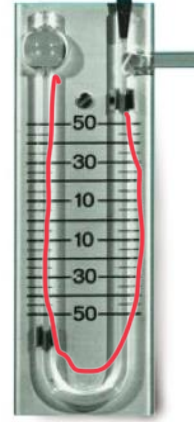


Basınç Ölçümü



manometre



Prof.Dr. Muhammet KAYFECİ

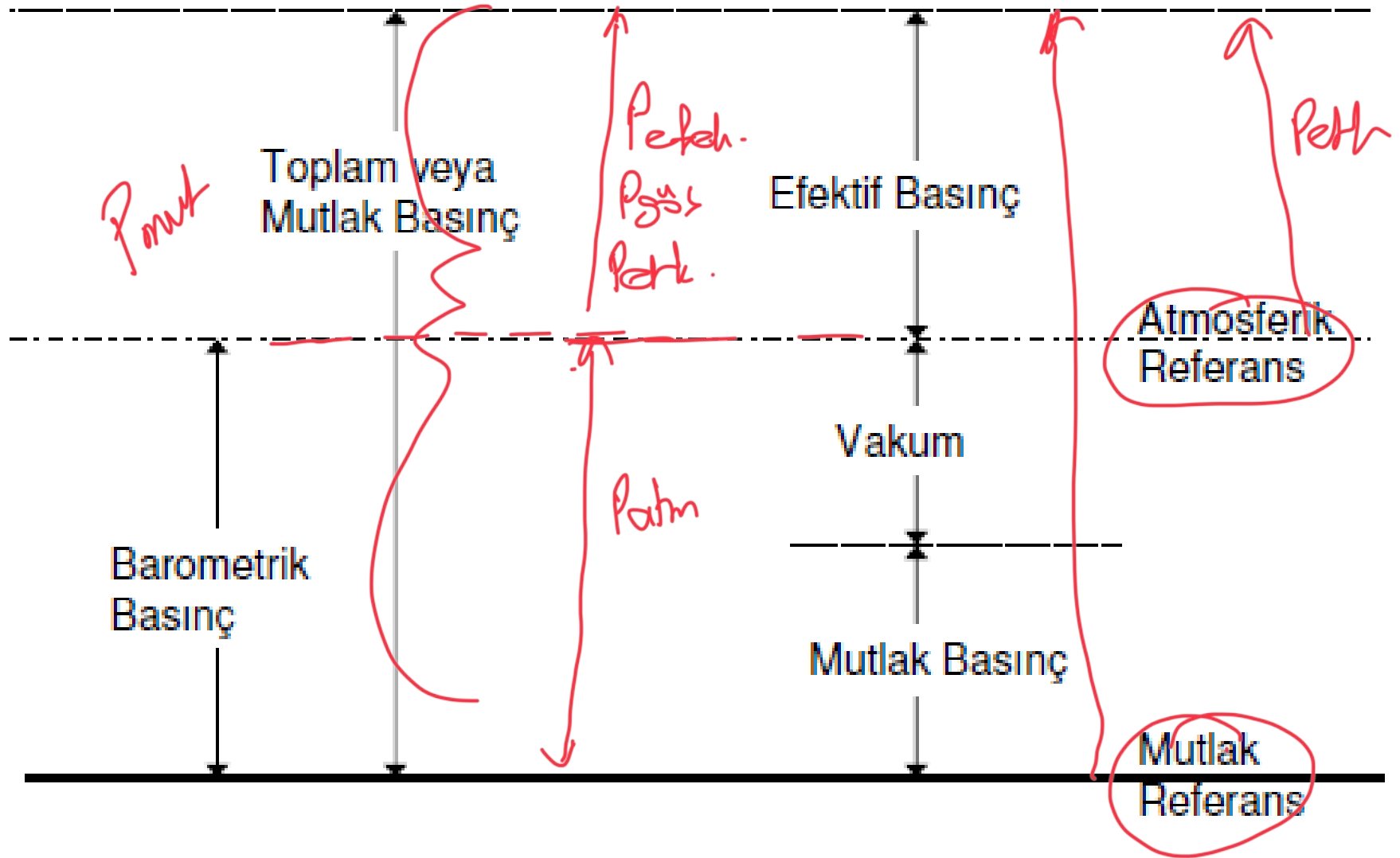
Basınç: Herhangi bir sıvı veya gaz akışkanının bulundukları kapların birim alanlarına yaptıkları kuvvete basınç denir.

$$P = \frac{F}{A} \quad \frac{N}{m^2} = \text{Pascal} \quad (Pa)$$

- Katı cisimlerde ise gerilim göz önüne alınır.
- Kısaca Birim alana etki eden kuvvettir. $P = F / A$
- SI Birimi: $[Pa]$ (Pascal) = $[N/m^2]$
- Basınç, mutlak basınç, efektif (gösterge, etkin) basınç ve vakum basıncı olarak ifade edilir.

- İçinde yaşadığımız atmosferde hali hazırda mevcut olan bir atmosfer basıncı vardır.
- Bu basınç, atmosfere açık olan gaz ve sıvı sistemlerine tesir eder. Dolayısıyla atmosfere açık sistemlerde basınç gerçek basınç değildir. Buna bir de atmosferin yaptığı basıncı eklemek gerekir. Bu toplam basınca **mutlak basınç** denir.
- Diğer taraftan atmosferin basıncını göz önüne almayıp, içinde yaşadığımız çevrenin basıncını sıfır kabul ettiğimiz zaman bulunan basınca ise **efektif basınç** adı verilir.

$$P = P_{\text{atm}} + P_{\text{etk}}$$



Basınç Birimleri ve Dönüşüm Tablosu

BİRİM	N/m ² . Pa	kiloPascal. kPa	bar	Kgf/cm ²	psi	mSS	mmHgS
Pa	1	0.001	1×10^{-5}	1.05×10^{-5}	1.45×10^{-4}	1.02×10^{-4}	0.0075
kPa	1000	1	0.01	1.02×10^{-5}	0.145	0.102	7.5
bar	100 000	100	1	1.02	14.5	10.2	750.1
Kgf/cm ²	98.067	98.07	0.981	1	14.22	10	735.6
psi	6895	6.895	0.069	0.0703	1	0.703	51.72
mSS	9789	9.789	0.098	0.1	1.42	1	73.42
mm HgS	133.3	0.133	0.0013	0.0014	0.019	0.014	1
Atm	101325	101.325					

1 atm = 101325 Pa = 101.325 kPa = 1.01325 bar

1 atm = 14.696 psi

1 atm = 760 mmHg

1 bar = 100000 Pa = 100 kPa

1 Torr = 1 mmHg = 133.322 Pa = 1333.22 microbar

1 microbar = 0.1 Pa

Basınç ölçümlerine nerelerde ihtiyaç duyarız?

- Basınç üreten cihazlarda (Güç üreten makineler, türbinler, kompresör, pompa)
- Pnömatik yada hidrolik olan mekanik elemanlarda
- Biomedikal uygulamalarda (Kan basıncı gibi)
- Boru ve tünellerdeki basınç kayıpları
- Atmosfer şartlarında (hava tahmini, yükseklik)
- Akım hızlarının dolaylı ölçümlerinde
- Basıncılı kaplarda v.b.

Akışkan basıncı:

- Akışkan molekülleri ve içinde bulunduğu kabın cidarları arasındaki momentum değişiminden meydana gelir.

Toplam momentum değişimi:

- Birim zamanda cidara çarpan molekül sayısı ve moleküllerin ortalama hızı ile orantılıdır.

İdeal gaz:

$$P = \frac{1}{3} N M V^2$$

N: molekül sayısı (kmol)

M: moleküler kütle (kg/kmol)

V: $[3 k.T/M]^{1/2}$ ortalama molekül hızı (m/s)

K: 1.3806×10^{-23} J/K Boltzmann sabiti

T: gazın mutlak sıcaklığı (K)

Basınç Ölçme Cihazları

Sıvı Sütunlu Basınç Ölçme Cihazları

- U tipi manometre
- Kuyu tipi manometre
- Eğik manometreler
- Mikromanometreler
- Barometreler
- Çan tipi manometre
- Dairesel dengeli manometre

Elastik Elemanlar ile Basınç Ölçümü

- Bourdan manometreleri
- Diyaframlar
- Kapsüller
- Körükler

Piezoelektrik Basınç Ölçerler

Bridgman Basınç Ölçeri

Düşük Basınçların Ölçülmesi

- McLeod cihazı
- Gazların ısı iletim katsayısına dayanan basınçölçerler
- Knudsen cihazı
- İyonizasyon cihazı
- α -Partikül üretici ile basınç ölçümü

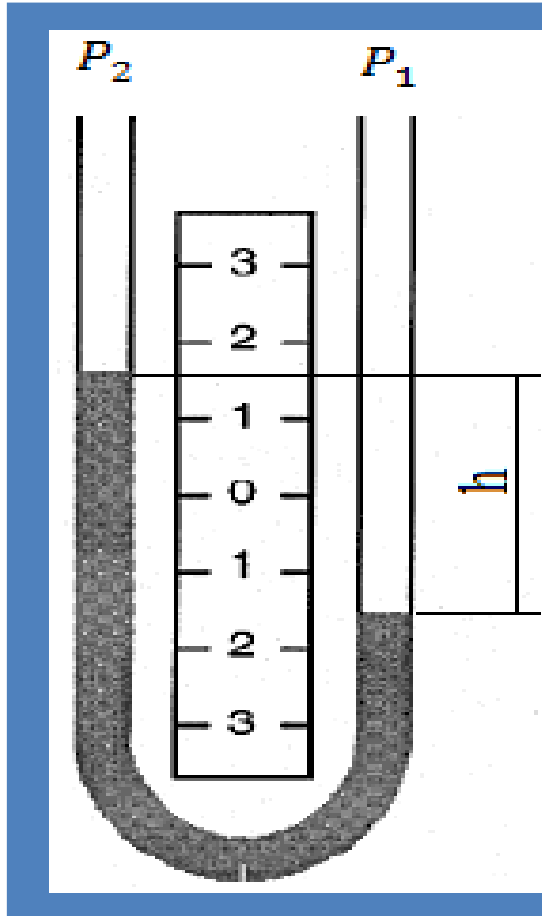
Sıvı sütunlu basınç ölçme cihazları

- En basit tipten manometreler olup, özellikle laboratuvarlarda sürekli rejimde akışkan basınçlarının ölçülmesi için yaygın olarak kullanılırlar.

Sıvı	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)		
		0	20	40
Cıva	1	1395,08	13545,88	13496,69
Su	1	999,90	999,30	992,26
Su	10	1000,30	998,70	992,65
Su	100	1004,72	1002,81	996,61
Asetilen tetrabromid	1		2950	
Karbon tetraklorid	1	1633	1594	1554
Metanol	1	810	792	774
Etanol	1	806	789	772

1- U Tipi Manometreler

U şeklinde kıvrılmış plastik veya cam boru ve skaladan oluşur. Boru içinde bulunan sıvı, akışkan tarafından uygulanan basınca bağlı olarak seviye değiştirir. İki koldaki seviye farkı ölçülerek basınç farkı hesaplanır.



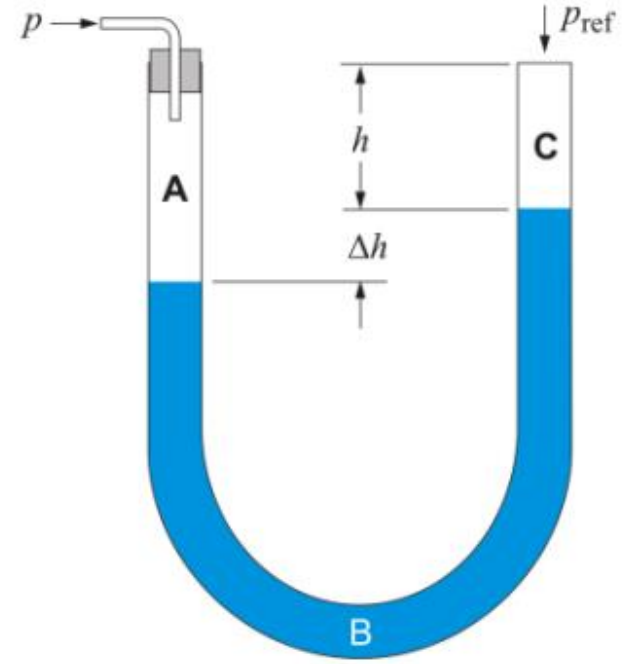
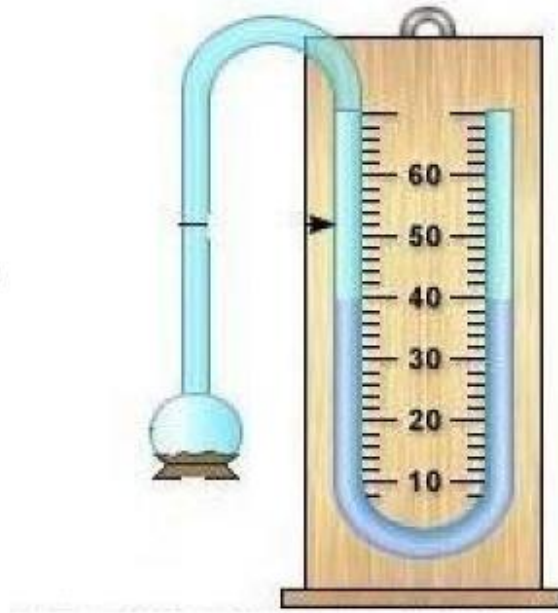
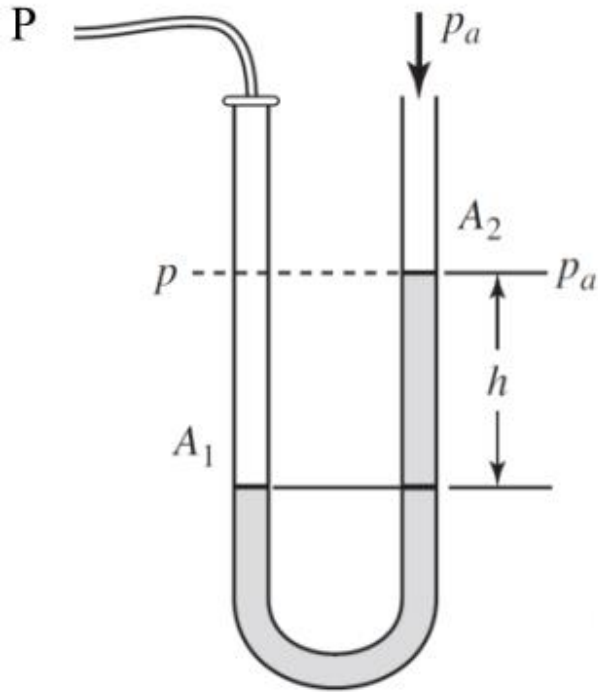
$$P_2 + \rho_m g h = P_1 + \rho_f g h$$

veya basınç farkı için yazılırsa;

$$P_1 - P_2 = h g (\rho_m - \rho_f)$$

eşitlikleri yazılabilir. Diğer taraftan, eğer basıncı ileten akışkan hava ise, havanın yoğunluğunun manometre sıvısı yoğunluğu yanında çok küçük olması nedeniyle, böyle durumlarda;

