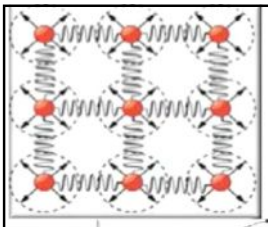
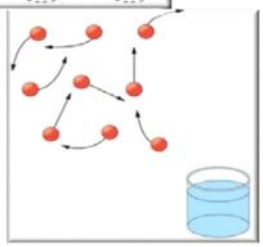
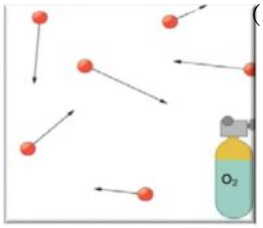
مکانیک سیالات

Fluid Mechanics







انواع ماده

جامد (Solid)

- اتمها در نزدیکی هم قرار دارند بگونه ای که نمی توانند آزادانه حرکت نمایند (فقط ارتعاش در مکان خود)
- دارای حجم و شکل مشخص
- تراکم ناپذیر

مایع (Liquid)

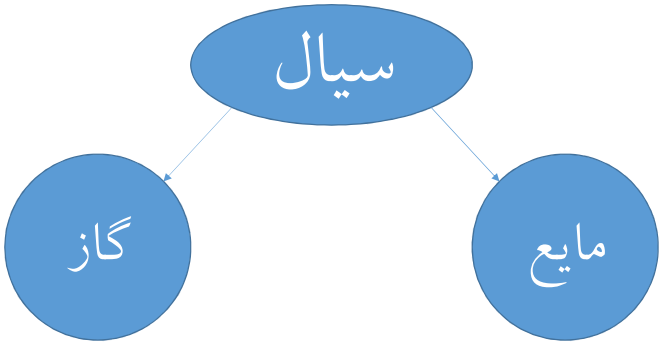
- بدلیل کاهش نیروی بین اتمی اتمها به سهولت بیشتری حرکت می نمایند
- دارای حجم مشخص و شکل نامشخص (به شکل ظرف در می آیند)
- به سختی متراکم می شوند

گاز (gas)

- بدون حجم و شکل مشخص
- تراکم پذیر

تعریف سیال:
سیالات در برابر تنش برشی از خود مقاومتی نشان نمی دهند و جاری می شوند.

مجموعه ای از مولکولهای با نظم کاتوره ای که توسط نیروی ضعیفی در کنار هم قرار گرفته اند



موضوع علم مکانیک سیالات

استاتیک سیالات (Fluid Statics)

شرح ویژگی های سیالات ساکن

دینامیک سیالات (Fluid Dynamics)

شرح ویژگی های و قوانین حاکم بر سیال در حال حرکت

کمیت های میدانی در سیال

«ویژگی های سیال از نقطه ای به نقطه دیگر فرق می نماید»

کمیت های میدانی:

وابستگی مکانی دارند. یعنی از نقطه ای به نقطه دیگر متفاوت می باشند.

فشار، چگالی، سرعت، شتاب، دبی و ...

$$\rho = \rho(\vec{r}, t)$$

$$P = P(\vec{r}, t)$$

کمیت های غیر میدانی:

وابستگی به مکان ندارند و از نقطه ای به نقطه دیگر ثابت می باشند.

حجم سیال،

چگالی (Density)

جرم در واحد حجم ماده

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

چگالی یک سیال می تواند از نقطه ای به نقطه دیگر تغییر نماید. بنابراین برای بیان چگالی نقطه ای پیمانه اندازه گیری را بسیار کوچکدر نظر می گیریم

$$\rho = \lim_{\Delta V \to 0} \frac{\Delta m}{\Delta V}$$

- ✓ چگالی مایعات تا حدود کمی تابع دما است ولی در حد فشارهای معمولی به فشار بستگی ندارد (**سیال تراکم ناپذیر**)
- ✓ در گازها بدلیل بسیار ضعیف بودن نیروهای بین اتمی و زیاد بودن فاصله بین اتمی، تغییرات چگالی با دما و فشار قابل ملاحظه است (**سیال تراکم پذیر**)

