

WHAT IS PRESSURE?

- Pressure is a normal force exerted by a fluid over a surface area
- Absolute, Gage, Vacuum Pressure
- Static & Dynamic Pressure
- Pa, Bar, atm, Psi

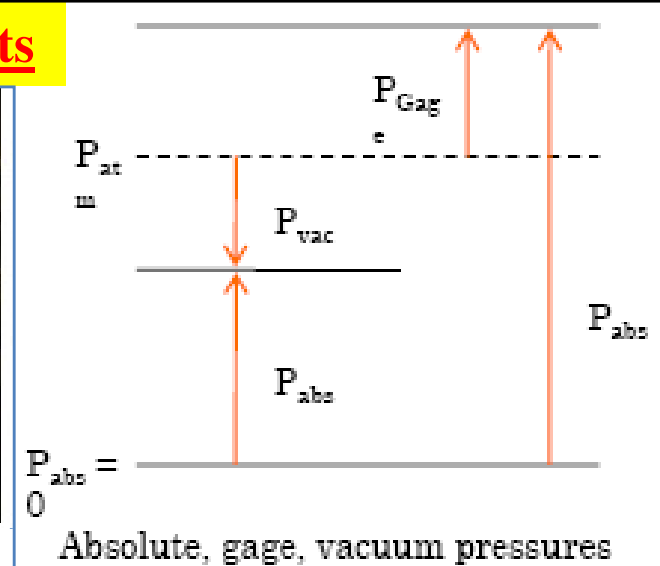
WHY MEASURE PRESSURE?

- Pressure negates the properties of a fluid: State, flow, forces
- Quality and Safety of Operation: Tire, compressors, etc
- Pressure measurements is used in various general, industry and research applications

Pressure Measurements



Fluid Manometer



INDUSTRY APPLICATION

- Drilling Technology** utilise pressure sensors for real time downhole data transfer
- Weather forecasting
- Medicine
- Aviation
- Pressure Vessels
- Many other application you are guarantee to see working as an engineer

HOW TO MEASURE PRESSURE? قوانين للضغط

- Pressure can be derived using several methods:

- Hydrostatic pressure** $P_{abs} = \rho gh + P_{atm}$ (for static liquids only)

(where h is liquid depth below the free surface & ρ is liquid density)

- Dynamic Pressure** q

$$q = \frac{1}{2} \rho v^2 \text{ (for any moving fluid with a velocity, } v, \text{ and density, } \rho \text{)}$$

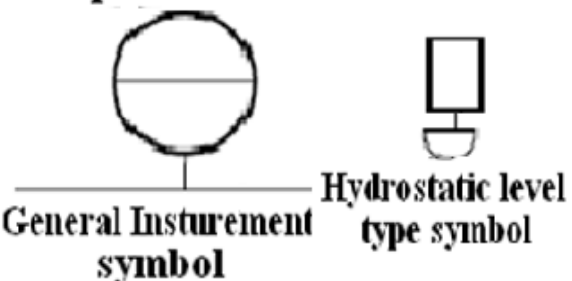
- Behaviour of Gases** (moving or stagnant)
 $P = \rho RT$ State eq. of Ideal Gas

- Elastic Deformation** $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$

(where σ is normal stress *Hooke's Law* at point in fluid & ϵ is strain, $P = -\sigma$)

PDI: differential press. indicator

PI: pressure indicator



P&ID Pressure Sensor Symbol



Sphygmomanometer

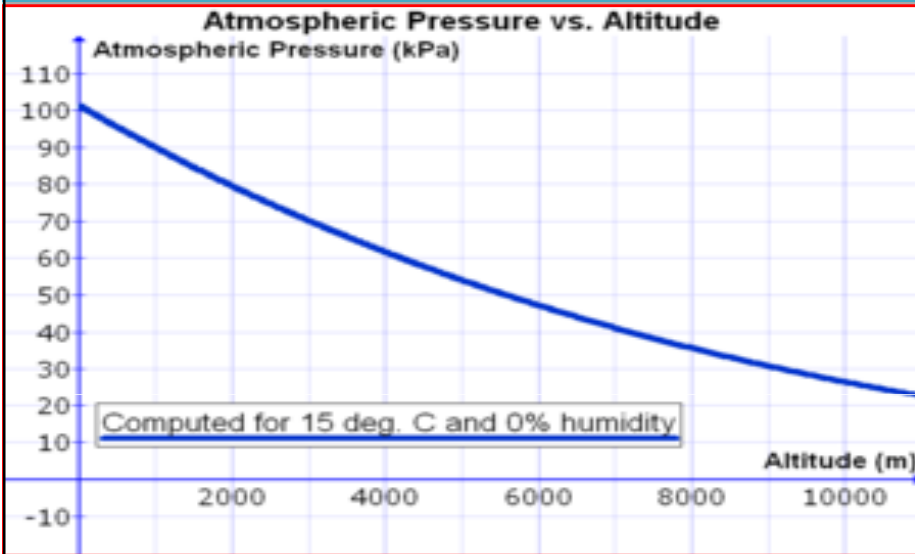


Pressure Chart

HIGH PRESSURE SENSORS & CALIBRATION

- Types of medium pressure sensors
 - Manometer & Barometer
 - Microphone (changes dynamic sound pressure waves into analog electric signal) لاقيس ضغط، لكن نقيس شدة صوت
- Types of high pressure sensors
 - Bourdon-tube Gauge
 - Schrader Gauge
- Calibration of pressure sensors

Atmospheric Pressure: pressure is force/unit area by fluid on container walls. We have absolute, gauge & vacuum pressure. $P_{\text{atm}} = 14.696 \text{ psi} = 101.325 \text{ kPa}$ at SPT

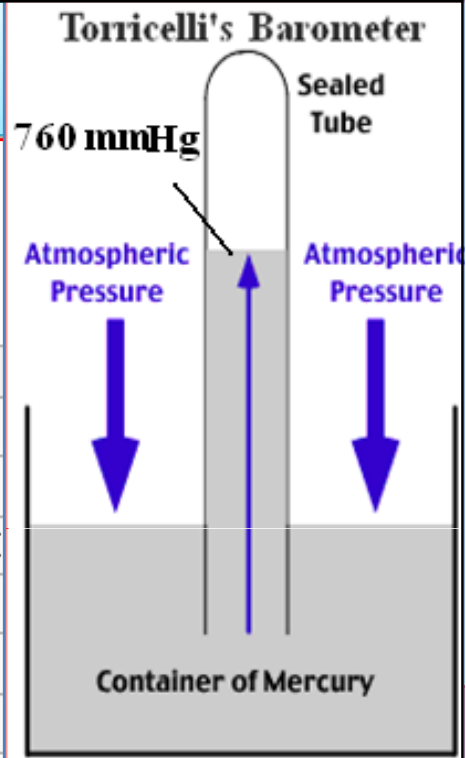


The equation relating atmospheric pressure p to altitude h and other parameters is

$$p = p_0 \cdot \left(1 - \frac{L \cdot h}{T_0} \right)^{\frac{g \cdot M}{R \cdot L}}$$

where the constant parameters are as described below:

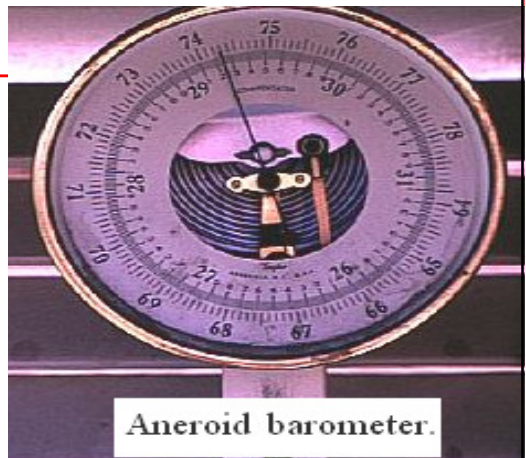
Parameter	Description	Value
p_0	sea level standard atmospheric pressure	101325 Pa
L	temperature lapse rate	0.0065 K/m
T_0	sea level standard temperature	288.15 K
g	Earth-surface gravitational acceleration	9.80665 m/s ²
M	molar mass of dry air	0.0289644 kg/mol
R	universal gas constant	8.31447 J/(mol·K)



Measuring Atmospheric Pressure

Any instrument that measures air pressure is called a **barometer**. The first measurement of atmospheric pressure began with a simple experiment performed by *Evangelista Torricelli* in 1643. In his experiment, Torricelli immersed a tube, sealed at one end, into a container of mercury (see **Figure 7d-2** below). Atmospheric pressure then forced the mercury up into the tube to a level that was considerably higher than the mercury in the container. Torricelli determined from this experiment that the pressure of the atmosphere is approximately 30 inches or 76 centimeters (one centimeter of mercury is equal to 13.3 **millibars**). He also noticed that height of the mercury varied with changes in outside weather conditions.

The most common type barometer used in homes is the **aneroid barometer**. Inside this instrument is a small, flexible metal capsule called an aneroid cell. In the construction of the device, a vacuum is created inside the capsule so that small changes in outside air pressure cause the capsule to expand or contract. The size of the aneroid cell is then calibrated and any change in its volume is transmitted by springs and levers to indicating arm that points to the corresponding atmospheric pressure.

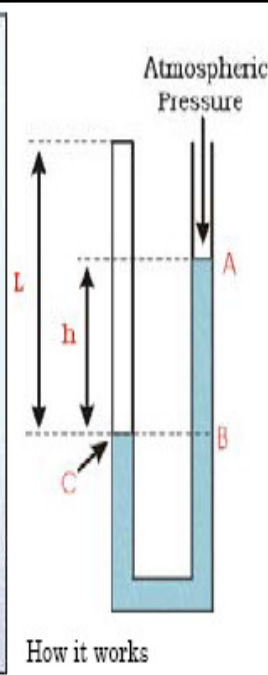


BAROMETER

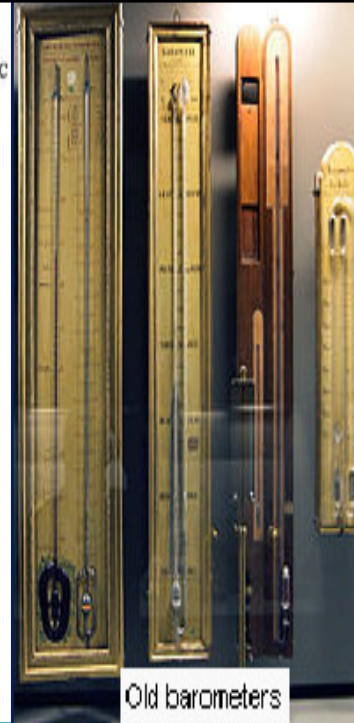
- One common application of manometer is the barometer
- The barometer measures atmospheric pressure
- barometer uses reference gas separated from the atmosphere by a liquid
- If the atmospheric pressure changes, the reference gas expands/contracts
- Static pressure gauge



Dodgy barometer



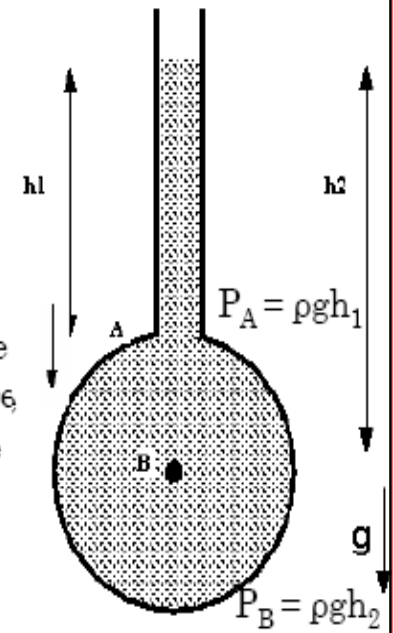
How it works



Old barometers

MANOMETERS

- The manometer consists of a tube filled with liquid of known density
- A pressure difference across the tube causes the liquid to shift position
- The change in position can be measured to give the pressure
- Best suited to static pressure measurement
- Difficult to use for small pressure changes, unsuitable for very large pressures