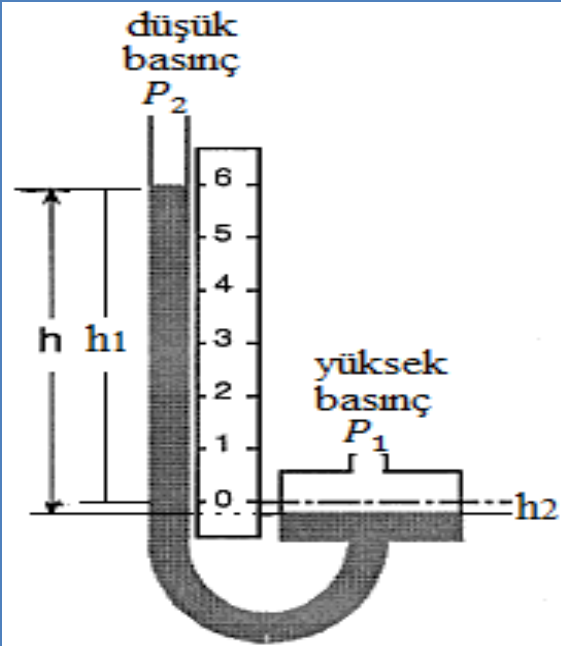
$$P_1 - P_2 = h g \rho_m$$



- U tipi manometrelerde h yüksekliği çıplak gözle ± 2 mm hassasiyetle ölçülebilir.
- Manometrelerde çoğunlukla kullanılan saf su ve cıva gibi akışkanların yoğunlukları, tablolardan genellikle %0.005 hassasiyetle bulunabilir.

2- Kuyu Tipi Manometre

Bu tip manometre kuyu adı verilen bir depo ile cam bir borudan meydana gelmiştir. Kuyu cam boru üzerinde sıfır işaretli kısma kadar manometre sıvısı ile doldurulur. Ölçme yapılırken büyük basınç kuyu tarafına, düşük basınç ise boru tarafına bağlanır. Aradaki yükseklik farkıyla basınç ölçülür.



Manometreye P_1 ve P_2 basınçları uygulandığında kuyudaki seviye azalması h_2 , borudaki seviye yükselmesi ise h_1 , borunun kesit alanı A_1 ve kuyunun kesit alanı A_2 ise kuyudaki hacim azalması, borudaki hacim artmasına eşit olacaktır.

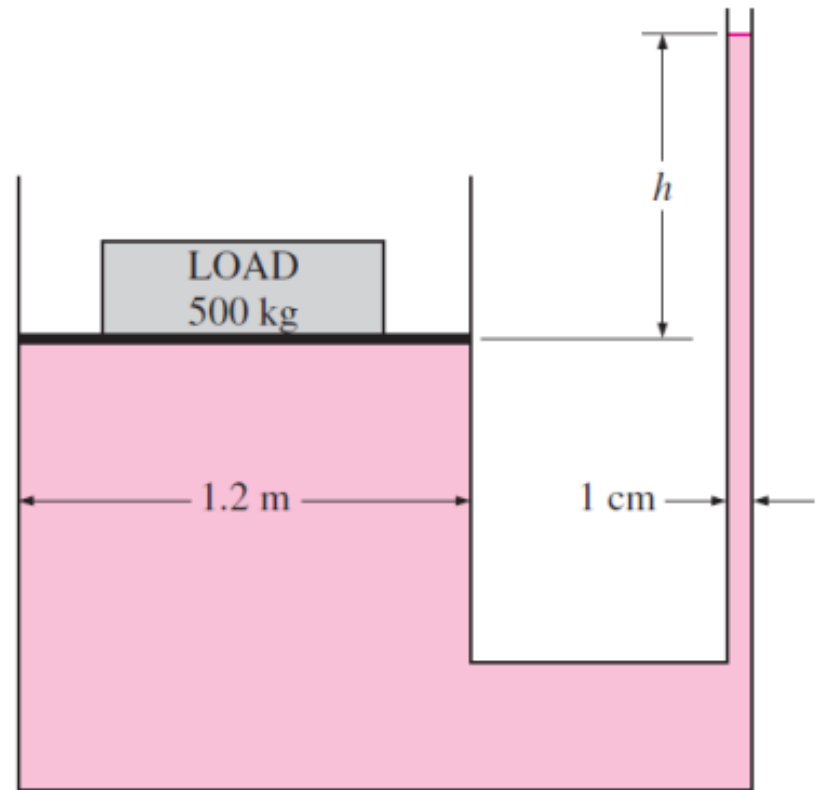
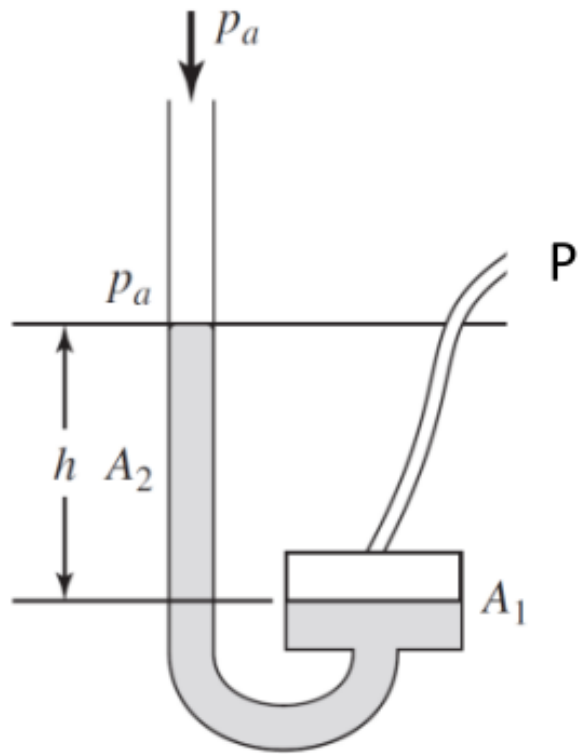
$$A_1 h_1 = A_2 h_2$$

Şeklinde yazılabilir. Manometrenin gösterdiği toplam seviye farkı;

$$h = h_1 + h_2 = h_1 \left(1 + \frac{A_1}{A_2}\right)$$

veya basınç farkı

$$P_1 - P_2 = h g (\rho_m - \rho_f)$$



Örnek:

Kuyu tipi bir manometrede dairesel kesitli kuyunun çapı 20 mm, borunun çapı 1 mm ve boruya yerleştirilmiş bir cetvel ile ± 1 mm hassasiyetle okuma yapılabildiğine göre, bu manometre ile 800 mm okunan bir basınç için toplam hata miktarını bulunuz?

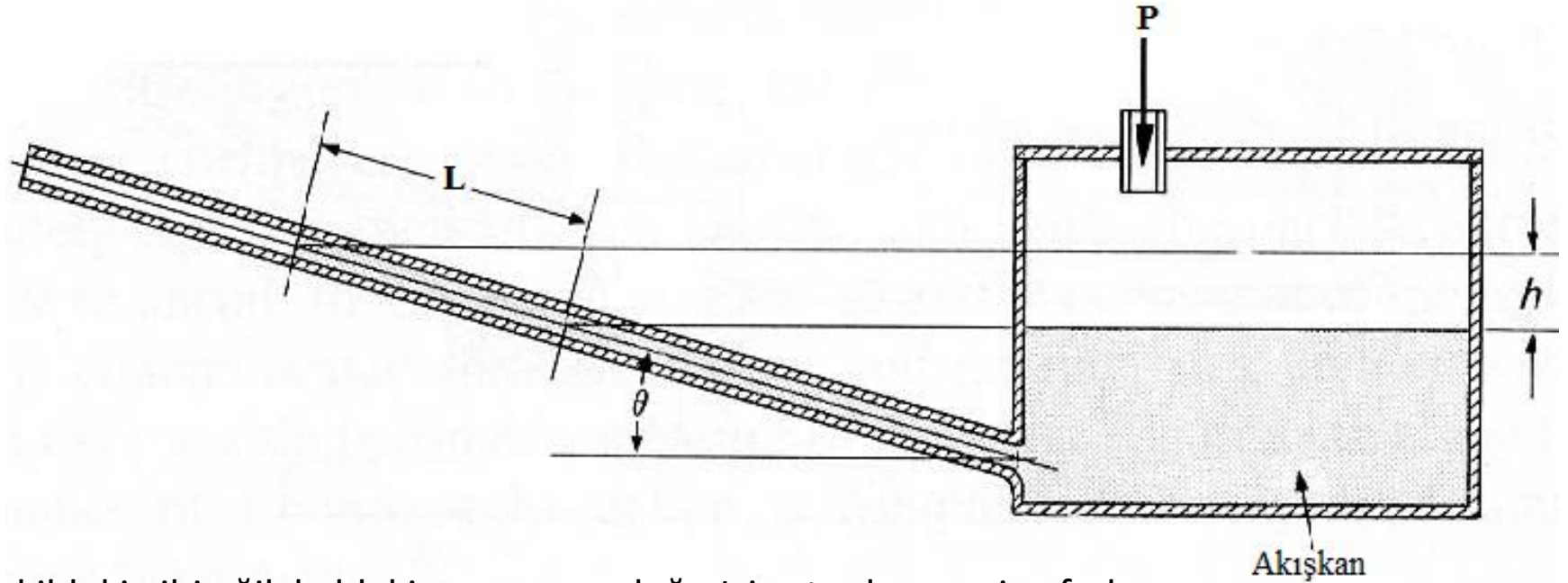
Çözüm: manometre için;

$$A_1 h_1 = A_2 h_2$$
$$h - h_1 = h_2 = h_1 \frac{A_1}{A_2} = h_1 \left(\frac{d_1^2}{d_2^2} \right) = 800 \left(\frac{1^2}{20^2} \right) = 2mm$$

Okumadan gelen hata ± 1 ise yapılabilecek maksimum hata 3 mm olacaktır.

3- Eğik manometre

Kuyu tipi manometrenin ölçme kolları eğimli hale getirilerek, küçük basınçların daha hassas bir şekilde ölçülmesi sağlanabilir.

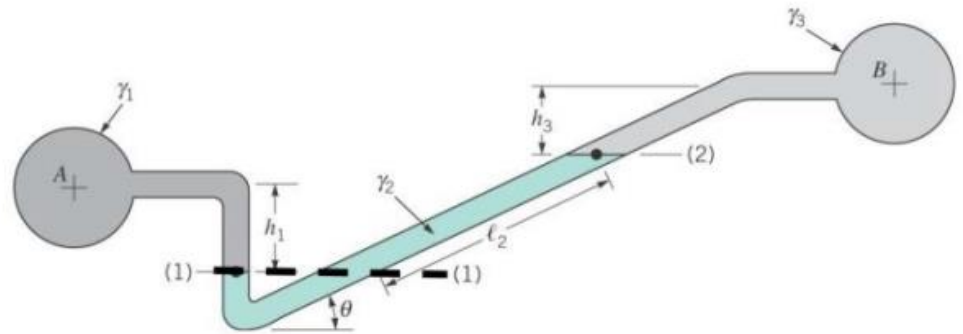


Şekildeki gibi eğik koldaki sıvının uzunluğu L ise toplam seviye farkı;

$$h = L(\sin\theta + \frac{A_1}{A_2})$$

θ : kolun yatayla yaptığı açı ise Basınç farkı

$$P_1 - P_2 = h g(\rho_m - \rho_f)$$



Örnek:

Bir eğik manometre $\theta = 30^\circ$, $\frac{A_1}{A_2} = 0.025$, $n=250$ mm ve manometrede kullanılan akışkan etanol olduğuna göre, 20°C sıcaklıkta ortamda hava olması halinde ölçme için basınç farkını bulunuz ($\rho_m=789$ kg/m³, $\rho_f=1.2$ kg/m³).

