گفت: شاره ها موادی هستند که وقتی تحت اثر «نیروهای بیچشی» واقع شوند، جاری می شوند.

نکته: تفاوت اصلی مایع و گاز در فاصله بین مولکول های آنها است. در گازها، مولکول ها فاصله زیادی از هم دارند و تحت تأثیر نیروهای چسبندگی قرار نمی گیرند.

**پخش (diffusion):** در اثر برخورد مولکول های هوا با مولکول های مایعات فزّاری مانند عطر و ادوکلن) یا مولکول

های گازهای دیگری مثل گاز شهری و ذرات دود و ... مولکول های عطر در هوای محیط منتشر می شوند. این پدیده که پخش نامیده می شود، ناشی از اختلاف غلظت گاز در دو ناحیه از محیط بوده و فشار هوا در آن نقشی ندارد.

سوال: همان طور که می دانیم هوای اطراف کره ی زمین آمیزه ای از گازهای مختلف همچون نیتروژن، اکسیژن و کربن دی اکسید، بخار آب و ... است. اگر پدیده ی پخش رخ نمی داد آیا زندگی در روی زمین به وجود می آمد؟

پاسخ: در صورتی که این پدیده رخ نمی داد، میدان گرانشی زمین، جو را به چند لایه تقسیم می کرد به طوری که پایین ترین لایه شامل سنگین ترین گاز، یعنی کربن دی اکسید می بود و بالای آن به ترتیب اکسیژن، نیتروژن بخار آب و گازهای بی اثر قرار می گرفتند.

یکی از وجوه تمایز ماکروسکوپیکی بین مایعات و گازها میزان تراکم پذیری آن هاست. تراکم پذیری به معنی تغییر چگالی بر اثر تغییر فشار اعمال شده روی سیستم است. تراکم پذیری نتیجه ی مستقیم خواص میکروسکوپیکی ماده، یعنی فاصله و نیروهای بین مولکولی، است. مایعات را به تقریبی می توان تراکم ناپذیر دانست. این موضوع به طور کلی در مورد گازها صدق نمی کند، اگر چه اغلب به خاطر سهولت در انجام محاسبات آن ها را تراکم ناپذیر در نظر می گیرند. به عنوان مثال، وقتی هوا با سرعتی کمتر از  $50 \text{ ms}^{-1}$  در حال شارش باشد، فرض تراکم ناپذیری اغلب نتایج قابل قبولی به دست می دهد.

**حرکت براونی:** در سال ۱۸۲۷ گیاه شناسی به نام رابرت براون، حرکت «درهم و برهم» و بی وقفه ی گرده های گیاهی را در

آب توصیف کرد. ذرات کوچکی که او در میکروسکوپ خود مشاهده کرده بود، به طوری وقفه در حرکت بودند. آلبرت اینشتین در ماه مه ۱۹۰۵ هنگامی که بیست و شش ساله بود و در اداره ی ثبت اختراعات برای دولت سوئیس کار می کرد، مقاله ی کوتاهی برای *Annalen der Physik* فرستاد که در آن حرکت براونی به صورت 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 مولکول ها حاصل می شوند. هر چند در آن زمان، حتی وجود مولکول ها هم برای همه ی دانشمندان مسلم نشده بود. اما چند سال بعد، زان پرن با استفاده از نتایج اینشتین توانست جرم مولکول ها را از طریق اندازه گیری هایش در حرکت براونی تعیین کند، و بی هیچ تردیدی وجود مولکول را نشان دهد. اگر چه براون و پرن ذرات کوچک موجود در آب را مطالعه کردند، اما در این جا حرکت براونی در هوا را که ساده تر است به بحث می گذاریم.

ظرفی شیشه ای را از دود پر کنید مثلاً تکه ای کاغذ در آن آتش زده و خاموش کنید و مطابق شکل توسط لامپی روشن پرتوهای نور به آن بتابانید. به کمک میکروسکوپ به ذره های دود درون ظرف نگاه کنید و به حرکت نامنظم و درهم و برهم آن ها توجه کنید. این حرکت کاتوره ای را حرکت براونی نیز می گویند.



پلاسما (*plasma*): حالت چهارم ماده، پلاسما، شبیه گاز است با این تفاوت که ذرات سازنده آن یون ها (و نه اتم ها) و الکترون های آزاد می باشند. البته پلاسما به طور کلی از نظر الکتریکی خنثی است، چرا که تعداد بارهای مثبت و منفی در آن درست مثل گاز معمولی، برابر است. این حالت ماده در محیط روزمره ما چندان متداول نیست، ولی رایج ترین حالت ماده در کل عالم است. خورشید و سایر ستارگان بیشتر از پلاسما تشکیل شده اند. در روی زمین، پلاسما را در آزمایشگاه با گرم کردن گازها تا دماهای بسیار زیاد به وجود می آورند. پلاسما اغلب بسیار داغ است ولی در دماهای پایین نیز می توان با بمباران اتم ها یا ذرات یا پرتوهای پر انرژی پلاسما را ایجاد کرد. پلاسما جریان الکتریکی را به خوبی هدایت می کند و می توان به کمک میدان های الکتریکی و مغناطیسی آن را به حرکت در آورد. در زندگی روزمره، پلاسما را می توان در لامپ های مهتابی و نمونه های جدید آن: لامپ های کم مصرف، چراغ های نئون تبلیغاتی، صفحه نمایش تخت تلویزیون، گازهای خروجی موتورهای جت و ... مشاهده کرد. در طبیعت، شفق شمالی و شفق جنوبی، پلاسماهای نابان در جو بالایی زمین اند.



کاربرد پلاسما در دندان پزشکی

کاربرد پلاسما در پزشکی

کاربرد پلاسما در برشکاری

کاربرد پلاسما در جوشکاری

### سوالات:



- ۱- در کدام یک از سه حالت ماده، ذره های ماده الف) منظم اند. ب) نامنظم اند. ج) با آزادی در جهت های مختلف حرکت می کنند. د) در مکان های ثابتی نوسان می کنند.
- ۲- الف) چگونه می توان حرکت براونی را مشاهده کرد؟  
ب) در این آزمایش چه پدیده ای را مشاهده می کنید؟  
ج) حرکت براونی چه دلیلی برای ذره ای بودن ماده ارائه می دهد؟  
د) گاهی هنگام نگاه کردن به ذره ای در میکروسکوپ، ذره ناگهان ناپدید می شود. چرا چنین است؟
- ۳- شکل زیر چگونگی قرار گرفتن مولکول ها را در جامدها، مایع ها و گازها نشان می دهد  
الف) کدام یک از شکل ها ترتیب قرار گرفتن مولکول های یک جامد را نشان می دهد؟  
ب) کدام یک از شکل ها ترتیب قرار گرفتن مولکول های یک مایع را نشان می دهد؟



پ



ب



الف

## فناوری نانو یا نانوتکنولوژی:

نانو ریشه یونانی «نانس» به معنی کوتوله می باشد فناوری نانو موج چهارم انقلاب صنعتی، پدیده های عظیم می باشد که در تمامی گرایش های علمی راه یافته است تا جایی که در یک دهه آینده برتری فرابنده ها، وابسته به این تحول خواهد بود ماهیت فناوری نانو توانایی کار کردن در تراز اتمی، مولکولی و فراتر از آن در ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر برابر با یک میلیارد متر است. برای تصور این اندازه می توان طول ده اتم کربن کنار یکدیگر را برابر با یک نانومتر دانست. فناوری نانو با هدف ساخت و دخل و تصرف در چگونگی آرایش اتمها یا مولکولها با استفاده از مواد، وسایل و سیستم هایی با توانایی های جدید و با تغییر این ساختارها و رسیدن به بازدهی بیشتر مواد می باشد. فناوری نانو فرایند دستکاری مواد در مقیاس اتمی و تولید مواد و ابزار، به وسیله کنترل آنها در سطح اتمها و مولکولهاست. در واقع اگر همه مواد و سیستمها ساختار زیربنایی خود را در مقیاس نانو ترتیب دهند؛ آنگاه تمام واکنش ها سریع تر و بهینه تر صورت می گیرد و توسعه پایدار پیش گرفته می شود نکته مهم موجود در مقیاس نانو این است که نیازی وجود ندارد تا تمام ابعاد ماده در مقیاس نانو باشند و می توان با کوچک کردن یک بعد ماده در مقیاس نانو یک نانو لایه داشته باشیم که لایه ای به ضخامت نانو خواهد بود که مثال آن را می توان در اکسید آلومینوم دانست که هنگام تبدیل شدن به نانو لایه اکسید آلومینوم به دلیل ابعاد و شکل هندسی اش رساتا می شود.