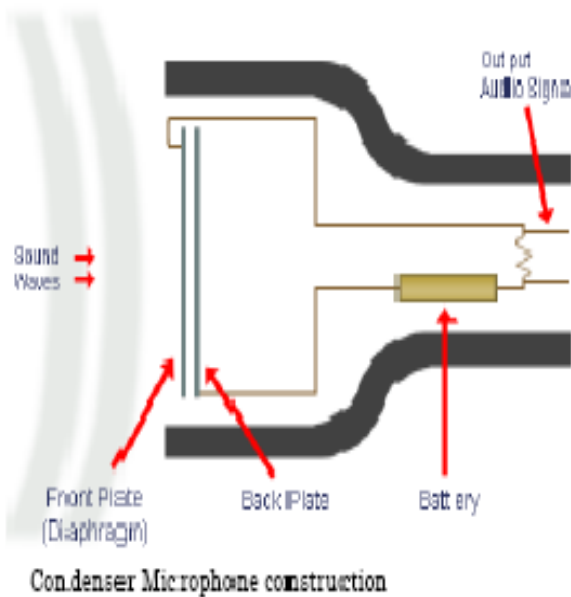


Very simple manometer

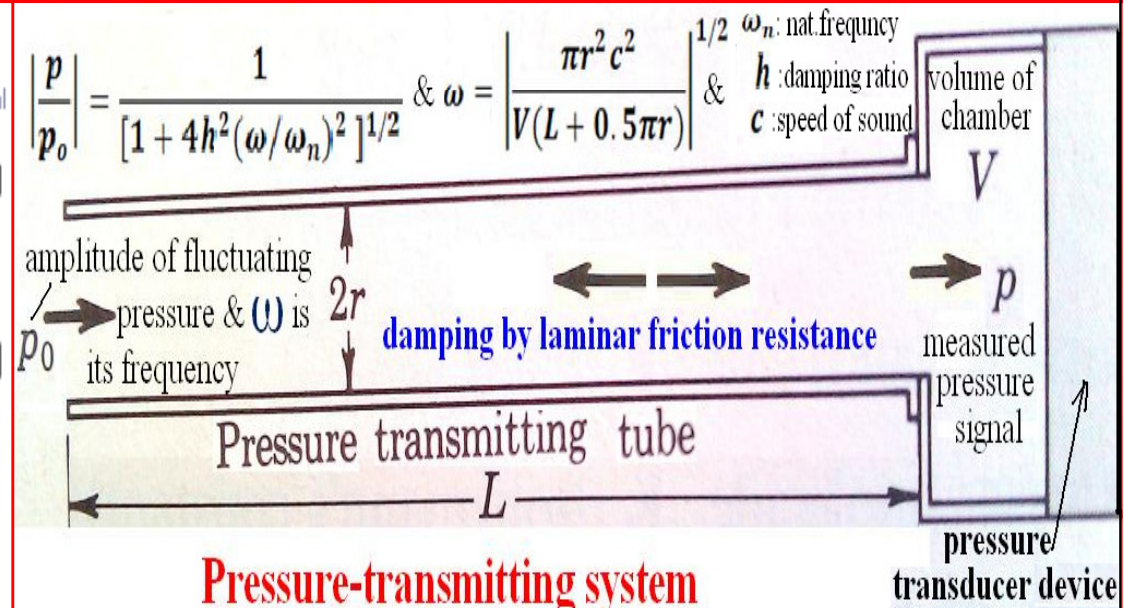
Dynamic response consideration: the transient response of pressure measurement system depends on two factors: 1-the transducer dynamic response; 2-the response of tubes & the fluid connects transducer. The latter factor is frequently determines the overall frequency response of system, & so the direct calibration must be made to determine this response.

MICROPHONE

- The most common pressure sensor in daily use
- Designed for use at around 1 atm. pressure
- Only measures fluctuations – measures dynamic not static pressure
- Has several different constructions of varying complexity



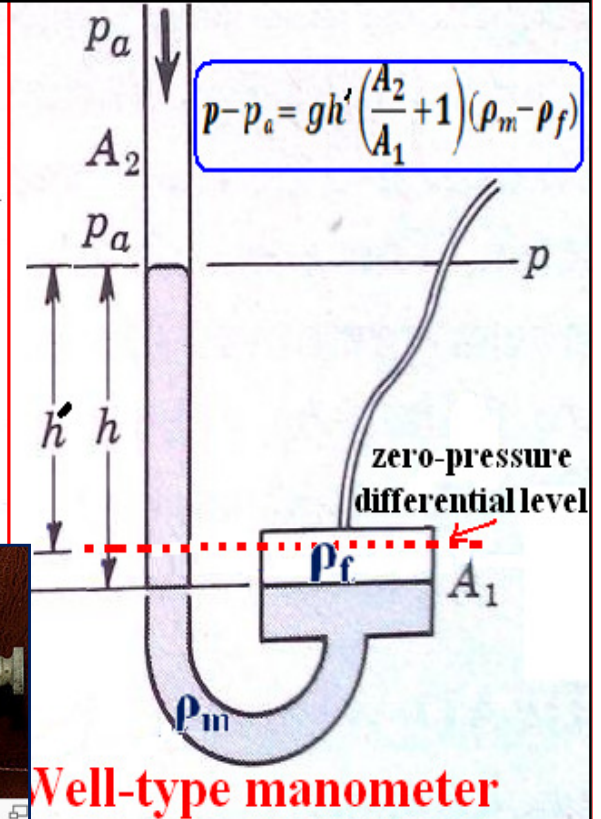
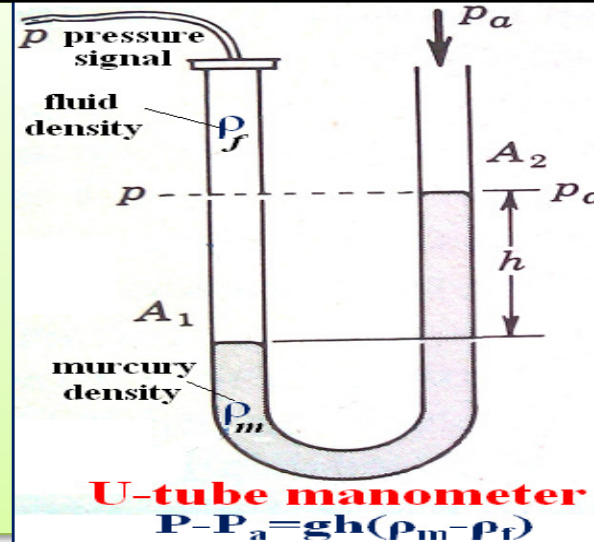
Condenser Microphone construction



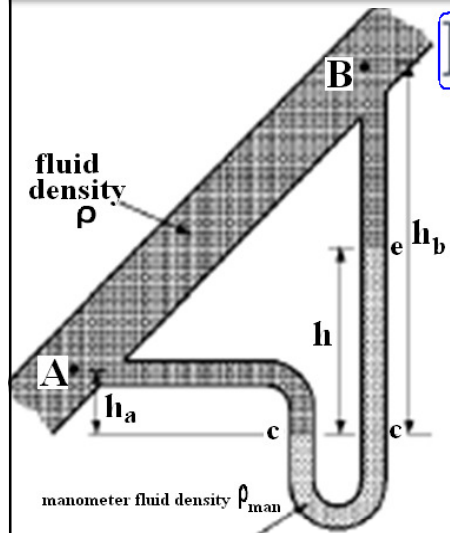
Pressure-transmitting system

pressure transducer device

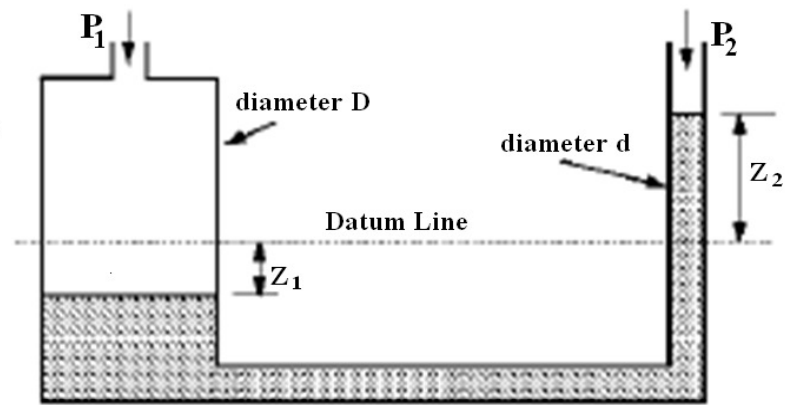
Mechanical Pressure Transducers: simplest mean for static pressure measures, easy use, inexpensive, can not be used for automatic control, low accuracy. Manometers may be inclined to lengthen the scale for small ΔP . Optical sight-glasses & vernier scale may be used to more accuracy. Special metal floats may used to provide more accurate location & indication of manometer fluid height.



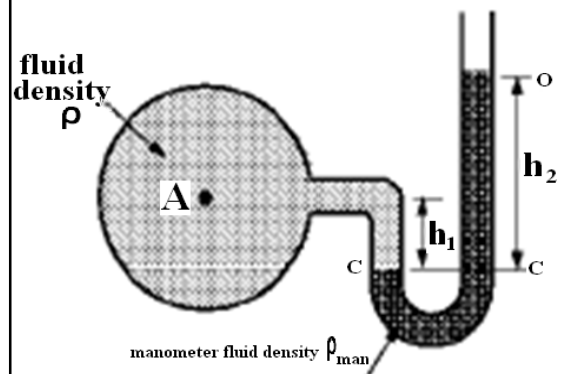
MANOMETER TOPOLOGIES



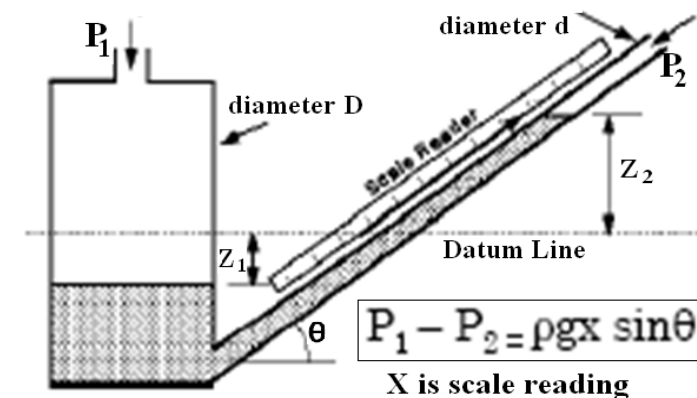
$$P_A - P_B = \rho_{man} gh$$



$$P_1 - P_2 = \rho g z_2 \quad (\text{If } D \gg d)$$

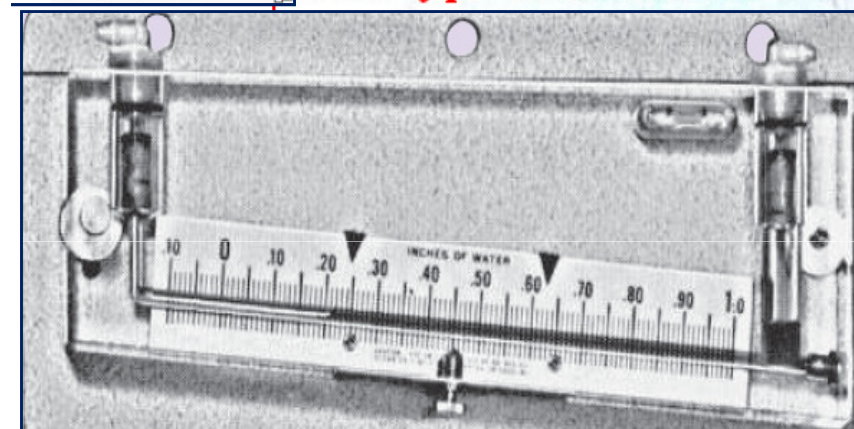
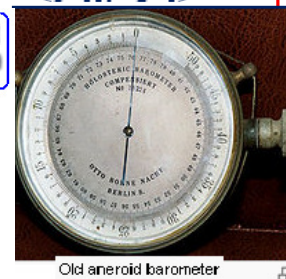


$$P_A = \rho_{man} gh_2$$



$$P_1 - P_2 = \rho g x \sin \theta$$

X is scale reading

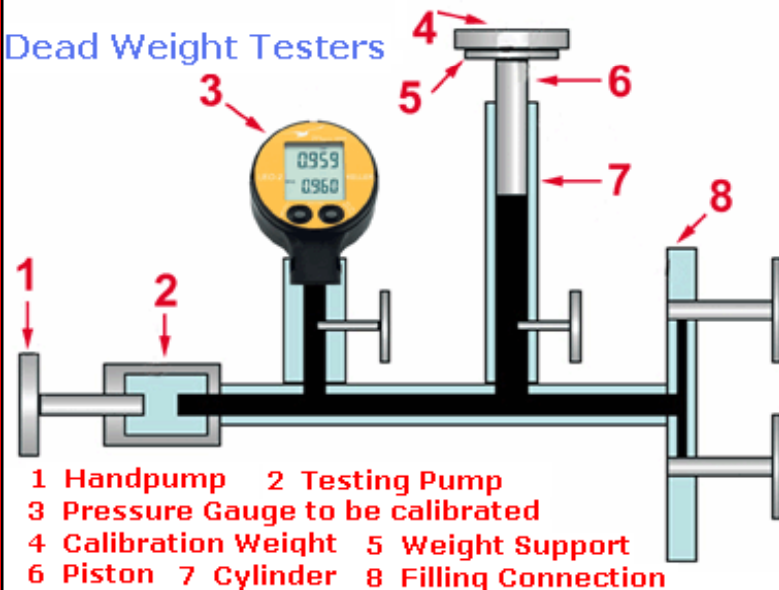


CALIBRATION

- The most common way to calibrate pressure sensors is with a dead-weight tester
- Has accuracy in the 0.005% to 0.1% range
- Allows pressure tests up to 10kBar (~145,000 psi)

Dead-Weight Tester: used for static calibration of Bourdon Tube or other pressure gauges. Accuracy is limited by: 1-friction; 2-uncertainty in effective area bet. cylinder & piston which depends on clearance spacing & viscosity of oil. At high pressures, there is elastic deformation of cylinder which increases clearance spacing & increases error of tester.

