۶ فشار و آثار آن

چرا اسکیموها برای راه‌رفتن روی برف‌های تازه باریده‌شده باید از کفش‌هایی که کف پهنی دارند، استفاده کنند؟

چرا هر چه چاقو تیزتر باشد، راحت‌تر سیب‌زمینی را پوست می‌کند؟

چرا در بند کیف‌هایی که وسایل سنگینی همچون لپ‌تاپ را حمل می‌کند، از پدهای پهن استفاده می‌شود؟

در گفت‌وگوهای روزمره از واژه‌های فشار و نیرو زیاد استفاده می‌شود و گاهی اوقات به غلط از یکی به جای دیگری استفاده می‌کنیم. در واقع این اشتباه به دلیل این است که درک ما از نیرویی که به ما وارد می‌شود، به واسطه‌ی فشار است. فرض کنید به میوه‌فروشی رفته‌اید و ۳ kg سیب‌زمینی خریده‌اید. فروشنده سیب‌زمینی‌ها را در کیسه‌ای پلاستیکی می‌ریزد و به شما می‌دهد، بر اثر وزن سیب‌زمینی، بند کیسه نازک می‌شود و شما احساس می‌کنید که به سختی می‌توانید کیسه را حمل کنید، در صورتی که ۳ kg، بار قابل توجهی نیست که شما را به زحمت بیندازد. علت این اتفاق را باید در نازک‌شدن دسته‌ی کیسه‌ی پلاستیکی جُست، چون مساحت سطحی که به واسطه‌ی آن نیرو به شما وارد می‌شود، کاهش یافته است. در نتیجه فشاری که کیسه بر دست شما وارد می‌کند، افزایش می‌یابد. پس **فشار، علاوه بر نیرو به مساحت سطحی که نیرو به آن وارد می‌شود** نیز بستگی دارد. بنابراین فشار را به صورت **نسبت نیروی عمود بر سطح به مساحت سطح که نیرو به آن وارد می‌شود، تعریف می‌کنیم:**

$$\text{فشار} = \frac{\text{نیروی عمود بر سطح}}{\text{مساحت سطح}} \quad \text{یا} \quad P = \frac{F}{A}$$

- واحد اندازه‌گیری فشار، پاسکال (Pa) است که به افتخار بلیز پاسکال به نام او نام‌گذاری شده است.
- هر پاسکال معادل ۱ نیوتون بر متر مربع (N/m^2) است.

حال به پاسخ پرسش‌هایی که در ابتدای فصل پرسیدیم، توجه کنید:

- هر چه مساحت کف کفش اسکیموها بیشتر باشد، فشار کم‌تری را بر سطح برفی وارد کرده و در برف فرو نمی‌روند.
- هر چه چاقو تیزتر باشد، لبه‌ی آن مساحت کم‌تری داشته و فشار زیادی را بر سطح زیر خود وارد می‌کند.
- اگر در بند کیف لپ‌تاپ از پد پهن استفاده کنیم، مساحت سطح افزایش یافته و فشار کم‌تری بر شانه‌ی ما وارد می‌شود.

مثال: مساحت کف هر یک از پاهای فیل در حدود $0/06\ m^2$ و جرم آن در حدود ۶ تُن است. مساحت هر پاشنه‌ی کفشِ پاشنه‌بلند یک خانم در حدود $0/0002\ m^2$ و جرم این خانم در حدود ۶۰ kg است. اگر خانم برای چند لحظه فقط روی پاشنه‌های خود بایستد فشاری که بر کف زمین وارد می‌کند، چه‌قدر از فشاری که فیل بر سطح زمین وارد می‌کند، بیشتر است؟

پاسخ: مساحت هر کف پای فیل در حدود $0/06\ m^2$ است، پس مجموع مساحت پاهای فیل $4\times 0/06\ m^2$ و مساحت هر پاشنه‌ی کفش $0/0002\ m^2$ و مجموع مساحت هر دو پاشنه $2\times 0/0002\ m^2$ است:

$$P_{\text{خانم}} = \frac{mg}{A} \Rightarrow P_{\text{خانم}} = \frac{60\times 10}{2\times 0/0002} = 1500000\ Pa$$

$$P_{\text{فیل}} = \frac{mg}{A} \Rightarrow P_{\text{فیل}} = \frac{6000\times 10}{4\times 0/06} = 250000\ Pa$$

Scanned by CamScanner

فشاری که پاشنه‌های کفش پاشنه‌بلند بر کف زمین وارد می‌کند به اندازه‌ی $1250000\ Pa$ بیشتر از فشاری است که فیل بر سطح زیر خود وارد می‌کند.

پرسش: فرض کنید که دوست شما روی یک دریاچه‌ی یخ‌زده ایستاده است که ناگهان متوجه می‌شود یخ دریاچه در حال ترک‌خوردن است:

الف) برای این‌که یخ بیشتر نشکند به او چه پیشنهادی می‌کنید؟

ب) برای این‌که او را نجات دهید، چه راهی را پیشنهاد می‌کنید؟

پاسخ: الف) به او توصیه می‌کنیم که روی یخ نایستد بلکه روی یخ دراز بکشد، چون در این حالت مساحت سطحی که نیروی وزن شخص بر یخ وارد می‌کند، افزایش یافته و فشار کم‌تری بر یخ وارد می‌شود.

ب) برای نجات او از وسیله‌ای که طول و عرض کافی دارد استفاده می‌کنیم تا هم بتوانیم به محل دوستمان دسترسی پیدا کنیم و هم به علت داشتن مساحت زیاد فشار کم‌تری را به یخ‌ها وارد کنیم. این وسیله می‌تواند یک نردبان باشد.

پرسش: مطابق شکل، پونزی را بین دو انگشت خود گرفته و فشار می‌دهیم:

الف) به کدام انگشت نیروی بیشتری وارد می‌شود؟

ب) به کدام انگشت فشار بیشتری وارد می‌شود؟

پاسخ: الف) اگر وزن پونز ناچیز باشد، نیرویی که به هر دو انگشت وارد می‌شود یکسان است.

ب) فشاری که به انگشت شست وارد می‌شود، بسیار بیشتر از فشاری است که به انگشت اشاره وارد می‌شود، چون مساحت نوک پونز بسیار کم‌تر از مساحت ته آن است.

