

مکانیک سیالات

مانومترها

www.hadian.ir

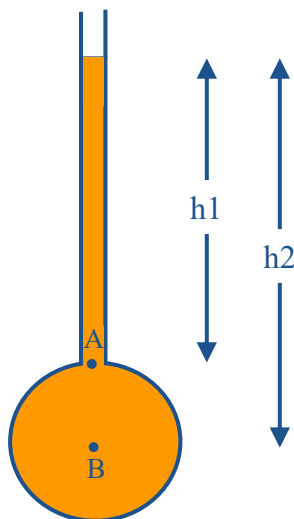


محمدرضا هادیان
دانشگاه یزد - دانشکده مهندسی عمران

اندازه‌گیری فشار بوسیله مانومتر

● با استفاده از رابطه بین فشار و ارتفاع معادل فشار می‌توان فشار را بوسیله مانومتر اندازه‌گیری کرد.

● ساده‌ترین شکل مانومتر، پیزومتر (piezometer) است.



فشار بخاطر ستون مایع به ارتفاع h_1 = فشار در نقطه A

$$p_A = \rho g h_1$$

$$p_B = \rho g h_2$$

این روش برای اندازه‌گیری مایعات بکار می‌رود و حداکثر فشار به ارتفاع لوله قائم محدود می‌شود. برای فشار نسبی منفی نیز قابل استفاده نیست.

مثال

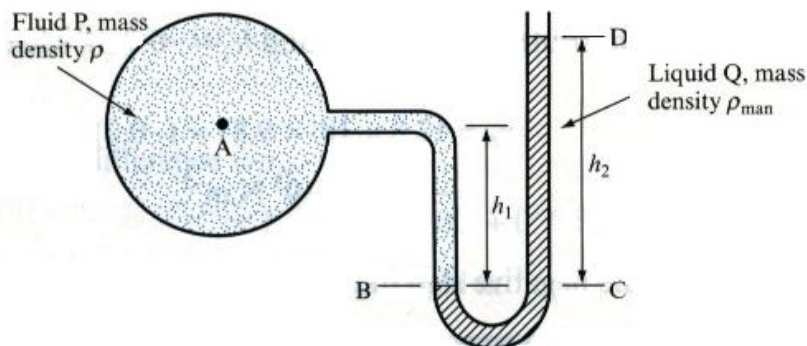
حداکثر فشار نسبی آب که بوسیله یک پیزومتر با طول لوله ۲ متر، قابل اندازه‌گیری است، چقدر است؟

$$p = \rho gh$$

$$p = 1000 \times 9.81 \times 2 = 19.62 \text{ kPa}$$

اندازه‌گیری فشار بوسیله مانومتر

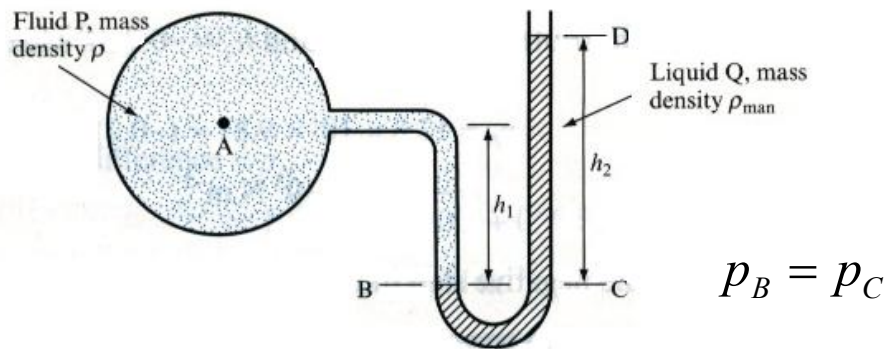
● برای آنکه بتوان فشار گازها را هم اندازه‌گیری نمود و تا حدی محدودیت حداکثر فشار را از بین برد، از مانومتر U شکل استفاده می‌شود.