Çözüm:

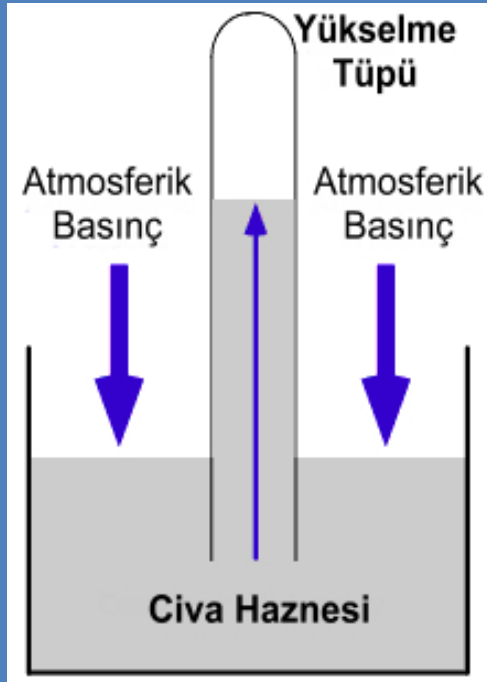
Manometredeki toplam seviye farkı;

$$h = L \left(\sin\theta + \frac{A_1}{A_2} \right) = 0.25(0.5 + 0.0025) = 0.1256 \text{ mm}$$

$$P_1 - P_2 = h g (\rho_m - \rho_f) = 0.1256 (9.81)(789 - 1.2)$$

$$P_1 - P_2 = 970.68 \text{ Pa}$$

4- Barometreler



Atmosfer basıncını gösteren manometrelere barometre denir. Mekanik basınç veya vakum basınç ölçme aletleri, atmosfer üstü veya atmosfer altı basınçları gösterirler. Bu nedenle sistemin mutlak basınç değeri hassas olarak bulunmak istenirse o bölgenin barometrik basıncı da bilinmelidir. Standart atmosferik basıncın yükseklikle değişimi;

$$P = P_0 \left(1 - \frac{B Z}{T_0} \right)^{5.26}$$

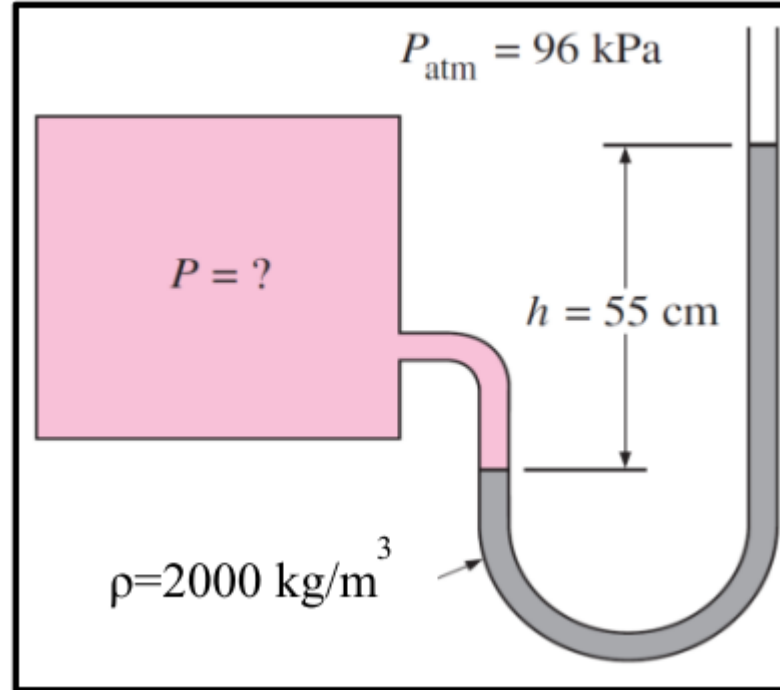
P_0 : deniz seviyesindeki standart atmosferik basınç

Z : Yükseklik (m)

$T_0 = 288.16 \text{ K}$

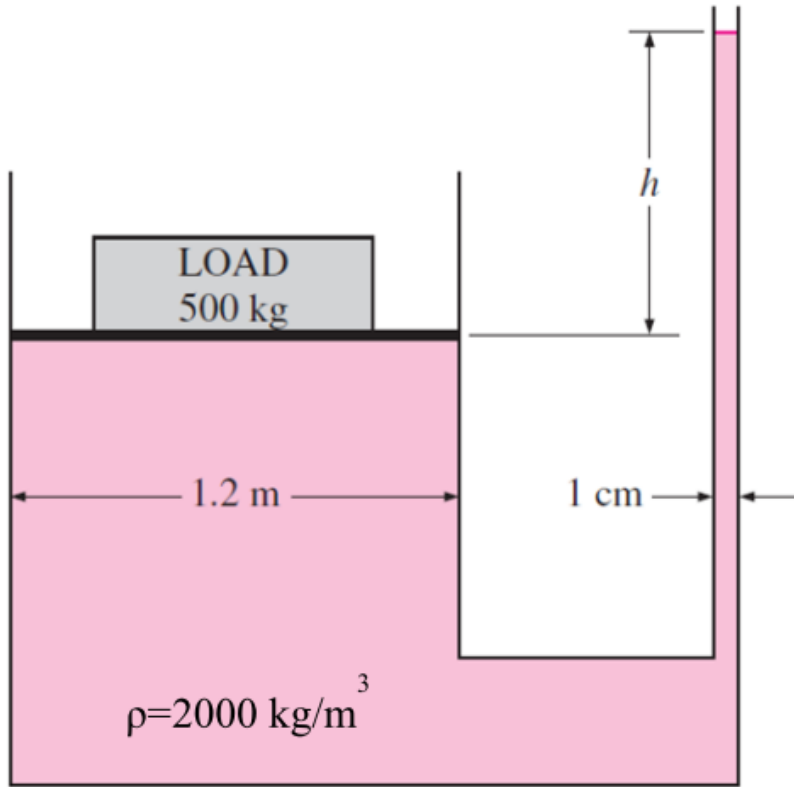
$B: 0.0065 \text{ K/m}$

Örnek: Sıvı sütunlu manometre ile kapalı bir kaptaki gaz basıncı Şekildeki gibi ölçülmektedir. İçerisinde 2000 kg/m^3 yoğunluğunda sıvı bulunan manometrenin ucu atmosfere açıktır. Manometredeki sıvı yükseklikleri arasında 55 cm olduğuna göre kaptaki gazın basıncı kaç Pa'dır? ($g=10 \text{ m/s}^2$)



$$\begin{aligned} P &= P_{\text{atm}} + \rho g \Delta h \\ P &= 96000 \text{ Pa} + 2000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \times 0.55 \text{ m} \\ P &= 107 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Örnek: 1,2 m kuyu çapına sahip olan manometrenin üstüne Şekildeki gibi 500 kg'lık kütle konulmaktadır. Bu durumda manometrede oluşacak h sıvı yüksekliği kaç mm'dir? ($g=9,81 \text{ m/s}^2$)



$$P = \frac{W}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{m \cdot g}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}}$$

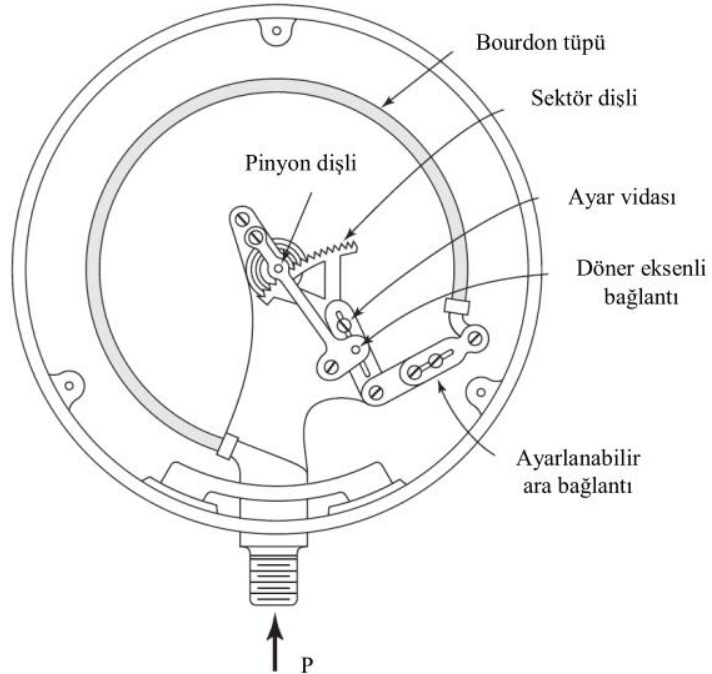
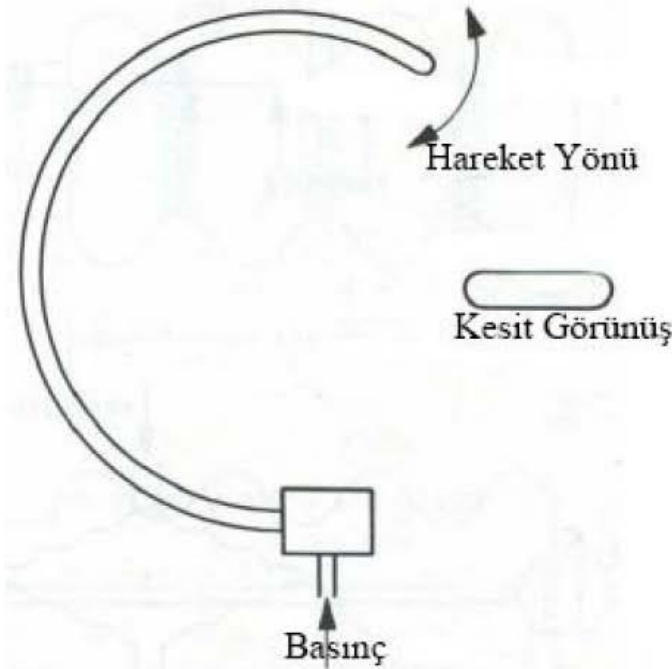
$$P = m \cdot g \cdot h$$

ELASTİK ELEMANLAR İLE BASINÇ ÖLÇÜMÜ

- Bazı elastik elemanların basınç altındaki şekil değişimleri ile basınç ölçme cihazları üretilebilir.
- Bu tip cihazlar ile 50 Pa'dan 1000 MPa'a kadar geniş bir basınç aralığında ölçme yapılabilir.
- Bu tip cihazlara örnek Bourdan manometreleri, diyaframlar ve diyafram kapsülleridir.

Bourdan Manometresi

- Bourdan tüpleri, daire kesitli elastik bir borunun enine kesiti yassılaştırılarak oval veya eliptik kesit oluşturmak ve C şeklinde bükülmek suretiyle imal edilirler.
- Borunun bir ucu sabit diğer ucu boştaadır. Bu boruya basınç uygulandığında elastik bir şekil değişimi meydana gelir.
- Borunun boş ucunun değişimi yay ve dişli mekanizmalarla dönme hareketi olarak ibreye iletilir.



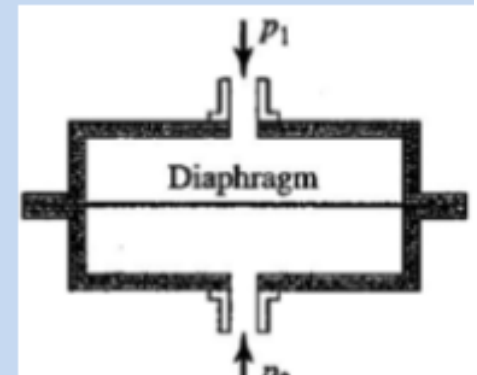
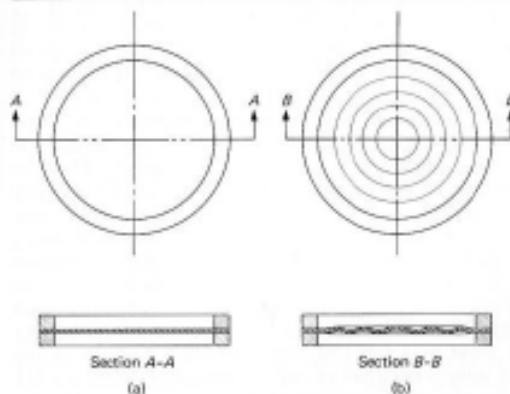


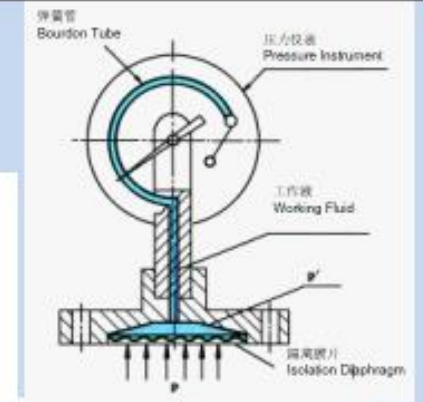
Diyaframlı basınç ölçerler

- Birçok basınç ölçme uygulamalarında olduğu gibi, diyafram, kapsül ve körük, maruz kalınan kuvvet etkisi altında şekil değişimine uğratarak basınç ölçülebilir.
- Bu elemanlar çelik veya bronz gibi metalik malzemelerden olabildikleri gibi, petrol ve yağa karşı dirençli lastik veya özel plastiklerden de yapılabilir.
- Diyafram, ince metal bir levha olup çevresi boyunca yataklanmıştır.
- Genelde paslanmaz çelik veya pirinçten yapılırlar.
- Aşağıdaki şekilde de gösterildiği gibi hazne içine yerleştirilmiş olan diyaframın bir yüzü P1 basıncına, diğer yüzü ise P2 basıncına maruz kalmaktadır. Bu iki basınç arasındaki fark diyaframın şekil değişimine neden olur.
- Bir mil veya mekanik bir düzeneğe, diyaframda oluşan hareketle yer değiştirirken elektriksel dönüştürücüler ile elektriksel sinyallere dönüştürülerek basınç ölçülmüş olur.
- Diyafram metal, silikon kauçuk veya poliüretandan yapılmış ince bir disk. Disk sistem basıncına bağlanmış kapalı bir gövdede korunmaktadır.
- Basınç arttıkça diyaframın merkezi yukarı doğru genişler. Bu hareket bir anahtarı veya mutlak konum kodlayıcısını harekete geçirmede kullanılabilir.
- Diyaframlar körük basınç sensörlerinden daha az duyarlı olmalarına rağmen genellikle daha yüksek basınçlara dayanabilmektedirler.
- Bu duyarlılık diyaframı "dalgalandırarak" arttırabilir.
- Diğer bir yaklaşım, iki diyaframın sırt sırta bağlanarak bir kapsül oluşturmalarıdır. Diyafram ve kapsül sensörleri aynı zamanda vakum ölçebilme üstünlüğüne de sahiptirler.

- Diyaframlı cihazlar: daha az esnek $\Rightarrow$ küçük yer değiştirmelerle yüksek frekanslı ölçümlere uygun.
- 100 Pa-100 MPa
- Çökme miktarı $< (1/3)t$ t : diyafram kalınlığı
- Çökme miktarı $\sim \Delta P$ $\Rightarrow$ lineer değişim
- Çökme miktarı $> (1/3)t$ $\Rightarrow$ Oluklu diyafram
- LVDT (low voltage differential transducer) Diyafram Diferansiyel Basınç Ölçer: 0.25 Pa, düşük basınçların ölçümü

Figure 14.11 (a) Flat diaphragm, (b) corrugated diaphragm





Diyaframlı manometre



Kapsül diyaframlı manometre



Kapsüllü manometreler

- İki ve daha fazla diyaframın bir araya getirilmesi ile elde edilir.
- Bunların içindeki basıncın artması uzamasına, azalması ise kısalmasına neden olur.
- Genellikle diyafram ve kapsüller çok küçük ve çok büyük olmayan 100 Pa ile 40 MPa arasındaki orta basınçlarda kullanılırlar.
- Kapsüller küçük basınç değişikliklerine karşı diyaframlara göre daha hassastırlar.

