

## **The definition of temperature**

## **Temperature Measurements**

The temperature of a medium is an expression of its content of thermodynamic energy. The thermodynamic energy represents the average velocity of the unarranged molecular movement in the material. To measure a temperature is therefore different from measuring one of the other basic units. Metres for example can be measured with an inch rule without affecting or changing the length. To measure temperature is different. Actually, the content of thermodynamic energy in the medium should be measured, based on the definition. This is of course not possible in practice and therefore a measuring principle is used, where the medium affects a sensor / a sensor element. The measurement must take so long that molecules in sensor and medium assume the same mean velocity. When this has been reached, the two bodies will have the same temperature (measurement medium and temperature sensor).

To achieve this, the following 3 conditions must be fulfilled:

The bodies must not exchange heat with external or internal sources.

The bodies must be in mutual balance.

The bodies have had thermal contact through sufficiently long time.

## **PRINCIPLES OF TEMPERATURE MEASUREMENT**

Electrical temperature measurement is based on electrically measurable changes that are taking place in materials when exposed to temperature changes.

**These changes could for example be:**

Changes in resistance in conducting materials, Changes in resistance in semiconductors  
Thermal voltage, Drop in diode voltage, Drop in transistor voltage, Changes in frequency

**The principles are used for the following thermometers:**

|                         |                              |
|-------------------------|------------------------------|
| Resistance thermometers | Thermocouples                |
| Thermistors             | Frequency thermometers, etc. |

Temperature is a measurement variable, which is familiar to every person. Temperature variations occur during the daily and yearly cycles of our planet. Because of its importance, temperature is one of the most commonly measured engineering variables. Temperature is actually the macroscopic manifestation of the energy level of atoms and molecules. This implies that there is a lower limit to temperature, **the absolute zero**. This is the temperature at which the atoms stop moving. Note that many thermodynamic equations are based on temperature scales starting at absolute zero (such as the ideal gas equation).

### Temperature Scales

Conversion Equations:

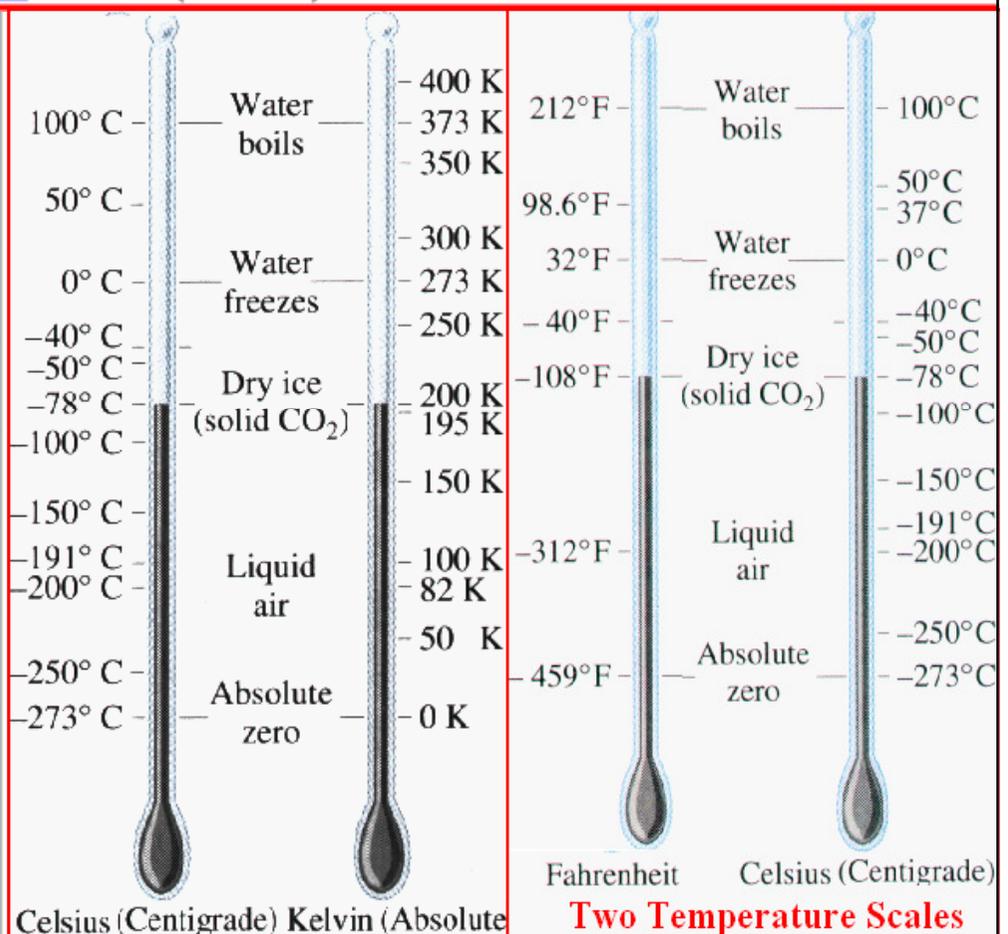
$$K = ^\circ C + 273.15 \quad ^\circ F = 1.8^\circ C + 32$$

$$^\circ R = ^\circ F + 459.67 \quad ^\circ C = (^\circ F - 32)/1.8$$

$$\left(\frac{T_2}{T_1}\right)_{Rankine} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)_{Kelvin}$$

- Celsius  $^\circ C$  (absolute scale Kelvin K)
- Fahrenheit  $^\circ F$  (absolute scale Rankine  $^\circ R$ )

|  | Kelvin     | Degrees Celsius                |
|--|------------|--------------------------------|
| Absolute zero (precisely by definition)                    | 0 K        | -273.15 $^\circ C$             |
| Coldest measured temperature <sup>[34]</sup>               | 450 pK     | -273.149 999 999 55 $^\circ C$ |
| One millikelvin (precisely by definition)                  | 0.001 K    | -273.149 $^\circ C$            |
| Water's triple point (precisely by definition)             | 273.16 K   | 0.01 $^\circ C$                |
| Water's boiling point <sup>[A]</sup>                       | 373.1339 K | 99.9839 $^\circ C$             |
| Incandescent lamp <sup>[B]</sup>                           | 2500 K     | $\approx 2,200$ $^\circ C$     |
| Sun's visible surface <sup>[D][36]</sup>                   | 5,778 K    | 5,505 $^\circ C$               |
| Lightning bolt's channel <sup>[E]</sup>                    | 28 kK      | 28,000 $^\circ C$              |
| Sun's core <sup>[E]</sup>                                  | 16 MK      | 16 million $^\circ C$          |
| Thermonuclear weapon (peak temperature) <sup>[E][37]</sup> | 350 MK     | 350 million $^\circ C$         |



Two Temperature Scales

**TABLE 2-1 Primary points for the International Practical Temperature Scale of 1968**

| Point   | — Temperature — |         |
|---|-----------------|---------|
|   | °C              | °F      |
| <i>Normal pressure = 14.6959 psia = 1.0132 × 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup></i> |                 |         |
| Triple point of equilibrium hydrogen  | -259.34         | -434.81 |
| Boiling point of equilibrium hydrogen at $\frac{25}{76}$ normal pressure        | -256.108        | -428.99 |
| Normal boiling point (1 atm) of equilibrium hydrogen                            | -252.87         | -423.17 |
| Normal boiling point of neon  | -246.048        | -410.89 |
| Triple point of oxygen  | -218.789        | -361.82 |
| Normal boiling point of oxygen  | -182.962        | -297.33 |
| Triple point of water   | 0.01            | 32.018  |
| Normal boiling point of water   | 100             | 212.00  |
| Normal freezing point of zinc   | 419.58          | 787.24  |
| Normal freezing point of silver   | 961.93          | 1763.47 |
| Normal freezing point of gold   | 1064.43         | 1947.97 |

**Secondary fixed points for the International Practical Temperature Scale of 1968**

| Point                                       | Temperature, | Point                          | Temperature, |
|---|--------------|--------------------------------|--------------|
| Triple point, normal H <sub>2</sub>         | -259.194     | Boiling point, Hg              | 356.66       |
| Boiling point, normal H <sub>2</sub>        | -252.753     | Boiling point, S               | 444.674      |
| Triple point, Ne                            | -248.595     | Freezing point, Cu-Al eutectic | 548.23       |
| Triple point, N <sub>2</sub>                | -210.002     | Freezing point, Sb             | 630.74       |
| Boiling point, N <sub>2</sub>               | -195.802     | Freezing point, Al             | 660.74       |
| Sublimation point, CO <sub>2</sub> (normal) | -78.476      | Freezing point, Cu             | 1084.5       |
| Freezing point, Hg                          | -38.862      | Freezing point, Ni             | 1455         |
| Ice point                                   | 0            | Freezing point, Co             | 1494         |
| Triple point, phenoxibenzene                | 26.87        | Freezing point, Pd             | 1554         |
| Triple point, benzoic acid                  | 122.37       | Freezing point, Pt             | 1772         |
| Freezing point, In                          | 156.634      | Freezing point, Rh             | 1963         |
| Freezing point, Bi                          | 271.442      | Freezing point, Ir             | 2447         |
| Freezing point, Cd                          | 321.108      |                                |              |
| Freezing point, Pb                          | 327.502      |                                |              |

**Interpolation procedures for International Practical Temperature Scale of 1968**

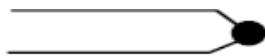
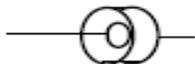
| Range, °C         | Procedure  |
|-------------------|--|
| -259.34 to 0      | Platinum resistance thermometer with cubic polynomial coefficients determined from calibration, at fixed points, using four ranges.                                |
| 0 to 630.74       | Platinum resistance thermometer with second degree polynomial coefficients determined from calibration at three fixed points in range                              |
| 630.74 to 1064.43 | Standard platinum-platinum rhodium (10%) thermocouple with second-degree polynomial coefficients determined from calibration at antimony, silver, and gold points. |

| Range, °C     | Procedure   |
|---------------|---|
| Above 1064.43 | Temperature defined by: $\frac{J_t}{J_{Au}} = \frac{e^{C_2/2\lambda(T_{Au}+T_0)} - 1}{e^{C_2/2\lambda(T+T_0)} - 1}$ $J_t \cdot J_{Au}$ = radiant energy emitted per unit time, per unit area, and per unit wavelength at wavelength $\lambda$ , at temperature $T$ , and gold-point temperature $T_{Au}$ , respectively<br>$C_2 = 1.438 \text{ cm} \cdot \text{K}$ $T_0 = 273.16 \text{ K}$ |

## **Temperature Sensors** (summary)

There are many different types of temperature sensors on the market. They can be primarily distinguished based on price, linearity, suitable temperature range, stability, ruggedness and suitability for integration into automated measurement systems.