$$\rho_{man} > \rho$$

❁ مایع داخل مانومتر نباید با مایع یا گاز داخل محفظه مخلوط شود. ❁

اندازه گیری فشار بوسیله مانومتر



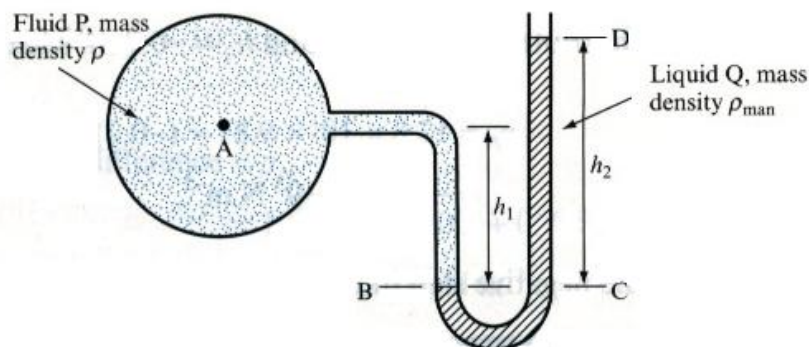
$$p_B = p_A + \rho g h_1$$

$$p_C = 0 + \rho_{man} g h_2$$

$$p_A + \rho g h_1 = 0 + \rho_{man} g h_2$$

$$p_A = \rho_{man} g h_2 - \rho g h_1$$

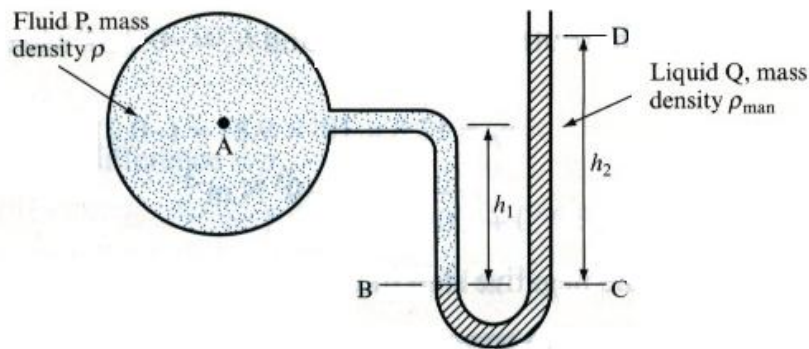
اندازه گیری فشار بوسیله مانومتر



$$p_A = \rho_{man} g h_2 - \rho g h_1$$

در این نوع از مانومتر می توان فشار منفی را هم اندازه گیری کرد و برای فشارهای منفی در صورتیکه $\rho_{man} > \rho$ باشد، h_2 کمتر از h_1 یا منفی بدست می آید.

اندازه گیری فشار بوسیله مانومتر

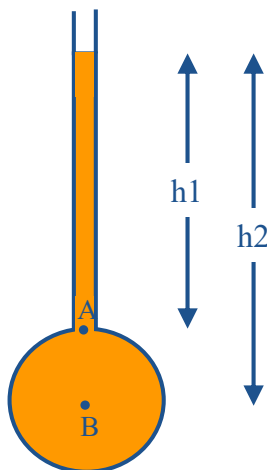


$$p_A = \rho_{man}gh_2 - \cancel{\rho gh_1}$$

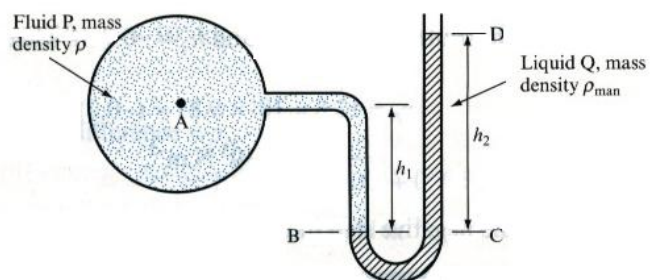
اگر داخل محفظه گاز باشد، معمولاً از وزن آن در مقابل وزن مایع مانومتر صرف نظر می شود ($\rho \approx 0$)