Dead Weight Testers



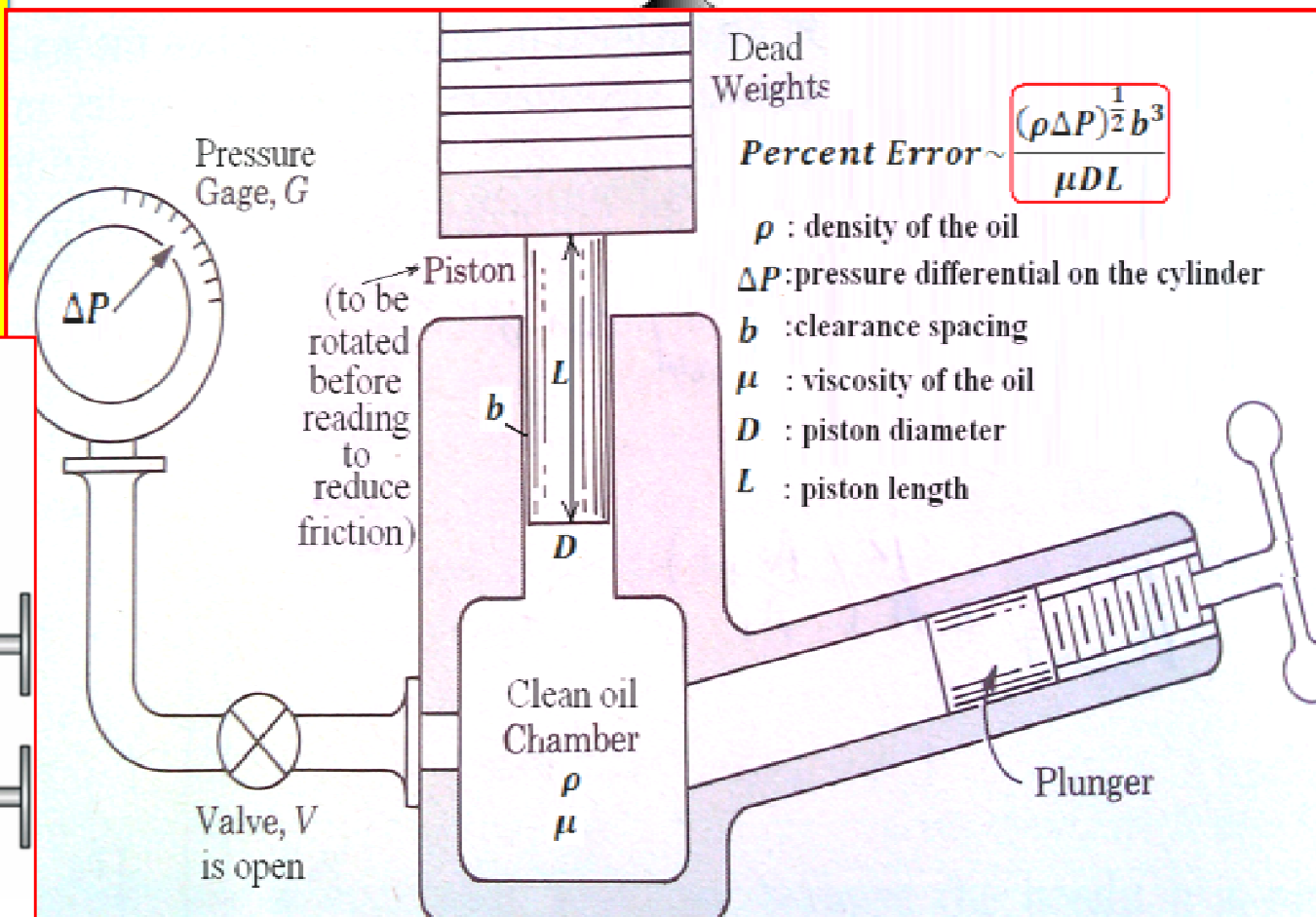
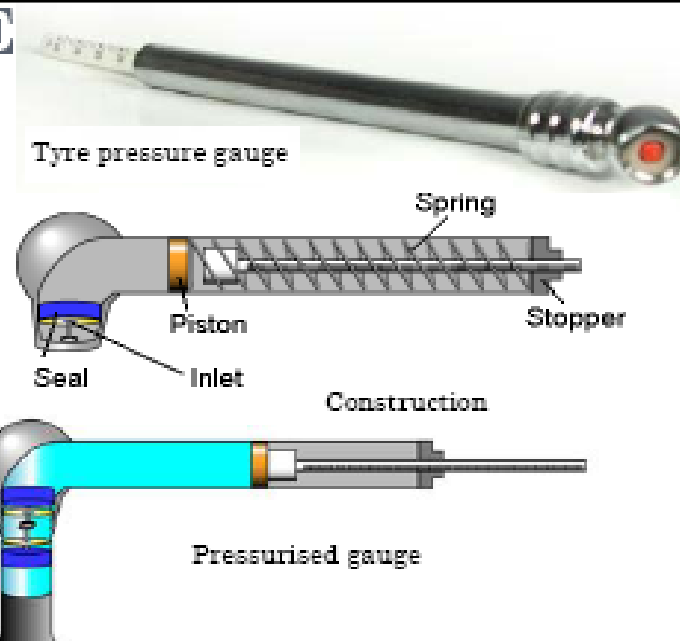
SCHRADER GAUGE

- Uses a piston connected to a spring
- Simple & sturdy construction
- Not particularly accurate
- Common use is in simple tyre pressure gauges
- Performs better than bourdon-tube under dynamic loads

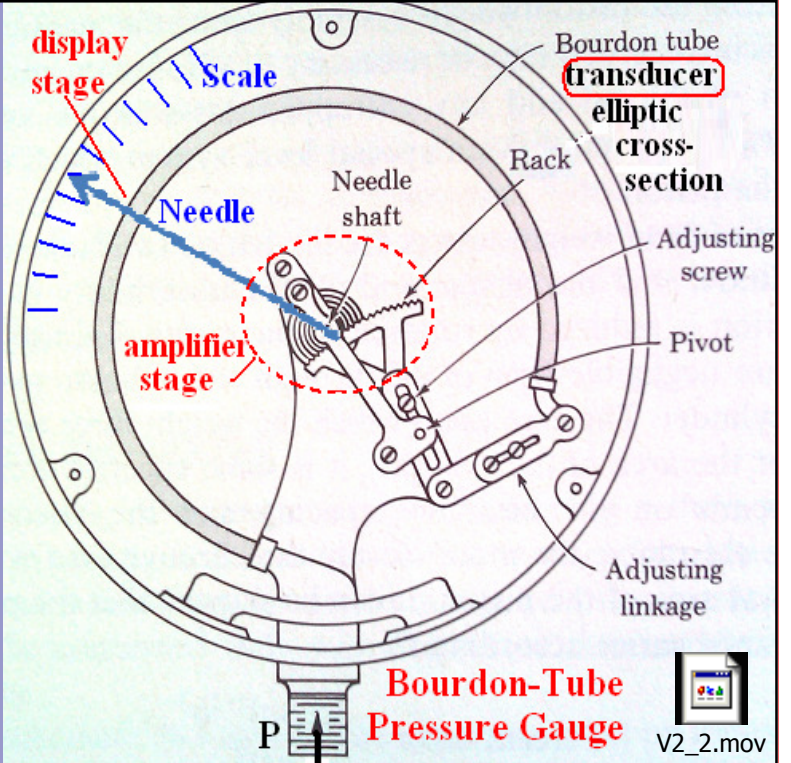
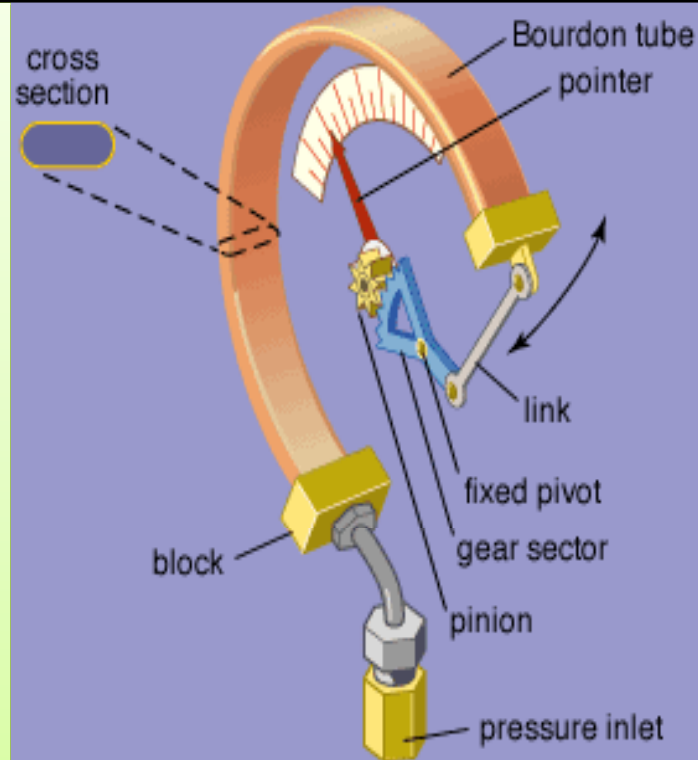
$$F = PA$$

$$kx = F$$

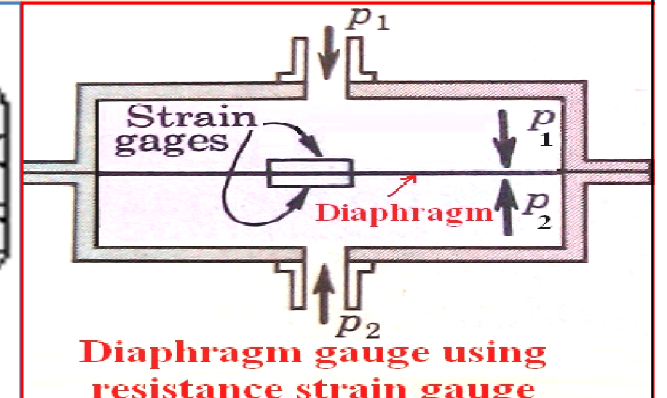
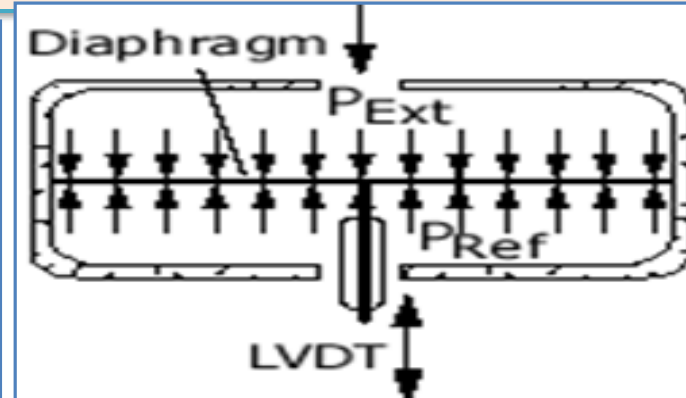
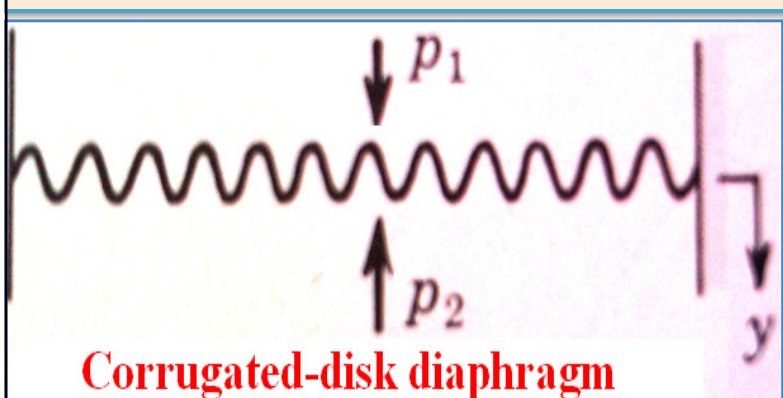
$$x = (A/k)P$$



Bourdon-Tube Pressure Gauge: used widely for inexpensive, static measurements, can not be used for automation or data acquisition/ storage. Linkage is constructed to be adjusted for optimum linearity & minimum hysteresis & to compensate for wear which may develop over time. Electrical resistance strain gauges may also be installed on the surface of the bourdon tube to sense the elastic deformation to change it into electric

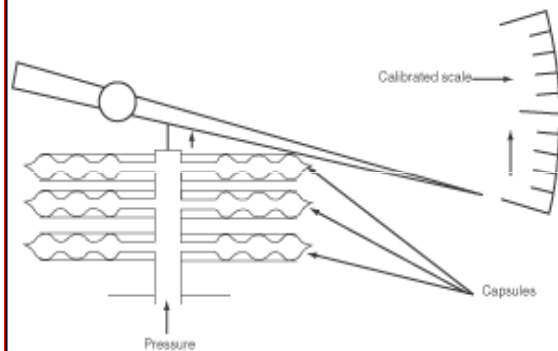


Diaphragm and Bellows Gauges: use both elastic deformation of diaphragm or bellows along with some displacement transducer to measure pressure. Elect. Strain gauge/LVDT/capacitance to be used to sense diaphragm displacement. Deflection is linear with ΔP if deflection is less than $1/3$ of diaphragm thickness, t (as shown by given equations where outer edge of disk is rigidly fixed & supported). To get also a linear response over a larger range of deflections, diaphragm be constructed from a corrugated disk as shown. This type is most suitable for applications where mech. Device is used for sensing deflection of diaphragm. Diaphragm is stiff & suitable for high-frequency measurements.