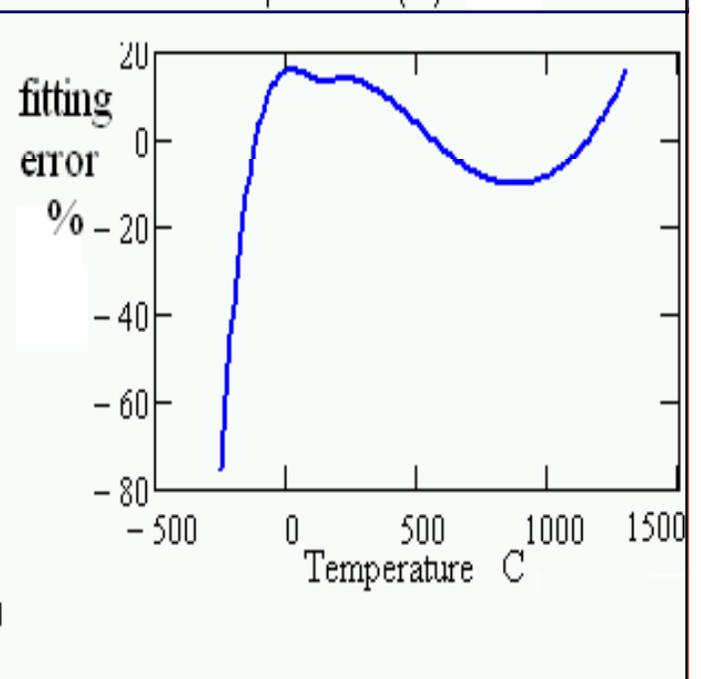
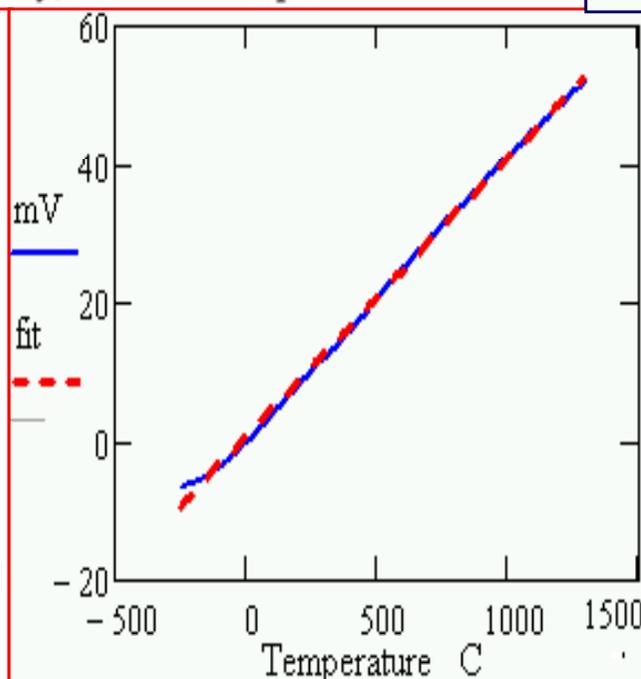
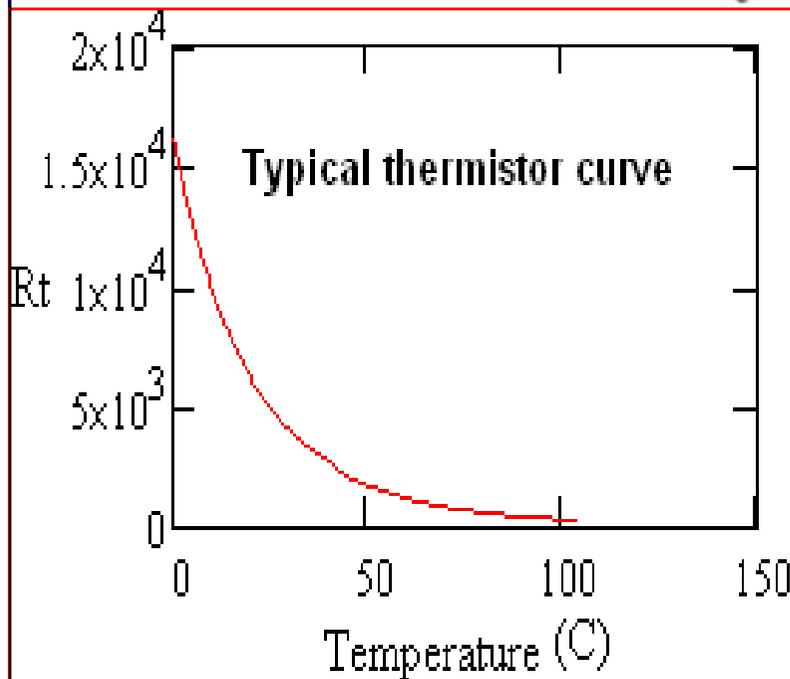
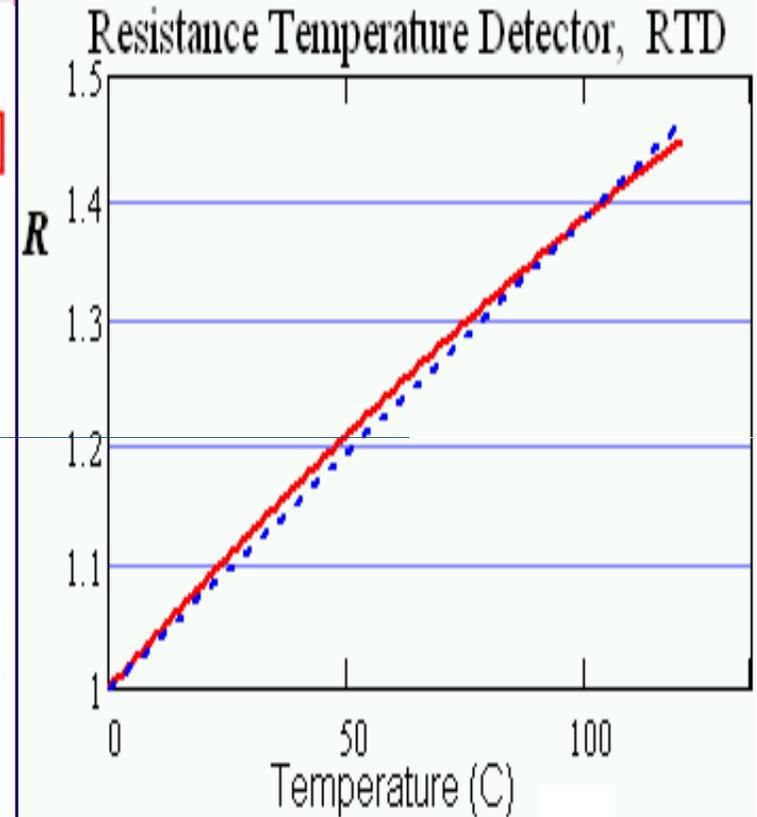
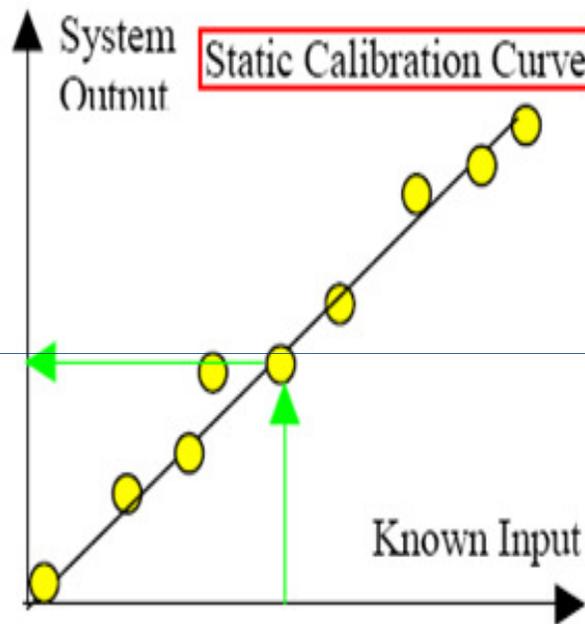
| Device  | Physical principle  | Advantage   | Disadvantage   |
|---|---|---|--|
| Liquid-in-Glass thermometer<br>            | Thermal expansion of liquid   | Simple, inexpensive                                       | Not suitable for wide range of temperatures or measurement automation                              |
| Bimetallic thermometer<br>                 | Difference in thermal expansion coefficient causes mechanical bending                       | Simple, inexpensive, used in many dial thermometers       | Limited temperature range  |
| Resistance Temperature Detectors (RTD)<br> | Metal wire changes its resistance with temperature (higher temperature = higher resistance) | Most stable, Most accurate, more linear than thermocouple | Expensive, current source required, small resistance change, low absolute resistance, self heating |

| Device   | Physical principle  | Advantage   | Disadvantage  |
|--|---|---|---|
| Thermistor<br>                    | Semiconductor reduces its resistance with increased temperature                               | High output, fast   | Non-linear, limited range, fragile, current source required, self heating                         |
| Thermocouple<br>                | Dissimilar metals generate emf voltage across junction if at different reference temperatures | Self-powered, simple, rugged, inexpensive, wide variety, wide temperature range | Non-linear, low voltage, reference required, least stable least sensitive                         |
| I.C. Sensor<br>                 | Integrated circuit on chip senses temperature, amplifies and conditions signal                | Most linear, highest output, inexpensive  | $T < 200^{\circ}\text{C}$ , power supply required, slow, self-heating, limited configuration      |
| Radiative Temperature Sensor<br> | Detects radiated thermal energy at a specific wavelength                                      | Non-contact, temperature measurement at a distance                              | Wavelength sensitivity, cost, allowable operating temperatures, adjustment for surface emissivity |

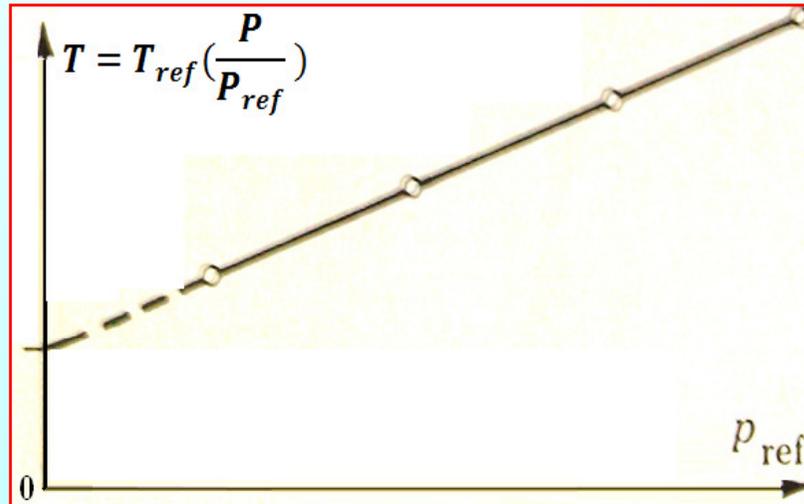
# All temperature measuring sensors have to be calibrated before use to check their accuracy

**Calibration** is applying a range of known input values to the instrument and observing the system output

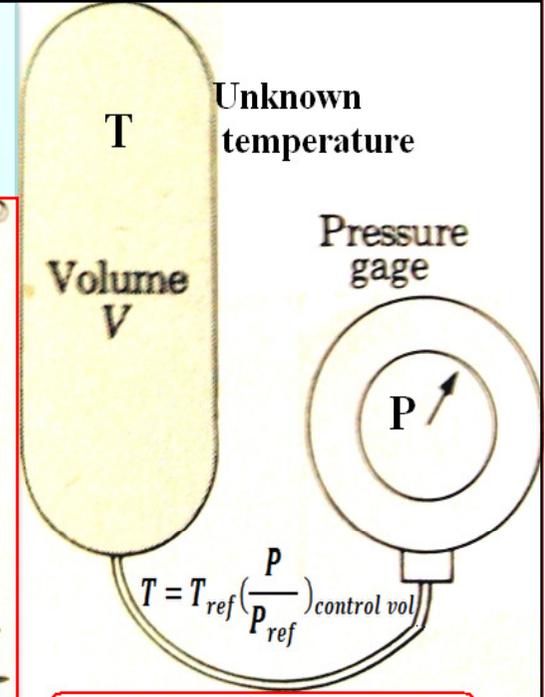
1. A static calibration curve can be determined from a plot of the calibration data. This curve is used later during an actual unknown measurement. An output is measured to return the unknown input.
2. Estimates of the accuracy and precision of the instrument can be determined from the static calibration curve.
3. Calibration certificates should be available for all instruments you are using. A schedule to check the calibration of each instrument regularly, should be in place.



**Ideal-Gas Thermometer:** ideal gas law,  $PV=mRT$ , where  $R=\check{R}/M$ ,  $\check{R}$ =universal gas constant =8314.5 J/kg.mol.K,  $M$ =molecular weight. Volume is exposed to standard reference temperature  $T_{ref}$  & we read pressure  $P_{ref}$  & we keep  $T_{ref}$ =cons., we change amount of gas in tank, we get different values of  $P_{ref}$ . In general we have small difference in gas ratio as quantity of gas is varied. If curve is extrapolated To zero pressure, true temperature Is obtained as defined by the ideal-gas eqn of thermometer that may be Used to measure temperatures as low as 1 K by extrapolation.

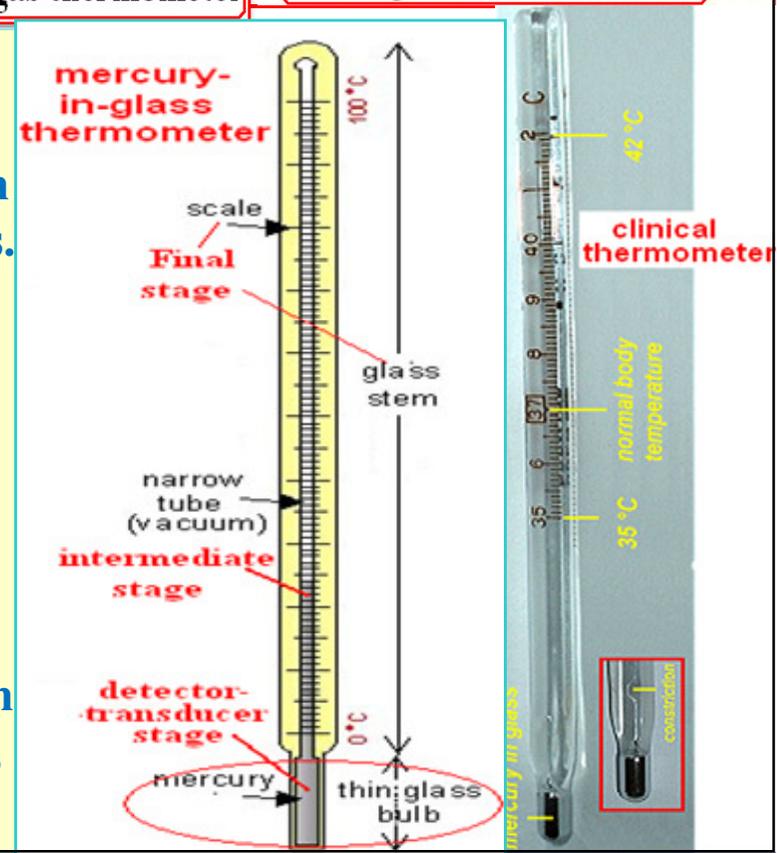


Results of measurements with Ideal-gas thermometer



ideal-gas thermometer

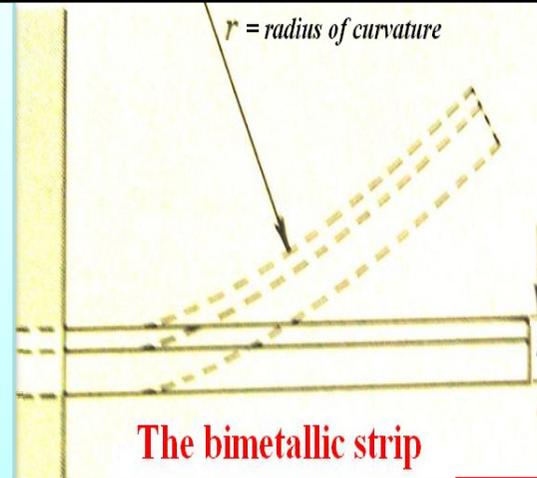
**Liquid-in-glass Thermometer:** it is mechanical transducer. It has limited range & may not be used for automation, inexpensive not very accurate measurement. Mercury & Alcohol (higher expansion coefficient but limited low temp.) are most commonly used liquids. Expansion seen on scale is difference between expansion of liquid & expansion of glass, so errors may be due difference of depth of bulb immersed. To correct for combination effect, thermometers must be calibrated for a certain specified depth of immersion. High-grade thermometers have mark engraved to specify proper depth of immersion. Very precise mercury-in-glass thermometers be obtained from National Bureau of Standards with calibration data for each. Filling space above mercury with a gas like nitrogen increases pressure on mercury to increase its boiling temperature, and permits use of thermometer at higher temperatures.



mercury-in-glass thermometer

clinical thermometer

**Bimetallic Strip:** it is mechanical transducer. Consists of two pieces of metal with different coefficient of expansion are bonded together. If strip at temp. higher than bonding temp., strip bends in one direction & vis-versa. Radius of curvature depends on temp. It has limited range & may be used for automation, inexpensive not accurate measurement.