مثال: فشاری که بر یک زیردریایی در اعماق اقیانوس وارد می‌شود، یک میلیون پاسکال است. اگر ابعاد پنجره‌ی این زیردریایی $25\ cm \times 20\ cm$ باشد، چه نیرویی بر پنجره‌ی زیردریایی وارد می‌شود؟

پاسخ: ابتدا مساحت پنجره را برحسب m^2 به دست می‌آوریم:

$$A = 0/25\ m \times 0/2\ m = 0/05\ m^2$$

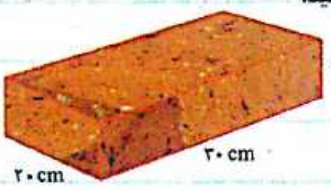
$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow F = PA \Rightarrow F = 1000000 \times 0/05 \Rightarrow F = 50000\ N$$

مثال: یک آجر به جرم $6\ kg$ و ابعاد $30\ cm \times 20\ cm \times 10\ cm$ را روی سطحی قرار می‌دهیم: $(g = 10\ m/s^2)$

الف) آجر را چگونه روی سطح قرار دهیم تا کم‌ترین فشار را بر سطح وارد کند؟ این فشار را محاسبه کنید.

ب) آجر را چگونه روی سطح قرار دهیم تا بیشترین فشار را بر سطح وارد کند؟ این فشار را محاسبه کنید.

پاسخ: الف) چون مساحت با فشار رابطه‌ی عکس دارد، هر چه مساحت بیشتر باشد، فشار کم‌تر است. بنابراین آجر را به صورتی روی سطح قرار می‌دهیم که بزرگ‌ترین وجه آن روی سطح قرار گیرد:



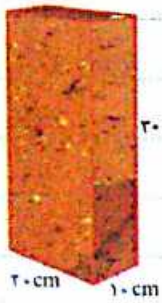
برای محاسبه‌ی کم‌ترین فشار ابتدا مساحت بزرگ‌ترین وجه را به دست می‌آوریم:

$$A_{max} = 0/2\ m \times 0/3\ m = 0/06\ m^2$$

$$P_{min} = \frac{mg}{A_{max}} \Rightarrow P_{min} = \frac{6 \times 10}{0/06} = 1000\ Pa$$

توجه: همان‌طور که دیدید مساحت باید برحسب m^2 باشد.

ب) برای آن‌که آجر بیشترین فشار را بر سطح وارد کند، آن را به گونه‌ای روی سطح قرار می‌دهیم که کوچک‌ترین وجه آن روی سطح قرار گیرد.



برای محاسبه‌ی بیشترین فشار ابتدا مساحت کوچک‌ترین وجه را به دست می‌آوریم:

$$A_{min} = 0/1 \times 0/2 = 0/02\ m^2 \qquad P_{max} = \frac{mg}{A_{min}} = \frac{6 \times 10}{0/02} = 3000\ Pa$$

Scanned by CamScanner

فشار در مایع‌ها

چرا هنگامی که به قسمت‌های عمیق استخر می‌روید، گوش شما صداهای عجیب و غریبی را می‌شنود و حتی ممکن است پرده‌ی گوش شما درد بگیرد؟ چرا غواص‌ها اجازه ندارند از عمق معینی پایین‌تر بروند؟ چرا نمی‌توانید مدت زمان زیادی دهانه‌ی شیلنگ آب را با انگشت خود مسدود کنید؟

در هر عمقی از مایع فشار وجود دارد. می‌توان فشار مایع را ناشی از نیروی وزن مایع بر یک سطح فرضی و در عمق معینی از آن فرض کرد. چون هر چه در عمق مایع فرو رویم، مقدار بیشتری مایع روی این سطح فرضی وجود دارد، پس هر چه عمق مایع بیشتر شود، فشار مایع نیز افزایش می‌یابد.

برای درک بهتر این موضوع به آزمایش زیر توجه کنید:

آزمایش: روی یک بطری آب (مثلاً بطری نوشابه‌ی خانواده) سه سوراخ غیرهم‌سطح ایجاد کنید. دهانه‌ی سوراخ‌ها را به کمک نوار چسبی بپوشانید، بطری را پر آب کرده، سپس نوار چسب را به سرعت بکنید.

مشاهده می‌کنید که شدت بیرون‌آمدن آب در همه‌ی سوراخ‌ها یکسان نیست و از سوراخی که در عمق بیشتری است، آب با فشار بیشتری خارج می‌شود.

حاشیه

فشار در عمق معینی از مایع علاوه بر عمق یا ارتفاع از سطح آزاد مایع به چگالی مایع و شتاب گرانش نیز وابسته است.

به طوری که می‌توان رابطه‌ی فشار در مایع را این‌گونه بیان کرد:

$$P = \rho g h$$

در این رابطه:

ρ: چگالی مایع است که یکای آن kg/m^3 می‌باشد.

g: شتاب گرانش زمین است که یکای آن m/s^2 می‌باشد.

h: عمق یا ارتفاع از سطح آزاد مایع است که یکای آن m می‌باشد.

مثال: فشار ناشی از آب در عمق ۳ m استخری چه‌قدر است؟ ($g = 10\,m/s^2$ ، $\rho_{آب} = 1000\,kg/m^3$)

پاسخ: با جای‌گذاری اطلاعات در معادله، مسئله را حل می‌کنیم:

$$P = \rho g h \Rightarrow P = 1000 \times 10 \times 3 = 30000\,Pa$$

حال با توجه به مطالبی که یاد گرفتیم می‌توانیم به پرسش‌هایی که در ابتدای بخش فشار در مایع‌ها مطرح شد، پاسخ دهیم.

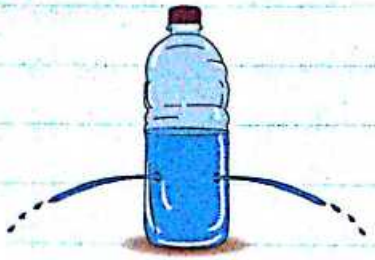
هنگامی که به قسمت‌های عمیق استخر می‌رویم، فشاری که بر پرده‌ی گوش ما وارد می‌شود، بیشتر از فشاری است که درون بدن ما وجود دارد. به همین دلیل تعادل فشار در دو سمت پرده‌ی گوش به هم خورده و باعث می‌شود که پرده‌ی گوش نوسان‌های نامنظمی داشته باشد و صداهای عجیب و غریبی بشنویم و ممکن است که پرده‌ی گوش درد بگیرد.

اگر غواص‌ها از عمق معینی پایین‌تر بروند، فشار بیش از حدی بر بدن آن‌ها وارد می‌شود؛ به طوری که این فشار در ناحیه‌ی قفسه‌ی سینه باعث می‌شود که نتوانند ریه‌های خود را از هوا پر کنند و باعث خفه‌شدن آن‌ها می‌شود.

فشار آبی که در شبکه‌ی آب شهری وجود دارد، بیشتر از فشاری است که ما می‌توانیم بر دهانه‌ی شیلنگ وارد کنیم. به همین دلیل دست ما زود خسته می‌شود و دیگر نمی‌تواند دهانه‌ی شیلنگ را مسدود نگه دارد.