$$p_A = \rho_{man}gh_2$$

اندازه گیری فشار بوسیله مانومتر



$$p_B = \rho gh_2$$

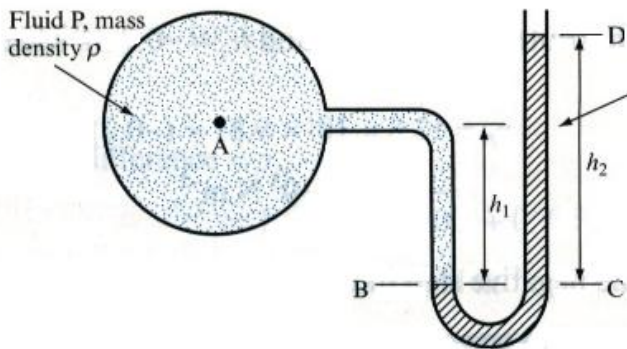


$$p_A = \rho_{man}gh_2 - \rho gh_1$$

اگر فشار نسبی داخل محفظه خیلی کم باشد یا در مانومترهای اختلافی، اختلاف فشار دو طرف مانومتر خیلی کم باشد، ارتفاع مایع درون لوله ها خیلی کم بوده و خواندن آنها خطا دارد.

مثال

یک مانومتر U شکل، برای اندازه‌گیری فشار مایع P با دانسیته 800 kg/m^3 بکار می‌رود. اگر دانسیته مایع مانومتر 13600 kg/m^3 باشد، فشار نقطه A برای دو حالت زیر چقدر است؟



$$h_2 = 0.9 \text{ m} \text{ و } h_1 = 0.5 \text{ m}$$

$$h_2 = -0.2 \text{ m} \text{ و } h_1 = 0.1 \text{ m}$$

$$p_A = 13600 \times 9.81 \times 0.9 - 800 \times 9.81 \times 0.5$$

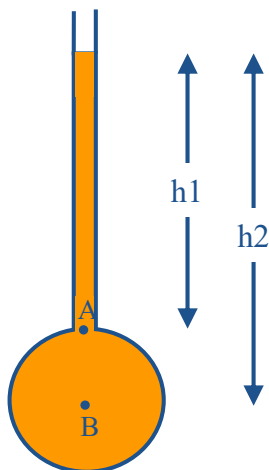
$$= 116.15 \text{ kPa}$$

$$p_A = \rho_{man} g h_2 - \rho g h_1$$

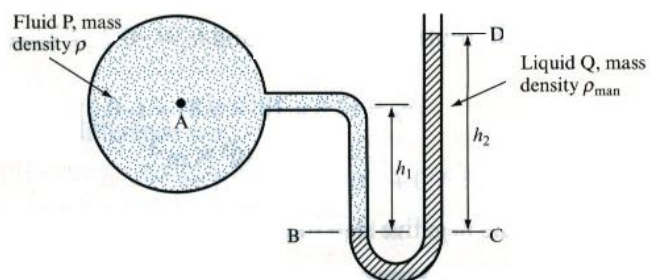
$$p_A = 13600 \times 9.81 \times (-0.2) - 800 \times 9.81 \times 0.1$$

$$= -27.45 \text{ kPa}$$

پیزومتر و مانومتر U شکل



$$p_B = \rho g h_2$$



$$p_A = \rho_{man} g h_2 - \rho g h_1$$

برای اندازه‌گیری فشارهای زیاد باید:

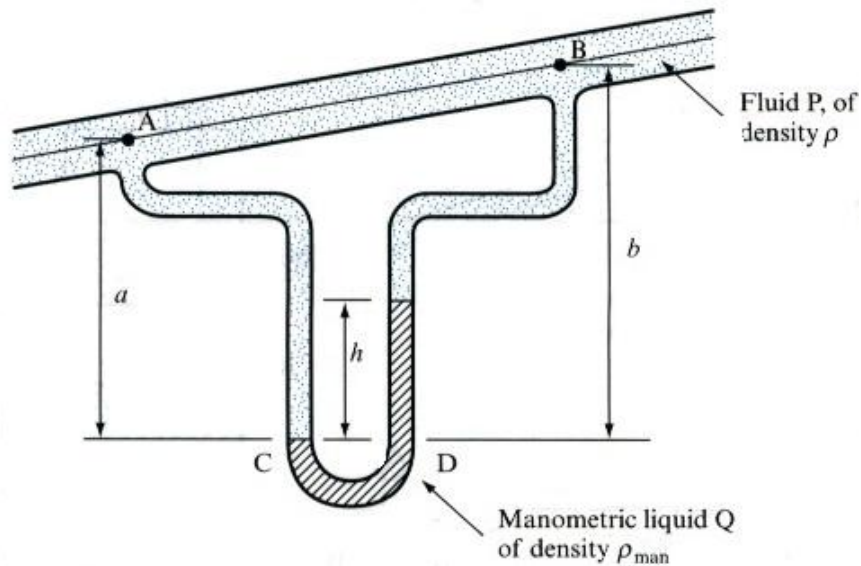
طول لوله مانومتر را زیاد کرد.

