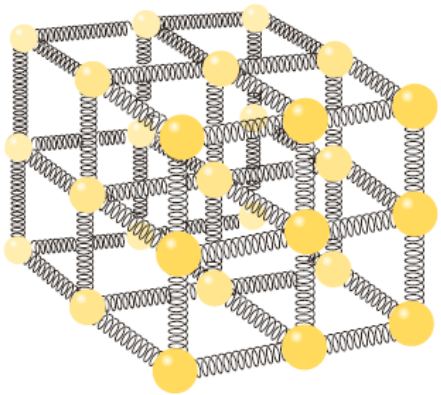
فصل ۲ ویژگی‌های فیزیکی مواد

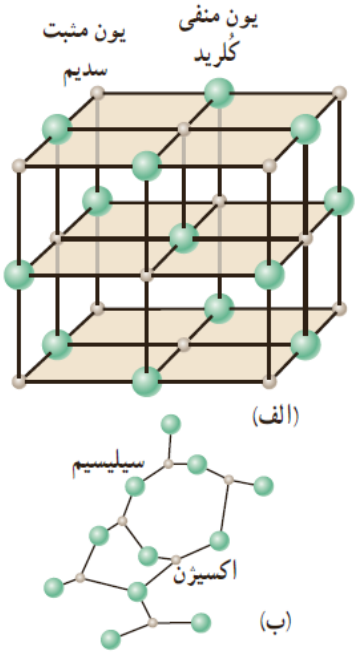
۲ـ۱ حالت‌های ماده

جامد، مایع و گاز سه حالت آشنای ماده هستند که در این فصل به بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیکی آنها خواهیم پرداخت. حالت چهارم ماده، پلاسما نامیده می‌شود که اغلب در دماهای خیلی بالا به‌وجود می‌آید. مادهٔ درون ستارگان و بیشتر فضای بین ستاره‌ای، آذرخش، شفق‌های قطبی، آتش و مادهٔ داخل لولهٔ تابان لامپ‌های مهتابی از پلاسما تشکیل شده است (شکل ۲ـ۱).

جامد : حالتی از ماده است که دارای جرم ، حجم و شکل مشخص هستند و به دو دسته جامدهای بلورین مانند نمک طعام و جامدهای بی شکل (آمورف) مانند شیشه تقسیم می شوند:



شکل ۲ـ۲ مدلی از ساختار یک جامد که از میلیاردها میلیارد بخش، مانند این تشکیل شده است.



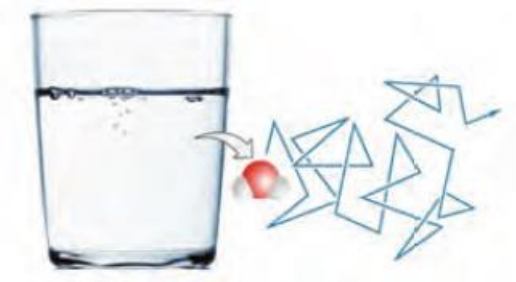
شکل ۲ـ۳ (الف) ساختار بلورین NaCl، که در آن یون‌های سدیم و یون‌های کلرید به صورت یک در میان در گوشه‌های یک مکعب قرار گرفته‌اند. (ب) ذرات سازندهٔ یک جامد بی شکل، مانند شیشه که در طرحی نامنظم در کنار هم قرار گرفته‌اند.

مایع : مولکول‌های مایع نظم و تقارن جامدهای بلورین را ندارند و به صورت نامنظم و نزدیک به یکدیگر قرار گرفته‌اند. مایع به راحتی جاری می‌شود و به شکل ظرف خودش درمی‌آید. فاصلهٔ ذرات سازندهٔ مایع و جامد تقریباً یکسان و در حدود یک آنگستروم است.

سوال : اولا تفاوت مایعات و جامدها را بنویسید.

ثانیا فرآیند پخش را در مایعات توضیح دهید.

شکل ۲ــ۴ ذرات سازندهٔ جوهر به تدریج در آب پخش می‌شوند.



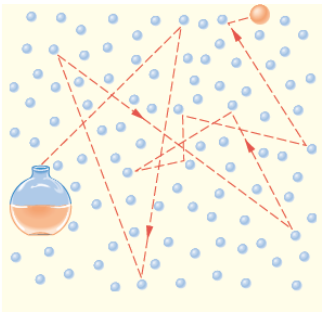
شکل ۲ــ۵ طرحی از حرکت نامنظم و کاتوره‌ای یک مولکول آب

سوال: در مورد بلورهای مایع تحقیق کنید.

گاز : گاز، ماده‌ای است که شکل مشخصی ندارد. اتم‌ها و مولکول‌های آن آزادانه و با تندی بسیار زیاد به اطراف حرکت و با یکدیگر و با دیواره‌های ظرفی که در آن قرار دارند برخورد می‌کنند[1]. فاصلهٔ میانگین مولکول‌های گاز در مقایسه با اندازهٔ آنها، خیلی بیشتر است. مثلاً اندازهٔ مولکول‌های هوا بین ۱ تا ۳ آنگستروم است در حالی که فاصلهٔ میانگین آنها در شرایط معمولی در حدود ۳۵Å است (شکل ۲ــ۶).

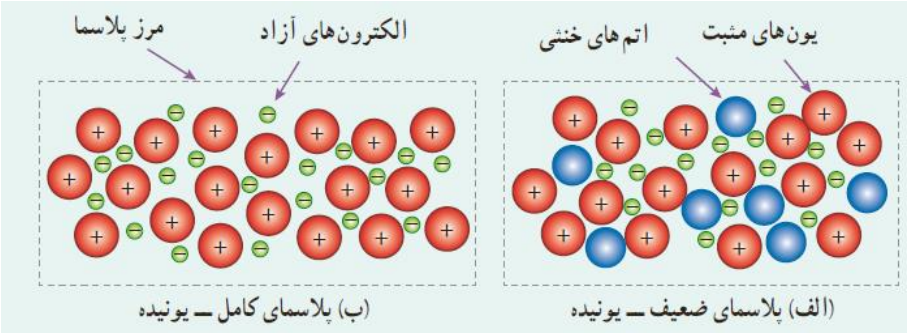
شکل ۲ــ۷ حرکت نامنظم ذرات گاز درون یک بادکنک

سوال: در مورد تراکم پذیری مایعات و گازها آزمایشی طراحی کنید.



سوال: چرا فرآیند پخش در گازها سریع تر است؟

سوال : در مورد پلاسما و کاربرد های آن تحقیق کنید.

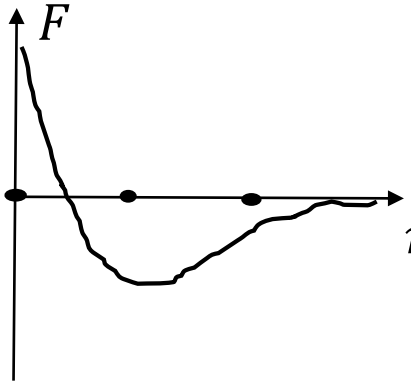


سوال : در مورد فن آوری نانو و کاربردهای آن تحقیق کنید

۲ـ۲ نیروهای بین مولکولی

نیروهایی که بین دو مولکول وجود دارد در حالتی که فاصله بین دو مولکول در حدود ابعاد خود مولکول باشد به صورت جاذبه می باشد .اگر دو مولکول از یک جنس باشند به آنها هم چسبی و اگر از یک جنس نباشند ،دگر چسبی می گویند.

سوال: با توجه به نمودار شکل مقابل هر یک از حالات زیر را پاسخ دهید:



الف) اگر دو مولکول را بسیار به هم نزدیک کنیم.

نیروی بین مولکولی به صورت .....

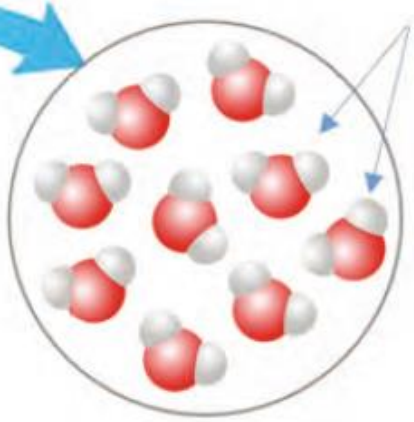
ب) اگر فاصله بین دو مولکول در حدود ابعاد چند مولکول برسد .نیروی بین مولکولی.....

پرسش ۲ـ۲

وقتی شیشه می‌شکند با نزدیک کردن قطعه‌های آن به هم نمی‌توان اجزای شیشه را دوباره به هم چسباند؛ ولی اگر قطعه‌های شیشه را آن‌قدر گرم کنیم که نرم شوند می‌توان آنها را به هم چسباند. این پدیده‌ها را با توجه به کوتاه‌بُردبودن نیروهای بین مولکولی توجیه کنید.

سوال : با توجه به خاصیت نیروی بین مولکولی و نیروهای هم چسبی و دگر چسبی هر یک از شکل های زیر را توجیه کنید.

مولکول‌های آب به یکدیگر نیروی جاذبه وارد می‌کنند.



شکل ۲ــ ۷ قطره‌های شبنمی که روی شاخ و برگ درختان در نور خورشید صبحگاهی می‌درخشند، نشانه‌ای از نیروی جاذبهٔ بین مولکول‌های آب است.

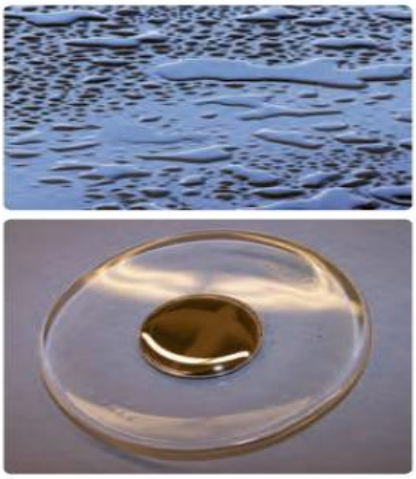
شکل ۲ــ ۸ (الف) نشستن حشره روی سطح آب، (ب) قرارگرفتن گیرهٔ فلزی روی سطح آب، (پ) تشکیل حباب‌های آب و صابون و (ت) قطره‌های کروی آب در حال سقوط آزاد، جلوه‌هایی از کشش سطحی هستند.