Scanned by CamScanner

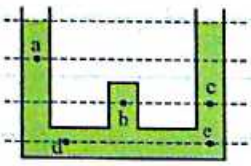
حال برای درک موضوع جالب دیگری به آزمایش زیر دقت کنید:



آزمایش روی بدنه‌ی یک بطری دو سوراخ هم‌سطح ایجاد کنید (بهتر است که نسبت به هم متقارن باشند). بطری را پر آب کرده و به شدت خروج آب از سوراخ‌ها دقت کنید. مشاهده خواهید کرد که شدت خروج آب از هر دو سوراخ یکسان است.

نتیجه در مایع‌ها فشار نقاط هم‌تراز یا هم‌سطح یکسان هستند این نتیجه را می‌توانیم برای همه‌ی ظروف مرتبط تعمیم دهیم به شرط آن که جنس مایع در همه‌ی شاخه‌ها یکسان باشد.

مثال با توجه به شکل مقابل با علامت‌های $>$، $=$، $<$، جاهای خالی را به درستی تکمیل نمایید.



الف) P_a ..... P_b ب) P_b ..... P_c

ج) P_d ..... P_c د) P_d ..... P_a

پاسخ برای قراردادن علامت صحیح در جای خالی فقط به ارتفاع نقطه از سطح آزد مایع توجه می‌کنیم.

الف) $P_a < P_b$ ب) $P_b = P_c$ ج) $P_d = P_c$ د) $P_d > P_a$

اصل پاسکال

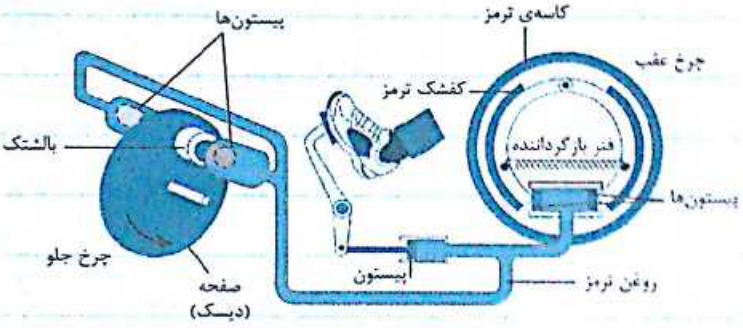
ویژگی جالبی در مورد فشار مایع‌ها وجود دارد که از این ویژگی در بخش‌های مختلفی از صنعت استفاده می‌شود.

اگر بر مایعی که درون ظرفی محصور است، فشار وارد کنیم؛ این فشار، بدون کم و زیاد شدن به بخش‌های دیگر مایع و دیواره‌های ظرف منتقل می‌شود. به این ویژگی **اصل پاسکال** گفته می‌شود.

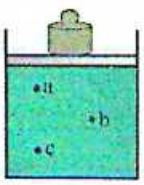
اصل پاسکال اساس کار سیستم‌های هیدرولیک[1] از قبیل ترمزهای هیدرولیک، جک‌های هیدرولیک، درب‌های هیدرولیک و ... است.

در واقع ما به کمک اصل پاسکال می‌توانیم ماشین‌هایی را طراحی کنیم که مزیت مکانیکی آن‌ها بیشتر از یک باشد.

در شکل روبه‌رو اساس کار ترمز هیدرولیک را مشاهده می‌کنید. وقتی راننده پدال ترمز را فشار می‌دهد، این فشار توسط روغن ترمز به پیستون‌ها و کفشک‌ها و بالشتک‌ها منتقل می‌شود. کفشک‌ها به کاسه‌ی ترمز عقب و بالشتک‌ها به صفحه‌ای که به چرخ جلو متصل است، نیرو وارد کرده و خودرو متوقف می‌شود.



مثال در شکل زیر، مقداری آب درون ظرفی زیر یک پیستون بسیار سبک حبس شده است. یک وزنه را روی پیستون قرار می‌دهیم.



الف) فشار کدام نقطه بیشتر است؟ چرا؟

ب) افزایش فشار کدام نقطه به علت اضافه‌شدن وزنه، بیشتر است؟ چرا؟

پاسخ الف) فشار نقطه‌ی c از همه بیشتر و فشار نقطه‌ی a از همه کم‌تر است، چون عمق نقطه‌ی c از همه بیشتر و عمق نقطه‌ی a از همه کم‌تر است.

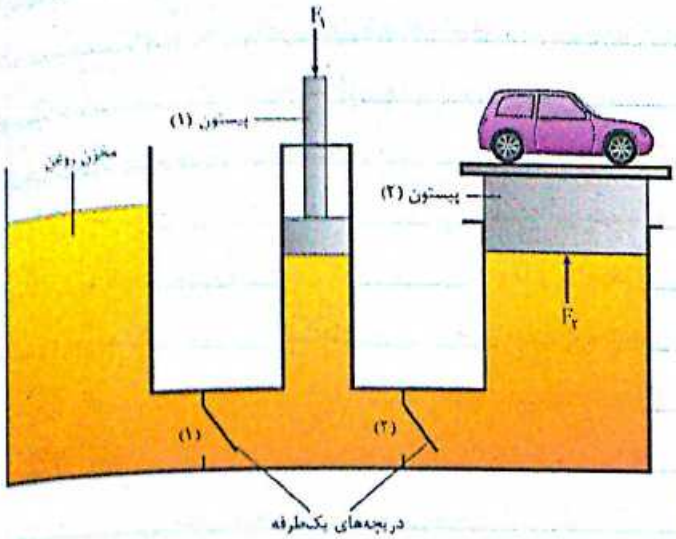
ب) افزایش فشار همه‌ی نقاط یکسان است، چون طبق اصل پاسکال، فشار اضافه بر مایع محصور بدون کم و زیاد شدن به همه‌ی نقاط مایع منتقل می‌شود.

[1] سیستم‌های هیدرولیک: یعنی سیستم‌هایی که در آن‌ها از مایع استفاده می‌شود.

Scanned by CamScanner

جک هیدرولیک

در شکل روبه‌رو، نمایی از یک جک هیدرولیک را مشاهده می‌کنید.



برای بلندکردن ماشین باید نیروی F_1 را بر دسته‌ی پیستون (۱) وارد کرد:

در این حال دریچه‌ی (۱) بسته شده و فشاری اضافه به اندازه‌ی $P_1 = \frac{F_1}{A_1}$ بر مایع محصور، وارد می‌شود. طبق اصل پاسکال، این فشار اضافه، بدون کم و زیاد شدن، بر پیستون (۲) وارد می‌شود.

با توجه به این‌که نیروی مقاوم وارد بر پیستون (۲)، F_2 و مساحت آن A_2 است، می‌توان نوشت:

$$P_1 = P_2 \quad و \quad P_2 = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$ ★

این معادله به این معنی است که اگر مساحت پیستون بزرگ n برابر مساحت پیستون کوچک باشد، نیروی F_2 نیز باید n برابر نیروی F_1 باشد تا تساوی برقرار شود. به این ترتیب، جک‌های هیدرولیک، ماشین‌هایی هستند که مزیت مکانیکی آن‌ها بیشتر از یک است.

