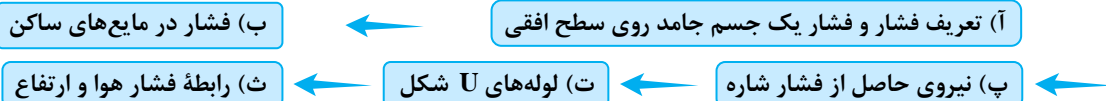


فصل ۳ ویژگی‌های فیزیکی مواد

قسمت دوم: فشار

این قسمت شامل بخش‌های زیر است:



آ) تعریف فشار و فشار یک جسم جامد روی سطح افقی

فشار را به صورت نسبت اندازه نیروی عمودی وارد بر یکای سطح تعریف می‌کنند.

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

یکای فشار N/m^2 است و هر یک نیوتون بر مترمربع را به افتخار یکی از دانشمندان برجسته فیزیک، پاسکال می‌نامند. $1N/m^2 = 1Pa$

نکته ۱) فشار کمیتی نرده‌ای (اسکالر) است. ۲) اگر یک جسم جامد روی سطح افقی قرار بگیرد، نیروی F در رابطه بالا همان نیروی وزن جسم است.

تست: شخصی به جرم $60kg$ روی سطح افقی ایستاده است. اگر مساحت کف کفش‌های این شخص روی هم $300cm^2$ باشد، فشاری که این شخص به سطح افقی وارد می‌کند، چند پاسکال است؟ ($g = 10N/kg$)

$$2 \times 10^4 \text{ (۴)}$$

$$1 \times 10^4 \text{ (۳)}$$

$$۲ \text{ (۲)}$$

$$۱ \text{ (۱)}$$

پاسخ:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{600}{300 \times 10^{-4}} = 2 \times 10^4 Pa \Rightarrow \text{گزینه (۴) درست است.}$$

نکته STP) وقتی یک جسم متوازی‌السطوح مانند استوانه، مکعب و ... از یک ماده همگن ساخته شده باشد و روی سطح افقی قرار داشته باشد می‌توانیم علاوه بر روش اصلی به صورت زیر نیز فشار ناشی از جسم را محاسبه کنیم:

$$P = \frac{mg}{A} = \frac{\rho Vg}{A} = \frac{\rho Ahg}{A} \Rightarrow P = \rho gh$$

دقت کنید در استفاده از این رابطه، باید یکاهای سمت راست رابطه، بر حسب یکاهای SI باشند تا فشار بر حسب پاسکال (Pa) به دست آید.

تست: مکعبی به ابعاد $20cm \times 10cm \times 5cm$ از ماده‌ای به چگالی $8g/cm^3$ ساخته شده است و از کوچک‌ترین سطح، روی سطح افقی قرار دارد. فشاری که این مکعب به سطح افقی وارد می‌کند، چند پاسکال است؟ ($g = 10N/kg$)

$$4 \times 10^3 \text{ (۴)}$$

$$4 \times 10^4 \text{ (۳)}$$

$$1/6 \times 10^4 \text{ (۲)}$$

$$1/6 \times 10^5 \text{ (۱)}$$

پاسخ: روش STP: چون مکعب یک متوازی‌السطوح به حساب می‌آید، می‌توان به صورت زیر فشار آن را به دست آورد. فقط دقت کنید که وقتی مکعب از کوچک‌ترین سطح روی سطح افقی قرار دارد، ارتفاع آن $20cm$ است. از طرفی توجه کنید که یکاها در SI باشند.

$$P = \rho gh = 8000 \times 10 \times 0/2 = 16000Pa = 1/6 \times 10^4 Pa \Rightarrow \text{گزینه (۲) درست است.}$$

روش عادی: در روش عادی ابتدا باید جرم مکعب را پیدا کنیم:

$$m = \rho V = (8000)(0/2 \times 0/1 \times 0/05) = 8kg$$

کوچک‌ترین سطح مکعب، سطحی است که اضلاع آن $5cm$ و $10cm$ هستند. بنابراین می‌توان نوشت:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{80}{0/1 \times 0/05} = 16000Pa = 1/6 \times 10^4 Pa$$

ب) فشار در مایع‌های ساکن

در این بخش ابتدا فشار حاصل از مایع و سپس فشار کل و اختلاف فشار بین دو نقطه درون مایع‌ها را بررسی می‌کنیم.

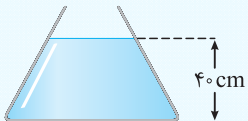
ب - ۱) فشار حاصل از مایع ساکن

می‌توان نشان داد که هرگاه درون یک ظرف مایعی می‌ریزیم، بدون در نظر داشتن شکل ظرف، فشار حاصل از مایع در هر نقطه این ظرف به صورت زیر به دست می‌آید:

$$P_{\text{مایع}} = \rho gh$$

در این رابطه، ρ چگالی بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب (kg/m^3)، g شتاب گرانشی زمین بر حسب N/kg و h فاصله نقطه مورد نظر تا سطح آزاد آن مایع بر حسب متر (m) است.

تست: مطابق شکل درون یک ظرف مایعی به چگالی 5 g/cm^3 ریخته‌ایم. فشار حاصل از این مایع در کف ظرف چند کیلوپاسکال است؟ ($g = 10 \text{ N/kg}$)



گزینه‌ها: (۱) 2×10^3 (۲) 20 (۳) 1×10^3 (۴) 10

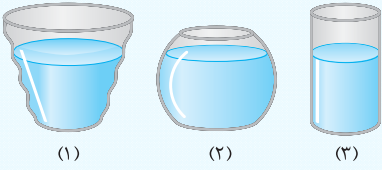
پاسخ: بدون در نظر گرفتن شکل ظرف، فشار حاصل از مایع به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\rho = 5 \text{ g/cm}^3 = 5000 \text{ kg/m}^3$$

$$P = \rho gh = (5000)(10)(0/4) = 20000 = 2 \times 10^4 \text{ Pa} = 20 \text{ kPa} \Rightarrow \text{گزینه (۲) درست است.}$$

همان طور که می‌بینیم، باید یکاها در SI باشند.

تست: درون سه گلدان مطابق شکل تا ارتفاع یکسان آب ریخته‌ایم. اگر فشار در کف ظرف‌ها را P_1 ، P_2 و P_3 بنامیم، کدام گزینه صحیح است؟

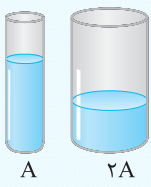


گزینه‌ها: (۱) $P_3 > P_2 > P_1$ (۲) $P_3 < P_2 < P_1$ (۳) $P_2 > P_3 > P_1$ (۴) $P_1 = P_2 = P_3$

پاسخ: فشار مایع در کف ظرف‌ها طبق رابطه $P = \rho gh$ ، به چگالی و ارتفاع مایع درون ظرف بستگی دارد و با توجه به یکسان بودن چگالی و ارتفاع مایع، فشار در کف ظرف‌ها برابر است. بنابراین گزینه (۴) درست است.

نمته STP: اگر ظرف حاوی مایع، استوانه‌ای شکل باشد، علاوه بر رابطه $P = \rho gh$ ، می‌توان با استفاده از رابطه $P = \frac{mg}{A}$ نیز فشار مایع را حساب کرد.

تست: درون دو ظرف استوانه‌ای شکل با مساحت‌های قاعده A و $2A$ ، آب با جرم یکسان ریخته شده است. فشار ناشی از مایع در کف ظرف کوچک چند برابر کف ظرف بزرگ است؟



گزینه‌ها: (۱) $\frac{1}{2}$ (۲) 2 (۳) $\frac{1}{4}$ (۴) 4

پاسخ: روش STP: چون ظرف‌ها به شکل استوانه هستند، پس کل وزن مایع‌ها روی کف ظرف‌ها است. بنابراین:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\frac{mg}{A}}{\frac{mg}{2A}} = 2 \Rightarrow \text{گزینه (۲) درست است.}$$

روش عادی: ارتفاع مایع در ظرف کوچک، دو برابر ارتفاع مایع در ظرف بزرگ است، زیرا:

$$m_1 = m_2 \Rightarrow \rho \times A \times h_1 = \rho \times 2A \times h_2 \Rightarrow h_1 = 2h_2$$

$$P = \rho gh \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{\rho gh_1}{\rho gh_2} = \frac{h_1}{h_2} = 2$$

فشار به شکل ظرف بستگی ندارد.

ب - ۲) فشار در مایع‌ها با در نظر گرفتن فشار هوا

در سطح آزاد مایع‌ها، هوا وجود دارد. اگر بخواهیم فشار را در عمق h مایع ساکن پیدا کنیم، باید فشار هوا را نیز با فشار مایع جمع کنیم.

$$P = \rho gh + P_0$$

فشار هوا در سطح مایع
فشار حاصل از مایع

توجه: اگر در صورت یک سؤال یا تست، فشار در عمق h مایع خواسته شده باشد، باید فشار در سطح مایع را نیز با فشار مایع جمع کنیم ولی اگر فقط فشار حاصل از مایع را خواسته بودند، لازم نیست فشار سطح مایع را با فشار مایع جمع کنید.

تست: در چه عمقی از آب بر حسب متر، فشار سه برابر فشار هوا است؟ ($\rho_{\text{آب}} = 1 \text{ g/cm}^3$, $P_0 = 10^5 \text{ Pa}$)

- ۱۰ (۱) ۲۰ (۲) ۳۰ (۳) ۴۰ (۴)

پاسخ: چون فشار داده شده است، بنابراین باید فشار هوا را نیز با فشار مایع جمع کنیم.

$$\rho_{\text{آب}} = 1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$P = \rho gh + P_0 \Rightarrow 3 \times 10^5 = (1000 \times 10 \times h) + 10^5 \Rightarrow 2 \times 10^5 = 10^4 h \Rightarrow h = 20 \text{ m} \Rightarrow \text{گزینه (۲) درست است.}$$

تست: درون دو ظرف آب ریخته‌ایم. به طوری که درون ظرف (۱) ارتفاع آب ۲ برابر ارتفاع آب در ظرف (۲) است. فشار در ته ظرف (۱) نسبت به ظرف (۲) چگونه است؟

(۱) دو برابر است. (۲) بیش تر است ولی کم تر از دو برابر P_2

(۳) برابر است. (۴) بیش از دو برابر است.

پاسخ: اگر عمق آب در ظرف (۲) را h بنامیم، عمق آب در ظرف (۱)، $2h$ است. بنابراین می‌توان نوشت:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\rho g(2h) + P_0}{\rho gh + P_0} = 1 + \frac{\rho gh}{\rho gh + P_0}$$

از آنجایی که $\frac{\rho gh}{\rho gh + P_0}$ عدد مثبت کوچک تر از یک است، بنابراین می‌توان گفت که $P_2 < P_1 < 2P_2$ است و گزینه (۲) درست است.

یعنی آه عمق تو به مایع دو برابر بشه، فشار دو برابر نمی‌شه! البته فشار مایع دو برابر می‌شه ولی فشار کل دو برابر نمی‌شه!

نکته در کنار آب‌های آزاد، فشار هوا یک اتمسفر (atm) نامگذاری شده است. این فشار تقریباً 10^5 پاسکال است.

نکته STP می‌توان نشان داد که تقریباً هر 10 متر آب فشاری معادل یک اتمسفر دارد.

