فصل ۹

چگالی و فشار

آیـا انجـام ایـن کار روی زمیـن نیـز امکان‌پذیر است؟

سیمای فصل

۶-۱ چگالی

۶-۲ نیرو و فشار

۶-۳ فشار در مایع‌ها وگازها

۶-۴ اصل ارشمیدس و شناوری

- پرسش‌های مفهومی
- مسئله‌ها

چگالی و فشار

چرا شـخصی که چوب اسـکی به پا دارد، کم‌تـر در برف فرو می‌رود؟ چـرا در قله‌های مرتفع کوه‌ها، نفس کشـیدن دشـوارتر است؟ چرا هنگامی که به جاهای عمیق‌تر استخر می‌رویم احساس فشار بیش‌تری روی گوش‌های خود می‌کنیم ؟ چرا جابه‌جایی جسم‌های سنگین درون آب راحت‌تر است؟ چه عاملی سبب شناور شدن کشتی‌های فولادی کوچک و بزرگ روی آب می‌شود؟

درایـن فصل بـا برخی از ویژگی‌های مهم ماده آشـنا خواهیم شـد که ما را قادر می‌سـازد به پرسش‌هایی از قبیل آنچه ذکر شد با دقت علمی خوبی پاسخ دهیم.

۶-۱ چگالی

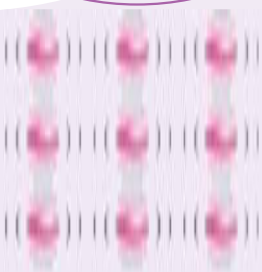
یکی از ویژگی‌های اصلی هر ماده در همه‌ی حالت‌ها (جامد، مایع و گاز) چگالی است. چگالی نشان می‌دهد که ذره‌های تشکیل‌دهنده‌ی ماده تا چه حد فشرده‌اند (شکل ۶-۱). نسبت جرم به حجم هر جسمی را چگالی آن جسم می‌نامند و آن را با حرف یونانی ρ (بخوانید رُ) نشان می‌دهند.

$$\text{چگالی} = \frac{\text{جرم}}{\text{حجم}} \quad \text{یا} \quad \rho = \frac{m}{V}$$

یکای چگالی در SI با توجه به تعریف بالا کیلوگرم بر متر مکعب (kg/m^3) است. در جدول ۶-۱ چگالی چند ماده‌ی مختلف داده شده است.

جدول ۶-۱ چگالی چند ماده‌ی مختلف در دمای $0\,^{\circ}C$ و فشار جوّی (۱atm)

ماده	حالت	چگالی (kg/m^3)
یخ	جامد	۹۲۰
چوب‌پنبه	جامد	۲۵۰
چوب	جامد	۶۵۰
فولاد	جامد	۷۹۰۰
آلومینیوم	جامد	۲۷۰۰
مس	جامد	۸۹۴۰
طلا	جامد	۱۹۳۲۰
نقره	جامد	۱۰۵۰۰
روی	جامد	۶۹۰۰
سرب	جامد	۱۱۳۵۰
جیوه	مایع	۱۳۶۰۰
آب ($4\,^{\circ}C$)	مایع	۱۰۰۰
روغن ذرت	مایع	۹۰۰
الکل	مایع	۸۰۰
هوا	گاز	۱/۲۹
اکسیژن	گاز	۱/۴۳
کربن دی‌اکسید	گاز	۱/۹۸
هیدروژن	گاز	۰/۰۸۹



(الف) ذره‌های تشکیل دهنده‌ی جسم جامد در جای خود تقریباً ثابت‌اند و به طور بسیار کمی نوسان می‌کنند.

(ب) ذره‌های تشکیل دهنده‌ی مایع آزادانه حرکت می‌کنند و روی یک‌دیگر می‌لغزند.

(پ) ذره‌های تشکیل دهنده‌ی گازها با سرعت زیادی به اطراف حرکت می‌کنند.

شکل ۶-۱

فعالیت عملی

- اندازه‌گیری چگالی چند جسم مختلف

آزمایشگاه مجازی

- چگالی

بیش تر بدانید

- آشنایی با جامدها
- مدلی ساده برای جسم جامد
- فازهای ماده

پرسش ۶-۱

آیا می‌توانید بین شکل۶-۱و مقدارهای جدول۶-۱ ارتباط معناداری برقرار کنید. شرح دهید.

مثال ۶-۱

جرم یک مجسمه‌ی نقره ۴۲۰ گرم است. حجم این مجسمه چقدر است؟

حل: با توجه به تعریف چگالی داریم

$$\rho = \frac{m}{V}$$

با جای گذاری چگالی نقره از جدول ۶-۱ ($\rho = ۱۰۵۰۰ kg/m^۳$) و جرم مجسمه از صورت مسئله ($m=۴۲۰\ g = ۰/۴۲kg$) در رابطه‌ی بالا داریم

$$۱۰۵۰۰kg/m^۳ = \frac{۰/۴۲kg}{V} \Rightarrow V = \frac{۰/۴۲kg}{۱۰۵۰۰kg/m^۳} = ۴\times۱۰^{-۵}m^۳$$

از آنجا که $۱m^۳=۱۰^۶cm^۳$ است داریم $V=۴۰cm^۳$.

مثال ۶-۲

طول، عرض، و ارتفاع اتاقی به ترتیب ۴m، ۲mو ۳m است. جرم و وزن هوای درون این اتاق در یک روز نسبتاً سرد زمستانی (دمای هوا $۰^\circ C$) چقدر است؟

حل: از آنجا که هوا تمام حجم اتاق را اشـغال می‌کند، حجم هوا با حجم اتاق برابر است. بنابراین با توجه به تعریف حجم مکعب مستطیل، $V=abc$، داریم:

$$V=۴m\times۲m\times۳m=۲۴m^۳$$

همچنین از جدول۶-۱چگالی هوا برابر $۱/۲۹kg/m^۳$ است. پس:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m=\rho V$$

$$\Rightarrow m = (۱/۲۹kg/m^۳)\ (۲۴m^۳) = ۳۰/۹۶kg$$

با توجه به تعریف وزن یک جسم، $W=mg$، داریم:

$$W=mg=(۳۰/۹۶\ kg)\ (۱۰N/kg) = ۳۰۹/۶\ N$$

مثال ۶-۳

جرم یک لیتر آب چند کیلوگرم است؟

حل: با توجه به این‌که هر یک متر مکعب ($۱m^۳$) معادل هزار لیتر ($۱۰^۳lit$) است، داریم

$$۱lit = ۱۰^{-۳}m^۳ \quad یا \quad ۱m^۳ = ۱۰۰۰lit$$

بنابراین با توجه به تعریف چگالی و جدول ۶-۱ می‌توان نوشت

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m=\rho V$$

$$\Rightarrow m = (۱۰۰۰\ kg/m^۳)\ (۱۰^{-۳}m^۳) = ۱kg$$

به عبارت دیگر جرم هر لیتر آب برابر ۱kg است.