فعالیت ۲ــ۳

الف) سعی کنید یک سوزن ته گرد یا گیرهٔ کاغذ را مطابق شکل روی سطح آب شناور کنید. برای این منظور می‌توانید از یک تکه دستمال کاغذی استفاده کنید.

ب) پس از شناور شدن سوزن یا گیره، سطح آب را به دقت مشاهده کنید و مشاهدات خود را به کلاس گزارش دهید.

پ) اکنون یکی دو قطره مایع شوینده را به‌آرامی به آب درون ظرف بیفزایید. مشاهدات خود را به کلاس گزارش کنید و دلیلی برای آن ارائه دهید.



شکل ۲ــ ۹ (الف) پخش آب روی سطح شیشه (ب) قطره‌ای شدن جیوه روی سطح شیشه

سوال : با توجه به شکل مقابل پدیده ترشوندگی را توضیح دهید.

پرسش ۲ــ۳

شکل روبه‌رو خروج قطره‌های روغن با دمای متفاوت را از دهانهٔ دو قطره‌چکان نشان می‌دهد.

الف) توضیح دهید در کدام شکل دمای قطره‌های روغن کمتر است.

ب) افزایش دما چه تأثیری بر نیروی هم‌چسبی مولکول‌های یک مایع می‌گذارد؟

پ) چرا هنگام شستن ظروف، افزون بر استفاده از مایع ظرف‌شویی، ترجیح می‌دهیم از آب گرم نیز استفاده کنیم؟

فعالیت ۲ــ۴

یک طرف یک تکه شیشهٔ کوچک (با ابعادی حدود ۱۰ cm در ۱۰ cm) را کمی بالاتر از شعلهٔ یک شمع بگیرید تا سطح شیشه به طور کامل دوداندود شود. شیشه را از طرف تمیز آن روی سطحی افقی قرار دهید و سپس روی سطح دوداندود شدهٔ آن چند قطره آب بریزید. آنچه را مشاهده می‌کنید در گروه خود به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

بار دیگر سطح شیشه را به جای دوداندود کردن، با روغن چرب کنید و آزمایش را تکرار کنید. مشاهدهٔ خود را توضیح دهید و نتیجه را به کلاس گزارش دهید. (پس از بحث کافی در خصوص این فعالیت، دوباره به تصویر و پرسش شروع فصل بازگردید و پاسخی قانع‌کننده ارائه دهید.)

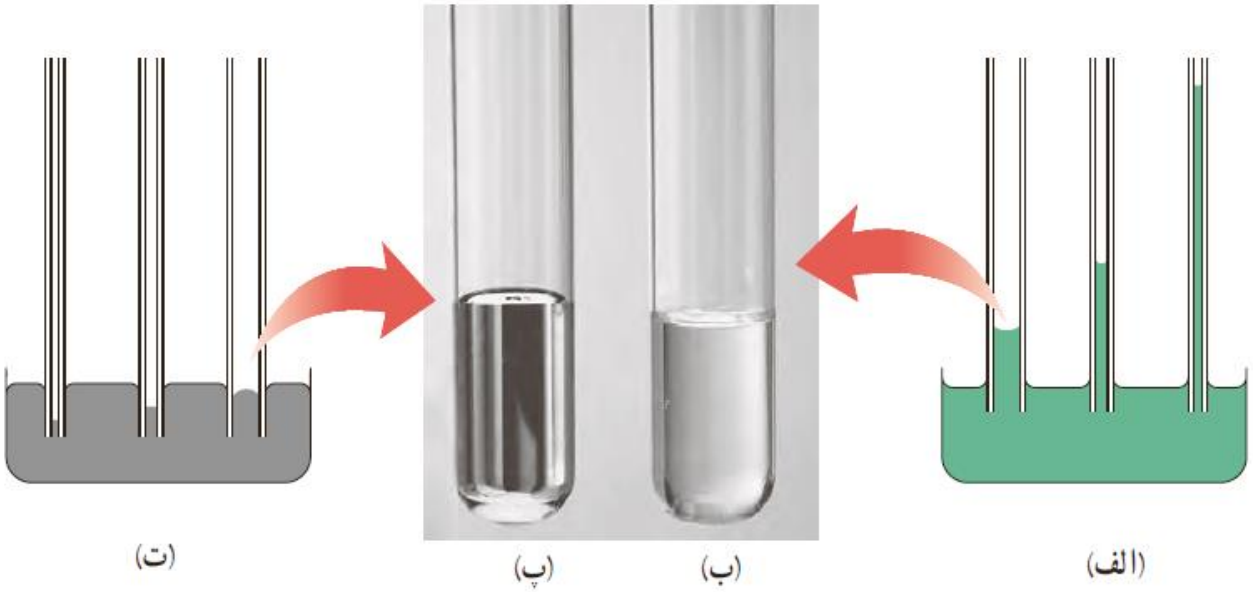
فعالیت ۲ـ۵

این فعالیت به شما کمک می‌کند تا درک بهتری از نیروی دگرچسبی به دست آورید. به این منظور از یک لیوان پر از آب، یک کارت بانکی و تعدادی وزنه چند گرمی یا سکه‌های پول استفاده کنید. ابتدا مطابق شکل الف، کارت را طوری روی لبهٔ لیوان قرار دهید که تنها نیمی از آن با آب در تماس باشد. وزنه‌های چند گرمی را روی قسمتی از کارت قرار دهید که با آب در تماس نیست (ابتدا وزنه ۵ گرمی، سپس ۱۰ گرمی و...). نتیجهٔ مشاهدهٔ خود را با توجه به مفاهیمی که تاکنون فرا گرفته‌اید توضیح دهید.

یکی دو قطره مایع شوینده به آب اضافه کنید و آزمایش را تکرار کنید. نتیجهٔ مشاهده خود را در گروه خود به بحث بگذارید.

(پ) (ب) (الف)

سوال : با توجه به مقایسه نیروهای هم چسبی و دگرچسبی خاصیت مویینگی در جیوه و آب را مقایسه کنید.



(ت) (پ) (ب) (الف)

شکل ۲ـ۱۰ (الف) و (ب) اثر مویینگی برای آب
(پ) و (ت) اثر مویینگی برای جیوه

فعالیت ۲ـ ۶

در ساختن دیوارهای ساختمان باید اثر مویینگی در نظر گرفته شود، زیرا تراوش آب از منفذهای مویین در این دیوارها می‌تواند سبب خسارت در داخل ساختمان شود. برای جلوگیری از این خسارت، دیوارهای داخل یا خارج ساختمان را معمولاً با مواد ناتراوا (مانند قیر) می‌پوشانند.

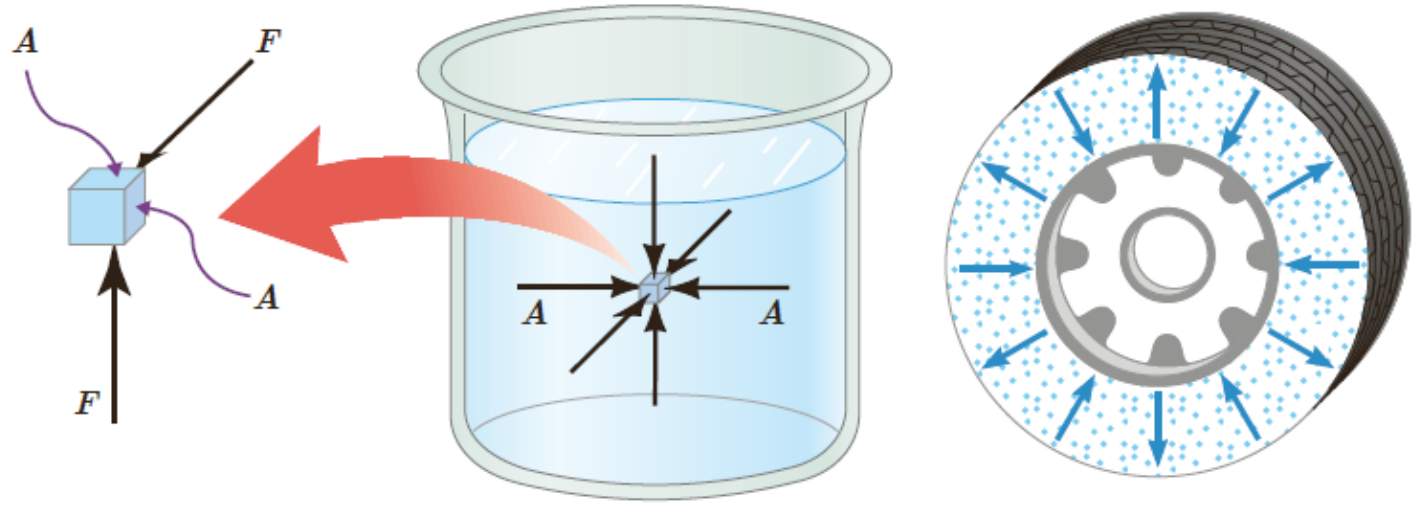
تحقیق کنید در معماری سنتی ایران به جای قیراندود کردن، چگونه از نفوذ آب به داخل سازه‌ها جلوگیری می‌کردند.

سازه‌های آبی شوشتر که از دوران هخامنشیان تا ساسانیان، جهت بهره‌گیری بیشتر از آب ساخته شده‌اند.

۱. **لولهٔ شیشه‌ای باریکی را که دو انتهای آن باز است، به طور عمودی تا نیمه وارد مایع درون ظرفی می‌کنیم. اگر نیروی دگرچسبی بیش‌تر از نیروی هم‌چسبی باشد، سطح مایع درون لوله ..... از سطح مایع درون ظرف قرار می‌گیرد و سطح مایع در لوله به‌صورت ..... درمی‌آید.**

(سراسری تجربی خارج از کشور ۹۴)

۱) پایین‌تر، فرو رفته ۲) پایین‌تر، برآمده ۳) بالاتر، فرو رفته ۴) بالاتر، برآمده



(پ) (ب) (الف)

شکل ۲ـ۱ (الف) برخورد مولکول‌های هوای درون لاستیک به سطح داخلی آن سبب ایجاد نیروی عمودی می‌شود. (ب) به هر نقطه از سطح جسم غوطه‌ور در شاره (آب) نیرویی عمودی وارد می‌شود.
(پ) برای سادگی تنها نیروهای وارد بر دو سطح نشان داده شده است.