DIAPHRAGM GAUGES

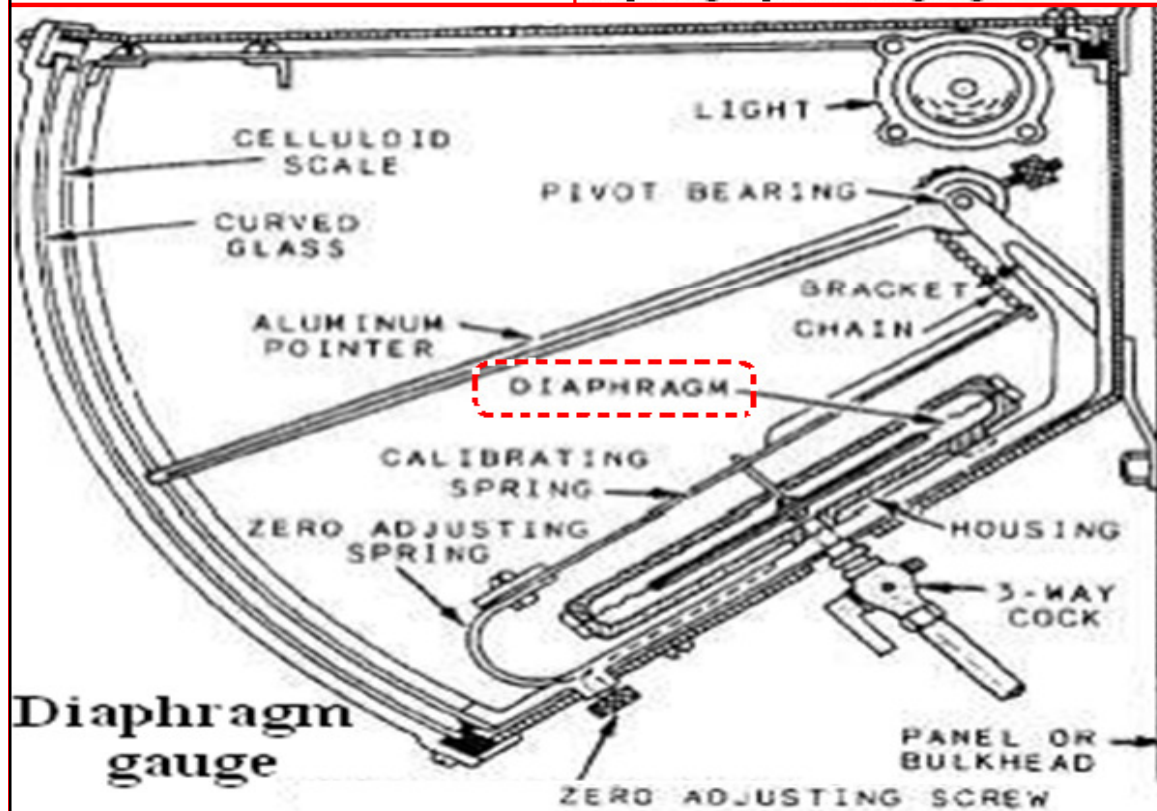
- Can be used to measure gauge, differential, vacuum or absolute.
- Can be measured using mechanical, electrical, piezoresistive and capacitive means.
- Follows a linear variation with Δp when the deflection is less than 1/3 the diaphragm thickness.
- Good Dynamic sensor.



metallic diaphragm pressure gauge with stacked capsules.



diaphragm pressure gauge



Diaphragm gauge

$$y_{max} = \frac{3p}{16Et^3} a^4 (1 - \mu^2) \quad \& \quad y(r) = \frac{3p(1 - \mu^2)}{16Et^3} (a^2 - r^2)^2$$

(a) Edges fixed, uniform load over entire surface

$$y_{max} = \frac{3p(1 - \mu^2)}{16Et^3} \left[a^4 + 3b^4 - 4a^2b^2 - 4a^2b^2 \ln\left(\frac{a}{b}\right) + \frac{16a^2b^2}{a^2 - b^2} \left(\ln\frac{a}{b}\right)^2 \right]$$

(b) outer edge fixed & supported, inner edge fixed, uniform load over entire actual surface

$$y_{max} = \frac{3W(1 - \mu^2)}{4\pi Et^3} \left[a^2 - b^2 - \frac{4a^2b^2}{a^2 - b^2} \left(\ln\frac{a}{b}\right)^2 \right]$$

(c) outer edge fixed & supported, inner edge fixed, uniform load along inner edge.

The natural frequency of a circular diaphragm is

$$f = \frac{10.21}{a^2} \sqrt{\frac{g_c E t^2}{12(1 - \mu^2) \rho}} \text{ Hz}$$

where

E = modulus of elasticity, psi or Pa

t = thickness, in or m

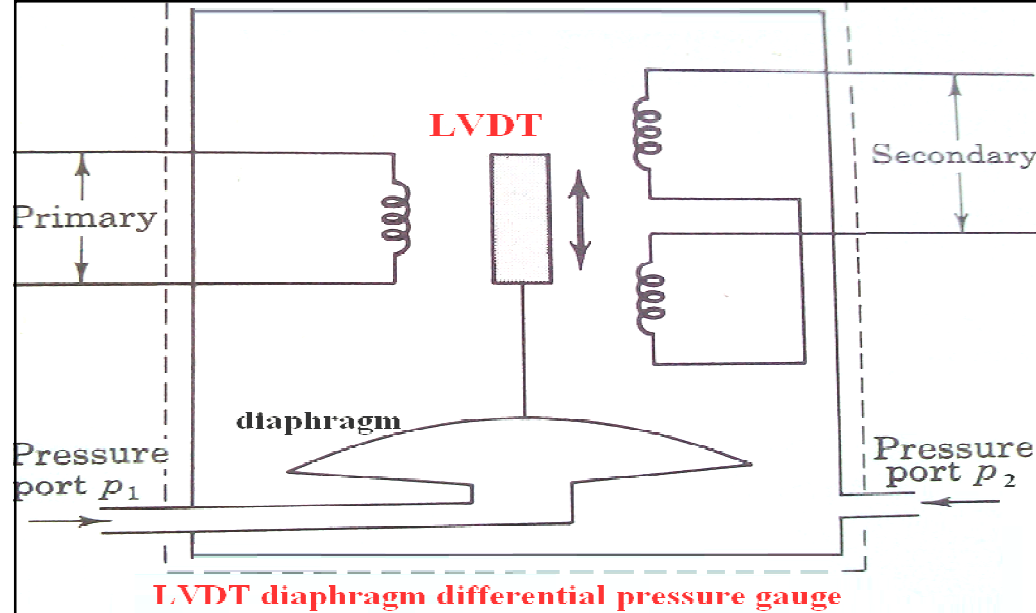
a = radius of diaphragm, in or m

ρ = density of material, lbf/in³ or kg/m³

g_c = dimensional conversion constant

= 385.9 lbf · in/lbf · s² or 1.0 kg · m/N · s²

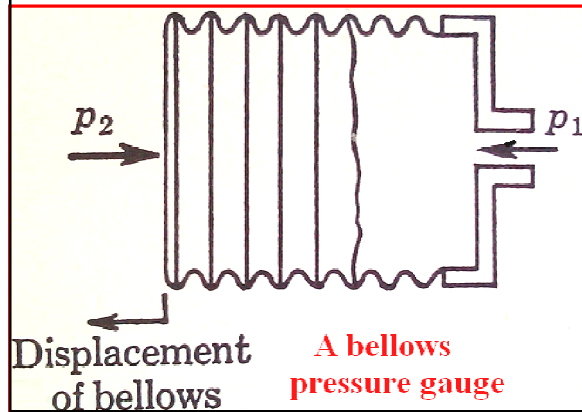
μ = Poisson's ratio



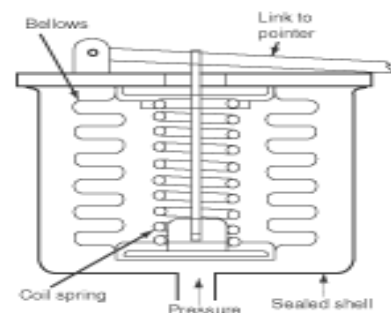
LVDT diaphragm differential pressure gauge

Bellows Gauges: applied differential pressure on bellows causes some larger displacement of them. This large displacement is not suitable for dynamic measurement due to larger relative motion & the involved mass of the bellows.

- Uses elastic deformation of a convoluted unit which expands and contracts with pressure.
- Either electrical or mechanical output.
- Doesn't work well with dynamic pressures due to mass and large displacements.



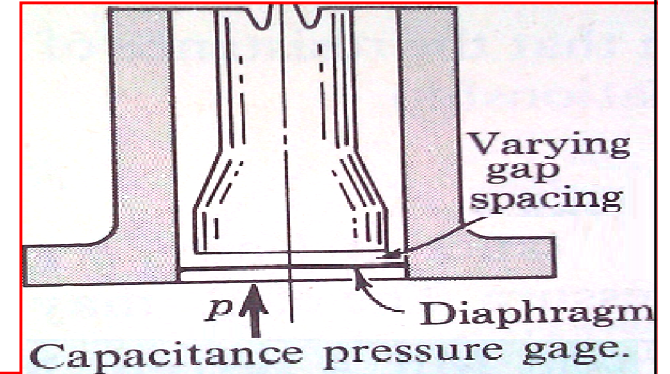
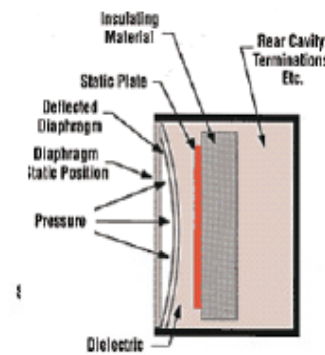
A bellows pressure gauge



spring-loaded bellows pressure gauge.

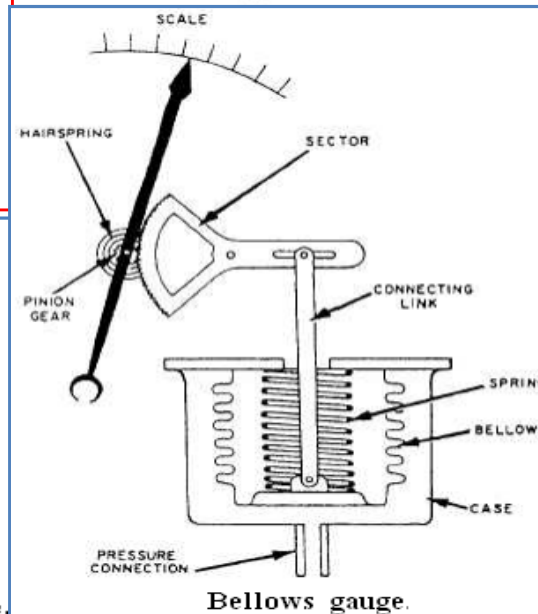
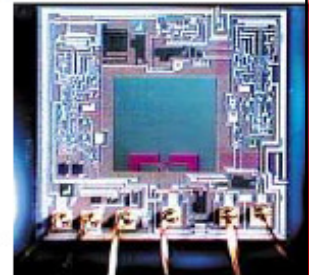
CAPACITIVE PRESSURE SENSORS

- The variable gap created by a moving diaphragm can be used as a capacitance sensor.
- The capacitance of the sensor is related to pressure



MEMS DIAPHRAGM SENSOR

- Current MEMS pressure sensors can contain onchip compensation and amplification
- Can perform signal conditioning and compensate for temperature.