ابوریحان محمد ابن احمد بیرونی (۳۵۱ شمسی- ۴۲۵ شمسی)، دانشمند برجسته‌ی ایرانی در حومه‌ی شهر کاث، پایتخت خوارزمشاهیان، به دنیا آمد و تا سن ۲۵ سالگی در زادگاه خود مشغول فراگیری علوم مختلفی بود. با توجه به اطلاعات به دست آمده ، تعداد آثار ابوریحان بیرونی شامل تالیف ها، ترجمه‌ها و آثار نیمه تمام او به ۱۸۰عنوان می‌رسد که دست کم ۱۱۵ عنوان از آن ها به ریاضیات و نجوم اختصاص داشته و از این تعداد تنها ۲۸ عنوان به دست ما رسیده است.

بیرونی در کتاب«اِ فراد المقال فی امر الظال» یکی از نظریه های مشهور ارسطو را با تکیه بر آزمایش رد می کند. نکته مهم و مورد توجه در آزمایش های بیرونی، شیوه‌ی علمی او در انجام دادن آزمایش‌هاست. وی هم چون یک پژوهش گر امروزی در آزمایش خود به نکاتی توجه می کند؛ از جمله: هنگام مقایسه‌ی خاصیتی ویژه از دو ماده می کوشد تا سایر شرایط برای آن‌ها یکسان باشد و نیز به تکرار در آزمایش تاکید می کند تا مطمئن شود نتایج حاصل از فرایند اتفاقی نیست.

« سایه‌ها» یکی از مهم ترین آثار بیرونی است که در آن به شرح موضوع‌هایی در زمینه‌ی ریاضیات می‌پردازد. بیرونی هم‌چنین مقاله‌هایی درمورد زمین‌پیمایی و جغرافیا دارد. او شیوه‌های اندازه‌گیری قطر زمین و فاصله‌ی روی آن را از طریق مثلث بندی معرفی کرده است.

تمرین ۶-۱

هنگامی‌که سنگ کوچکی را درون یک استوانه‌ی مدرج محتوی آب می‌اندازیم حجم آب درون استوانه حدود ۲۵mlit افزایش می‌یابد (شکل ۶-۲). اگر جرم سنگ ۹۰ گرم باشد، چگالی آن چقدر است؟

(هر میلی‌لیتر برابر $10^{-6}m^3$) است.

شکل ۶-۲

فعالیت ۶-۱

روشی برای اندازه‌گیری حجم پارچ شیشه‌ای شکل ۶-۳ پیشنهاد کنید.

شکل ۶-۳

۶-۲ نیرو و فشار

در فصل سوم با اثر نیرو روی یک جسم (که به صورت ذره فرض می‌شد) آشنا شدیم و به کمک قانون‌های نیوتون رفتار جسم را بررسی کردیم. در این بخش اثر نیرو بر روی یک سطح بررسی خواهد شد. به این منظور شخصی را در نظر بگیرید که با کفش روی برف ایستاده و مقداری در آن فرو رفته است، ولی همان شخص اگر چوب اسکی به پا داشته باشد، کم‌تر در برف فرو می‌رود (شکل ۶-۴). علت چیست؟

شکل ۶-۴

روشن است که در هر دو حالت وزن شخص تغییری نکرده است بلکه سطح تماس پاهای او با برف تغییر کرده است. در حالتی که شخص چوب اسکی به پا دارد نیرویی که بر سطح زمین وارد می‌کند در سطح بیش‌تری توزیع می‌شود و در نتیجه کم‌تر در برف فرو رفته است.

برای بررسی دقیق‌تر این موضوع کمیتی به نام **فشار** را به صورت زیر تعریف می‌کنیم

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

شبیه‌سازی

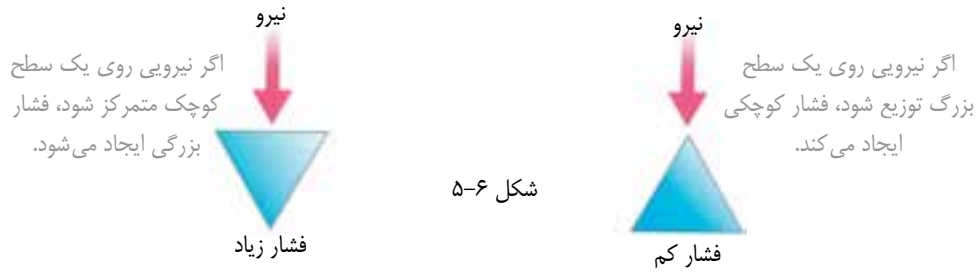
- مفهوم فشار و آثار آن

اگر فشار را با p، نیرو را با F و مساحت سطح را با A نشان دهیم، خواهیم داشت

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

یکای فشار در SI نیوتون بر متر مربع (N/m^2) است که پاسکال (Pa) نامیده می‌شود.

از رابطه‌ی p=F/A نتیجه می‌شود که هرگاه نیروی F ثابت بماند و سطح A تغییر کند، فشار p نیز تغییر می‌کند (شکل ۶-۵).



شکل ۶-۵

در شکل ۶-۶ مثال‌های دیگری از تأثیر افزایش یا کاهش فشار دیده می‌شود.

شکل ۶-۶

بلز پاسکال (۱۶۲۳- ۱۶۶۲) ریاضیدان، فیزیک‌دان و فیلسوف فرانسوی که در نوزده سالگی توانست اولین ماشین حساب مکانیکی را اختراع کند. پاسکال با وجود این‌که فقط ۳۹ سال زندگی کرد، خدمات زیادی به علم ریاضی و فیزیک نمود. یکای فشار در SI به افتخار او پاسکال (Pa) است.