پرش:



آلومینیم یکی از رساتاهای بسیار خوب جریان الکتریکی است. سطح آلومینیم، چه به صورت سیسم، قوطی نوشابه یا پال هواپیما باشد، در مجاورت هوا به آلومینیم اکسید تبدیل می شود. از آنجا که آلومینیم اکسید، عایق بسیار خوبی است و رساتای الکتریسیته نیست پس چرا وقتی دو سر دو سیسم آلومینیمی را به هم وصل می کنیم، جریان الکتریسیته از یک سیسم به سیسم دیگر جریان می یابد؟

از ابتدای دهه ۱۹۸۰ میلادی گستره طراحی و ساخت ساختمانها هر روزه شاهد نوآوری های جدیدی در زمینه مصالح کارآمدتر و پربازدهتر در مقاومت، شکل پذیری، دوام و توانایی بیشتر نسبت به مصالح سنتی است. نانوفناوری یک دانش به شدت میان رشته ای است و به رشته هایی چون مهندسی مواد، پزشکی، داروسازی و طراحی دارو، دامپزشکی، زیست شناسی، فیزیک کاربردی، ابزارهای نیم رسانا، شیمی ابرمولکول و حتی مهندسی مکانیک، مهندسی برق و مهندسی شیمی نیز مربوط می شود. تحلیل گران بر این باورند که فناوری نانو، زیست فناوری (**Biotechnology**) و فناوری اطلاعات (**IT**) سه قلمرو علمی هستند که انقلاب سوم صنعتی را شکل می دهند

چرا مقیاس نانو اهمیت دارد:

موضوع جذاب مقیاس نانو نیز، مربوط به خواص مواد است. یافته های دانشمندان نشان می دهد که خواص مواد در مقیاس نانو بسیار متفاوت از مقیاس ماکرو است. به عبارت دیگر اگر ذرات یک ماده ی خاص در حد چند نانومتر کوچک کنیم، این ذرات ویژگی های متفاوتی با ذرات بزرگ اولیه خواهند داشت. این در حالی است که کوچک کردن ذرات یک تغییر فیزیکی است و ما انتظار نداریم که با این تغییر فیزیکی ویژگی های اصلی ماده تغییر کند. این امر سبب گردیده مقیاس نانو بیش از سایر مقیاس ها مورد توجه قرار بگیرد.

## ۱. تغییر رنگ:

حتما بارها خرد شده های یک شیشه ی شکسته شده را دیده اید. ذرات حاصل از شکستن یک شیشه هر چه قدر هم که کوچک باشد، باز به بیرنگی و شفافیت شیشه های اولیه هستند. اما این قاعده در مقیاس نانو صادق نیست. یعنی موادی وجود دارند که رنگ ذرات چند نانومتری آنها با رنگ ذرات بزرگترشان تفاوت دارد. طلا و نقره شناخته ترین نمونه های این گروه از مواد هستند.



مقایسه ذرات شیشه خرد شده و شیشه سالم

## ۲. تغییر شفافیت:

شفافیت یک خاصیت فیزیکی است و نشان دهنده ی میزان توانایی یک ماده در عبور دادن نور مرئی از خود است. یک پرتو نور در برخورد با سطح ماده می تواند از آن عبور کند، جذب آن گردد یا بازتاب شود. اگر ماده ای پرتوهای نور را جذب کند و یا آنها را بازتاباند، نور را مسدود کرده است. مواد مختلف بسته به عملکردشان در برابر تابش نور می توانند کاربرد های فراوانی داشته باشند. به عنوان مثال اکسید روی و اکسید تیتانیوم، نور ماورای بنفش را کاملا جذب می کنند و نور مرئی را باز می تابانند. این مواد که به رنگ سفید دیده می شوند گزینه های بسیار مناسبی برای گرم های ضد آفتاب هستند. البته افراد بسیاری رنگ سفیدی را که این گرم ها بر روی پوست ایجاد می کنند، دوست ندارند. خوشبختانه این مشکل را می توان با کوچک کردن اندازه ی ذرات این مواد حل کرد.

نانوذرات اکسید روی و اکسید تیتانیوم، با وجود اینکه نور ماورای بنفش را کاملا جذب می کنند، اما بر خلاف ذرات بزرگتر کاملا شفاف هستند. البته این امر ناشی از عبور نور مرئی از این ذرات نیست؛ بلکه به سبب آن است که اندازه ی نانوذرات اکسید روی و اکسید تیتانیوم کوچک تر از طول موج نور مرئی (۴۰۰-۷۰۰ نانومتر) است و از این رو این ذرات توانایی بازتابش نور مرئی را ندارند.



تغییر رنگ ذرات اکسید تیتانیوم بر حسب اندازه

## ۳. تغییر خواص مغناطیسی:

کمی براده ی آهن را در یک لیوان آب حل کنید و آن را خوب به هم بزنید. قیل از اینکه براده ها ته نشین شوند، آهن ربا را به لیوان نزدیک کنید چه اتفاقی می افتد؟ آیا مخلوط آب و براده، نسبت به میدان مغناطیسی آهن ربا، عکس العملی نشان می دهند؟ اگر این آزمایش را خیلی خوب انجام داده باشید، بهترین نتیجه ی حاصل، جذب ذرات براده توسط آهن خواهد بود. اما اگر همین آزمایش را توسط ذرات نانو مغزری آهن (یا کبالت) تکرار کنیم، نتیجه متفاوتی خواهد داشت. سیال مغناطیسی (یا فروفلوئید)، مایعی است متشکل از نانوذرات فرو مغناطیس (مانند آهن و کبالت) که در آب یا یک حلال آلی معلق شده اند. این مایع در حضور یک آهن ربا (یک میدان مغناطیسی)، خاصین مغناطیسی بسیار قوی از خود نشان می دهد، به نحوی که با حرکت آهن ربا در اطراف این مایع، می توان آنرا به شکل های سه بعدی زیبایی در آورد. البته این سیال تا زمانی از خود چنین خاصیتی نشان می دهد که ذرات نانو مغزری آن، تحت نیروهای بین مولکولی به یکدیگر نجسند.