Spring loaded bellows gauge

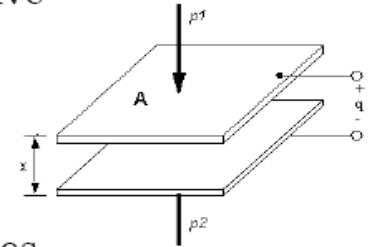
- A spring opposes bellows.
- Limits the expansion of unit and prolongs the bellows life.
- Resulting deflection is force acting on the bellows and the opposing spring force.

PIEZORESISTIVE PRESSURE SENSOR

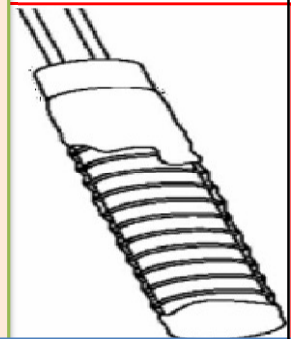
- Piezoresistive consist of a silicon diaphragm with a semiconductor strain gauge bonded to the diaphragm.
- Pressure sensitivity: $S = \Delta R / (\Delta p \cdot R)$ (mV/V-bar)
- Advantages:
 - High sensitivity
 - Good linearity at constant temperature.

CAPACITIVE PRESSURE SENSORS

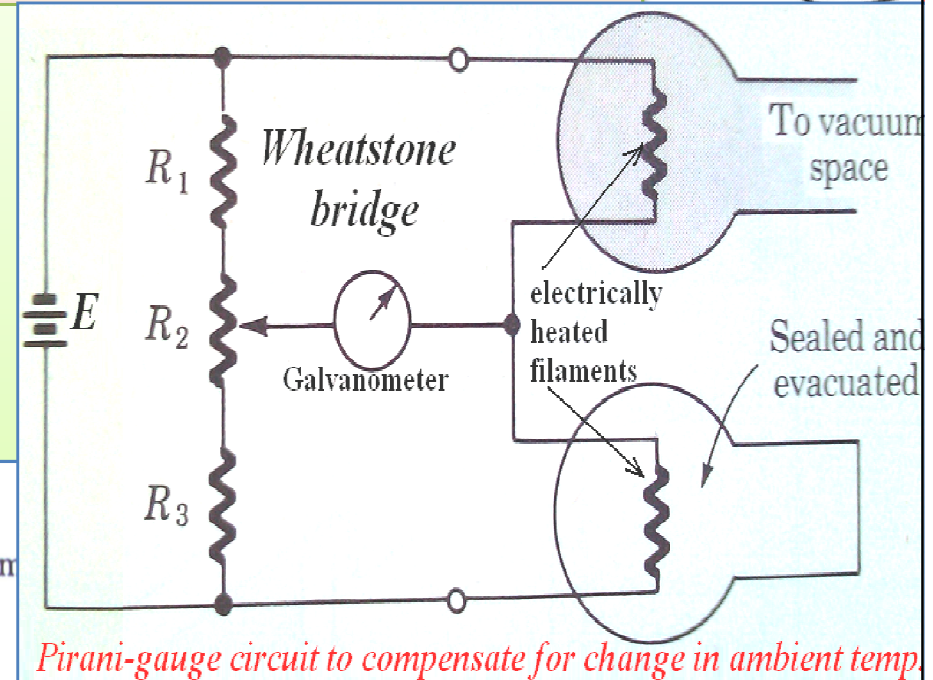
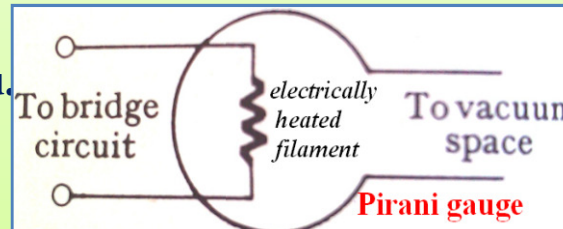
- Basic concept: $C = \epsilon A/x$
- Sensitivity: $\Delta C / \Delta x = -\epsilon A/x$
- Advantages
 - more sensitive than piezoresistive
 - less temperature dependant
 - great dynamic pressure sensor
- Disadvantages
 - requires special electronics
 - diaphragm mechanical properties



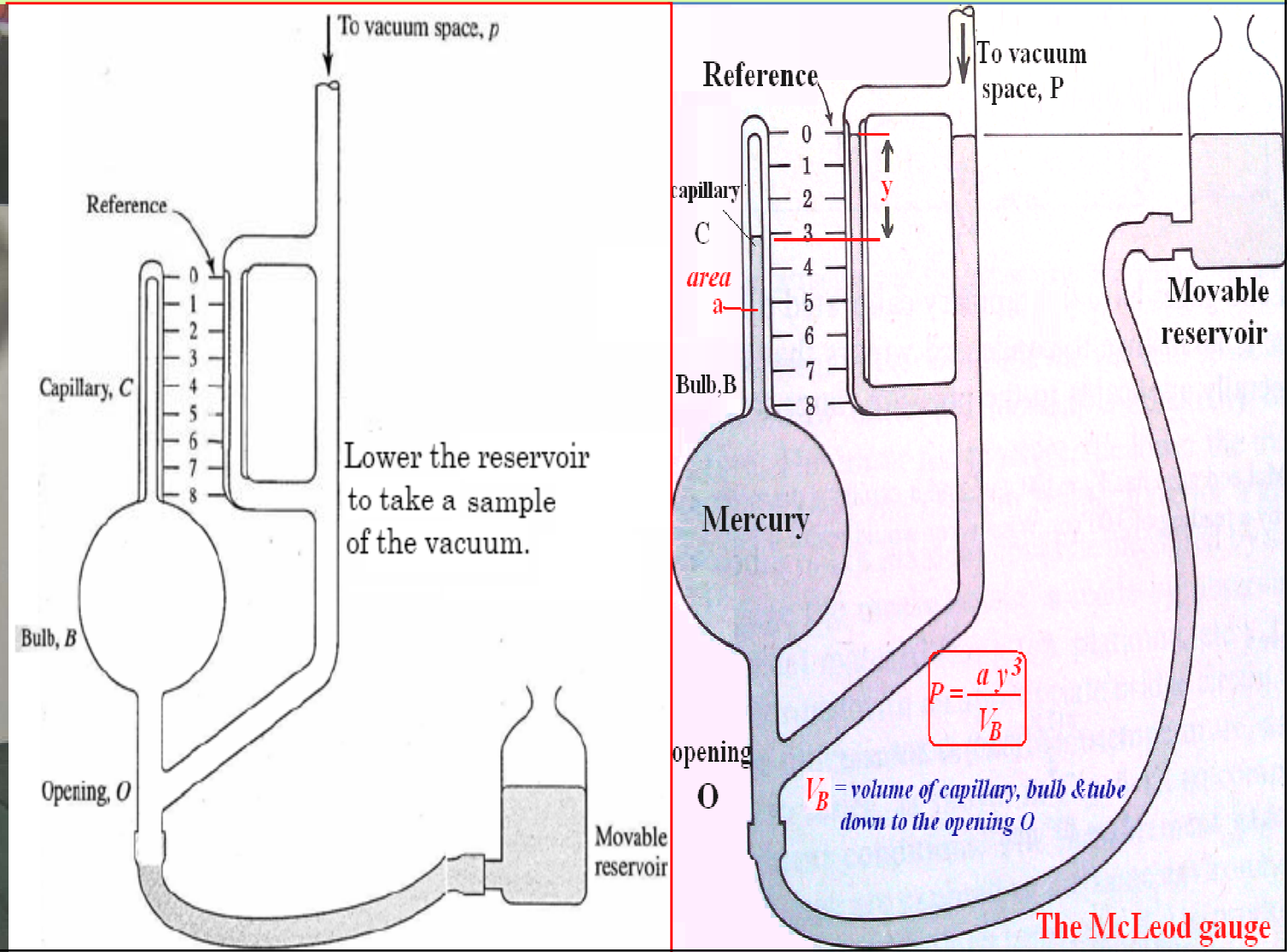
Bridgman Gauge: for high ΔP . Resistance of fine wires changes with pressure as: $R = R_1(1 + b \Delta P)$; R_1 is at 1atm, b is pressure coefficient, ΔP is gauge pressure. The device may be used for measurement up to 10^5 atm. It uses fine wire of Manganin (84%Cu, 12%Mn, 4%Ni) wound in a coil & enclosed in suitable pressure container. Bridge circuit used for resistance measurement. It is subject to aging over time, so frequent calibration is must. Its accuracy is 0.1% & has very good transient response.



Pirani Thermal-conductivity gauge: measure vacuum press. by change in thermal conductivity of gas. Heat loss from hot filament depends on gas temp.& thermal conductivity. As press. decreases, so does thermal conductivity & get higher filament temperature for given elect. energy input. Temp. measurement is made by change of resistance of filament material (tungsten, platinum ,..etc) by Wheatstone bridge. Systems are made to compensate for change in ambient temp. Device requires empirical calibration¬ good for pressu. much below 1 torr. It has poor dynamic Response.

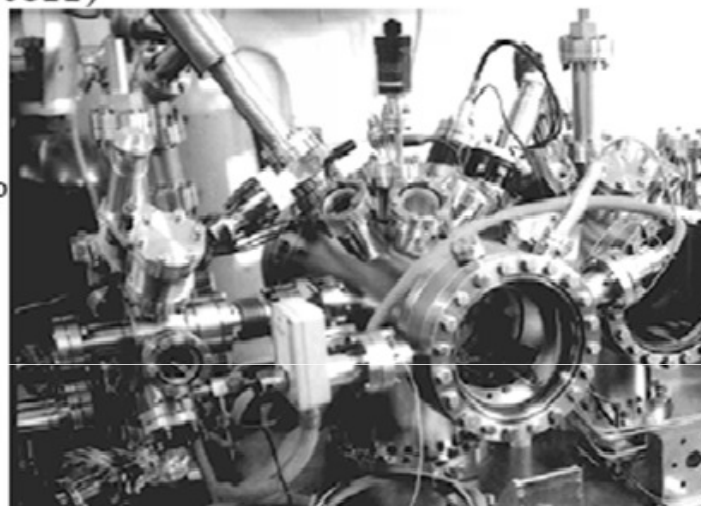


Low-Pressure Measurement & McLeod Gauge: careful instrumentation to be made especially for absolute pressure below 1 torr (1mm Hg). Movable reservoir is lowered until mercury drops below opening O. The Bulb B & capillary C are at same pressure as the vacuum source, P. Reservoir is then raised until mercury fills bulb & rises in capillary to point where level in the reference capillary is at zero point. Cross-section of capillary is a . Gas volume in capillary $V_C = ay$, where y length of gas in capillary. If V_B = volume of capillary, bulb & tube down to the opening O, we get $P_C = P(V_B/V_C)$. Also $P_C - P = y$, or $P = ay^2/(V_B - ay)$, but $ay \ll V_B$ So finally, we get: $P = ay^2/V_B$. The device is insensitive to condensed vapors in the sample & is generally applicable to pressure range 10^{-2} to 10^2 micrometers.



ULTRA LOW PRESSURE (ULP)

- Also known as Ultra High Vacuum(UHV)
- Pressures below 100 nPa (10^{-9} torr)
- Extreme conditions so require extensive measures to ensure accuracy. Issues include:
 - High Speed Pumps. No one single pump is capable of operating from standard pressure to UHV so need several.
 - Seals – Need special metal seals to prevent trace leakage.
 - Extremely Clean.
 - Minimal Surface area
 - Outgassing. Construction materials absorb other chemicals.



Example Vacuum Chamber

ULP SENSORS

- Types of ULP Sensors
 - Ionisation Gage
 - Alphasatron
 - Knudsen Gage
 - Others
- ULP Requires specialised sensors:
 - High Precision & accuracy.
 - Indirect Pressure Measurement – measure some property of the vacuum rather than the vacuum itself.
 - Mustn't contaminate environment
 - Only concerned with gases.