مایع داخل مانومتر را با دانسیته بالا انتخاب نمود.

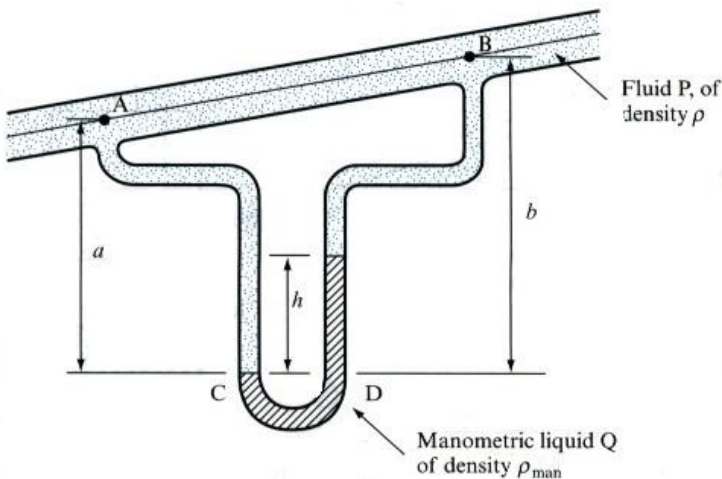
اندازه گیری اختلاف فشار

در بسیاری از موارد مهندسی، مقدار فشار اهمیت زیادی ندارد بلکه اختلاف فشار بین دو نقطه مهم است.

مانومترهای اختلافی



مانومتر اختلافی



$$p_C = p_A + \rho g a$$

$$p_D = p_B + \rho g(b - h) + \rho_{man} g h$$

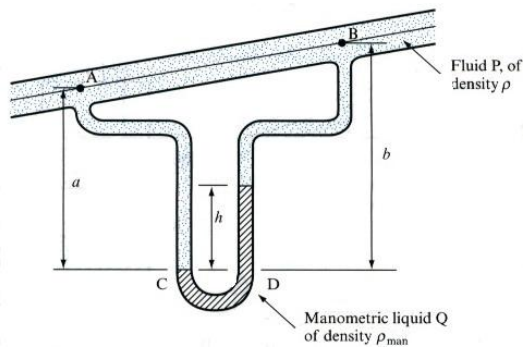
$$p_C = p_D$$

$$p_A + \rho g a = p_B + \rho g(b - h) + \rho_{man} g h$$

$$\text{Pressure difference: } p_A - p_B = \underbrace{\rho g(b - a)}_{z_B - z_A} + h g(\rho_{man} - \rho)$$