سیال مغناطیسی

## تأثیر اساسی نانوتکنولوژی در رشد و پیشرفت بسیاری از فناوریها

ماهیت فرارشتهای علوم و فناوری نانو به عنوان توانمندی تولید مواد، ابزارها و سیستمهای جدید با دقت اتم و مولکول، موجب تعریف کاربردهای بسیاری زیادی در عرصه های مختلف علمی و صنعتی شده است. برای نانوتکنولوژی کاربردهای بسیاری را در حوزه های دارو و غذا و بهداشت، درمان بیماریها، محیط زیست، انرژی، الکترونیک کامپیوتر و اطلاعات، مواد، ساخت و تولید، هوافضا، بیوتکنولوژی و کشاورزی و امنیت ملی و دفاع بر شمرده اند. به همین دلیل بر تمام فناوریها تأثیر گذاشته و دیر یا زود باید شاهد محصولات آنها بود. به عنوان نمونه در بخش پزشکی و بهداشت، یک زمینه کاری بسیار مهم، سیستم توزیع دارو در داخل بدن می باشد. مصرف دارو در حال حاضر به صورت حجمی است در حالی که سلولهای خاصی از بدن نیازمند آن می باشند. در روش جدید دارو با وسایل تزریق متفاوت با امروزه به صورت مستقیم به سمت سلولهای مشخص جهت گیری شده و دارو به محل نیاز تحویل داده می شود. با همین مکتبیزم، بیماریهای بزرگ و کوچک در آغاز شکل گیری قابل تشخیص و درمان خواهند بود. یا در بخش مواد، پروژه هایی در دست کار می باشد که موادی با وزن بسیار کم و خواص بسیار مناسب تولید شوند. کاربرد این مواد در ساختمان، خودرو، هواپیما و بسیاری از ملزومات زندگی انسانها دیده خواهد شد. بنابراین عرصه بسیار وسیع نانوتکنولوژی که زندگی انسانها را نیز در بر خواهد گرفت، خود الفاء کننده این نتیجه خواهد بود که نمی توان به روی آن چشم بست



کاربرد فن آوری نانو در بازسازی رباط صلیبی



### نیروهای بین مولکولی (intermolecular forces):

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



مولکولهای آب به یکدیگر نیروی جاذبه وارد می کنند

نیروهای بین مولکولی از نوع الکتریکی بوده و کوتاه برد هستند. یعنی فقط زمانی اثر می کنند که فاصله بین مولکول ها کم و در حد چند برابر قطر متوسط یک مولکول باشد. این نیروها در فواصل خیلی کم، دافعه و در فاصله های بیشتر، جاذبه اند. پرسش: بی گویم مایع شکل ظرف را به خود می گیرد. اما اگر ظرف و نیروی گرانش وجود نداشته باشند، شکل «طبیعی» یک قطره آب چگونه خواهد بود؟

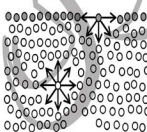
### انواع نیروهای بین مولکولی:

نیروهای بین مولکولی را به دو دسته اصلی تقسیم می کنند: نیروی هم چسبی و نیروی دگر چسبی

الف) هم چسبی (cohesion): نیروی جاذبه ای که بین مولکول های یکسان (مولکول های یک مایع) وجود دارد و باعث می شود که مولکول های مایع متصل به یکدیگر باقی بمانند، نیروی چسبندگی نام دارد. نیروی چسبندگی مسئول چگالش است و به علت وجود همین نیرو است که قطره آب در حین سقوط در هوا شکل تقریباً کروی خود را حفظ می کند.

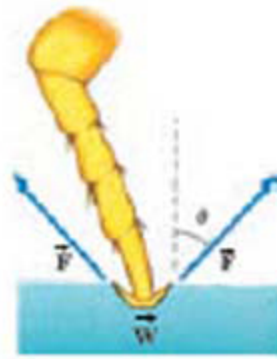
کشش سطحی (surface tension): سطح آب به علت نیروی چسبندگی بین مولکول های سطحی خود

مانند یک پوسته کشسان عمل می کند و می تواند اجسام سبکی مانند سوزن و تیغ اصلاح را (علیرغم آن که چگالی این اجسام از آب بیشتر است) بر روی خود نگه دارد. این اثر، کشش سطحی نام دارد.



کشش سطحی بر اثر جاذبه های مولکولی به وجود می آید. در زیر سطح مایع و در اعماق، مولکول های مجاور، هر مولکول را در تمام جهت ها جذب می کنند، که باعث می شود مولکول هیچ تمایلی برای کشیده شدن در جهت معینی نداشته باشد. اما مولکول های موجود در سطح مایع را فقط همسایگان از دو طرف و از زیر می کشند و هیچ کششی از بالا بر آن وجود ندارد. چنین نیروی رو به پائینی می خواهد مساحت سطح مایع را کمینه کند. به این دلیل است که سطح مایع، مانند یک لایه کشسان کشیده شده رفتار می کند. ایستادن حشرات بر روی سطح آب و کروی ماندن قطرات آب به هنگام سقوط در هوا نیز مثال

دیگر این پدیده است.



برایند در نیروی  $\vec{F}$  ناشی از سطح آب و نیروی وزن  $\vec{W}$  تعادل می‌رسند.

کشش سطحی برای توصیف ایستادن حشره بر روی سطح آب مناسب است. همان طور که شکل نیز به خوبی نشان می‌دهد در محل تماس پاهای حشره با سطح آب، فرو رفتگی کمی وجود دارد که ناشی از کشش سطحی آب است و

نیروی روبه بالای لازم  $F$  جهت غلبه بر نیروی وزن  $W$  حشره را تأمین می‌کند



مه و قطره های شبنم روی تار عنکبوت یا روی برگ های کرک دار گیاهان نیز به همین دلیل قطره هایی تقریباً کروی اند. زیرا سطح آنها تعادل به انقباض دارد و هر قطره را واهی دارد به شکلی درآید که کمترین سطح را داشته باشد. کره آن شکل هندسی است که به ازای حجم معین کمترین سطح را دارد.



عوامل مؤثر بر کشش سطحی: افزایش دمای آب و افزودن موادی مانند شوینده ها به آن کشش سطحی آب را کاهش می



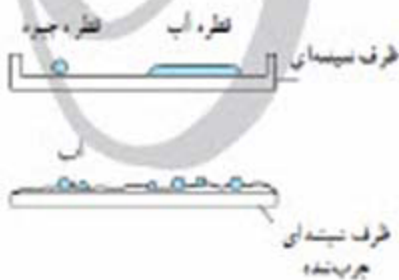
دهد. **پرسش:** روغن یا چربی در سطح سوپ داغ و سوپ سرد چگونه قرار می‌گیرد؟ مشاهدات خود را توصیف کنید

**پرسش:** چرا آب گرم سریع تر از آب سرد از درزهای ریز رادیاتور اتومبیل نشت می‌کند؟

کشش سطحی را می‌توان به صورت کمی هم بیان کرد. بنا به تعریف، کشش سطحی برابر است با انرژی لازم برای آوردن مولکول های درون مایع به سطح آن به ازای واحد سطح. کشش سطحی بر حسب نیوتون بر متر یا ژول بر متر مربع اندازه گیری می‌شود.

### ترشوندگی:

دیدیم که نیروی هم چسبی بین مولکول های یک ماده سبب بروز پدیده های جالبی می‌شود. هنگامی که دو ماده مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند نیز جاذبه مولکولی مشابهی بین مولکول های آنها ظاهر می‌شود که به آن نیروی دگرچسبی یا چسبندگی می‌گوییم. هم چسبی و دگرچسبی هر دو نیروهایی بین مولکولی هستند. تفاوت آنها در این است که جاذبه بین مولکول های مشابه باشد یا نامشابه.



ب قطره های جیبوه روی شیشه



الف پخش آب روی سطح شیشه

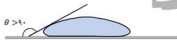
زاویه تماس ( $contact\ angle$ ): زاویه برخورد سطح جداکننده مایع با دیواره تماس (عمولاً جامد) را زاویه تماس

می نامند. این زاویه معیاری است از نسبت نیروی چسبندگی سطحی به نیروی چسبندگی. اندازه زاویه تماس به ترکیب شیمیایی جامد، مایع، گاز و یا هوای مجاور بستگی دارد. همچنین میزان خلوص و دمای این مواد نیز می تواند در اندازه زاویه تماس مؤثر باشد. در این مورد، دو حالت کلی زیر را در نظر می گیریم:

الف: اگر نیروی چسبندگی سطحی از نیروی چسبندگی بیشتر باشد، مایع بر روی سطح پهن شده و آن را تر می کند. مانند آب گرمی که بر روی سطح شیشه ای تمیز ریخته می شود. در این حالت، همان گونه که در شکل دیده می شود، زاویه تماس کمتر از  $90^\circ$  درجه است.