مثال ۶-۴

یک قطعه‌ی مکعبی شکل به وزن ۲۰۰N را در دو وضعیت مختلف روی سطح زمین قرار می‌دهیم (شکل ۶-۷). فشار وارد شده به سطح را در هر حالت پیدا کنید.

حل: نیروی ۲۰۰N که در هردو شکل (الف) و (ب) نشان داده شده است نیروی وزن جسم است که بزرگی آن با بزرگی نیروی عمود بر سطح برابر است (چرا؟). بنابراین در حالت (الف) داریم

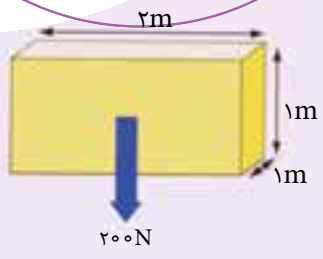
$$F = ۲۰۰N \quad ، \quad A = ۱m \times ۲m = ۲m^۲$$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{۲۰۰\,N}{۲m^۲} = ۱۰۰\,Pa$$

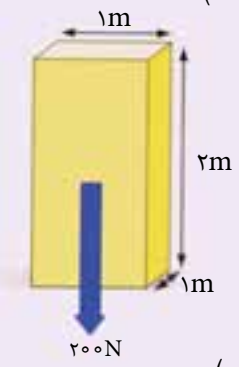
و در حالت (ب) داریم

$$F = ۲۰۰N \quad ، \quad A = ۱m \times ۱m = ۱m^۲$$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{۲۰۰\,N}{۱m^۲} = ۲۰۰\,Pa$$



(الف)



(ب)

شکل ۶-۷

مثال ۶-۵

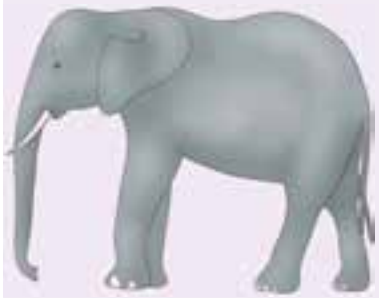
وزن فیلی ۲۰۰۰۰N و مساحت سطح هر پای آن $۰/۲۵m^۲$ است (شکل ۶-۸). فشاری که از طرف فیل بر سطح زمین وارد می‌شود چقدر است؟

حل: چون فیل روی چهار پای خود ایستاده است، داریم

$$A = ۴ \times ۰/۲۵m^۲ = ۱m^۲$$

بنابراین با توجه به تعریف فشار داریم

$$p = \frac{F}{A} = \frac{۲۰۰۰۰\,N}{۱m^۲} = ۲۰۰۰۰\,Pa$$



شکل ۶-۸

تمرین ۶-۲

وزن اسکی بازی ۷۵۰N و فشاری که از طرف او بر سطح زمینی وارد می‌شود ۳۰۰۰Pa است (شکل ۶-۹). مساحت سطح هر چوب اسکی چقدر است؟

شکل ۶-۹

۶-۳ فشار در مایع‌ها و گازها

فشـار در مایع‌هـا: هنگامی‌که دسـت خود را جلوی آبی که از شـیلنگ بیـرون می‌ریزد بگیریم، می‌توانیم فشـار آب را احساس کنیم (شـکل ۶-۱۰). همچنین وقتی قسمتی از دست ما بریده شود خون از محل بریده شده بیرون می‌آید که ناشی از فشار خون است. یا هنگامی‌که به ناحیه‌ی عمیق یک اسـتخر آب می‌رویم، فشـار آب را به خوبی احسـاس می‌کنیم. در این بخش خواهیم دید فشار یک مایع به چه عواملی بستگی دارد و چگونه می‌توان آن را اندازه گرفت.

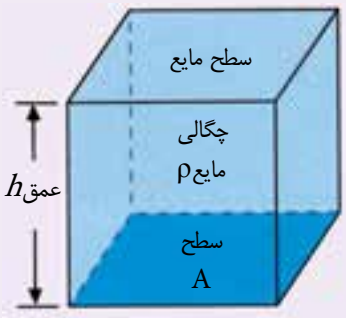
شکل۶-۱۰

در شـکل ۶-۱۱ ستونی از یک مایع به ارتفاع h، مساحت قاعده‌ی A، و چگالی ρ نشان داده شده است. نیرویی که به مساحت قاعده‌ی این ستون وارد می‌شود معادل وزن ستون مایع و برابر است با

$$W=mg=\rho Vg=\rho Ahg$$

با توجه به تعریف فشار داریم

$$p=\frac{F}{A}=\frac{W}{A}=\frac{\rho Ahg}{A}=\rho gh$$



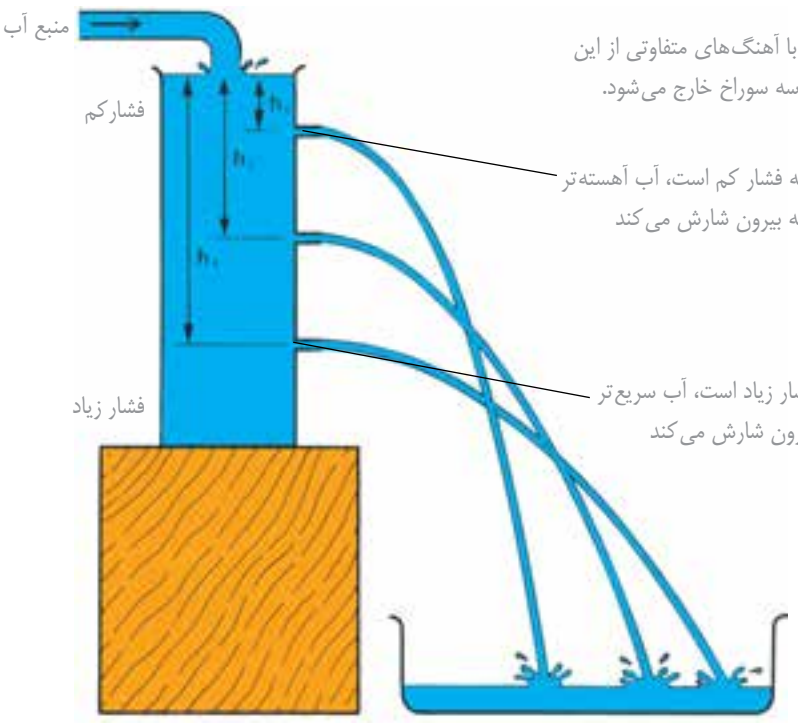
شکل۶-۱۱

به این ترتیب نتیجه می‌گیریم که فشـار ناشـی از یک مایع ساکن تنها به عمق از سطح آزاد مایع بستگی دارد و فشار درنقطه‌های هم عمق یکسان است (شکل ۶-۱۲) و هرچه درون مایعی پایین‌تر رویم فشار ناشی از مایع افزایش می‌یابد (شکل ۶-۱۳).