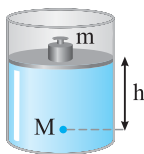
تست: در عمق چند متری آب، فشار ۴ اتمسفر است؟ ($g = 10 \text{ N/kg}$, $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$, $P_0 = 1 \text{ atm}$)

- ۳ (۱) ۳۰ (۲) ۴ (۳) ۴۰ (۴)

پاسخ: روش STP: با توجه به صورت سؤال و این که فشار هوا یک اتمسفر است، بنابراین فشار آب باید سه اتمسفر باشد. از طرفی هر ۱۰ متر آب فشاری معادل یک اتمسفر دارد. بنابراین عمق آب ۳۰ متر و گزینه (۲) درست است.

$$P = \rho gh + P_0 \xrightarrow{P=4P_0} 4P_0 = \rho gh + P_0 \Rightarrow \rho gh = 3P_0 \Rightarrow (1000)(10)h = 3 \times 10^5 \Rightarrow h = 30 \text{ m} \Rightarrow \text{روش عادی:}$$

ب - ۳ - فشار کل



اگر درون یک استوانه، مایعی با چگالی ρ زیر پیستونی به مساحت A باشد، به طوری که جرم پیستون و وزنه روی آن m باشد، فشار در نقطه M برابر با مجموع فشارهای حاصل از عوامل بالادست می‌باشد:

$$P_M = P_0 + \frac{mg}{A} + \rho gh$$

یکایا باید بر حسب SI باشند.

تست: درون سیلندری با سطح مقطع 400 cm^2 تا ارتفاع 20 cm روغن با چگالی 0.9 g/cm^3 ریخته شده است. روی روغن پیستونی به جرم 1 kg و روی پیستون وزنه‌ای به جرم 9 kg قرار داده شده است. اگر فشار هوا 100 kPa باشد، فشار در کف ظرف چند کیلوپاسکال است؟ ($g = 10 \text{ N/kg}$)

- ۴/۳ (۱) ۴۳۰ (۲) ۱۰/۴ (۳) ۱۰۴/۳ (۴)

پاسخ:

$$P = P_0 + \frac{mg}{A} + \rho gh = 1 \times 10^5 + \frac{(1+9)(10)}{400 \times 10^{-4}} + (900)(10)(0.2)$$

$$= 1 \times 10^5 + 2/5 \times 10^3 + 1/8 \times 10^3 = 104/3 \times 10^3 \text{ Pa} = 104/3 \text{ kPa} \Rightarrow \text{گزینه (۴) درست است.}$$

ب - ۴ - اختلاف فشار بین دو نقطه یک شاره

اگر اختلاف فشار دو نقطه درون مایع پرسیده شود، بدون توجه به فشار در سطح مایع، اختلاف فشار آن دو نقطه، فقط به اختلاف ارتفاع آن دو نقطه نسبت به هم بستگی دارد و به صورت مقابل محاسبه می‌شود:

$$\Delta P = \rho g \Delta h$$

تست: اختلاف فشار دو نقطه درون آب در عمق‌های 20cm و 60cm چند پاسکال است؟ (فشار هوا 10^5 پاسکال، $g = 10 \text{ N/kg}$ و چگالی آب 1000 kg/m^3 است.)

گزینه (۱) ۴۰۰۰ (۲) ۶۰۰۰ (۳) ۱۰۶۰۰۰ (۴) ۱۰۴۰۰۰

$$\Delta P = \rho g \Delta h = (1000)(10)(0/4) = 4000 \text{ Pa} \Rightarrow \text{گزینه (۱) درست است.}$$

پاسخ:

نکته STP: اگر مایعی با شتاب a در راستای قائم حرکت کند، فشار ناشی از مایع در عمق h از رابطه $P = \rho(g \pm a)h$ به دست می‌آید. در هنگام بالا رفتن $(g + a)$ و در هنگام پایین آمدن $(g - a)$ می‌باشد و اگر حرکت تندشونده باشد، علامت شتاب مثبت و اگر حرکت کندشونده باشد، علامت شتاب منفی است.

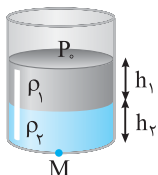
تست: درون ظرفی، آب با چگالی $1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ قرار دارد. ظرف را با شتاب ثابت 2 m/s^2 و حرکت کندشونده به سمت پایین حرکت می‌دهیم. فشار ناشی از آب در عمق 20cm چند پاسکال است؟ ($g = 10 \text{ N/kg}$)

گزینه (۱) 8×10^3 (۲) $1/2 \times 10^3$ (۳) $1/6 \times 10^3$ (۴) $2/4 \times 10^3$

پاسخ: حرکت کندشونده است، بنابراین $a = -2 \text{ m/s}^2$ است و از رابطه زیر باید استفاده شود:

$$P = \rho(g - a)h = 1 \times 10^3 (10 - (-2)) \times 0/2 = 2/4 \times 10^3 \text{ Pa} \Rightarrow \text{گزینه (۴) درست است.}$$

ب - ۵) فشار ناشی از چند مایع



اگر چند مایع مخلوئشده را روی یکدیگر بریزید، پس از تعادل مایع‌ها، فشار در هر نقطه برابر با مجموع فشارهای بالای نقطه مورد نظر است:

$$P_M = P_0 + \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2$$

تست: درون ظرفی دو مایع مخلوئشده به چگالی‌های 2 g/cm^3 و 3 g/cm^3 با ارتفاع‌های یکسان ریخته‌ایم. اگر ارتفاع هر کدام 50cm باشد، فشار در ته ظرف چند پاسکال است؟ ($g = 10 \text{ N/kg}$, $P_0 = 10^5 \text{ Pa}$)

گزینه (۱) $1/25 \times 10^5$ (۲) $1/115 \times 10^5$ (۳) $2/5 \times 10^4$ (۴) $3/5 \times 10^5$

$$P = \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2 + P_0 \Rightarrow P = (2000 \times 10 \times 0/5) + (3000 \times 10 \times 0/5) + 10^5$$

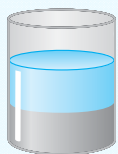
$$\Rightarrow P = 10000 + 15000 + 100000 = 125000 \text{ Pa} = 1/25 \times 10^5 \text{ Pa} \Rightarrow \text{گزینه (۱) درست است.}$$

پاسخ:

تست: درون ظرفی استوانه‌ای شکل به جرم یکسان آب و نفت ریخته‌ایم. مجموع ارتفاع دو مایع مخلوط نشده 36cm است. فشار ناشی از مایع‌ها در کف ظرف چند کیلوپاسکال است؟ ($g = 10 \text{ N/kg}$, $\rho_{\text{نفت}} = 0/8 \text{ g/cm}^3$, $\rho_{\text{آب}} = 1 \text{ g/cm}^3$)

گزینه (۱) 1/6 (۲) 3/2 (۳) 4/8 (۴) 6/4

پاسخ: روش اول: چگالی آب بیش‌تر می‌باشد، بنابراین پایین‌ترین قرار می‌گیرد. ارتفاع مایع‌ها را h_1 و h_2 می‌نامیم:



$$m_1 = m_2 \Rightarrow \frac{m = \rho V}{V = Ah} \rightarrow \rho_1 A h_1 = \rho_2 A h_2 \Rightarrow 1 \times h_1 = 0/8 \times h_2 \Rightarrow h_1 = 0/8 h_2$$

$$\begin{cases} h_1 = 0/8 h_2 \\ h_1 + h_2 = 36 \text{ cm} \end{cases} \Rightarrow h_2 = 20 \text{ cm} \quad , \quad h_1 = 16 \text{ cm}$$

فشار ناشی از مایع برابر $\rho g h$ است:

$$P = \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2 = [(1 \times 10^3)(10)(0/16)] + [(8 \times 10^2)(10)(0/2)]$$

$$= 1/6 \times 10^3 + 1/6 \times 10^3 = 3/2 \times 10^3 \text{ Pa} = 3/2 \text{ kPa} \Rightarrow \text{گزینه (۲) درست است.}$$

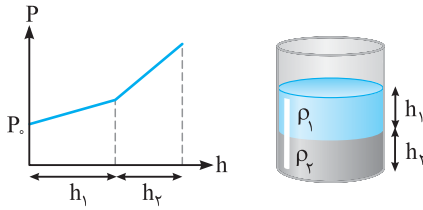
توجه: به دلیل یکسان بودن جرم آب و نفت و استوانه‌ای بودن ظرف، فشار ناشی از آب و نفت یکسان می‌باشد.

روش دوم: می‌توانیم چگالی مخلوط دو مایع را به دست آوریم و دو مایع را یک مایع در نظر بگیریم:

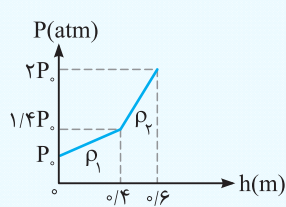
$$\rho_{\text{مخلوط}} = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2} \quad \frac{m_1 = m_2 = m}{V = \frac{m}{\rho}} \rightarrow \rho_{\text{مخلوط}} = \frac{2m}{\frac{m}{\rho_1} + \frac{m}{\rho_2}} = \frac{2}{\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2}} = \frac{2}{1 + 0/8} \Rightarrow \rho_{\text{مخلوط}} = \frac{2}{1/8} = \frac{16}{8} = \frac{16}{9} \text{ g/cm}^3$$

$$P = \rho g h = \left(\frac{16}{9} \times 10^3\right)(10)(0/36) = 3200 = 3/2 \times 10^3 \text{ Pa} = 3/2 \text{ kPa}$$

ب - ۶) بررسی نمودار فشار مایع‌ها بر حسب عمق



فشار در سطح مایع برابر P_0 است و هر چه در مایع پایین‌تر برویم، فشار افزایش می‌یابد. نمودار فشار بر حسب فاصله از سطح آزاد مایع به صورت روبه‌رو است:
شیب نمودار برابر ρg است. چگالی مایع پایینی بیش‌تر است، بنابراین شیب آن نیز بیش‌تر است.



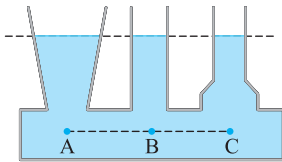
تست: نمودار فشار بر حسب عمق مایع مطابق شکل مقابل است. نسبت چگالی مایع‌ها $(\frac{\rho_2}{\rho_1})$ کدام است؟

- ۱ (۱)
- ۲ (۲)
- ۳ (۳)
- ۴ (۴)

پاسخ: فشار حاصل از مایع اول $0.4P_0$ و مایع دوم $0.6P_0$ است.

$$P = \rho gh \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{\rho_2 gh_2}{\rho_1 gh_1} \Rightarrow \frac{0.6}{0.4} = \frac{\rho_2 \times 0.6}{\rho_1 \times 0.4} \Rightarrow \frac{6}{4} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times \frac{2}{4} \Rightarrow \frac{\rho_2}{\rho_1} = 3 \Rightarrow \text{گزینه (۳) درست است.}$$

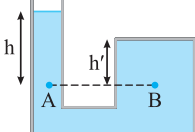
ب - ۷) فشار در نقاط هم‌تراز یک مایع



اگر چند ظرف مختلف را مطابق شکل به یکدیگر متصل کنید و یک نوع مایع را داخل این ظرف‌ها بریزید، ارتفاع سطح مایع داخل همه آن‌ها یکسان می‌شود و به شکل ظرف‌ها بستگی ندارد.
اگر نقاط A، B و C را در یک تراز زیر ظرف‌های حاوی مایع در حال تعادل در نظر بگیرید، به دلیل سکون مایع‌ها، فشار نقاط A، B و C با هم برابر هستند. زیرا اگر فشارها یکسان نبودند، مایع از نقطه پرفشار به نقطه کم‌فشار حرکت می‌کرد. ارتفاع مایع بالای نقاط را به ترتیب h_A ، h_B و h_C در نظر می‌گیریم.

$$\begin{aligned} P_A &= P_0 + \rho gh_A \\ P_B &= P_0 + \rho gh_B \\ P_C &= P_0 + \rho gh_C \end{aligned} \xrightarrow{\text{یکسان: } P_A=P_B=P_C} \rho gh_A = \rho gh_B = \rho gh_C \Rightarrow h_A = h_B = h_C$$

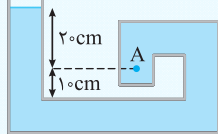
نتیجه: در ظرف‌های متصل به هم که حاوی یک نوع مایع می‌باشند، فشار در نقاط هم‌تراز یکسان است.