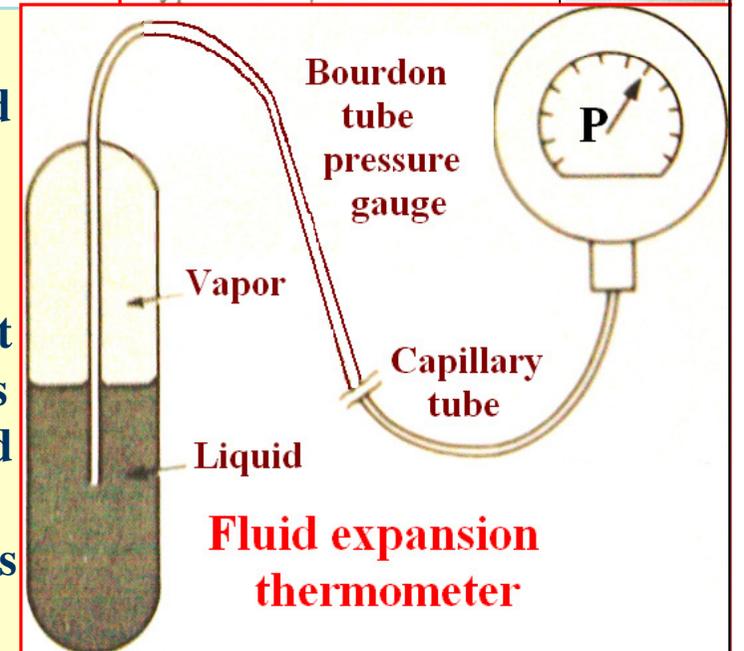


The bimetallic strip

Mechanical properties of commonly used thermal materials

| Material                 | Thermal coefficient of expansion per °C | Modulus of elasticity psi |
|--------------------------|---|---------------------------|
| Invar                    | $1.7 \times 10^{-6}$                    | $21.4 \times 10^6$        |
| Yellow brass             | $2.02 \times 10^{-5}$                   | $14.0 \times 10^6$        |
| Monel 400                | $1.35 \times 10^{-5}$                   | $26.0 \times 10^6$        |
| Inconel 702              | $1.25 \times 10^{-5}$                   | $31.5 \times 10^6$        |
| Stainless-steel type 316 | $1.6 \times 10^{-5}$                    | $28 \times 10^6$          |

**Fluid expansion thermometers:** mechanical transducer, economical, versatile, widely used devices for industrial applications. Has limited range & may not be used for automation, inexpensive not accurate measurement. Increase in temp. causes liquid or gas expansion increasing pressure on gauge. System must be calibrated directly. Temp. of capillary tube may affect measurement. Capillary tube must be at temp. less than liquid bulb so that fluid in capillary will always be in subcooled liquid state, while pressure will be uniquely specified for each temp. in the equilibrium mixture contained in the bulb. Capillary tubes 60m long may be used. Electric pressure transducers may be used to get more accuracy or higher transient response.



Fluid expansion thermometer

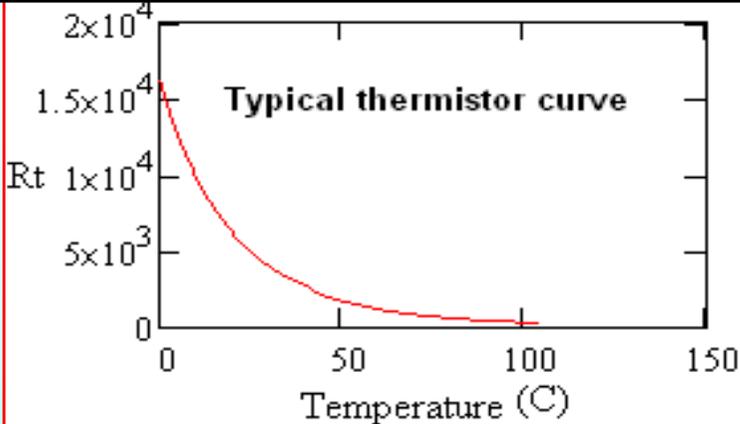
**Temperature measurement by electrical Effects:**

**Resistance thermometer**

Resistance thermometers, called resistance temperature detectors or resistive thermal devices (RTDs), are temperature sensors that exploit the predictable change in electrical resistance of some materials with changing temperature. As they are almost invariably made of platinum, they are often called **platinum resistance thermometers (PRTs)**. They are slowly replacing the use of thermocouples in many industrial applications below 600 °C, due to higher accuracy and repeatability.

## Electrical-Resistance Thermometer:

consists of resistive element/wire, exposed to temperature to be measured by finding change in resistance. Only for narrow temp. range, we define linear resistance-temperature coefficient,  $\alpha$ , as  $\alpha = (R_2 - R_1) / R_1 (T_2 - T_1)$ .



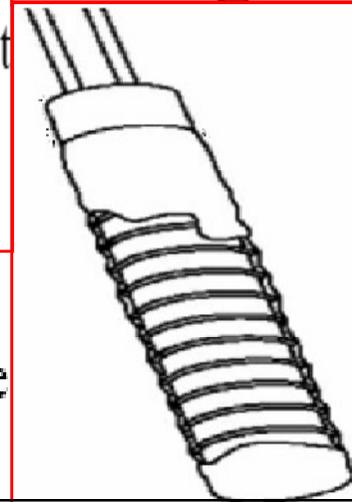
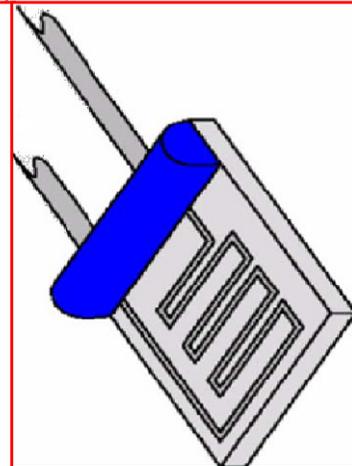
| Material                    | Resistance-temp. coefficient, room temp. |
|-----------------------------|--|
| Nickel                      | 0.0067                                   |
| Iron (alloy)                | 0.002 to 0.006                           |
| Tungsten                    | 0.0048                                   |
| Aluminum                    | 0.0045                                   |
| Copper                      | 0.0043                                   |
| Lead                        | 0.0042                                   |
| Silver                      | 0.0041                                   |
| Gold                        | 0.004                                    |
| Platinum                    | 0.00392                                  |
| Mercury                     | 0.00099                                  |
| Manganin                    | ± 0.00002                                |
| Carbon                      | -0.0007                                  |
| Electrolytes                | -0.02 to -0.09                           |
| Semiconductor (thermistors) | -0.068 to +0.14                          |

But for wider temp. range, resistance is quadratic eqn.:  $R(T) = R_0(1 + aT + bT^2)$ , Platinum thermometer (PRT) is used widely. In all cases, care to be made to ensure that resistance wire is free of mechanical stress or effect of moisture.

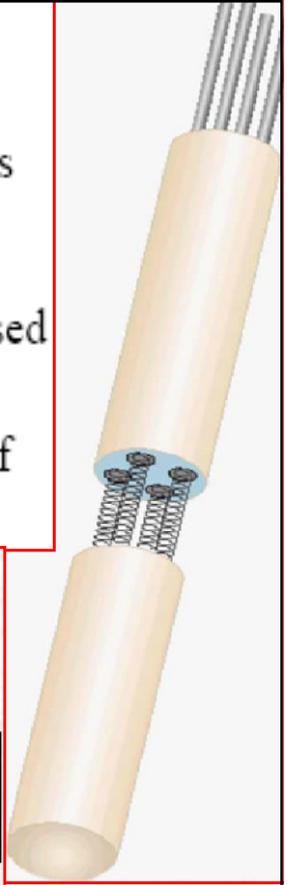
## General description of Resistance Thermometers:

There are many categories; carbon resistors, film, and wire-wound types are the most widely used.

- *Carbon resistors* are widely available and are very inexpensive. They have very reproducible results at low temperatures. They are the most reliable form at extremely low temperatures. They generally do not suffer from significant hysteresis or strain gauge effects.
- *Film thermometers* have a layer of platinum on a substrate; the layer may be extremely thin, perhaps one micrometer. Advantages of this type are relatively low cost (the high cost of platinum being offset by the tiny amount required) and fast response. Such devices have improved performance although different expansion rates of substrate and platinum give "strain gauge" effects and stability problems.
- *Wire-wound thermometers* can have greater accuracy, especially for wide temperature ranges. The coil diameter provides a compromise between mechanical stability and allowing expansion of the wire to minimize strain and consequential drift.

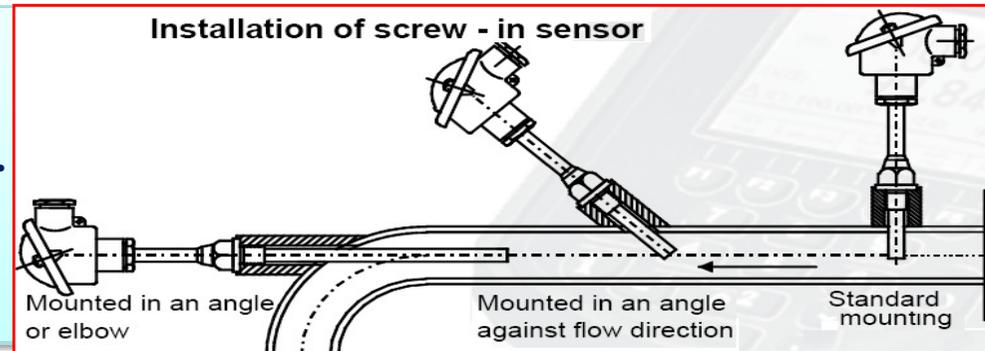


**Coil elements** have largely replaced wire-wound elements in industry. This design has a wire coil which can expand freely over temperature, held in place by some mechanical support which lets the coil keep its shape. This design is similar to that of a SPRT, the primary standard upon which ITS-90 is based, while providing the durability necessary for industrial use. The current international standard which specifies tolerance, and temperature-to-electrical resistance relationship for platinum resistance thermometers is IEC 60751:2008. By far most common device used in industry have nominal resistance 100 ohms at 0 °C, and are called Pt100 sensors ('Pt' is symbol for platinum). sensitivity of standard 100 ohm sensor is a nominal 0.385 ohm/°C. RTDs with sensitivity of 0.375 and 0.392 ohm/°C as well as a variety of others are also available.