ب: اگر نیروی چسبندگی از نیروی چسبندگی سطحی بیشتر باشد، مایع به صورت قطرات جداگانه بر روی سطح می ماند و می تواند آن را تر نکند. مانند آب سردی که بر روی سطح شیشه ای چرب و یا جیوه ای که بر روی سطوح معمولی ریخته می شود. در این حالت زاویه تماس بیشتر از  $90^\circ$  درجه است.



سطح کار



سطح کوز

پرسش:

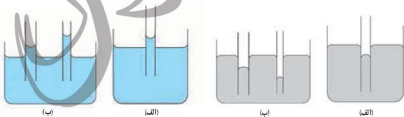


دستمال کاغذی در جیوه خیس نمی شود. چرا؟

مویبستگی:

اگر چند لوله مویین شیشه ای و تمیز با قطر های متفاوت را درون یک ظرف آب قرار دهیم مشاهده می کنیم که:

- ۱- آب در لوله های مویین بالا می رود و سطح آن بالاتر از سطح آب ظرف قرار می گیرد
  - ۲- هرچه قطر لوله مویین کوچک تر باشد ارتفاع ستون آب در آن بیشتر است
  - ۳- سطح آب در بالای لوله مویین فرورفته است
- اکنون همین آزمایش ها را با جیوه انجام می دهیم و مشاهده می کنیم که:
- ۱- جیوه در لوله های مویین مقداری بالا می رود ولی سطح آن پایین تر از سطح جیوه ظرف قرار می گیرند
  - ۲- هرچه قطر لوله مویین کوچک تر باشد ارتفاع ستون جیوه در آن کمتر است
  - ۳- سطح جیوه در لوله مویین بر آمده است



(ب)

(الف)

(ب)

(الف)

شکل آب در لوله های مویین

شکل جیوه در لوله های مویین

در مورد آب نیروی دگرچسبی بین مولکول های آب و مولکول های شیشه بیشتر از نیروی هم چسبی بین مولکول های آب است. در نتیجه آب سطح شیشه را تر می کند و مانند شکل در لوله بالا می رود. در مورد جیوه نیروی دگرچسبی بین مولکول های جیوه و مولکول های شیشه کمتر از نیروی هم چسبی بین خود مولکول های جیوه است. در نتیجه جیوه سطح شیشه را تر نمی کند و مانند سطح جیوه در لوله موئین پایین تر از سطح جیوه درون ظرف قرار می گیرد.

مثال: چند لوله خیلی باریک با قطرهای داخلی متفاوت را به طور عمود وارد ظرف آبی می کنیم. سطح آب درون لوله ها چگونه است؟

- الف) در سطوح مختلف و همه بالاتر از سطح آب در ظرف
- ب) در سطوح مختلف و همه پایین تر از سطح آب در ظرف
- ج) در یک سطح بالاتر از سطح آب ظرف
- د) در تمام لوله ها هم سطح آب ظرف

مثال: اگر سطح داخلی یک لوله موئین را چرب کنیم و آن را درون ظرف پر از آبی فرو ببریم، در این صورت سطح آب در لوله موئین دارای ..... و سطح آن نسبت به سطح آب در ظرف دارای ..... است



الف) برآمدگی\_ فرورفتگی (ب) برآمدگی\_ برآمدگی (ج) فرورفتگی\_ فرورفتگی (د) فرورفتگی\_ برآمدگی

### فشار در شاره ها:

کلمه شاره به مایعات و گازها اطلاق می شود. برای محاسبه ی فشار در نقطه ای از شاره، به این صورت عمل می کنیم که مطابق شکل دیسکی از آب در نظر می گیریم. اختلاف فشار بین بالا و پایین دیسک، فشار ناشی از وزن دیسک آب است. یعنی:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A}$$

حال با استفاده از رابطه ی چگالی به جای جرم خواهیم داشت:

$$\Delta P = \frac{\rho V g}{A}$$

حجم دیسک از رابطه ی  $V = Ah$  بدست می آید. در نتیجه:

$$\Delta P = \rho gh$$

اگر فشار در سطح آب را فشار هوا  $P_0$  در نظر بگیریم، در عمق  $h$  از یک مایع می توانیم بنویسیم:

$$P = P_0 + \rho gh$$

به  $\rho gh$  فشار پیمانه ای گفته می شود.



نکته : در یک شاره ی ساکن همگن (شاره ای که چگالی در تمام نقاط آن یکسان است) ، اختلاف فشار تنها به ارتفاع ستون شاره بستگی دارد. به عنوان مثال به شکل روبرو دقت کنید. به دلیل اینکه مایع ساکن است ارتفاع آن در دو ستون با هم یکسان است و به شکل ظرف بستگی ندارد.

در مایعات به دلیل تراکم ناپذیر بودن آنها، چگالی تقریباً در تمام نقاط یکسان است و

همیشه می توانیم از رابطه ی  $\Delta P = \rho gh$  استفاده کنیم. ولی در گازها باید در هنگام استفاده از این

رابطه دقت کنیم. به عنوان مثال چگالی هوا، وقتی به سمت بالا حرکت می کنیم کاهش می یابد.



مثال حل شده: اگر فشار هوا را در سطح یک استخر ۱ اتمسفر در نظر بگیریم، فشار پیمانه ای و کل وارد

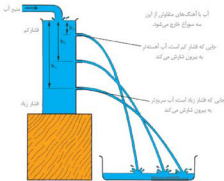
بر شناگری در عمق ۴ متر، چقدر است؟

پاسخ: هر یک اتمسفر تقریباً برابر است با  $10^5 \text{ pa}$  چگالی آب را  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  در نظر می گیریم.

$$P = \rho gh = 1000 \times 10 \times 4 = 4 \times 10^4 \text{ pa}$$

$$P_{\text{کل}} = P_0 + P = 10^5 + 4 \times 10^4 = 1.4 \times 10^5 \text{ pa}$$





تذکره: آزمایش مقابل نشان می دهد که فشار در مایعات با بیشتر شدن عمق افزایش می یابد

غواصی می خواهد در عمق ۱۰ متری زیر آب، در جعبه ای به مساحت ۲۰ سانتی متر مربع را که بیرون از آب بسته شده است، باز کند، نیروی لازم برای این کار را حساب کنید. پاسخ:

ابتدا فشار آب را در آن عمق حساب می کنیم، سپس نیرو را بدست می آوریم. چون جعبه بیرون از آب بسته شده، فشار داخلی آن برابر فشار جو است و نیازی به نوشتن نیست.

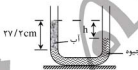
$$P = \rho gh \Rightarrow P = 1000 \times 10 \times 10 = 10^5 \text{ pa}$$

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow 10^5 = \frac{F}{20 \times 10^{-4}} \Rightarrow F = 200 \text{ N}$$

یعنی نیرویی معادل نگاه داشتن یک جسم تقریباً ۲۰ کیلوگرمی!

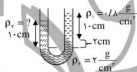
سوال: در شکل مقابل ارتفاع جیبوه را به دست آورید؟

$$\left( \rho = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \text{ آب و } \rho = 13/6 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \text{ جیبوه} \right)$$



مثال: در شکل مقابل سه مایع مخلوط نشدنی

در حال تعادل اند،  $\rho_1$  چند گرم بر سانتیمتر مکعب است؟



مثال:

اختلاف فشار هوا را در پایین و بالای اتاقی به ارتفاع ۳m حساب کنید.