فشار P که به یک سطح فرضی A درون شاره وارد می‌شود به صورت نسبت اندازهٔ نیروی عمودی وارد بر این سطح به مساحت آن تعریف می‌شود :

$$P=\frac{F}{A} \qquad (۱ـ۲)$$

یکای SI فشار، پاسکال (Pa) است که در علوم سال نهم با آن آشنا شدید، به طوری که داریم :

$$۱\,Pa=۱\,N/۱\,m^{۲}$$

مثال ۲ــ۱

یک زیردریایی تفریحی در اعماق اقیانوسی به آرامی حرکت می‌کند (شکل روبه‌رو). این زیردریایی تعدادی پنجرهٔ کوچک دایره‌ای‌شکل به شعاع ۰/۴۰m دارد.

اگر فشار آب در محل هر یک از این پنجره‌ها برابر $۹/۰\times۱۰^{۵}Pa$ باشد، بزرگی نیروی عمودی که آب بر سطح خارجی یکی از این پنجره‌ها وارد می‌کند چقدر است؟

پاسخ : مساحت پنجره برابر است با :

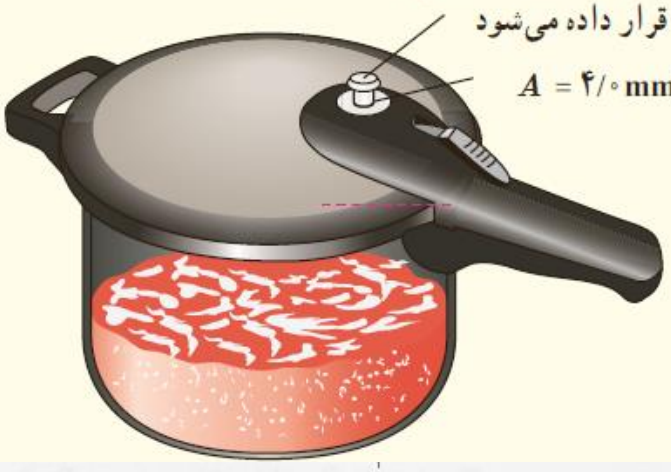
$$A=\pi r^{۲}=۳/۱۴\times(۰/۴۰m)^{۲}=۰/۵۰m^{۲}$$

به این ترتیب از رابطهٔ (۲ــ۱) داریم :

$$F=PA=(۹/۰\times۱۰^{۵}Pa)\times(۰/۵۰m^{۲})=۴/۵\times۱۰^{۵}N$$

این نیرو تقریباً معادل وزن جسمی به جرم $۴/۵\times۱۰^{۴}kg$ است!

۹ مساحت روزنهٔ خروج بخار آب، روی درب یک زودپز $۴/۰mm^{۲}$ است (شکل زیر). جرم وزنه‌ای که روی این روزنه باید گذاشت چقدر باشد تا فشار داخل آن در $۲/۰atm$ نگه داشته شود؟ فشار بیرون دیگ زودپز را $۱/۰atm$ بگیرید.



مخروط ناقصی مطابق شکل، روی سطح افقی قرار دارد و شعاع قاعدهٔ بزرگ ۲ برابر شعاع قاعدهٔ کوچک آن است. اگر آن را روی قاعدهٔ بزرگ بگذاریم و بخواهیم فشار وارد بر سطح افقی تغییری نکند، وزنه‌ای چند برابر وزن مخروط را باید روی آن قرار دهیم؟

۱) ۴ ۲) ۳ ۳) ۲ ۴) ۱

محاسبهٔ فشار در شاره‌ها :

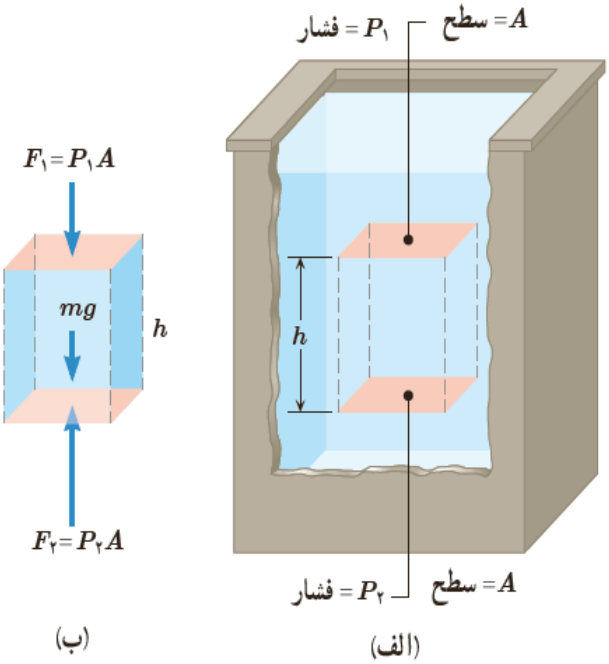
در شکل ۲ـ۱۳ـ الف، بخشی از شاره به ارتفاع h نشان داده شده است که بین دو سطح فرضی A قرار دارد. نیروهای در راستای قائم، که بر این بخش از شاره وارد می‌شود در شکل ۲ـ۱۳ـ ب نشان داده شده است. چون شاره در حال تعادل است، نیروها متوازن‌اند و برایند آنها صفر است. بنابراین از قانون دوم نیوتون برای نیروهای در راستای قائم داریم :

$$F_۲ = F_۱ + mg$$

$$P_۲A = P_۱A + mg$$

با جایگذاری $m = \rho V = \rho Ah$ در رابطهٔ اخیر و حذف A از طرفین تساوی داریم :

$$P_۲ = P_۱ + \rho gh \qquad (۲ـ۲)$$



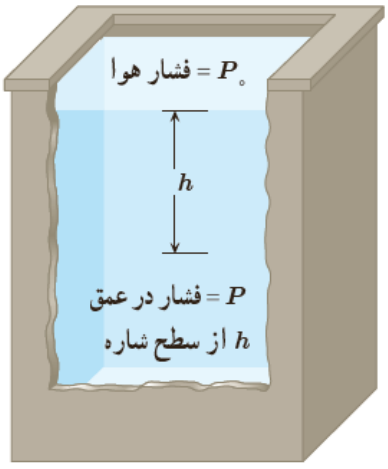
شکل ۲ـ۱۳ (الف) بخشی از شاره ساکن (ب) نیروهای وارد بر این بخش از شاره در راستای قائم.

معمولاً رابطهٔ ۲ـ۲ را بر حسب عمق از سطح شاره بیان می کنند (شکل ۲ـ۱۴). به این منظور نقطهٔ ۱ را در سطح شاره می‌گیرند که فشار برابر $P_۰$ است[۱]. نقطهٔ ۲ را در هر جایی درون شاره می‌توان گرفت. فشار در این نقطه را با P نمایش می‌دهیم. به این ترتیب داریم :

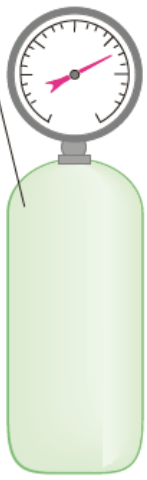
$$P = P_۰ + \rho gh \qquad (۲ـ۳)$$

این رابطه نشان می‌دهد فشار در عمق h از سطح شاره، به اندازهٔ ρgh از فشار $P_۰$ در سطح شاره بیشتر است. همان‌طور که خواهیم دید فشار در سطح دریای آزاد، حدود $۱/۰۱۳ \times ۱۰^۵$ پاسکال (Pa) است و به آن ۱ اتمسفر (atm) نیز می‌گویند. رابطه‌های ۲ـ۲ و ۲ـ۳ برای همهٔ شاره‌های ساکن و در حال تعادل کاربرد دارد. یعنی هم برای مایع‌ها و هم برای گازها می‌توان از آن استفاده کرد. مثلاً می‌توان اختلاف فشار آب در عمق‌های متفاوت یک اقیانوس یا اختلاف فشار هوای بالا و پایین یک ساختمان را با استفاده از این رابطه‌ها حساب کرد. با توجه به اینکه چگالی گازها خیلی کم است، در محفظه‌های کوچک گاز، مانند شکل ۲ـ۱۵، اختلاف فشار در نقاط مختلف داخل محفظه ناچیز است.

فشار گاز در تمام نقاط یک محفظه کوچک را می توان یکسان فرض کرد.



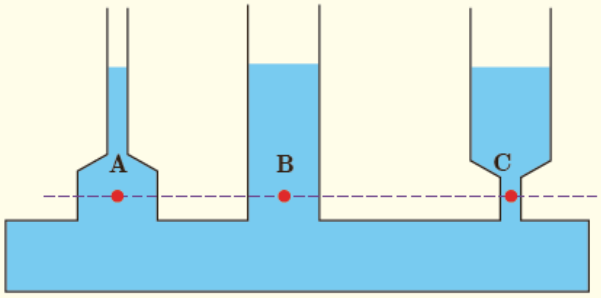
شکل ۲ـ۱۴



شکل ۲ـ۱۵

پرسش ۲ــ۴

در علوم سال نهم دیدید که فشار در نقاط هم‌تراز یک مایع ساکن مانند نقاط A، B و C در شکل یکسان است و به شکل ظرف بستگی ندارد. سازگاری این موضوع را با رابطهٔ ۲ــ۳ توضیح دهید.