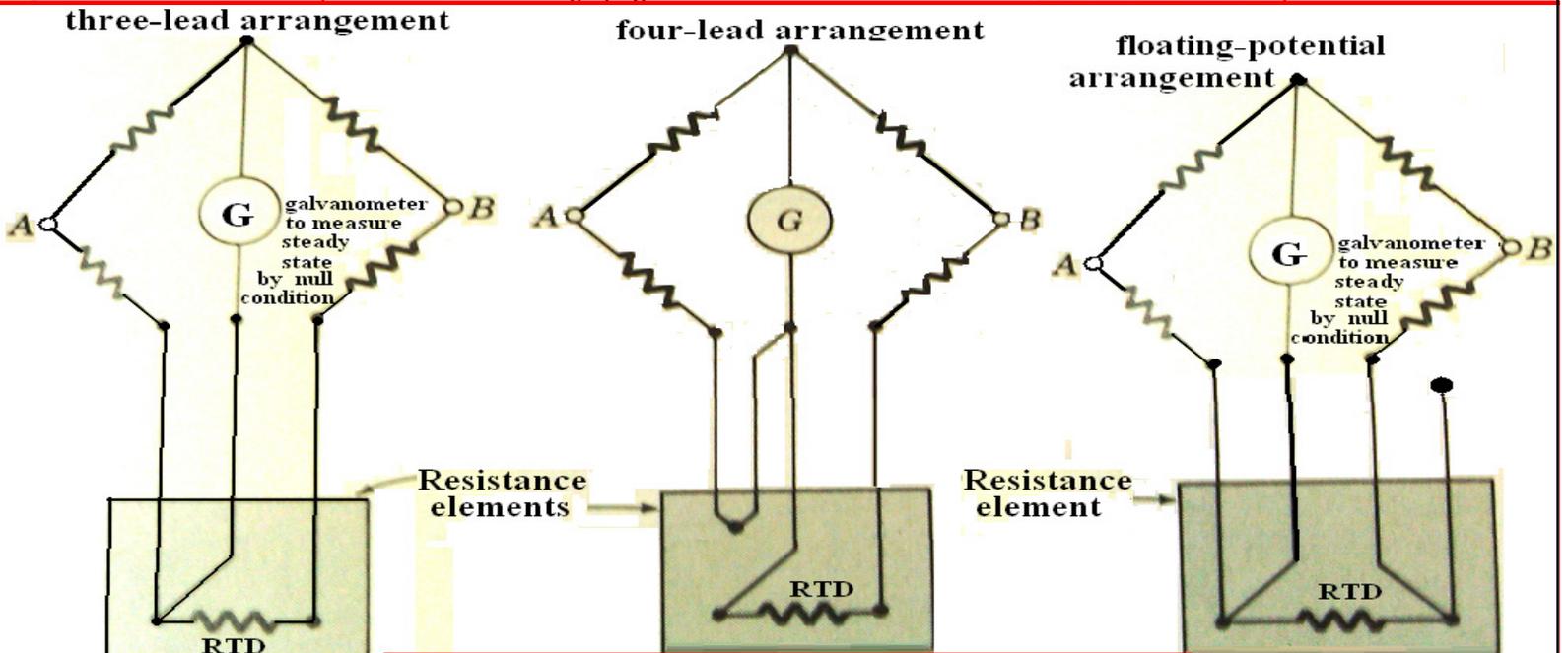


**Connection of Resistance-Temperature**

**RTD:** various methods are used to insert RTD in place of the unknown temperature (as seen ). In all cases, care must be made to ensure that RTD is free of mechanical stresses & strong transients so to get some accurate results.

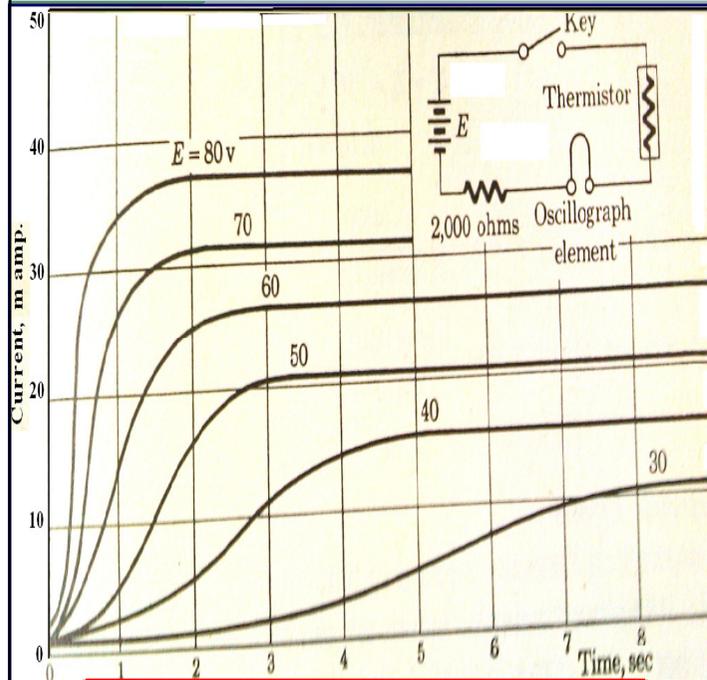


**Change of resistance to be done by Wheatstone bridge or resistance potentiometer. At steady-state measurement, null condition is to be made while unsteady measurement needs using deflection bridge. Errors are due to resistance of the lead wires connecting the RTD to a bridge circuit. Several arrangements may be used to correct for this effect. Interchanging leads & average of readings is used.**

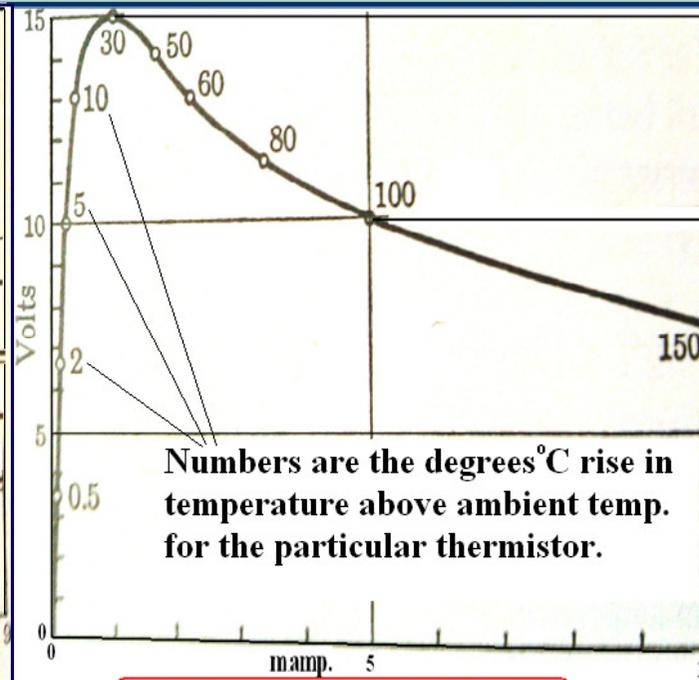


**Methods of connecting for lead resistance with RTD**

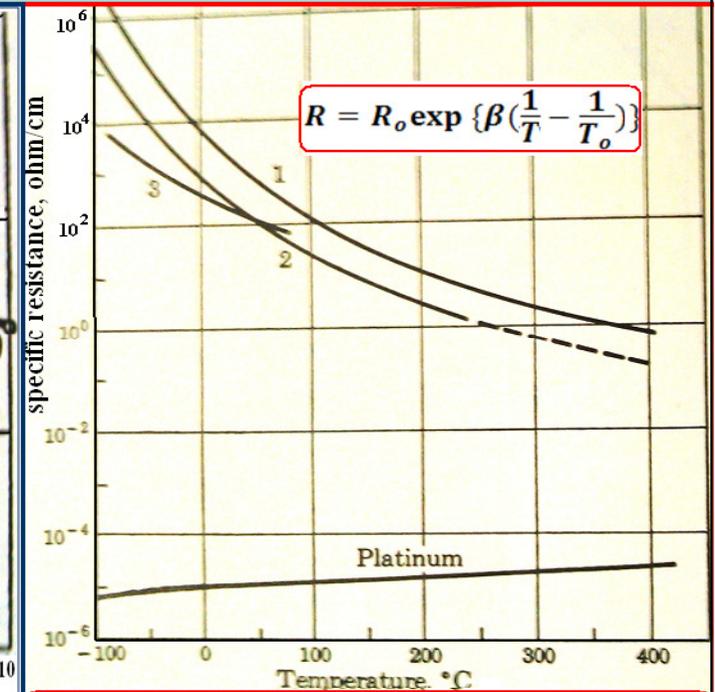
**Thermistor:** is a semiconductor device has  $-ve$  & exponential resistance temp. coefficient, in contrast to  $+ve$  polynomial coefficient of most RTD metals. Numerical values of  $\beta$  varies between 3500-4600 K depending on material/temperature. Transients response is seen to increase as voltage E is increased.



Typical set of transient voltage-current curves for a thermistor



Static voltage-current for a typical thermistor.



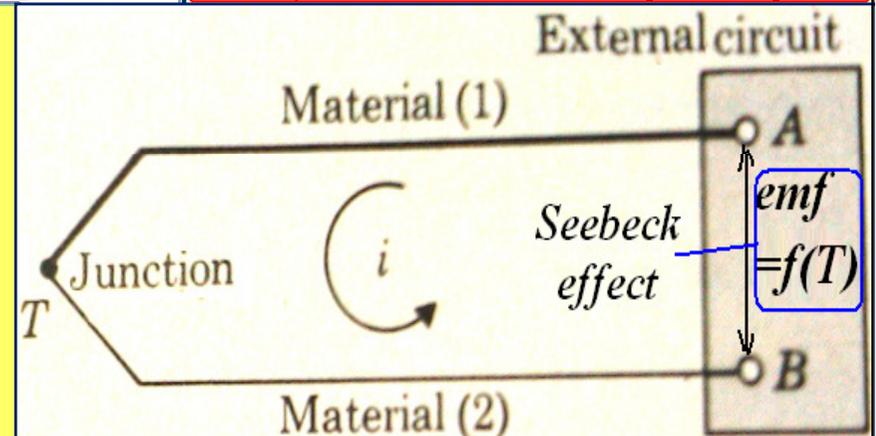
Resistivity of 3 thermistor materials compared with platinum

**Thermo-electric Effect, thermocouples:** the most common electric transducers used widely to measure temperature.

**Seebeck effect (the main one):** if junction of two dissimilar metals is connected, we will get  $emf = f(\text{Temp. of junction})$ .

**Peltier effect:** if junction of two dissimilar metals connected to external circuit AB, we have a change in the above  $emf$ .

**Thomson effect:** if temp. gradient exists along either or both materials, we may get another change in the above  $emf$ .



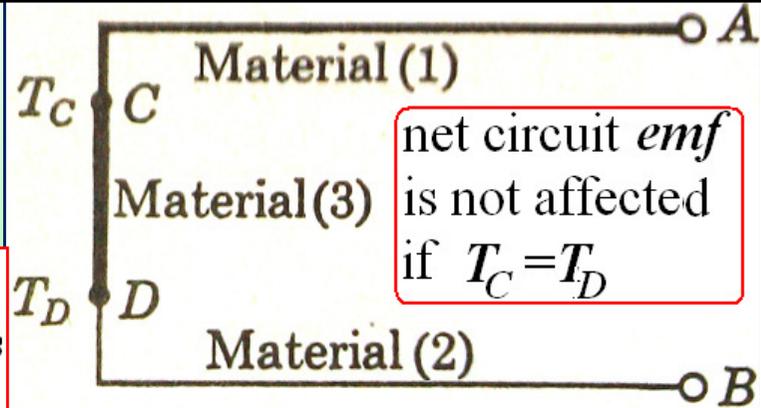
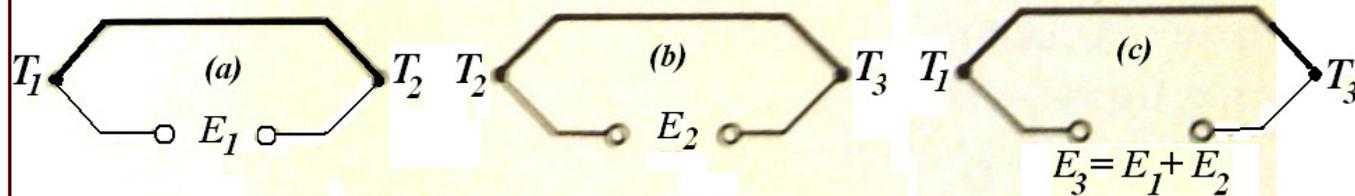
Junction of 2 dissimilar metals indicates thermoelectric effect

Thermo-electric circuits include combination of Seebeck+Peltier+Thomson effects. To measure  $emf$  we connect to voltage measuring device, there will be another thermal  $emf$  due to device connection wires. This  $emf$  depends on the temperature of connection wires.

**Analysis of thermoelectric circuits:** we have 2 rules:

**1-Law of intermediate metals:** if 3<sup>rd</sup> metal is connected in circuit, net *emf* is not affected if new connections at same temp. ( $T_C=T_D$ ).