مثال: قصد داریم به کمک یک جک هیدرولیک اتومبیلی به جرم ۱ تُن را بلند کنیم. اگر مساحت پیستون بزرگ $0/5\ m^2$ و مساحت پیستون کوچک $0/0005\ m^2$ باشد، با چه نیرویی می‌توانیم ماشین را بلند کنیم؟

پاسخ: با توجه به این‌که اندازه‌ی نیروی مقاوم برابر وزن اتومبیل است، می‌توان نوشت:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{mg}{A_2} \qquad \frac{F_1}{0/0005} = \frac{1000 \times 10}{0/5} \Rightarrow F_1 = 10\ N$$

فشار در گازها

شاید برای شما اتفاق افتاده باشد که هرگاه بیش از حد مجاز، هوا را درون بادکنکی دمیده باشید، بادکنک ترکیده باشد. این تجربه‌ی ساده نشان می‌دهد که گازها نیز بر دیواره‌ی ظرفی که در آن قرار دارند، فشار وارد می‌کنند.

حاشیه

در واقع فشار گازها به علت برخورد مولکول‌های گاز با دیواره‌ی ظرف است، بنابراین هر چه تعداد و سرعت برخوردها افزایش یابد، فشار گاز نیز افزایش می‌یابد.

فشار هوا

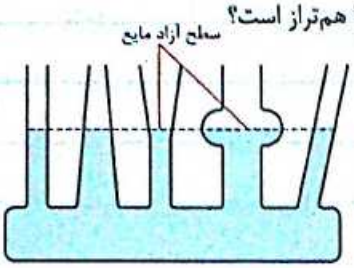
هوا نیز مانند گازهای دیگر به سطوحی که با آن در تماس است، فشار وارد می‌کند. در اطراف کره‌ی زمین و تا ارتفاع معینی هوا وجود دارد. هرچه از سطح زمین فاصله بگیریم، تراکم مولکول‌های هوا (یعنی تعداد آن‌ها در حجم معین) کاهش یافته، بنابراین فشار هوا نیز کاهش می‌یابد. مثلاً اختلاف فشار هوای شهر تهران با شهرهای ساحلی در حدود $18000\ Pa$ است.

مثال: آیا بین هوای نزدیک به کف و سقف اتاقی که هوای ساکنی دارد، اختلاف فشار وجود دارد؟

پاسخ: بله وجود دارد. همان‌طور که گفته شد هر چه از سطح زمین فاصله بگیریم، تراکم هوا کاهش می‌یابد اما این اختلاف فشار آن‌قدر ناچیز است که ما آن را در نظر نمی‌گیریم و هوای همه‌ی نقاط اتاق را هم‌فشار فرض می‌کنیم.

Scanned by CamScanner

پرسش: درون ظرفی مطابق شکل زیر، مقداری مایع ریخته‌ایم؛ چرا سطح آزاد مایع در همه‌ی شاخه‌ها هم‌تراز است؟



پاسخ: روی سطح آزادِ همه‌ی شاخه‌ها هوا وجود دارد و چون فشار هوا در بالای همه‌ی سطوح یکسان است، بنابراین سطح آزاد همه‌ی شاخه‌ها هم‌فشارند. همان‌طور که گفته شد، در ظروف مرتبط (که جنس مایع یکسان باشد) فشار نقاط هم‌تراز یکسان است، بنابراین این سطوح نیز باید هم‌تراز باشند.

حاشیه

در بسیاری از کتاب‌ها فشار هوا را با P_0 نمایش می‌دهند.

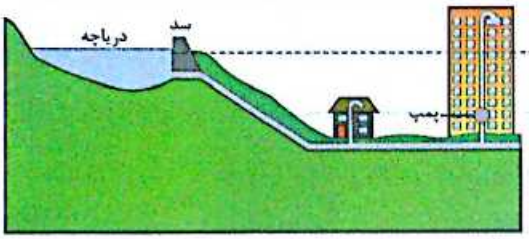
اگر بخواهیم فشار نقطه‌ای را درون یک مایع محاسبه کنیم، در آن نقطه علاوه بر فشار مایع، فشار هوا نیز اثر دارد. بنابراین برای محاسبه‌ی فشار درون یک مایع با در نظر گرفتن فشار هوا می‌توانید از رابطه‌ی $P = \rho gh + P_0$ استفاده کنید.

مثال: فشار در عمق ۳ متری یک استخر آب چه‌قدر است؟ $(\rho_{آب} = 1000\,kg/m^3, g = 10\,m/s^2, P_0 = 10^5\,Pa)$

پاسخ: با جای‌گذاری اطلاعات داده‌شده در معادله، پاسخ مسئله را به دست می‌آوریم:

$$P = \rho gh + P_0 \Rightarrow P = 1000 \times 10 \times 3 + 100000$$
$$\Rightarrow P = 130000\,Pa = 130\,kPa$$

پرسش: شکل روبه‌رو، طرحی از سامانه‌ی آب‌رسانی یک منطقه‌ی مسکونی را نشان می‌دهد:



الف) بدون استفاده از پمپ، آب تا طبقه‌ی چندم ساختمان ده طبقه بالا می‌رود؟

ب) نقش پمپ را در ساختمان ده طبقه توضیح دهید.

پاسخ: الف) از سطح دریاچه، سطح هم‌ترازی را رسم می‌کنیم، مشاهده می‌کنید که سطح آب دریاچه با طبقه‌ی هفتم هم‌تراز است. پس اگر از پمپ استفاده نشود، آب تا طبقه‌ی هفتم بالا می‌رود.

ب) با توجه به این‌که فشار مایع در ظرف مرتبط (در این شکل سد، کانال آب‌رسانی و لوله‌ی آب ساختمان‌ها مرتبط‌اند.) برای نقاط هم‌سطح یکسان است، آب در ساختمان دو طبقه به راحتی تا بالای پشت‌بام رفته و احتیاجی به پمپ نیست اما برای ساختمان بلندتر، آب تا طبقه‌ی آخر نمی‌رود، بلکه حداکثر تا طبقه‌ی هفتم بالا می‌رود. برای رفع این مشکل باید پمپی را در سر راه آب قرار داده تا بتواند آب را با فشار مناسب به طبقه‌ی آخر برساند.

پرسش: با توجه به شکل‌های زیر، سریع‌ترین راه برای خالی‌کردن یک بطری پلاستیکی که تا نیمه از آب پر شده، کدام است؟

الف) سروته‌کردن ب) کج‌کردن پ) ایجاد سوراخ ریز در ته بطری ت) فشردن

پاسخ: در مقایسه‌ی سه شکل اول (الف، ب و پ) باید گفت که در شکل (پ) سرعت خروج آب از قسمت‌های (الف) و (ب) بیشتر است، چون هوا از سوراخ بالا وارد شده، بر سطح مایع فشار وارد کرده و آب از دهانه خارج می‌شود.