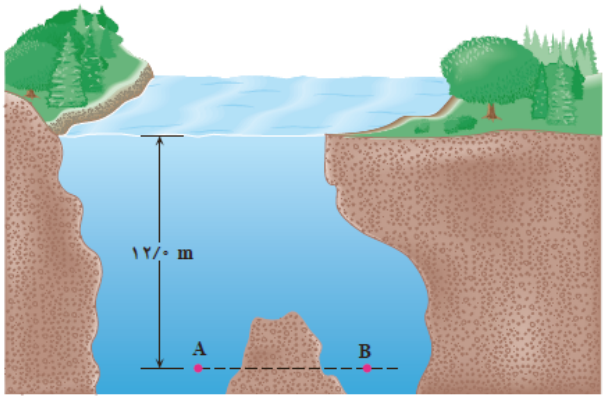


سوال : بر اساس روابط فشار درون مایعات

شکل مقابل را توجیه کنید.

شکل ۲ــ۱۲ با باز کردن در بطری، آب از سوراخ‌های ایجادشده در بطری، با فشار متفاوت خارج می‌شود. سرعت خروج آب از کدام سوراخ بیشتر است؟

مثال ۲ــ۲



نقاط A و B در عمق یکسانی از سطح آب یک دریاچه قرار گرفته‌اند. فشار در نقطهٔ A چقدر است؟ در نقطهٔ B چطور؟

چگالی آب دریاچه را $۱۰۰۰\ kg/m^۳$ و فشار هوا در سطح دریاچه را $۱/۰۱\times۱۰^۵\ Pa$ در نظر بگیرید.

پاسخ : با توجه به رابطهٔ ۲ــ۳، فشار در نقطهٔ A برابر است با :

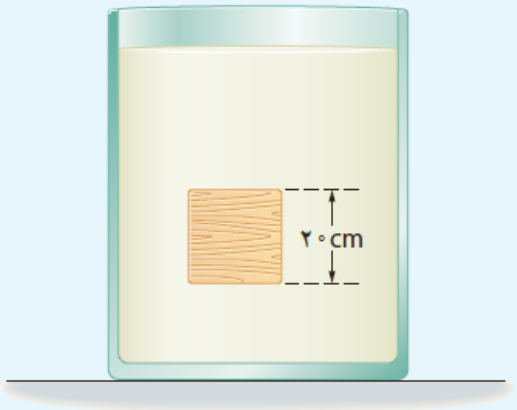
$$P = P_۰ + \rho gh = ۱/۰۱ \times ۱۰^۵(Pa) + (۱۰۰۰\ kg/m^۳)(۹/۸۰\ N/kg)\ (۱۲/۰ m) = ۲/۱۹ \times ۱۰^۵ Pa$$

چون نقطهٔ A با نقطهٔ B هم‌تراز است، فشار در این نقطه با فشار در نقطهٔ A برابر است.

تمرین ۲ــ۱

شناگری در عمق ۵/۰ متری از سطح آب دریاچه‌ای شنا می‌کند. فشار در این عمق چقدر است؟ اگر مساحت پردهٔ گوش را یک سانتی‌متر مربع ($1cm^2$) فرض کنیم، بزرگی نیرویی که به پردهٔ گوش این شناگر وارد می‌شود چند نیوتون است؟ فشار هوای محیط را $1/01 \times 10^5 Pa$ بگیرید.

تمرین ۲ــ۲

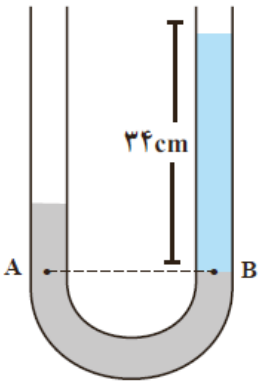


جسم مکعبی به طول ضلع ۲۰cm درون شاره‌ای غوطه‌ور و در حال تعادل است (شکل روبه رو). فشار در بالا و زیر جسم به ترتیب برابر ۱۰۰ و ۱۰۵ کیلوپاسکال است. چگالی شاره چند کیلوگرم بر متر مکعب است؟ (راهنمایی : از رابطهٔ ۲ــ۲ استفاده کنید.)

اگر فشار در عمق **h** از سطح دریا برابر P_1 و در عمق **2h** از سطح دریا برابر P_2 باشد، کدام رابطه درست است؟

۱) $P_2 = P_1$ ۲) $2P_1 > P_2 > P_1$ ۳) $P_2 = 2P_1$ ۴) $2P_1 \geq P_2 > P_1$

مثال ۲ــ۳



در یک لولهٔ U‌شکل، مقداری جیوه قرار دارد. در شاخهٔ سمت راست لوله آن‌قدر آب می‌ریزیم تا ارتفاع آب به ۳۴cm برسد (شکل روبه‌رو). اختلاف ارتفاع جیوه در دو شاخه چند سانتی‌متر است؟ (مقیاس‌ها در این شکل واقعی نیست.)

پاسخ : در شکل روبه‌رو، نقاط A و B که درون جیوه انتخاب شده‌اند، هم ترازند، بنابراین $P_A = P_B$ است. به این ترتیب می‌توان نوشت :

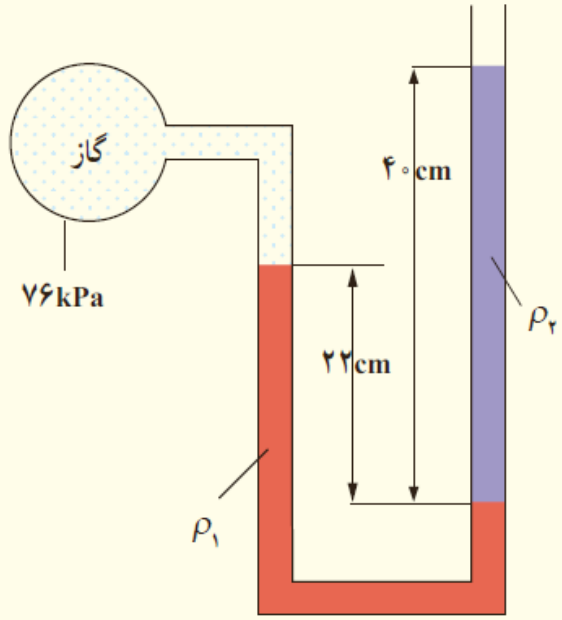
$$P_0 + \rho_m g h_m = P_0 + \rho_w g h_w \Rightarrow \rho_m h_m = \rho_w h_w$$

$$(13600\,kg/m^3) \times h_m = (1000\,kg/m^3) \times 34cm \Rightarrow h_m = 2/5cm$$

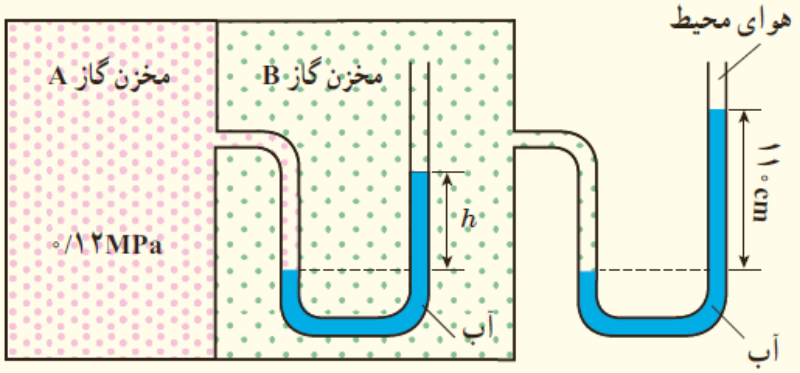
(توجه کنید که در روابط بالا زیرنویس m برای جیوه و زیرنویس w برای آب انتخاب شده‌اند.)

۱۳ درون لولهٔ U شکلی که به یک مخزن محتوی گاز وصل شده است جیوه ($\rho_1 = 13600 kg/m^3$) و مایعی با چگالی نامعلوم ρ_2 وجود دارد (شکل زیر).

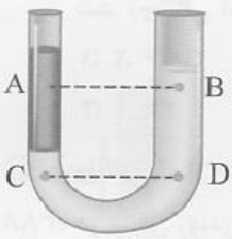
اگر فشار هوای بیرون لولهٔ U شکل ۱۰۱kPa باشد، چگالی مایع را تعیین کنید.



۱۴ در شکل زیر مقدار h چند سانتی‌متر است؟ فشار هوای محیط را ۱۰۱kPa و چگالی آب را $1000 kg/m^3$ بگیرید.



در شکل روبه‌رو، در درون لوله دو مایع مخلوط‌نشدنی قرار دارند. اگر فشار در نقاط داده‌شده در درون مایع‌ها را با هم مقایسه کنیم، کدام رابطه درست است؟ (سراسری تجربی ۹۵)



۱) $P_C < P_D \ , \ P_A = P_B$

۲) $P_C < P_D \ , \ P_A < P_B$

۳) $P_C = P_D \ , \ P_A = P_B$

۴) $P_C = P_D \ , \ P_A > P_B$

مثال ۲ــ۴

اختلاف بین فشار هوای بالا و پایین برج آزادی، با ارتفاع ۴۵ متر، چقدر است؟ چگالی هوا را تقریباً $۱/۰\,kg/m^۳$ بگیرید.