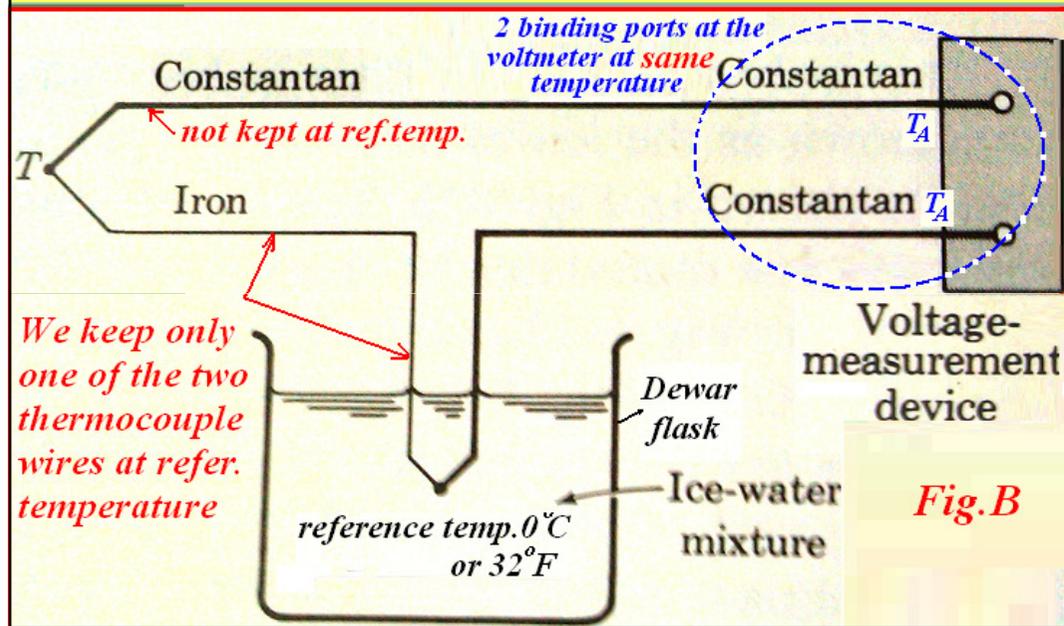
**2-Law of intermediate temperatures:** as shown we get  $E_3=E_1+E_2$



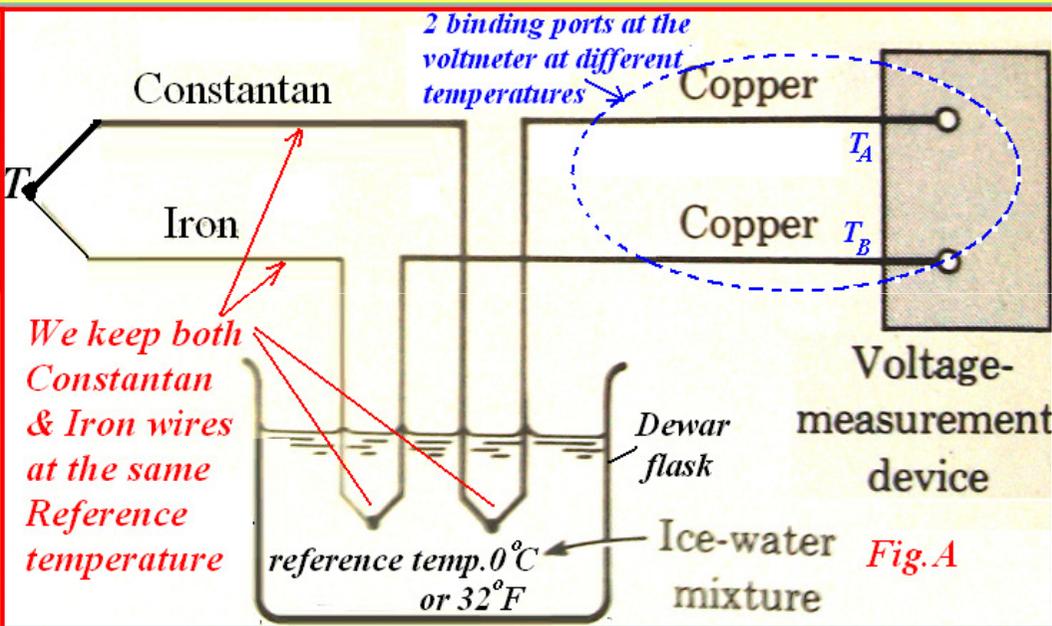
*Law of intermediate metals*

**Reference temperature:** we have 2 junctions, one at unknown  $T$ , 2<sup>nd</sup> at reference temp. =  $0.0\text{ }^\circ\text{C}$  as shown. System in fig.A is necessary if the binding ports at the potentiometer are at different temperatures. But system in fig.B is satisfactory if binding ports at voltmeter are at same temp. To be effective, system in A must have copper binding ports; ie., binding ports & lead wires must be of the same material.

**Most Standard thermocouples calibration data/tables/charts based on Reference temperature =  $0.0\text{ }^\circ\text{C}$**



**Fig. B**



**Fig. A**

**Electronic Reference Junction**

It is inconvenient to use an ice bath as reference junction. Therefore modern input boards for thermocouples have on-board thermistors, which measure the ambient temperature. The ambient temperature then serves as reference junction temperature and on-board software compensates for fluctuating ambient temperature.

## Types of Thermocouples

A large number of thermocouples are available based on choice of materials used to manufacture them. The materials affect price, temperature range and suitability for a particular measurement purpose.

Thermocouples have been standardized and are designed by letter code that denotes, which two materials compose the thermocouple. A selection of thermocouples is shown below.

| Type       | Metal                    |                          | Standard Color Code |     | $\Omega$ /Double Foot<br>20 AWG | Seebeck Coefficient<br>S (mV/°C) @ T(°C) | °C Standard<br>Wire Error | NBS Specified<br>Materials Range*<br>(°C) |              |
|------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|-----|---------------------------------|--|---------------------------|---|--------------|
|            | +                        | -                        | +                   | -   |                                 |  |                           |   |              |
| B          | Platinum-<br>6% Rhodium  | Platinum-<br>30% Rhodium | —                   |     | 0.2                             | 6  | 600                       | 4.4-8.6                                   | 0-1820**     |
| E          | Nickel-<br>10% Chromium  | Constantan               | Violet              | Red | 0.71                            | 58.5                                     | 0                         | 1.7-4.4                                   | -270 to 1000 |
| J          | Iron                     | Constantan               | White               | Red | 0.36                            | 50.2                                     | 0                         | 1.1-2.9                                   | -210 to 760  |
| K          | Nickel-<br>10% Chromium  | Nickel                   | Yellow              | Red | 0.59                            | 39.4                                     | 0                         | 1.1-2.9                                   | -270 to 1372 |
| N (AWG 14) | Nicrosil                 | Nisil                    | —                   |     | —                               | 39                                       | 600                       | —   | 0-1300       |
| N (AWG 28) | Nicrosil                 | Nisil                    | —                   |     | —                               | 26.2                                     | 0                         | —   | -270 to 400  |
| R          | Platinum-<br>13% Rhodium | Platinum                 | —                   |     | 0.19                            | 11.5                                     | 600                       | 1.4-3.8                                   | -50 to 1768  |
| S          | Platinum-<br>10% Rhodium | Platinum                 | —                   |     | 0.19                            | 10.3                                     | 600                       | 1.4-3.8                                   | -50 to 1768  |
| T          | Copper                   | Constantan               | Blue                | Red | 0.30                            | 38                                       | 0                         | 0.8-2.9                                   | -270 to 400  |
| W-Re       | Tungsten-<br>5% Rhenium  | Tungsten-<br>26% Rhenium | —                   |     | —                               | 19.5                                     | 600                       | —   | 0-2320       |

**Example 1** A J-type thermocouple, whose reference junction is at 0°C, produces a emf output voltage of 4.115 mV. What is the temperature at the measurement junction of the thermocouple ?

The table for J-type thermocouples is referenced at 0°C. Therefore, we simply need to find the temperature from the table, which would generate a emf of 4.115mV. Inspection of the table shows that the temperature is between 78 and 79°C, interpolation gives 78.7°C

**Example 2** A J-type thermocouple, whose reference junction is at 21.1°C, produces a emf output voltage of 2.878 mV. What is the temperature at the measurement junction of the thermocouple ?

The table for J-type thermocouples is referenced at 0°C. From the table we see that at 21.1°C, the thermocouple would produce an emf<sub>0,21</sub> of 1.076 mV. Using the law of successive or intermediate temperatures we get

$$\text{emf}_{0,T} = \text{emf}_{0,21} + \text{emf}_{21,T} = 1.076\text{mV} + 2.878\text{mV} = 3.954 \text{ mV}$$

Interpolating data in table for J-type thermocouples we find temperature with 3.954 mV as T=75.7°C.

# Thermocouple-Equations, Tables & Charts:

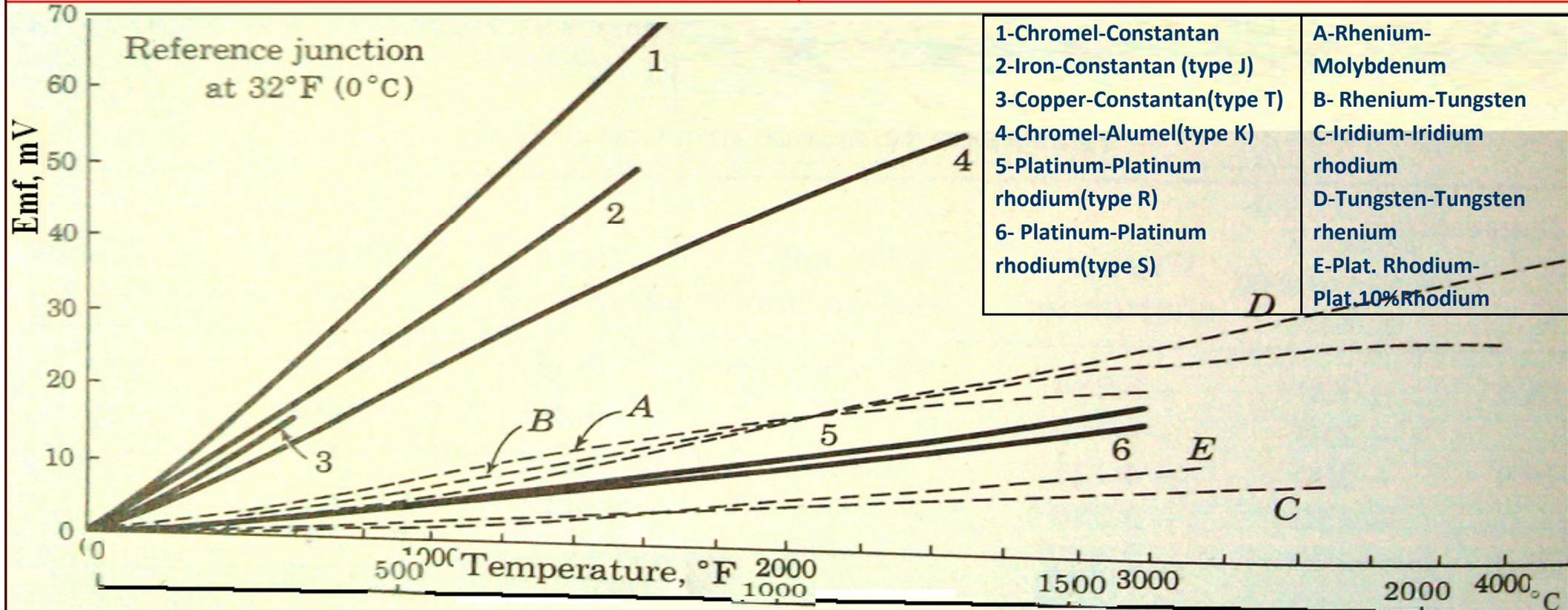
Output characteristics of the most common thermocouples are shown in next tables & charts.

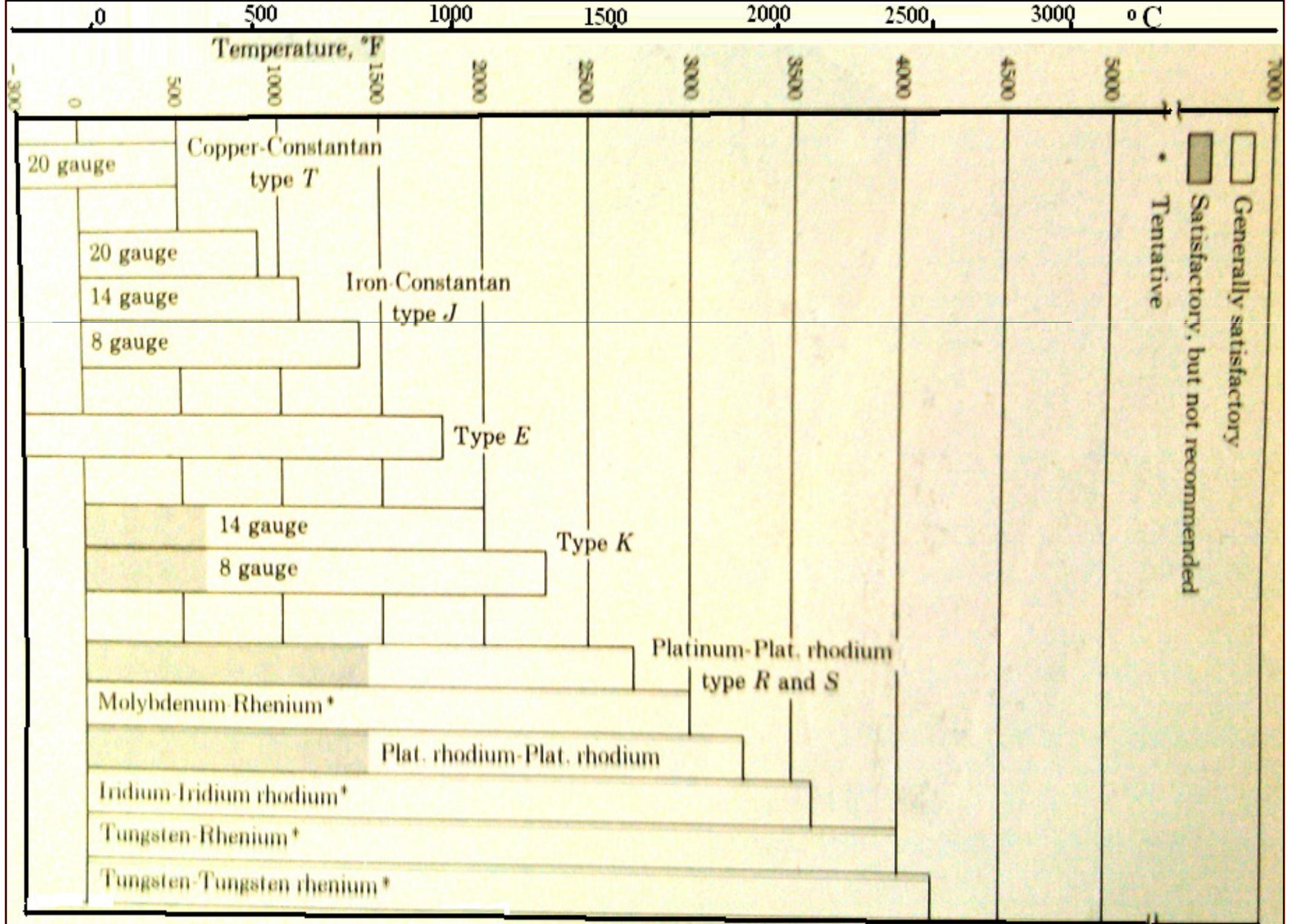
Thermal emf in absolute millivolts for thermocouples (at  $T_{ref}=0.0^{\circ}\text{C}$ )