Kapsüllü Manometre nasıl çalışır

Kapsüllü manometrelerde kullanılan Diyafram kapsüller çok hassas basınç ölçüm elemanlarıdır. Diyafram kapsül bir elastik metalin şekillendirilmiş iki parçasının lehimle birleştirilmesinden oluşur.

Basınç ölçümü esnasında manometrenin girişinden içeri giren gaz kapsül içerisine dolar (vakumda tersi olur), elastik kapsül bu durumda hafifçe genişler/şişer. Bu hareket kapsülün merkezine temaslı bir döner kol vasıtası ile kapsül dışına taşınır. Bu kola bağlı mekanizma dişlisi vasıtası ile bu hareket açısal bir harekete dönüşür.

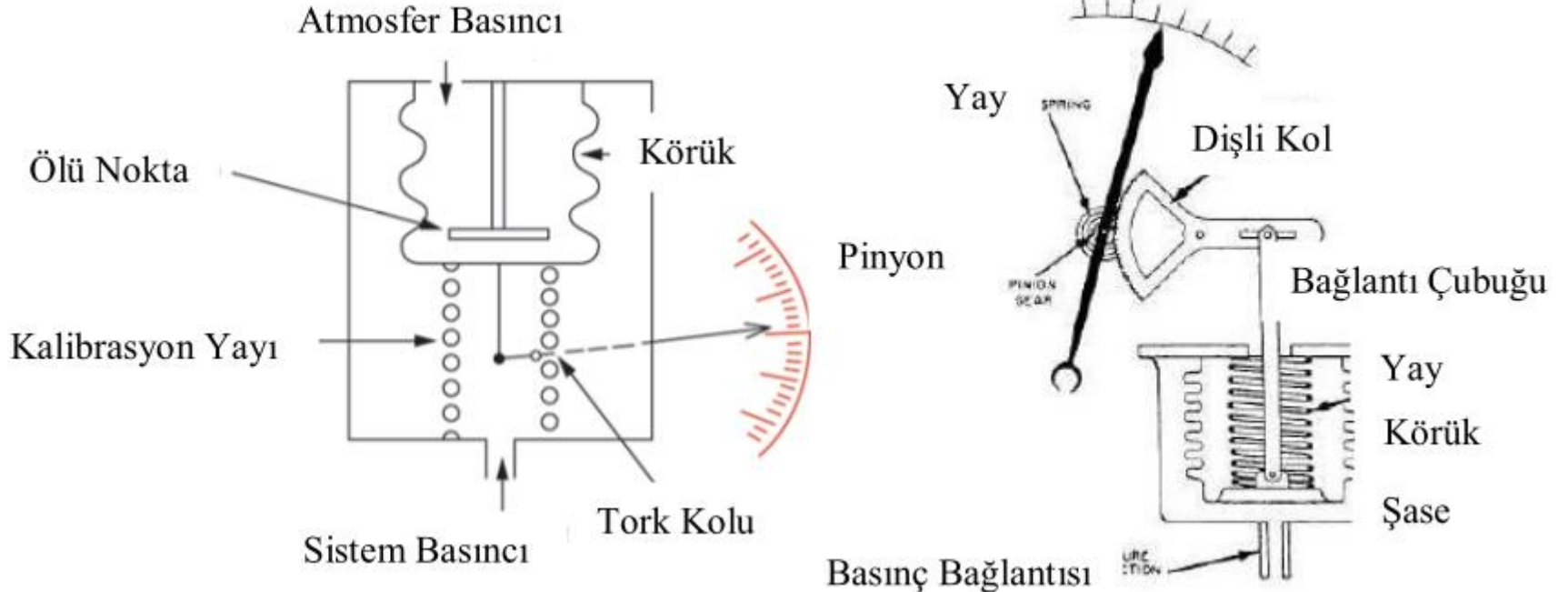
Bu mekanizmanın ortasında yer alan mile bağlı ibre skala üzerinde basınç değerini gösterir.

Manometrenin doğru basıncı göstermesi için doğru kapsül seçilir ve Manometre etalon bir cihazla kalibrasyon işlemine tabi tutulur.



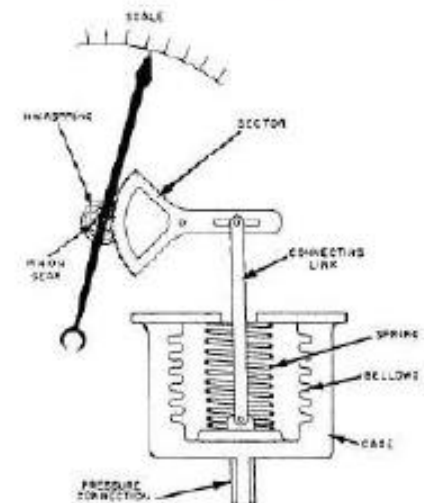
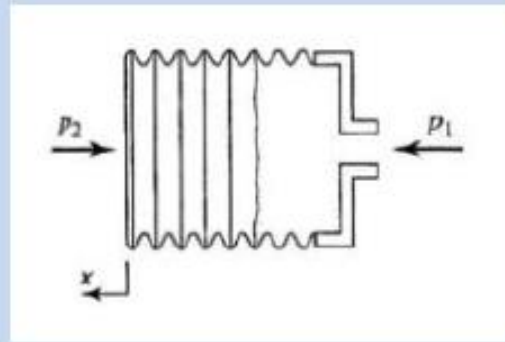
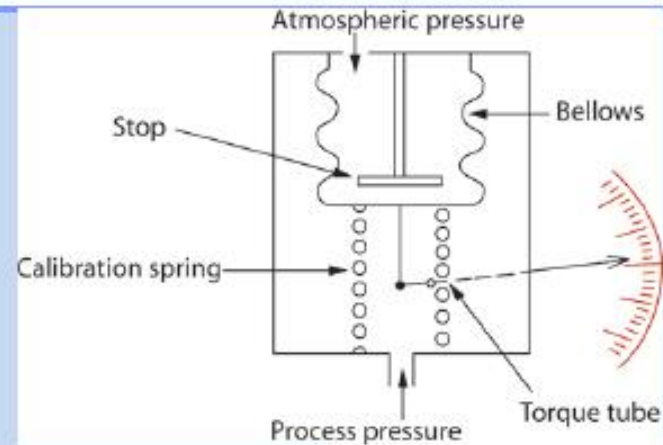
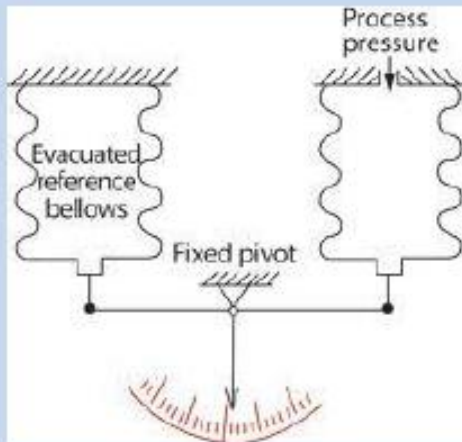
Körüklü manometreler

- Körük basınç sensörü, esnek malzemeden yuvarlak bir körük şeklinde yapılmıştır.
- Poliüretan malzemeden yapılan yeni körükler yaklaşık 10 bar'a kadar olan basınçlarda etkilidir.
- Daha yüksek basınçlarda 60 MPa basınca kadar dayanabilen
- metal malzemeden yapılan körükler kullanılmaktadır.
- Körüğün bir ucu sistem basıncına bir düzenek aracılığıyla bağlıyken diğer ucu kapalıdır.
- Basınç arttıkça körük hareket ederek sınır anahtarının basınç anahtarı olarak çalışmasına veya konum algılayıcının basınç transdüseri gibi davranmasına neden olur.
- Körük ikinci bir basınç kaynağına bağlı kapalı bir hücrede çalıştırıldığında da fark basınç sensörü gibi güvenilir olarak çalışır.
- Körük basınç sensörü senelerce endüstride standart olarak kullanılmış güvenilir, uzun ömürlü bir aygıttır.



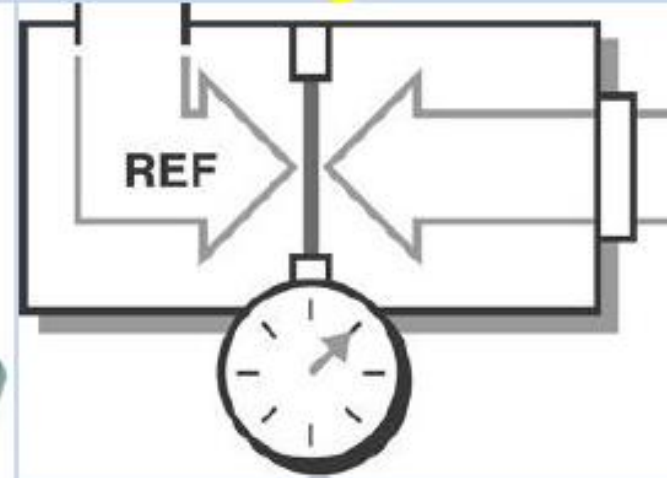
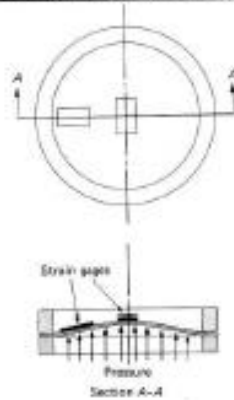
Körüklü basınç ölçerler

- Diyaframli cihazlar: $\Rightarrow$ büyük yer değiştirmelerle ve kütle ile ilgili, dinamik ölçmelere uygun değil.
- 1 kPa – 1 MPa



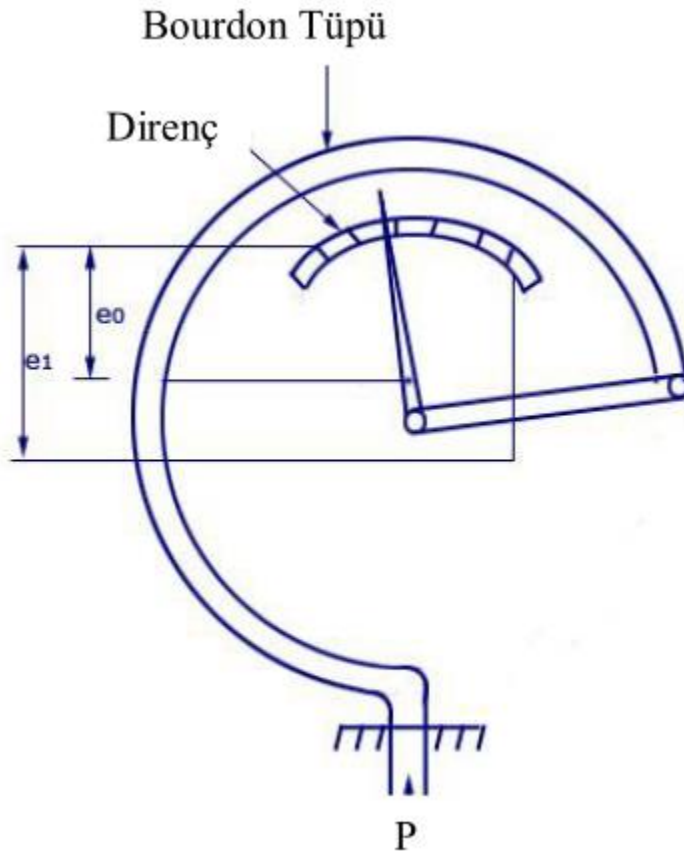
Gerilme ölçümlü diyaframalı tip basınç ölçer

Figure 14.12 Location of strain gages on flat diaphragm

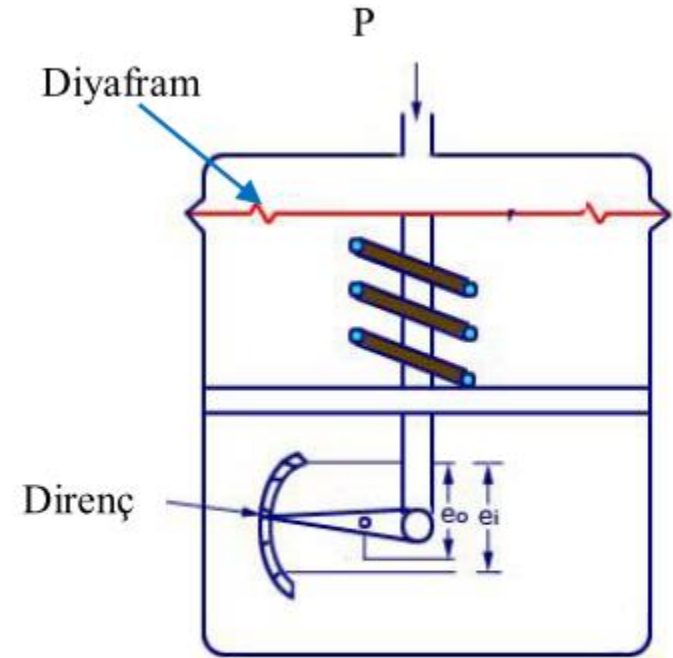


Elastik Basınç Ölçerlerin Elektrik Sinyaline Dönüştürülmesi

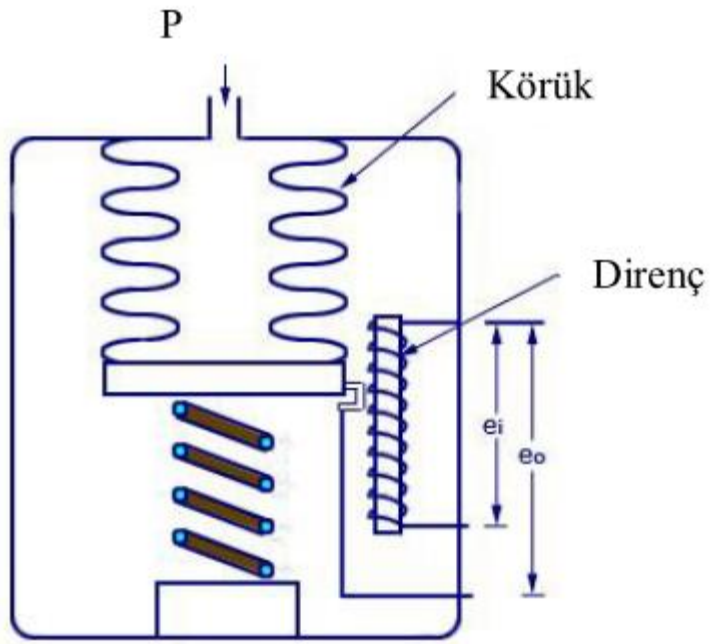
- Elektrik sinyali iletilmesinin, yükseltilmesinin ve kontrolünün mekanik harekete göre çok daha kolay olması nedeniyle ölçü aletlerinden elde edilen veriler elektrik sinyali olarak tercih edilir.
- Elektriksel olmayan işaretler elektriksel işaretlere dönüştürülmesi işlemi transducer ile gerçekleşir. Transducerler farklı enerjiler arasında dönüşümler yapan elemanlardır.



