موسسه آموزش عالی صنعتی مازندران

آزمایشگاه مکانیک سیالات زیستی

مباحثی که ارائه خواهد شد:

۱- مرور کلی معادلات حاکم بر جریان سیال

۲-آشنایی با دستگاه‌های اندازه گیری دبی سیال

۳- آزمایش رینولدز و تعیین انواع رژیم جریان

٤- آشنایی با انواع فشارسنج

٥- آشنایی با پمپ‌ها

٦- آشنایی با توربین‌ها

۷- آزمایش اندازه گیری چگالی

۸- آزمایش کالیبره کردن پمپ

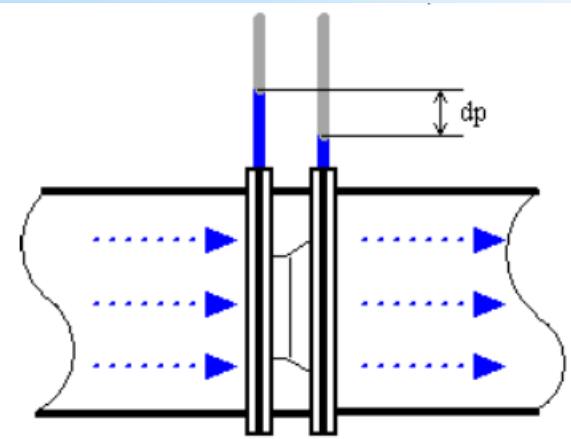
۹- آزمایش کالیبره کردن دبی سنج

۱۰- آزمایش کالیبره کردن دماسنج

مبحث 2- آشنایی با دستگاه های اندازه گیری دبی سیال

انواع مختلفی از دستگاههای دبی سنج وجود دارد که برای اندازه گیری گذر حجمی یا جرمی سیال در لوله ها استفاده می شوند. متداول ترین آنها بر اساس اختلاف فشار سیال کار می کنند و شامل ۴ نوع زیر می باشند:

۱- اریفیس متر Orifice meter
۲- نازل Nozzle
۳- ونتوری متر Venturi meter
۴- رتامتر Rotameter



در همه این وسایل، ابتدا مانعی بر مسیر سیال قرار می گیرد تا سطح مقطع جریان را تغییر دهد. طبق معادله پیوستگی:

$$Q = A.V$$

با کاهش سطح مقطع، افزایش سرعت ایجاد می شود. و طبق معادله برنولی، با افزایش سرعت، افت فشار ایجاد خواهد شد.

مبحث 2- آشنایی با دستگاه های اندازه گیری دبی آب در لوله ها

با ترکیب دو معادله پیوستگی و برنولی، معادله دبی جریان بصورت زیر خواهد شد:

Bernoulli's equation can be written as

$$P_1 + \frac{\rho {V_1}^2}{2} + \gamma Z_1 = P_2 + \frac{\rho {V_2}^2}{2} + \gamma Z_2$$

We assume the flow is horizontal

$$Z_1 = Z_2$$

And the Bernoulli equation becomes

$$P_1 + \frac{\rho {V_1}^2}{2} = P_2 + \frac{\rho {V_2}^2}{2}$$

We also assume the velocity profiles are uniform at sections 1 and 2. The continuity equation and be written as

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

Where A_2 is the smaller flow area$(A_2 < A_1)$. Combining these equations gives and equation for the flow rate in the pipe.

$$Q = A_2 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]}}$$

مبحث 2- آشنایی با دستگاه های اندازه گیری دبی سیال

۱- اریفیس متر:

اریفیس متر، یک صفحه حلقوی است که در مسیر جریان سیال داخل لوله قرار می گیرد. سرعت سیال در عبور از حلقه، افزایش یافته و این اختلاف فشار ایجاد شده و در نهایت دبی حجمی جریان قابل اندازه گیری است.

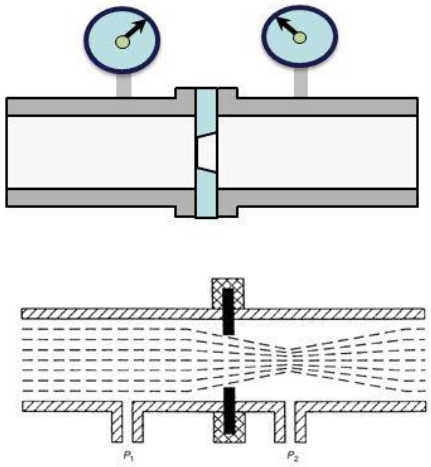
Orifice Plate

- The orifice plate is a metal disc with a concentric hole in it, which is inserted into the pipe carrying the flowing fluid. An orifice can be used as a flow meter by measuring the pressure drop across the orifice.

Q: Flow rate (Liter per minute)

Δp: Pressure drop (kPa)

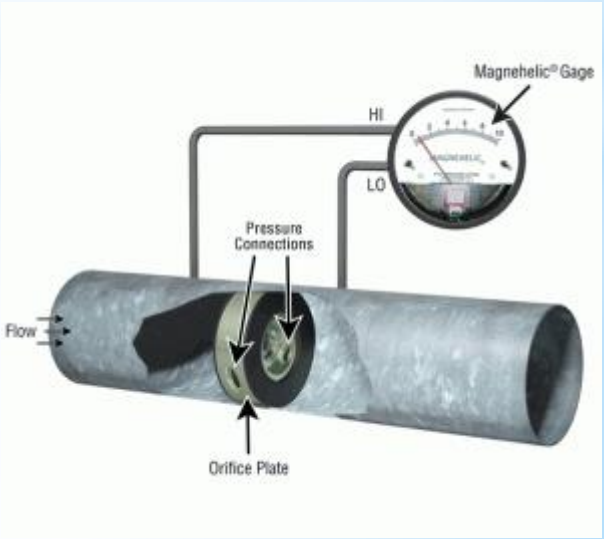
A: Orifice area (mm^2)



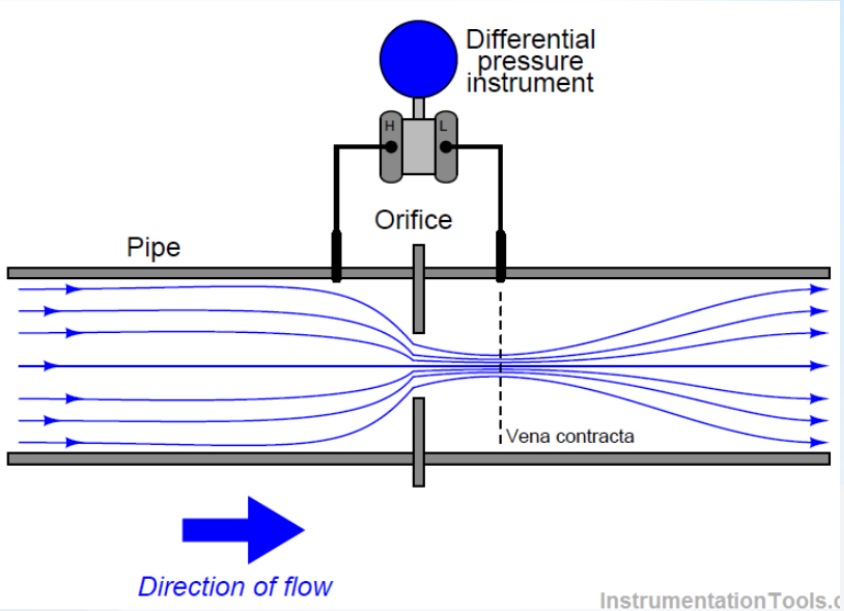
$$Q = K_{Orifice}\sqrt{\Delta p/\rho}$$

$K_{Orifice} = 2.15A$, sharp edge orifice

$K_{Orifice} = 1.61A$, square edge orifice



مبحث 2- آشنایی با دستگاه های اندازه گیری دبی سیال



OPTIBAR DP 7060
with orifice meter run assembly

DP flowmeter for volume flow measurement of liquids, gases and steam

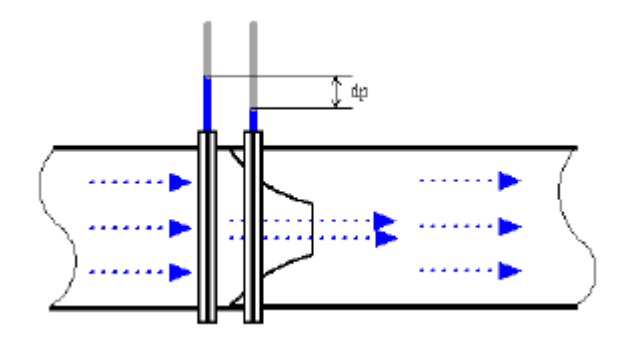
- For small line sizes
- Up to +400°C / +752°F; max. 160 bar / 2320.1 psi; (line pressure)
- Sizes: DN15…100 / ¾…2"
- 2-wire 4…20 mA/HART®, FF, Profibus-PA

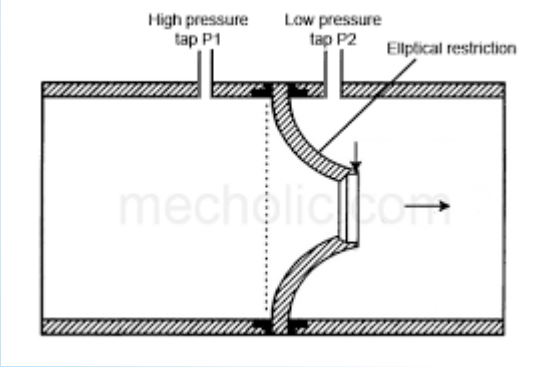
مبحث 2- آشنایی با دستگاه های اندازه گیری دبی سیال

۲- نازل:

اساس کار نازل مشابه با اریفیس است اما با این تفاوت که در عبور از نازل بجای اینکه جریان دچار انقباض ناگهانی شود، دچار انقباض تدریجی می شود. بنابراین افت فشار کمتری در سیال ایجاد می شود.

برای سیالات در سرعتهای زیاد استفاده می شوند.

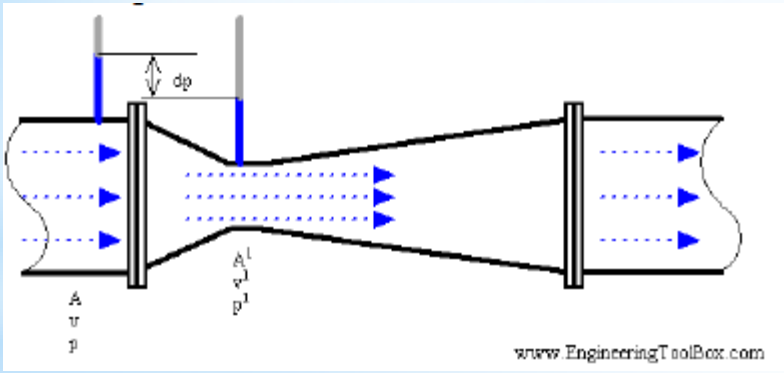


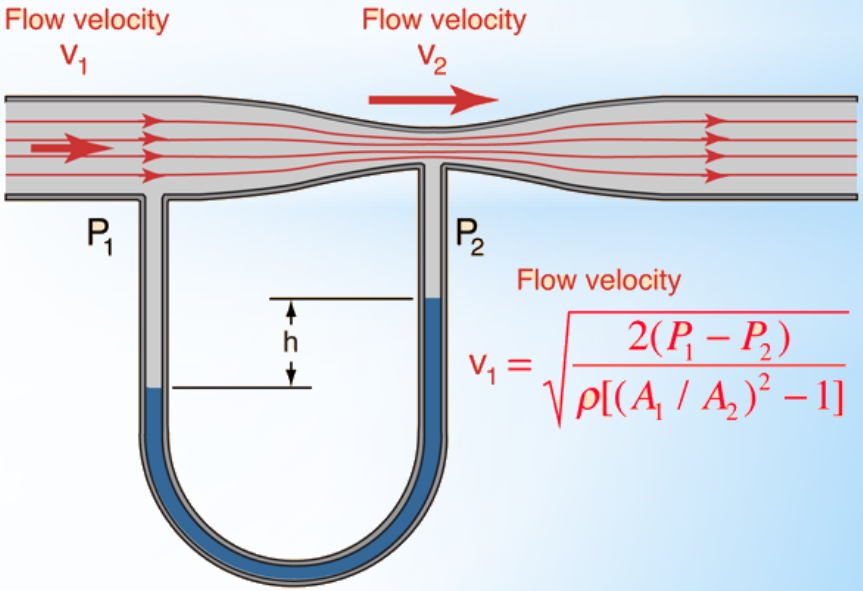


مبحث 2- آشنایی با دستگاه های اندازه گیری دبی آب در لوله ها

۳- ونتوری متر

ونتوری قسمتی از لوله است که بصورت همگرا-واگرا می باشد که سبب یک انقباض و انبساط تدریجی در مسیر جریان می گردد. این انقباض و انبساط تدریجی سبب کاهش نیروی اصطکاک و کاهش افت فشار سیال می شود.