ضریب تراکم پذیری (compersibility)

$$\beta = -\frac{\Delta P}{\frac{\Delta V}{V}}$$

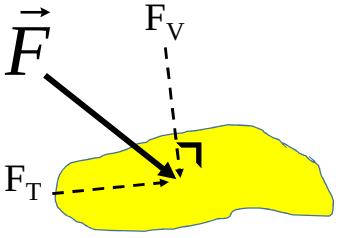
TABLE 14.1 *Densities of Some Common Substances at Standard Temperature (0°C) and Pressure (Atmospheric)*

Substance	ρ (kg/m^3)	Substance	ρ (kg/m^3)
Air	1.29	Iron	7.86×10^3
Air (at 20°C and atmospheric pressure)	1.20	Lead	11.3×10^3
Aluminum	2.70×10^3	Mercury	13.6×10^3
Benzene	0.879×10^3	Nitrogen gas	1.25
Brass	8.4×10^3	Oak	0.710×10^3
Copper	8.92×10^3	Osmium	22.6×10^3
Ethyl alcohol	0.806×10^3	Oxygen gas	1.43
Fresh water	1.00×10^3	Pine	0.373×10^3
Glycerin	1.26×10^3	Platinum	21.4×10^3
Gold	19.3×10^3	Seawater	1.03×10^3
Helium gas	1.79×10^{-1}	Silver	10.5×10^3
Hydrogen gas	8.99×10^{-2}	Tin	7.30×10^3
Ice	0.917×10^3	Uranium	19.1×10^3

فشار P

فشار یک سیال در یک ارتفاع خاص، نیروی وارد اعمالی بر واحد سطح مقطع نیرو می باشد

$$P = \frac{F_V}{A}$$ فشار



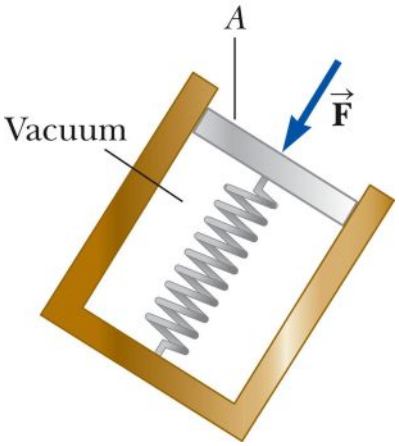
F_V = Vertical force

F_T = Tangential force

$F = F_V + F_T$

$$\tau = \frac{F_T}{A}$$ تنش برشی

اندازه گیری فشار (Measuring Pressure)

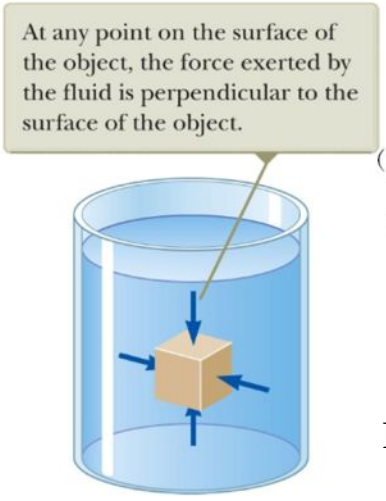


وسیله ای برای اندازه گیری فشار که با یک نیروی شناخته شده (نیروی فنر) کالیبره شده است

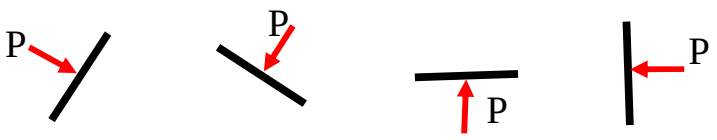
نیروی ناشی از فشار سیال بر بالای پیستون اعمال شده و آن را فشرده می سازد