شکل۶ -۱۲سـوراخ‌های ایجاد شده در این ظرف در عمق یکسـانی از سطح مایع قرار دارنـد و در نتیجه آب با آهنگ یکسـانی از آن‌ها خارج می‌شود.

شبیه‌سازی

- فشار در مایع‌ها



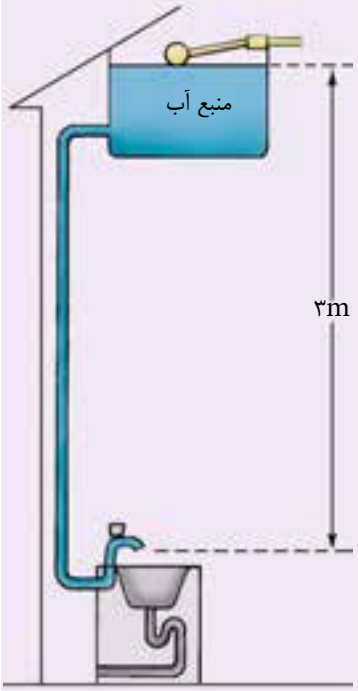
شکل۶-۱۳ این آزمایش ساده به روشنی نشان می‌دهد که فشار در مایع با بیش‌تر شدن عمق، افزایش می‌یابد.

مثال ۶-۷

ارتفاع سطح آب درون مخزن شکل ۶-۱۴ نسبت به شیر آب ۳m است. فشار ناشی از آب در سر شیر چقدر است؟

حل: با توجه به رابطه‌ی فشار در مایع‌ها داریم

$$p = \rho gh = (1000 kg/m^3)(9/8 N/kg)(3m) = 29400 Pa$$



شکل ۶-۱۴

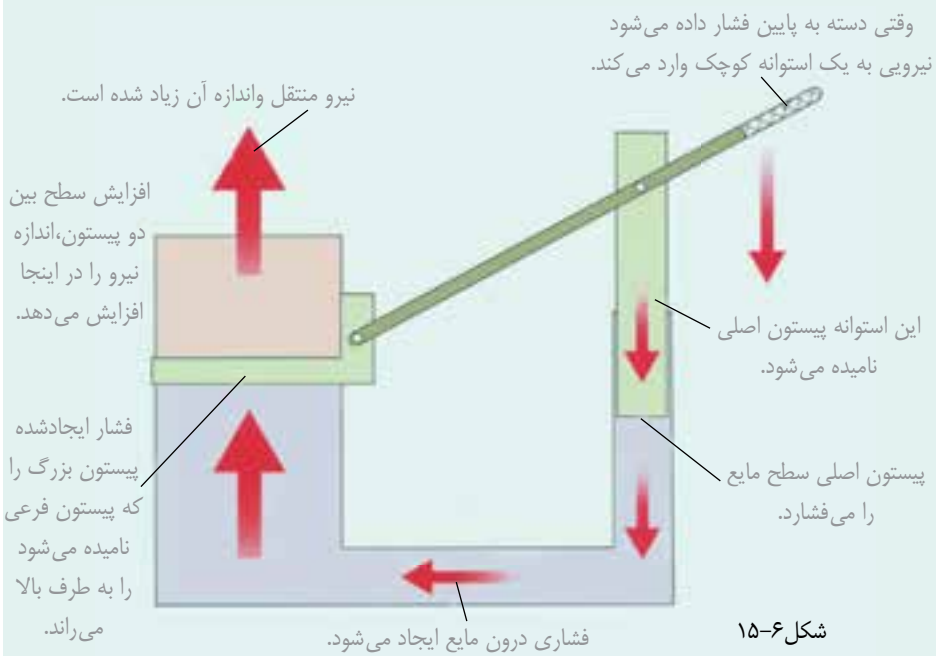
تمرین ۶-۳

فشار ناشی از آب در کف یک استخر آب به عمق ۴m چقدر است؟

مطالعه‌ی آزاد

کاربرد فشار ناشی از یک مایع

مایع‌ها می‌توانند برای انتقال نیرو در یک فاصله‌ی مشخص مورد استفاده قرار گیرند. مایع‌ها همچنین می‌توانند بزرگی این نیرو را تغییر دهند. ماشین یا دستگاهی که قادر به انجام چنین کاری باشد، ماشین هیدرولیک یا دستگاه هیدرولیک نامیده می‌شود.



شکل ۶-۱۵

شکل ۶-۱۵ یک بالابر هیدرولیک را نشان می‌دهد که می‌تواند برای بالا بردن جسم‌های خیلی سنگین، مانند اتومبیل‌ها، مورد استفاده قرار گیرد. بالابر اندازه‌ی نیروی اعمال شده را افزایش