مبحث 2- آشنایی با دستگاه های اندازه گیری دبی سیال

Orifice Flowmeter

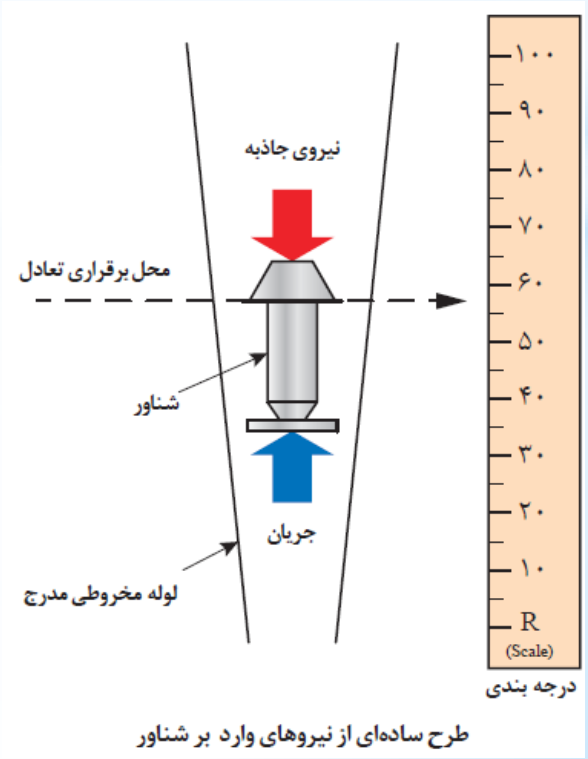
Nozzle Flowmeter

Venturi Flowmeter

مبحث 2- آشنایی با دستگاه های اندازه گیری دبی آب در لوله ها

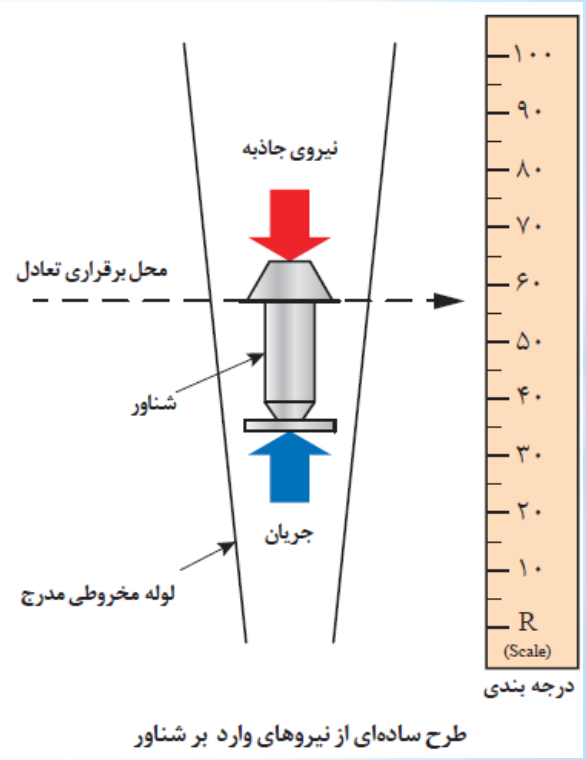
۴- رتامتر

یک لوله عمودی شفاف است حاوی یک جسم شناور که در مسیر جریان سیال قرار می گیرد. مسیر جریان باید از پایین به سمت بالا باشد. هنگامی که نیروی وارده از طرف سیال به جسم شناور، با نیروی وزن و نیروی شناوری در تعادل قرار گیرد، جسم شناور در نقطه ای ثابت می ماند. آن محل مدرج بوده و از روی آن دبی جریان خواند می شود.



طرح ساده‌ای از نیروهای وارد بر شناور

مبحث 2- آشنایی با دستگاه های اندازه گیری دبی آب در لوله ها

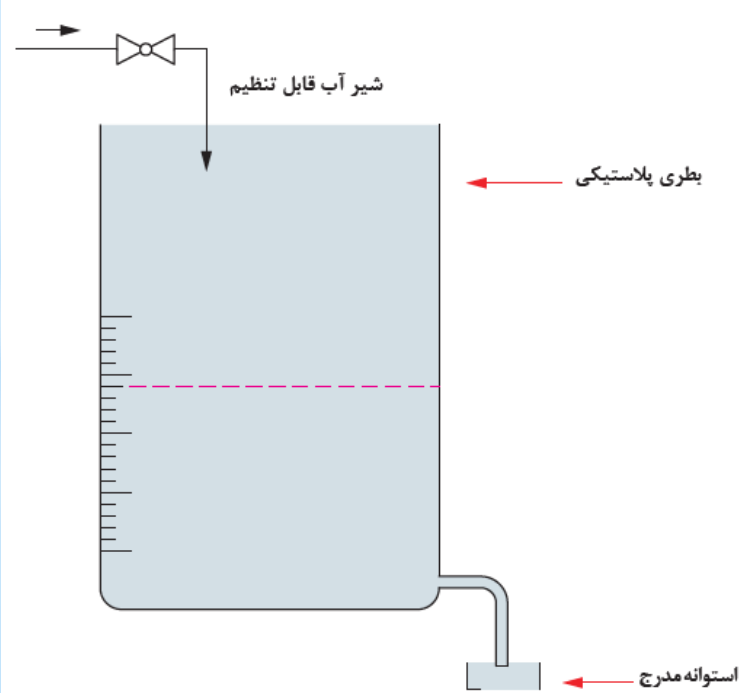


طرح ساده‌ای از نیروهای وارد بر شناور

مبحث 2- آشنایی با دستگاه های اندازه گیری دبی آب در لوله ها

کالیبره کردن دبی سنج: آیا دبی سنج دقیق کار می کند؟

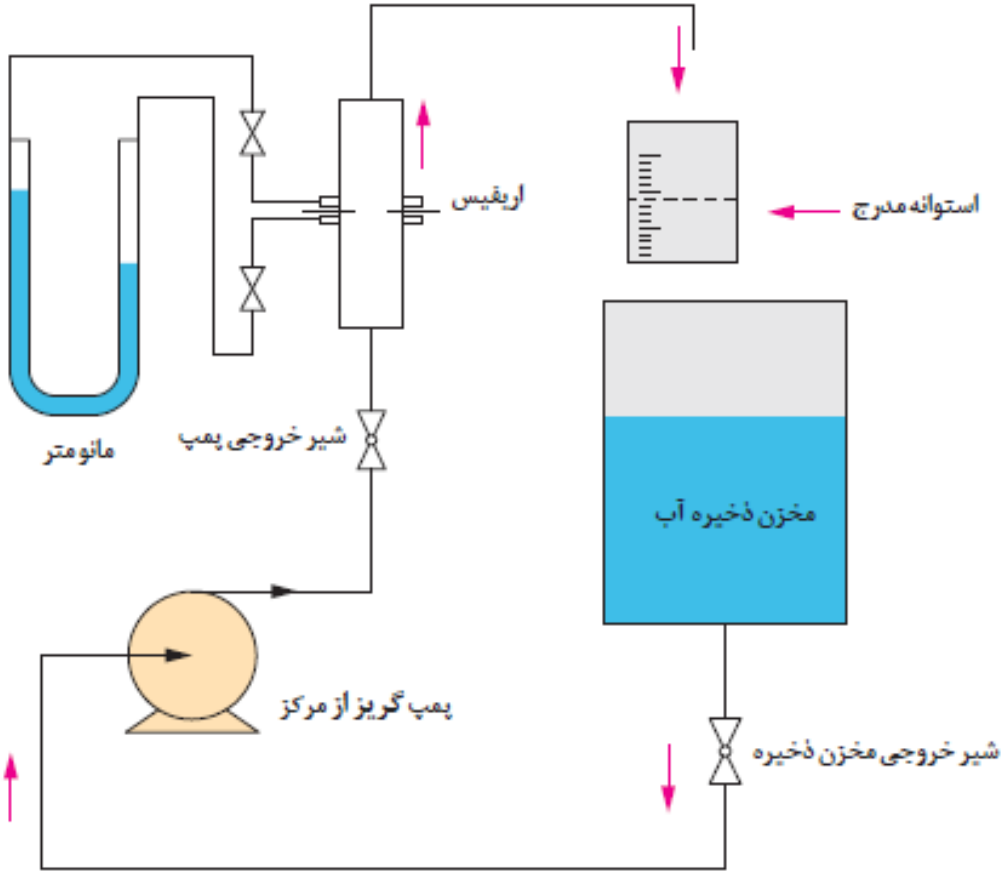
معمولاً ساده ترین روش کالیبره کردن، استفاده از کرنومتر و استوانه مدرج است.



طرح ساده‌ای از آزمایش جریان‌سنج آب

مبحث 2- آشنایی با دستگاه های اندازه گیری دبی آب در لوله ها

آزمایش اندازه گیری دبی سیال با استفاده از اریفیس:



اندازه‌گیری جریان سیالات به‌وسیله صفحه اریفیس متر

وسایل لازم:

۱ـ مخزن ذخیرهٔ آب؛

۲ـ پمپ (از نوع گریز از مرکز)؛

۳ـ شیر تنظیم کننده؛

۴ـ اریفیس متر؛

۵ـ استوانه مدرج؛

۶ـ زمان سنج؛

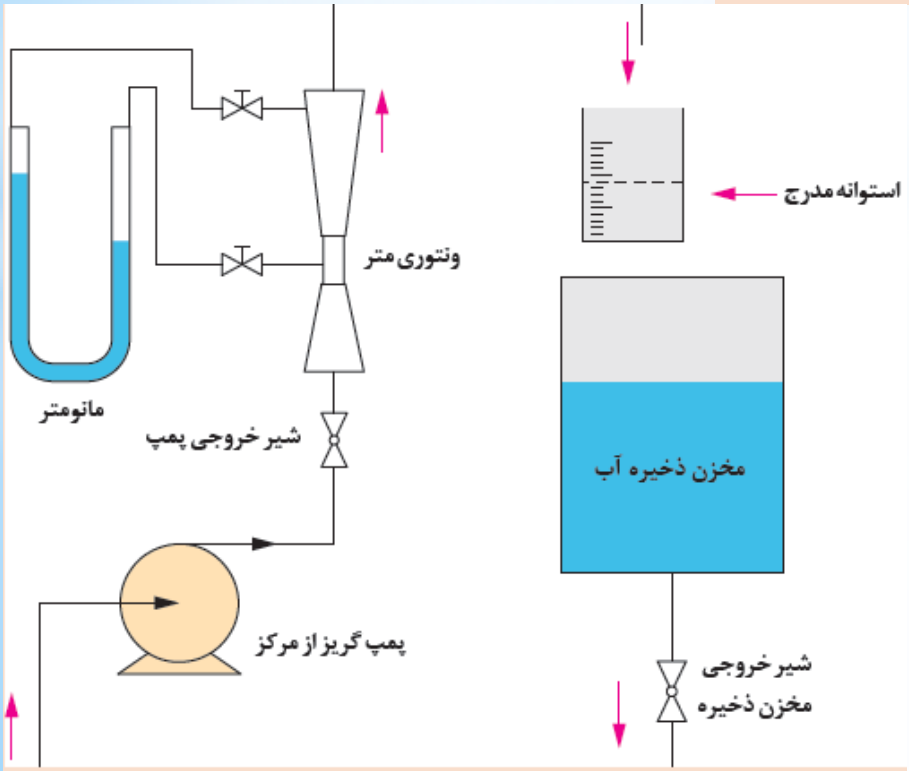
مبحث 2- آشنایی با دستگاه های اندازه گیری دبی آب در لوله ها