با اندازه گیری فشردگی فنر، می توانم نیروی وارد بر سطح مقطع بالایی را بدست آورد

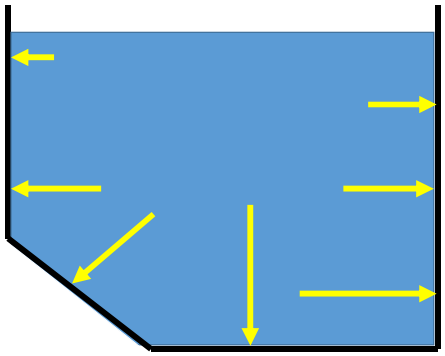
ویژگی های فشار



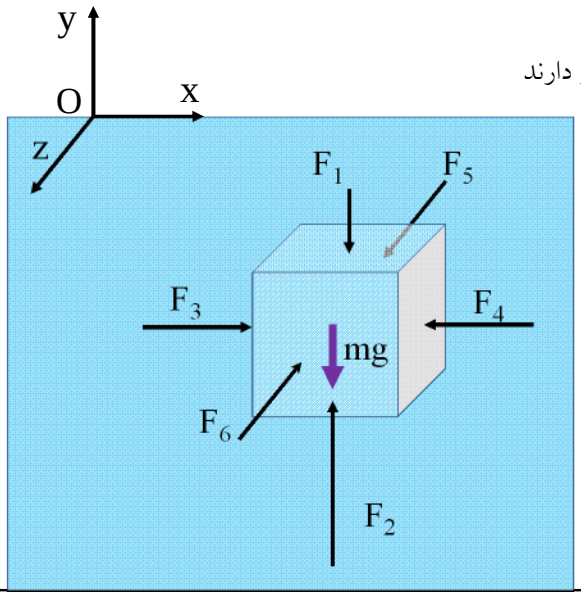
- کمیتی اسکالر
- وابسته به اندازه مولفه عمودی نیروی وارد بر سطح (ناشی از نیروی سطحی)
- همواره عمود بر سطح جسم (متناسب با مولفه عمودی نیرو عمود بر سطح)
- راستا و جهت ندارد
- به بیانی فشار در یک ارتفاع از سیال، مستقل از جهت اعمال نیرو است



- اندازه فشار مستقل از شکل ظرف می باشد.



تغییرات فشار با عمق سیال



در سیال ساکن: همه نقاط سیال باید در تعادل ایستایی قرار دارند

$$\sum \vec{F} = 0 \begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum F_z = 0 \end{cases}$$

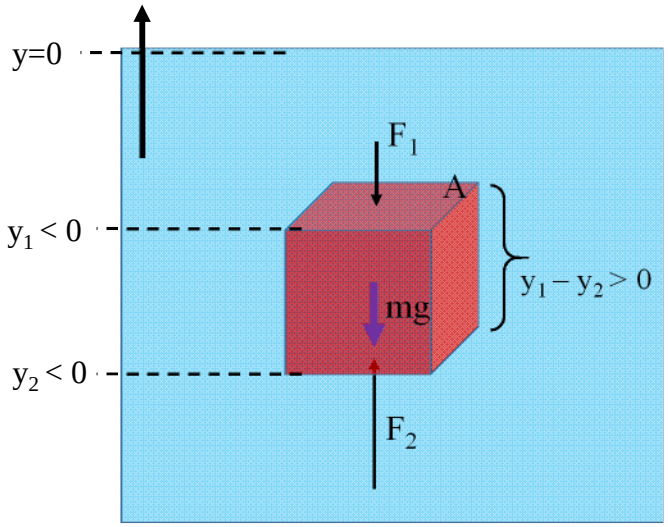
نیروها در سیالات

نیروی حجمی: نیروی وزن

نیروی سطحی: نیروی فشاری سیال که به همه سطوح درون آب به صورت عمودی وارد می شود

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \rightarrow F_3 - F_4 = 0 \rightarrow F_3 = F_4 \\ \sum F_y = 0 \rightarrow F_2 - F_1 - mg = 0 \rightarrow F_2 = F_1 + mg \\ \sum F_Z = 0 \rightarrow F_5 - F_6 = 0 \rightarrow F_5 = F_6 \end{cases}$$