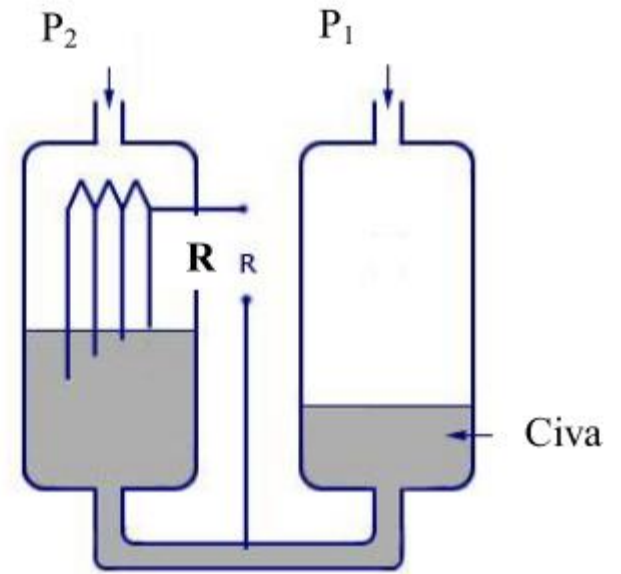
Bourdon Tüplü Manometre



Diyaframlı Manometre



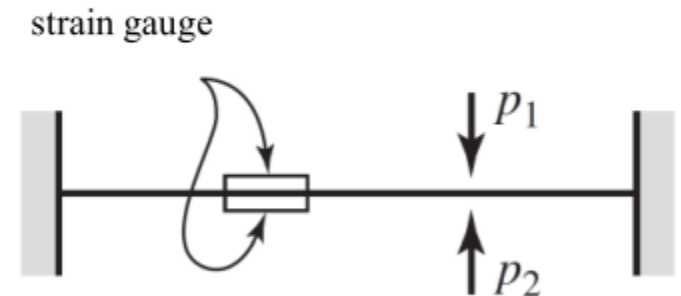
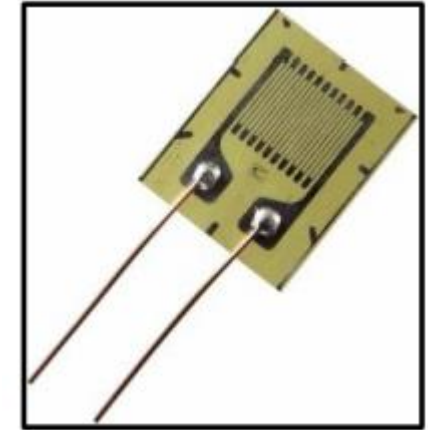
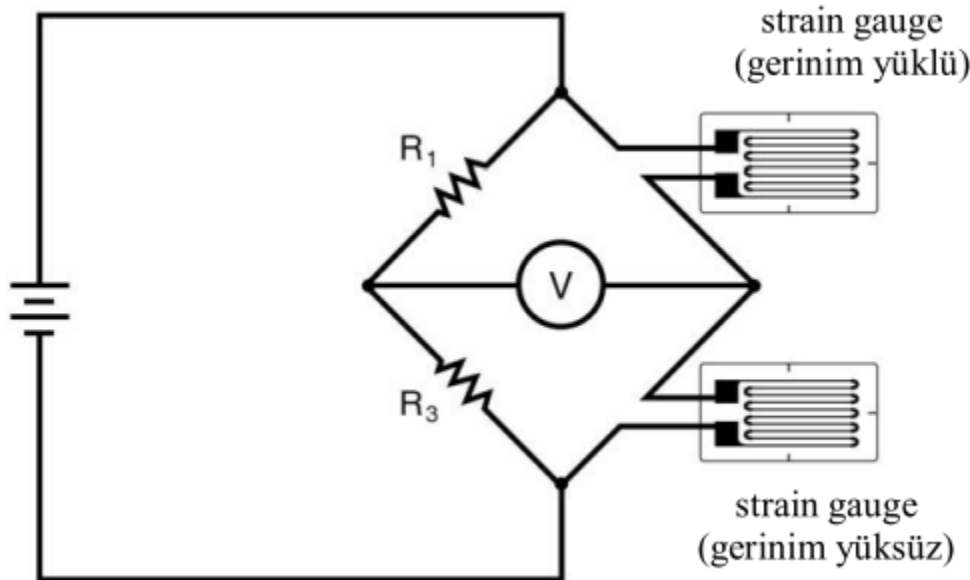
Körüklü Manometre



Sıvı Temashlı Manometre

Elastik tip manometre, uzama teli (Strain gage)

- Uzama telleri (strain gauge, gerinim ölçme) parçaların yüzeylerinde oluşan birim uzamaları (strain) ölçmek için kullanılan sensörlerdir.
- Çok küçük kesitli iletken bir telin çok ince bir şerit üzerine tekrarlı sarımlar şeklinde yerleştirilmesinden oluşur.
- Basınçtan dolayı oluşan gerinim sayesinde tel uzayıp inceleyeceğinden telin elektrik direnci değişecektir.
- Değişen elektrik direncinden basınç hesaplanır.



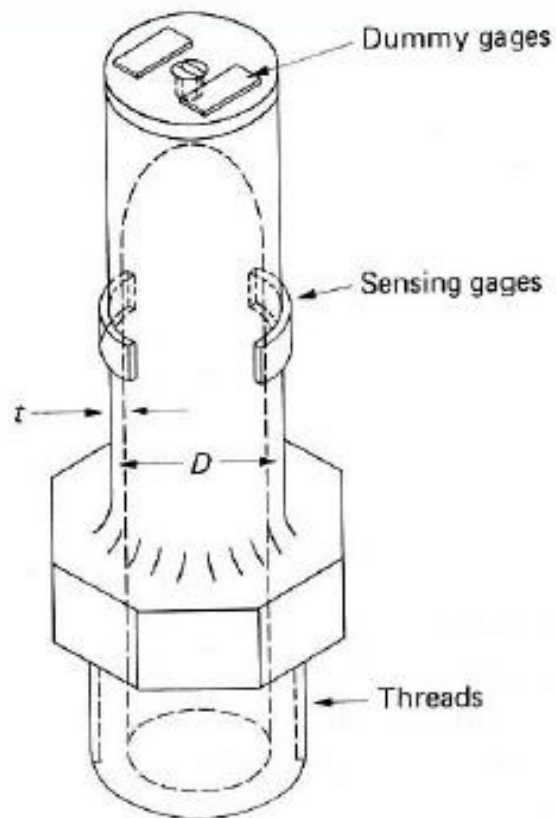
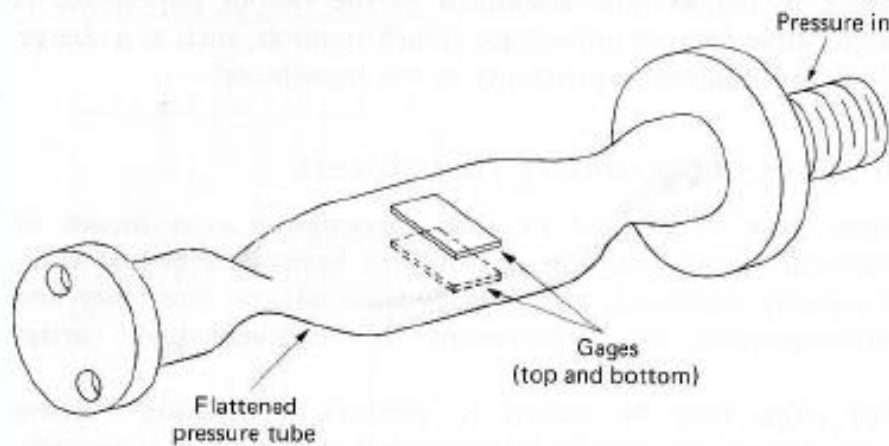


Figure 14.14 Flattened-tube pressure cell that employs resistance strain gages as secondary transducers



BRIDGMAN BASINÇ ÖLÇER

Bu cihazın çalışma prensibi, ince tellerin basınç altında dirençlerinin değişimine dayanır. Değişim;

$$R = R_0[1 + k(P - P_0)]$$

bağıntısı ile bulunabilir.

R= Ölçme telinin P basıncındaki direnci(Ω)

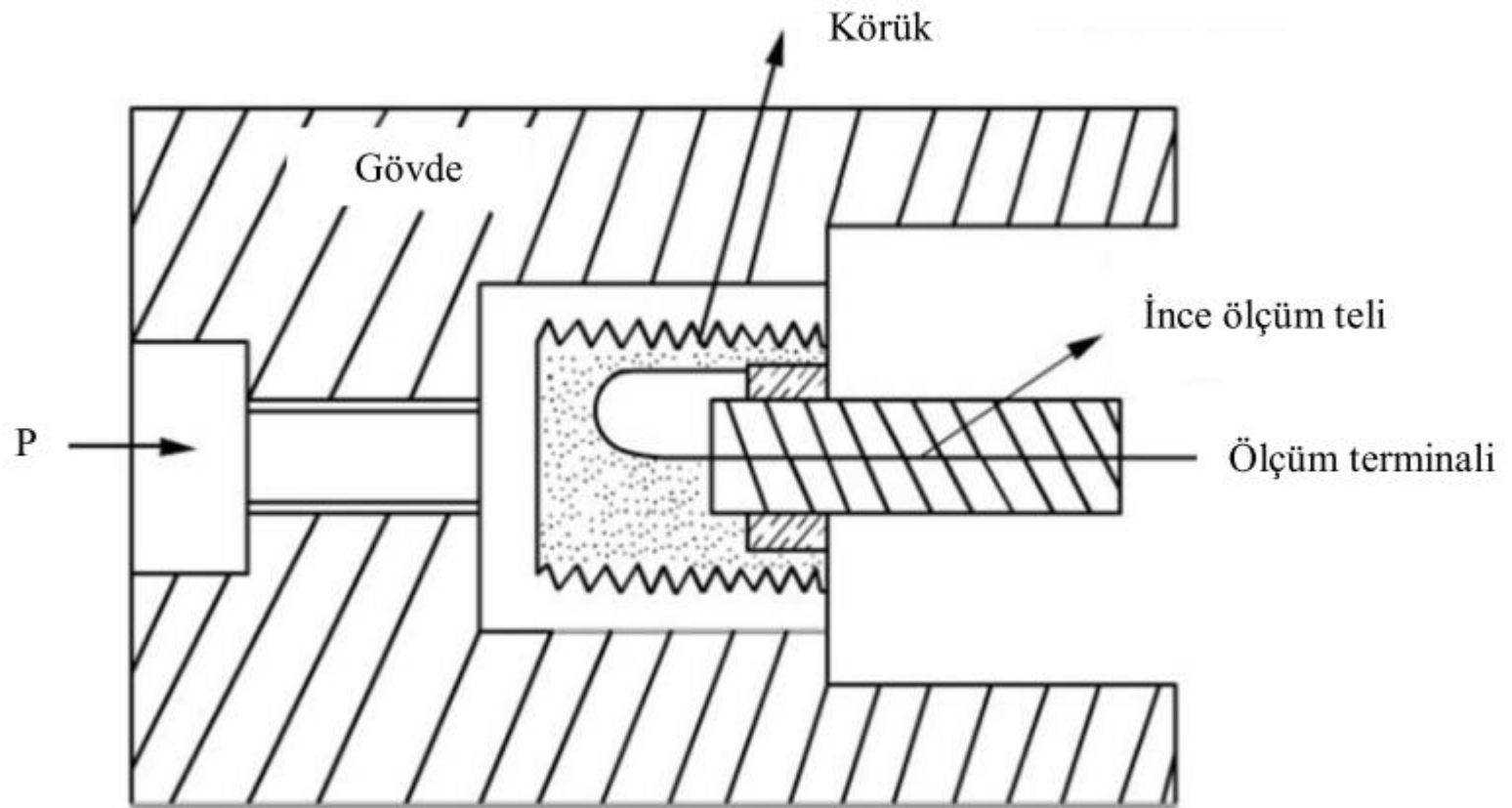
R_0 =Ölçme telinin standart P_0 basıncındaki direnci (Ω)

k=Dirençin basınçla değişim katsayısı (1/Pa)

P= Ölçülen basınç

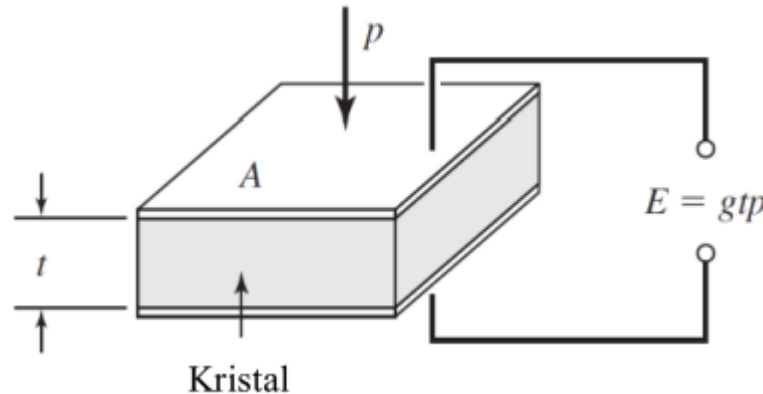
P_0 =Standart basınç (101325 Pa)

- Bu cihazlarla yüksek basınçların (100 000 Bar) ölçülmesi mümkündür.
- Bu cihazlarda genellikle manganin (%84 Cu, %12 Mn, %4 Ni) direnç teli kullanılmaktadır.
- Bu elemanda basıncın dirençle değişim katsayısı $k=2,5 \cdot 10^{-11}$ 1/Pa değerindedir.
- Standart basınçta kullanılan direnç yaklaşık 100 Ω mertebesinde.
- Kalibre edilmiş bir cihazla %0,1 hassasiyetle ölçüm yapmak mümkündür.