آزمایش اندازه گیری دبی سیال با استفاده از ونتوری:

اندازه گیری دبی سیال با ونتوری متر

وسایل لازم:

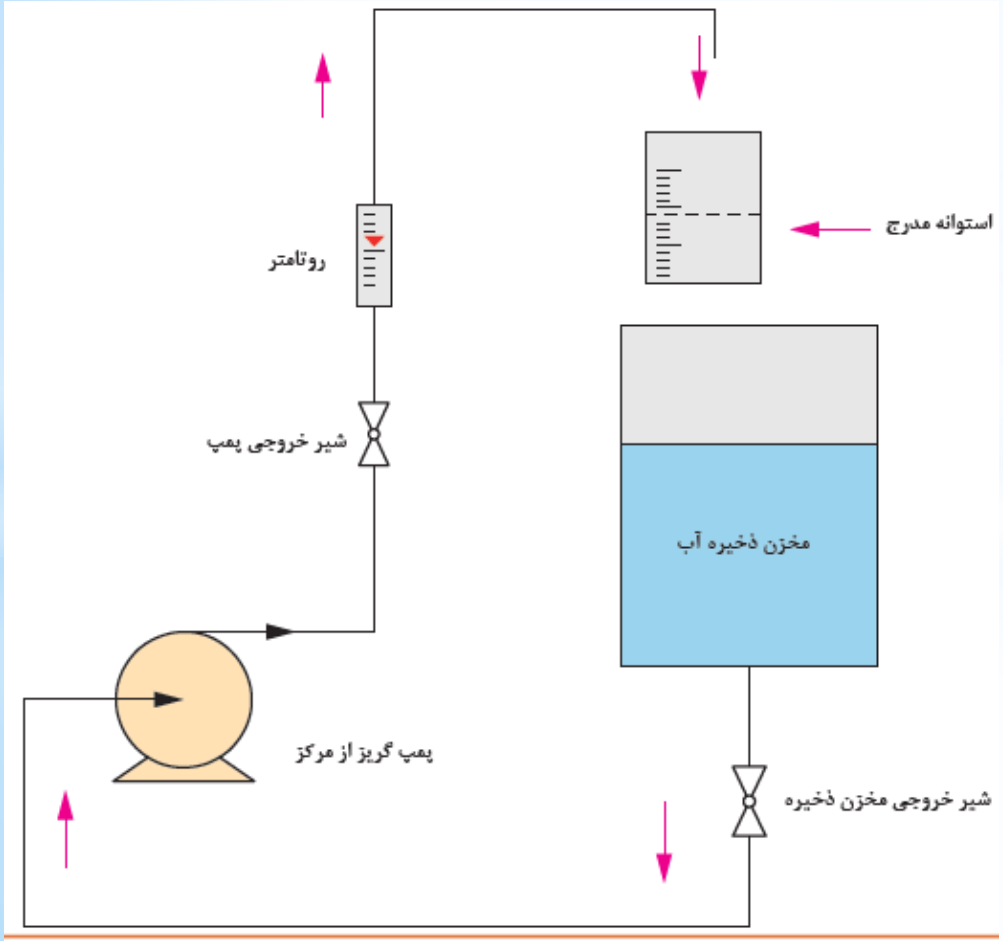
1- مخزن ذخیرهٔ آب؛ ۲ـ پمپ (از نوع گریز از مرکز)؛ ۳ـ شیر تنظیم‌کننده؛
۴ـ ونتوری‌متر؛ ۵ـ استوانهٔ مدرج؛ ۶ـ زمان‌سنج دقیق.



طرح ساده ای از آزمایش اندازه‌گیری دبی سیال با ونتوری متر

مبحث 2- آشنایی با دستگاه های اندازه گیری دبی آب در لوله ها

آزمایش اندازه گیری دبی سیال با استفاده از رتامتر:



طرح ساده‌ای از آزمایش دبی سیال با روتامتر

اندازه‌گیری دبی سیال با روتامتر

وسایل لازم:

۱ـ مخزن ذخیرهٔ آب؛

۲ـ پمپ (از نوع گریز مرکز)؛

۳ـ شیر تنظیم کننده؛

۴ـ روتامتر؛

۵ـ استوانه مدرج؛

۶ـ زمان سنج[1].

مبحث 3- آزمایش رینولدز و تعیین انواع رژیم جریان

تعریف عدد رینولدز:

نسبت نیروی اینرسی به نیروی لزجی سیال را نشان می دهد.

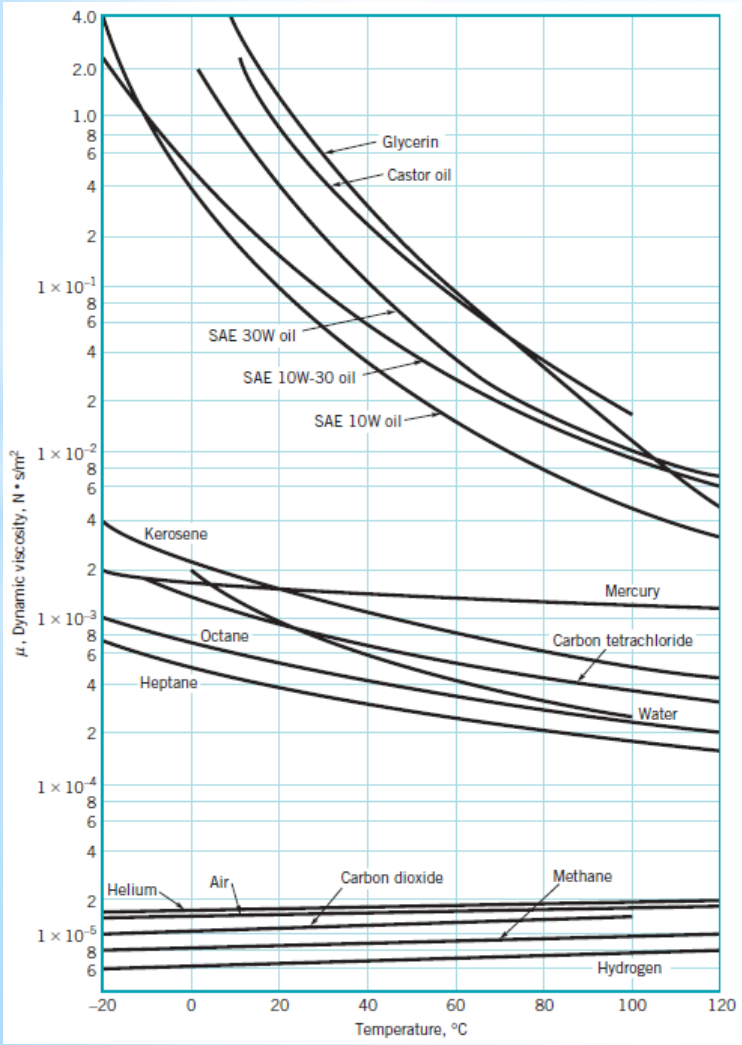
ρ چگالی سیال

μ لزجت دینامیکی سیال

D قطر لوله

V سرعت جریان سیال

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$



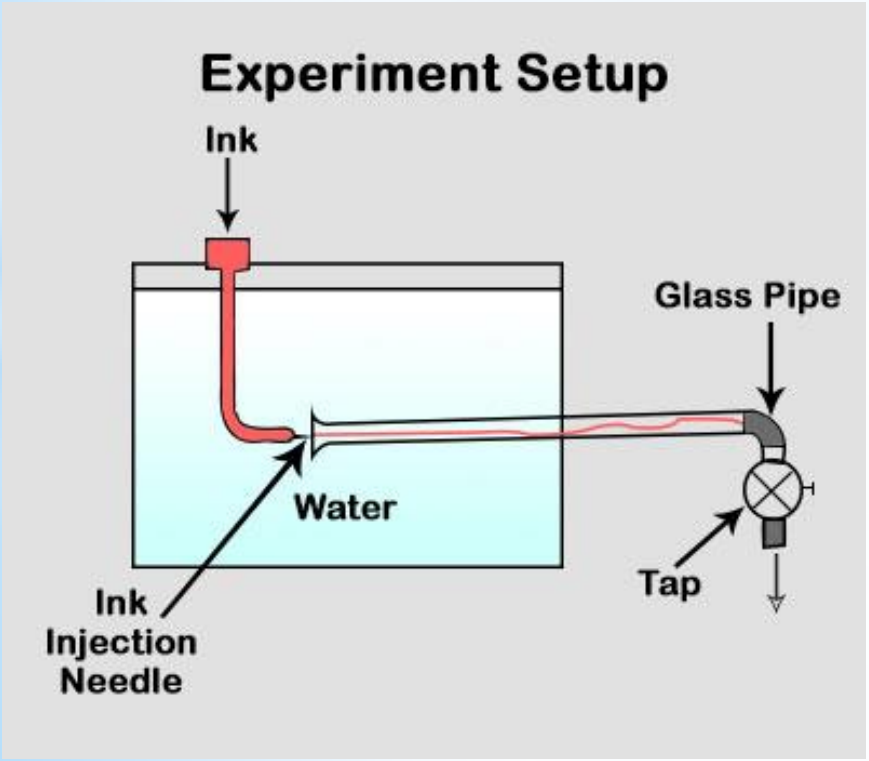
Physical Properties of Wat

Temperature (°C)	Density, ρ (kg/m^3)
0	999.9
5	1000.0
10	999.7
20	998.2
30	995.7
40	992.2
50	988.1
60	983.2
70	977.8
80	971.8
90	965.3
100	958.4

مبحث 3- آزمایش رینولدز و تعیین انواع رژیم جریان

آزمایش رینولدز:

آزمایش رینولدز، که برای نشان دادن نوع رژیم جریان بکار می رود، اولین بار توسط رینولدز در ۱۸۸۳ از نظر کیفی توصیف گردید.