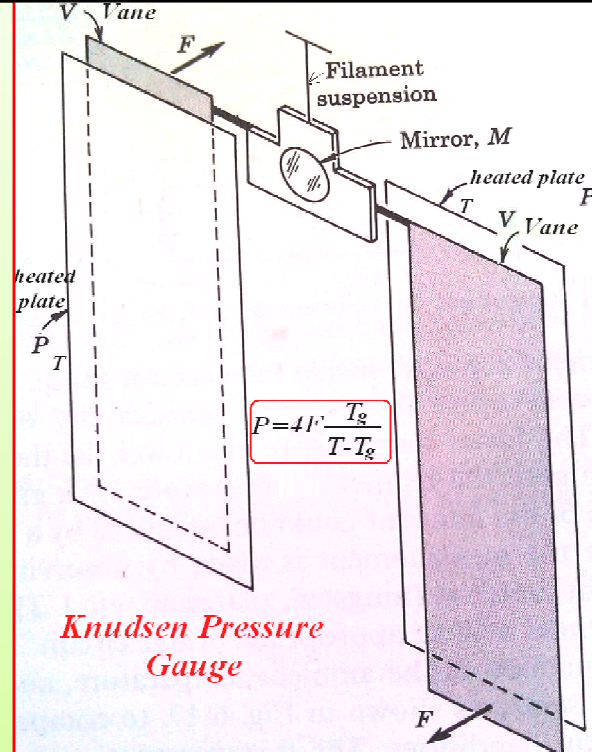
USES FOR ULTRA LOW PRESSURE

Uses for UHV generally revolve around research:

- X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)
 - Analyse composition, chemical and electrical state within material.
- Auger electron spectroscopy (AES)
 - Used to study surfaces for material sciences.
- Secondary ion mass spectrometry (SIMS)
 - Measure the composition of thin films and solids.
- Thermal desorption spectroscopy (TPD)
 - Measure adsorption binding energy.
- Angle resolved photoemission spectroscopy (ARPES)
 - Analyse the density and distribution of electrons.
- Particle accelerators
- Atomic Physics Experiments involving 'cold atoms'

UHV is necessary for these applications to reduce surface contamination, by reducing the number of molecules reaching the sample over given time period. At 0.1 mPa (10^{-6} Torr), it only takes 1 second to cover a surface with a contaminant, so much lower pressures are needed for long experiments.

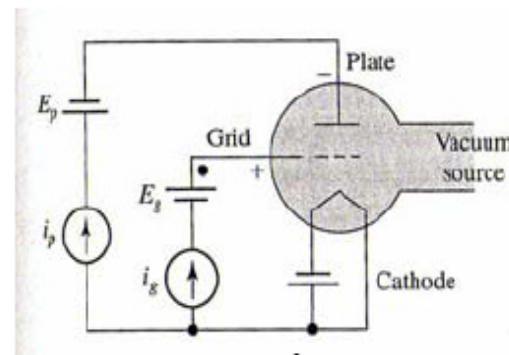
The Knudsen gauge: As shown, separation distance bet. Vanes & plates is less than mean free path. Vanes & gas are at $T_g < T$ of hot plates. Due to $(T - T_g)$, there is net momentum imparted to Vanes which may be measured by observing angular displacement of the mirror. Total momentum is function of gas press & T_g . Device measures absolute pressure & is independent of molecular weight of the gas. It is suitable for use bet. 10^{-6} to 1 Pa & may be used as a calibration device for other gauges in this region.



- Key Advantages -
 - Can be configured to be absolute. i.e. Doesn't require calibration
 - Unlike McLeod Gauge doesn't introduce foreign contaminants such as Mercury and oil and is therefore better for high precision environment.
 - Doesn't require expensive auxiliary sensors like the ionisation gage.
 - Filaments can't burn out and suspension is not delicate – so more versatile
- Disadvantages –
 - Cannot measure pressure as accurately as Ionisation.

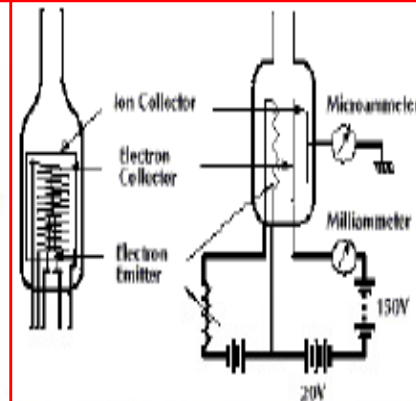
IONISATION GAGE

- Works by emitting electrons from the cathode. These collide with gas atoms and ionise them. The electrons and negative ions are then attracted to the positively charged grid to produce the grid current. The positive ions are attracted to the plate and produce the plate current.
- Hot cathode generates electrons by heat, cold cathode generates electrons by a large potential difference



$$p = \frac{1}{S} \frac{i_p}{i_g}$$

p – Pressure
 i_g – Grid Current
 i_p – Plate Current
 S – 'Sensitivity' (Chemical Dependant)



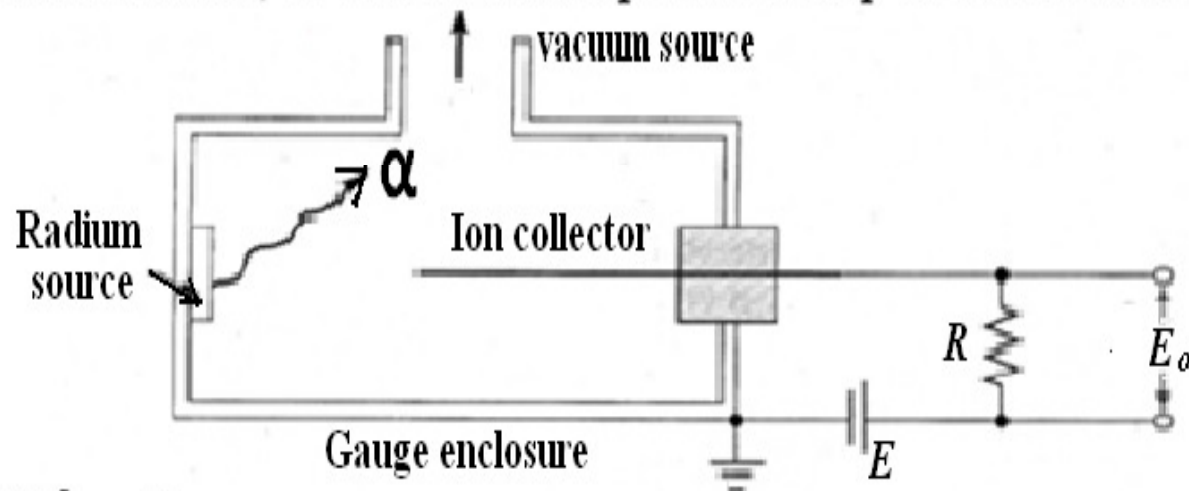
- Three Types – Hot Cathode, Cold Cathode and Spinning Rotor
- General Range of $0.13 \text{ Pa} - 1.3 \times 10^{-6} \text{ Pa}$.
- Can measure as low as $.13 \text{ nPa}$.
- Detect Ionisation of gas

IONISATION GAGE CALIBRATION

- Most ultra-low pressure gages measure pressure indirectly, hence are non-absolute.
- Eg. Ionisation gage measurements are dependant on the chemical properties of the gas in the vacuum.
- Non-Absolute pressure measurement requires calibration.
- Use either McLeod, Knudsen or deadweight.
- Must also be used in conjunction with a mass spectrometer to calculate chemical composition.

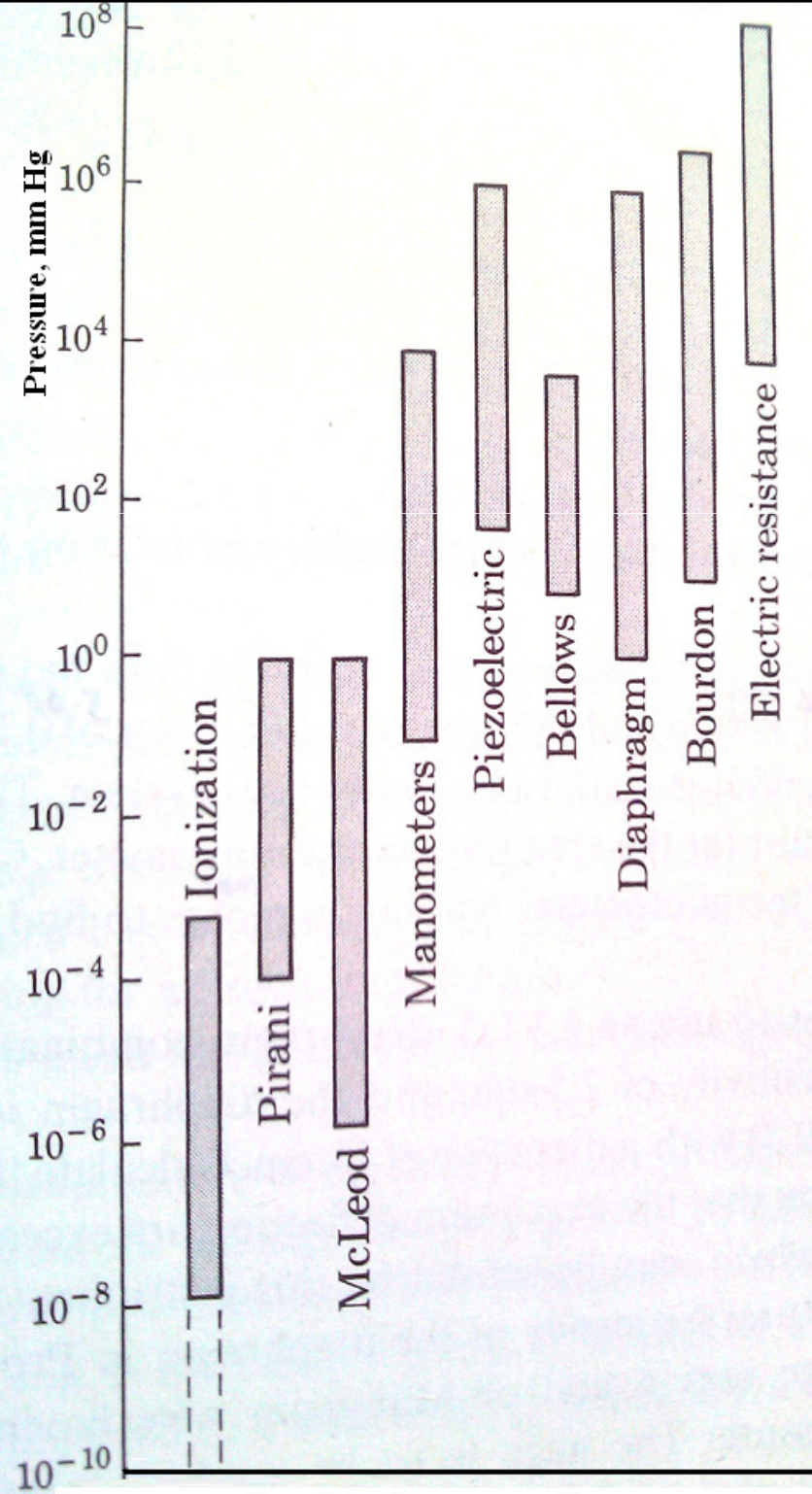
ALPHATRON & OTHERS

- Alphatron is special radioactive Ionisation Gage.
- Emits radiation and determines resulting ionisation of gas.
- No filament, so can measure pressures up to 1 atm as well.



Other Type:

- Langmuir Gage – measures pressure in terms of damping on high frequency vibration of quartz fibres



Summary of applicable range of pressure gauge

٢- عناصر قياس الضغط:

٢-١- تعريفات:

أ- تعريف الضغط: الضغط هو القوة المطبقة على مساحة معينة: $P=F/A$

F: القوة (Newton) ، A: المساحة (m^2) ، P: الضغط (N/m^2)

ويُقاس الضغط بعدة وحدات: $1N/m^2=1Pascal$ بحيث أن:

$$1.02kgf/cm^2 = 10^6 barye = 14.5psi = 751.9 \text{ مم زئبق} = 10.194 = 1bar = 100000Pa$$

ب- تعريف أنواع الضغوط:

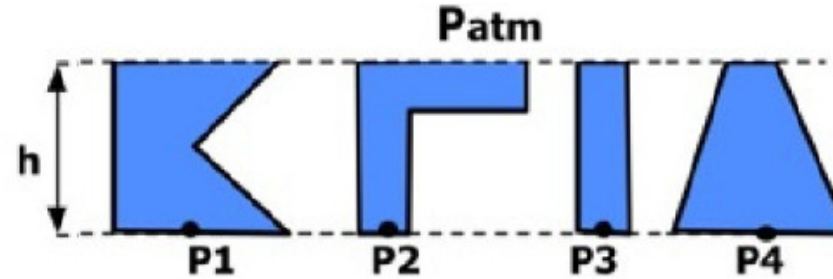
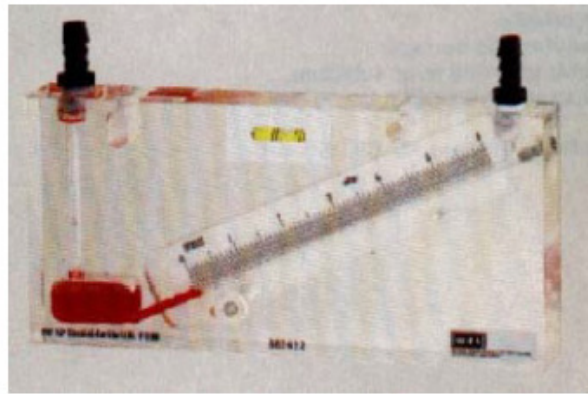
- الضغط المطلق: هو الضغط الحقيقي باعتبار الضغط الجوي
- الضغط الجوي: معدل الضغط الجوي في مستوى البحر عند درجة حرارة $158C$ تقريبا $1013mbar$ يمكن أن تتغير بتغير درجة حرارة الجو والارتفاع.
- الضغط النسبي: هو فرق الضغط بالنسبة للضغط الجوي، وهو الأكثر استخداما بما أن أغلب الحساسات تعمل في الضغط الجوي. لقياس ضغط مطلق يجب عمل فراغ شديد في غرفة.
- الضغط التبايني: هو الفرق بين ضغطين ، أحدهما يكون من المرجع. الضغط التبايني يمكن أن يأخذ قيم سالبة.
- الفراغ: يناسب نظريا ضغط مطلق مساو للصفر. عمليا لا يمكن الحصول عليه ولا تعديده، عندما نقرب منه نقول أنه فراغ شديد.
- ضغط التشغيل: هي القوة لكل وحدة مساحة مطبقة على مساحة عن طريق مائع يسري في أنبوب.