Piezoelektrik Basınç Ölçer

- Doğada bulunan kuvars, turmalin gibi bazı kristallerde, basınç sonucu meydana gelen elektrik olayına Piezoelektrik denir.
- Piezoelektrik, kristal yapıdaki cisimlerin kendilerine dışarıdan uygulanan basınç miktarı ile orantılı olarak elektrik üretme özelliği olarak da açıklanabilir.
- İki ucundan basınç uygulanan kristal yapının yine bu iki ucu arasında potansiyel farkı (voltaj) ölçülebilir.
- Aynı şekilde, bu işlemin tersi de geçerlidir.
- Yani dışarıdan voltaj verildiğinde kristal yapının şekli az da olsa değişir.
- Bu özellikten yararlanılarak basınç ölçümü yapılabilir.



- Algılayıcının yapısında bulunan ince metal yada diyafram yardımıyla basınç etkisi piezoelektrik malzeme üzerine aktarılır.
- Elde edilen elektriksel sinyal yükselteç devresi yardımıyla yükseltilerek basınç ölçülür.
- Basınç, sıkıştırma oranına bağlı değişen gerilimle orantılıdır.
- Piezoelektrik basınç ölçerler 100 MPa ve daha yüksek basınçlar için uygun olup nispeten ucuz elemanlardır.
- Ani değişimlere iyi cevap verdiklerinden özellikle yüksek frekanslı dinamik ölçmeler için uygundur.
- Gerilim değişimine göre basınç ölçümü yapar.
- -20 ila 400 °C arasında sıcaklığa fazla bağlı olmaması nedeniyle çok kullanılır.

Vakum Basınç Ölçme Cihazları

• Düşük Basınç Ölçmeleri:

Düşük Basınç: $P < 1$ torr

(1 torr = 1 mmHg = 133 Pa)

Düşük Vakum	760 – 25 torr
Orta Vakum	25 – 10^{-3} torr
Yüksek Vakum	10^{-3} – 10^{-6} torr
Çok Yüksek Vakum	10^{-6} – 10^{-9} torr
Ultra Yüksek Vakum	$P < 10^{-9}$ torr

Vakum Ölçme Cihazları

- McLeod Basınç Ölçer (*The McLeod Gage*)
- Pirani Isıl-İletimli Basınç Ölçer
(*Pirani Thermal-Conductivity Gage*)
- Knudsen Basınç Ölçer (*The Knudsen Gage*)
- İyonizasyonlu Basınç Ölçer (*The Ionization Gage*)
- Alphasatron Basınç Ölçer (*The Alphasatron Gage*)

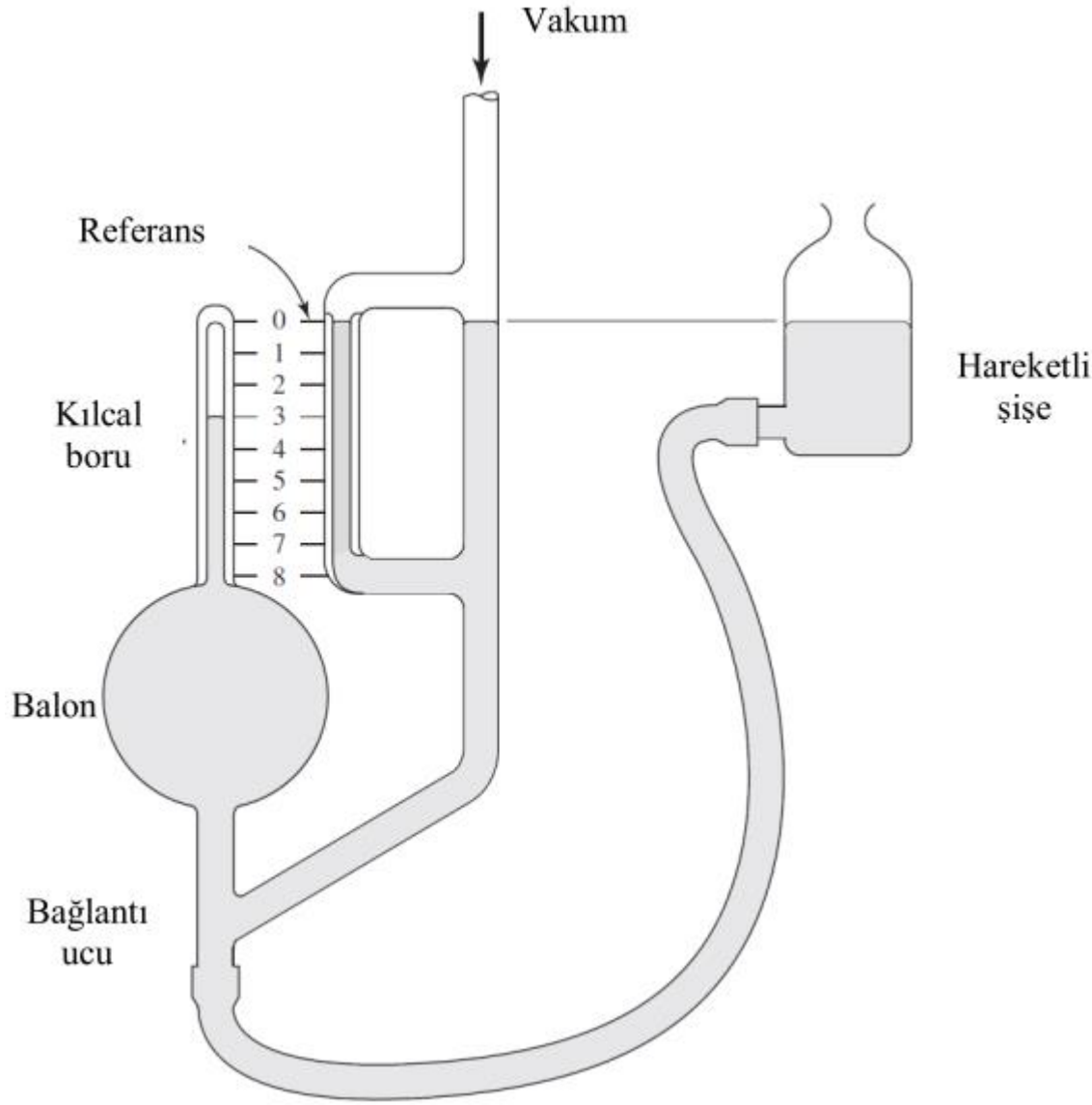
Vakum Ölçme Cihazları

The McLeod	$10^{-2} - 10^2 \mu\text{m}$ (0.0013 – 13.3 Pa)
Pirani Thermal-Conductivity	$1 \mu\text{m} - 1 \text{ torr}$ (0.1 – 100 Pa)
Knudsen Gage	$10^{-5} - 10 \mu\text{m}$ ($10^{-6} - 1$ Pa)
Ionization Gage	$10^{-5} - 1 \mu\text{m}$ ($1.3 \cdot 10^{-6} - 0.13$ Pa)
The Alphatron	$10^{-3} - 10^3 \text{ torr}$ (0.1 – 10^5 Pa)

McLeod Cihazı



- Özellikle vakum ve düşük vakum değerlerinin ölçülmesinde kullanılır. Cihazda esas olarak aşağı yukarı hareket ettirilebilen bir sise, bir balon, bu balonla irtibatlı kılcal bir boru ve referans ölçü borusu bulunmaktadır.
- Bu cihazla ölçüm yapılırken;
- • Sise yukarıya doğru kaldırılarak cıva seviyesinin referans seviyesine gelmesi sağlanır. Bu durumda kılcal boru içerisinde sıkışarak P_c basıncına gelen gaz nedeni ile cıva seviyesi referans seviyesinden y kadar aşağıda kalır.



Kılcal boru kesiti A ise hapsedilmiş olan gaz hacmi;
 $V_c = A.y'$ 'dir.

Balon ve kılcal tüpün toplam hacmi V_b ise;
 $P_c = P(V_b/V_c)$ 'dir.

Buradan kılcal boru ile ölçülecek basınç arasındaki fark;
 $P_c - P = \gamma$ 'dir. Eşitliklerden P' 'yi çekersek.

$P = (A.y^2)/(V_b - A.y) = \gamma.V_c/(V_b - a.y)$ eşitliği elde edilir.

Pratikte **0,001 ile 6500 Pa** arasındaki basınçları ölçmek için yapılmış McLeod cihazları bulunmaktadır.

1torr=1mmHg

1 torr= 133.322381570991 Pa

1Pa= 0.00750061608723604 torr

Örnek: Bir McLeod cihazında $V_b=10^5 \text{ mm}^3$, kapiller borunun çapı 1mm değerindedir. Kapiller boruda en küçük ve en büyük değerler sırasıyla 1mm ve 80 mm ve manometre akışkanı cıva olduğuna göre bu cihazla okunabilecek minimum ve maksimum basınçları bulunuz?

Çözüm:

Kapiller borunun kesiti

$$A = \frac{\pi \cdot (1)^2}{4} = 0,785 \text{ mm}^2$$

olduğuna göre, cıva yüksekliği 1mm iken ölçülebilecek minimum basınç;

$$\begin{aligned} P_{min} &= \frac{A \cdot y^2}{V_b - A \cdot y} = \frac{(0,785)(1)^2}{10^5 - (0,785)(1)} = 0,00000785 \text{ torr} \\ &= 0,00105 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Maksimum basınç ise;

$$P_{mak} = \frac{A \cdot y^2}{V_b - A \cdot y} = \frac{(0,785)(80)^2}{10^5 - (0,785)(80)} = 0,0503 \text{ torr} = 6,7 \text{ Pa}$$

Pirani Isıl iletimli basınç ölçer



Figure 6.16 Schematic of Pirani gage.

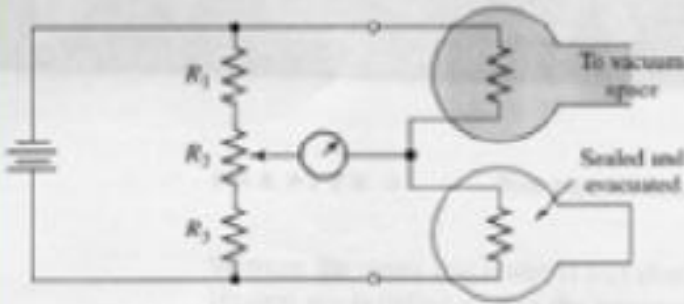


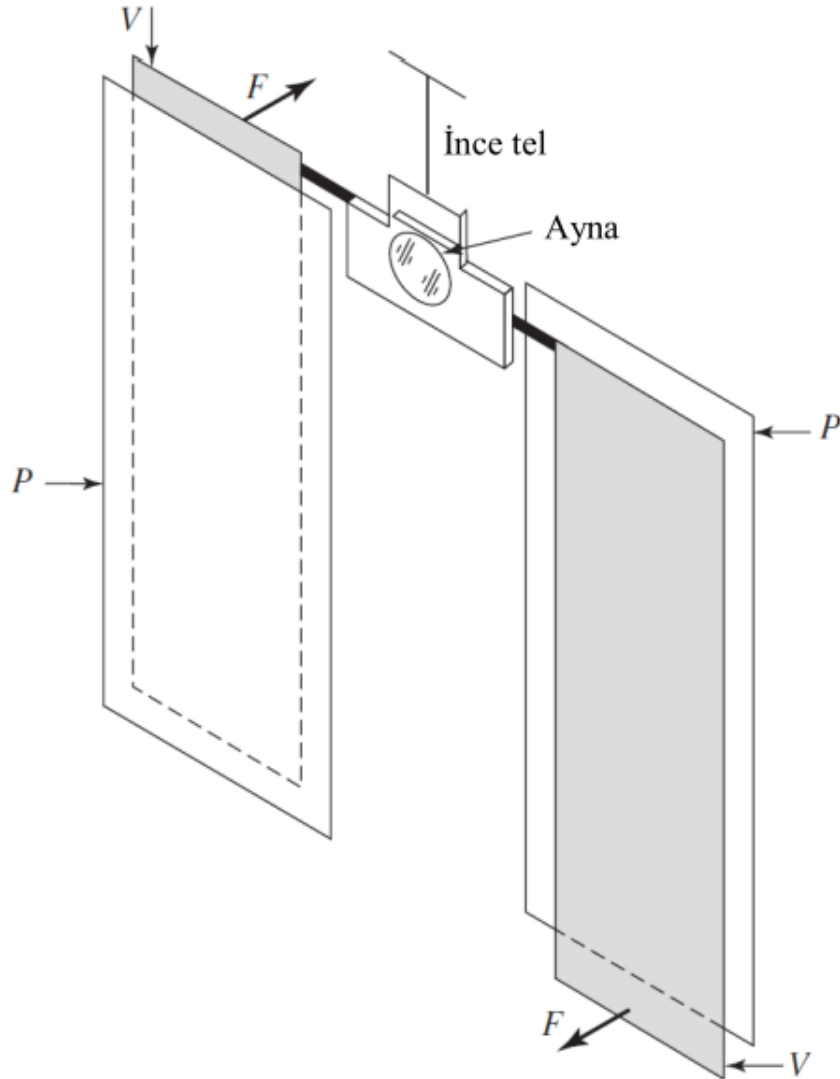
Figure 6.17 Pirani-gage arrangement to compensate for change in ambient temperature.