بیش‌تر بدانید

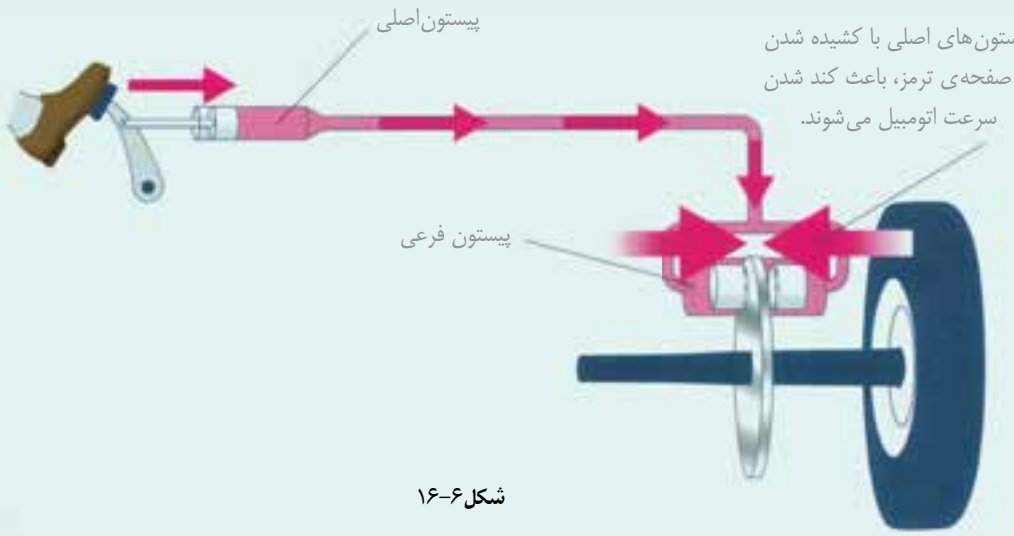
- رفتار مایع در یک ظرف

شبیه‌سازی

- رفتار مایع در چند ظرف مرتبط
- قانون پاسکال

می‌دهد به همین جهت به آن چند برابر کننده‌ی نیرو نیز گفته می‌شود.

شـکل ۱۶-۶ یکی دیگر از کاربردهای فشـار ناشی از یک مایع را نشـان می‌دهد که به آن ترمز هیدرولیک گفته می‌شود.



شکل۶-۱۶

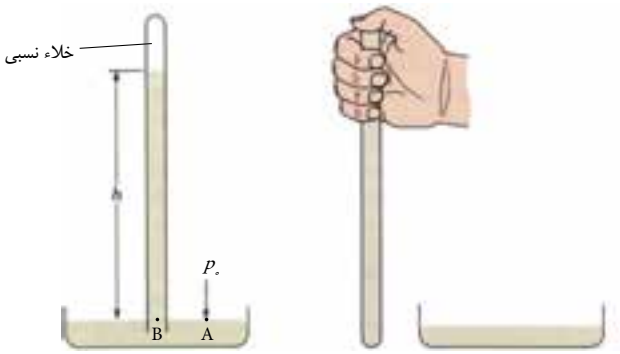
فشار در گازها: وقتی بادکنکی را باد می‌کنیم، هوایی که وارد بادکنک می‌شـود از همه طرف به پوسـته‌ی بادکنک فشـار وارد می‌کند. اگر فشار هـوای درون بادکنـک از حد معینی زیادتر شـود، بادکنـک می‌ترکد. این آزمایش ساده نشان می‌دهد که گازها، همچون مایع‌ها فشار وارد می‌کنند.

رابطه‌ی $p = \rho gh$ را می‌توان برای گازها نیز به کار برد. یعنی فشـار گاز درون یک ظرف را می‌توان با استفاده از این رابطه حساب کرد.

اطـراف کره‌ی زمین هوا وجود دارد. هوا بر همه‌ی جسـم‌ها فشـار وارد می‌کند (شـکل ۶-۱۷). یـک روش معمول برای اندازه‌گیری فشـار هوا، استفاده از جوّسنج ساده‌ی جیوه‌ای است.

برای این منظور، یک لوله‌ی شیشـه‌ای محکـم به طول حدود ۸۰cm تا ۱۰۰cm را که یک سـر آن بسته است از جیوه پر می‌کنیم به طوری‌که حباب‌های هوای درون لوله به طور کامل خارج شوند. پس از آن با انگشت، دهانه‌ی لوله را می‌بندیم و آن را واژگون می‌کنیم و به طور قائم درون یک ظرف محتوی جیوه می‌بریم. با برداشـتن انگشت، مشاهده می‌کنیم سطح جیوه در لوله پایین می‌آید و در ارتفاع معینی ثابت می‌ماند (شکل ۶-۱۸).

شکل۶-۱۷



شکل۶-۱۸

از آنجاکه فشار در نقطه‌های هم‌تراز از یک مایع با یکدیگربرابر است، بنابراین فشار دونقطه‌ی A وB یکسان است. چون فشار در نقطه‌ی A برابر فشار هواست، نتیجه می‌شود که فشار در نقطه‌ی B نیز برابر فشار هواست، یعنی

$$p_A=p_B=p_0$$

که در آن p_0 نشان‌دهنده‌ی فشار هواست.

از سوی دیگر فشار در نقطه‌یB برابر است با فشار ستون جیوه‌ای که در بالای آن قرار دارد. در نتیجه داریم

$$p_0=\rho gh$$

که در آن ρ چگالی جیوه و h ارتفاع ستون جیوه است. با جای‌گذاری مقدارهای مربوطه داریم

$$p_0=(۱۳۶۰۰\,kg/m^3)(۹/۸N/kg)(۰/۷۶m)$$

$$=۱/۰۱\times ۱۰^5\,Pa \simeq ۱۰^5\,Pa$$

این فشار یک اتمسفر ($1atm=10^5\,Pa$) نامیده می‌شود.

یعنی فشار هوا در سطح دریا تقریباً 10^5Pa یا 1atm است. معمولاً فشار را بر حسب ارتفاع ستون جیوه (میلی‌متر یا سانتی‌متر) بیان می‌کنند. توریچلی برای نخستین بار با انجام آزمایش نشان داد فشار هوا در سطح دریا برابر ۷۶۰mmHg (بخوانید ۷۶۰ میلی‌متر جیوه) یا ۷۶cmHg است.

مثال ۶-۷

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

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

که در آن h ارتفاع اتاق است. بنابراین

$$\Delta p=(۱/۳kg/m^3)(۱۰N/kg)(۳m)=۳۹Pa$$

همان‌طور که دیده می‌شود این اختلاف فشار در مقایسه با فشار هوای اتاق، یعنی 10^5Pa، بسیار ناچیز است. در نتیجه با تقریب بسیار خوبی می‌توان فشار هوا را در تمام نقطه‌های یک اتاق یا ظرفی که محتوی مقداری هوا یا هر نوع گاز دیگری است یکسان در نظر گرفت.