| Temperature<br>$^{\circ}\text{C}$ | Temperature<br>$^{\circ}\text{F}$ | Type T<br>Copper-<br>constantan | Type J<br>Iron-<br>constantan | Type K<br>Chromel-<br>alumel | Type S<br>Platinum<br>10%rhodium |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| -184.4                            | -300                              | -5.284                          | -7.52                         | -5.51                        |                                  |
|                                   | -250                              | -4.747                          | -6.71                         | -4.96                        |                                  |
| -128.9                            | -200                              | -4.111                          | -5.76                         | -4.29                        |                                  |
|                                   | -150                              | -3.380                          | -4.68                         | -3.52                        |                                  |
| -73.3                             | -100                              | -2.559                          | -3.49                         | -2.65                        |                                  |
|                                   | -50                               | -1.654                          | -2.22                         | -1.70                        |                                  |
| -17.78                            | 0                                 | -0.670                          | -0.89                         | -0.68                        |                                  |
|                                   | 50                                | 0.389                           | 0.50                          | 0.40                         |                                  |
| 37.78                             | 100                               | 1.517                           | 1.94                          | 1.52                         | 0.221                            |
|                                   | 150                               | 2.711                           | 3.41                          | 2.66                         | 0.401                            |
| 93.33                             | 200                               | 3.967                           | 4.91                          | 3.82                         | 0.595                            |
|                                   | 250                               | 5.280                           | 6.42                          | 4.97                         | 0.800                            |

Thermal emf in absolute millivolts for thermocouples (at  $T_{ref}=0.0^{\circ}\text{C}$ )

| Temperature<br>$^{\circ}\text{C}$ | Temperature<br>$^{\circ}\text{F}$ | Type T<br>Copper-<br>constantan | Type J<br>Iron-<br>constantan | Type K<br>Chromel-<br>alumel | Type S<br>Platinum<br>10%rhodium |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| 148.9                             | 300                               | 6.647                           | 9.71                          | 7.94                         | 6.09                             |
|                                   | 350                               | 8.064                           |                               | 9.48                         | 7.20                             |
| 204.4                             | 400                               | 9.525                           | 13.75                         | 11.03                        | 8.31                             |
|                                   | 450                               | 11.030                          |                               | 12.57                        | 9.43                             |
| 260                               | 500                               | 12.575                          | 17.95                         | 14.12                        | 10.57                            |
|                                   | 600                               | 15.773                          | 22.25                         | 17.18                        | 12.86                            |
| 371.1                             | 700                               | 19.100                          | 26.65                         | 20.26                        | 15.18                            |
|                                   | 800                               |                                 | 31.09                         | 23.32                        | 17.53                            |
| 537.8                             | 1000                              |                                 | 40.06                         | 29.52                        | 22.26                            |
|                                   | 1200                              |                                 | 49.04                         | 36.01                        | 26.98                            |
| 815.6                             | 1500                              |                                 | 62.30                         |                              | 33.93                            |
|                                   | 1700                              |                                 | 70.90                         |                              | 38.43                            |
| 1093                              | 2000                              |                                 |                               |                              | 44.91                            |
|                                   | 2500                              |                                 |                               |                              | 54.92                            |
| 1649                              | 3000                              |                                 |                               |                              | 13.991                           |
|                                   |                                   |                                 |                               |                              | 17.292                           |





**Summary of operating temperature range of different types of thermocouples**

**Thermoelectric power:** Output voltage,  $E$ , of simple thermocouple circuit is:  $E=(A.T+0.5 B.T^2+0.33 T^3)$ . The sensitivity, or thermoelectric power is  $S = dE/dt = (A+ B.T+ C.T^2)$ . The output is in millivolt & needs sensitive potentiometer or DC millivoltmeter. Careful arrangements must be made for accurate results. The resistance of lead wires has no effect if we use potentiometer at null condition (zero current flow).

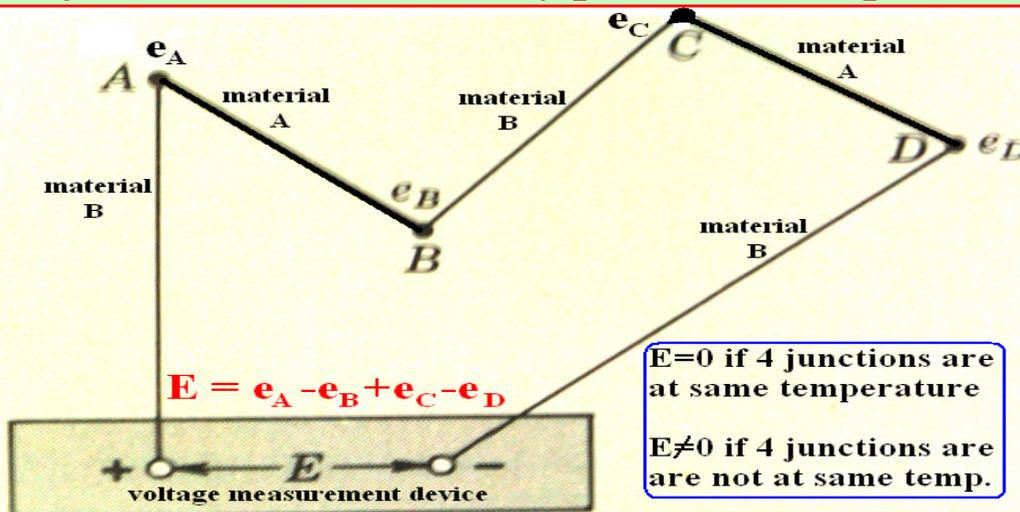
Thermoelectric sensitivity,  $S=dE/dt$  of thermoelement made of materials listed against platinum, micro-volt /°C ( $T_{ref}=0.0\text{ }^\circ\text{C}$ )

|            |     |           |      |
|------------|-----|-----------|------|
| Bismuth    | -72 | Silver    | 6.5  |
| Constantan | -35 | Copper    | 6.5  |
| Nickel     | -15 | Gold      | 6.5  |
| Potassium  | -9  | Tungsten  | 7.5  |
| Sodium     | -2  | Cadmium   | 7.5  |
| Platinum   | 0   | Iron      | 18.5 |
| Mercury    | 0.6 | Nichrome  | 25   |
| Carbon     | 3   | Antimony  | 47   |
| Aluminium  | 3.5 | Germanium | 300  |
| Lead       | 4   | Silicon   | 440  |
| Tantalum   | 4.5 | Tellurium | 500  |
| Rhodium    | 6   | Selenium  | 900  |

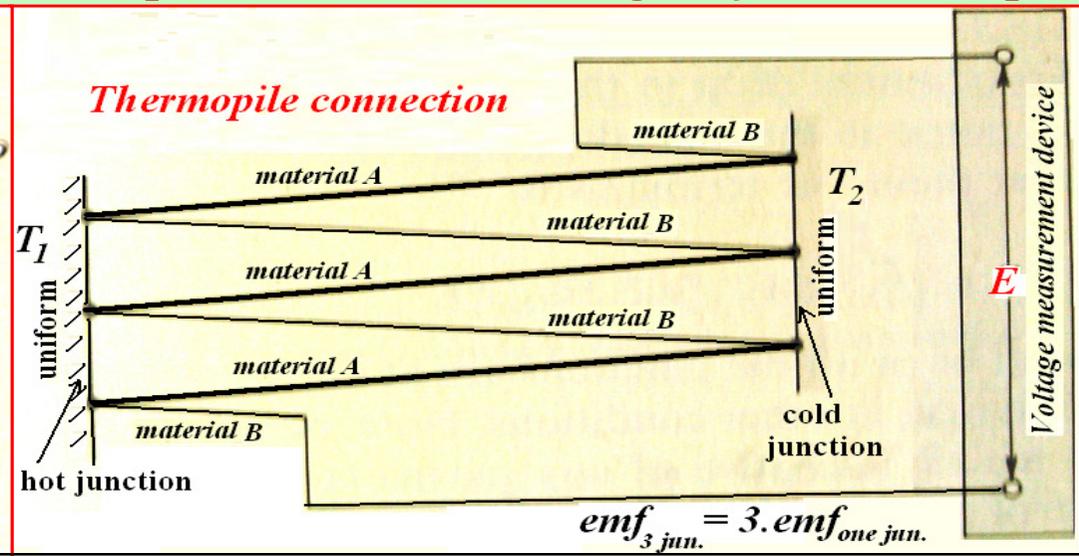


Typical manually balanced thermocouple potentiometer

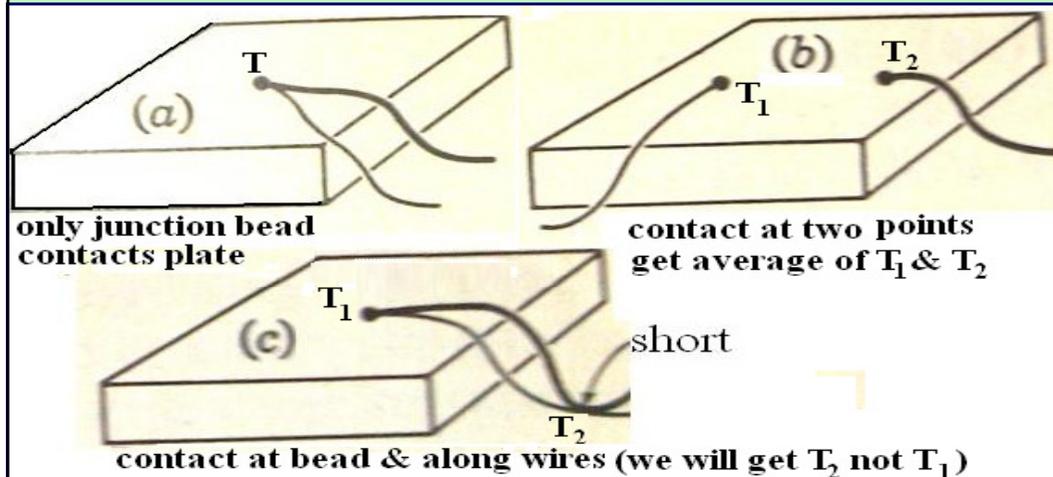
**Thermopile arrangement:** used for more sensitive circuit to duplicate output  $emf$  (or we get the average temp. of the 4 hot junctions if  $T_1$  not uniform & cold junctions are at same temp). We must ensure that all junctions are electrically insulated from one another. We use **series connection** of thermocouples (must be even # of junctions for same material at voltmeter) to check if 4 points are at same temp. or not. Net  $emf$  is not indicative of any particular temp. & it is not representative of an average of junctions temp.



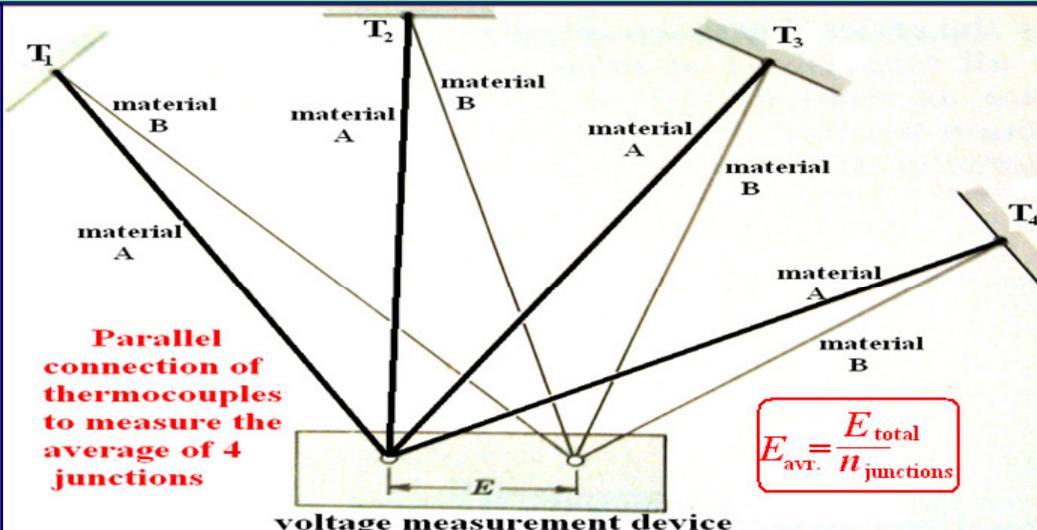
Series connection of thermocouples (even junctions)



**Parallel Thermopile arrangement:** used to get the average temperature of a number of points which are at different temperatures. There can be a small error due to current flow in lead wires as result of the difference in potential bet. Junctions. Resistance of wires will affect the reading to some extent. The method of installation of thermocouple on metal plate will define the type of errors in results as shown.