- Düşük basınçlarda, gazların efektif ısıl iletkenliği basınçla azalır.
- Vakum içine yerleştirilen ve ısıtılan ince teldeki ısı kaybı, gazın iletkenliğine ve telin sıcaklığına bağlıdır.
- Basınç düştükçe gazın ısıl iletkenliği düşer ve dolayısıyla verilen bir elektrik enerjisi girişi için telin sıcaklığı artar.
- $q = C(T_f - T_w)P_{vac}$

Knudsen Basınç Ölçer

- Cihaz, ince bir telden asılmış iki adet kanat, iki adet elektrik ile ısıtılan plaka ve bir adet aynadan oluşmaktadır.
- Plakalar ısıtılarak ortam sıcaklığından daha yüksek bir T sıcaklığında sabit tutulmaktadır.
- Levhalar ile hareketli kanatlar arasındaki mesafe ortamdaki gaz moleküllerinin ortalama serbest yolundan daha azdır.
- Isınan gazlar hızlandığından tele asılı kanatların küçük bir dönmesine neden olur ve sistem üzerine yerleştirilen ayna ile bu dönme açısı tespit edilir.
- Dönme açısıyla gazın sıcaklığı ve basıncı arasında bağıntı kurulmaktadır.
- Knudsen vakum ölçer ile 10^{-6} Pa ile 1 Pa arasındaki basınçlar ölçülebilir

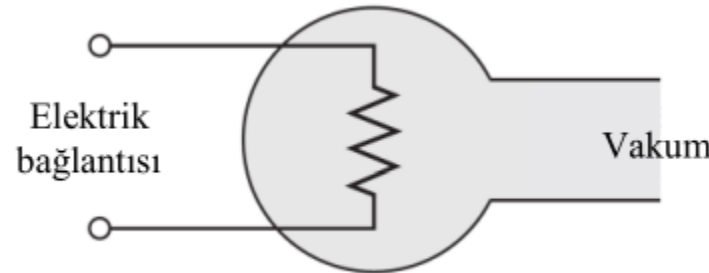
Knudsen Basınç Ölçer

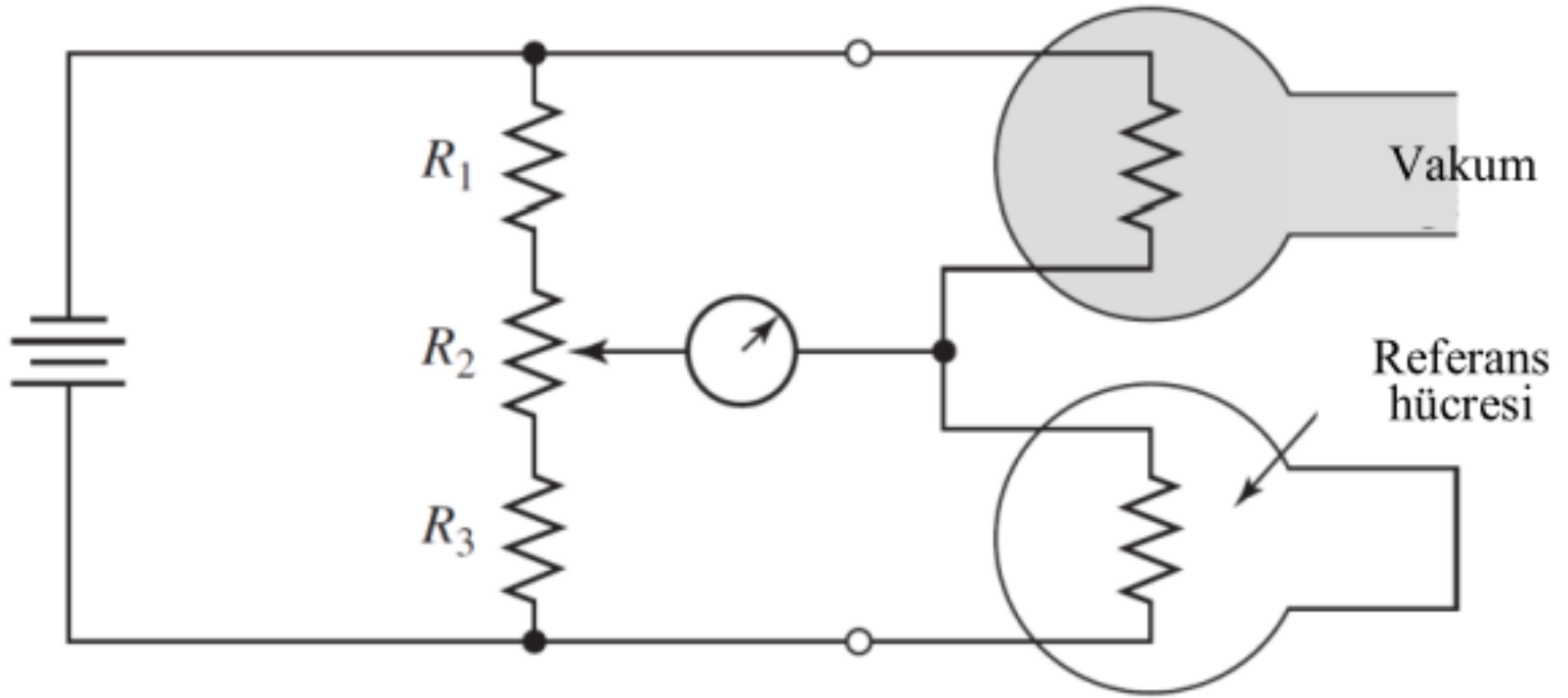


- ($10^{-6} - 1$ Pa)
- 2 plaka (vane), 1 ayna (mirror) ve 2 ısıtılmış plaka (plate) kullanır.
- Momentum değişiminden dolayı aynanın açısal değişimi ölçülür.
- $P = 4 F T_g / (T - T_g)$
- Çok doğru
- Kalibrasyon aracı olarak kullanılabilir.

Pirani vakum ölçer

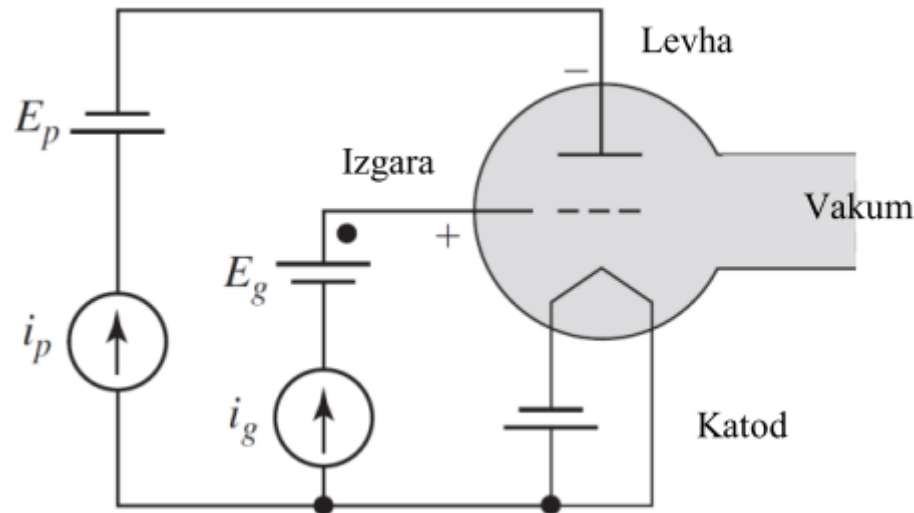
- İletken bir tel, içerisinde elektrik akım geçtiğinde ısınır. Isınan telin ısı kaybetme oranı, teli çevreleyen ortamın iletkenliğine bağlıdır.
- İletkenlik ise ortamın yoğunluğuna bağlıdır. Bir başka deyişle ortamın basıncı düşük ise, daha düşük yoğunluğu olacaktır.
- Küresel bir haznenin içinde direnci belirli bir tel bulunur.
- Bu tel köprü devresine bağlanır ve gerilimin etkisiyle ısınır.
- Cihazın uç kısmı vakum ölçülecek ortama temas ettirildiğinde, tüpün içindeki basınç düşümünden dolayı gazın iletkenliği azalır (Gazların iletkenliği basıncın düşmesiyle azalır).
- Gaz iletkenliği azaldığı için telin soğuması güçleşir ve elin sıcaklığı artar. Artan sıcaklıkla birlikte telin elektrik direnci de artar.
- Meydana gelen direnç artışı basınç farkı olarak okunur.
- 0,1 Pa ile 100 Pa arasındaki basınçları ölçmek mümkündür.



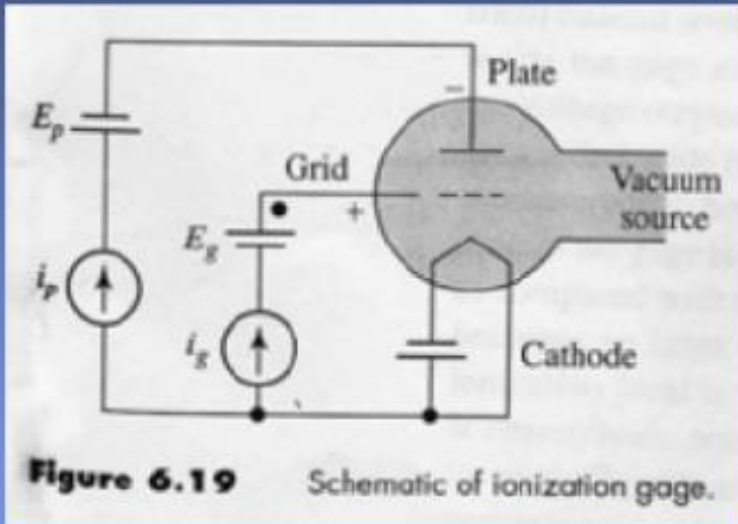


İyonizasyonlu Basınç Ölçer

- Isıtılan katot elektron yayar, yayılan bu elektronlar pozitif yüklü ızgara tarafından ivmelendirilir.
- Izzaraya doğru hareket eden elektronların çarpışmaları neticesinde ortamdaki gaz iyonize olur.
- Negatif yüklü levha pozitif yüklü iyonları üzerinde toplarken, ızgara üzerinde de negatif yüklü iyonlar toplanır. Devreden geçen akımlar ile basınç arasındaki ilişkiden yararlanılarak vakum ölçümü yapılır.
- $1,3 \times 10^{-6}$ Pa ile 1,3 Pa arasında ölçüm yapılabilir.



iyonizasyonlu Basınç Ölçer



- $(1.3 \times 10^{-6} - 0.13 \text{ Pa})$

- $P_{\text{vac}} = i_+ / s i_-$

s : duyarlılık

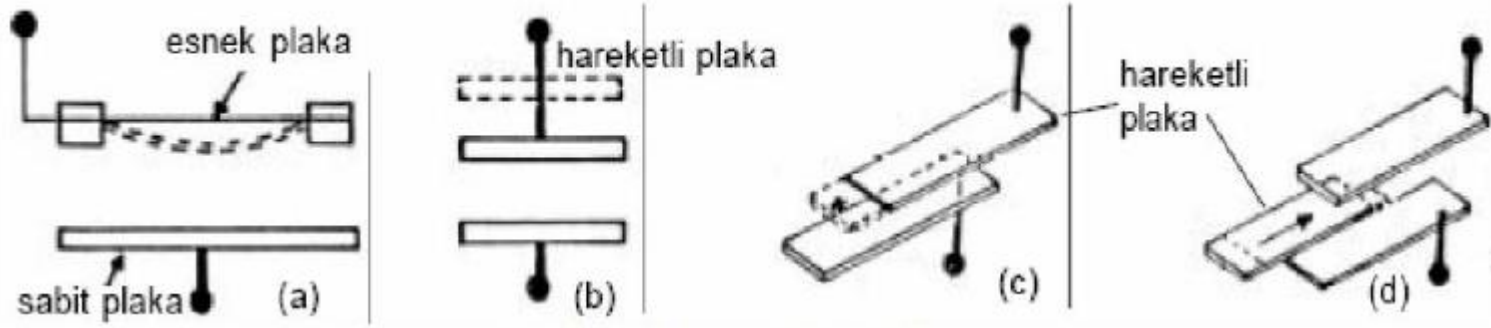
i_+ : grid akımı

i_- : plaka akımı

- Kalibrasyonu yapıldıktan sonra oldukça güvenilir.



Kapasitif Basınç Ölçme Sensörleri



Kondansatörler yapıları gereği elektrik yükü depolayabilir.

Kondansatörlerin yük depolayabilme kapasiteleri ise kondansatör plakalarının boyutlarına, bu plakalar arasındaki mesafenin uzaklığına ve iki plaka arasındaki yalıtkan malzemenin özelliğine bağlıdır.

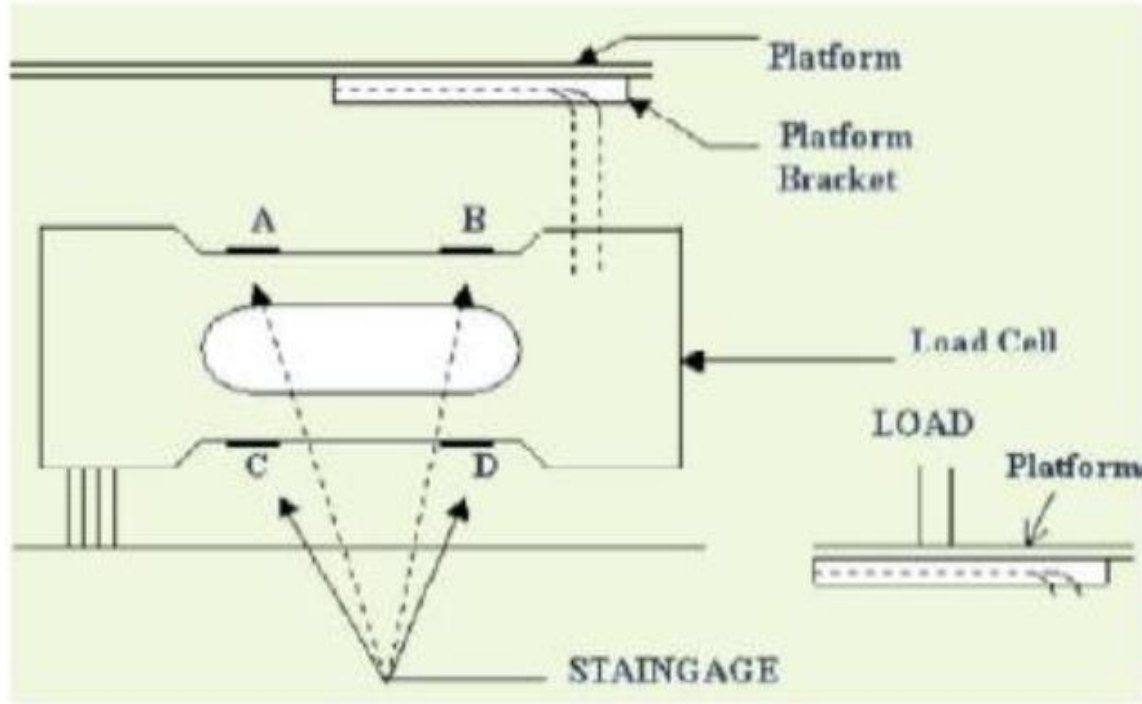
Sonuç olarak kondansatör plakaları birbirinden uzaklaştırılırsa ya da esnetilirse veya iki plaka arasındaki dielektrik malzeme hareket ettirilirse, kondansatörün kapasitesi değişir.