اونجلیستا توریچلی (۱۵۴۱-۱۶۲۶) ریاضیدان و فیزیکدان ایتالیایی در ابتدا منشی گالیله بود. او با آزمایش‌های متعدد به این نتیجه رسید که هوا، برخلاف نظر ارسطو، وزن دارد وهمین وزن هواست که آب را داخل تلمبه بالا می‌برد. توریچلی همچنین دستگاهی ساخت که می‌توانست فشار هوا را اندازه بگیرد.

فعالیت عملی

- اثرهای فشار هوا

شبیه‌سازی

- آزمایش توریچلی

مثال ۶-۸

فشار کل وارد بر بدن یک غواص در عمق ۲۰ متری دریا چقدر است؟ چگالی آب دریا را $1150 kg/m^3$ بگیرید.

حل: وقتی غواص در زیر آب قرار دارد، فشار کل وارد بر بدن او برابر مجموع فشار هوای بیرون (که بر سطح دریا وارد می‌شود) و فشار ستون آب بالای بدن اوست. چون فشار هوای وارد بر سطح دریا توسط مولکول‌های آب به همه‌ی جسم‌های درون آب منتقل می‌شود، داریم

فشار ستون مایع + فشار هوا = فشار کل وارد بر بدن غواص

$$p = p_0 + \rho gh$$

$$= 10^5 Pa + (1150 kg/m^3)(9/8 N/kg)(20 m)$$

$$= 10^5 Pa + 225400 Pa = 325400 Pa$$

توجه کنید در این مثال هدف پیدا کردن فشار کل در عمق ۲۰ متری دریاست در حالی‌که در تمرین ۶-۳ باید تنها فشار ناشی از آب را در عمق ۴ متری به دست آوریم. بنابراین هنگام حل مسئله‌هایی به این‌گونه، دقت داشته باشید آیا باید فشار کل را حساب کنید یا تنها فشار ناشی از مایع را.

تمرین ۶-۴

در چه عمقی از دریا فشار کل ده برابر فشار هوا در سطح دریاست؟ (چگالی آب دریا را $1150 kg/m^3$ بگیرید.)

مطالعه‌ی آزاد

فشارسنج بوردون

شکل ۶-۱۹ الف نوعی فشارسنج، مرسوم به فشارسنج بُوردون را نشان می‌دهد که معمولاً برای اندازه‌گیری باد لاستیک وسیله‌های نقلیه به کار می‌روند. این فشارسنج شبیه اسباب‌بازی شکل ۶-۱۹ ب کار می‌کند. اگر فشار گاز درون لوله‌ی مسی که خمیده و قابل انعطاف است افزایش یابد، خمیدگی لوله کاهش می‌یابد و لوله بازتر می‌شود. عقربه‌ای که به این لوله متصل است فشار را روی مقیاس کنار آن نشان می‌دهد.

بیش‌تر بدانید

- آشنایی با برخی از اثرهای فشار هوا در زندگی روزمره
- آشنایی با جو زمین

لوله‌ی مسی تو خالی که با افزایش فشار، بازتر می‌شود و خمیدگی آن کاهش می‌یابد.

(الف)

(ب)

شکل ۶-۱۹

۶-۴ اصل ارشمیدس و شناوری

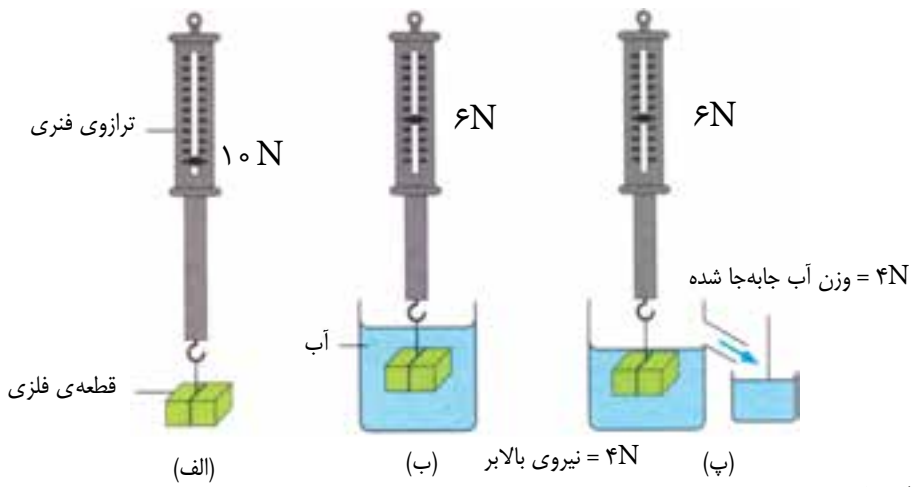
از جدول ۶-۱ دیده می‌شود که چگالی فولاد حدود ۸ برابر چگالی آب است، بنابراین انتظار می‌رود که کشتی‌های فولادی سنگین باید در آب فرو روند، در حالی‌که می‌دانیم این کشتی‌ها روی آب شناور می‌مانند (شکل ۶-۲۰). همچنین بارها دیده‌ایم که بیرون آوردن یک جسم سنگین از داخل آب بسیار آسان‌تر از انجام این کار در بیرون آب است.

ارشمیدس دانشمند یونانی، نخستین کسی بود که پی برد به همه‌ی جسم‌هایی که درون مایع قرار می‌گیرند، از طرف مایع یک نیروی بالابر (نیرویی که می‌خواهد جسم را رو به بالا حرکت دهد) بر آن‌ها وارد می‌شود و همین نیرو سبب می‌شود که وزن جسم ظاهراً کاسته شود.

اصل ارشمیدس: شکل ۶-۲۱ الف یک قطعه‌ی فلزی آویزان شده به یک ترازوی فلزی (نیروسنج) را نشان می‌دهد که وزن آن در هوا ۱۰N است. وقتی این قطعه مطابق شکل ۶-۲۱ ب به طور کامل درون آب قرار گیرد، نیروسنج عدد ۶N را نشان می‌دهد. در واقع وزن قطعه ۴N (=۱۰-۶) کاهش یافته است که ناشی از نیروی بالابری است که از طرف آب به قطعه وارد شده است.