$$F_2 = F_1 + mg \rightarrow P_2 A = P_1 A + mg$$



$$m = \rho V = \rho (y_1 - y_2) A$$

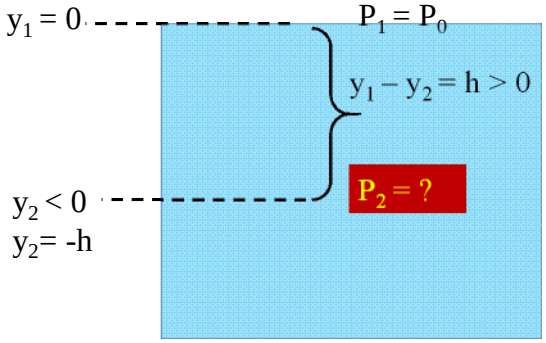
$$P_2 A = P_1 A + mg$$

$$P_2 A = P_1 A + \rho A (y_1 - y_2) g$$

$$P_2 = P_1 + \rho (y_1 - y_2) g$$

پیرامون فشار

۱- فشار در عمق سیال



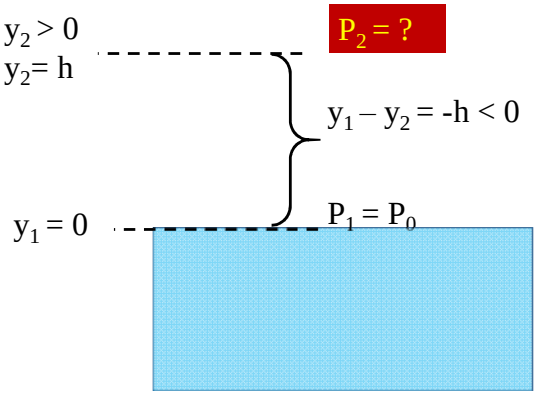
$$P_2 = P_1 + \rho(y_1 - y_2)g$$

$$P(h) = P_0 + \rho gh$$

- فشار در عمق یکسان از سیال، یکسان است
- با افزایش عمق، فشار به صورت خطی زیاد می شود