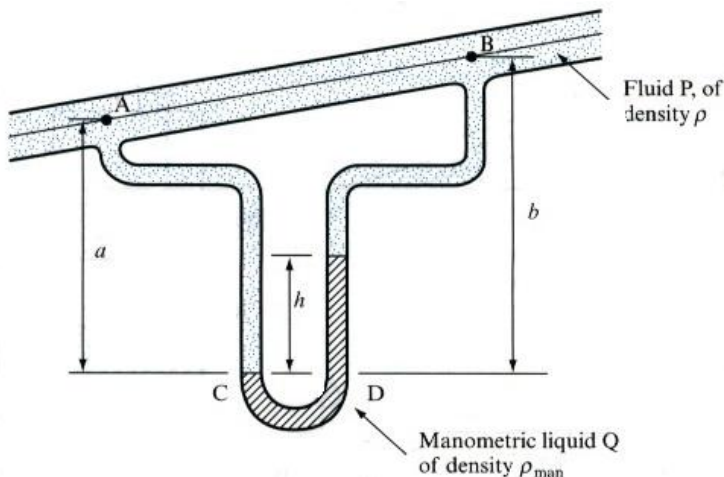
مثال

مانومتر اختلافی مطابق شکل برای اندازه‌گیری فشار بین نقاط A و B که در آن آب جریان دارد، بکار رفته است. اگر مانومتر، سیالی به جرم حجمی $13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ باشد و نقطه B به اندازه 0.3 m بالاتر از نقطه A باشد، اختلاف فشار دو نقطه را به ازای $h=0.7 \text{ m}$ حساب کنید.



$$\begin{aligned} p_A - p_B &= \rho g(b - a) + hg(\rho_{man} - \rho) \\ &= 1000 \times 9.81 \times 0.3 + 0.7 \times 9.81 \times (13.6 - 1) \times 1000 \\ &= 89.467 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

مانومتر اختلافی در گازها



اگر سیال داخل محفظه گاز باشد، چگالی آن از چگالی سیال مانومتر خیلی کمتر است. ($\rho \approx 0$)

Pressure difference: $p_A - p_B = \cancel{\rho g(b - a)} + h g(\cancel{\rho_{man} - \rho})$

Pressure difference: $p_A - p_B = hg\rho_{man}$

مانومترهای مختلفی

روند کلی برای حل مسائل مانومترها

❖ از یک انتها یا سطح آزاد شروع کرده و فشار را بر حسب واحد مناسب بنویسید.

❖ تغییرات فشار را با توجه به سطح آزاد مایع‌ها بر حسب واحد مورد نظر اضافه کنید.

❑ هر حرکت فقط در یک سیال مجاز می‌باشد.

❑ حرکت رو به بالا با کاهش فشار

❑ حرکت رو به پایین با افزایش فشار

❑ حرکت در تراز افقی، بدون تغییر فشار

❑ در محاسبه اختلاف فشارها، فقط فاصله در امتداد قائم اهمیت دارد.

❖ روند را تا رسیدن به انتهای دیگر ادامه دهید و فشارهای محاسبه شده را با هم برابر قرار دهید.

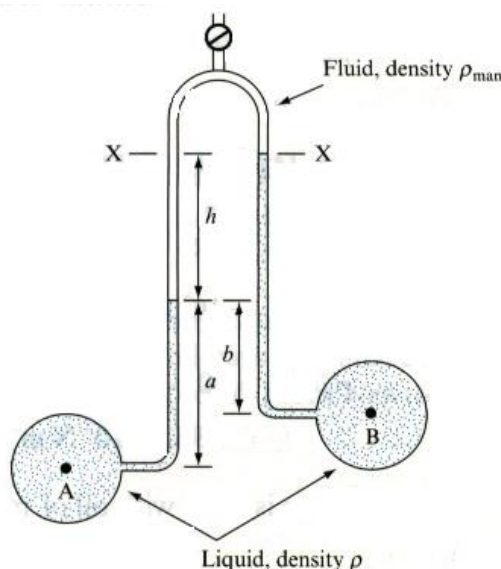
$$P_0 - (z_1 - z_0)\gamma_0 - (z_2 - z_1)\gamma_1 \dots - (z_n - z_{n-1})\gamma_{n-1} = P_n$$

مثال

یک مانومتر U شکل معکوس، مطابق شکل برای اندازه‌گیری اختلاف فشار بین نقاط A و B از یک خط لوله که در آن آب جریان دارد، بکار رفته است. اختلاف فشار بین دو نقطه را به ازاء $h=0.3\text{ m}$ ، $a=0.25\text{ m}$ و $b=0.15\text{ m}$ برای دو حالت زیر حساب کنید.