نکته: در شکل روبه‌رو در نقاطی مانند B که مایع بالای آن‌ها با سطح آزاد در ارتباط نیستند، از نقاط هم‌تراز (مانند A) که مایع بالای آن‌ها با سطح آزاد در تماس است، استفاده کنید. (h' اهمیت ندارد).

$$P_B = P_A = P_0 + \rho gh$$

تست: درون ظرف مقابل با مایعی به چگالی $1/2 \text{ g/cm}^3$ پر شده است. فشار ناشی از مایع در نقطه A چند پاسکال است؟ ($g = 10 \text{ N/kg}$)

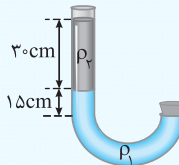


- ۱) $1/2 \times 10^3$
- ۲) $2/4 \times 10^3$
- ۳) $3/6 \times 10^3$
- ۴) $4/8 \times 10^3$

پاسخ: فشار ناشی از مایع از رابطه $P = \rho gh$ به دست می‌آید که h فاصله از سطح آزاد مایع است، بنابراین $h = 20 \text{ cm}$ است.

$$P = \rho gh = (1/2 \times 10^3)(10)(0.20) = 2/4 \times 10^3 \text{ Pa} \Rightarrow \text{گزینه (۲) درست است.}$$

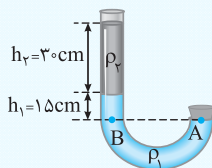
تست: انتهای لوله‌ای را بسته و مطابق شکل دو مایع مخلوط‌نشده را درون لوله می‌ریزیم. فشار ناشی از مایع‌ها، زیر



درپوش چند پاسکال است؟ ($g = 10 \text{ N/kg}$, $\rho_2 = 2 \text{ g/cm}^3$, $\rho_1 = 4 \text{ g/cm}^3$)

- ۱) 6×10^3
- ۲) 6
- ۳) 12×10^3
- ۴) 12

پاسخ: فشار در نقاط A و B یکسان است:



$$\begin{aligned} P_A &= P_B \Rightarrow P_A = \rho_2 gh_2 + \rho_1 gh_1 \\ \Rightarrow P_A &= (2 \times 10^3)(10)(0.3) + (4 \times 10^3)(10)(0.15) \\ &= 6 \times 10^3 + 6 \times 10^3 = 12 \times 10^3 \text{ Pa} \Rightarrow \text{گزینه (۳) درست است.} \end{aligned}$$

پ) نیروی حاصل از فشار شاره

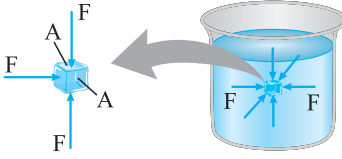
در این بخش اندازه نیروی حاصل از شاره و مقایسه این نیرو با نیروی وزن مایع مورد بررسی قرار می‌گیرد.

پ - ۱) اندازه نیروی حاصل از فشار شاره

هرگاه سطحی درون مایع ساکنی قرار داشته باشد، از طرف مایع نیرویی به این سطح وارد می‌شود که دارای ویژگی‌های زیر است:

(۱) این نیرو بدون توجه به جهت‌گیری سطح، عمود بر این سطح است.

(۲) اندازه این نیرو به صورت مقابل به دست می‌آید:



$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow \rho gh = \frac{F}{A} \Rightarrow F = \rho ghA$$

A مساحت سطح مورد نظر و h عمقی است که سطح در آن عمق قرار دارد. توجه کنید این نیرو، نیرویی است که فقط از طرف مایع به سطح مورد نظر وارد شده است.

تست: درون یک مکعب شیشه‌ای به ضلع 40 cm یک دوربین فیلم‌برداری قرار داده و آن را تا عمق 20 متری و درون دریاچه‌ای پایین

می‌بریم. نیرویی که آب بر هر وجه این مکعب وارد می‌کند، چند نیوتون است؟ (چگالی آب را 1000 kg/m^3 و $g = 10\text{ N/kg}$ در نظر بگیرید.)

$$8 \times 10^8 \text{ (۴)}$$

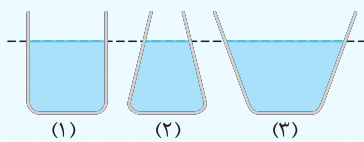
$$8 \times 10^4 \text{ (۳)}$$

$$3/2 \times 10^8 \text{ (۲)}$$

$$3/2 \times 10^4 \text{ (۱)}$$

پاسخ:

گزینه (۱) درست است. $F = \rho ghA = (1000)(10)(20)(0/4 \times 0/4) = 32000 = 3/2 \times 10^4\text{ N}$



تست: مطابق شکل تا ارتفاع یکسان درون سه ظرف با مساحت کف یکسان آب ریخته‌ایم.

نیروی وارد بر کف ظرفها از طرف آب به ترتیب F_1 ، F_2 و F_3 است. کدام گزینه درست است؟

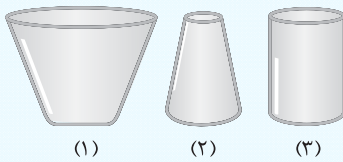
$$F_3 < F_2 < F_1 \text{ (۲)}$$

$$F_3 > F_2 > F_1 \text{ (۱)}$$

$$F_2 > F_3 > F_1 \text{ (۴)}$$

$$F_3 = F_2 = F_1 \text{ (۳)}$$

پاسخ: نیرویی که مایع به کف ظرفها وارد می‌کند با رابطه $F = \rho ghA$ به دست می‌آید. از آنجایی که در هر سه ظرف آب ریخته‌ایم و ارتفاع آب و مساحت کف ظرفها یکسان است، نیرویی که آب به کف هر سه ظرف وارد می‌کند برابر است. بنابراین گزینه (۳) درست است.



تست: درون سه ظرف با مساحت کف یکسان، به جرم یکسان آب ریخته شده است. نیروی وارد

بر کف ظرفها از طرف آب را F_1 ، F_2 و F_3 می‌نامیم. کدام مقایسه درست است؟

$$F_3 < F_2 < F_1 \text{ (۲)}$$

$$F_3 > F_2 > F_1 \text{ (۱)}$$

$$F_2 > F_3 > F_1 \text{ (۴)}$$

$$F_3 = F_2 = F_1 \text{ (۳)}$$

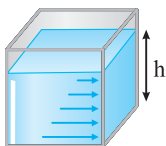
پاسخ: چون جرم آب ظرفها یکسان است پس حجم آنها نیز یکسان است. از طرفی مساحت کف ظرفها یکسان می‌باشد، بنابراین هر چه دیواره ظرفها بازتر باشند، ارتفاع آب در آن کم‌تر است:

$$h_1 < h_3 < h_2$$

گزینه (۴) درست است. $F = P \times A = \rho gh \times A \xrightarrow{h_2 > h_3 > h_1} F_2 > F_3 > F_1$ یکسان: A

به دو تا تست قبلی فوب دقت کنید. همون‌طور که می‌بینید، نیروی وارد به کف ظرفها به جرم آب‌های سه ظرف بستگی ندارد! پس به پی بستگی داره؟ بله، به ارتفاع آب‌های سه ظرف و مساحت کف ظرفها بستگی داره.

نکته STP گاهی اوقات لازم است نیرویی که مایع به دیواره‌های ظرف وارد می‌کند را به دست آوریم. در این صورت، هر چه درون ظرف پایین برویم، فشار و نیروی وارد بر جداره افزایش می‌یابد. فشار به طور منظم افزایش می‌یابد و به همین دلیل فشار میانگین را باید در رابطه نیرو قرار دهیم:



$$F = \frac{1}{2} \rho gh \times A$$

A : مساحت جداره قائم ظرف است.

تست: استخری مربعی شکل به ضلع 20m تا ارتفاع 3m با آب پر شده است. نیروی وارد بر هر جداره چند نیوتون است؟

($g = 10 \text{ N/kg}$, $\rho = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)

$1/5 \times 10^4$ (۴)

3×10^4 (۳)

9×10^5 (۲)

$3/6 \times 10^6$ (۱)

$F = \frac{1}{2}(\rho gh)A = \frac{1}{2}(1 \times 10^3)(10)(3)(60) \Rightarrow F = 9 \times 10^5 \text{ N}$

پاسخ: مساحت هر جداره استخر $20 \times 3 = 60 \text{ m}^2$ است:

بنابراین گزینه (۲) درست است.

نکته اگر درون یک ظرف بسته، مقداری گاز حبس شده باشد، گاز به دیواره‌های ظرف نیرو وارد می‌کند. البته چون ارتفاع طرف‌ها خیلی زیاد نیست، وزن گاز اهمیت چندانی ندارد و در حالت تعادل فشار گاز در تمام نقاط ظرف یکسان است. در این حالت باز هم می‌توان از روی رابطه $F = P \times A$ ، نیرویی که گاز به دیواره داخلی ظرف وارد می‌کند را به دست آوریم.

تست: فشار هوای داخل لاستیک اتومبیلی $2/4 \times 10^5 \text{ Pa}$ است. اگر مساحت سطح داخلی لاستیک 4000 cm^2 باشد، نیروی وارد بر سطح داخلی لاستیک چند نیوتون است؟



$9/6 \times 10^4$ (۲)

$9/6 \times 10^8$ (۱)

6×10^5 (۴)

6×10^1 (۳)

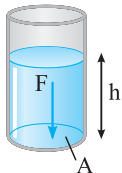
پاسخ: در رابطه فشار، چون نیرو بر حسب نیوتون و فشار بر حسب پاسکال است، یکای مساحت باید بر حسب m^2 باشد:

$F = P \times A = (2/4 \times 10^5)(4000 \times 10^{-4}) = 9/6 \times 10^4 \text{ N} \Rightarrow$ گزینه (۲) درست است.

ب - ۲) مقایسه نیروی وارد بر کف ظرف و وزن مایع

آیا همیشه نیرویی که مایع به کف ظرف خود وارد می‌کند برابر وزن مایع است؟ پاسخ منفی است. نیرویی که مایع به کف ظرف خود وارد می‌کند، همیشه برابر وزن مایع نیست. حالا چگونه تشخیص دهیم که نیروی وارد بر کف ظرف از طرف مایع و وزن مایع چه ارتباطی با یکدیگر دارند؟ پاسخ این سؤال به شکل ظرف بستگی دارد:

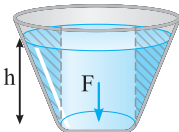
حالت ۱: اگر ظرف متوازی‌السطوح (مثل استوانه یا مکعب) باشد، نیروی وارد بر ته ظرف از طرف مایع برابر وزن مایع است.