پیرامون فشار

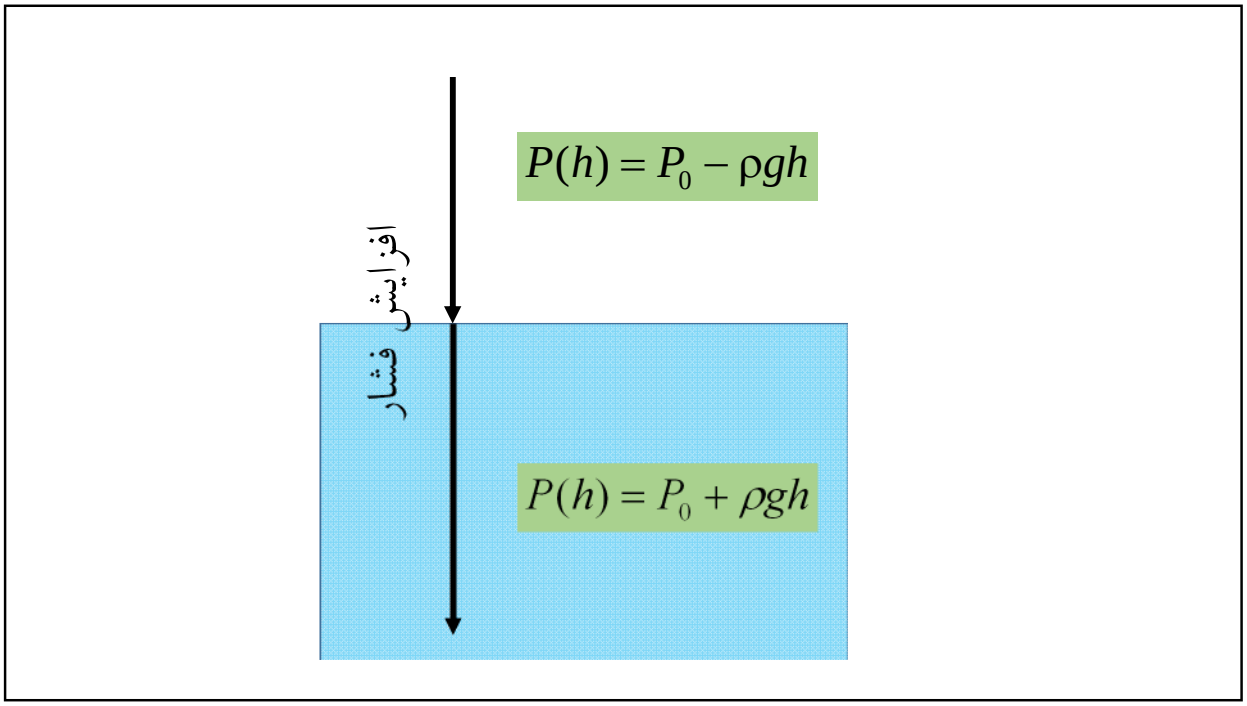
۲- فشار در ارتفاع سیال



$$P_2 = P_1 + \rho(y_1 - y_2)g$$

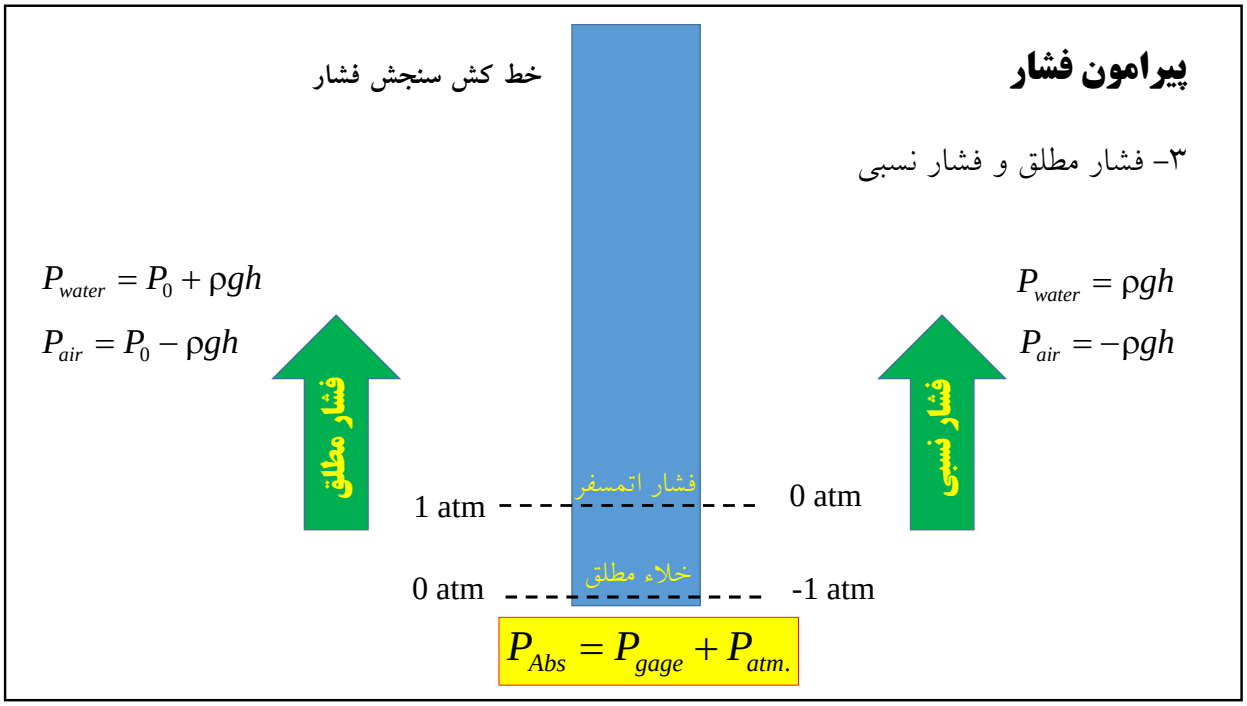
$$P(h) = P_0 - \rho gh$$

- فشار در ارتفاع های یکسان، یکسان است
- با افزایش ارتفاع، فشار به صورت خطی کم می شود