**Installation of thermocouples on a metal plate**



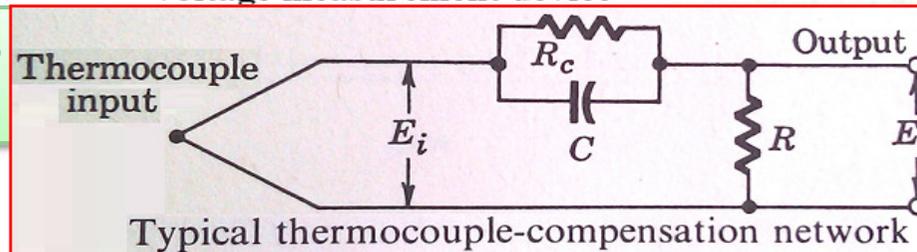
**Thermocouple Compensation:** using an electric network to get higher frequency response for transient measurement.

**Thermo-couples Calibration system**

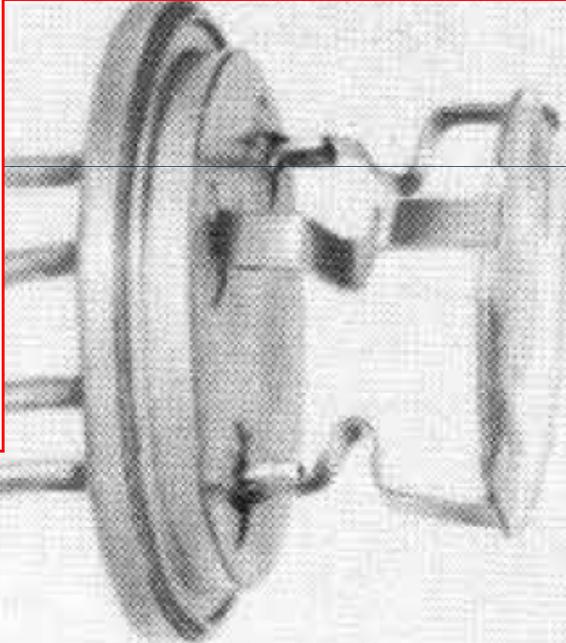
High Accuracy Multi-Well Calibration System

**FEATURES:**

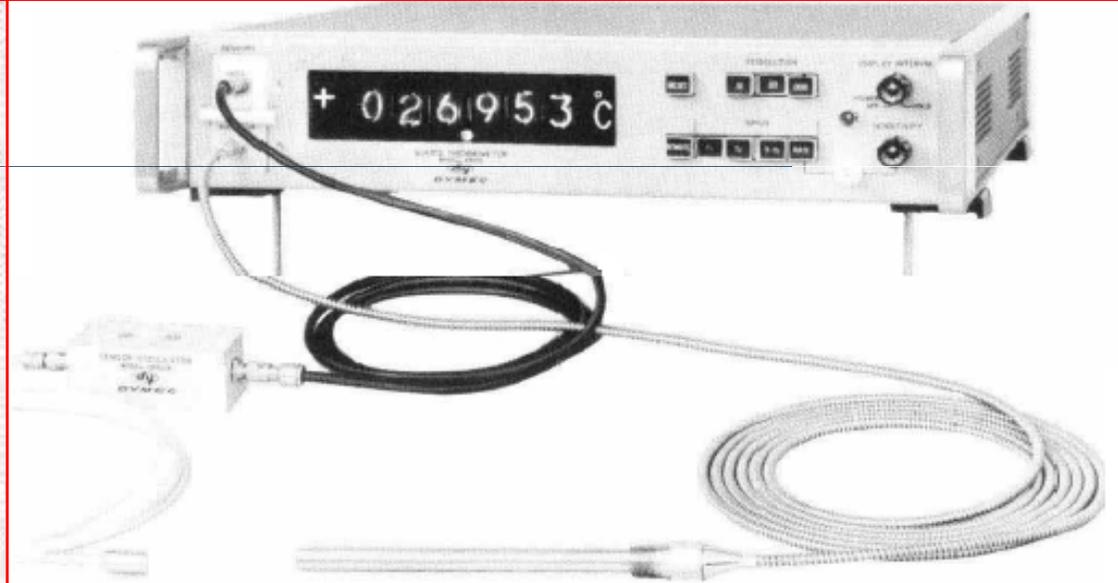
- High accuracy low and high temperature dry well capable of laboratory as well as field calibration
- Polished stainless steel cabinet construction
- Only one block covers the whole range
- Small footprint for field use
- Fast cooling time from 100°C to -95°C in 55 minutes
- Temperature metrology wells permit calibration of RTD, thermocouple and any other temperature sensors at one controlled temperature
- Advance block design provides excellent temperature stability in both low and high range
- Designed for metrology laboratories and instrumentation department requirements



**Quartz-Crystal Thermometer:** based on sensitivity of resonant frequency of quartz crystal to measure temperature & difference in temp. If proper angle of cut is used with the crystal, there is very linear relation between resonant frequency & temp. Commercial devices utilize electric digital counters readouts to measure frequency. Since measurement process relies on frequency measurement, device is insensitive to noise pick up in connecting cables.

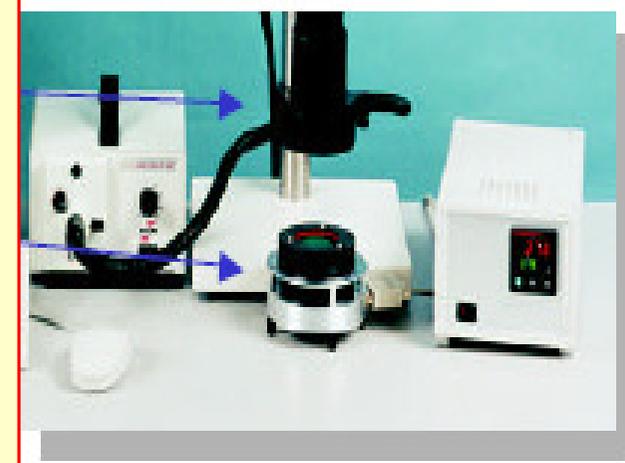


Close-up view of quartz sensor mounted on header.  
Sensor is later sealed in helium atmosphere.



Two-channel version of Quartz Thermometer can measure temperature sensed by either probe or difference between probes. Sensor oscillator is normally located within cabinet but is self-contained and can be located externally for remote measurements.

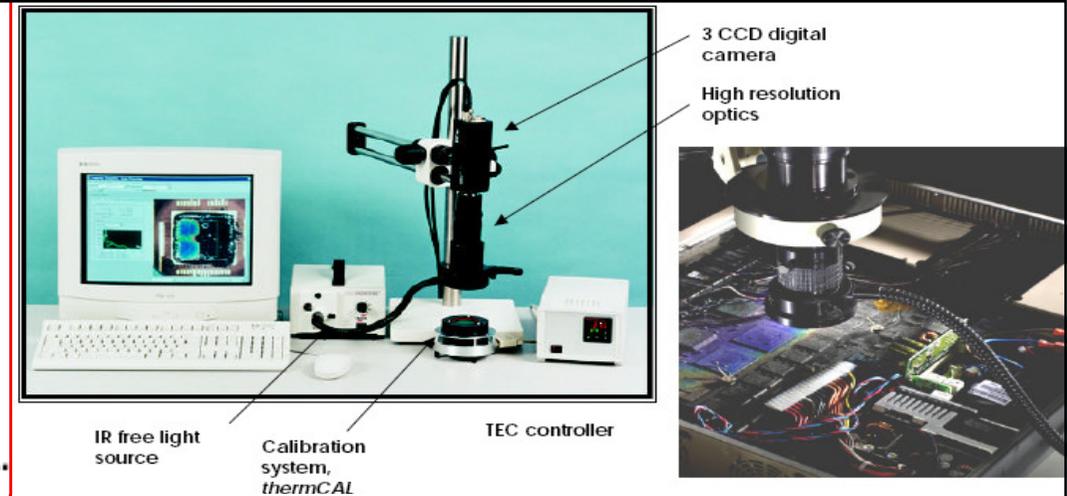
**Liquid-Crystal Thermography, LCT:** Cholesteric liquid crystals, formed from compounds/esters of cholesterol, show interesting response to temp. Over reproducible temp. range, liquid crystal will show **all colors of the visible spectrum**. By varying chemical formation, LCT can be made operate from below 0°C to several hundred °C. LCT is used to measure surface temp. if sprayed over surface. Optics/color record system to be used to produce temperature-color coded image. LCT used as water based slurry or precoated on blackened substrate of paper or Mylar.



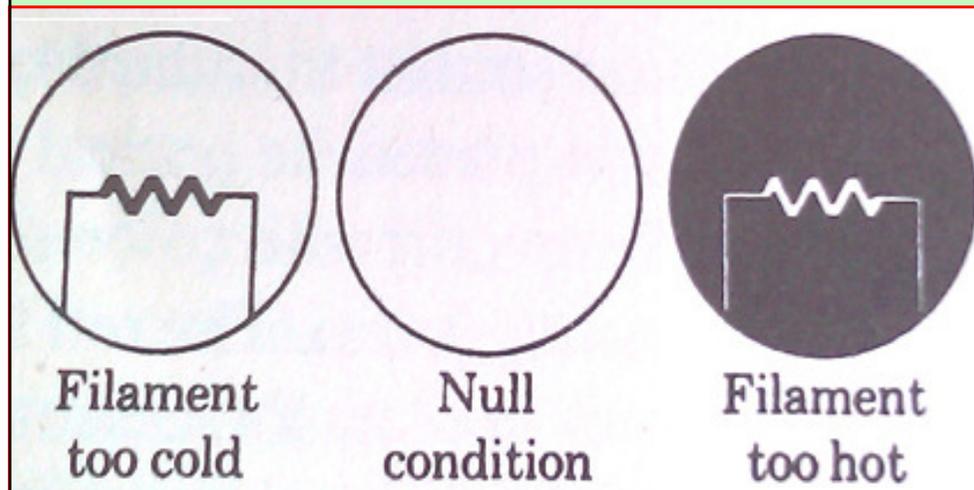
## How Does LCT work?

The following steps are taken when measuring surface temperature with an LCT system

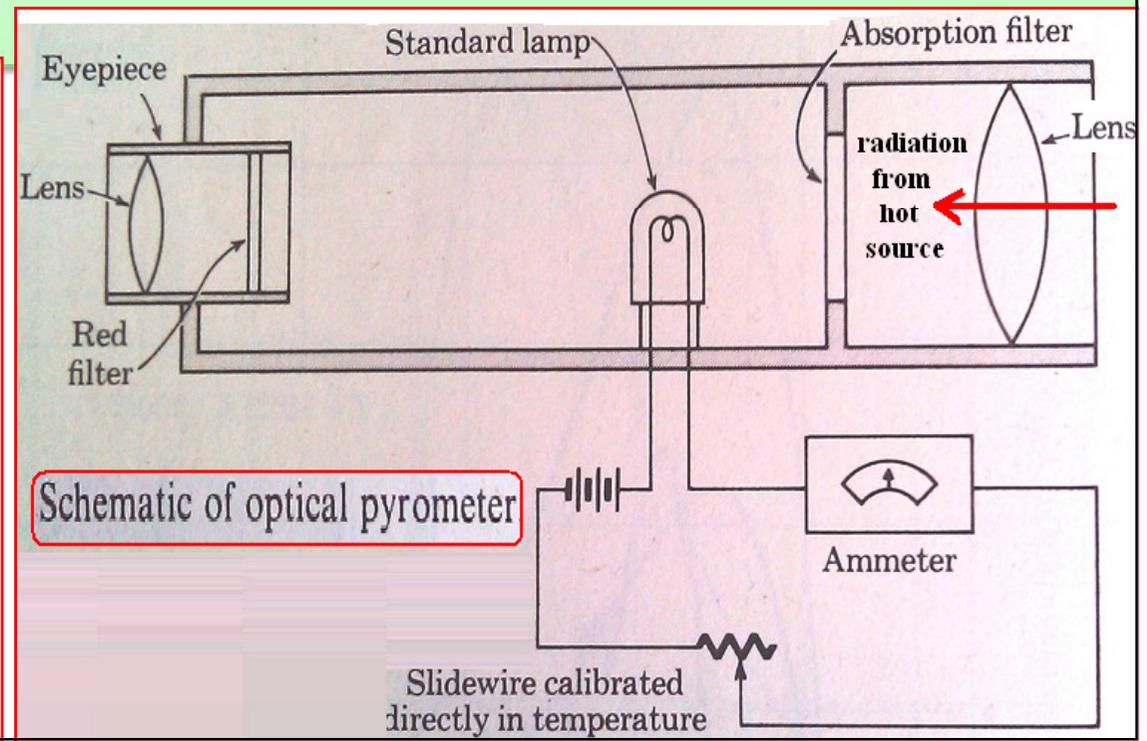
- Select optics suitable for spatial resolution required.
- Select the appropriate liquid crystal and calibrate it.
- Coat the test specimen with black paint.
- Spray the test specimen with liquid crystal.
- Apply power to test specimen and start measurement.