$F = W$
وزن مایع
نیروی وارد بر کف ظرف از طرف مایع

$F = \rho ghA \xrightarrow{V=hA} F = \rho gV \xrightarrow{m=\rho V} F = mg = W$

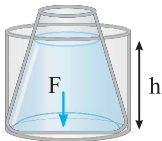
حالت ۲: اگر ظرف متوازی‌السطوح نباشد، استوانه‌ای فرضی را با توجه به مساحت کف ظرف رسم می‌کنیم. اگر حجم مایع درون ظرف از حجم استوانه تا همان ارتفاع h بیش‌تر باشد، آن‌گاه مایع $F < W$ است. زیرا:



$F = PA = \rho gh \times A = \rho g \times V' = m'g < W$ مایع
حجم استوانه فرضی

همان‌طور که در شکل می‌بینید، مایع درون ظرف اصلی از مایع درون استوانه فرضی بیش‌تر است. بنابراین مایع $F < W$ است.

حالت ۳: اگر حجم مایع داخل ظرف کم‌تر از حجم استوانه فرضی بود، مایع $F > W$ است. زیرا:



$F = PA = \rho gh \times A = \rho g \times V' \xrightarrow{m'=\rho V'} F = m'g > W$ مایع
حجم استوانه فرضی

$m'g$ وزن مایع در استوانه فرضی است. یعنی نیروی وارد بر کف ظرف در این حالت برابر با وزن مایعی است که درون استوانه فرضی تا ارتفاع h پر شده باشد. واضح است، مایع درون ظرف از این مقدار کم‌تر است؛ پس:

نکته در قسمت قبل نیروی مایع به کف ظرف خودش را بررسی کردیم. هرگاه در سؤال نیرویی که ظرف مایع به سطح افقی که روی آن قرار می‌گیرد، خواسته شده باشد، این نیرو هم‌اندازه مجموع وزن ظرف و وزن مایع است و به شکل ظرف بستگی ندارد.


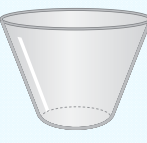

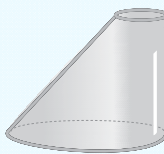
تست: مطابق شکل در ظرفی با وزن ناچیز، مایعی به وزن W ریخته‌ایم و آن را، روی سطح میز قرار داده‌ایم. نیرویی که مایع به کف ظرف وارد می‌کند را F_1 و نیرویی که ظرف به سطح میز وارد می‌کند را F_2 می‌نامیم. کدام گزینه درست است؟

(۱) $F_1 = F_2 = W$
 (۲) $F_1 > W = F_2$
 (۳) $F_1 < W = F_2$
 (۴) $F_1 = F_2 < W$

پاسخ: با توجه به مطالب گفته‌شده، نیرویی که مایع به کف ظرف وارد می‌کند (F_1) به شکل ظرف بستگی دارد. اگر مطابق شکل، یک استوانه فرضی به مساحت کف ظرف در نظر بگیریم، وزن مایعی که در این استوانه فرضی جا می‌گیرد، کم‌تر از وزن کل مایع است، بنابراین $F_1 < W$ است. نیروی وارد بر سطح میز برابر وزن مایع و ظرف است و به دلیل ناچیز بودن وزن ظرف، F_2 تقریباً برابر W است. بنابراین گزینه (۳) درست است.

فلاصه آگه فواستید نیروی مایع به کف ظرف فروش رو با وزن مایع مقایسه کنین، شکل ظرف مهمه! آگه نیرویی که به سطح میز از طرف ظرف مایع وارد می‌شه رو فواستن شکل ظرف مهم نیست.

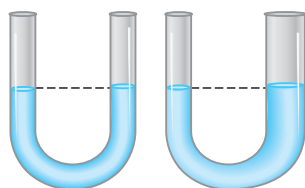
تست: مقداری آب به وزن 20 نیوتون را جداگانه در ظرف‌های مختلف می‌ریزیم. در چند ظرف از ظرف‌های شکل، نیروی وارد بر کف ظرف قطعاً بیش از 20 نیوتون است؟

(آ)  (۱)
 (ب)  (۲)
 (پ)  (۳)
 (ت)  (۴)

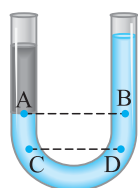
پاسخ: اگر با مساحت کف ظرف در هر چهار شکل، یک استوانه فرضی بسازیم، فقط در حالت‌های (پ) و (ت) این استوانه فرضی بزرگ‌تر از ظرف خواهد شد. ولی چون مشخص نیست آب در شکل (پ) تا کجای ظرف را پر می‌کند، نمی‌توان در مورد شکل (پ) اظهار نظر قطعی کرد. یعنی اگر در این شکل آب تا قبل از تنگ‌شدگی بالای ظرف باشد، نیروی وارد بر کف ظرف 20 نیوتون است. ولی اگر بیش‌تر باشد این نیرو بیش از 20 نیوتون است. به این ترتیب فقط در (ت) می‌توان به قطعیت گفت نیروی وارد بر کف ظرف بیش از 20 نیوتون و گزینه (۱) درست است.

مواظب باشید! آگه تو تست قبل نیروی وارر به سطح افقی‌ای که طرف‌ها روی اون قرار دارن فواسته شده بود. در صورتی‌که وزن طرف‌ها ناپیز باشه، برای هر چهار ظرف، این نیرو 20 نیوتون میشه.

ر ت) لوله‌های U شکل



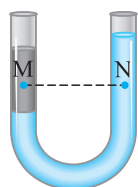
لوله U شکل مانند دو ظرف به هم متصل شده است، بنابراین به نکات زیر توجه کنید:
 (۱) اگر یک نوع مایع داخل لوله ریخته شود، بدون در نظر گرفتن قطر لوله‌های دو طرف، سطح مایع در آن‌ها در یک تراز قرار می‌گیرد.



(۲) اگر دو یا چند مایع متفاوت و مخلوط نشدنی، داخل لوله‌ها ریخته شود، نقاط هم‌تراز داخل یک نوع مایع، هم‌فشار هستند.

$$P_A = P_B$$

$$P_C = P_D$$



(۳) نقاط هم‌تراز داخل دو مایع متفاوت هم‌فشار نیستند.

$$P_M \neq P_N$$

نکته هرگاه در لوله U شکل، بالای هر دو لوله باز باشد، فشار هوا تأثیری در نحوه قرار گرفتن مایع‌ها ندارد.

تست: درون لوله U شکلی مقداری جیوه وجود دارد. در یکی از شاخه‌ها تا ارتفاع 20cm روغن با چگالی $0/9 \text{ g/cm}^3$ می‌ریزیم. در شاخه دیگر تا چه ارتفاعی آب با چگالی $1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ اضافه کنیم تا سطح جیوه در دو لوله یکسان شود؟

پاسخ: نقاط مشخص شده هم‌تراز و داخل جیوه انتخاب شده است:

$$P_{\text{آب}} = P_{\text{روغن}} \Rightarrow P_0 + (\rho g h)_{\text{آب}} = P_0 + (\rho g h)_{\text{روغن}} \Rightarrow (\rho h)_{\text{آب}} = (\rho h)_{\text{روغن}}$$

$$\Rightarrow (1 \times 10^3) \times h_{\text{آب}} = (900)(20) \Rightarrow h_{\text{آب}} = 18 \text{ cm} \Rightarrow$$

گزینه (۲) درست است.

1) 9 cm
2) 18 cm
3) 20 cm
4) 22 cm

نکته در رابطه $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$ لزومی ندارد یکاها بر حسب یکاهای SI باشند و فقط کافی است که یکاها در طرفین، یکسان باشند.

تست: درون لوله U شکلی، مقداری مایع با چگالی 4 g/cm^3 ریخته شده است. مایعی به حجم 48 cm^3 و چگالی $1/2 \text{ g/cm}^3$ در یکی از شاخه‌ها ریخته می‌شود. اگر سطح مقطع لوله برابر $1/6 \text{ cm}^2$ باشد، پس از تعادل، اختلاف ارتفاع مایع اول در شاخه‌ها چند سانتی‌متر می‌شود؟

پاسخ: شکل مایع‌ها به صورت روبه‌رو خواهد شد، ارتفاع مایع دوم را به دست می‌آوریم:

$$V = Ah_2 \Rightarrow 48 = 1/6 \times h_2 \Rightarrow h_2 = 30 \text{ cm}$$

$$P_A = P_B \Rightarrow \rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2 \Rightarrow (4) \times h_1 = (1/2)(30) \Rightarrow h_1 = 9 \text{ cm} \Rightarrow$$

گزینه (۲) درست است.

1) 6 cm
2) 9 cm
3) 30 cm
4) 48 cm

تست: درون لوله U شکل یکنواختی مقداری جیوه با چگالی $13/6 \text{ g/cm}^3$ ریخته شده است. اگر در یکی از شاخه‌ها به ارتفاع $54/4 \text{ cm}$ آب ریخته شود، سطح جیوه در شاخه دیگر نسبت به حالت قبل چند سانتی‌متر بالا می‌رود؟ ($\rho_{\text{آب}} = 1 \text{ g/cm}^3$)

پاسخ: اگر جیوه در یکی از شاخه‌ها به اندازه x پایین بیاید، در شاخه دیگر به اندازه x بالا می‌رود. بنابراین اختلاف جیوه در دو شاخه لوله U شکل برابر 2x است. ولی جابه‌جایی سطح جیوه نسبت به حالت اولیه برابر x است:

$$P_A = P_B \Rightarrow \rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2 \Rightarrow (13/6) \times 2x = (1)(54/4) \Rightarrow x = 2 \text{ cm} \Rightarrow$$

گزینه (۱) درست است.

1) 2 cm
2) 4 cm
3) 8 cm
4) 27/2 cm

تست: در شکل روبه‌رو، مایع‌ها در تعادل هستند. کدام رابطه، بین فشار در نقاط شکل داده شده برقرار است؟

پاسخ: نقاط A و B دو نقطه هم‌تراز درون یک مایع هستند. بنابراین $P_A = P_B$ است.

چون مایع ρ_1 پایین‌تر قرار دارد، بنابراین چگالی آن بیش‌تر از ρ_2 است. از طرفی فشار نقاط E و F نیز برابر است. بنابراین:

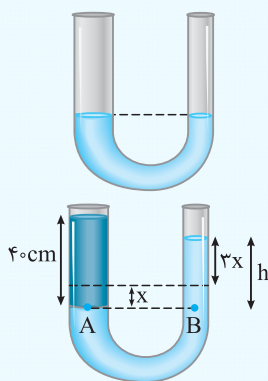
$$P_E = P_F \Rightarrow \rho_1 g h + P_C = \rho_2 g h + P_D$$

چون $\rho_1 > \rho_2$ است، برای برقراری تساوی بالا باید فشار نقطه D از فشار نقطه C بیش‌تر باشد یعنی $P_D > P_C$ است. بنابراین گزینه (۱) درست است.