انواع رژیم جریان: (برای جریان در در لوله ها)

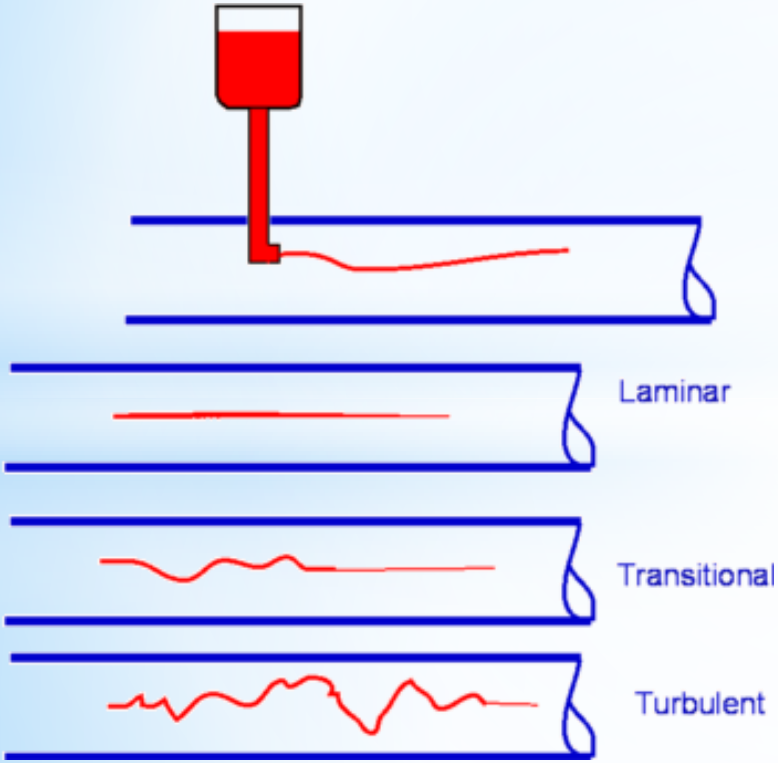
۱- آرام $Re<2300$

۲- گذرا $2300<Re<4000$

۳- درهم $Re>4000$

مبحث 3- آزمایش رینولدز و تعیین انواع رژیم جریان

با بازکردن هر چه بیشتر شیر، مطابق رابطه Q=V.A ، Q زیاد شده و این به معنی افزایش V است. بنابراین عدد Re افزایش می یابد و الگوی رفتار جریان تغییر می کند و کم کم از حالت آرام، به گذرا و سپس درهم تبدیل می شود.



انواع رژیم جریان: (برای جریان در در لوله ها)

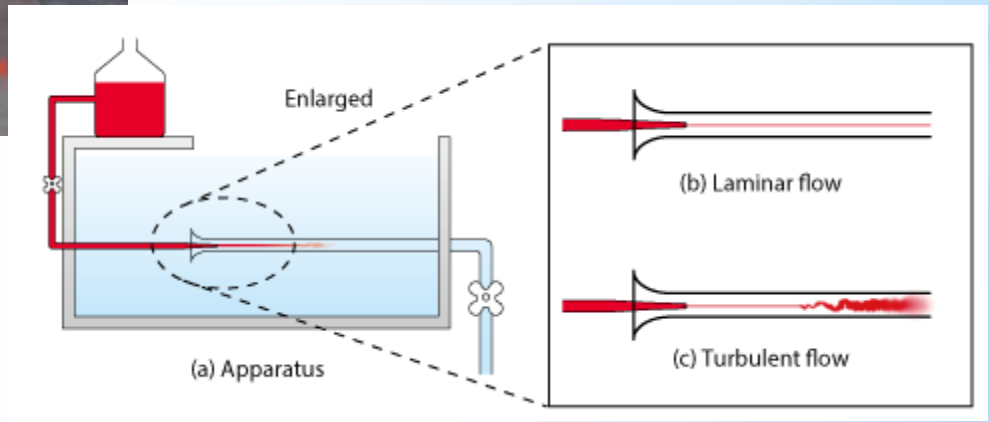
۱- آرام (laminar) Re<2300

۲- گذرا (transient) 2300<Re<4000

۳- درهم (turbulent) Re>4000

مبحث 3- آزمایش رینولدز و تعیین انواع رژیم جریان

دستگاه آزمایش رینولدز:

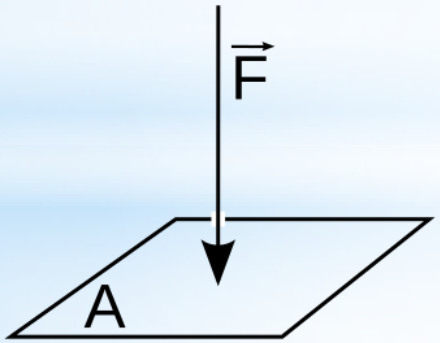


مبحث 4- آشنایی با انواع فشارسنج

تعریف فشار:

یک کمیت اسکالر است که به صورت نیرو بر واحد سطح تعریف می‌شود. به نیروی عمودی وارد شده بر یکای مساحت یک سطح فشار گفته می‌شود. یک پاسکال با یک نیوتون بر مترمربع N/m^2 برابر است.

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



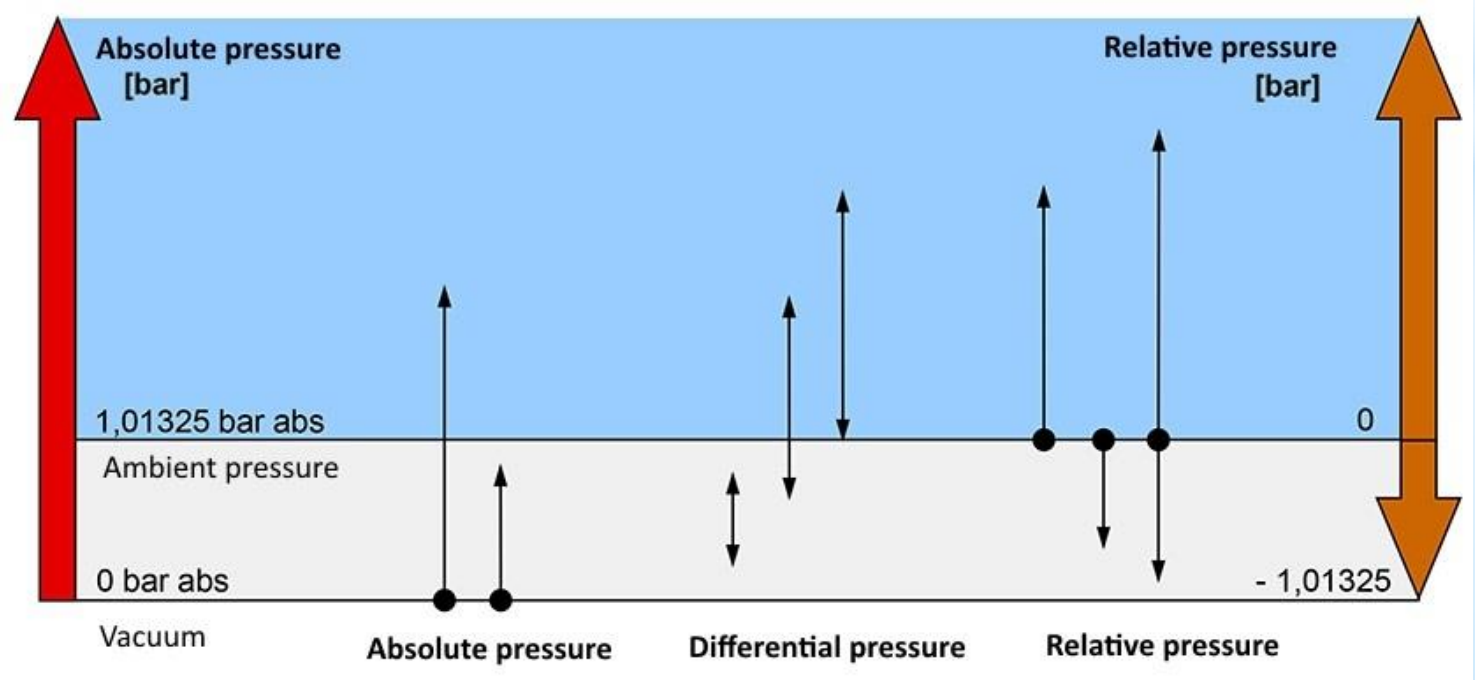
مبحث 4- آشنایی با انواع فشارسنج

انواع فشار:

- فشار مطلق : فشاری است که نسبت به فشار صفر (خلا کامل) سنجیده می شود.
- فشار نسبی : فشاری است که نسبت به فشار اتمسفر سنجیده می شود.
- فشار اتمسفر: فشار جو در کنار سطح دریا می باشد.

Patm=101325 Pa= 76 cm Hg= 10.33 m H2O

- فشار خلا: هر فشاری که کمتر از فشار اتمفسر باشد، فشار خلا نامیده می شود.

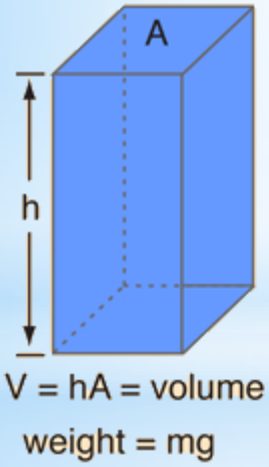


مبحث 4- آشنایی با انواع فشارسنج

معادله فشار سیال ساکن:

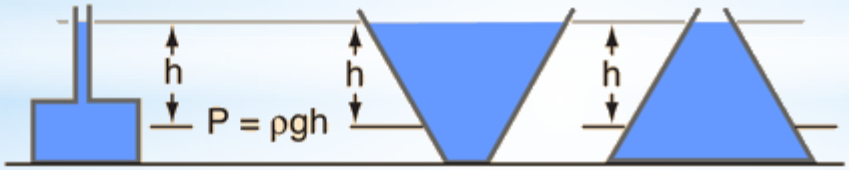
$$P = \rho g H$$

ρ چگالی سیال
g شتاب ثقل
H ارتفاع سیال



Static fluid pressure does not depend on the shape, total mass, or surface area of the liquid.

$$\text{Pressure} = \frac{\text{weight}}{\text{area}} = \frac{mg}{A} = \frac{\rho V g}{A} = \rho g h$$



معادله فشار در سیال دارای حرکت:

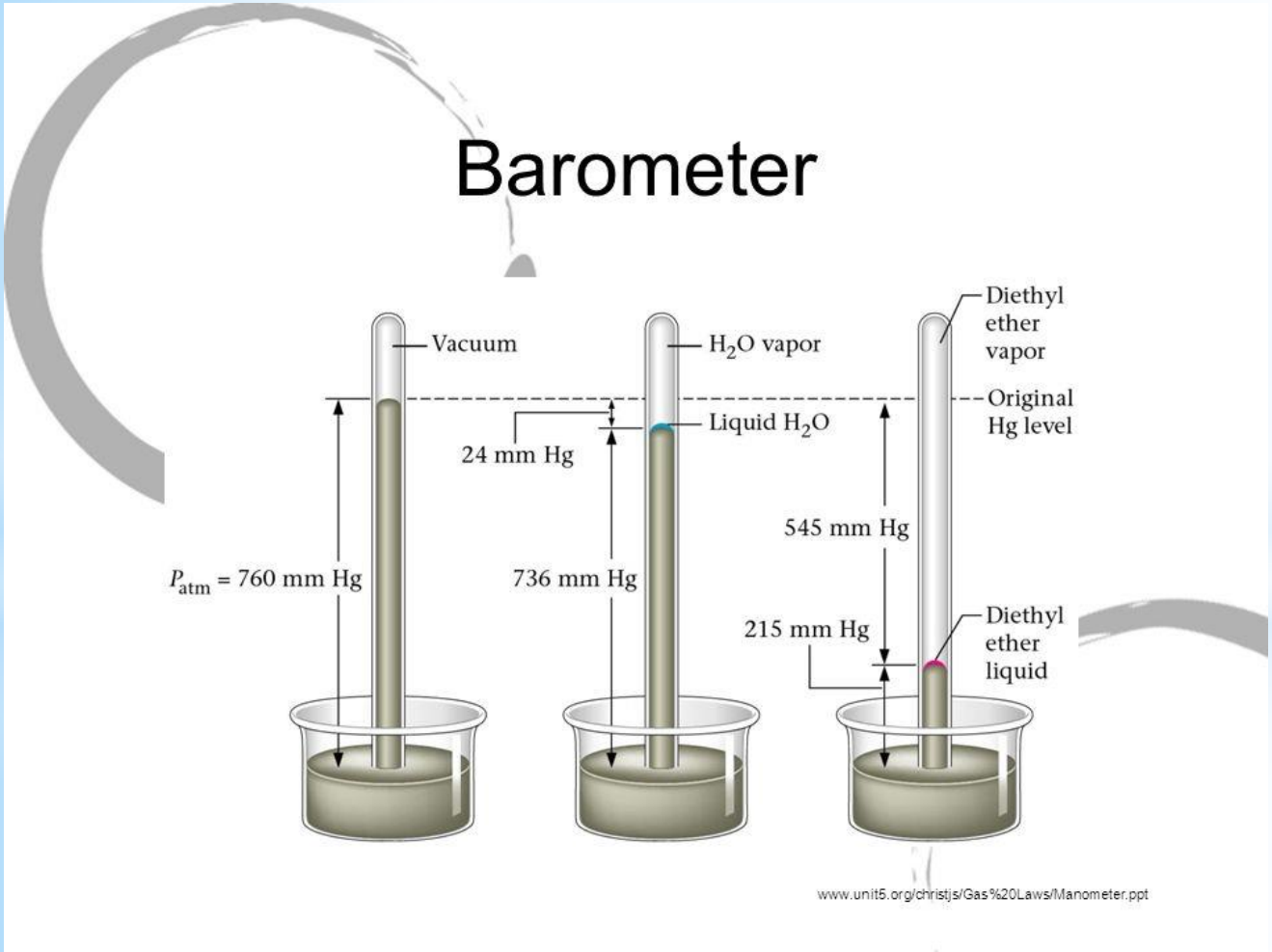
$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z = cte$ همان معادله برنولی است.