❖ اگر سیال داخل مانومتر هوا باشد

❖ اگر سیال داخل مانومتر، روغن با دانسیته نسبی 0.8 باشد.



$$P_A - \rho g a - \rho_{man} g h + \rho g (h + b) = P_B$$

$$P_B - P_A = \rho g (b - a) + g h (\rho - \rho_{man})$$

مثال

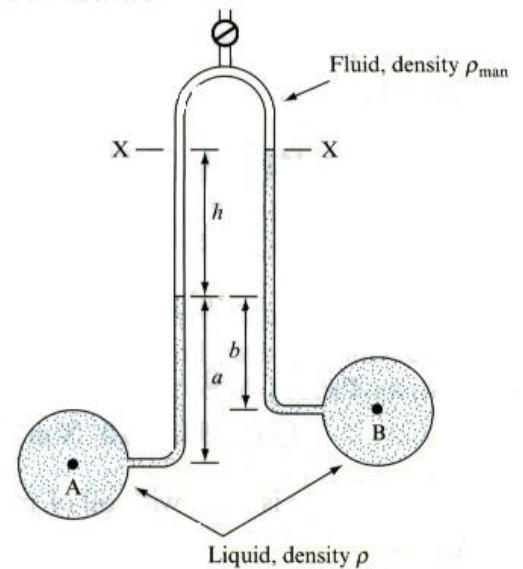
$$P_B - P_A = \rho g(b - a) + gh(\rho - \rho_{man})$$

$$P_B - P_A = \rho g(b - a) + gh \left(\rho - \underbrace{\rho_{man}}_{\approx 0} \right)$$

$$= \rho g(b - a + h)$$

$$= 1000 \times 9.81 \times (0.15 - 0.25 + 0.3)$$

$$= 1.962 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$



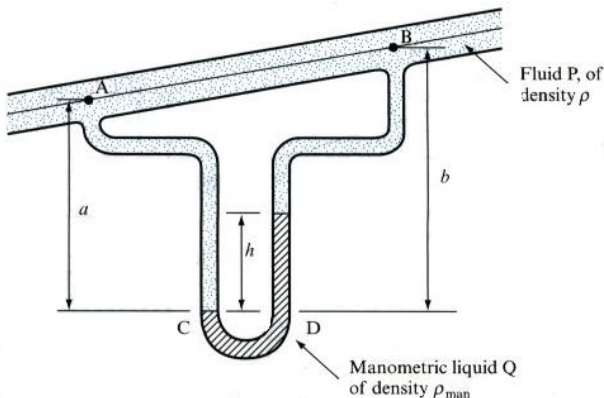
$$P_B - P_A = \rho g(b - a) + gh(\rho - \rho_{man})$$

$$= 1000 \times 9.81 \times (0.15 - 0.25) + 9.81 \times 0.3 \times [1000 \times (1 - 0.8)]$$