1) $P_A = P_B > P_D > P_C$
2) $P_A > P_B > P_D > P_C$
3) $P_A = P_B > P_C > P_D$
4) $P_B > P_A > P_C > P_D$

نتیجه وقتی در یک لوله U شکل دو مایع مخلوط‌نشده‌ی مطابق شکل در حالت تعادل باشند و دو نقطه هم‌تراز یکی در ρ_1 و دیگری در مایع ρ_2 انتخاب کنیم، فشار در نقطه‌ای بیش‌تر است که در مایع با چگالی کم‌تر قرار دارد. با توجه به شکل چون چگالی $\rho_2 < \rho_1$ است پس $P_B > P_A$ است.

نکته اگر سطح مقطع لوله U شکل یکسان نباشد و مساحت یکی از شاخه‌ها، n برابر دیگری باشد و ارتفاع مایع در لوله بزرگ‌تر به اندازه x جابه‌جا شود در لوله باریک‌تر به اندازه nx جابه‌جا می‌شود.



تست: درون لوله U شکل، مقداری آب ریخته شده است. اگر در شاخه بزرگ تر، روغن تا ارتفاع 40cm ریخته شود. سطح آب در لوله نازک نسبت به حالت اول چند سانتی متر بالا می‌رود؟ (مساحت قسمت بزرگ سه برابر قسمت نازک است و $\rho_{\text{آب}} = 1 \text{ g/cm}^3$, $\rho_{\text{روغن}} = 0.9 \text{ g/cm}^3$)

- (۱) 9
(۲) 18
(۳) 27
(۴) 36

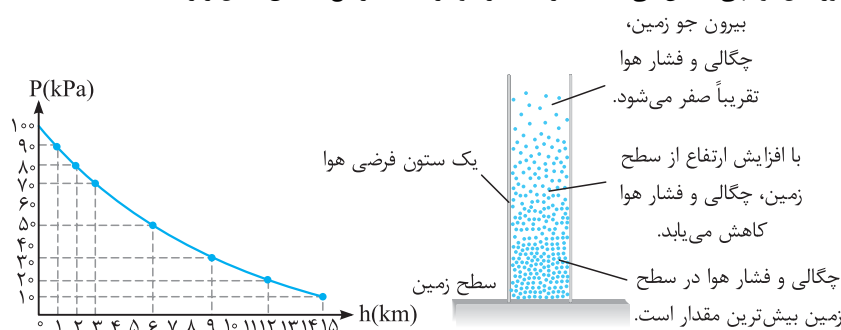
پاسخ: اگر آب در قسمت ضخیم به اندازه X پایین بیاید، در قسمت نازک به اندازه 3x بالا می‌رود.

$$P_A = P_B \Rightarrow (\rho_{\text{روغن}}gh) = (\rho_{\text{آب}}gh) \Rightarrow (0.9)(40) = (1) \times h$$

$$\xrightarrow{h=4x} 4x = 36 \Rightarrow x = 9 \text{ cm} \Rightarrow 3x = 27 \text{ cm} \Rightarrow \text{گزینه (۳) درست است.}$$

ث) رابطه فشار هوا و ارتفاع

در اختلاف ارتفاع‌های کم، اختلاف فشار دو نقطه از گازی مانند هوا از رابطه $\Delta P = \rho g \Delta h$ قابل محاسبه است، ولی اگر اختلاف ارتفاع h قابل توجه باشد، نمی‌توان از رابطه بالا استفاده کرد زیرا چگالی هوا ثابت نیست. نیروی جاذبه زمین سبب می‌شود که لایه‌های زیرین هوا نسبت به لایه‌های بالایی متراکم‌تر شوند و چگالی در ارتفاع‌های بالا به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. تغییرات فشار هوا بر حسب ارتفاع، مطابق شکل زیر است:



تست: در دمای 20°C ، اختلاف فشار هوای بالا و پایین یک برج 100 متری چند کیلوپاسکال است؟ چگالی متوسط هوا را $1/1 \text{ kg/m}^3$ و $g = 10 \text{ N/kg}$ در نظر بگیرید.

- (۱) 1/1
(۲) 11
(۳) $1/1 \times 10^3$
(۴) 11×10^3

$$\Delta P = \rho g \Delta h = (1/1)(10)(100) = 1/1 \times 10^3 \text{ Pa} = 1/1 \text{ kPa} \Rightarrow \text{گزینه (۱) درست است.}$$

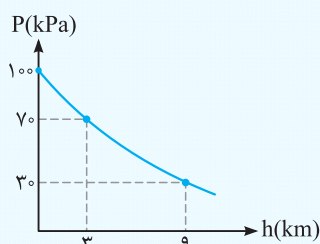
پاسخ:

تست: دو فشارسنج در بالا و پایین برجی نصب شده‌اند. فشار در بالا و پایین برج به ترتیب 95 kPa و $95/5 \text{ kPa}$ می‌باشد. اگر چگالی هوا 1 kg/m^3 باشد، ارتفاع برج چند متر است؟ ($g = 10 \text{ N/kg}$)

- (۱) 25
(۲) 45
(۳) 50
(۴) 150

$$P_2 = P_1 + \rho gh \Rightarrow 95/5 \times 10^3 = 95 \times 10^3 + (1)(10) \times h \Rightarrow 0.5 \times 10^3 = 10 \times h \Rightarrow h = 50 \text{ m} \Rightarrow \text{گزینه (۳) درست است.}$$

پاسخ:



تست: با توجه به نمودار فشار بر حسب ارتفاع از سطح آزاد دریاها که در شکل مقابل آمده است، چگالی متوسط هوا در بین ارتفاع‌های 3 تا 9 کیلومتر چند کیلوگرم بر متر مکعب است؟ ($g = 10 \text{ N/kg}$)

- (۱) $1/3$
(۲) $2/3$
(۳) $3/2$
(۴) $4/3$

$$\Delta P = \rho g \Delta h \Rightarrow (70 - 30) \times 10^3 = \rho \times 10 \times 6 \times 10^3 \Rightarrow \rho = \frac{4}{6} = \frac{2}{3} \text{ kg/m}^3 \Rightarrow \text{گزینه (۲) درست است.}$$

پاسخ:

اکنون می‌توانید به تست‌های این قسمت در جلد تست پاسخ دهید.

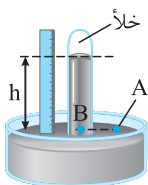
فصل ۳ ویژگی‌های فیزیکی مواد

قسمت سوم: فشارسنج‌ها

این قسمت شامل بخش‌های زیر است:

(آ) جوسنج (بارومتر) ← (ب) فشارسنج (مانومتر) ← (پ) فشارسنج بوردون و گاز زیر پیستون

(آ) جوسنج (بارومتر)



اگر مطابق شکل یک لوله آزمایش بلند را پر از جیوه کرده و سپس دهانه آن را با انگشت بگیرید و به طور برعکس درون ظرف حاوی جیوه قرار دهید، سطح جیوه در لوله پایین آمده و ثابت می‌شود. در این حالت می‌گوییم فشار هوا معادل ارتفاع h از جیوه است. این وسیله ساده جوسنج نامیده می‌شود و اولین بار توسط توریچلی اختراع شد.

نکته ۱) اگر ارتفاع مایع درون لوله آزمایش و جنس مایع را بیان کنید در حقیقت فشار هوا را بر حسب ستون مایع بیان کرده‌اید. مانند $P_0 = 76 \text{ cmHg}$

۲) اگر درون ظرفی تا ارتفاع h مایعی باشد، می‌توانید ارتفاع و جنس مایع را به عنوان فشار بیان کنید. به عنوان مثال اگر داخل استخری به ارتفاع 2 m آب باشد، فشار ناشی از آب در کف استخر برابر «۲ متر آب» است.

تست: ارتفاع ستون جیوه در جوسنجی برابر 50 cm است. فشار هوا در منطقه مورد نظر چند کیلوپاسکال است؟

$$(g = 10 \text{ N/kg}, \rho_{\text{جیوه}} = 1/36 \times 10^4 \text{ kg/m}^3)$$

۳۴ (۴)

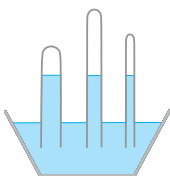
۳/۴ (۳)

۶۸ (۲)

۶/۸ (۱)

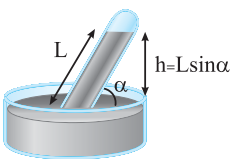
پاسخ: ارتفاع جیوه داخل لوله برابر 50 cm است، بنابراین $P_0 = 50 \text{ cmHg}$

$$P_0 = \rho gh = (1/36 \times 10^4)(10)(0/5) = 68000 \text{ Pa} = 68 \text{ kPa} \Rightarrow \text{گزینه (۲) درست است.}$$



نکته آزمایش توریچلی، مطابق شکل با سه لوله آزمایش مختلف، هم‌زمان انجام شده است.

همان‌طور که می‌بینید سطح مقطع و طول لوله‌های آزمایش متفاوت است. ولی جیوه تا ارتفاع یکسان بالا آمده است. بنابراین سطح مقطع و طول لوله آزمایش تأثیری بر آزمایش ندارد. توجه کنید که طول قسمتی از لوله آزمایش که بیرون جیوه داخل ظرف قرار می‌گیرد باید به اندازه‌ای باشد که در بالای لوله آزمایش فضای خالی باقی بماند.



نکته اگر لوله آزمایشی را کج کنید، باید ارتفاع قائم جیوه از سطح جیوه داخل ظرف را اندازه‌گیری کنید.

تست: در آزمایش توریچلی مقابل، فشار هوا چند سانتی‌متر جیوه (cmHg) است؟

۶۰ (۲)

۶ (۱)

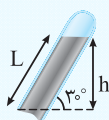
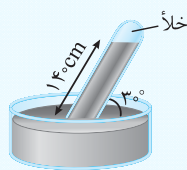
۱۴۰ (۴)

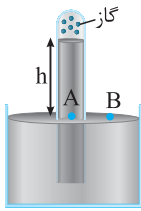
۷۰ (۳)

پاسخ: ارتفاع قائم جیوه از سطح جیوه داخل ظرف را به دست می‌آوریم:

$$\sin 30^\circ = \frac{h}{L} \Rightarrow h = \frac{1}{2} \times (140) = 70 \text{ cm}$$

$$P_0 = 70 \text{ cmHg} \Rightarrow \text{گزینه (۳) درست است.}$$



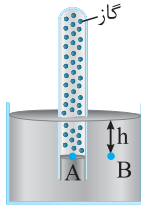


نکته اگر مطابق شکل روبه‌رو درون لوله جوسنج، گاز یا هوا حبس شود، می‌توان فشار آن را به صورت زیر محاسبه کرد:

$$P_A = P_B \Rightarrow P_h + P_{\text{گاز}} = P_0 \Rightarrow P_{\text{گاز}} = P_0 - P_h$$

حالت اول:

فشار ناشی از اختلاف سطح مایع

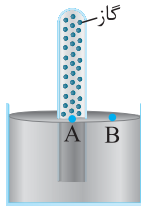


$$P_A = P_B \Rightarrow P_{\text{گاز}} = P_h + P_0$$

حالت دوم:

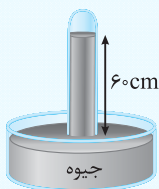
فشار ناشی از اختلاف سطح مایع

توجه کنید که اگر فشار گاز بر حسب پاسکال مورد سؤال باشد $P_h = \rho gh$ است و اگر فشار گاز بر حسب سانتی‌متر یا میلی‌متر جیوه مورد سؤال باشد، P_h را بر حسب سانتی‌متر یا میلی‌متر جیوه پیدا می‌کنیم و در رابطه قرار می‌دهیم.