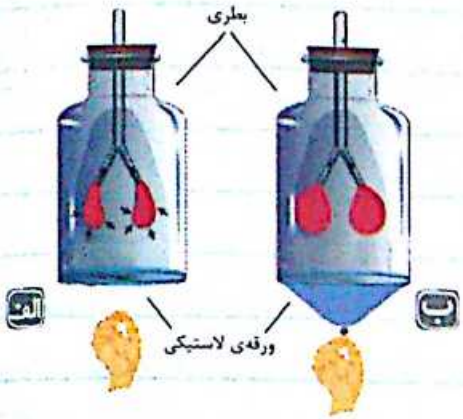
Scanned by CamScanner

در شکل (الف)، سرعت خروج آب از همه‌ی موارد کم‌تر است، چون برای خروج آب ابتد باید مقداری هوا از دهانه وارد شده و به هوای انتهای بطری اضافه شده تا مقداری آب خارج شود. در قسمت (ب)، هوا از قسمت خالی بالای دهانه وارد شده و آب از قسمت پایینیِ دهانه خارج می‌شود، که در این حالت حجم آب خروجی کم‌تر از حالت (پ) است اما در مقایسه‌ی حالت‌های (ت) و (پ)، ممکن است سه حالت رخ دهد:

۱ اگر فشاری که دست وارد می‌کند، کم‌تر از اختلاف فشار هوای درون و بیرون بطری باشد، آب با سرعت کم‌تری خارج می‌شود.

۲ اگر فشاری که دست وارد می‌کند، مساوی اختلاف فشار هوای بیرون و درون بطری باشد، سرعت خروج آب در هر دو قسمت (پ) و (ت) یکسان است.

۳ اگر فشاری که دست وارد می‌کند، بیشتر از اختلاف فشار هوای درون و بیرون بطری باشد، سرعت خروج آب بیشتر از قسمت (پ) است.



مثال: در شکل روبه‌رو، اگر ورقه‌ی لاستیکی را مطابق آن‌چه که می‌بینید بکشیم؛ از طریق لوله هوا وارد بادکنک‌ها می‌شود. دلیل این پدیده را چگونه توجیه می‌کنید؟

پاسخ: در حالت (الف)، فشار درون بطری و فشار هوای بیرون آن در حالت تعادل هستند اما هنگامی که ورقه‌ی لاستیکی را به پایین بکشیم، حجم هوای بطری افزایش می‌یابد اما تعداد مولکول‌های هوای بطری درون ثابت است (چون بطری به خوبی هوابندی شده و درزی ندارد که هوا وارد شود.)، بنابراین تعداد مولکول‌ها در واحد حجم کاهش می‌یابد؛ یعنی تراکم هوا کم شده و فشار هوای درون بطری کاهش می‌یابد. برای آن‌که این اختلاف فشار جبران شود، از طریق لوله، هوا وارد بادکنک‌ها می‌شود تا حجم مؤثر داخل بطری کاهش یافته و مجدداً تعادل بین فشار بیرون و داخل برقرار شود.

پرسش: چگونه می‌توانید بین این آزمایش و نحوه‌ی کارکرد شش‌های انسان ارتباطی برقرار کنید؟

پاسخ: در بدن انسان دیافراگم نقش ورقه‌ی لاستیکی را بازی می‌کند. هنگامی که می‌خواهیم نفس بکشیم، قفسه‌ی سینه جلو آمده و مطابق آن‌چه که توضیح دادیم هوا را به داخل ریه‌ها می‌کشد و هنگام بازدم به عقب برمی‌گردد و هوای استفاده‌شده را از شش‌ها خارج می‌کند.

فشارسنج

فشارسنج‌ها، وسایلی هستند که فشار هوا، فشار مخزن گاز، فشار خون یا فشار هر دستگاه فیزیکی را که در آن فشار مهم باشد، اندازه می‌گیرند.

فشارسنج جیوه‌ای

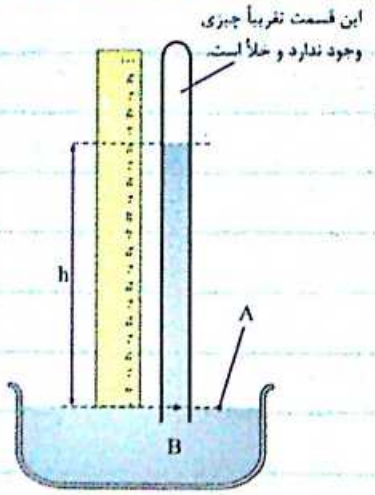
یکی از معروف‌ترین فشارسنج‌ها، فشارسنج جیوه‌ای است. ایده‌ی ساخت فشارسنج جیوه را شخصی به نام توریچلی مطرح کرد. بعدها بلیز پاسکال موفق شد با این فشارسنج، فشار هوا را در نقاط مختلف اندازه‌گیری کند و به سفارش او شخصی به نام پریه فشار هوا را در ارتفاعات کوه‌های آلپ اندازه‌گیری کرد و ثابت شد که با افزایش ارتفاع فشار هوا کاهش می‌یابد.

نحوه‌ی ساخت فشارسنج جیوه‌ای:

برای ساخت یک فشارسنج جیوه‌ای، یک لوله‌ی شیشه‌ای در حدود ۸۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر را که یک سر آن بسته است، انتخاب می‌کنیم. لوله را پر از جیوه کرده و پس از خارج‌کردن حباب‌های هوای درون جیوه، دهانه‌ی آن را مسدود می‌کنیم. سپس آن را وارونه و به طور قائم در یک ظرف جیوه فرو می‌بریم. دهانه‌ی لوله را باز کرده و اجازه می‌دهیم سطح جیوه در لوله آن‌قدر پایین بیاید تا متوقف شود، در این حالت در بالای لوله یک خلأ نسبی ایجاد می‌شود.

هشدار: جیوه و بخار آن سمی است. توصیه می‌شود در صورت ساخت فشارسنج جیوه‌ای این کار فقط در آزمایشگاه و با رعایت استانداردهای لازم انجام شود.

Scanned by CamScanner



پرسش: چگونه به کمک فشارسنج جیوه‌ای فشار هوا را اندازه بگیریم؟

پاسخ: در شکل مقابل، یک فشارسنج جیوه‌ای را می‌بینید. مشاهده می‌کنید که سطح جیوه‌ی درون لوله از سطح جیوه‌ی درون ظرف بالاتر است.