$$= 1000 \times 9.81 \times (-0.1 + 0.06)$$

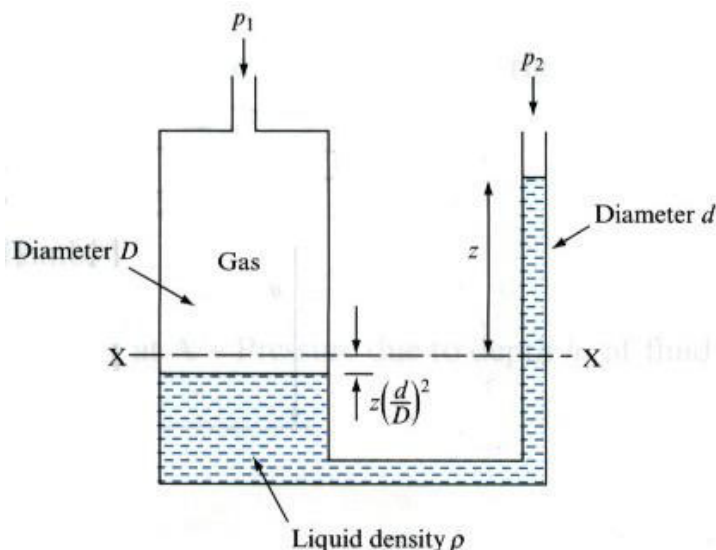
$$= -392.4 \text{ N/m}^2$$

مانومتر اختلافی در گازها



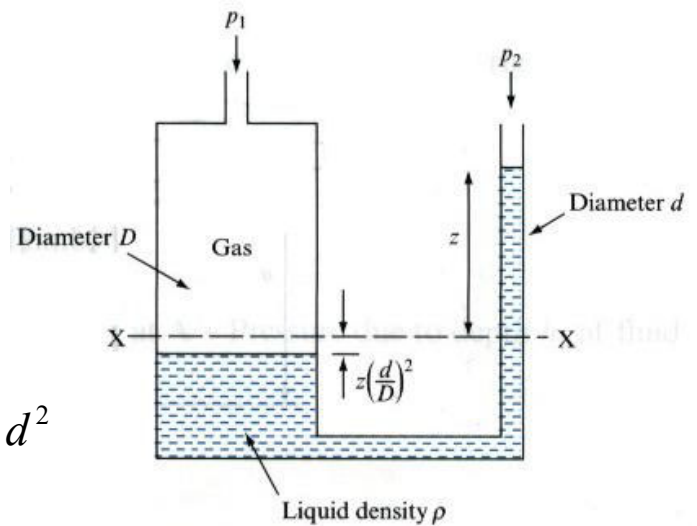
در مانومتر مقابل لازم است تا تراز سطح مایع در هر دو لوله مانومتر قرائت شود و اختلاف آنها در رابطه لحاظ گردد.

$$p_A - p_B = hg\rho_{man}$$



مانومتر اختلافی در گازها

اگر در حالت اختلاف فشار صفر،
تراز مایع XX باشد.

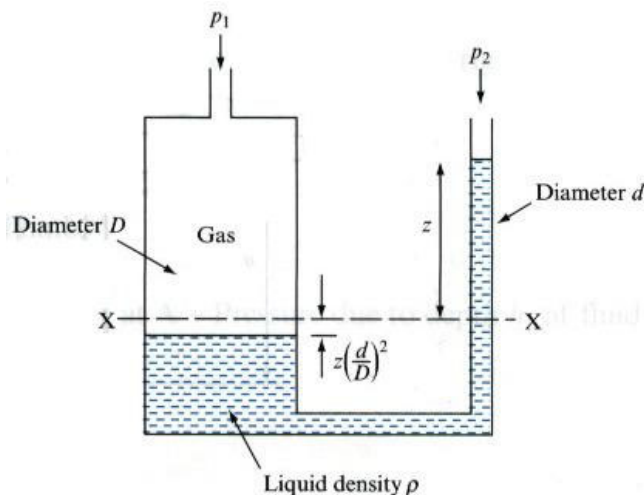


Volume of liquid transferred from
left - hand leg to right - hand leg $= z \frac{\pi}{4} d^2$

Fall in level of the left - hand leg = $\frac{\text{Volume transferred}}{\text{Area of left - hand leg}}$

$$= \frac{z \frac{\pi}{4} d^2}{\frac{\pi}{4} D^2} = z \left(\frac{d}{D} \right)^2$$

مانومتر اختلافی در گازها

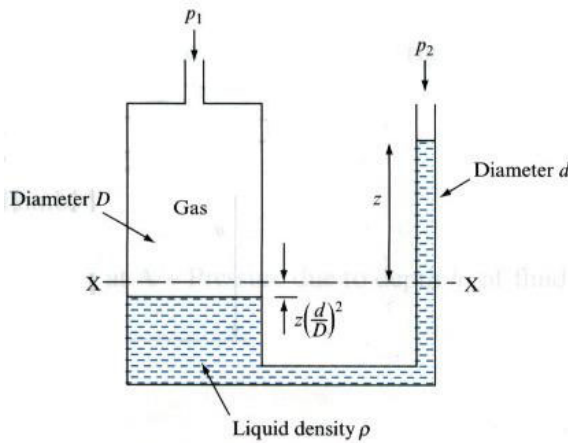


$$p_1 - p_2 = \rho g \left[z + z \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right] = \rho g z \left[1 + \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]$$