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

حالت سوم:



تست: فشار هوا در منطقه‌ای 75 cmHg است. فشار هوای محبوس در بالای لوله چند سانتی‌متر جیوه است؟

۷۵ (۲)

۶۰ (۱)

۱۳۵ (۴)

۱۵ (۳)

پاسخ:

گزینه (۳) درست است. $\Rightarrow P_{\text{گاز محبوس}} = 15 \text{ cmHg} \Rightarrow P_{\text{گاز محبوس}} + 60 = P_{\text{گاز محبوس}} + P_h = 75 = P_0$

تست: لوله انتهای بسته‌ای را وارونه در ظرف جیوه فرو می‌بریم. سطح جیوه در درون لوله ۳ سانتی‌متر پایین‌تر از سطح آزاد جیوه قرار می‌گیرد.

اگر فشار هوا 76 سانتی‌متر جیوه باشد، فشار هوای محبوس در لوله چند سانتی‌متر جیوه است؟

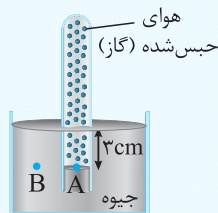
۷۷/۵ (۴)

۷۴/۵ (۳)

۷۹ (۲)

۷۳ (۱)

پاسخ:



گزینه (۲) درست است. $\Rightarrow P_{\text{گاز}} = 79 \text{ cmHg} \Rightarrow P_{\text{گاز}} = 3 + 76 = 79 \text{ cmHg} \Rightarrow P_A = P_B \Rightarrow P_{\text{گاز}} = P_h + P_0$

تبدیل ستون‌های مایع به یکدیگر

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$$

برای تبدیل یکای ستون مایع به مایعی دیگر از رابطه روبه‌رو استفاده می‌شود:

ρ و h به ترتیب چگالی مایع و ارتفاع ستون مایع می‌باشند.

نکته یکای ρ و h در طرفین باید مشابه یکدیگر باشد و لزومی ندارد یکاها بر حسب SI باشند.

تست: در آزمایش توربجلی، فشار هوا 70 cmHg اندازه‌گیری شده است. اگر به جای جیوه از آب استفاده شود، حداقل طول لوله آزمایش مورد نیاز

چند سانتی‌متر است؟ ($\rho_{\text{آب}} = 1 \text{ g/cm}^3$, $\rho_{\text{جیوه}} = 13/6 \text{ g/cm}^3$)

۹۵۲ (۴)

۱۳۶۰ (۳)

۸۶۰ (۲)

۷۰۰ (۱)

پاسخ: فشاری که آب و جیوه نشان می‌دهند باید یکسان باشد:

گزینه (۴) درست است. $\Rightarrow h_2 = 952 \text{ cm} \Rightarrow 13/6 \times 70 = 1 \times h_2 \Rightarrow \rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 \Rightarrow \rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2 \Rightarrow \rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 \Rightarrow P_{\text{جیوه}} = P_{\text{آب}}$

تست: مایعی به چگالی 2 g/cm^3 تا ارتفاع $2/72$ متر در ظرفی ریخته‌ایم. اگر فشار هوا 76 سانتی‌متر جیوه و چگالی جیوه $13/6 \text{ g/cm}^3$ باشد، فشار وارد بر کف ظرف محتوی مایع بر حسب سانتی‌متر جیوه چقدر است؟

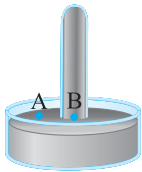
- 1) $120/4$ (۱) 2) 116 (۲) 3) 96 (۳) 4) 80 (۴)

پاسخ: ابتدا فشار حاصل از ستون مایع را بر حسب سانتی‌متر جیوه پیدا می‌کنیم:

$$\rho h = \rho_{\text{Hg}} h_{\text{Hg}} \Rightarrow (2)(2/72) = (13/6)h_{\text{Hg}} \Rightarrow h_{\text{Hg}} = 0/4 \text{ m} = 40 \text{ cm}$$

یعنی فشار ستون مایع معادل 40 cmHg است.

$$P_{\text{کل}} = P_{\text{مایع}} + P_0 = 40 + 76 = 116 \text{ cmHg} \Rightarrow \text{گزینه (۲) درست است.}$$

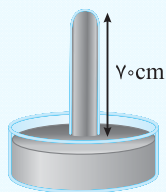


نکته: اگر طول لوله آزمایش در فشارسنج کمتر از فشار هوا باشد، بالای لوله آزمایش خالی نمی‌ماند و به انتهای لوله آزمایش فشار

$$P_A = P_B \Rightarrow P_0 = \rho g h_1 + P'$$

وارد می‌شود که این فشار مطابق شکل محاسبه می‌شود:

P' فشاری است که به انتهای لوله وارد می‌شود.



تست: مطابق شکل، اگر فشار هوا 75 cmHg و سطح لوله 5 cm^2 باشد، چه نیرویی بر انتهای لوله وارد خواهد شد؟

$$(g = 10 \text{ N/kg}, \rho_{\text{جیوه}} = 13/6 \text{ g/cm}^3)$$

- 1) $2/5 \text{ N}$ (۱) 2) 5 N (۲)

- 3) $1/7 \text{ N}$ (۳) 4) $3/4 \text{ N}$ (۴)

پاسخ: فشار وارد بر ته لوله را P' در نظر می‌گیریم:

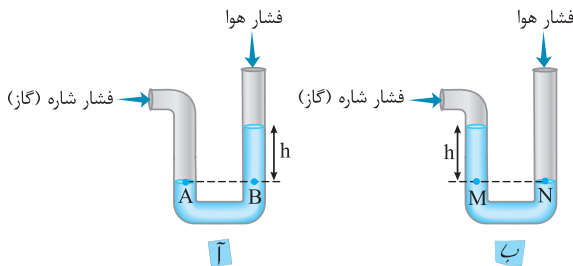
$$P_0 = P_{\text{مایع}} + P' \Rightarrow 75 = 70 + P' \Rightarrow P' = 5 \text{ cmHg}$$

برای این‌که بتوانیم نیروی حاصل از این فشار را پیدا کنیم، باید این فشار را بر حسب پاسکال داشته باشیم:

$$P' = \rho_{\text{Hg}} g h_{\text{Hg}} \Rightarrow P' = (13/6 \times 10^3)(10)(5 \times 10^{-2}) = 6/8 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$P' = \frac{F}{A} \Rightarrow F = P' A = (6/8 \times 10^3)(5 \times 10^{-4}) = 3/4 \text{ N} \Rightarrow \text{گزینه (۴) درست است.}$$

ب) فشارسنج (مانومتر)



از این فشارسنج برای محاسبه فشار یک شاره محصور استفاده می‌شود. اگر لوله

U شکل حاوی مایع را به ظرف حاوی گاز متصل کنید، دو حالت رخ می‌دهد:

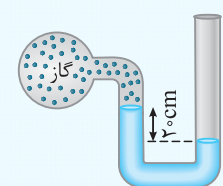
(آ) فشار گاز بیشتر از فشار هوا

(ب) فشار گاز کمتر از فشار هوا

در هر دو حالت می‌توان با استفاده از نقاط هم‌تراز، فشار گاز محصور را به دست آورد:

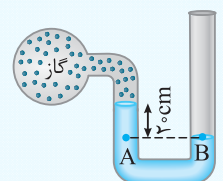
شکل (آ): $P_A = P_B \Rightarrow P_{\text{گاز}} = P_0 + P_{\text{مایع}}$

شکل (ب): $P_M = P_N \Rightarrow P_{\text{گاز}} + P_{\text{مایع}} = P_0$



تست: مطابق شکل، مخزنی حاوی گاز را به مانومتر متصل می‌کنیم. اگر چگالی مایع داخل مانومتر 14 g/cm^3 باشد، فشار گاز کیلوپاسکال از فشار هوا است. ($g = 10 \text{ N/kg}$)

- 1) 14 ، بیشتر (۱) 2) 28 ، بیشتر (۲)
- 3) 14 ، کمتر (۳) 4) 28 ، کمتر (۴)



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

پاسخ: نقاط هم‌تراز A و B هم‌فشار هستند.

$$\Rightarrow P_{\text{گاز}} - P_0 = -\rho g h = -(14 \times 10^3)(10)(0/2) = -28 \times 10^3 \text{ Pa} = -28 \text{ kPa}$$

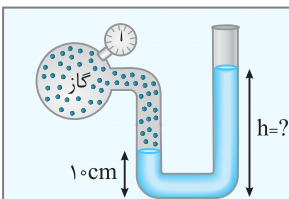
یعنی فشار گاز 28 kPa از فشار هوای محیط کمتر است و گزینه (۴) درست است.

نکته به اختلاف فشار گاز و فشار هوا، فشار پیمانه‌ای می‌گویند که با نماد P_g نمایش داده می‌شود و طبق توضیحات قبل این اختلاف ممکن است منفی یا مثبت باشد.

$$P_{\text{گاز}} - P_0 = P_g$$

$P_{\text{گاز}} > P_0 \Rightarrow P_g > 0$
 $P_{\text{گاز}} < P_0 \Rightarrow P_g < 0$

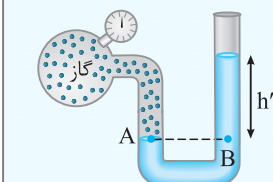
توجه فشارسنج‌های پزشکی و صنعتی فشار پیمانه‌ای را نشان می‌دهند.



تست: در شکل مقابل، چگالی مایع استفاده‌شده 4 g/cm^3 است و فشارسنج عدد 8 kPa را نشان می‌دهد. h چند سانتی‌متر است؟ ($g = 10 \text{ N/kg}$)

- ۱) ۱۰
 ۲) ۲۰
 ۳) ۳۰
 ۴) ۴۰

پاسخ: نقاط A و B هم‌فشار هستند و فشار پیمانه‌ای را نشان می‌دهد:



$$P_A = P_B \Rightarrow P = P_0 + \rho gh' \Rightarrow P - P_0 = \rho gh'$$

$$\Rightarrow P_g = \rho gh' \Rightarrow 8 \times 10^3 = (4 \times 10^3)(10) \times h'$$

$$\Rightarrow h' = 0.2 \text{ m} = 20 \text{ cm} \Rightarrow h = h' + 10 \Rightarrow h = 30 \text{ cm} \Rightarrow \text{گزینه (۳) درست است.}$$

پ) فشارسنج بوردون و فشار گاز زیر پیستون

در این بخش ابتدا فشارسنج بوردون و سپس فشار گاز زیر پیستون را بررسی می‌کنیم.