ج- ضغط الموائع (سائل وغاز):

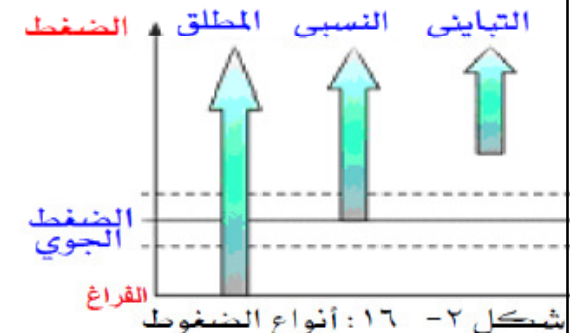
- الضغط الهيدروستاتيكي: داخل الأنبوب يتولد ضغط بسبب وزن كتلة السائل على مساحة مقطع الأنبوب ، بالنسبة للأربعة الخزانات المبينة في الشكل التالي فإن الضغط في قاع كل خزان متساو وقيمته:

$$P_1=P_2=P_3=P_4$$

$$P=\rho.g.h \quad (\rho: \text{كثافة المائع و } g: \text{تسارع الجاذبية})$$



شكل ٢- ١٧: الضغط الهيدروستاتيكي



شكل ٢- ١٦: أنواع الضغوط

- ضغط بسبب القوى الخارجية:

أي مائع يتحرك بسرعة V يولد ضغط إضافي: $P=1/2.\rho.v^2$

- الضغط الكلي: $P_t=\rho.g.h + 1/2.\rho.v^2$

شكل ٢- ١٨: المانومتر الهيدروستاتيكي

P_t هي قيمة ضغط مائع (غير قابل للانضغاط) في حالة حركة أفقية وقيمتها ثابتة في أي نقطة. وهذا هو قانون برنولي.

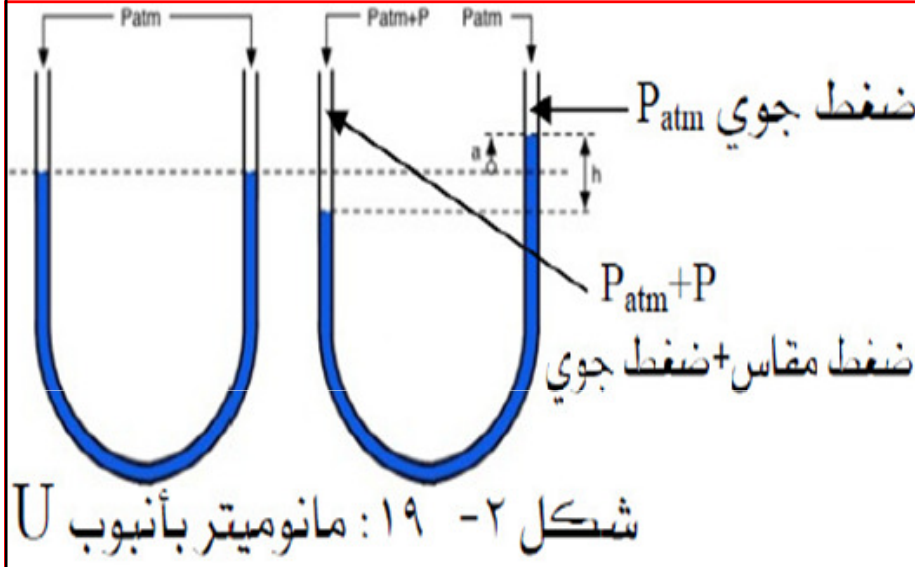
٣-٢-٢ المانوميتر الهيدروستاتيكي:

كما هو مبين في الشكل السابق فإن ارتفاع السائل يعطي قياس ضغط.، الحساسية تكون ذات أهمية كلما كانت كثافة السائل أقل.

❖ مانوميتر بأنبوب U:

فرق الارتفاع h للسائل المانوميتر بين ناحيتين للنفس الأنبوب U ، تعطي قياس فرق الضغط P بين حافتي الأنبوب. هذا المانوميتر يعطي إشارة في الناحية اليمنى للشكل. من إيجابيات وسلبيات الأنبوب المانوميتر الذي يفطي من 0 إلى 5.10^5 Pa بالنسبة لقياس ضغط الغاز فقط:

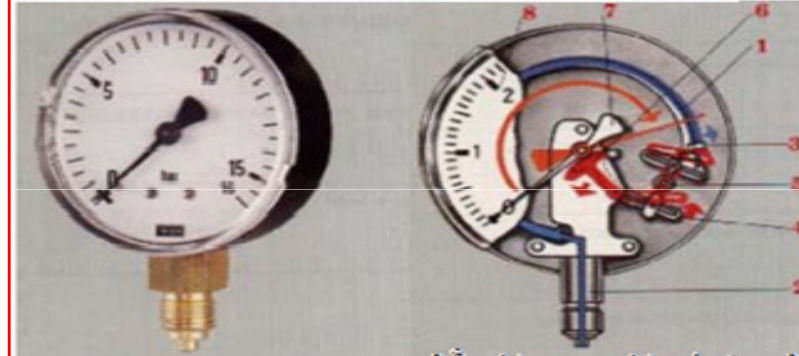
- الإيجابيات: دقة جيدة (يمكن أن تتعدى 0.1)، استقرار جيد، حساس بسيط وغير مكلف.
- السلبيات: حجمه كبير وقابل للتكسير، يتأثر بالحرارة والاهتزاز، يجب معايرة الأنبوب بشكل دقيق، عدم استخدام السوائل اللزجة والأنابيب الخشنة، هذا الجهاز لا يحول الضغط المقاس إلى إشارة تناظرية. لاستغلالها في عملية التحكم.
- مجالات الاستخدام: قياس الضغوطات المطلقة، النسبية والتباينية حتى 2 بار، عمليا ارتفاع السائل لا يتعدى 2 متر، يستخدم أساسا في المختبرات وكجهاز معايرة.



٢-٢-٢ مانوميتر الأجسام المرنة (المبين المرن):

أ- مانوميتر أنبوب بوردن Bourdon tube:

يتكون هذا المانوميتر من:



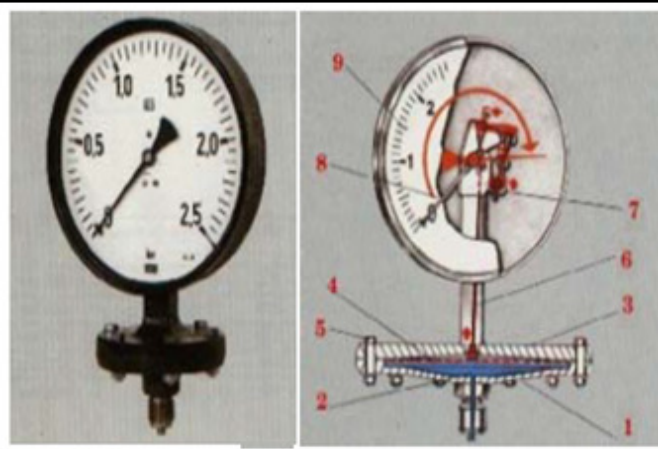
شكل ٢-٢٠: أنبوب بوردن

- ١- عنصر محرك، أنبوب بوردن
- ٢- حامل الأنبوب
- ٣- غطاء الأنبوب
- ٤- جزء مسنن
- ٥- ذراع
- ٦- قرص
- ٧- عقرب
- ٨- مؤشر

تم لحام أنبوب بوردن مع حامل الأنبوب الذي يكون قطعة كاملة مع الوصلة. عن طريق ثقب في الوصلة يمر السائل الذي نريد قياس ضغطه داخل الأنبوب. الجهة المتحركة في نهاية الأنبوب تتحرك بتغير الضغط (تأثير بوردن). هذه الإزاحة لها علاقة تناسبية مع الضغط المقاس، ثم يتم تحويله عن طريق الحركة إلى العقرب ومن ثم قراءة قيمة الضغط على المؤشر. مانوميترات بوردن تستخدم لقياس الضغط السالب والموجب للسوائل والغازات بشرط أن تكون اللزوجة منخفضة. مجال القياس يمتد من 0.6 بار إلى 4 كيلوبار.

ب- المانومتر الغشائي:

تم مسك الغشاء بين الحامل السفلي والعلوي، عن طريق ثقب في الوصلة يصل المائع الذي سيتم قياس ضغطه إلى غرفة الضغط تحت الغشاء، يتمدد الغشاء تحت تأثير الضغط. إزاحة الغشاء لها علاقة تناسبية مع الضغط المقاس ويتم تحويلها عن طريق حركة العقرب لقراءتها على المؤشر. المانومترات الغشائية تستخدم لقياس ضغوط منخفضة موجبة أو سالبة من 16 ميليبار إلى 40 بار.

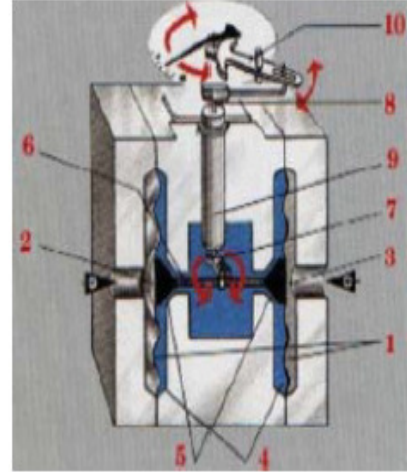


- ١- حامل سفلي
- ٢- غرفة الضغط
- ٣- حامل علوي
- ٤- الغشاء
- ٥- برغي
- ٦- ترس
- ٧- عقرب
- ٨- مؤشر

شكل ٢- ٢١: المانومتر الغشائي

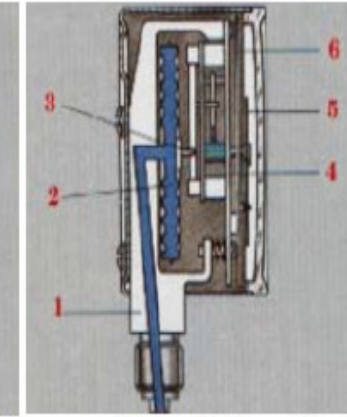
ج- مانومتر الكبسولة: (شكل ٢- ٢٢)

الكبسولة تم تركيبها مباشرة على الوصلة باستخدام أنبوب معدني. عن طريق ثقب في الوصلة يمر السائل داخل الكبسولة. وتحت تأثير الضغط ينتفخ جزأي الكبسولة، هذه الإزاحة لها علاقة تناسبية مع الضغط المقاس وتتحول إلى حركة على مستوى العقرب ويمكن قراءة الضغط على المؤشر. يستخدم مانومتر الكبسولة لقياس الضغوط المنخفضة والمنخفضة جداً، موجبة أو سالبة وأساساً الغازات. مجال القياس يكون من 2.5 مليبار إلى 600 مليبار.