اگر ظرفی لوله‌دار مطابق شکل ۶-۲۱ پ تهیه کنیم به طوری‌که تا سطح لوله دارای آب باشد، با فرو کردن قطعه درون آن، آب اضافی از طریق لوله به ظرف دیگری می‌ریزد. وزن آب خارج شده ۴N است که دقیقاً برابر نیرو بالا سویی است که از طرف آب به قطعه وارد می‌شود. انجام این آزمایش با مایع‌های دیگر و حتی گازها به همین نتیجه‌ی کلی می‌انجامد که به آن **اصل ارشمیدس** گفته می‌شود.

اصل ارشمیدس: به هر جسمی که به طور کامل یا جزئی درون مایعی فرو رفته باشد، نیروی بالابری وارد می‌شود که با وزن مایع جابه‌جا شده توسط جسم برابر و در سوی مخالف آن است.



شکل ۶-۲۱

ارشمیدس (۲۱۲ ق.م-۲۷۸ق.م) یکی از بزرگترین دانشمندان ریاضی و مکانیک یونانی.

شکل ۶-۲۰

فعالیت عملی
- اصل ارشمیدس

آزمایشگاه مجازی
- شناوری

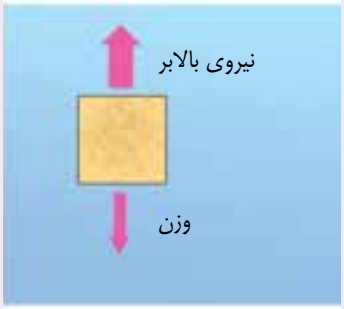
شبیه‌سازی
- اصل ارشمیدس

شناوری: وقتی سنگی درون آب رها شود به پایین می‌رود و هرگاه توپ یا چوب‌پنبه‌ای درون آب رها شود به بالامی‌آید و این تجربه‌ای آشنا برای همه‌ی ماست. دلیل این تجربه‌ی ساده روشن است؛ وزن سنگ بیش‌تر از نیروی بالابر و وزن چوب‌پنبه کم‌تر از نیروی بالابر است (شکل ۶-۲۲).

وقتی بزرگی نیروی وزن و نیروی بالابر که به یک جسم، مثلاً یک کشتی، وارد می‌شوند برابر باشند، جسم به صورت شناور روی آب می‌ماند. در این حالت کشتی نه از آب بالا می‌آید و نه در آب فرو می‌رود (شکل ۶-۲۳). بدنه‌ی تو خالی فولادی کشتی تا آنجا در آب فرو می‌رود که وزن آب جابه‌جا شده با وزن کشتی برابر شود، در این حالت نیروی بالابر با وزن کشتی برابر می‌شود و کشتی شناور می‌ماند. بنابراین برای یک جسم شناور در یک مایع **اصل شناوری** به صورت زیر بیان می‌شود:

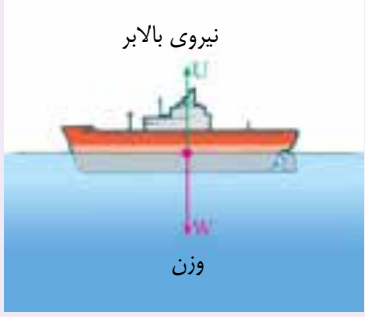
جسم شناور مقداری از مایع را که وزن آن با وزن جسم برابر است جابه‌جا می‌کند.

(الف) نیروی وزن> نیروی بالابر



(ب) نیروی وزن< نیروی بالابر

شکل۶-۲۲



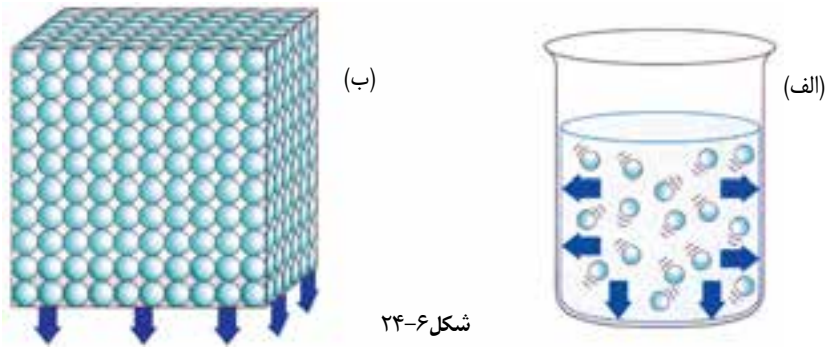
شکل۶-۲۳نیروی بالابر دقیقاً برابر وزن کشتی است و کشتی به صورت شناور روی آب باقی می‌ماند.

بیش‌تر بدانید

- چگالی سنج
- شناورسازی
- کوه‌های یخ شناور
- نیروی شناوری هوا

پرسش‌های مفهومی

۱- در شـکل ۶-۲۴ فشار در جامدها و مایع‌ها با یکدیگر مقایسه شده است برداشت خود را از این دو شکل بیان کنید.



شکل ۶-۲۴

۲- با وجود آن‌که مرتاض روی تعداد زیادی میخ نوک‌تیز خوابیده است ولی میخ‌ها به پوست او نفوذ نمی‌کنند (شکل ۶-۲۵). به کمک مفهوم فشار دلیل این موضوع را توضیح دهید.

شکل ۶-۲۵

۳- دانش‌آموزی سه نوع کفش ورزشی نشان داده شده در شکل ۶-۲۶ را بررسی می‌کند.

الف) توضیح دهید چگونه او می‌تواند سـطح تماس میـان هر کفش را با زمین اندازه‌گیری کند.

ب) چرا نباید از کفش (پ) برای ورزش ژیمناستیک استفاده کرد؟

۴- برای تحمل وزن یک خانه، دیوارهای آن را روی پایه‌های بتونی قرار می‌دهند. در شکل ۶-۲۷ دو نوع پایه‌ی مختلف که معماران در این مورد به کار می‌برند دیده می‌شود.