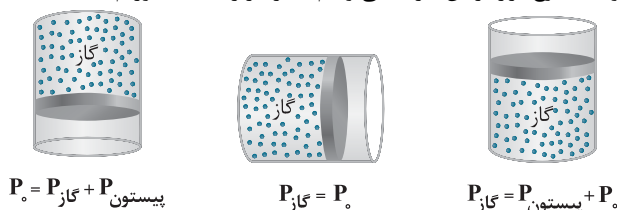
پ - ۱) فشارسنج بوردون



این فشارسنج، شامل لوله‌ای خمیده و توخالی است که به ورودی شاره متصل می‌شود. با افزایش فشار داخل لوله، قسمت خمیده تغییر شکل داده و باعث حرکت عقربه می‌شود. از این فشارسنج برای اندازه‌گیری فشار باد لاستیک وسیله‌های نقلیه و اندازه‌گیری فشار در مخزن‌های گاز استفاده می‌شود. در اغلب این فشارسنج‌ها از یکای psi برای نشان دادن فشار استفاده می‌کنند. به طوری که $1 \text{ psi} \approx 6900 \text{ Pa}$ است. (psi به معنای پوند - نیرو بر اینچ مربع است).

پ - ۲) فشار گاز زیر پیستون

اگر زیر پیستون مقداری گاز حبس شده باشد، با توجه به نوع قرار گرفتن ظرف، می‌توانیم فشار گاز را به‌دست آوریم. حالت‌های مختلف مطابق شکل‌های زیر است:



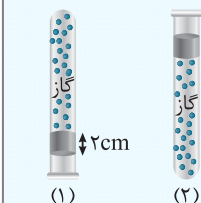
$$P_0 = P_{\text{گاز}} + P_{\text{پیستون}}$$

$$P_{\text{گاز}} = P_0$$

$$P_{\text{گاز}} = P_0 + P_{\text{پیستون}}$$

تست: مطابق شکل درون یک لوله آزمایش مقداری گاز توسط جیوه حبس شده است. اگر لوله آزمایش را از حالت

(۱) به (۲) برگردانیم، فشار گاز سانتی‌متر جیوه زیاد می‌شود.



- ۱) صفر
 ۲) ۲
 ۳) ۳
 ۴) ۴

پاسخ: با توجه به مطالب گفته‌شده، اگر در شکل (۱) فشار گاز را P_1 و در شکل (۲) فشار گاز را P_2 بنامیم، می‌توان نوشت:

$$\left. \begin{array}{l} \text{در شکل (۱): } P_0 = 2 + P_1 \Rightarrow P_1 = P_0 - 2 \\ \text{در شکل (۲): } P_2 = P_0 + 2 \end{array} \right\} \Rightarrow P_2 - P_1 = (P_0 + 2) - (P_0 - 2) = 4 \text{ cmHg} \Rightarrow \text{گزینه (۴) درست است.}$$

اکنون می‌توانید به تست‌های این قسمت در جلد تست پاسخ دهید.

فصل ۳ ویژگی‌های فیزیکی مواد

قسمت چهارم: اصل ارشمیدس

این قسمت شامل بخش‌های زیر است:

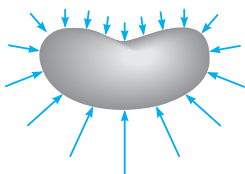
(آ) شناوری و اصل ارشمیدس

(ب) اندازه نیروی شناوری (ارشمیدس)

(آ) شناوری و اصل ارشمیدس

پدیده‌هایی مانند شناور ماندن اجسام سنگین مثل کشتی روی آب و یا سهولت جابه‌جایی اجسام سنگین غوطه‌ور در آب را با مفهومی به نام نیروی ارشمیدس توجیه می‌کنند.

ارشمیدس دانشمند یونانی بیان کرد: (۱) به جسم‌های درون یک شاره (مایع و گاز)، همواره نیرویی بالاسو وارد می‌شود. (۲) اندازه این نیروی بالاسو برابر وزن شاره جابه‌جاشده توسط جسم است.

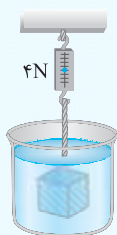


علت نیروی ارشمیدس: مطابق شکل، نیروی ناشی از فشار شاره، در نقاط پایین‌تر بزرگ‌تر است، بنابراین برای نیروهایی که شاره به جسم درون شاره وارد می‌کند، در راستای قائم و به سمت بالا می‌شود.

توجه: اگر جسمی را درون شاره (گاز یا مایع) در حالت تعادل قرار دهید و رها کنید در جهت افقی حرکت نمی‌کند، یعنی برای نیروهای ناشی از فشار، در راستای افقی صفر است.

تست: مطابق شکل، جسمی توسط یک نیروسنج داخل آب قرار گرفته و در تعادل است. اگر نیروسنج ۴ نیوتون را

نشان دهد، کدام گزینه ممکن است وزن این جسم باشد؟



۳ (۲)

۲ (۱)

۶ (۴)

۴ (۳)

پاسخ: وقتی یک جسم درون آب قرار می‌گیرد، از طرف آب نیروی شناوری (رو به بالا) به جسم وارد می‌شود و وزن ظاهری

جسم کم‌تر از وزن واقعی آن خواهد شد. پس وزن این جسم باید از ۴ نیوتون بزرگ‌تر باشد. بنابراین گزینه (۴) درست است.

مقایسه نیروی وزن و نیروی شناوری: نیروی شناوری را با F_b نمایش می‌دهند و طبق توضیحات بالا نیروی F_b در راستای قائم و رو به بالا وارد می‌شود. با توجه

۱) $F_b < W \Rightarrow$ ته‌نشینی جسم درون شاره

به مقدار F_b و W سه حالت رخ می‌دهد:

۲) $F_b = W \Rightarrow$ غوطه‌ور شدن جسم درون شاره

۳) $F_b > W \Rightarrow$ بالا آمدن جسم درون شاره و خروج قسمتی از جسم از شاره و در نهایت شناوری

نکته: هنگامی که یک جسم درون مایع بالا می‌آید، $F_b > W$ است. ولی هنگامی که قسمتی از جسم از مایع خارج شده و جسم در سطح آب

شناور می‌شود، نیروی شناوری جدید برابر نیروی وزن می‌شود، یعنی $F'_b = W$

تست: در چه تعداد از پدیده‌های زیر، نیروی شناوری هم‌اندازه نیروی وزن جسم است؟

(ب) شناور ماندن یک قطعه چوب در سطح آب

(آ) پایین رفتن آرام سنگ در آب

(ت) بالارفتن توپ پلاستیکی تا قبل از رسیدن به سطح آب

(پ) معلق ماندن یک جسم درون آب

۴ (۴)

۳ (۳)

۲ (۲)

۱ (۱)

پاسخ: اگر نیروی شناوری را با F_b و وزن جسم را با W نشان دهیم، می‌توان در هر پدیده گفته‌شده، این دو را مقایسه کرد.

(ت) $F_b > W$

(پ) $F_b = W$

(ب) $F_b = W$

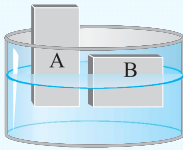
(آ) $F_b < W$

بنابراین گزینه (۲) درست است.

نکته: هنگامی که چگالی یک جسم از چگالی مایعی که جسم در آن قرار دارد، کم‌تر باشد، جسم به سطح مایع آمده و روی سطح مایع شناور می‌شود. در

این صورت، هر چه چگالی جسم کم‌تر باشد، حجم بیشتری از جسم از مایع خارج می‌شود تا زمانی که $F_b = W$ شده و جسم روی سطح مایع شناور شود.

تست: مطابق شکل دو جسم A و B روی سطح مایعی شناورند. کدام گزینه در مورد چگالی‌های A و B درست است؟



$$\rho_A > \rho_B \quad (2)$$

$$\rho_A = \rho_B \quad (1)$$

(4) بسته به شرایط هر سه ممکن است.

$$\rho_A < \rho_B \quad (3)$$

پاسخ: مطابق شکل، در هنگام شناوری، تقریباً نیمی از حجم جسم B از مایع خارج شده، در حالی که بیش از نیمی از جسم A از مایع خارج شده است. بنابراین چگالی جسم B بزرگ‌تر از چگالی جسم A بوده و گزینه (3) درست است.

نکته STP: اگر چگالی جسم ρ' و چگالی مایع ρ باشد و جسم روی مایع شناور باشد، حجم قسمتی از جسم که درون مایع قرار می‌گیرد (V') به

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

حجم کل جسم (V) از رابطه روبه‌رو به دست می‌آید:

تست: چگالی چوب $0/8 \text{ g/cm}^3$ و چگالی آب 1 g/cm^3 است. اگر تکه چوبی به حجم 2 m^3 را روی آب قرار دهیم، حجم قسمتی از چوب که

بیرون از آب قرار می‌گیرد، چند مترمکعب می‌شود؟

$$0/4 \quad (4)$$

$$0/8 \quad (3)$$

$$1/6 \quad (2)$$

$$1/8 \quad (1)$$

$$\frac{V'}{V} = \frac{\rho'}{\rho} \Rightarrow \frac{V'}{2} = \frac{0/8}{1} \Rightarrow V' = 1/6 \text{ m}^3$$

پاسخ: حجم قسمتی از چوب که درون آب قرار می‌گیرد، برابر است با:

بنابراین $0/4 \text{ m}^3$ از حجم تکه چوب بیرون آب قرار می‌گیرد و گزینه (4) درست است.

(ب) اندازه نیروی شناوری (ارشمیدس)

$$F_b = \rho \text{ شاره } Vg$$

به دو روش آزمایشی و روش تئوری اثبات می‌شود که اندازه نیروی شناوری برابر با وزن شاره جابه‌جا شده است:

تست: یک توپ پلاستیکی به قطر 20 cm و جرم 200 g را به طور کامل داخل آب قرار می‌دهیم و رها می‌کنیم. وضعیت نهایی توپ از لحاظ

تشنینی و شناوری و یا غوطه‌وری چگونه است؟ ($\pi \approx 3$ ، $g = 10 \text{ N/kg}$ ، $\rho_{\text{آب}} = 10^3 \text{ kg/m}^3$)

(4) گزینه‌های (1) یا (3) رخ می‌دهد.

(3) تشنین می‌شود.

(2) شناور می‌شود.

(1) غوطه‌ور می‌ماند.

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \times 3 \times (10)^3 = 4 \times 10^3 \text{ cm}^3 = 4 \times 10^3 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

پاسخ: تمام توپ داخل آب است.

$$F_b = \rho_{\text{آب}} Vg = (10^3)(4 \times 10^{-3})(10) = 40 \text{ N} ; \text{ وزن : } W = mg = (0/2)(10) = 2 \text{ N}$$

$F_b > W$ ، بنابراین توپ به سمت بالا حرکت کرده و به سطح آب می‌رسد و قسمتی از توپ از آب خارج می‌شود تا $F_b = 2 \text{ N}$ شود و سپس روی آب شناور می‌شود، بنابراین گزینه (2) درست است.