- ١- عنصر محرك، الغشاء
- ٢- غرفة قياس سالبة
- ٣- غرفة قياس موجبة
- ٤- غرفة قياس
- ٥- صمام ثنائي
- ٦- ذراع
- ٧- ذراع نقل
- ٨- عمود إدارة
- ٩- أنبوب عزم
- ١٠- حركة

شكل ٢- ٢٣: مانومتر الضغط التفاضلي



- ١- حامل عنصر المحرك
- ٢- عنصر المحرك، الكبسولة
- ٣- ذراع
- ٤- حركة
- ٥- عقرب
- ٦- مؤشر

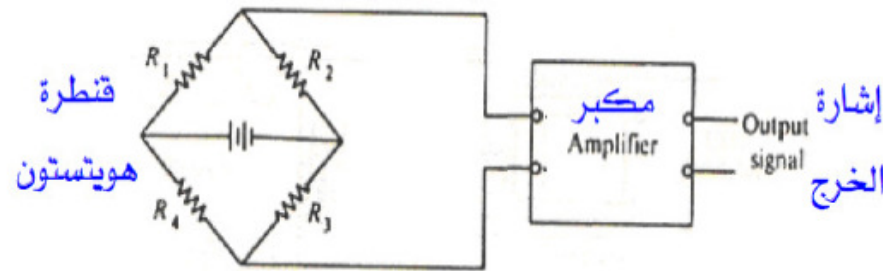
شكل ٢- ٢٢: مانومتر الكبسولة

د- مانومتر الضغط التفاضلي:

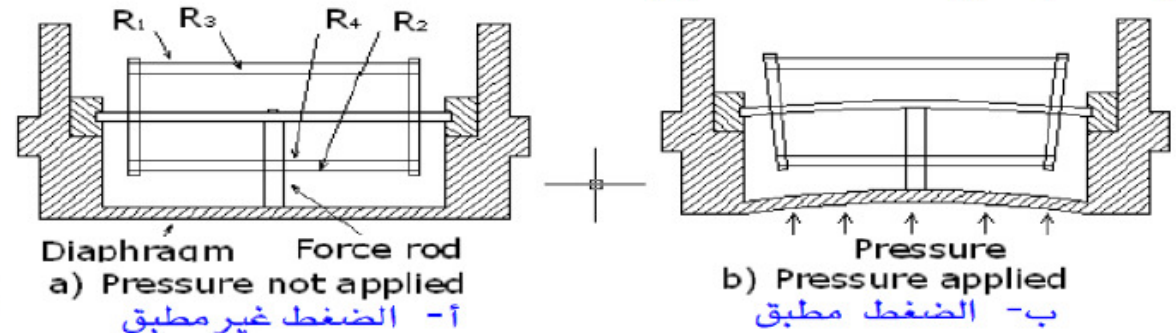
يتكون هذا المانومتر من العناصر التالية: شكل ٢- ٢٣
تم تركيب الكبسولة في صندوق محكم الإغلاق مقاوم للضغط، وهو تحت ضغط داخلي وخارجي. فرق الضغط بين الناحيتين يولد حركة للكبسولة. هذه الإزاحة لها علاقة تناسبية مع الضغط المقاس وحركة العقرب تجعلنا نقرأ قيمة الضغط التبايني على المؤشر.

هـ - عنصر حس مقياس الانفعال :

يتم لصق مقاومات R_1 و R_2 و R_3 و R_4 على الجسم المرن وعند تطبيق ضغط معين تتمدد هذه المقاومات التي تمثل قنطرة هويتستون وبذلك يتولد عدم توازن في القنطرة مما يولد فرق جهد عند الخرج يتناسب مع الضغط المطبق.

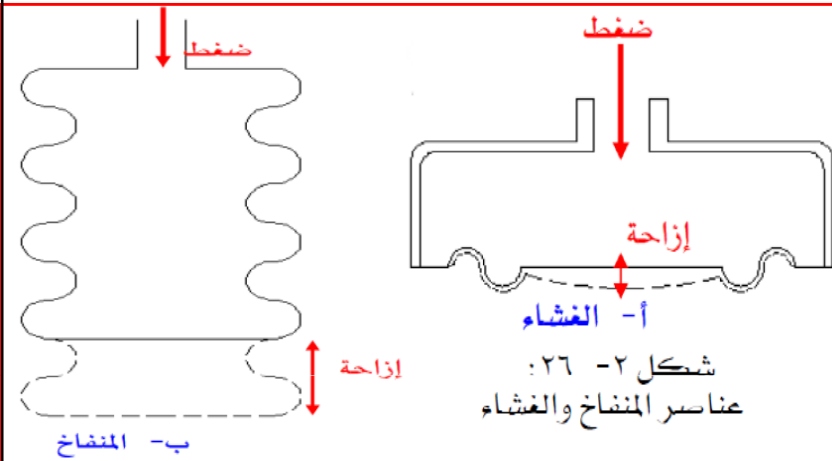


شكل ٢-٢٤: عنصر حس لقياس الضغط باستعمال مقياس الانفعال

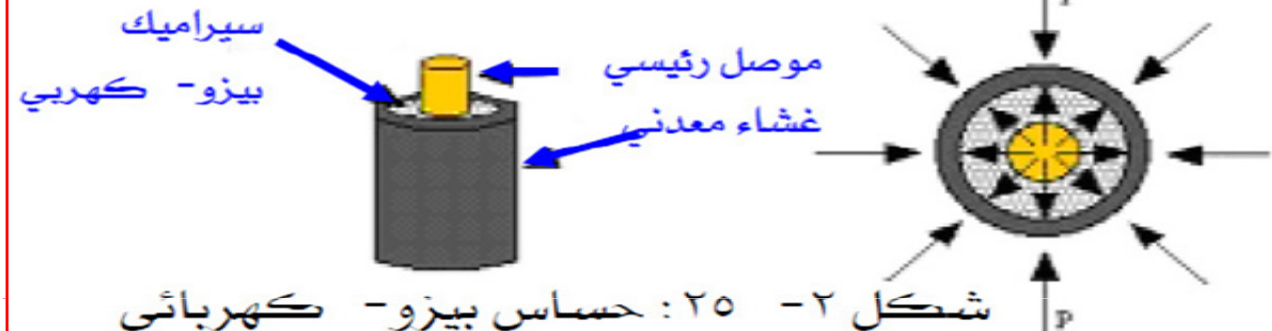


و - عنصر حس البيزو - كهربى :

التركيبات البيزو - كهربية تمكننا من التحويل المباشر للإجهاد إلى شحنة كهربية. هناك تركيبات بيزو - كهربية في شكل كابل متحد المحور Coaxial cable تمكننا من قياس التغيرات الضعيفة للضغط لمراقبة الازدحام المروري مثلاً.



شكل ٢-٢٦: عناصر المنفاخ والغشاء

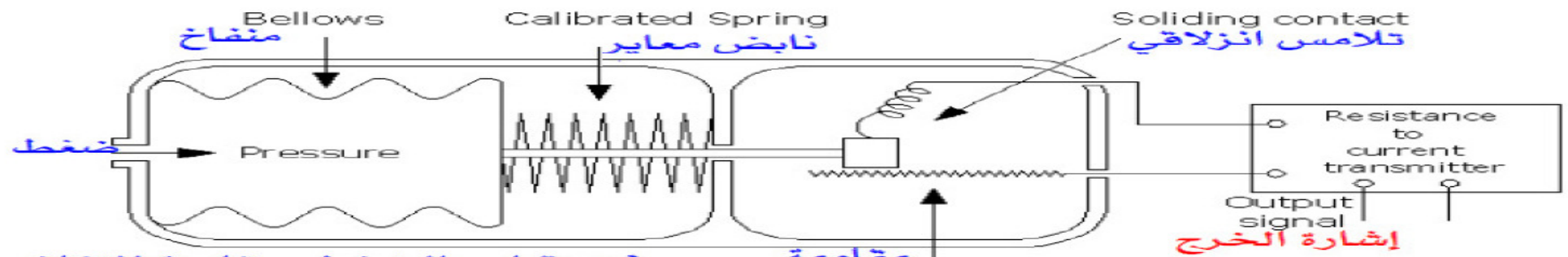


ي - عنصر حس الأغشية المرنة :

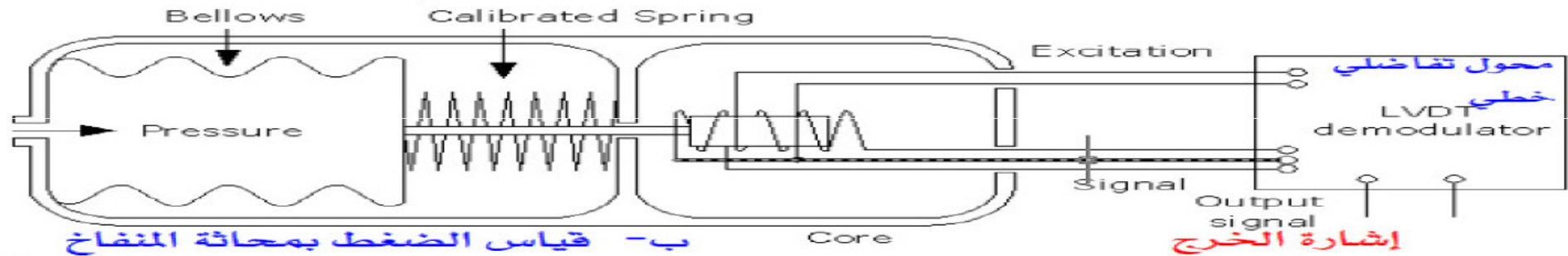
يتمثل هذا الحساس في عنصر أولي وعنصر ثانوي ومحول إشارة. العنصر الأولي يحول قياس الضغط إلى إشارة ضغط مقاسة متناسبة مع الإزاحة. العنصر الثانوي يحول الإزاحة إلى تغير في العنصر الكهربى. محول الإشارة يحول التغير في العنصر الكهربى إلى إشارة مناسبة لاستخدام المنظم، الكمبيوتر أو عنصر التأشير.

الشكل التالي يبين العناصر الأولية المستخدمة كعناصر مرنة لتحويل الضغط وهما المنفاخ والغشاء. المنفاخ هو عبارة عن أسطوانة معدنية بجوانب متموجة، هذا الشكل يجعل العنصر يتمدد حسب قيمة الضغط الداخلي ضد نابض معاير. إزاحة المنفاخ تتناسب مع الضغط المقاس.

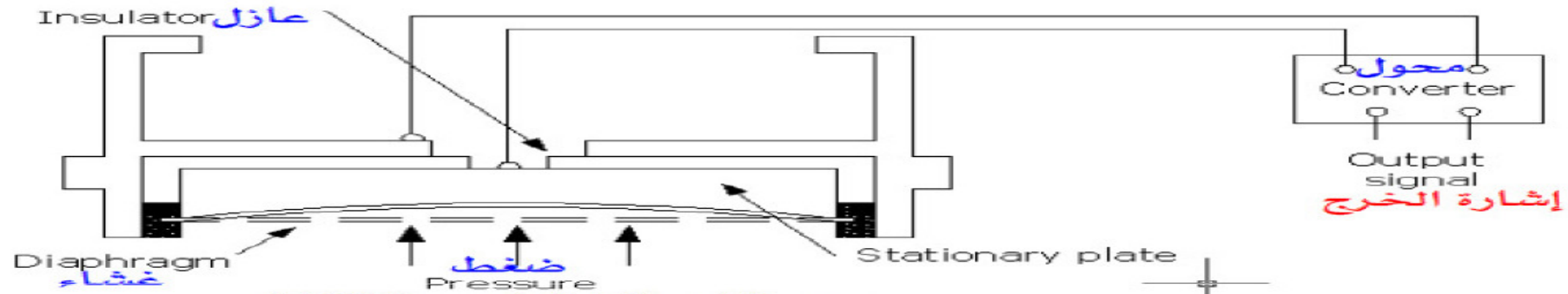
الغشاء يكون مسطح أو مهوج. هذا الغشاء يسمح بحركة لموازنة الضغط ضد النابض المعاير أو محول القوة.



أ - قياس الضغط بمقاومة المنفاخ
a) A bellows-resistance pressure sensor



ب - قياس الضغط بمحاثة المنفاخ
b) A bellows-inductance pressure sensor



ج - قياس الضغط بسعة الغشاء
c) A diaphragm-capacitance pressure sensor

شكل ٢ - ٢٧ : عناصر الأغشية المرنة

العنصر الثانوي يحول إزاحة العنصر الأولي إلى إشارة قابلة للاستخدام. هذا التحويل يكتمل باستخدام الإزاحة لتعديل إحدى الثلاثة عناصر الدائرة الكهربائية: المقاومة، السعة أو المحاثة الكهربائية، ثم ينتج إشارة كهربائية على أساس قيمة متغير العنصر. هناك أمثلة للثلاث أنواع من العناصر الثانوية مبينة في الشكل السابق (أ) ونبين فيه متغير مقاومة الضغط. هناك نابض معاير يزاح بالضغط الذي يتناسب مع ضغط المنفاخ. التلامس الانزلاقي يسبب تغير في المقاومة بين تلامسين من الرصاص إلى المحول المحول في لفة واحدة ينتج إشارة كهربائية على أساس قيمة المقاومة.

عنصر حس السعة يبين في الشكل السابق (ب) أن المحول التفاضلي الخطي ينتج إشارة فرق جهد خطية تتناسب مع إزاحة القلب انطلاقاً من الوضع المركزي.

عنصر حس المحاثة يبين في الشكل السابق (ج) الغشاء والسطح الثابت من شريحتي المكثف. إزاحة الغشاء تنتج مسافة بين الشريحتين مما يزيد من قيمة المكثف. الإشارة المحولة تنتج إشارة كهربائية تتناسب مع قيمة المكثف.