حل: اگر فشار هوا در سقف اتاق را با  $p_1$  و در کف اتاق را با  $p_2$  نشان دهیم، اختلاف فشار هوا بین پایین و بالای اتاق برابر است با

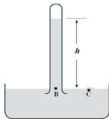
$$\Delta p = p_1 - p_2 = \rho gh_1 - \rho gh_2 = \rho gh$$

که در آن h ارتفاع اتاق است. بنابراین

$$\Delta p = (1/3 \text{ kg/m}^3) (10 \text{ N/kg}) (3 \text{ m}) = 3 \text{ Pa}$$

همان طور که دیده می شود این اختلاف فشار در مقایسه با فشار هوای اتاق، یعنی  $10^5 \text{ Pa}$  بسیار ناچیز است. در نتیجه با تقریب بسیار خوبی می توان فشار هوا را در تمام نقطه های یکا اتاق یا ظرفی که محتوی مقداری هوا یا هر نوع گاز دیگری است یکسان در نظر گرفت.

جوسنج جیوه ای:

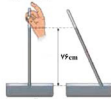


این وسیله اختراع اوانجلیستا تورچلی است و ساختمان آن به این صورت است که درون یک لوله ی بلند، حدود ۱ متر، جیوه می ریزیم تا پر شود. آنرا به صورت وارونه در یک تشتت پر از جیوه مطابق شکل مقابل قرار می دهیم. فشار هوای وارد بر جیوه در تشتت، اجازه ی خروج تمام جیوه از لوله به تشتت را نمی دهد. جیوه در لوله تا حدی پایین می آید و در قسمت خالی بالای لوله تنها مقدار کمی بخار جیوه وجود دارد. اگر از بخار جیوه چشم پوشی کنیم، می توان فرض کرد آنجا خلأ است و فشار آن صفر است.

با توجه به نکته ی ۲ می توان فرض کرد که فشار در دو نقطه ی **B** و **C** با هم برابر است از آنجا که فشار وارد بر نقطه ی **B** فشار ناشی از ستون جیوه و فشار وارد بر نقطه ی **C** فشار جو است، می توانیم بنویسیم:



$$\left. \begin{aligned} P_A &= P_B \\ P_A &= P_c \\ P_B &= \rho gh \end{aligned} \right\} \Rightarrow P_c = \rho gh$$



الف) اگر در آزمایش تورچلی لوله را از وضعیت قائم اندکی کج کنید، سطح جیوه در لوله بالا می رود ولی ارتفاع قائم جیوه در لوله تغییر نمی کند. علت را توضیح دهید.  
 ب) برای لوله غیرمویین، اگر سطح مقطع لوله تغییر کند، ارتفاع ستون جیوه تغییر نمی کند. علت را توضیح دهید.  
 پ) چرا تورچلی در آزمایش خود ترجیح داد به جای آب از جیوه استفاده کند؟

در شتاب گرانشی استاندارد یعنی  $g = 9.80665 \frac{N}{kg}$  و در دمای صفر درجه ی سلسیوس، ارتفاع جیوه در سطح آب های آزاد دقیقاً ۷۶ سانتی متر است، که آن را ۱ اتمسفر می نامیم. در این دما چگالی جیوه برابر است با  $13.6 \times 10^4 \frac{kg}{m^3}$ .

$$P = \rho gh = 13690 \times 9.80665 \times 0.76 \times 10^0 = 1.01325 \times 10^5 \text{ pa}$$

پس ۱ atm برابر است با:

در عمل هر ۱۰ پاسکال، یک اتمسفر در نظر گرفته می شود. بدلیل ساختار جوسنج جیوه ای یا جوسنج تورچلی،

اصطلاحات میلی متر جیوه و سانتی متر جیوه نیز به عنوان واحد فشار به کار می روند. باید خاطر نشان کنم که این ها واحد فشار نیستند و باید آنها را به کمک فرمول  $P = \rho gh$  به پاسکال تبدیل کرد.

مثال حل شده: در اخبار گفته می شود فشار هوا در شهری برابر است با ۷۵ سانتی متر جیوه. این فشار را به پاسکال و اتمسفر بنویسید. پاسخ:

$$g = 10 \cdot \frac{N}{kg} \cdot \rho_{Hg} = 13600 \cdot \frac{kg}{m^3}$$

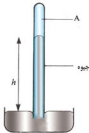
$$P = \rho gh = 13600 \times 10 \times 0.75 = 1.02 \times 10^5 \text{ pa}$$

یکاهای فشار: یکای اصلی فشار، نیوتون بر مترمربع ( $N / m^2$ ) یا پاسکال ( $Pa$ ) است. اما یکاهای دیگری نیز مانند اتمسفر یا جو ( $atm$ )، بار ( $bar$ )، سانتی متر جیوه ( $cmHg$ ) و میلی متر جیوه ( $mmHg$ ) وجود دارند که رابطه آنها با یکدیگر به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} 1 \text{ (cmHg)} &= 1 \text{ (atm)} & 1 \text{ (bar)} &= 10^5 \text{ (Pa)} \\ 1 \text{ (atm)} &= 1.013 \times 10^5 \text{ (Pa)} & 1 \text{ (cmHg)} &= 1333 \text{ (Pa)} \end{aligned}$$



مثال:



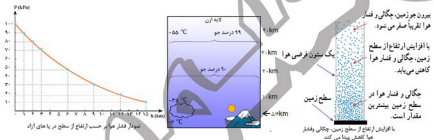
الف: شکل مقابل چه نام دارد؟

ب: در قسمت A چه چیزی وجود دارد؟

ج: هر گاه ارتفاع h برابر ۷۰ سانتی متر باشد فشار هوا در محل جو سنج را به دست آورید؟

$$g = 10 \text{ N/kg} \text{ و } \rho = 13600 \text{ kg/m}^3$$

تذکر: همان طور که گفتیم، ما در کف اقیانوس از هوا زندگی می کنیم و هوای جو نیز مانند آب موجود در یک دریاچه، وزن خود را بر سطح زمین تحمیل و فشار وارد می کند. فشار هوا در سطح دریاهای آزاد تقریباً ۷۶ سانتی متر جیوه است. با افزایش ارتفاع از سطح زمین فشار هوا کاهش می یابد. بدین ترتیب که تا ارتفاع دو کیلومتری از سطح زمین به ازای هر ۱۰ متر ارتفاع یک میلی متر جیوه از فشار هوا کاسته می شود. زیرا با افزایش ارتفاع از سطح زمین، چگالی هوا مطابق شکل و نمودار زیر کاهش پیدا می کند که علت این امر وجود نیروی جاذبه زمین است که باعث می شود لایه های زیرین شاره نسبت به لایه های فوقانی آن متراکم تر شده در نتیجه چگالی و فشار هوا در ارتفاعات کم شود



**فشارسنج (manometer):** فشارسنج ها، ابزاری هستند که برای اندازه گیری فشار مایعات و گازها مورد استفاده قرار

می گیرند. فشارسنج ها به روش های مختلفی ساخته می شوند و اساس کار آنها نیز متفاوت است

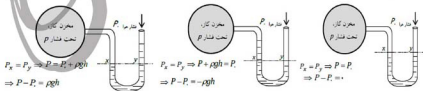
فشارسنج U شکل (U-shaped manometer): این نوع فشارسنج، لوله U شکلی است که درون آن مقداری جیوه (یا

مایع مناسب دیگر) ریخته شده و یک انتهای آن به مخزنی که می خواهیم فشار گاز درون آن را اندازه بگیریم متصل است.

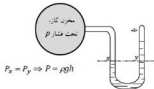
انتهای دیگر لوله می تواند بسته یا باز باشد.