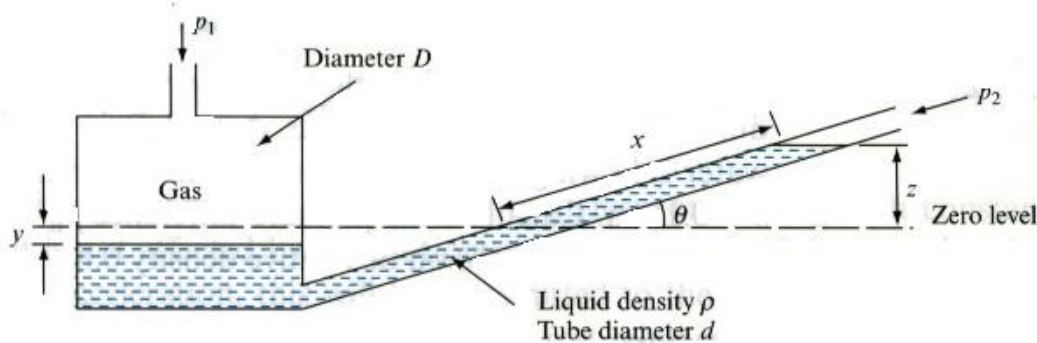
if $D \gg d$

$$p_1 - p_2 = \rho g z$$

مانومتر اختلافی در گازها



اگر اختلاف فشار دو نقطه کم باشد، مقدار z خیلی کم است و منجر به خطا می شود.



$$\text{Pressure difference} = p_1 - p_2 = \rho g z = \rho g x \sin \theta$$

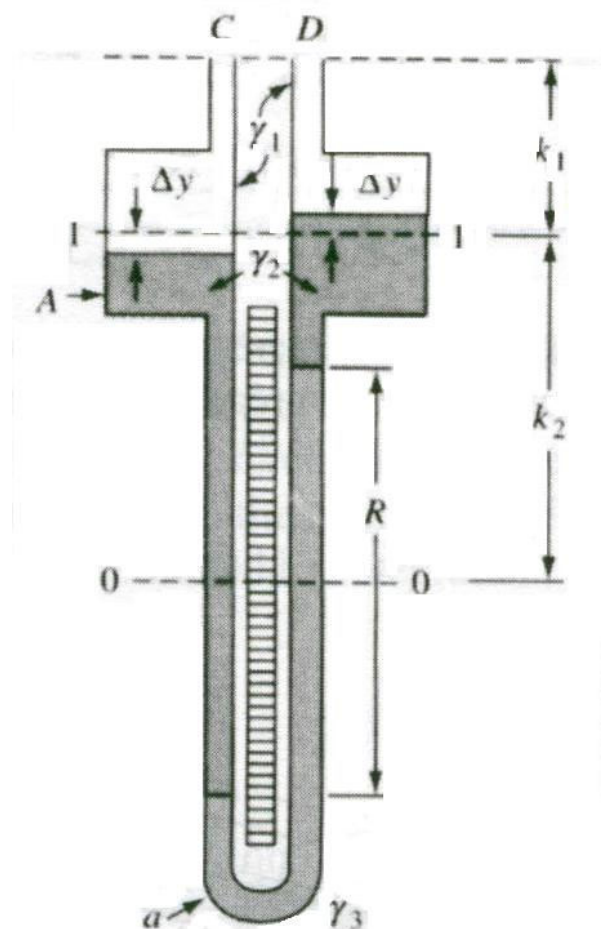
میکرومانومتر

$$\Delta y A = \frac{R}{2} a$$

$$p_C + (k_1 + \Delta y)\gamma_1 + \left(k_2 - \Delta y + \frac{R}{2}\right)\gamma_2 - R\gamma_3 - \left(k_2 - \frac{R}{2} + \Delta y\right)\gamma_2 - (k_1 - \Delta y)\gamma_1 = p_D$$

$$p_C - p_D = R \left[\gamma_3 - \gamma_2 \left(1 - \frac{a}{A}\right) - \gamma_1 \frac{a}{A} \right]$$

$$\text{Pressure difference} = p_C - p_D = R K$$



مثال

فشار در نقطه D چند کیلوپاسکال است؟ ($g=9.81$)