Kondansatörün kapasitesi ile beraber alternatif akıma gösterdiği direnç de değişir .

İşte bu prensipten hareketle kapasitif basınç sensörleri üretilmiştir.

- Şekil .a'da esnek plakalı bir kapasitif sensör gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi plakanın biri sabit diğeri esnektir.
- Esnek plakaya bir basınç uygulandığında basınçla orantılı olarak kondansatörün kapasitesi ve kapasitif reaktansı (kondansatörün AA'a karşı dilenci) değişecektir.
- Bu direnç değişimi ile orantılı olarak basınç büyüklüğünü tespit edebiliriz.
- Şekil 4.1 'deki diğer şekillerde de kondansatör plakalarının uzaklaşıp yaklaşması gösterilmiştir.
- Az önce bahsettiğimiz gibi plakaların uzaklığı da kondansatörün AA dilencini değiştirdiğinden bu direnç değişimi ile hareketin miktarını bulabiliriz.
- Kapasitif prensiple çalışan sensörler basınç sensörü olarak kullanıldığı gibi yaklaşım ve pozisyon sensörü olarak da kullanılmaktadır.

Load Cell (Yük Hücresi) Basınç Sensörleri



Yük hücresi (load cell) daha çok elektronik terazilerin yapımında kullanılan basınç sensörüdür.

Asıl çalışma prensibi strain gage gibidir.

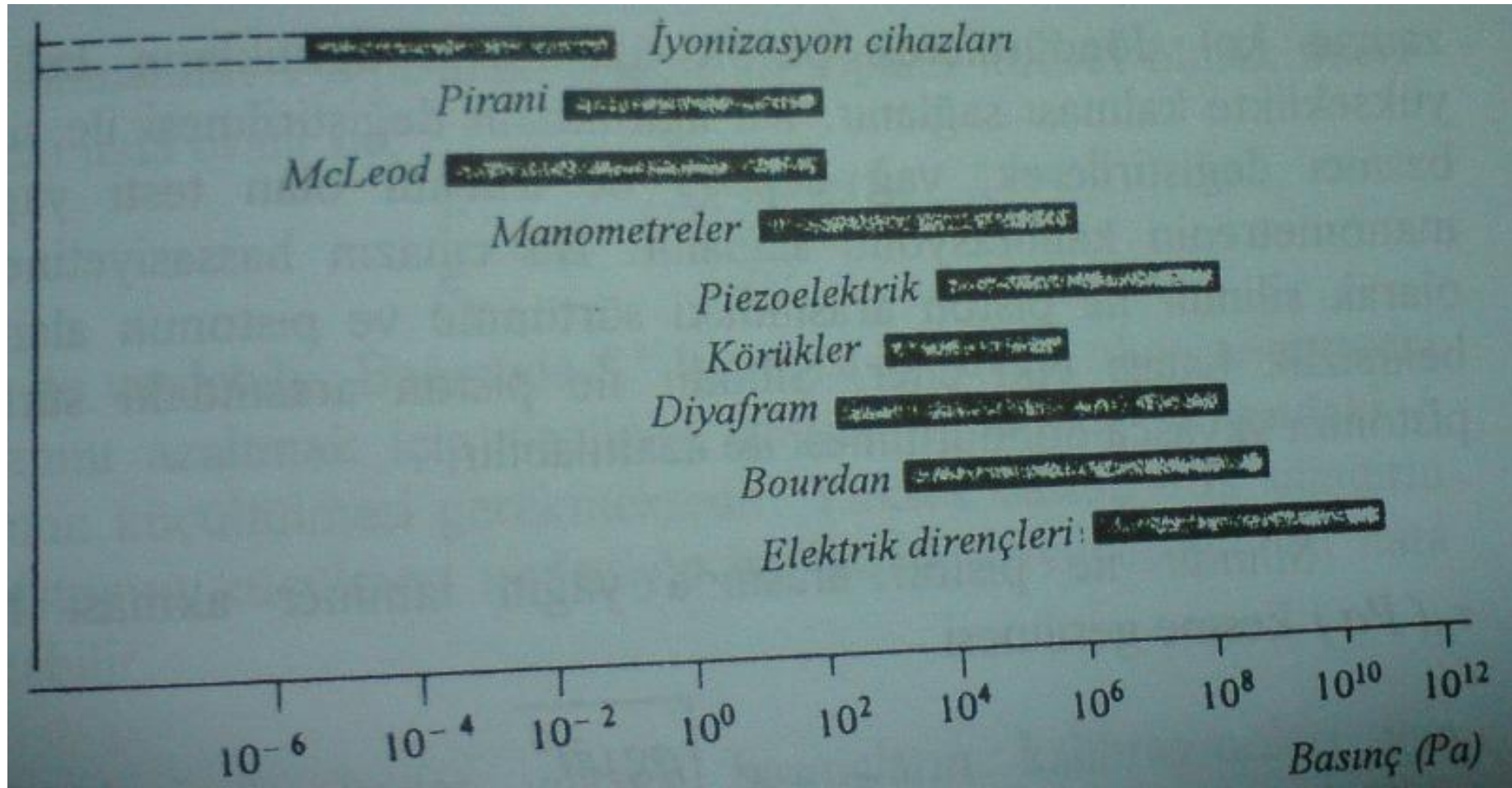
Yukarıda 4 noktadan ölçme yapan bir yük hücresi görülmektedir Tek noktadan ya da iki noktadan ölçüm yapanları da bulunmaktadır.

Şekil 4.6'da A. B. C. D noktalarındaki strain gagelerin dirençleri basınca bağlı olarak değişir.

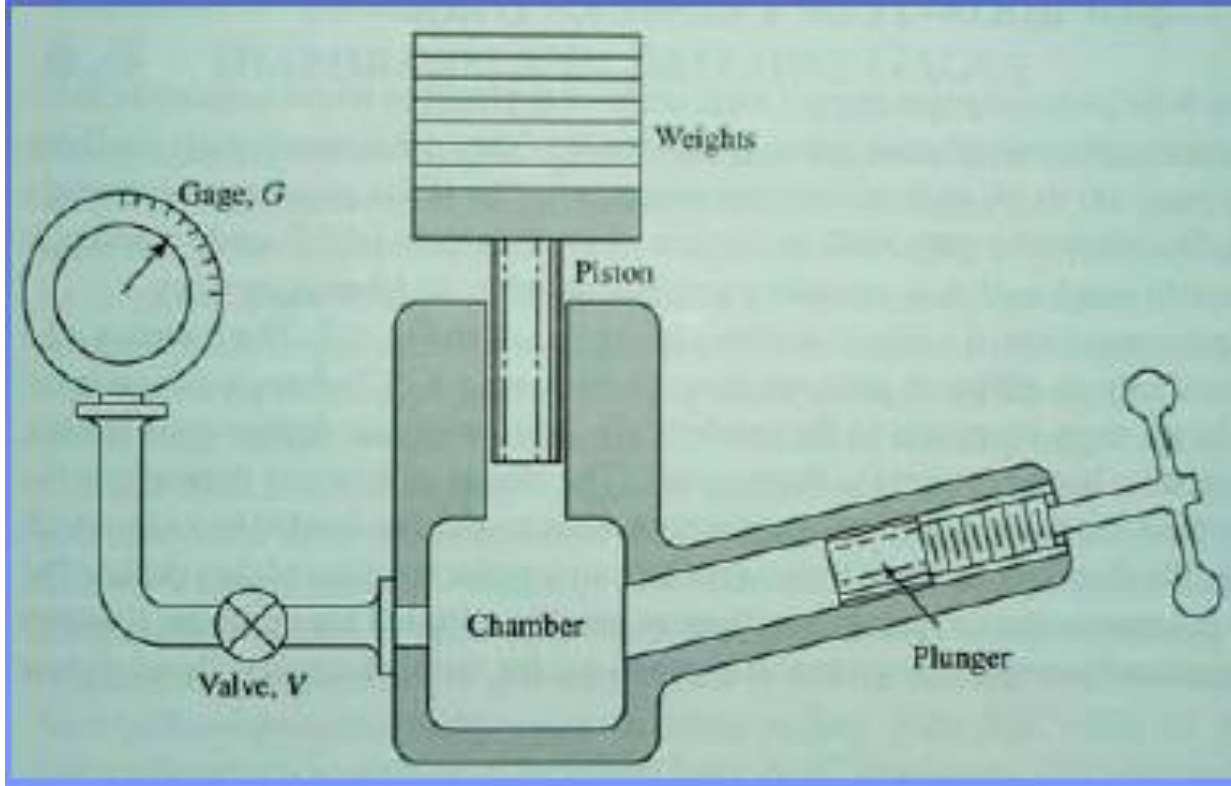
Bu değişim ile orantılı olarak da basınç miktarını tespit edebiliriz.



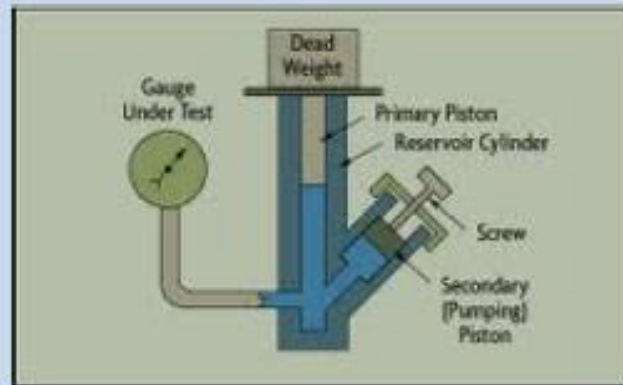
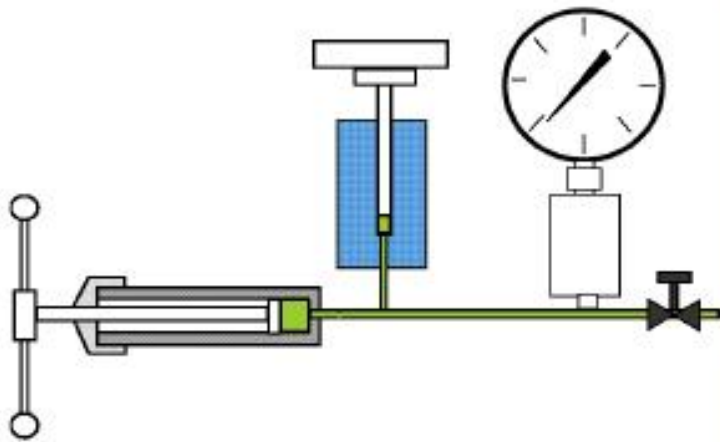
Basınç Ölçme Cihazı Seçimi ve Kalibrasyonu



Basıncın statik kalibrasyonu



- En fazla kullanılan şekildeki ağırlıklı ölçme test cihazıdır (dead weight tester). Özellikle bourdan, diyafram, körük gibi elastik ölçme cihazlarının kalibrasyonunda kullanılır.
- 700 bar'a kadar ve özel önlemlerle daha yüksek basınçlara kadar kalibrasyon işlemlerinde kullanılır.



Altimetre

- Hava basıncındaki değişimi ölçerek, deniz seviyesinden ne kadar yüksekte olduğunuzu gösteren araçlara altimetre denir.
- Altimetre aslında bir tür barometredir diyebiliriz.
- Uçaklarda ve helikopterlerde vazgeçilmez ölçüm cihazlarıdır.
- Ayrıca paraşütçüler ve sıcak hava balonu ile uğraşanlar için de çok önemlidir.
- Parařütçüyseniz yerden yüksekliğinizi (rakımınızı) yanlış ölçerseniz hayatınıza mal olabilir.
- Aşağıdaki resimde bir uçağın içindeki analog altimetre gösteriliyor.



<https://fizikdersi.gen.tr/basinc-olcumu-barometre-manometre-altimetre/>

Basınç ölçümü linkler

https://www.youtube.com/watch?v=uBdTxDp_qLI&ab_channel=%D0%93%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%B8%D0%BF%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0

(Bordon manometresinin çalışma yapısı)

<https://www.youtube.com/watch?v=lxhNLTp8jpl>

(Bordon manometresinin imalatı)

<https://www.youtube.com/watch?v=DNdeSvmvkGI>

(Manometre kalibrasyonu)

<https://www.youtube.com/watch?v=JnPSeEW-EeA>

(Diyaframli manometrenin çalışma yapısı)

<https://www.youtube.com/watch?v=UZLiLRlJzbU>

(Strain Gage ile elektrik sinyaline dönüştürme)

<https://riverglennapts.com/tr/transducer/879-linear-variable-differential-transformer-lvdt.html>

(LVDT tanıtımı)

<https://www.youtube.com/watch?v=anCnrtjNLQM>

(LVDT yöntemiyle elektrik sinyaline dönüştürme)

<https://www.youtube.com/watch?v=qBQHDwYMXlg>

(Ölü ağırlık test cihazının çalışma yapısı)

<https://www.youtube.com/watch?v=PVwuu16GRyQ>

(Ölü ağırlık test cihazının çalışma yapısı)