انواع فشارسنج ها:

۱- بارومتر: اندازه گیری فشار اتمسفر barometer
۲- فشارسنج بوردون: اندازه گیری فشار نسبی Bourdon gauge
۳- مانومتر: اندازه گیری فشار نسبی manometer
۴- پیزومتر: اندازه گیری فشار نسبی pizometer
۵- فشارسنج خون Sphygmomanometer

۱- بارومتر:

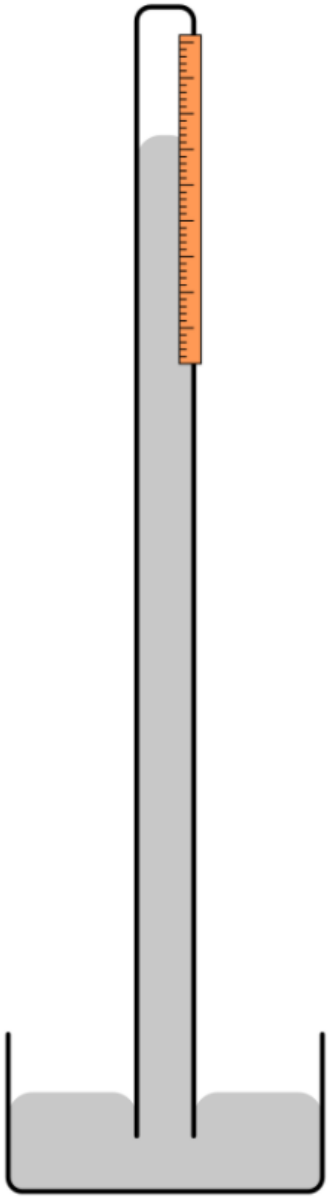
اندازه گیری فشار اتمسفر

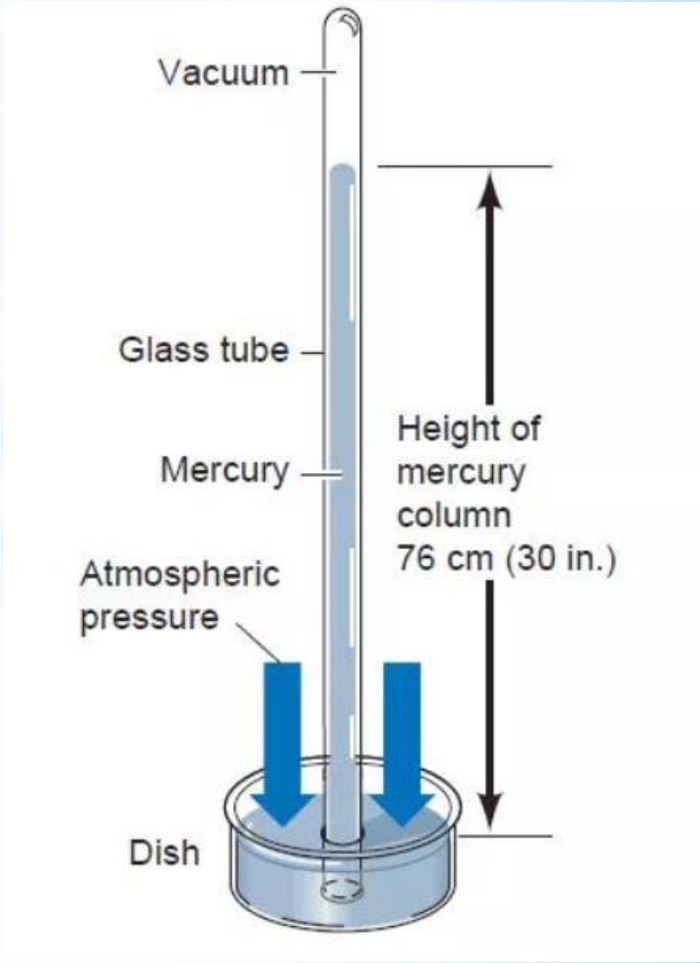


در یک سیال ساکن پیوسته، فشار نقاط هم ارتفاع با هم برابر است.

مبحث 4- آشنایی با انواع فشارسنج

۱- بارومتر:





مبحث 4- آشنایی با انواع فشارسنج

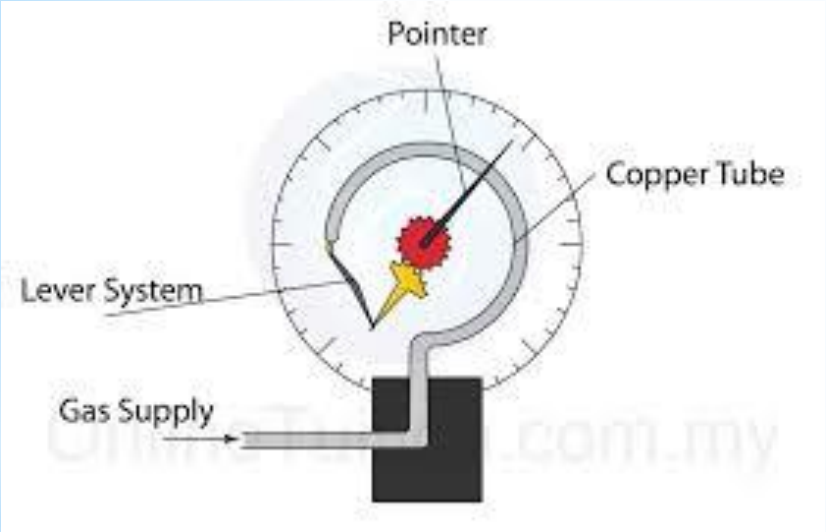
۱- بارومتر:

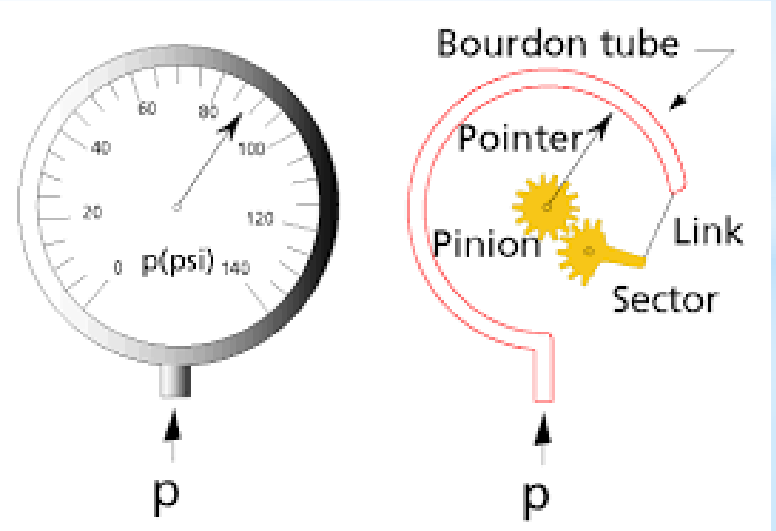
Standard atmospheric pressure as a function of elevation:

P_{atm} / kPa	Altitude		P_{atm} / inHg	Altitude
101.325	Sea Level (0m)		29.92	Sea Level (0 ft)
97.71	305 m		28.86	**1,000 ft**
94.21	610 m		27.82	**2,000 ft**
89.88	**1,000 m**		26.55	3,281 ft
84.31	1,524 m		24.90	**5,000 ft**
79.50	**2,000 m**		23.48	6,562 ft
69.68	3,048 m		20.58	**10,000 ft**
54.05	**5,000 m**		15.96	16,404 ft
46.56	6,096 m		13.75	**20,000 ft**
37.65	7,620 m		11.12	**25,000 ft**
32.77	8,848 m*		9.68	29,029 ft*
26.44	**10,000 m**		7.81	32,808 ft
11.65	15,240 m		3.44	**50,000 ft**
5.53	**20,000 m**		1.63	65,617 ft

مبحث 4- آشنایی با انواع فشارسنج

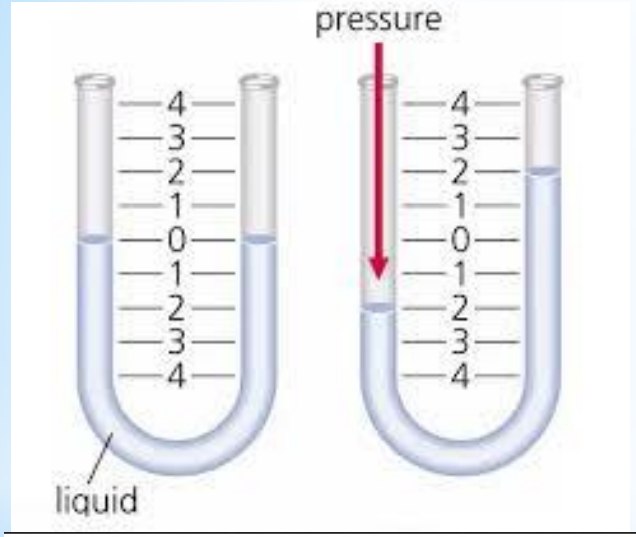
۲- فشارسنج بوردون: اندازه گیری فشار نسبی