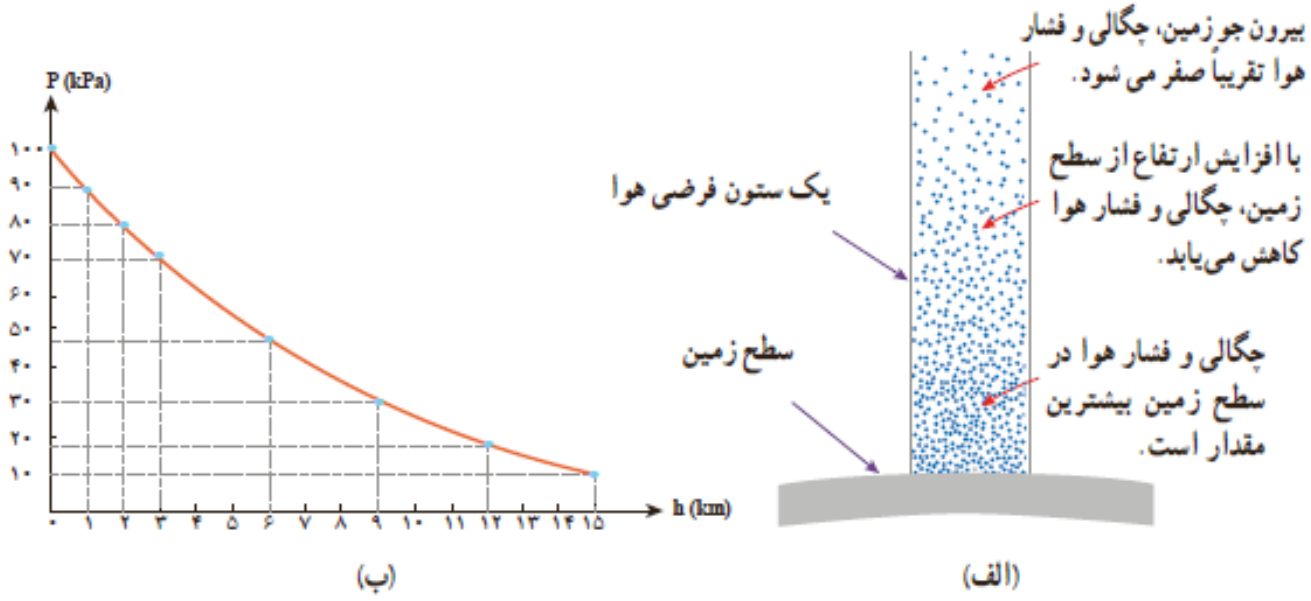
پاسخ : با توجه به رابطهٔ ۲ــ۲ داریم :

$$P_۲ = P_۱ + \rho gh \Rightarrow P_۲ - P_۱ = \rho gh$$

$$= (۱/۰\,kg/m^۳)(۹/۸N/kg)(۴۵m) = ۴۴۱Pa \approx ۴/۴\times ۱۰^۲Pa$$

برای محاسبهٔ اختلاف فشار بین دو نقطه از هوا که اختلاف ارتفاع قابل توجهی دارند، دیگر نمی‌توان از رابطهٔ ۲ــ۲ استفاده کرد. برای مثال، اختلاف فشار قلهٔ دماوند و سطح دریا با استفاده از این رابطه، حدود ۷۴ kPa به دست می‌آید در حالی که مقدار واقعی آن نزدیک به ۵۰ kPa است!

برای یافتن دلیل تفاوت آشکار بین این مقادیر، باید توجه کنیم که با افزایش ارتفاع از سطح زمین، چگالی هوا کاهش می‌یابد (شکل ۲ــ۱۶ــ الف). محاسبه‌های دقیق‌تر نشان می‌دهند که تغییر فشار برحسب ارتفاع از سطح زمین، مطابق نمودار شکل ۲ــ۱۶ــ ب است. نیروی جاذبهٔ زمین سبب می‌شود که لایه‌های زیرین هوا نسبت به لایه‌های بالایی هوا متراکم‌تر شوند. درنتیجه هرچه به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شویم، چگالی و فشار هوا بیشتر می‌شود.



شکل ۲ــ۱۶ (الف) با افزایش ارتفاع از سطح زمین، چگالی و فشار هوا کاهش می‌یابد. (ب) نمودار فشار هوا برحسب ارتفاع از سطح دریای آزاد.

۱۱ الف) ارتفاع چهار شهر مرتفع ایران از سطح دریا، به شرح زیر است :

فریدون شهر : ۲۶۱۲m　　سمیرم : ۲۴۳۴m

بروجن : ۲۲۶۵m　　شهرکرد : ۲۰۷۲m

با توجه به نمودار شکل ۲ــ ۱۶ــ ب، فشار تقریبی هوا را در این چهار شهر بنویسید.

ب) چگالی متوسط هوا تا ارتفاع ۳ کیلومتری از سطح دریای آزاد حدود $۱/۰۱ kg/m^3$ است. فشار هوا را در این شهرها حساب کنید و مقادیر به‌دست آمده را با نتیجه قسمت الف مقایسه کنید.

با افزایش ارتفاع از سطح زمین .....

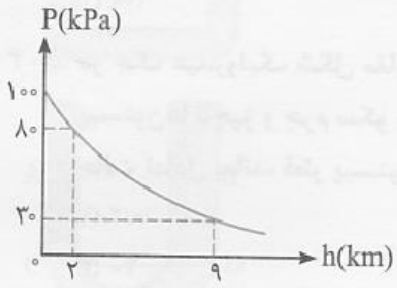
۱) چگالی هوا و فشار هر دو کاهش پیدا می‌کند.

۲) چگالی هوا ثابت است ولی فشار هوا کاهش پیدا می‌کند.

۳) چگالی هوا و فشار هوا تغییر نمی‌کنند.

۴) چگالی هوا کاهش می‌یابد ولی فشار هوا تغییر نمی‌کند.

نمودار مقابل، تغییرات فشار هوا بر حسب ارتفاع از سطح زمین (سطح آب‌های آزاد) است. با توجه به این نمودار، چگالی متوسط هوا تا فاصلهٔ ۲km از سطح آب‌های آزاد چند برابر چگالی متوسط هوا از این ارتفاع تا ارتفاع ۹km بالای آب‌های آزاد است؟ (شتاب گرانش زمین را ثابت فرض کنید.)



۱) ۱

۲) $\frac{۷}{۲}$

۳) $\frac{۷}{۵}$

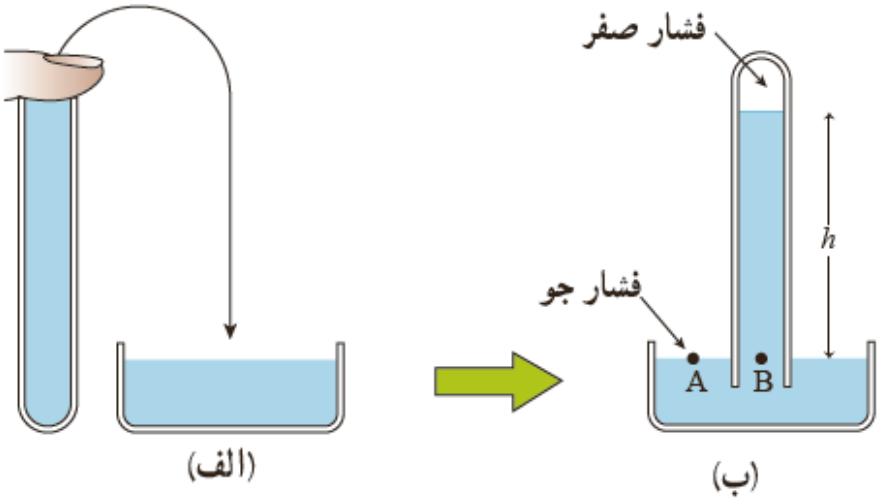
۴) $\frac{۲۸}{۳}$

ارتفاع برج میلاد ۴۳۵m است. اگر در دمای ۲۰°C چگالی هوای اطراف برج میلاد $۱ kg/m^3$ در نظر گرفته شود، اختلاف فشار هوای بالا و پایین برج میلاد چند پاسکال است؟ ($g = ۱۰ N/kg$)

۱) ۴۳۵　　۲) ۴۳۵۰　　۳) ۴۳/۵　　۴) ۴/۳۵

فشارسنج هوا (بارومتر) : وسیله‌ای ساده که برای اندازه‌گیری فشار جو به کار می‌رود. این فشارسنج در سال ۱۶۴۳ میلادی توسط توریچلّی فیزیک‌دان ایتالیایی اختراع شد.

فشارسنج هوا شامل یک لولهٔ شیشه‌ای بلند (به طول تقریبی ۸۰ سانتی‌متر) با یک سر بسته است که از جیوه پر شده (شکل ۲ــ۱۷ــالف) و سپس در یک ظرف محتوی جیوه به طور وارون قرار گرفته است (شکل ۲ــ۱۷ــ ب)[۱]. فضای خالی بالای ستون جیوه تنها محتوی بخار جیوه است که فشار آن ناچیز بوده و در عمل برابر صفر فرض می‌شود.



شکل ۲ــ۱۷ فشارسنج جیوه‌ای که برای اندازه‌گیری فشار جو به کار می‌رود.

فشار در نقطهٔ B برابر ρgh و در نقطهٔ A برابر $P_{\circ}$ است. چون نقاط A و B هم‌ترازند، می‌توان نوشت :

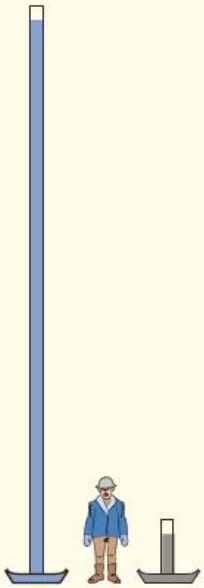
$$P_A = P_B \Rightarrow P_{\circ} = \circ + \rho gh \Rightarrow P_{\circ} = \rho gh \qquad (۴ــ۲)$$

بنابراین فشارسنج هوا، فشار جو را به طور مستقیم از روی ارتفاع ستون جیوه نشان می‌دهد که در سطح دریای آزاد این ارتفاع حدود ۷۶۰mm است. به همین دلیل در بسیاری موارد فشار اندازه‌گیری شده برحسب میلی‌متر جیوه (mmHg) یا سانتی‌متر جیوه (cmHg) بیان می‌شود[۲].

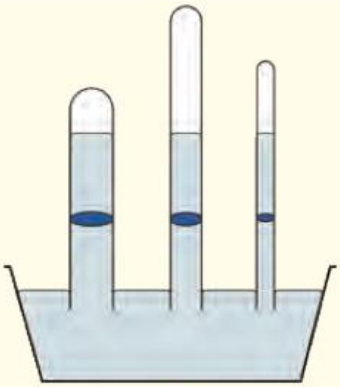
۱ــ چون جیوه و بخار آن بسیار سمی است و می‌تواند جذب پوست یا مخاط تنفسی شود، انجام این کار توصیه نمی‌شود.

۲ــ به افتخار توریچلّی، ۱mmHg را یک تور (torr) می‌نامند.