الف) فشارسنج با انتهای باز: مطابق هر کدام از شکل های زیر، خط نقطه چین xy یک خط هم فشار است و می توانیم

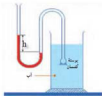
بنویسیم:



ب) فشارسنج با انتهای بسته: در این حالت ارتفاع ستون جیوه به تنهایی نشان دهنده فشار مخزن گاز است:



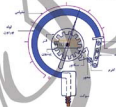
فشار بیمانه ای (gauge pressure): کمیت  $P_x - P_y$  یعنی اختلاف فشار مخزن با هوا را فشار بیمانه ای می گویند. فشار بیمانه ای برخلاف فشار مطلق (مخزن یا هوا که همواره مثبت اند، می تواند مقادیر منفی را هم به خود بگیرد. فشار بیمانه ای منفی به معنای آن است که فشار مخزن از فشار هوا کمتر است. در فشارسنج با انتهای بسته فشار بیمانه ای با فشار مطلق برابر است.



با انجام دادن آزمایش مقابل می توان نشان داد که فشاری که یک مایع در یک عمق معین به سطح وارد می کند به عمق مایع وابسته بوده و مستقل از جهت سطح درون مایع است

#### فشار سنج خوردن:

برای اندازه گیری فشارهای زیاد از فشار سنج خوردن استفاده می شود که در داخل آن لوله خمیده ای است که یک انتهای آن بسته و سر دیگر آن به سیالی که اندازه گیری فشار آن مد نظر است وصل است. این لوله C شکل است و انتهای بسته آن برای حرکت آزاد است وجود فشار بیش از فشار جو در داخل لوله باعث می شود که لوله تا اندازه ای که میزان آن به فشار نسبی داخل لوله وابسته است راست شود. حرکت ناشی از انتهای آزاد از طریق یک مکانیسم عقربه ای که روی وجه جلویی ابزار اندازه گیری را می چرخاند. اندازه این چرخش عقربه درجه بندی می شود تا فشار نسبی خوانده شود. جهت و مقدار حرکت عقربه به جهت و مقدار تغییر انحنای لوله بستگی دارد. فشار سنج های خوردن برای اندازه گیری فشارهای بیشتر و کمتر از اتمسفر به کار می روند. فشار سنج های طراحی شده برای اندازه گیری فشارهای کمتر از اتمسفر را گیج های فشار و فشارسنج های طراحی شده برای اندازه گیری فشارهای کمتر از اتمسفر را فشار سنج خلایی می نامند  
از این فشار سنج در مخازن و لوله های گاز یا لاستیک وسایل نقلیه استفاده به عمل می آید





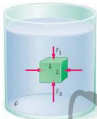


### شناوری و اصل ارشمیدس:

آیا تاکنون از خود پرسیده‌اید که چگونه کشتی‌های عظیم بر روی آب شناور می‌مانند آن هم در حالی که یک میخ آهنی کوچک در آب فرو می‌رود؟ این پدیده و بسیاری دیگر از پدیده‌های مشابه با این که معماگونه به نظر می‌رسند اما به کمک اصل شناور سازی ارشمیدس به آسانی قابل توضیح هستند. در این جا این سؤال مطرح می‌گردد که اصل شناور سازی ارشمیدس چه می‌گوید؟

### تعریف اصل شناور سازی:

اصل ارشمیدس بیان می‌کند که هر شیء‌ای که به طور کامل یا جزئی در یک ماده‌ی سیال فرو می‌رود برابر با وزن معین ماده‌ی سیال که توسط آن شیء جا به جا می‌شود در معرفی فشار رو به بالا قرار می‌گیرد. در این جا منظور از "ماده‌ی سیال" همه‌ی مایعات و گازها می‌باشد. هنگامی که یک شیء کاملاً در یک ماده‌ی سیال فرو می‌رود، وزن ماده‌ی سیال جا به جا شده توسط شیء کم‌تر از وزن خود شیء است. از سوی دیگر، برای آن که شیء بر روی ماده‌ی سیال شناور بماند وزن ماده‌ی سیال جابجا شده توسط شیء بایستی برابر با وزن شیء باشد. در این جا فشار رو به بالا که به شیء وارد می‌شود نیروی شناوری نامیده می‌شود.



برای بررسی عامل فیزیکی نیروی شناوری، جسمی شکعب شکل به ضلع  $L$  در نظر می‌گیریم که درون شاره‌ای مانند آب به چگالی  $\rho$  غوطه‌ور است هرگاه فلش‌ها نشان دهنده نیروی‌های وارد بر جسم باشند نیروهای افقی یکدیگر را خنثی می‌کنند و برای نیروهای عمودی خواهیم داشت:

$$F_1 = p_1 A \quad \text{و} \quad F_2 = p_2 A$$

حال به کمک رابطه  $P_2 = P_1 + \rho gh$  و  $L=h$  می‌توان نوشت:

$$F_2 = p_2 A = (p_1 + \rho gL)A = p_1 A + \rho gAL = F_1 + \rho gV$$

حال می‌توان فرمول شناوری وارد بر جسم غوطه‌ور را به دست آورد:

$$F_b = F_2 - F_1 = \rho gV$$

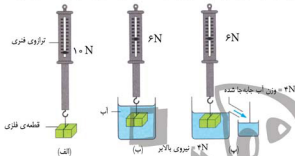
در رابطه  $\rho$  چگالی شاره و  $V$  حجم جسم و  $g$  شتاب جاذبه است، و حجم جسم غوطه‌ور برابر حجم شاره جابه‌جا شده است

با توجه به معادله‌ی بالا می‌توانیم نتیجه بگیریم که جسم در هر یک از دو شرایط زیر بایستی در سیال شناور بماند:

۱- چگالی جسم کمتر از چگالی سیال باشد.



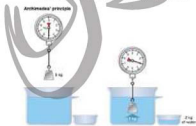
از نیروی بالابری است که از طرف آب بجه قطعه وارد شده است. اگر ظرفی لوله دار عطاقی شکل پ تهیه کنیم به طوری که تا سطح لوله دارای آب باشد مسا فرو کردن قطعه درون آن آب اضافی از طرف لوله به طرف دیگری می ریزد. وزن آب خارج شده  $4\text{N}$  است که دقیقاً برابر نیروی بالابری است که از طرف آب به قطعه وارد می شود. انجام این آزمایش با مایع های دیگر و حتی گازها به همین نتیجه ی کلی می انجامد که به آن اصل ارشمیدس گفته می شود.



مثال زیر به درک بهتر این موضوع کمک می کنند.

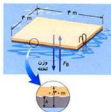
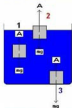
مثال اول: دو مکعب دارای ابعاد یکسان را در نظر بگیرید که یکی از چوب پنبه و دیگری از آهن جامد درست شده است. اگر آنها را بر روی سطح آب قرار دهید چه اتفاقی می افتد؟ مکعب آهنی در آب فرو خواهد رفت در حالی که مکعب چوب پنبه ای به راحتی بر روی آب شناور باقی می ماند. حالا یک میخ و یک کشتی را در نظر بگیرید که هر دو از آهن ساخته شده اند. میخ در آب فرو می رود اما کشتی با مسافران و بارش بر روی آب شناور می ماند. در مثال اول، مکعب آهنی در آب فرو می رود در حالی که مکعب چوب پنبه ای بر روی آب شناور می ماند، زیرا چگالی آهن بیشتر از چگالی آب است اما چگالی چوب پنبه کمتر از چگالی آب است. به همین دلیل است که شنا کردن در دریا راحت تر از شنا کردن در رودخانه است. آب دریا به خاطر نمک های حل شده در آن از چگالی بیشتری برخوردار است. حالا بیاید به مثال میخ و کشتی بپردازیم. هنگامی که میخ را در آب قرار می دهید وزن آب جا به جا شده توسط میخ کمتر از وزن خود میخ است. به بیان دیگر، نیروی شناوری وارد شده به میخ (که برابر با وزن آب جا به جا شده توسط میخ است) کمتر از وزن میخ است و در نتیجه میخ در آب فرو می رود. با این حال، هنگامی که می بینید یک کشتی عظیم بر روی آب شناور است متوجه می شوید که میان تهی و تو خالی است، یعنی این که از هوا پر شده است. این امر باعث می شود میانگین چگالی کشتی کمتر از میانگین تراکم آب باشد. در نتیجه، هنگامی که تنها قسمت کوچکی از کشتی در آب فرو می رود وزن جا به جا شده توسط آن برابر با نیروی شناوری می شود و کشتی بر روی آب شناور می ماند. بر این اساس، می توانیم نتیجه بگیریم که برای این که جسمی بر روی آب یا هر سیال دیگری شناور بماند وزن سیال جا به جا شده توسط جسم بایستی برابر با وزن آن جسم باشد. به عبارت دیگر، هرچه وزن جسم بیشتر باشد برای اینکه شناور بماند باید حجم بیشتری از سیال را جا به جا نماید.