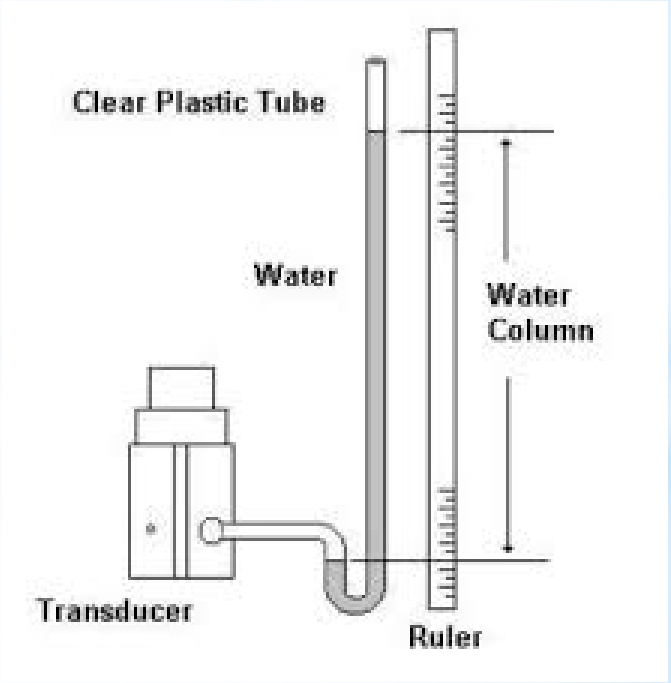


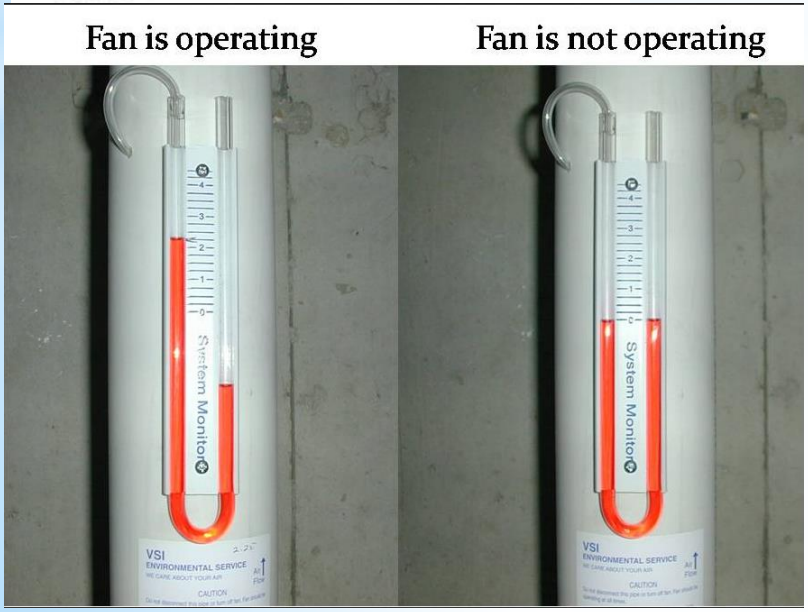


مبحث 4- آشنایی با انواع فشارسنج

۳- مانومتر: اندازه گیری فشار نسبی

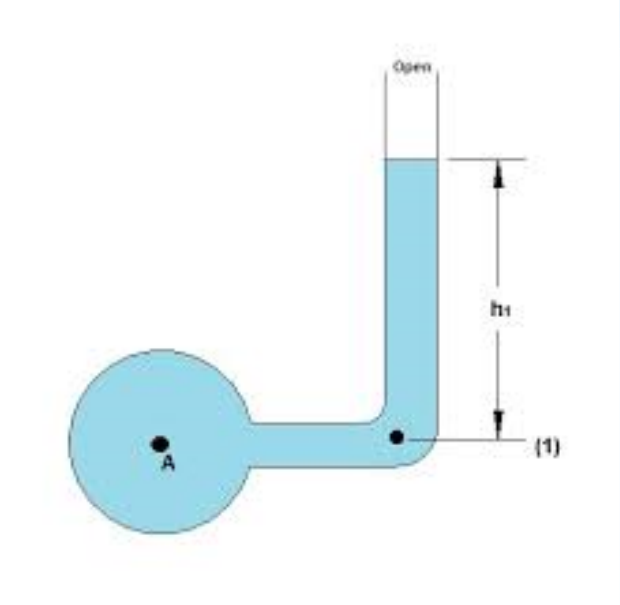


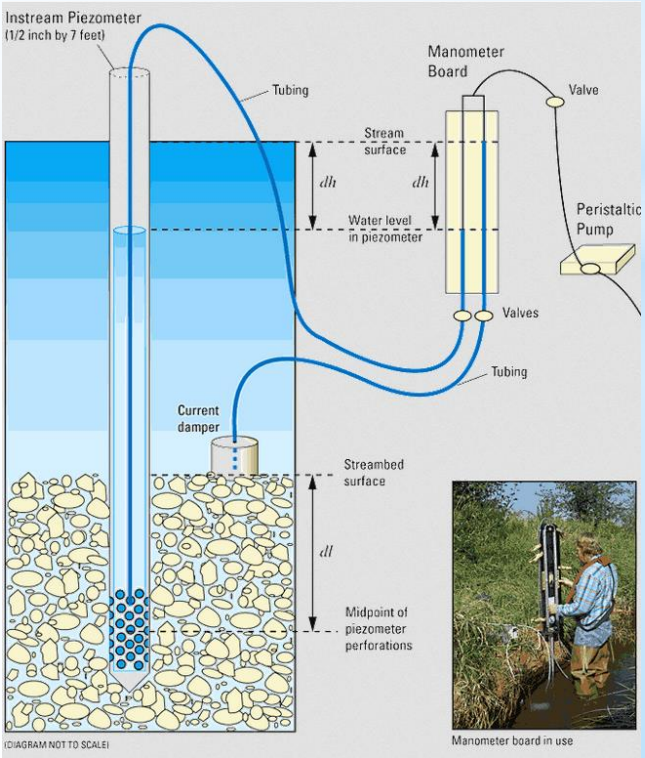




مبحث 4- آشنایی با انواع فشارسنج

۴- پیزومتر: اندازه گیری فشار نسبی بر اساس ارتفاع ستون مایع
معمولا جهت اندازه‌گیری فشار آب زیرزمینی در یک نقطه مشخص به کار می‌رود. پیزومتر برای اندازه‌گیری فشار ایستا طراحی شده است.
در سازه های هیدرولیکی کاربرد زیادی دارد.