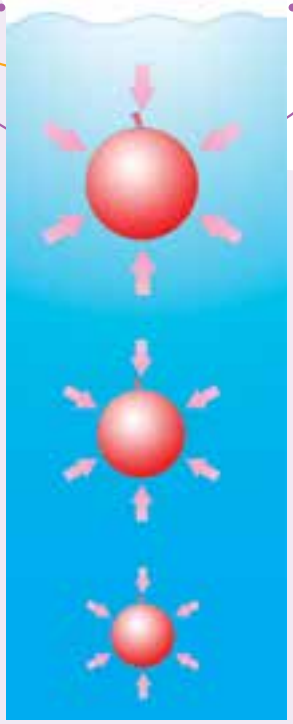
الف) رابطه‌ی میان سطح تماس، نیرو و فشار را بنویسید.

ب) برای سـاختن خانه روی زمین بسیار نرم کدام‌یک از پایه‌های یاد شده مناسب‌تر است؟ علت انتخاب خود را توضیح دهید.

شکل ۶-۲۶

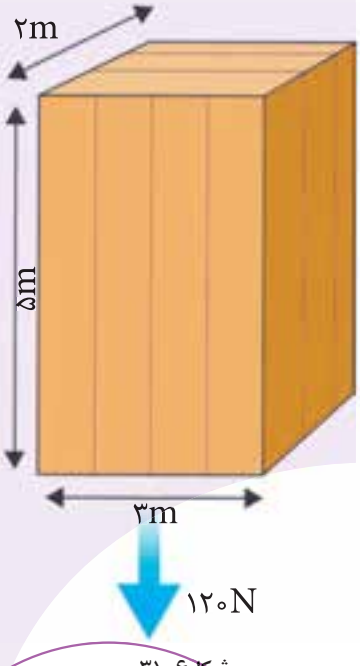
هیچ فاصله‌ای میان پایه‌های بتونی وجود ندارد.

شکل ۶-۲۷



شکل ۶-۲۸

شکل ۶-۲۹



شکل ۶-۳۱

۵- شکل ۶-۲۸ تغییر حجم یک بادکنک را در عمق‌های مختلف یک استخر پر از آب نشان می‌دهد. برداشت خود را با توجه به مفاهیمی که تاکنون درباره‌ی فشار در مایع‌ها یاد گرفته‌اید توضیح دهید.

۶- اغلب مردم با کمی تمرین می‌توانند روی آب به حالت شناور بمانند (شکل ۶-۲۹). دلیل این موضوع را به کمک مفهوم‌های چگالی (مقایسه چگالی آب با چگالی بدن) و همچنین شناوری توضیح دهید.

۷- یکی از توصیه‌هایی که باید جدی بگیریم این است که:«هرگز روی یک استخر یا دریاچه‌ی یخ زده راه نرویم. زیرا فشاری که وزن ما ایجاد می‌کند ممکن است برای شکستن یخ کافی باشد.» توضیح دهید چرا امدادگر شکل ۶-۳۰ از یک نردبان بزرگ برای حرکت روی سطح یک دریاچه‌ی یخ‌زده استفاده کرده است.

شکل ۶-۳۰

مسئله‌ها

۱- چگالی یک قطعه‌ی فلزی به جرم ۹۶ گرم و به حجم $12cm^3$ را بر حسب یکاهای g/cm^3 و kg/m^3 به دست آورید.

۲- ستاره‌های کوتوله‌ی سفید بسیار بسیار چگال هستند و چگالی آن‌ها حدود $10^8 kg/m^3$ است. اگر شما یک قوطی کبریت از ماده‌ی کوتوله‌ی سفید داشته باشید، جرم آن چقدر خواهد شد؟ ابعاد یک قوطی کبریت $5/0cm \times 3/5cm \times 1/0cm$ است.

۳- صندوق شکل ۶-۳۱ را روی کدام وجه آن باید روی زمین قرار دهیم تا

الف)کم‌ترین فشار را به وجود بیاورد؟ مقدار این فشار را حساب کنید.

ب) بزرگ‌ترین فشار را به وجود بیاورد؟ مقدار این فشار را حساب کنید.

۴- در شکل ۶-۳۲ یک استوانه‌ی پراز آب دیده می‌شود.

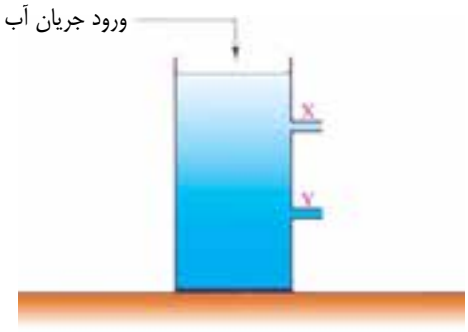
الف) مسیر خروج آب از لوله‌های خروجی x و y را رسم کنید.

ب) این آزمایش چه نکته‌ای را در مورد فشار مایع‌ها نشان می‌دهد؟

پ) اگر به جای آب مایعی با چگالی کم‌تر به کار ببریم تفاوت‌ها را توضیح دهید.

ت) اگر فاصله‌ی لوله‌ی y از سطح آب درون استوانه ۱۲۰cm باشد، فشار آب هنگام خروج از این لوله چقدر است؟ ($g = ۱۰N/kg$)

ث) اگر سطح دهانه‌ی لوله‌ی y برابر $۱۰^{-۴}m^۲$ باشد و شخصی با قرار دادن انگشت خود بر این دهانه، جلو خروج آب را بگیرد، چه نیرویی بر انگشت او وارد می‌شود؟



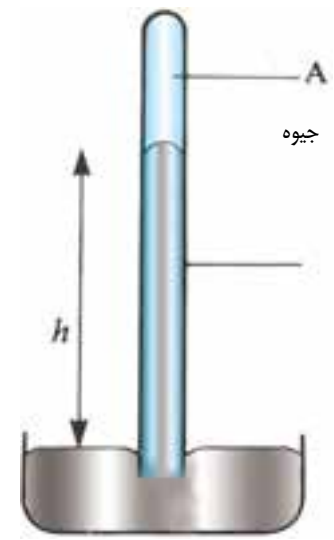
شکل۶-۳۲

۵- شکل ۶-۳۳ یک جوسنج ساده‌ی جیوه‌ای را نشان می‌دهد.

الف) در قسمت A چه چیزی وجود دارد؟

ب) اگر ارتفاع h برابر ۷۰cm باشد، فشار هوا در محل این جوسنج چقدر است؟

($g = ۱۰N/kg$ و $\rho = ۱۳۶۰۰kg/m^۳$ جیوه)



شکل۶-۳۳