مثال دوم: توجه کنید. تصور کنید که یک توپ آهنی  $50\text{ نیوتون}$  وزن دارد. هنگامی که ریسمانی به توپ بسته می شود و توپ در آب فرو می رود وزن آب جا به جا شده توسط توپ به عنوان مثال  $20\text{ نیوتون}$  است. بنابراین، توپ در معرض نیروی شناوری برابر با  $30\text{ نیوتون}$  قرار می گیرد. این امر بدان معنا است که ریسمان متصل به توپ آهنی در معرض نیروی رو به پایین برابر با  $30\text{ نیوتون}$  ( $50\text{ منهای } 20\text{ مساوی } 30$ ) قرار می گیرد. بنا بر این، می توان نتیجه گرفت که هنگامی که توپ در آب فرو می رود وزن آن کاهش می یابد. این وزن کاهش



یافتنی توپ وزن ظاهری نامیده می‌شود. از این روی، اصل ارشمیدس را می‌توان به این شکل بیان نمود: وزن گاهشی یافتنی جسم در آب (وزن ظاهری) = وزن جسم منهای وزن سیال جا به جا شده  
 حال سوال این است: به نظر شما در سیاره ای که شتاب گرانشی ۵ برابر زمین است، نیروی شناوری یک جسم قرار گرفته در یک سیال مشخص چه تغییری می‌کند؟

- 1 جسم غوطه ور  $A < mg$
- 2 جسم شناور  $A > mg$
- 3 جسم بر ته ظرف  $A < mg$



با توجه به شکل زیر می‌توان گفت در چه صورتی جسم شناور، غوطه ور یا ته نشین خواهد شد.



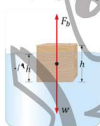
مثال:

مثال: یک تخته مربع شکل به ابعاد  $4 \times 4$  متر و به ضخامت  $0.2$  متر در اختیار است.

الف) تعیین کنید آیا این تخته بر روی آب شناور می‌ماند یا نه؟

ب) اگر شناور می‌ماند تا چه ارتفاعی در آب فرو می‌رود؟

برای تعیین این که آیا جسم در آب فرو می‌رود کافی است وزن آن را با حداکثر نیروی شناوری مقایسه کنیم حداکثر نیروی شناوری برابر وزن مایع هم حجم جسم می‌باشد. اگر مطمئن شدیم که جسم شناور می‌ماند آن گاه مقدار  $h$  که جسم در مایع فرو می‌رود بر اساس برابری نیروی شناوری با وزن جسم قابل محاسبه است.

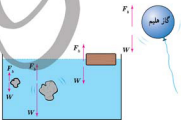


مثال:

هر گاه مطابق شکل یک قطعه چوب بر روی آب شناور باشد و ۹۰ درصد آن درون آب قرار داشته باشد چگالی چوب را به دست آورید



مثال:



در شکل روبه رو، نیروی شناوری  $F_b$  و نیروی وزن  $W$  وارد بر چند جسم نشان داده شده است. باتوجه به نیروی خالص وارد بر هر جسم، وضعیت آن را به کمک یکی از واژه های شناوری، غوطه وری، فرورفتن و بالارفتن توصیف کنید.

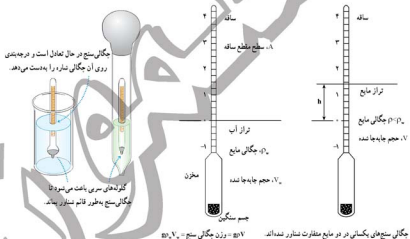
### چگالی سنج ( هیدرومتر):

چگالی سنج، ابزاری برای اندازه گیری چگالی یا گرانی ویژه ی مایعات است. چگالی سنج متشکل است از مخزنی شیشه ای که محتوی جسم سنگینی است، و به ساقه ی باریک یکنواختی که درجه بندی شده است متصل می شود. هنگامی که چگالی سنج را در مایع قرار می دهند، چنان شناور می شود که فقط قسمتی از ساقه ی درجه بندیه از مایع بیرون می ماند. درجه ای که هر تراز با سطح مایع قرار می گیرد، مقدار چگالی مایع را نشان می دهد.

#### کارکرد چگالی سنج:

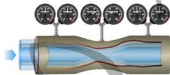
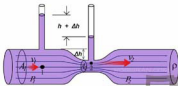
چگالی سنج بر این اساس کار می کند که بر هر جسمی، هنگام غوطه ور شدن در مایع نیروی بالابری وارد می شود که مساوی با وزن مایع جابه جا شده است اصل ارشمیدس). وزن مایع جابه جا شده برابر است با حاصل ضرب چگالی مایع در حجم مایع جابه جا شده در شتاب گرانی  $g$ . شکل زیر، دو چگالی سنج یکسان را نشان می دهد که در دو مایع متفاوت غوطه ور شده اند: آب با چگالی  $\rho_1$  و مایع دیگری با چگالی کمتر  $\rho_2$ . در هر دو مورد، وزن چگالی سنج با نیروی بالابری خنثی شده است. برای خنثی شدن وزن چگالی سنج باید حجم بیشتری از مایع با چگالی کمتر جابه جا شود؛ و به این ترتیب، ساقه در شکل سمت راست به مقدار  $h$  بیشتر در مایع فرو خواهد رفت

**کاربردها:** استفاده از چگالی سنج ها شامل موارد زیر است: آزمودن موادی مانند نفت خام، شیر، و نوشابه های الکلی؛ اندازه گیری غلظت محلول ها؛ آزمودن وضعیت پر و خالی بودن باتری های سرب - اسیدی؛ و آشکارسازی موردنیاز برای ابزارهای کنترل. برای آن که نتیجه ی دقیقی حاصل شود، مایعات مورد بررسی باید در دمایی باشند که در آن چگالی سنج را درجه بندی کرده ایم.



### شاره در حال حرکت واصل برنولی

( در قرن هجدهم میلادی زندگی می کرد، او دانشمند و ریاضی دان ۱۷۸۲-۱۷۰۰ ادائیل برنولی دانشمند بزرگ ) سوئیس بود که این پدیده را کشف کرد. شرح این پدیده به صورت زیر است وقتی مایع یا گازی در حال حرکت است، فشار کم می شود و هنگامی که این حرکت سریع تر می شود، فشار به شدت کاهش می یابد به همین دلیل وقتی اتگشتان خود را جلوی لوله آب میگیریم عملا مسیر عبور آب را تنگ میکنیم ، در نتیجه سرعت حرکت آب بیشتر شده و مسیر طولانی تر را طی می کند تصویر زیر لوله ونتوری نام دارد که برای آزمایش فوق طراحی شده است



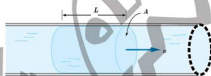
همانگونه که در تصویر بالا مشاهده میکنید فشار هوا در منطقه A1 بیشتر و سرعت کم است زیرا توانسته آب را در لوله بالایی به ارتفاع بالاتری ببرد . اما در منطقه 2A لوله تنگ می شود سرعت آب زیاد شده و در نتیجه فشار کم شده و سطح آب کمتر بالا میروند . این آزمایش به ما نشان میدهد که در این نقطه فشار کم شده است .