شاید در ذهن شما این سؤال ایجاد شود که چرا همه‌ی جیوه‌ی درون لوله تخلیه نمی‌شود؟

در پاسخ باید گفت که اگر جیوه‌ی درون لوله تخلیه شود، سطح جیوه‌ی درون ظرف بالا می‌آید و این بدان معنی است که جیوه‌ی درون ظرف، هوای بالای سطح خود را به سمت بالا هُل داده و آن را جابه‌جا کرده است اما هوا دارای فشار است، بنابراین بر سطحی که با آن در تماس است نیرو وارد می‌کند و به راحتی عقب رانده نمی‌شود.

در واقع جیوه‌ی داخل لوله تا جایی اجازه پایین‌آمدن دارد که فشار ستون جیوه و فشار هوا برابر شوند. در این حالت به کمک اندازه‌گیری ارتفاع ستون جیوه (h) می‌توانیم فشار هوا را اندازه بگیریم.

ارتفاع h در سطح دریا ۷۶ cm است.

حاشیه

چون در اندازه‌گیری فشار هوا برای اولین بار از فشارسنج جیوه‌ای استفاده شد و ارتفاع ستون جیوه‌ی درون لوله برحسب cm اندازه‌گیری شد؛ سانتی‌متر جیوه (cmHg) به عنوان یکی از واحدهای اندازه‌گیری فشار به کار می‌رود. مثلاً بیان می‌شود که فشار هوا در شهرهای ساحلی ۷۶ cmHg است.

همان‌طور که گفته شد با افزایش ارتفاع از سطح دریا، فشار هوا کاهش می‌یابد؛ تا ارتفاع ۲۰۰۰ متری از سطح دریا، به ازای هر ۱۰۰m که از سطح دریا بالا برویم، فشار هوا به اندازه‌ی ۱cmHg کاهش می‌یابد.

مثال: ارتفاع تهران از سطح دریا در حدود ۱۴۰۰m است. فشار هوای تهران چند cmHg است؟

پاسخ: ۱۴۰۰m یعنی ۱۴ تا ۱۰۰ متر، بنابراین فشار هوای تهران به اندازه‌ی ۱۴ cmHg از فشار هوا در سطح دریا کم‌تر است پس:

$P_{.} = ۷۶ - ۱۴ = ۶۲ \text{ cmHg}$

مثال: فشار هوا در سطح دریا تقریباً $۱۰^{۵}$ Pa است. مساحت شیشه‌ی پنجره‌ی یک کلبه‌ی ساحلی $۱ m^{۲}$ است. از طرف هوا چه نیرویی بر شیشه‌ی پنجره وارد می‌شود؟

پاسخ: با توجه به رابطه‌ی $P = \frac{F}{A}$ که در ابتدای فصل گفته شد، مسئله را حل می‌کنیم:

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow F = PA \Rightarrow F = ۱۰^{۵} \times ۱ = ۱۰۰۰۰۰ \text{ N}$$

پرسش: در مثال بالا، ۱۰۰۰۰۰N معادل وزن یک جسم چند کیلوگرمی است؟ چرا با وجود این نیروی عظیم شیشه نمی‌شکند؟

پاسخ:

$$W = mg \Rightarrow ۱۰۰۰۰۰ = m \times ۱۰ \Rightarrow m = ۱۰۰۰۰ \text{ kg}$$

این نیرو معادل وزن یک جسم ده هزار کیلوگرمی است. به این علت آسیبی به شیشه نمی‌رسد که این نیرو از هر دو سمت به شیشه وارد می‌شود، بنابراین نیروی خالص که بر شیشه وارد می‌شود، صفر است.

یکی از معروف‌ترین آزمایش‌های مربوط به فشار هوا را اوتوفون گریکه، شهردار ماگدبورگ (هامبورگ امروزی) که یکی از شهرهای آلمان است، انجام داد. وی پس از اختراع پمپ خلأ در سال ۱۶۵۴ میلادی، دو نیم‌کره با شعاعی حدود ۵۰ cm را کنار هم گذاشت تا کره‌ای تشکیل دهد. او اتصال‌های هوابندی‌شده را با یک واشر چرمی آغشته به روغن درست کرد. وقتی که با پمپ خلأ کره را از هوا تخلیه کرد، مطابق شکل، دو گروه از

Scanned by CamScanner

اسب‌های خاندان سلطنتی (که برای دیدن این نمایش به شهر ماگدبورگ دعوت شده بودند) نتوانستند دو نیم کره را از هم جدا کنند.

پرسش: چرا اسب‌ها موفق نشدند که این کره‌ها را از هم جدا کنند؟ $(\pi = 3)$

پاسخ: با یک محاسبه‌ی ساده می‌توان نیروی ناشی از فشار هوا را که بر کره وارد می‌شود، محاسبه کرد.

از آن‌جا که مساحت جانبی کره $4\pi r^2$ است، پس:

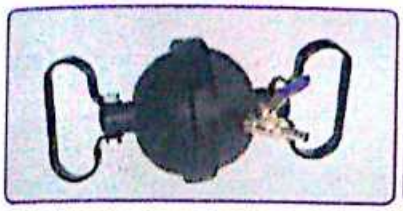
$$A = 4\pi r^2 \Rightarrow A = 4 \times 3 \times (0/5)^2 \simeq 3\ m^2$$

اگر فشار هوا را در شهر ماگدبورگ تقریباً $10^5\ Pa$ فرض کنیم:

$$F = PA = 10^5 \times 3 \Rightarrow F = 300000\ N$$

چون به وسیله‌ی پمپ خلأ، داخل کره تقریباً از هوا خالی شده بود، این نیروی خالص از طرف هوا بر کره وارد شده است. اسب‌ها برای آن‌که کره‌ها را از هم باز کنند باید با نیرویی معادل $300000\ N$، کره را از دو طرف می‌کشیدند که ظاهراً موفق به غلبه بر این نیرو نشدند.

از آن به بعد به این کره، کره‌ی ماگدبورگ گفته شد.



پرسش‌ها

جاهای خالی را با کلمه‌های مناسب کامل کنید.

الف) هر چه مساحت سطح مقطع اثر نیرو ..... (بیشتر ـ کم‌تر) باشد، فشار کم‌تری بر سطح وارد می‌شود.

ب) هر پاسکال معادل یک ..... (N/m^2 ـ N/m) است.

پ) هر چه به عمق مایعی فرو رویم، فشاری که مایع بر ما وارد می‌کند ..... (بیشتر ـ کم‌تر) می‌شود.

ت) روی دیواره‌ی ظرفی دو سوراخ ..... (هم‌سطح ـ غیرهم‌سطح) ایجاد کرده‌ایم. مشاهده می‌کنیم که سرعت خروج آب از هر دو سوراخ یکسان است.

ث) به کمک ..... (آزمایش توریچلی ـ اصل پاسکال) می‌توانیم سیستم‌های هیدرولیک را طراحی کنیم.