پرسش ۲ــ۵



(الف)



(ب)

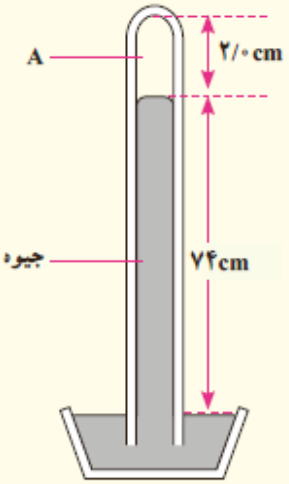
(پ)

الف) توضیح دهید چرا توریچلّی در آزمایش خود ترجیح داد به جای آب از جیوه استفاده کند؟ (ممکن است شکل الف بتواند در پاسخ به این پرسش به شما کمک کند.)

ب) برای لوله‌های غیرمویین، اگر سطح مقطع و طول لوله‌ها متفاوت باشد، ارتفاع ستون جیوه تغییر نمی‌کند (شکل ب). علت را توضیح دهید.

پ) در قلم خودکار، جوهر از طریق یک لوله وارد نوک قلم شده و در آنجا توسط یک گوی فلزی ضد زنگ غلتان، روی ورقهٔ کاغذ پخش می‌شود. در بدنهٔ لاکی یا درپوش بالایی این نوع قلم‌های خودکار، سوراخ‌ریزی ایجاد می‌کنند (شکل پ). دلیل این کار را توضیح دهید.

۱۰ شکل زیر یک جوسنج سادهٔ جیوه‌ای را نشان می‌دهد.
(ضخامت دیوارهٔ شیشه‌ای را نادیده بگیرید.)



الف) در ناحیهٔ A چه چیزی وجود دارد؟

ب) چه عاملی جیوه را درون لوله نگه می‌دارد؟

پ) فشار هوای محیطی که این جوسنج در آنجا قرار دارد چقدر است؟

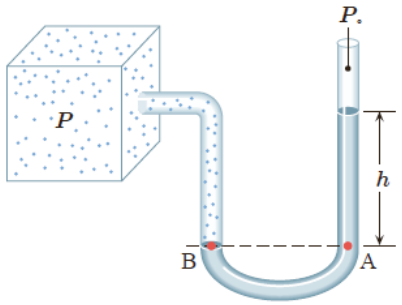
ت) اگر این جوسنج را بالای کوهی ببریم چه تغییری در ارتفاع ستون جیوهٔ درون لوله رخ می‌دهد؟ دلیل آن را توضیح دهید.

چه ارتفاعی از آب بر حسب متر، فشاری برابر با ۱۵۰ میلی‌متر جیوه دارد؟ (چگالی آب و جیوه به ترتیب $1000\,kg/m^3$ و $13600\,kg/m^3$ است.)

(سراسری ریاضی ۸۸)

۱) ۰/۱۵ ۲) ۱/۵۰ ۳) ۸/۰۲ ۴) ۲/۰۴

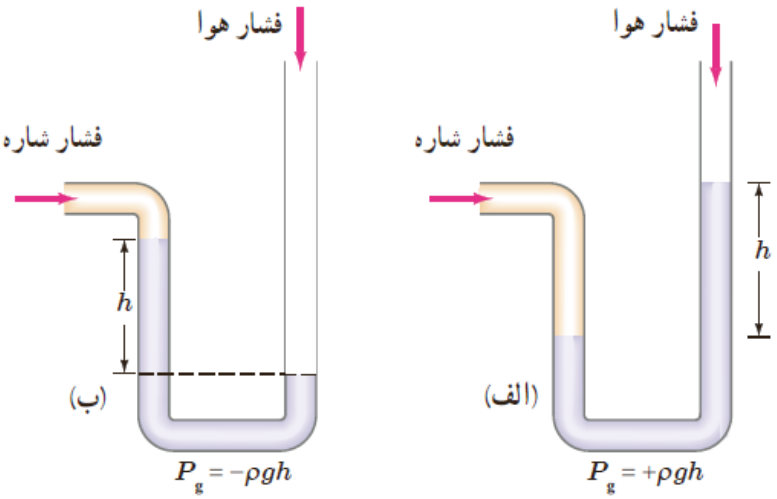
فشارسنج شاره‌ها (مانومتر) : یکی از وسیله‌های ساده برای اندازه‌گیری فشار یک شارهٔ محصور، فشارسنج U شکل است. شکل ۲ــ۱۸ لولهٔ باز U شکلی را نشان می‌دهد که حاوی مایعی به چگالی ρ، اغلب جیوه یا آب است. انتهای راست لوله، باز و با فشار جو $p_{\circ}$ در ارتباط است. انتهای چپ لوله، به ظرفی که فشار P آن باید اندازه‌گیری شود وصل شده است. فشار در نقطهٔ A برابر $P_{\circ}+\rho gh$ است. فشار در نقطهٔ B برابر P است. چون نقاط A و B هم‌ترازند، فشار آنها با یکدیگر برابر است. به این ترتیب داریم :



شکل ۲ــ۱۸ فشارسنج با لولهٔ باز که برای اندازه‌گیری فشار یک شارهٔ محصور استفاده می‌شود.

$$P_A = P_B \Rightarrow P = P_{\circ} + \rho gh \Rightarrow P - P_{\circ} = \rho gh$$

در رابطهٔ اخیر فشار P را **فشار مطلق** و $P-P_{\circ}$ که تفاوت بین فشار مطلق و فشار جو است را **فشار پیمانه‌ای** می‌نامند و معمولاً آن را با نماد P_g نشان می‌دهند[1]. بدین ترتیب در شکل ۲ــ۱۸ فشار پیمانه‌ای را به سادگی می‌توان از رابطهٔ $P_g = \rho gh$ به دست آورد. اگر فشار شاره بیشتر از فشار جو باشد، فشار پیمانه‌ای مثبت است (شکل ۲ــ۱۹ــ الف). در خلأ نسبی و شاره‌ای که فشار آن کمتر از فشار جو است، فشار پیمانه‌ای منفی است (شکل ۲ــ۱۹ــ ب).



شکل ۲ــ۱۹ (الف) فشار شاره بیشتر از فشار جو است. (ب) فشار شاره کمتر از فشار جو است.

۱ــ نمایه g از سر حرف واژهٔ gauge به معنای پیمانه (سنجه) گرفته شده است.

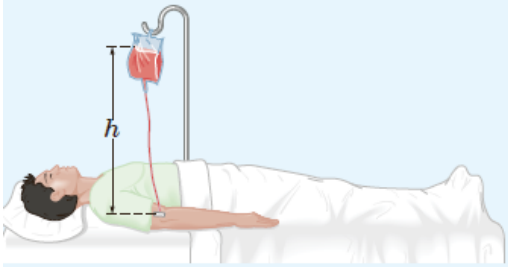
مثال ۲ــ۶

عمیق‌ترین قسمت خلیج فارس با عمقی حدود ۹۳ متر در نزدیکی جزیرهٔ تنب بزرگ قرار دارد. فشار پیمانه‌ای در این عمق چند پاسکال است؟ چگالی آب خلیج فارس را $۱۰۲۸\ kg/m^۳$ بگیرید.

پاسخ : همان‌طور که دیدیم، فشار پیمانه‌ای برابر اختلاف فشار درون شاره با فشار جو است. به این ترتیب داریم :

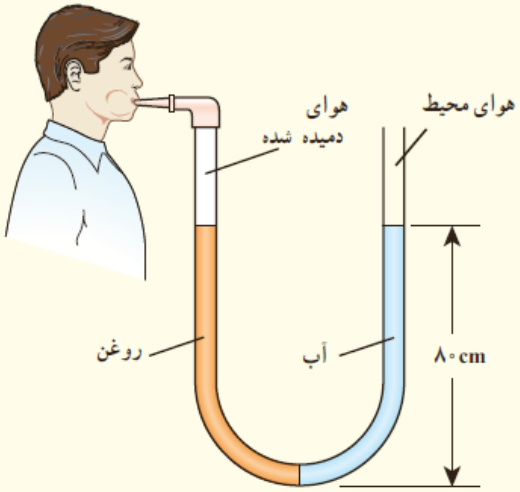
$$P-P_{\circ}=\rho gh=(۱۰۲۸kg/m^۳)\,(۹/۸N/kg)(۹۳m)=۹۳۶۹۱۹Pa\approx ۹/۴\times ۱۰^۵Pa$$

تمرین ۲ــ۴



شکل روبه‌رو یک کیسهٔ پلاستیکی حاوی محلولی را نشان می‌دهد که در حال تزریق به یک بیمار است. سوزن سرنگی را به قسمت خالی از مایع بالای این کیسه وارد می‌کنند طوری که فشار هوا در این بخش از کیسه همواره با فشار هوای بیرون برابر بماند. اگر فشار پیمانه‌ای در سیاهرگ ۱۳۳۰ پاسکال باشد، ارتفاع کمینهٔ h چقدر باشد تا محلول در سیاهرگ نفوذ کند؟ چگالی محلول را $۱۰۴۵\ kg/m^۳$ بگیرید.

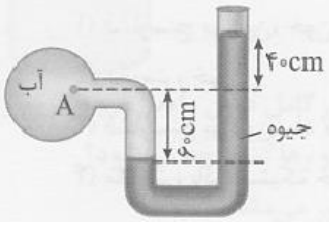
۱۵ لولهٔ U شکلی را در نظر بگیرید که محتوی حجم مساوی از آب و روغن است (شکل زیر).



با توجه به اطلاعات روی شکل، فشار پیمانه‌ای هوای درون ریهٔ شخصی که از شاخهٔ سمت چپ لوله درون آن دمیده، چقدر است؟ چگالی روغن را $۸۰۵kg/m^۳$ بگیرید.