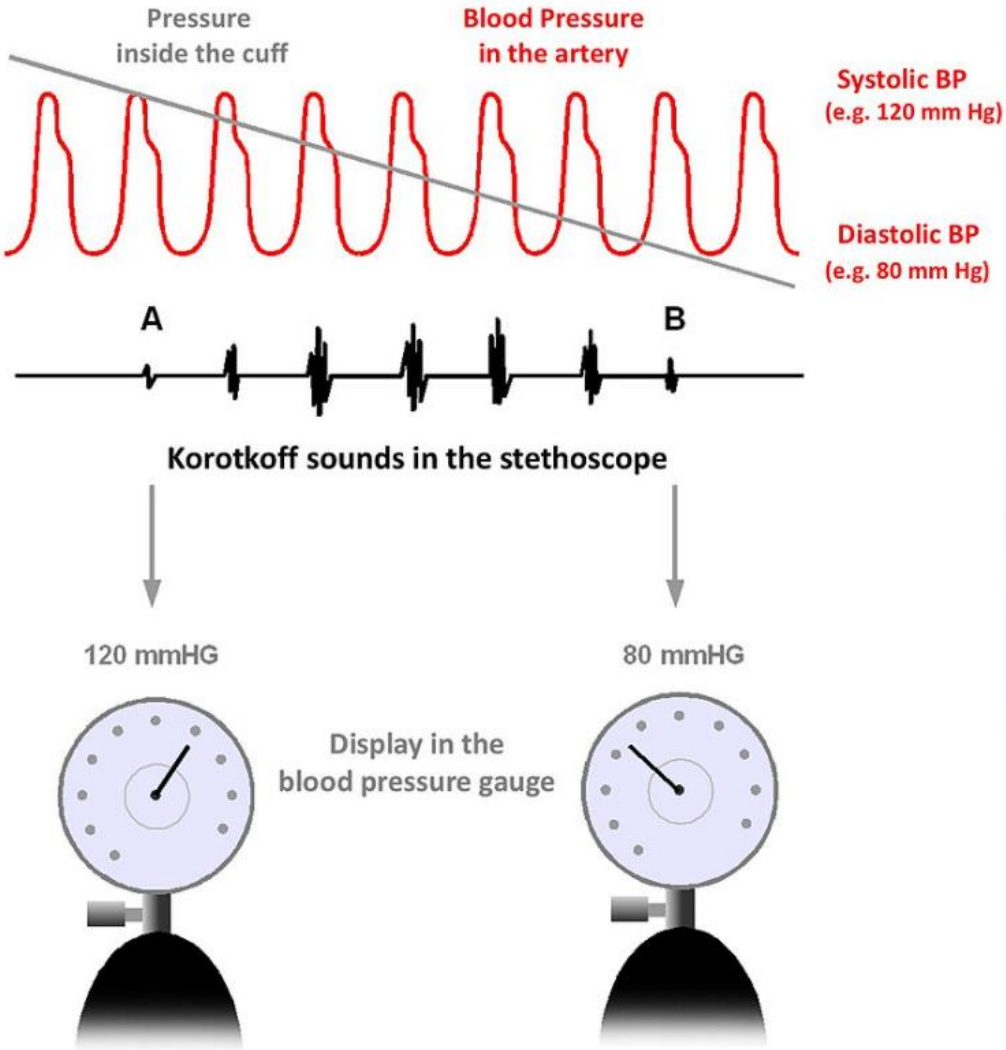




مبحث 4- آشنایی با انواع فشارسنج

۵- فشارسنج خون

مبحث 4- آشنایی با انواع فشارسنج

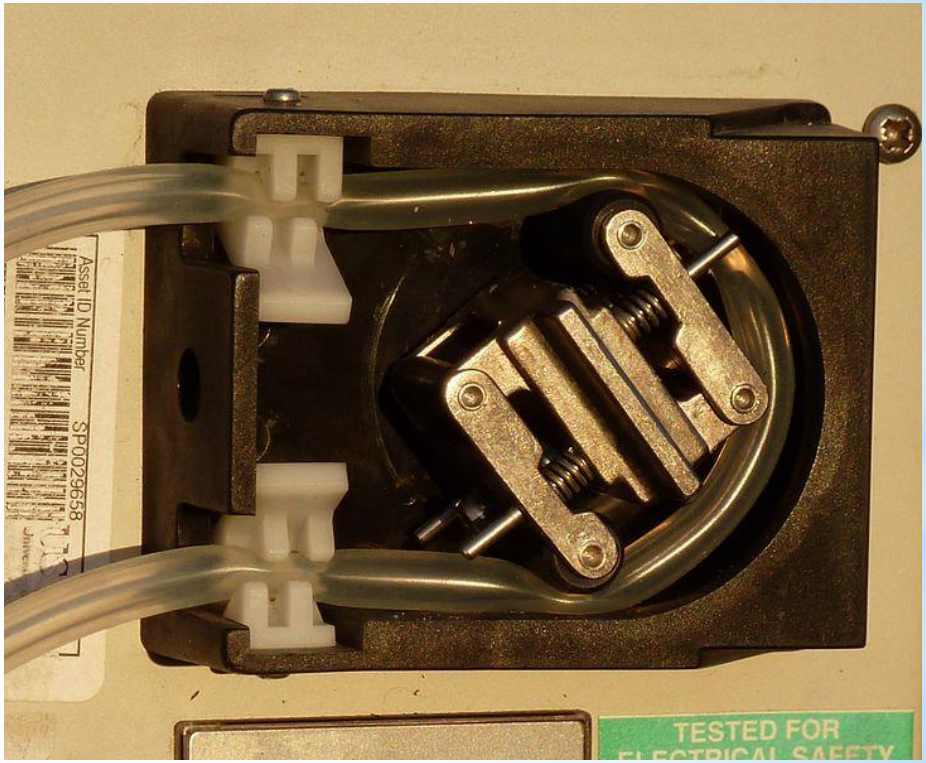


۵- فشارسنج خون

Explanation of how blood pressure is measured based on Korotkow sounds

5-آشنایی با پمپ ها

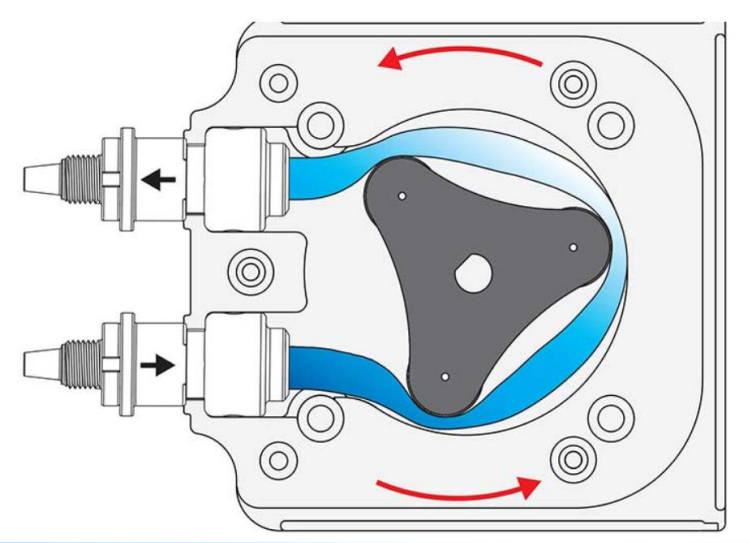
پمپ پریستالتیک peristaltic pump



5-آشنایی با پمپ ها

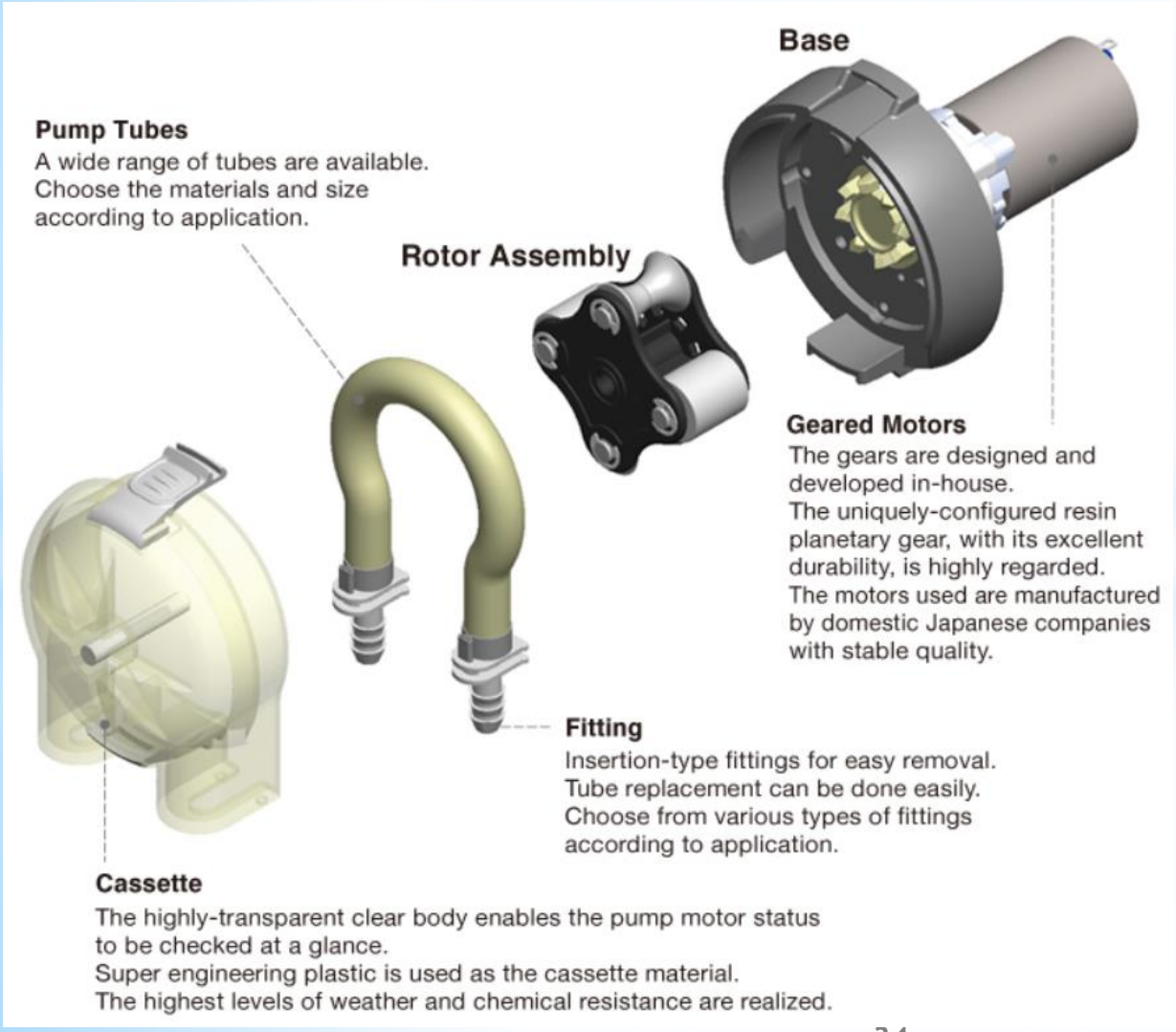
پمپ پریستالتیک

سیال از داخل یک شلنگ یا لوله انعطاف‌پذیر در مسیر دایره ای عبور می‌کند.
روتوری که در انتهای آن قطعه ای «غلتکی شکل» وجود دارد شلنگ انعطاف‌پذیر را فشرده
و با چرخش روتور آن قسمت بسته شده حرکت کرده
و باعث جریان پیدا کردن یا پمپ شدن سیال می‌شود.
به علاوه با بازگشت شلنگ به شکل اولیه، سیال به داخل مسیر کشیده می‌شود.
به این فرایند پریستالسی گفته شده و در بسیاری از سیستم‌های بیولوژیکی منجمله دستگاه گوارش کاربرد دارد.



5-آشنایی با پمپ ها

پمپ پریستالتیک



5-آشنایی با پمپ ها

کاربردهای پمپ پریستالتیک

The Application of Longer Product in In Vitro Diagnostic (IVD)

The Application of Longer Product in the Pharmaceutical Industry

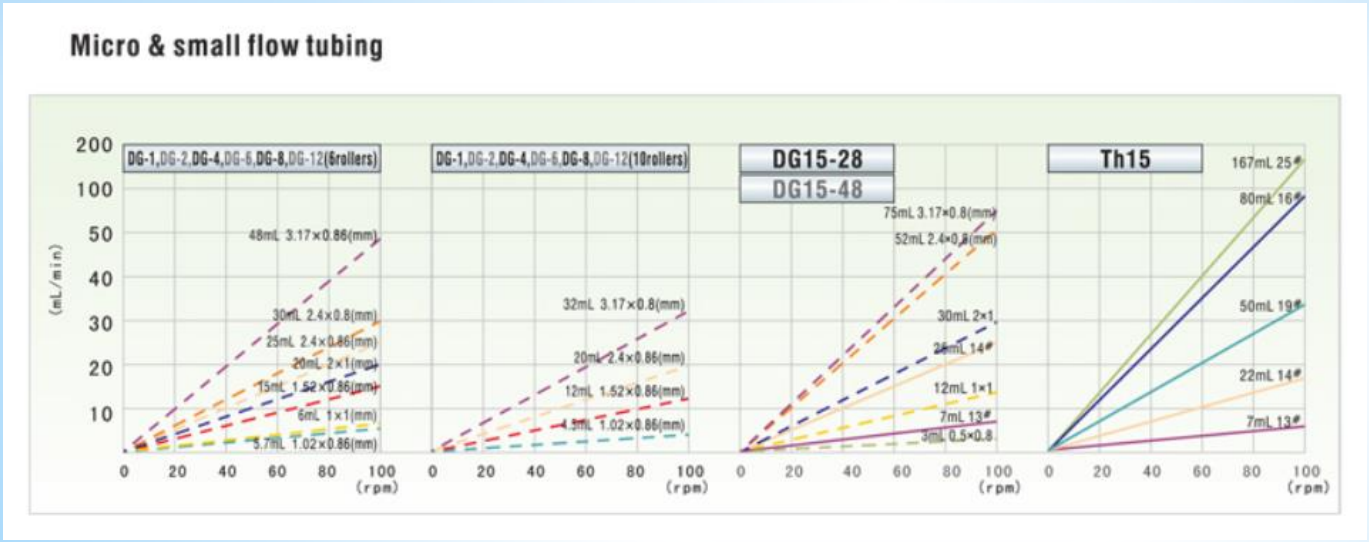
Peristaltic Pump in Dialysis Machine

The Application of Longer Product in Liquid Filling Machines

5-آشنایی با پمپ ها

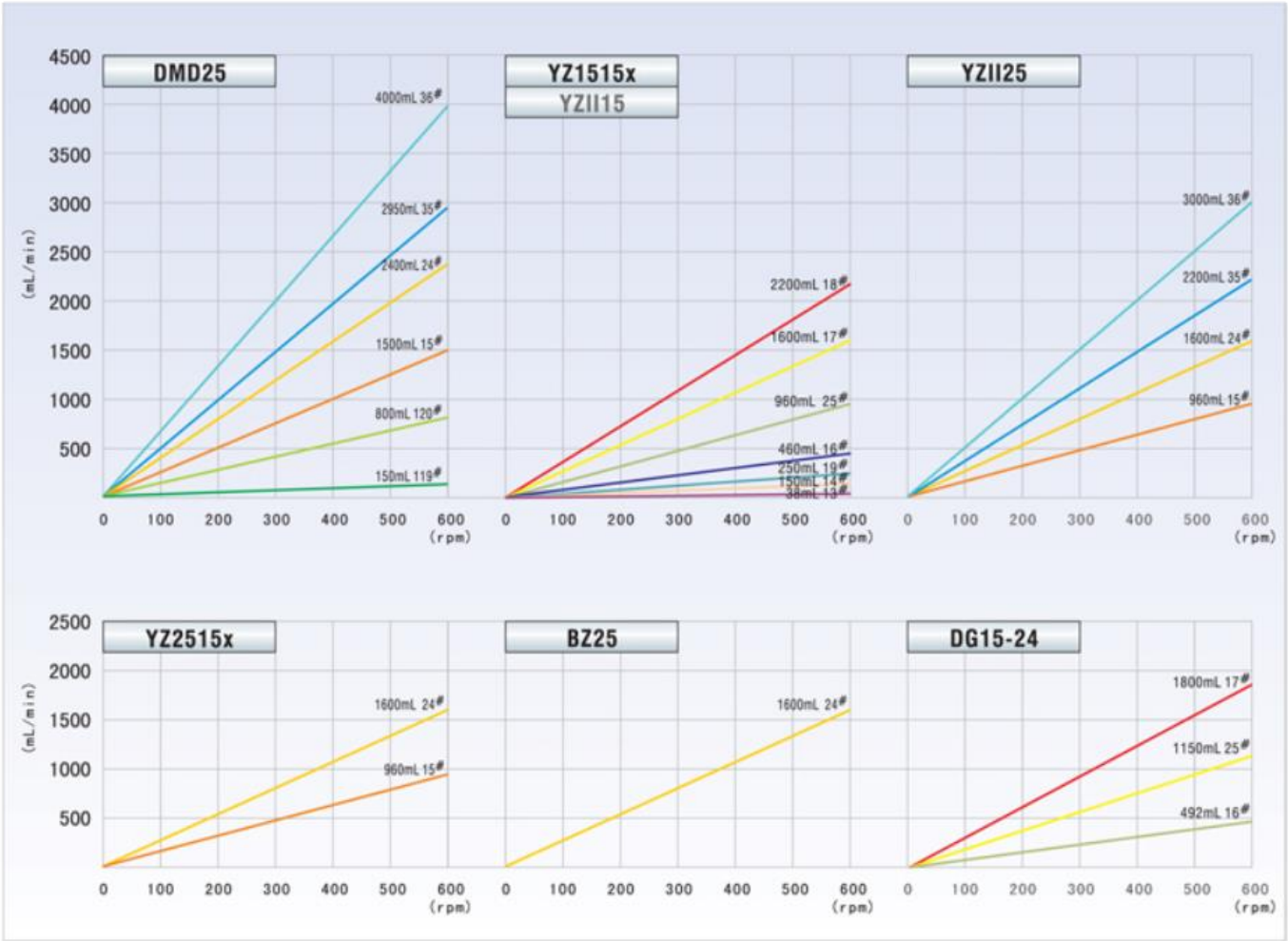
در پمپ پریستالتیک بسته به دبی مورد نیاز، از سرهای مختلفی استفاده می شود:

برای هر کدام از سرها، می توان نمودار Q بر حسب rpm نوشت:



5-آشنایی با پمپ ها

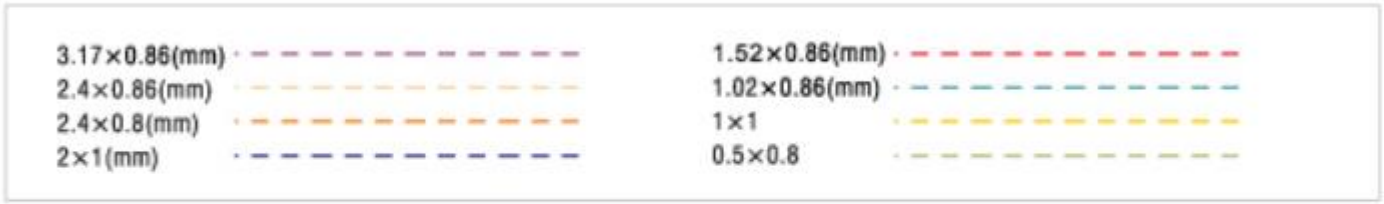
Medium flow tubing



5-آشنایی با پمپ ها

عدد ثابت بستگی ---------- مورد استفاده دارد.