ج) در یک جک هیدرولیک اگر مساحت پیستون بزرگ ۱۲۰ برابر مساحت پیستون کوچک باشد، نیروی محرک ..... (۱۲۰ ـ $\frac{1}{120}$) برابر نیروی مقاوم است.

درستی یا نادرستی موارد زیر را مشخص کنید.

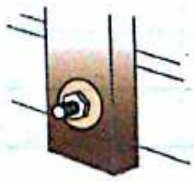
	درست	نادرست
الف) فشار وارد بر یک سطح فقط به اندازه‌ی نیروی وارد بر آن بستگی دارد.	☐	☑
ب) هر چه نوک پونز تیزتر و ته آن پهن‌تر باشد، راحت‌تر می‌توانیم پونز را در دیوار فرو کنیم.	☑	☐
پ) اگر در دیواره‌ی ظرف حاوی مایع سوراخی ایجاد کنیم، جهت خروج آب از سوراخ بر دیواره‌ی ظرف عمود است.	☐	☑
ت) طبق اصل پاسکال فشار اضافی بر مایع محصور بدون کم و کاست فقط به دیواره‌های ظرف منتقل می‌شود.	☐	☑
ث) هرچه از سطح دریا بالاتر برویم، فشار هوا کاهش می‌یابد.	☑	☐
ج) در ظروف مرتبط که سطح آزاد آن‌ها با هوا در تماس است، همه‌ی سطوح آزاد، هم‌تراز هستند.	☑	☐
چ) در آزمایش توریچلی، در انتهای لوله خلأ نسبی ایجاد شد.	☑	☐

Scanned by CamScanner

به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

۱- چرا یک میخ به راحتی با فشار دست در دیوار گچی فرو نمی‌رود اما یک پونز به راحتی در آن فرو می‌رود؟

زیرا سطح تماس کوچکتری نسبت به پونز دارد و پونز تیز تر است



۲- چرا برای اتصال قطعه‌های چوبی، علاوه بر پیچ و مهره، از واشر نیز استفاده می‌شود؟

برای این که سطح بیشتر شود و فشار کمتر شود و باعث خراب شدن قطعه نشود

۳- لیوانی را پر از آب کنید، یک برگ کاغذ را روی دهانه‌ی آن بگذارید و لیوان را سریعاً سروته کنید و دست خود را از زیر کاغذ بردارید، چه اتفاقی روی می‌دهد؟ چرا؟ کاغذ نمی افتد چون فشار هوا باعث ماندن کاغذ می شود و نمی گذارد که کاغذ بیفتد

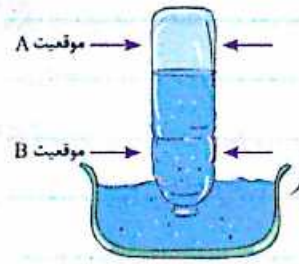
۴- چه چیزی در خوردن نوشابه با نی، به نوشابه کمک می‌کند تا از نی بالا بیاید؟

فشار هوا.

۵- چرا دیواره‌ی سدها در قسمت‌های پایینی ضخیم‌تر از قسمت‌های بالایی است؟

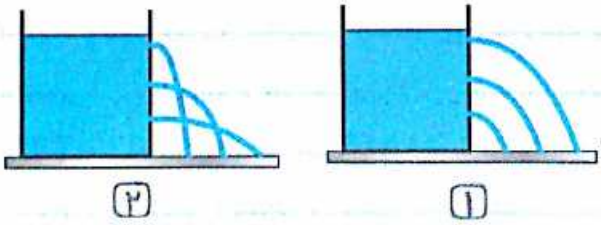
زیرا فشار در قسمت های پایین بیشتر از قسمت های بالایی است و ممکن است به سد آسیب بزند.

۶- ابتدا یک بطری پلاستیکی را تا نیمه از آب پر کنید و مطابق شکل روبه‌رو، آن را در یک ظرف محتوی آب، سروته کنید. سطح آب داخل بطری را علامت بزنید. با فشردن بطری در موقعیت A چه اتفاقی می‌افتد؟ در موقعیت B چه‌طور؟ سعی کنید توضیح دهید چه اتفاقی می‌افتد.



موقعیت A فشرده می شود چون گاز نیست و ظرف پلاستیکی فشرده می شود

۷- در کدام شکل، نحوه‌ی خروج آب از سوراخ‌های روی بدنه‌ی ظرف به طور صحیح رسم شده است؟ دلیل خود را توضیح دهید.



۲/ چون که هر چه عمق آب بیشتر باشد فشار بیشتر است و سرعت بیرون آمدن آب بیشتر می شود

۸- یک مرتاض هندی ادعا دارد که می‌تواند روی یک تخته با میخ‌های زیاد که به طور منظم و هم‌اندازه کنار هم قرار گرفته‌اند، بخوابد، به نظر شما کاری که او انجام می‌دهد، خارق‌العاده است؟ چرا؟ خیر چون که تعداد میخ ها زیاد است فشار فشار بدن تقسیم شده و به بدن آسیب نمی رساند.

۹- دانش‌آموزی به جرم ۶۰ kg روی پای خود ایستاده است. اگر مساحت هر کف کفش او ۵۰ cm^2 باشد، فشار واردشده بر زمین چند پاسکال است؟ ($1\,cm^2 = 10^{-4}\,m^2, g = 10\,m/s^2$)

$F = 600\,N$
$A = 100\,cm^2 = 10^{-2}\,m^2$
$P = \frac{F}{A}$
$P = \frac{600\,N}{10^{-2}\,m^2} = 60000\,Pa$

۱۰- طول، عرض و ارتفاع استخری به ترتیب ۲۵ m ، ۲۰ m و ۲/۵ m است. اگر استخر پر از آب باشد: ($g = 10\,N/kg, \rho_{آب} = 1000\,kg/m^3$)

نیروی وارد بر کف استخر از طرف آب چه‌قدر است؟ (راهنمایی: از رابطه‌ی چگالی، ابتدا جرم آب را به دست آورید.)

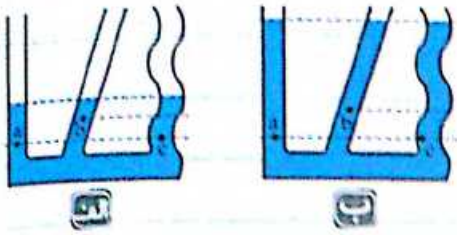
فشاری که آب بر کف استخر وارد می‌کند، چند پاسکال است؟

Scanned by CamScanner

۱۱- یک مکعب چوبی به ابعاد $۴۰\,cm \times ۵۰\,cm \times ۴۰\,cm$ و جرم $۷۲\,kg$ را روی سطحی قرار می‌دهیم. بیشترین فشاری که این مکعب به سطح وارد می‌کند، چند پاسکال بیشتر از کم‌ترین فشاری است که می‌تواند بر سطح وارد کند؟ $(۱\,cm^۲ = ۱۰^{-۴}\,m^۲ , g = ۱۰\,m/s^۲)$

۱۲- به کمک یک جک هیدرولیک قصد داریم اتومبیلی به جرم ۱/۲ تن را بلند کنیم. اگر نیرویی که بر دسته‌ی جک وارد می‌کنیم $۱۸\,N$ باشد، مساحت پیستون بزرگ جک چند برابر مساحت پیستون کوچک جک است؟

۱۳- در شکل قسمت (الف)، مقداری آب درون ظرف وجود دارد. در شکل (ب)، مشاهده می‌کنید که مقداری آب به ظرف اضافه شده است:



الف) فشار نقاط a، b و c را در هر دو شکل به طور جداگانه مقایسه کنید.