در شکل مقابل، اختلاف فشار نقطهٔ A و فشار هوا چند کیلوپاسکال است؟ (سراسری ریاضی ۹۴)

$(g=۱۰N/kg\ ,\ \rho_{جیوه}=۱۳/۶g/cm^۳\ ,\ \rho_{آب}=۱g/cm^۳)$



۱) ۱۳/۶
۲) ۱۳۶
۳) ۱۳۰
۴) ۶۰

۲ــ۴ شناوری

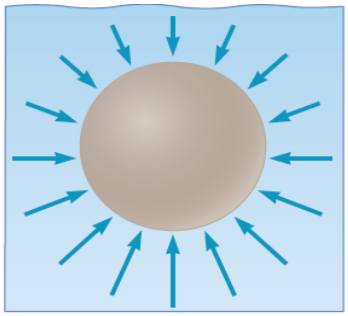
ممکن است بارها تجربه کرده باشید که وقتی توپی را وارد آب می‌کنید، پس از حذف نیروی دست، توپ به طرف بالا جهیده و روی آب شناور می‌شود (شکل ۲ــ۲۰ــ الف). همچنین شناورماندن کشتی‌های فولادی روی آب، پدیده‌ای آشناست با وجود آنکه می‌دانیم چگالی فولاد حدود ۸ برابر چگالی آب است (شکل ۲ــ۲۰ــ ب). افزون بر اینها، جابه‌جا کردن یک جسم سنگین غوطه‌ور داخل آب، خیلی آسان‌تر از انجام همین کار در خارج آب است (شکل ۲ــ۲۰ــ پ). همان‌طور که در کتاب علوم سال هفتم دیدید وقتی چگالی جسمی بیشتر از چگالی آب باشد در آب فرو می‌رود و ته‌نشین می‌شود، درحالی که اگر چگالی جسم کمتر از چگالی آب باشد روی آب شناور می‌ماند. همچنین در حالتی که چگالی جسم و آب یکسان باشد جسم در آب به‌صورت غوطه‌ور درمی‌آید. پیش از پرداختن به دلیل این پدیده‌ها، فعالیت زیر را انجام دهید.

(الف) (ب) (پ)

شکل ۲ــ۲۰ (الف) وارد کردن توپ داخل آب، (ب) کشتیرانی در دریای خزر (بندر امیرآباد)، (پ) جابه‌جا کردن یک غواص غوطه‌ور با یک دست

ارشمیدس دانشمند یونانیِ دوران باستان، نخستین کسی بود که پی برد به جسم‌های درون یک شاره یا غوطه‌ور در آن، همواره نیروی بالاسوی خالصی به نام نیروی شناوری[1] از طرف شاره وارد می‌شود. دلیل این نیرو برای جسمی غوطه‌ور درون شاره به طور کیفی در شکل ۲ــ۲۱ نشان داده شده است.

۱۶ توضیح دهید چرا نیروی شناوری برای جسمی که در یک شاره قرار دارد رو به بالاست.



شکل ۲ــ۲۱ پیکان‌ها نشان می‌دهند که نیروهای ناشی از فشار وارده بر جسم، به دلیل افزایش عمق، در زیر آن بزرگ‌ترند.

فعالیت ۲ــ۸

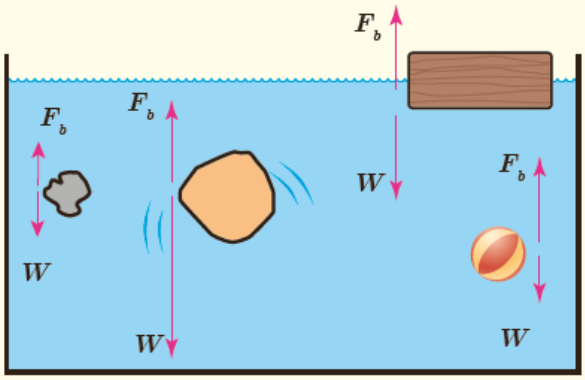
پوش‌برگ آلومینیمی

پوش‌برگ آلومینیمی مچاله‌شده

درون یک ظرف مقداری آب بریزید. یک پوش‌برگ (فویل) آلومینیمی به ابعاد تقریبی $۲۰\ cm \times ۲۰\ cm$ اختیار کنید و آن را مچاله کنید. پیش‌بینی کنید با قرار دادن پوش‌برگ مچاله شده روی سطح آب، چه اتفاقی می‌افتد؟ آزمایش را انجام دهید.

پوش‌برگ دیگری با همان ابعاد اختیار کنید و به جای مچاله کردن، آن را چندین بار (دست‌کم ۵بار) روی هم تا کنید. اگر این پوش‌برگ چند لایه را، روی سطح آب قرار دهید، پیش‌بینی کنید چه اتفاقی می‌افتد؟ آزمایش را انجام دهید. پیش‌بینی‌ها و نتایج مشاهدهٔ (آزمایش) خود را در گروهتان به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

پرسش ۲ــ۶



در شکل روبه‌رو، نیروی شناوری F_b و نیروی وزن W وارد بر چند جسم نشان داده شده است. با توجه به نیروی خالص وارد بر هر جسم، وضعیت آن را به کمک یکی از واژه‌های شناوری، غوطه‌وری، فرورفتن و بالارفتن توصیف کنید.

سوال : در مورد اصل ارشمیدس تحقیق کنید.

جسمی روی سطح آب و درون ظرفی شناور و نیمی از جسم درون آب فرو رفته است. اگر این مجموعه را به کرهٔ ماه ببریم، با در نظر گرفتن این‌که در کرهٔ ماه جاذبه کم‌تر است، چه اتفاقی می‌افتد؟

۱) ممکن است جسم کاملاً در آب فرو برود.

۲) جسم روی سطح آب شناور مانده ولی بیش از نیمی از جسم در آب فرو می‌رود.

۳) جسم روی سطح آب شناور مانده ولی کم‌تر از نیمی از جسم در آب فرو می‌رود.

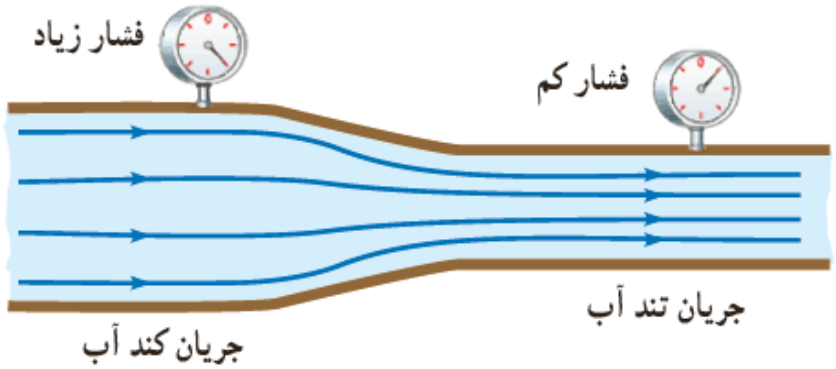
۴) نیمی از جسم مانند حالتی که روی کرهٔ زمین است در آب فرو رفته و جسم روی سطح آب شناور می‌ماند.

۲ــ۵ شارهٔ در حرکت و اصل برنولی

تا اینجا به بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیکی شاره‌های ساکن پرداختیم. اکنون آماده‌ایم تا یک شارهٔ در حال حرکت را بررسی کنیم. وقتی شاره‌ای حرکت می‌کند، این حرکت می‌تواند یکنواخت و لایه‌ای (شکل ۲ــ۲۲ــ الف) یا تلاطمی و آشوبناک (شکل ۲ــ۲۲ ــ ب) باشد. درست مانند هوا، که گاهی به صورت نسیمی ملایم و گاهی به صورت طوفانی پر انرژی می‌وزد.

شکل ۲ــ۲۲ (الف) حرکت لایه‌ای شاره. نقش کلی جریان شاره، با گذر زمان تغییر نمی‌کند. (ب) حرکت تلاطمی شاره. نقش کلی جریان شاره و مسیر حرکت ذرات آن، به طور مدام تغییر می‌کند.

شکل ۲ــ۲۴ جریان لایه‌ای آب را، درون لوله‌ای افقی و با دو سطح مقطع متفاوت نشان می‌دهد. در حالت پایا، که همه جای لوله پر از آب است، مقدار آبی که در یک مدت زمان معین از یک مقطع لوله می‌گذرد با مقداری که از هر مقطع دیگر لوله در همان مدت زمان می‌گذرد برابر است. در نتیجه با توجه به تغییر اندازهٔ سطح مقطع لوله، جریان آب کُند یا تند می‌شود.



شکل ۲ــ۲۴ آب با جریان لایه‌ای، در لوله‌ای با دو سطح مقطع متفاوت حرکت می‌کند. با کاهش سطح مقطع لوله، جریان آب تندتر می‌شود و فشار آن کاهش می‌یابد.

مشاهده می شود در قسمت هایی از لوله که سرعت سیال بیشتر است فشار آن کمتر است که به آن اصل برنولی می گویند:

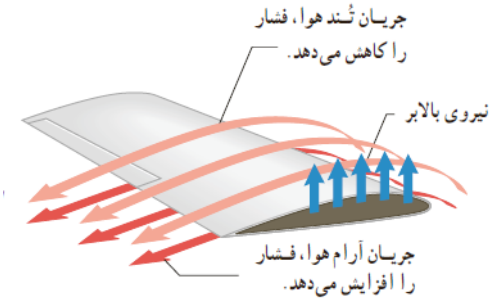
در مسیر حرکت شاره، با افزایش تندی شاره، فشار آن کاهش می‌یابد.

سوال : با توجه به اصل برنولی هر یک از آزمایش های زیر را توضیح دهید.

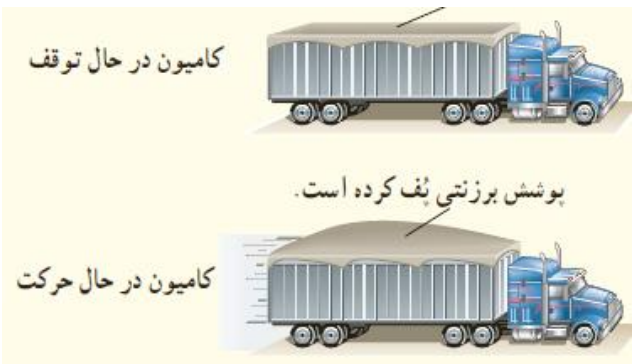
الف) .....

ب)....