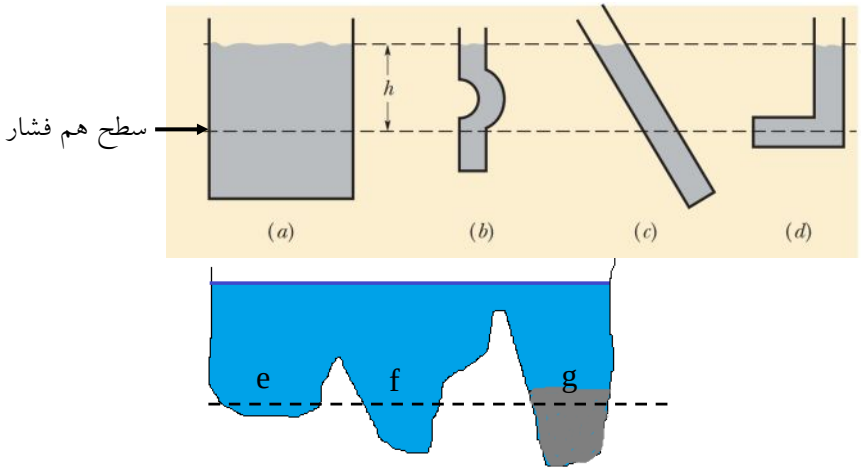
پیرامون فشار

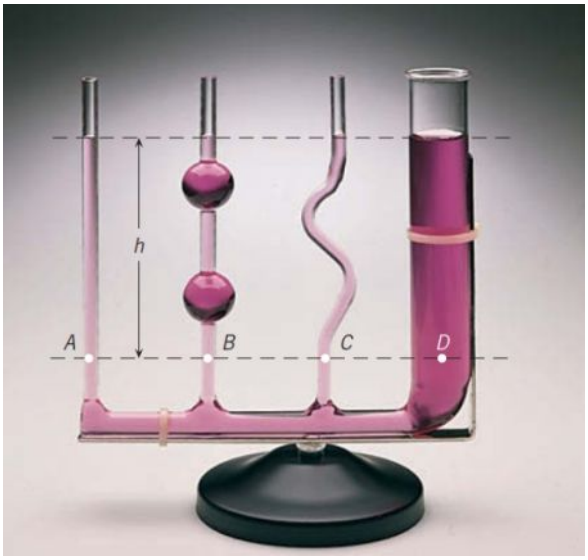
۳- فشار مطلق و فشار نسبی



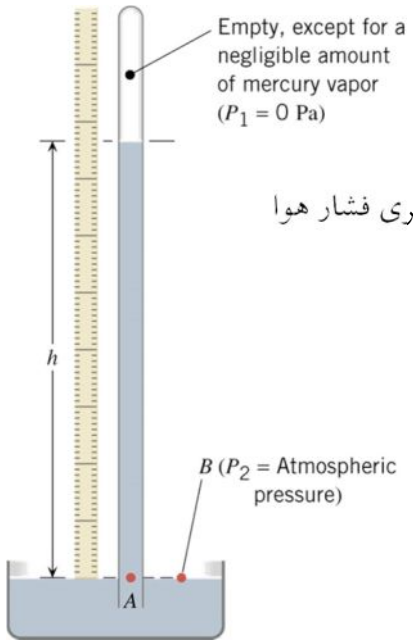
پیرامون فشار

٤- فشار نقاط هم ارتفاعی که توسط یک مایع به همدیگر متصل می شوند یکسان خواهد بود.





پیرامون فشار



۵- روشهای اندازه گیری فشار سیال (مبتنی بر مواد سیال):

الف) بارومتر جیوه ای (Mercury Barometer): برای اندازه گیری فشار هوا

$P_A = P_B = P_{atm}$

$P_A = P_1 + \rho_{Hg}gh = \rho_{Hg}gh$

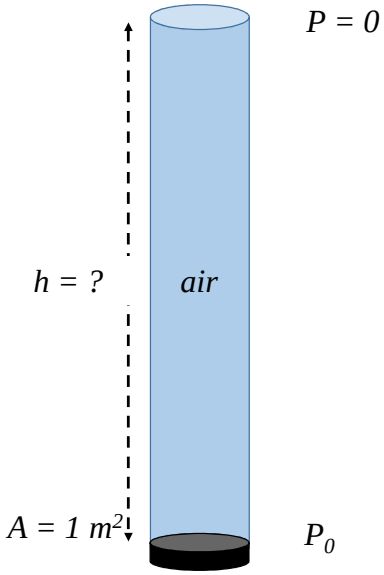
$\Rightarrow P_{atm} = \rho gh$

Exp: h= 76 cm

$P_{atm} = 13.6\times10^3\times0.76\times9.8 =$

$P_{atm} = 101293\ Pa \approx 10^5\ Pa$

پیرامون فشار



۶- فشار اتمسفر:

فشار روی سطح زمین ناشی از وزن هوای بالای سطح زمین

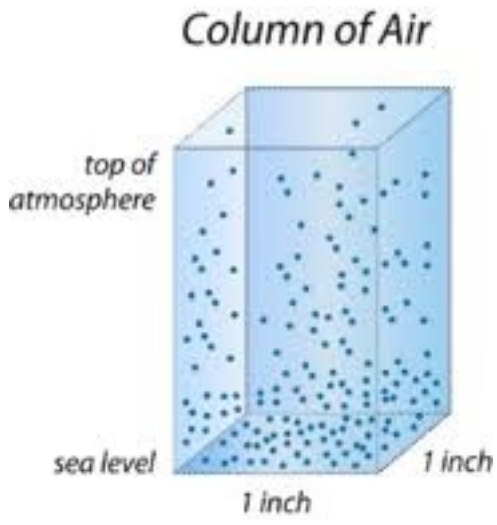
$P_0 = 1.00\ atm = 1.013\times10^5\ Pa$

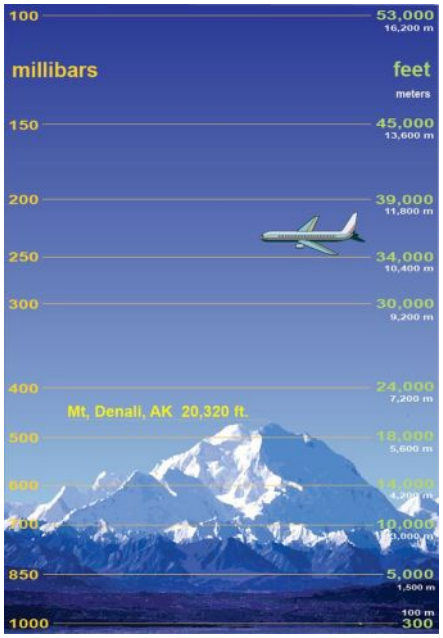
$W_{air} = mg$

$$P_0 = \frac{W_{air}}{A}$$

واحد فشار : پاسکال Pa

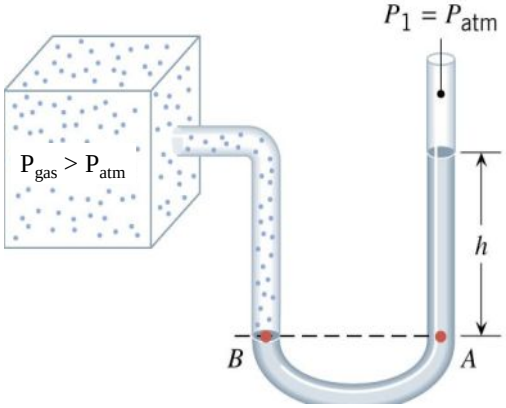
$1\ Pa \sim 10^{-5}\ atm$





پیرامون فشار

۷- روشهای اندازه گیری فشار سیال (مبتنی بر مواد سیال):



ب) مانومتر: اندازه گیری فشار گاز محبوس در ظرفی

$P_{gas} = P_B$

$P_B = P_A$

$P_A = \rho_{Hg}gh + P_{atm}$

$$P_{gas} = P_{atm} + \rho_{Hg}gh$$

اگر $P_{gas} < P_{atm}$ باشد آنگاه

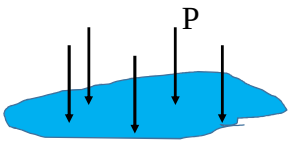
$$P_{gas} = P_{atm} - \rho_{Hg}gh$$

پیرامون فشار

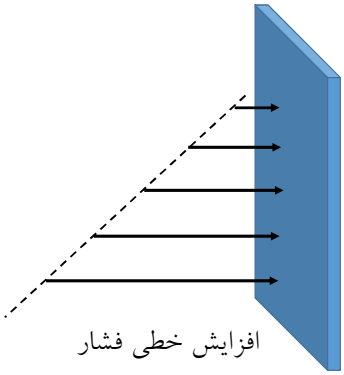
۸- پروفایل فشار:

نمودار تغییرات فشار سیال برحسب تغییرات ارتفاع سیال

هرچه فشار کمتر می شود طول خط متناظر کوچکتر و برعکس هرجا فشار افزایش یابد طول خط بلندتر



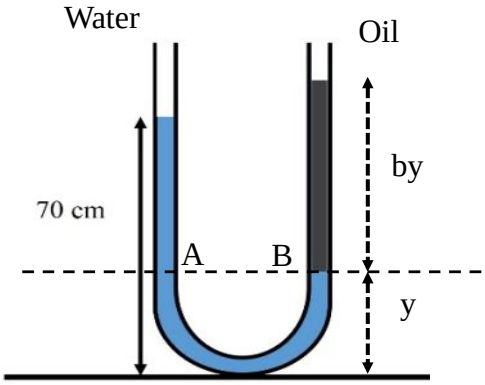
سطح هم ارتفاع= هم فشار



افزایش خطی فشار

مثال

دو سر لوله U شکلی به اتمسفر راه دارد. به یک بازوی آن آب ($\rho_w=10^3\ kg/m^3$) و به بازوی دیگر آن روغن با چگالی $\rho_o= 790\ kg/m^3$ تزریق شده است. در یکی از بازوها ارتفاع آب 70 cm و در بازوی دیگر نسبت ارتفاع روغن به آب b = 3 می‌باشد. ارتفاع آب و روغن را در بازوی دوم حساب کنید.