برنولی همچنین متوجه شد که این اصل نه تنها برای مایع ها، بلکه برای گازها نیز برقرار است. اصل برنولی برای شاره ای که به طور لایه ای و در امتداد افق حرکت می کند به صورت زیر بیان می شود:

در مسیر حرکت شاره، با افزایش تندی شاره، فشار آن کاهش می یابد.

### آهنگ جریان شاره:

شکل زیر جریان یکنواخت شاره ای را نشان می دهد که با تندی  $v$  درون لوله ای با سطح مقطع  $A$  در حرکت است.



آهنگ جریان شاره درون یک لوله، به صورت نسبت حجم شاره جابه جا شده به زمان تعریف می شود.

حجم این بخش شاره برابر  $Al$  است.

اگر در مدت زمان  $t$ ، حجم معینی از شاره  $(Al)$  از مقطع  $A$  این لوله عبور کند، آهنگ جریان شاره از این مقطع فرضی، از رابطه زیر به دست می آید:

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

تذکره:

نسبت مسافت به زمان  $(l/t)$  در حرکت یکنواخت شاره، برابر تندی شاره  $v$  است.

معادله پیوستگی:

شکل زیرشاره ای با جریان لایه ای را نشان می دهد که در لوله ای با دو سطح مقطع متفاوت، در شاره، حالت پایا و در مدت زمان یکسان، جرم یکسانی از حرکت است. دراز هر سطح مقطع دلخواه لوله می گذرد.



در یک شاره تراکم ناپذیر، مقدار شاره ای که در زمان  $t$  از سطح مقطع  $A_1$  می گذرد درست برابر مقدار شاره ای است که در همین زمان از سطح مقطع  $A_2$  می گذرد.

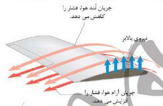
از این موضوع، به سادگی می توان به معادله پیوستگی برای شاره تراکم ناپذیر دست یافت که به صورت زیر بیان می شود:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$



آئرو دینامیک پرواز

با استفاده از اصل برنولی که منشأ نیروی بالا بر هواپیما را نیز به آسانی می توان توضیح داد. شکل بال هواپیما زاویه پیشروی آن تعیین طرز کج شدن بال نسبت به جریان هوا (طوری طراحی) می شود که سرعت جریان هوا از روی بال بیشتر از سرعت جریان هوا در زیر بال باشد. بنابراین فشار هوا در زیر بال از فشار هوای روی بال بیشتر می شود. این اختلاف فشار باعث می شود تا نیروی شما می تولید با منحنی کردن یک برگ کاغذ و فوت کردن به سطح منحنی آن مشابه چنین فرآیندی را ببینید. در این حالت برگه کاغذ به سمت بالا پرواز می کند. در ماشینهای مسابقه یا سرعت بالا، برای جلوگیری از پرواز ماشین، طراحی برعکس هواپیما صورت می گیرد و به ویژه یک قطعه بال مانند در پشت بسالابرنده یسر هواپیما وارد شود ماشین قرار داده می شود که برعکس بال هواپیما عمل می کند و در سرعتهای بالا، ماشین را به سمت پایین هل می دهد. اکنون شما بگویید که نقش بالچه هواپیما که در بالهای عقاب نیز دیده می شود، چیست؟



چرا در جاده ها ماشین های سبک که در حال سبقت از کامیون هستند به سمت کامیون کشیده می شود و ممکن است تصادف رخ دهد؟

در هر یک از دستان خود یک برگه کاغذ بگیرد به گونه ای که قسمت دیگر آن آزاد باشد. حال میان این دو صفحه کاغذ را فوت کنید تا هوا با سرعت بیشتری در این میان جریان یابد. چه روی می دهد؟  
 حال یکی از برگه ها را سنگین تر از دیگری انتخاب کنید مثلا یک کارت و یک کاغذ سبک و بین آنها را فوت کنید اکنون چه روی می دهد؟ به نظر شما علت چیست؟

در حقیقت وقتی شما بین دو کاغذ را با فوت می کنید جریان هوا با سرعت بیشتری میان صفحات برقرار می شود از این رو بر اساس اصل برنولی باید فشار ناحیه ای که سرعت هوا در آن بیشتر است کاهش یابد. از سوی دیگر فشار در فضای آزاد بیرون همان فشار هوا می باشد. بنابراین چون حرکت همواره از فشار بیشتر به سمت فشار کمتر است کاغذ ها به هم نزدیک می شوند. اما هنگامی که یک از برکه ها سنگین تر از دیگری است، طبق قانون سوم نیوتن نیروی وارد شده به هر یک از برکه ها برابر می باشد. طبق قانون دوم نیوتن برای دو جسم در صورتی که نیروی یکسانی به آنها وارد شود، جسمی که جرم بیشتری دارد شتاب کمتری پیدا می کند و کمتر جابه جا می شود و یا بر اساس اصل پایستگی تکانه خطی جسمی که جرم بیشتری دارد سرعت کمتری یافته و کمتر جابجا می شود. از این رو در دمیدن میان دو کاغذ که یکی سنگین تر از دیگری است کاغذ سبک تر به سرعت به طرف کاغذ سنگین تر حرکت کرده و جذب آن می شود و این علت فاجعه تصادف میان کامیون و ماشین های سبک و کوچک می باشد!

کاربردهای اصل برنولی:

از نمونه های مهمی که از کاربرد اصل برنولی می توان نام برد، طرز کار کاربراتور در بسیاری از موتورهای بنزینی است. هوا از طریق مجرای گشاد کاربراتور به داخل موتور جریان می یابد. اما وقتی مجرای تنگتر می شود، سرعت هوا زیاد و فشار آن کم می شود. بنزین در محل تنگتر مجرای وارد کاربراتور می شود. از آنجا که مخزن بنزین دارای فشار جو است، ولی مجرای تنگ کاربراتور فشار کمتری دارد، بنزین از طریق مجرای تنگ به درون کاربراتور می رود و در آنجا با هوا مخلوط می شود تا مخلوط قابل احتراقی از بنزین و هوا بوجود آید.

اندکی به موارد زیر فکر کنید و ببینید با این پدیده ها آشنا هستید:

- هنگامی که دو ماشین با سرعت از کنار هم رد می شوند صدایی را می شنوید.
- وقتی بروی یک کاغذ صاف فوت می کنید کاغذ به طرف بالا حرکت می کند.
- وقتی در حمام شیر آب را کاملاً باز کنید برده حمام به سمت شما کشیده می شود.
- در هوای بارانی یا بادی ممکن است چتر شما به طرف بالا حرکت کند.
- شلنگ آتش نشانی وقتی آب از آن فوران نمی کند کلفت است.
- در روزهای بادی ارتفاع موجهای دریا بیشتر می شود.
- چرا هواپیما به پرواز در می آید.
- چرا برای کشتی هایی که از کنار هم رد می شوند احتمال برخورد وجود دارد.
- چرا نباید ماشین های کوچک و سبک از کنار کامیون های بزرگ با سرعت زیاد عبور کنند.
- چرا هنگامی که دو قطار از مقابل هم عبور می کنند سرعت خود را کم می کنند؟

سوال:

دلیل علمی هر کدام از شکل های زیر را به کمک اصل برنولی توضیح دهید

برش برزنی صاف و تخت است.

برش برزنی پله کرده است.

کامیون در حال توقف



کامیون در حال حرکت



(الف)



(ب)



(ج)