ب) فشار نقطه‌ی b در شکل (الف) را با فشار نقطه‌ی b در شکل (ب) مقایسه کنید.

پ) اختلاف فشار نقطه‌ی a در دو شکل (الف) و (ب) را با اختلاف فشار نقطه‌ی b در دو شکل (الف) و (ب) مقایسه کنید.

گزینه‌ی درست را انتخاب کنید.

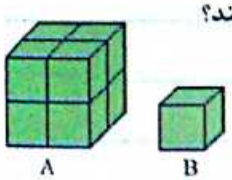
۱- واحد اندازه‌گیری فشار کدام است؟

۱) نیوتون ۲) نیوتون بر متر ۳) نیوتون بر متر مربع ۴) متر مربع بر نیوتون

۲- دو استوانه‌ی هم‌جرم A و B به طور ایستاده روی سطحی قرار گرفته‌اند. شعاع استوانه‌ی A دو برابر شعاع استوانه‌ی B است. فشاری که استوانه‌ی A بر سطح وارد می‌کند، چند برابر فشاری است که استوانه‌ی B بر سطح وارد می‌کند؟

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

۳- در شکل زیر، فشاری که مکعب A بر سطح وارد می‌کند، چند برابر فشاری است که مکعب B بر سطح وارد می‌کند؟



۱) ۸ ۲) ۴ ۳) ۲ ۴) ۱

۴- کدام گزینه صحیح نیست؟

۱) هر چه از سطح دریا بالاتر رویم، فشار هوا افزایش می‌یابد.

۲) براساس اصل پاسکال می‌توان سیستم‌های هیدرولیک را طراحی کرد.

۳) هر چه جرم جسمی بیشتر باشد، فشاری که بر سطح زیری خود وارد می‌کند نیز بیشتر است.

۴) هر چه در عمق بیشتری از مایع فرو رویم، فشاری که بر ما وارد می‌شود، بیشتر می‌شود.

۵- مساحت پیستون بزرگ یک جک هیدرولیک ۷۵ برابر مساحت پیستون کوچک آن است. اگر اندازه‌ی نیروی وارد بر دسته‌ی جک $۲۰\,N$ باشد، وزن جسمی که روی جک قرار گرفته چند نیوتون است؟

۱) ۱۵۰ ۲) ۱۵۰۰ ۳) ۷۵ ۴) ۷۵۰

Scanned by CamScanner

تمرین‌های بخش حاشیه:

۱- درون ظرفی به عمق ۶۰ cm روغن می‌ریزیم، فشار وارد بر کف ظرف از طرف روغن چه‌قدر است؟ $(g = 10\,m/s^2, \rho_{روغن} = 900\,kg/m^3)$

۲- فشار در کف دریاچه‌ای $150000\,Pa$ است. عمق دریاچه را محاسبه کنید (فشار هوای سطح دریاچه $10^5\,Pa$ است.).

$(g = 10\,m/s^2, \rho_{آب} = 1000\,kg/m^3)$

۳- ارتفاع شهری از سطح دریا ۱۹۰۰ m است: $(g = 10\,m/s^2, \rho_{جیوه} = 13600\,kg/m^3)$

الف) فشار هوای شهر چند cmHg است؟

ب) فشار هوای شهر چند Pa است؟

۴- در یک شهر ساحلی، فشار مخزن گازی $95\,cmHg$ است. فشار این مخزن چند پاسکال از فشار هوای بیرون بیشتر است؟

$(g = 10\,m/s^2, \rho_{جیوه} = 13600\,kg/m^3)$

۵- کف قایقی ۷۰ cm پایین‌تر از سطح آب دریاچه است. اگر سوراخی به مساحت $15\,cm^2$ در قایق ایجاد شود، باید با چه نیرویی جلوی ورود آب به قایق را بگیریم؟ $(1\,cm^2 = 10^{-4}\,m^2, g = 10\,m/s^2, \rho_{آب} = 1000\,kg/m^3)$

۶- فشاری که مایع بر کف ظرف خود وارد می‌کند، $1600\,Pa$ است. اگر عمق مایع ۲۰ cm باشد، چگالی مایع چند kg/m^3 است؟ $(g = 10\,m/s^2)$

۱) ۸ ☐ ۲) ۸۰ ☐ ۳) ۸۰۰ ☐ ۴) ۸۰۰۰ ☐

۷- فشار وارد بر کف ظرفی از طرف مایع درون آن به چه عاملی بستگی ندارد؟

۱) چگالی مایع ☐ ۲) شتاب گرانش ☐ ۳) عمق مایع ☐ ۴) مساحت کف ظرف ☐

۸- یک فشارسنج جیوه‌ای فشار هوای شهری را $68\,cmHg$ نشان می‌دهد، ارتفاع این شهر از سطح دریا چند متر است؟

۱) ۶۸۰۰ ☐ ۲) ۷۶۰۰ ☐ ۳) ۸۰۰ ☐ ۴) ۱۴۰۰ ☐

۹- کدام گزینه صحیح نیست؟

۱) هر چه‌قدر گاز بیشتری وارد ظرف دربسته‌ای شود، فشار درون ظرف افزایش می‌یابد. ☐

۲) در یک ظرف کوچک، فشار گاز در همه‌ی نقاط یکسان است. ☐

۳) فشار اضافه بر مایع محصور بدون کم و زیاد شدن به همه‌ی نقاط مایع و دیواره‌ی ظرف منتقل می‌شود. ☐

۴) اگر حجم مایع درون ظرفی دو برابر شود، فشار آن نیز حتماً دو برابر می‌شود. ☐

۱۰- درون ظرفی به عمق ۵۰ cm مایعی به چگالی $5000\,kg/m^3$ ریخته‌ایم. اگر فشار هوای محیط $90\,kPa$ باشد، فشار وارد بر کف ظرف چند پاسکال است؟ $(g = 10\,m/s^2)$

۱) ۱۲۵۰۰۰ ☐ ۲) ۱۱۵۰۰۰ ☐ ۳) ۷۵۰۰۰ ☐ ۴) ۶۵۰۰۰ ☐

Scanned by CamScanner