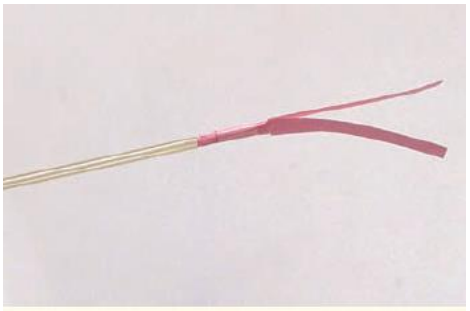
پ).....



ت).....



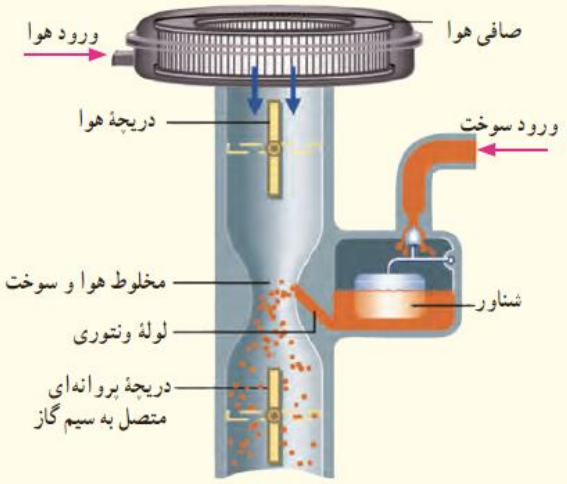
ج)....



(الف)

(ب)

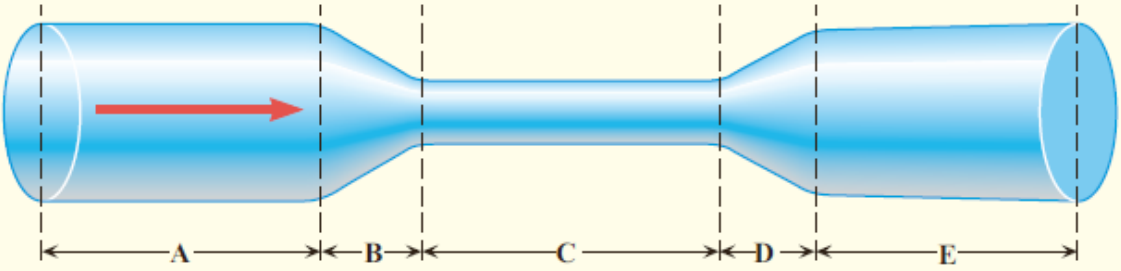
د).....



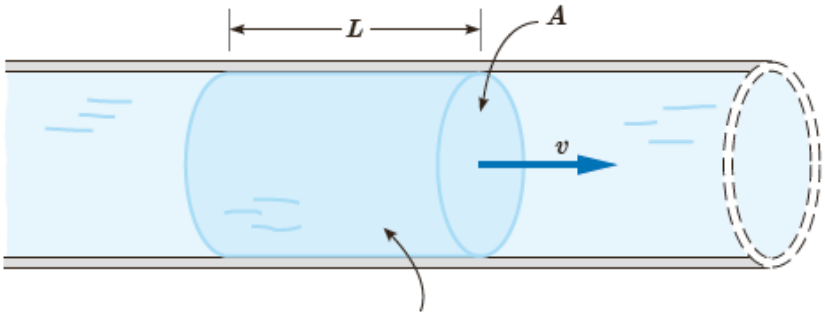
۱۷ در لوله‌ای پر از آب مطابق شکل زیر، آب از چپ به‌راست در جریان است. روی این لوله ۵ قسمت (A ، B ،C ،D و E) نشان داده شده است.

الف) در کدام یک از قسمت‌های لوله، تندی آب، در حال افزایش، در حال کاهش، یا ثابت است؟

ب) تندی آب را در قسمت‌های A ، C و E لوله با یکدیگر مقایسه کنید.



آهنگ شارش حجمی شاره : شکل ۲ــ۲۵ جریان یکنواخت شاره‌ای را نشان می‌دهد که با تندی v درون لوله‌ای با سطح مقطع A در حرکت است.



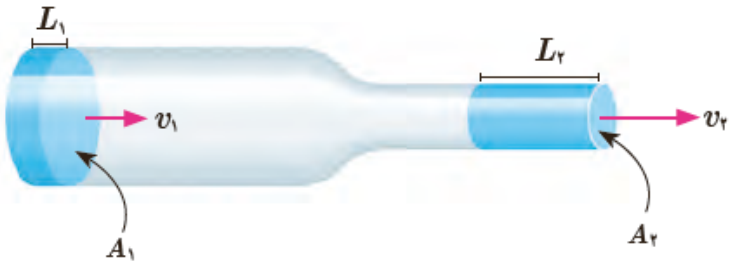
شکل ۲ــ۲۵ آهنگ شارش حجمی درون یک لوله، به صورت نسبت حجم شاره جابه‌جا شده به زمان تعریف می‌شود.

برای شارهٔ تراکم‌ناپذیر، اگر در بازهٔ زمانی Δt، حجم معینی از شاره $(\Delta V = AL)$ از مقطع A این لوله عبور کند، **آهنگ شارش حجمی شاره** از این مقطع فرضی، از رابطهٔ زیر به دست می‌آید :

$$\text{آهنگ شارش حجمی شاره} = \frac{\text{حجم شاره}}{\text{زمان}} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{AL}{\Delta t} = Av \qquad (۵ــ۲)$$

توجه کنید که نسبت مسافت به زمان $(L/\Delta t)$ در حرکت یکنواخت شاره، برابر تندی شاره (v) است.

معادلهٔ پیوستگی : شکل ۲ــ۲۶ شاره‌ای با جریان لایه‌ای را نشان می‌دهد که در لوله‌ای با دو سطح مقطع متفاوت، در حرکت است. در حالت پایا و در مدت زمان یکسان، جرم یکسانی از شاره، از هر سطح مقطع دلخواه لوله می‌گذرد.

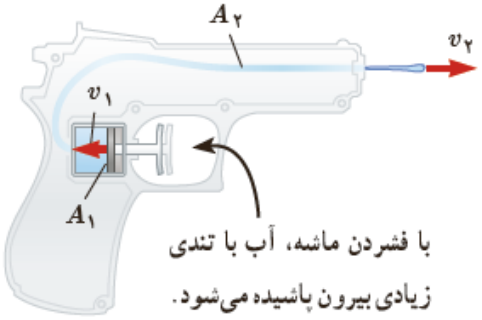


شکل ۲ــ۲۶ در یک شاره تراکم‌ناپذیر، مقدار شاره‌ای که در بازهٔ زمانی Δt از سطح مقطع A_1 می‌گذرد درست برابر مقدار شاره‌ای است که در همین بازهٔ زمانی از سطح مقطع A_2 می‌گذرد.

از این موضوع، به سادگی می‌توان به **معادلهٔ پیوستگی** برای شارهٔ تراکم‌ناپذیر دست یافت که به صورت زیر بیان می‌شود :

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \qquad (۶ــ۲)$$

مثال ۲ــ۷



شکل روبه‌رو یک تفنگ آب‌پاش را نشان می‌دهد که با فشردن ماشهٔ آن، آب با تندی زیادی بیرون می‌آید.

اگر $A_۱ = ۲/۰\,cm^۲$، $A_۲ = ۰/۱۰\,mm^۲$ و $v_۱ = ۰/۳۰\,cm/s$ باشد تندی خروج آب را به دست آورید.

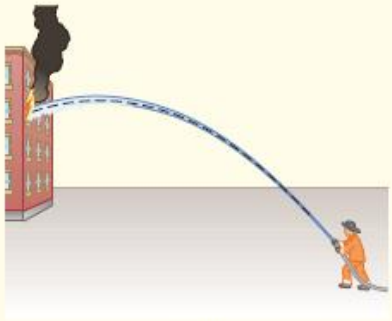
پاسخ : با توجه به فرض‌های مسئله، از معادلهٔ پیوستگی به سادگی می‌توان تندی خروج آب از تفنگ را به‌دست آورد. از معادلهٔ ۲ــ۶ داریم :

$$A_۱ v_۱ = A_۲ v_۲$$

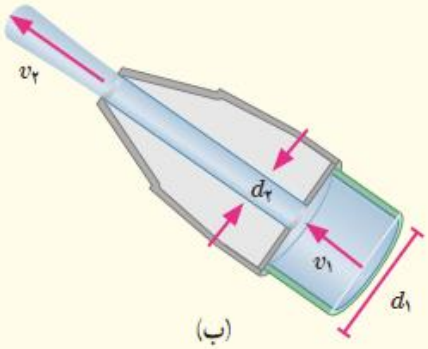
$$(۲/۰\,cm^۲)(۰/۳۰\,cm/s) = (۰/۱۰ \times ۱۰^{-۲}\,cm^۲)v_۲$$

به این ترتیب تندی خروج آب برابر $v_۲ = ۶/۰ \times ۱۰^۲\,cm/s = ۶/۰\ m/s$ است.

۲۰ شکل (الف) آتش‌نشانی را درحال خاموش کردن آتش از فاصلهٔ نسبتاً دوری نشان می‌دهد. نمایی بزرگ‌شده از شیر بسته‌شده به‌انتهای لولهٔ آتش‌نشانی در شکل (ب) نشان داده شده است. اگر آب با تندی $v_۱ = ۱/۵۰\,m/s$ از لوله وارد شیر شود و قطر ورودی شیر $d_۱ = ۹/۶۰\,cm$ و قطر قسمت خروجی آن $d_۲ = ۲/۵۰\,cm$ باشد، تندی خروج آب را از شیر پیدا کنید.



(الف)



(ب)

مطابق شکل لوله‌ها از مایع پر هستند، اگر تندی مایع در قسمت باریک لوله دو برابر تندی مایع در قسمت پهن لوله باشد، نسبت $\frac{D_۲}{D_۱}$ کدام است؟

۱) $\frac{۱}{۴}$ ۲) $\frac{۱}{۲}$ ۳) $\frac{\sqrt{۲}}{۲}$ ۴) $\sqrt{۲}$