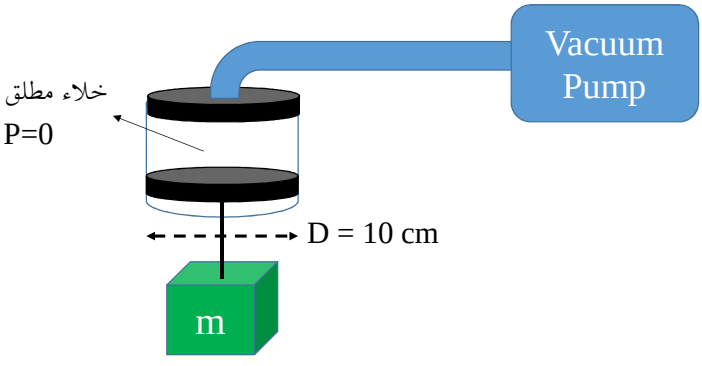


$$P_A = P_B$$

$$P_0+\rho_w g(0.7-y) = P_0+\rho_O g \times by$$

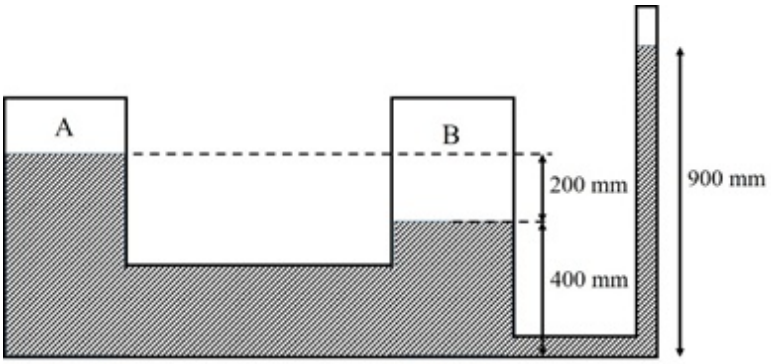
تکلیف ۱-۱:

سیستم بالابر خلا (وکیوم لیفتینگ) زیر حداکثر چه جرمی را می تواند نگهدارد. قطر دهانه مکنده $D = 10\ cm$ است



تکلیف ۱-۲:

لوله یک پیزومتر (لوله سمت راست) به مخزن آبی متصل شده است. ارتفاع آب در لوله ۹۰۰ میلیمتر و بالای آن به اتمسفر متصل است. فشار هوا بالای ستون های آب در سمت چپ و راست A و B را بدست آورید.



Tanks and vessels that carry fluids at normal temperatures and pressures are generally designed to withstand the outward pressure that the fluid within them exerts on their walls. Their construction is usually cylindrical or ellipsoidal, which helps to distribute the hydrostatic forces evenly, and allows these structures to withstand internal pressures much larger than the vacuums needed to collapse them. However, such tanks and vessels often collapse when they are emptied without proper venting. It is also possible to collapse a vented tank, if it is filled with steam and cooled rapidly.

This is by far the most common method of creating an accidental vacuum inside a tank. If a tank is filled with water vapour (e.g. during steam cleaning), the vapour displaces most of the air out of the tank. If the tank is then sealed, the vapour condenses back to water as it cools. A small volume of water is left inside the tank instead of a large volume of water vapour (water occupies approximately $1/1600^{th}$ of the volume of steam). This decreases the internal pressure and brings about the risk of a catastrophic collapse.

But why does the tank collapse? Typically, the pressure both inside and outside the tank is the same, approximately 10^5 Newtons per square meter, or 14.7 pounds per square inch. However, with the air in the tank removed, atmospheric pressure pushes on the external surfaces of the tank, creating an unbalanced situation (see **Figure 1**). At this point, the structural integrity of the tank wall prevents it from collapsing. If the tank wall is thick enough, it will remain stable under a full vacuum. However, if the tank wall is too thin, or there is either a defect or dent in the tank wall, when the even distribution of pressure is lost, stresses will be concentrated at localised points leading to a rapid escalation of the collapse.