تست: در تست قبل، در وضعیت نهایی، چند درصد از حجم توپ درون آب قرار می‌گیرد؟

$$75 \quad (4)$$

$$50 \quad (3)$$

$$20 \quad (2)$$

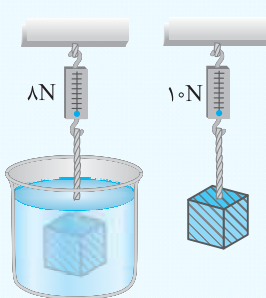
$$5 \quad (1)$$

پاسخ: حجم قسمتی از توپ که داخل آب می‌ماند را با V' نمایش می‌دهیم. در هنگام شناور ماندن F_b با نیروی وزن یکسان می‌شود:

$$F_b = W \Rightarrow \rho_{\text{مایع}} \times V' \times g = mg \Rightarrow V' = \frac{m}{\rho_{\text{مایع}}} = \frac{0/2}{10^3} = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\frac{V'}{V_{\text{کل}}} \times 100 = \frac{2 \times 10^{-4}}{4 \times 10^{-3}} \times 100 = \frac{2}{4} \times 10 = 5\% \Rightarrow \text{گزینه (1) درست است.}$$

تست: نیروسنجی وزن جسمی را در هوا 10 N و درون آب 8 N نشان می‌دهد. چگالی جسم چند g/cm^3 است؟ ($\rho_{\text{آب}} = 10^3 \text{ kg/m}^3$ ، $g = 10 \text{ N/kg}$)



$$1/25 \quad (2)$$

$$5 \quad (1)$$

$$0/8 \quad (4)$$

$$2/5 \quad (3)$$

$$F_b = 10 - 8 = 2 \text{ N}$$

پاسخ: نیروی ارشمیدس برابر اختلاف این دو عدد می‌باشد:

$$F_b = \rho_{\text{آب}} Vg \Rightarrow 2 = (10^3) \times V \times (10) \Rightarrow V = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m = \frac{W}{g} = \frac{10}{10} = 1 \text{ kg}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1}{2 \times 10^{-4}} = 5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 = 5 \text{ g/cm}^3 \Rightarrow \text{گزینه (1) درست است.}$$

اکنون می‌توانید به تست‌های این قسمت در جلد تست پاسخ دهید.

فصل ۳ ویژگی‌های فیزیکی مواد

قسمت پنجم: شارۀ در حرکت و اصل برنولی

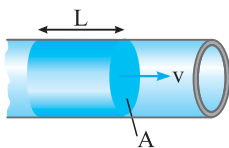
این قسمت شامل بخش‌های زیر است:

(آ) آهنگ جریان شارۀ و معادله پیوستگی ← (ب) اصل برنولی

(آ) آهنگ جریان شارۀ و معادله پیوستگی

در این بخش ابتدا آهنگ جریان شارۀ و سپس معادله پیوستگی را بررسی می‌کنیم.

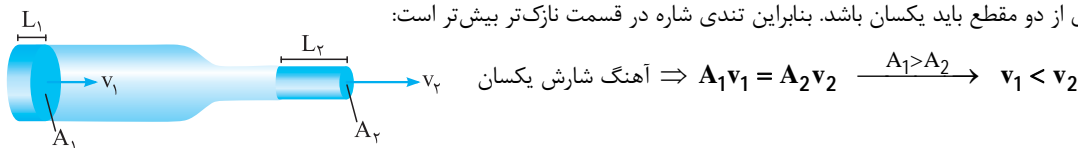
آهنگ جریان شارۀ: اگر مطابق شکل، جریان یکنواختی از شارۀ با تندی ثابت v درون لوله‌ای با سطح مقطع A حرکت کند، حجم معینی از شارۀ به صورت AL در مدت زمان t دارای آهنگ شارش به صورت زیر می‌باشد:



$$\text{آهنگ شارش شارۀ} = Av = \frac{\text{حجم شارۀ عبوری}}{\text{مدت زمان}} = \frac{AL}{t} \xrightarrow{\frac{L}{t}=v} Av$$

نکته یکای v برابر m/s و یکای A برابر m^2 است، بنابراین یکای آهنگ شارش شارۀ در SI برابر m^3/s می‌باشد.

معادله پیوستگی: اگر جریان لایه‌ای (غیرآشوب) مطابق شکل در لوله‌ای با دو سطح مقطع متفاوت برقرار باشد، در حالت پایا، مقدار جرم عبوری از دو لوله باید یکسان باشد، یعنی اگر در مدت زمان t جرمی به اندازه m از مقطع بزرگ عبور کند، در همین مدت زمان باید جرم m از مقطع کوچک نیز عبور کند یعنی آهنگ جریان عبوری از دو مقطع باید یکسان باشد. بنابراین تندی شارۀ در قسمت نازک‌تر بیشتر است:



$$\text{آهنگ شارش یکسان} \Rightarrow A_1 v_1 = A_2 v_2 \xrightarrow{A_1 > A_2} v_1 < v_2$$

تست: مطابق شکل مایعی درون لوله در جریان است. در صورتی که $D_2 = 3D_1$ باشد، v_1 چند

متر بر ثانیه است؟ (لوله‌ها کاملاً از مایع پر هستند.)



۳ (۲)

۱ (۱)

۲۷ (۴)

۹ (۳)

پاسخ: برای استفاده از معادله پیوستگی، نسبت مساحت‌های قسمت پهن و باریک لوله لازم است. وقتی قطر قسمت پهن لوله سه برابر قسمت باریک لوله است، مساحت قسمت پهن ۹ برابر قسمت باریک آن است. زیرا:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{\pi \left(\frac{D_2}{2}\right)^2}{\pi \left(\frac{D_1}{2}\right)^2} = \frac{\left(\frac{3D_1}{2}\right)^2}{\left(\frac{D_1}{2}\right)^2} = \frac{9D_1^2}{4} \cdot \frac{4}{D_1^2} = 9$$

حالا می‌توانیم از معادله پیوستگی استفاده کنیم:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \Rightarrow \cancel{A_1} \times v_1 = 9\cancel{A_1} \times 3 \Rightarrow v_1 = 27 \text{ m/s} \Rightarrow \text{گزینه (۴) درست است.}$$

تست: دو لوله با قطرهای $D_1 = 12 \text{ cm}$ و $D_2 = 4 \text{ cm}$ به یکدیگر متصل شده‌اند و جریان لایه‌ای آب در آن‌ها برقرار است. اگر تندی آب در لوله بزرگ 2 m/s باشد، تندی آب در لوله کوچک چند m/s است؟

۱۸ (۴)

$\frac{2}{9}$ (۳)

۶ (۲)

$\frac{2}{3}$ (۱)

پاسخ: مساحت با مجذور قطر رابطه مستقیم دارد و طبق معادله پیوستگی می‌توان نوشت:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \xrightarrow{D_1 = 3D_2 \Rightarrow A_1 = 9A_2} 9\cancel{A_2} \times (2) = \cancel{A_2} \times v_2 \Rightarrow v_2 = 18 \text{ m/s} \Rightarrow \text{گزینه (۴) درست است.}$$

تست: در انتهای یک لوله آتش‌نشانی، شیر بسته شده است. قطر قسمت ورودی شیر 10cm و قطر قسمت خروجی آن 2cm است. اگر آب با تندی $2/5\text{m/s}$ از لوله وارد شیر شود، تندی خروج آب از شیر چند متر بر ثانیه است؟

62/5 (۴)

12/5 (۳)

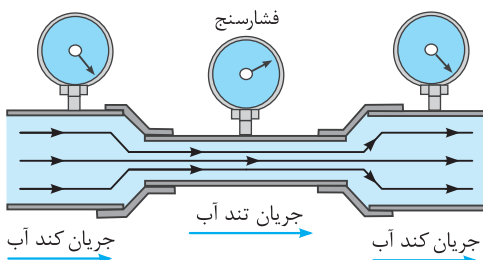
۱۰ (۲)

2/5 (۱)

پاسخ: با توجه به اطلاعات سؤال، $r_2 = 1\text{cm}$ و $r_1 = 5\text{cm}$ شعاع قسمت ورودی و خروجی شیر است. با توجه به معادله پیوستگی می‌توان نوشت:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \Rightarrow \pi r_1^2 v_1 = \pi r_2^2 v_2 \Rightarrow (5)^2 (2/5) = (1)^2 \times v_2 \Rightarrow v_2 = 62/5\text{m/s} \Rightarrow \text{گزینه (۴) درست است.}$$

ب) اصل برنولی



اگر مایعی تراکم‌ناپذیر مطابق شکل درون لوله‌ای پر از مایع در حال حرکت باشد، تندی مایع در قسمت نازک‌تر بیشتر می‌شود، زیرا مقدار آبی که در مدت یکسان از تمام قسمت‌ها عبور می‌کند باید یکسان باشد. عدد فشارسنج در قسمت‌های نازک‌تر کم‌تر از قسمت‌های دیگر است، یعنی:

«با افزایش تندی شاره، فشار داخل شاره کاهش می‌یابد.»

عبارت بالا اصل برنولی می‌باشد.

نکته: اصل برنولی برای مایع‌ها و گازهایی که به طور لایه‌ای، غیر آشوبناک و در امتداد افق حرکت می‌کنند، صادق است. هم‌چنین فرض می‌شود که شاره، تراکم‌ناپذیر است و اصطکاک داخلی (گران‌زوی) ندارد.

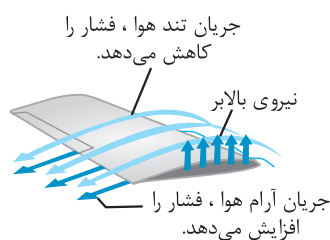
چند کاربرد علمی اصل برنولی

۱) بال هواپیما

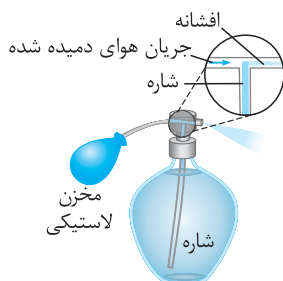
۲) عطرشاخ

۳) کات دادن توپ

بال هواپیما: شکل بال هواپیما باعث می‌شود تندی هوا در بالای بال بیشتر از پایین بال شود، بنابراین فشار شاره در بالای بال کم‌تر از پایین می‌شود و این اختلاف فشار باعث ایجاد نیروی خالصی رو به بالا و شناور شدن هواپیما می‌شود. توجه کنید که بال هواپیما فقط بخش کوچکی از نیروی بالابر را تأمین می‌کند.



عطرشاخ: اگر به کمک مخزن لاستیکی، هوا را با تندی زیاد از بالای لوله عمودی متصل به مخزن عبور دهیم، افزایش تندی باعث کاهش فشار در بالای لوله شده و مایع از لوله بالا آمده و پخش می‌شود.



کات دادن توپ: هنگامی که توپ را ضمن حرکت رو به جلو، مطابق شکل چرخش هم می‌دهیم، سرعت هوا در ناحیه A بیش‌تر از ناحیه B می‌شود، بنابراین فشار هوا در ناحیه A کم‌تر از B می‌شود و این اختلاف فشار باعث می‌شود تا توپ به سمت A منحرف شود.



تست: چه تعداد از پدیده‌های زیر به علت اصل برنولی ایجاد می‌شوند؟

(آ) بالا آمدن یک کاغذ بر اثر دمیدن در سطح بالای آن

(ب) حرکات کات‌دار توپ فوتبال

(پ) برآمده شدن پوشش برزنتی روی کامیون‌ها هنگام حرکت آن‌ها

(ت) خارج شدن دود درون خودروی در حال حرکت، هنگامی که شیشه خودرو پایین باشد.

۴ (۴)

۳ (۳)

۲ (۲)

۱ (۱)

پاسخ: هر چهار پدیده‌ای که به آن‌ها اشاره شده است براساس اصل برنولی توجیه‌پذیر هستند و از این اصل پیروی می‌کنند. یعنی گزینه (۴) درست است.

اکنون می‌توانید به تست‌های این قسمت در جلد تست پاسخ دهید.