Note: Different colorful lines represent different type of tubing.

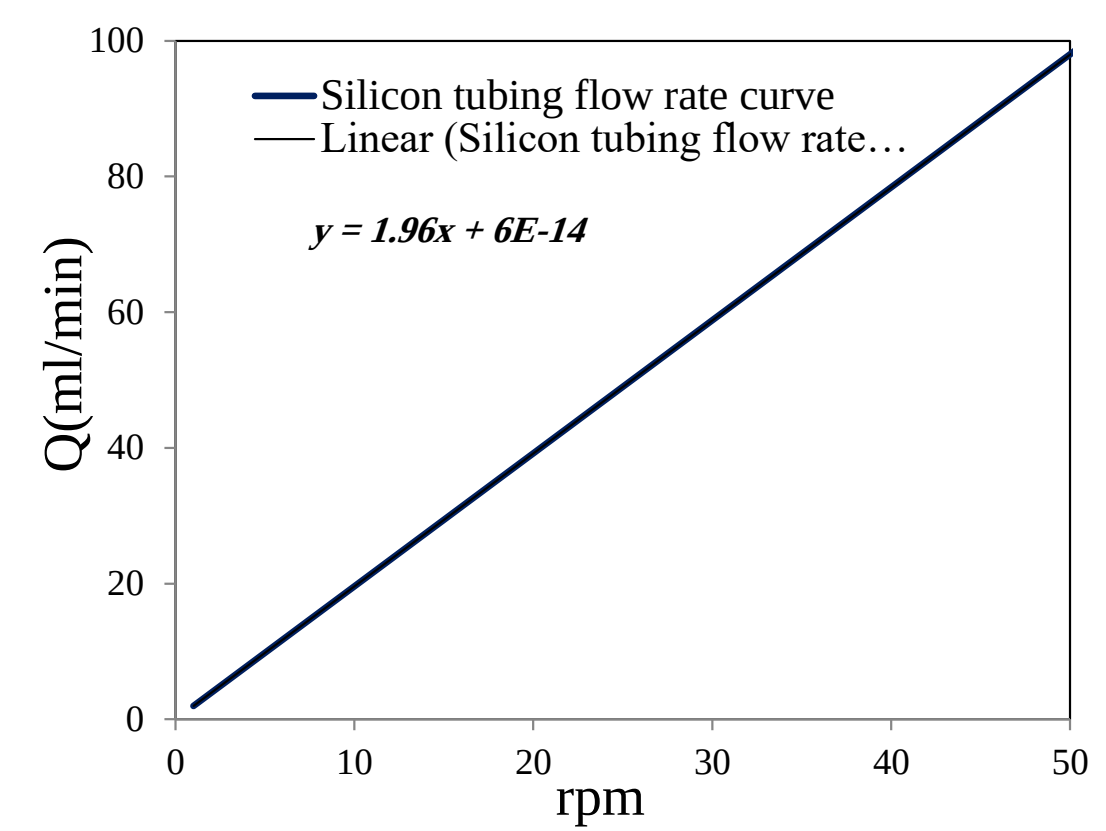


آزمایش کالبیره کردن پمپ پریستالتیک

تعیین رابطه این دو پارامتر: Q=(alpha)(rpm)

Calibration of Rotameter

تعیین رابطه این دو پارامتر: Q=(alpha)(rpm)



Calibration of Rotameter

خطای آزمایش uncertainty or error

انواع خطای آزمایش error

خطای ناشی از خود دستگاه
صحت accuracy

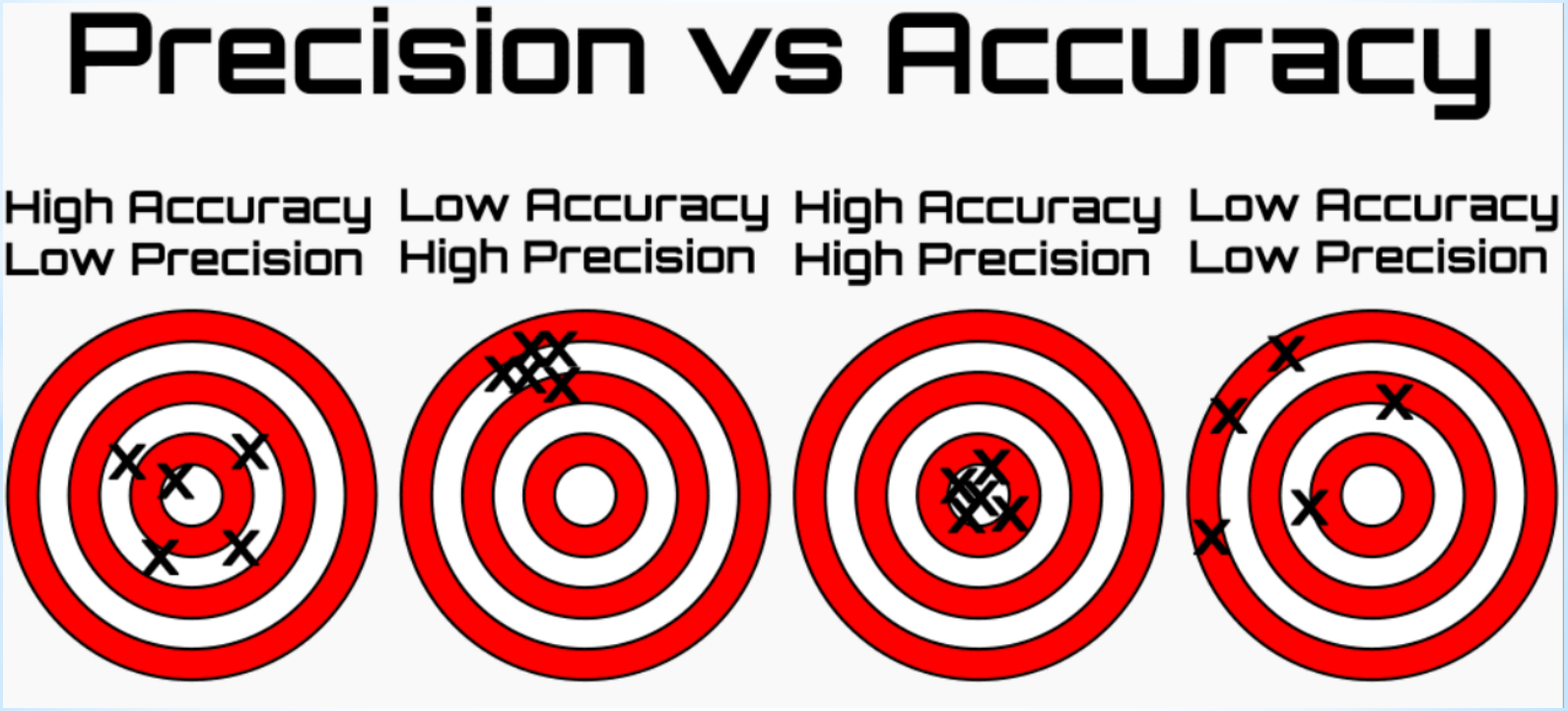
توسط شرکت سازنده مشخص شده است

خطای ناشی از انجام آزمایش
دقت precision

جهت محاسبه آن، یک آزمایش را چندین بار تکرار می کنند و خطا را گزارش می دهند. چگونه؟

Calibration of Rotameter

مقایسه مفهوم صحت accuracy و دقت precision:



Calibration of Rotameter

uncertainty or error محاسبه خطای آزمایش

$$\% \, error = \frac{standard \; deviation}{average}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N}}$$

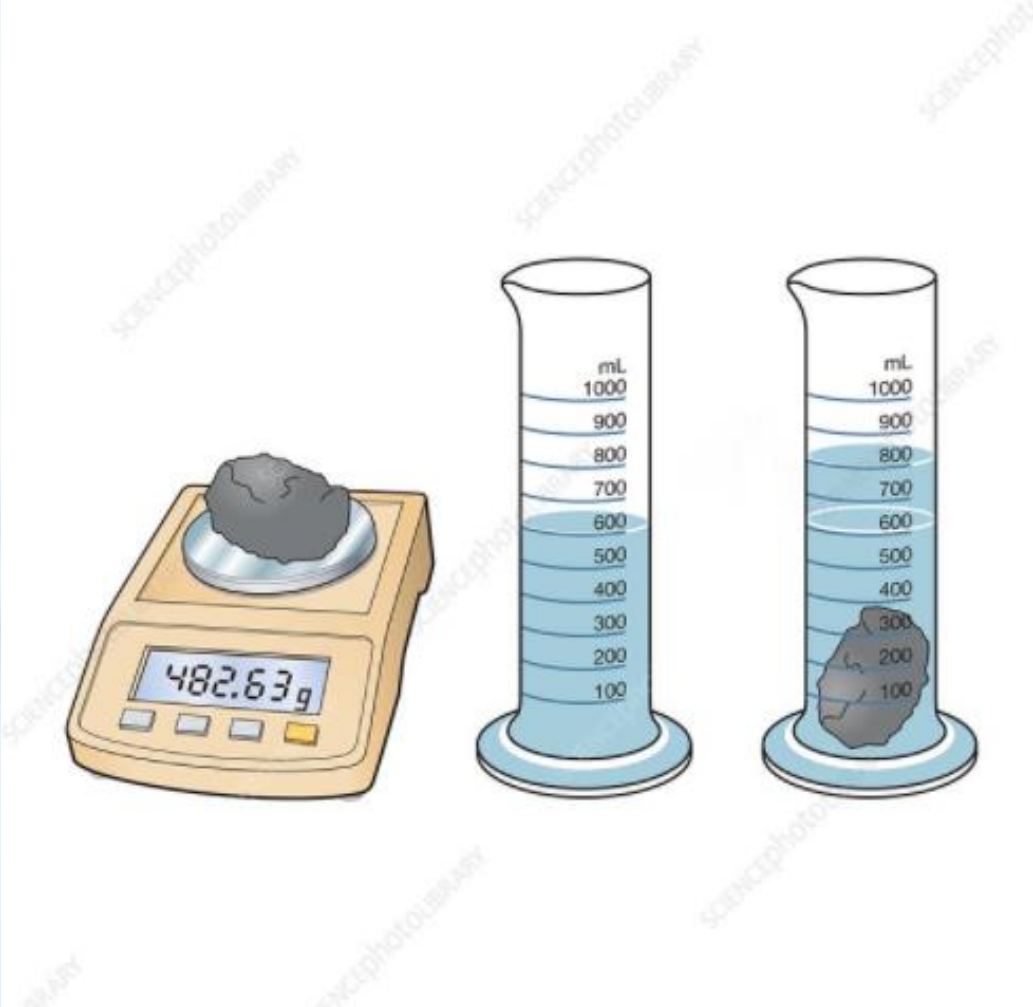
σ = population standard deviation

N = the size of the population

x_i = each value from the population

μ = the population mean

Measuring the density of an object



آزمایش کالبیره کردن دماسنج