**Temperature measurement by Radiation:** By adjusting the lamp current, color of filament may be made to match color of incoming radiation. Red filter is installed in eyepiece to ensure that comparisons are made for essentially monochromatic radiation, thus eliminating some of the uncertainties resulting from variation of radiation properties with wavelength. The appearance of the lamp filament is viewed from eyepiece. When balance conditions are achieved, the filament will seem to disappear in the total incoming radiation. Temperature calibration is made in terms of the lamp heating current which get the null condition.



Appearance of lamp filament in eyepiece of optical pyrometer.



## Sensors &amp; Transducers (as part of

القياس عملية مهمة وجوهرية  
بصفة عامة وللتحكم الآلي خاصة  
ويوجد مقرر إجباري للقياسات بكل  
جوانبها النظرية والعملية - الوحدة  
الثانية يتم تغطيتها مع المزيد من  
التفاصيل في مقرر القياسات

**الأهداف** بإكمال الوحدة الثانية يكون المتدرب قادراً على:

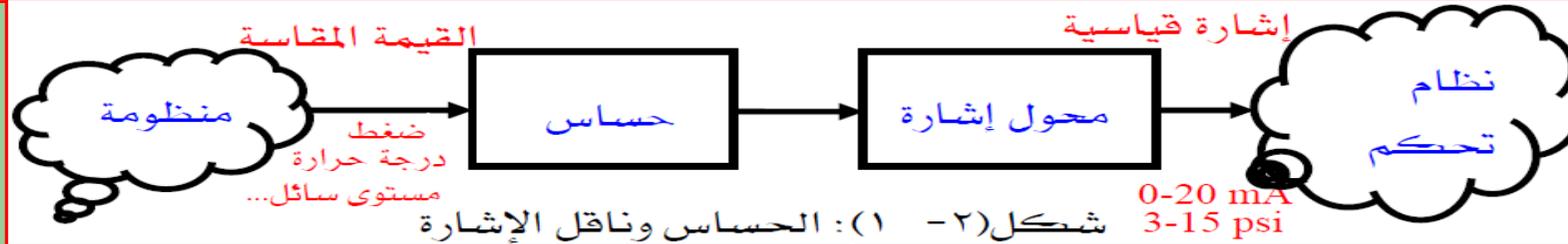
- \* أن يعرف مكونات عنصر الحس.
- \* أن يفهم مفهوم الحساسات النشطة والخاملة
- \* أن يعرف أنواع عناصر الحس الخاصة بقياس الوضع، السرعة، القوة، درجة الحرارة، الضغط، مستوى سائل ومعدل التدفق.
- \* أن يعدد ويشرح كيفية تحويل الإشارة.
- \* أن يتعرف على مختلف أنواع محولات الإشارة.

**الوحدة الثانية: عناصر القياس ومحولات الإشارة**

في هذا الباب سوف نقوم بعرض أحد المكونات الأساسية لمنظومة التحكم الآلي والذي يتعلق بقياس الكميات الطبيعية، التي تمثل إحدى أهم أسس عملية التحكم الآلي مثل قياس: درجة الحرارة، الضغط، مستوى سائل، معدل التدفق، الوضع، السرعة والقوة.

**١- عنصر الحس Sensor:****١- ١ تعريف:**

عنصر الحس هو عنصر يقوم بقياس قيمة فيزيائية ثم يحولها إلى قيمة فيزيائية مختلفة (عادة تكون كهربية). هذه القيمة التي تمثل القيمة المقاسة سوف تستعمل مثلاً كإشارة تحكم.

**١-٣ الحساس الخامل Passive sensor:**

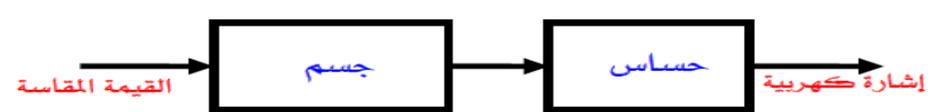
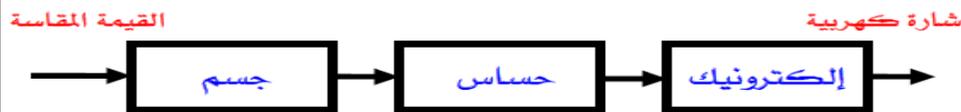
الحساس عبارة عن معاوقة impedance حيث لأحد بارامتراتهما علاقة مع القيمة المقاسة. ينتج عن تغيير قيمة المعاوقة التالي:

- ❖ تغيير في مقاسات الحساس، وهذا هو مبدأ عمل العديد من حساسات الوضع، المقاومة المتغيرة، لصفية كهربائية ذات قلب متحرك، مكثف بذراع متحرك.
- ❖ إزاحة نتيجة قوة، ضغط، تسارع وهو حساس التنسو Tenso-sensor. وهناك نوعان من الحساسات:

**١-٢ الحساس النشط Active sensor:**

هذا الحساس يعمل بمبدأ التأثير الفيزيائي الذي يضمن تحويل شكل طاقة القيمة الفيزيائية (طاقة ميكانيكية، طاقة حرارية، طاقة إشعاعية... الخ) إلى طاقة كهربية، وهذه الحساسات التقليدية هي:

- ❖ حساس حراري - كهربائي thermoelectric sensor.
- ❖ حساس بيزو - كهربائي Piezoelectric sensor.
- ❖ حساس إلكترومغناطيسي Electromagnetic sensor.
- ❖ حساس كهربائي - ضوئي Photoelectric sensor.
- ❖ حساس فولتي - ضوئي Photovoltaic sensor.

**حساس مدمج****حساس مؤلف**

## ٢- عناصر قياس الكميات الطبيعية ٢-١ عناصر قياس درجة الحرارة:

### ٢-١-٣ ترمومترات التمدد Dilatation thermometers

هذه الترمومترات تعمل بمبدأ تمدد الأجسام والذي يكون صورة لقيمة درجة الحرارة، حيث نلاحظ أن حجم الجسم يزداد بتصاعد درجة الحرارة والعكس صحيح وهذا يعني أن العلاقة عكسية، والذي يمكننا من عمل علاقة عملية. مبدأ تمدد الأجسام ينطبق أيضا على السوائل والغازات وبذلك نجد أن هناك ثلاثة أنواع من هذه الترمومترات.

#### أ- الترمومترات التي تعمل بمبدأ تمدد سائل:

يتكون من خزان متصل من الأعلى بأنبوب شفاف ذو مساحة مقطع صغيرة وينتهي من الأعلى عند جزء زجاجي منتفخ للأمان. تحت تأثير ارتفاع أو انخفاض درجة الحرارة فإن السائل يتمدد أو يتقلص ونقرأ درجة الحرارة المناسبة على التدرج المبين في الشكل.



|                    |                                       |
|--------------------|---------------------------------------|
| بنتان (Pentane)    | $20^{\circ}\text{C} \rightarrow -200$ |
| ethanol            | $100 \rightarrow -110$                |
| toluene            | $100 \rightarrow -90$                 |
| creosote - ethanol | $200 \rightarrow -10$                 |
| زئبق (Mercury)     | $+650 \rightarrow -38$                |
| Mercury - Thallium | $+650 \rightarrow -58$                |
| Mercury - Gallium  | $1\ 000 \rightarrow 0$                |

❖ السوائل المستخدمة هي المذكورة في الجدول التالي

حسب مجال درجة الحرارة  $^{\circ}\text{C}$  ويتم اختيار مادة الأنبوب الشفاف حسب درجة الحرارة القصوى كالتالي:

❖ زجاج Iena حتى  $450^{\circ}\text{C}$ .

❖ زجاج Supermax حتى  $630^{\circ}\text{C}$ .

❖ مادة silica نقية ومنصهرة حتى  $1000^{\circ}\text{C}$ .

شكل ٢-٣: ترمومتر يعمل بمبدأ تمدد سائل

#### ب- الترمومترات التي تعمل بمبدأ تمدد الغاز:

معادلة الغاز المثالي هي:  $PV = nRT$

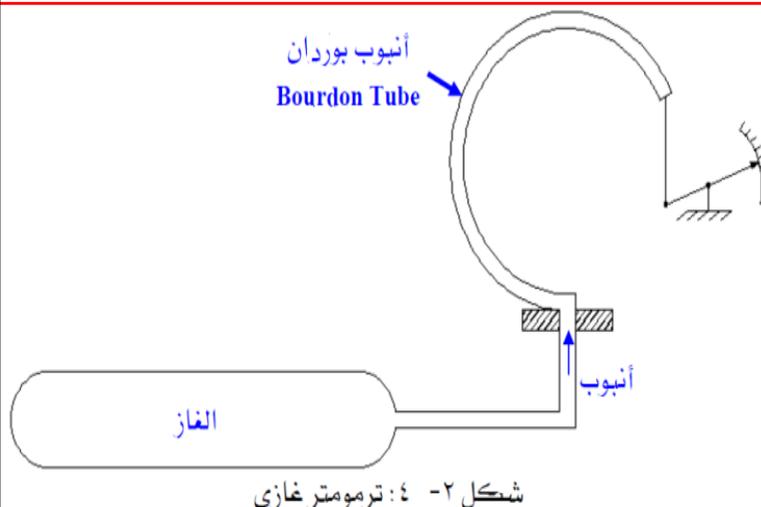
حيث:  $P$ : الضغط المطلق،  $V$ : حجم الغاز،  $R=8,31\ \text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ،  $T$ : درجة الحرارة المطلقة  $^{\circ}\text{K}$ .

نلاحظ أننا إذا أخذنا كمية غاز في وعاء مغلق:  $P = \frac{RT}{V}$

حيث  $R/V$  ثابت وبذلك يصبح ضغط الغاز له علاقة تناسبية مع درجة الحرارة.

|              |                          |
|--------------|--------------------------|
| helium       | $-267,8^{\circ}\text{C}$ |
| hydrogen     | $-239,9^{\circ}\text{C}$ |
| nitrogen     | $-147,1^{\circ}\text{C}$ |
| Carbonic gaz | $-31,1^{\circ}\text{C}$  |

❖ الغازات المستخدمة هي المذكورة في الجدول التالي حسب درجة الحرارة التي يصبح فيها الغاز سائلا: من إيجابيات ترمومتر الغاز أنه دقيق حيث إن دقته  $1\%$  في المجال الصناعي



شكل ٢-٤: ترمومتر غازي

## ج- الترمومترات التي تعمل بهبدأ تمدد الأجسام:

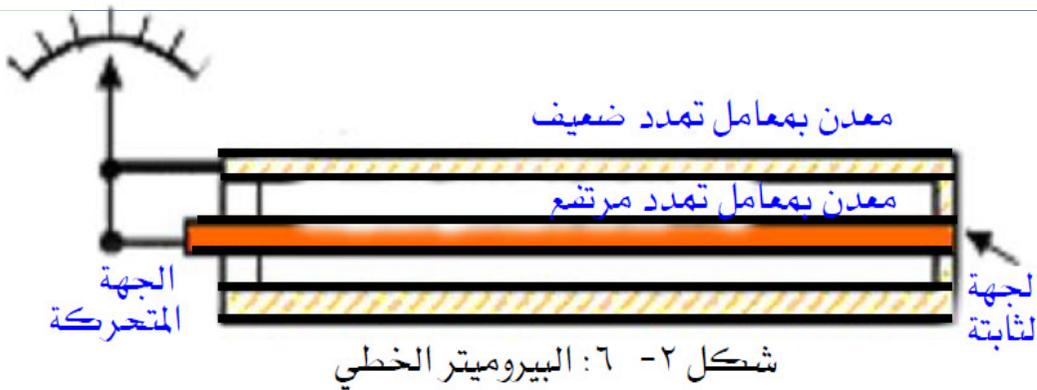
عندما نرفع درجة حرارة قضيب معدني إلى درجة معينة  $\Delta$  نلاحظ أنه هناك علاقة بين درجة الحرارة وطول القضيب المعدني  $L$ ، وبذلك يصبح التمدد الخطي للمعدن قيمة ترمومترية.

## ❖ ترمومتر الشريحتين:

ويتكون من شريحتين من معدنين مختلفين بحيث يكونا معاملي التمدد مختلفين اختلافا كبيرا، وهاتين الشريحتين ملحومتين على طول مساحة التلامس، عندما تتغير درجة الحرارة فإن تمددهما سوف يكون مختلفا وبذلك يحصل انحناء الشريحتين.  
مثلا: خليط الحديد Iron alloy معدن شديد التمدد بينما معدن Invar قليل التمدد.

## ❖ البيروميتر الخطي Linear pyrometer (لقياس درجات الحرارة المرتفعة):

عندما ترتفع درجة الحرارة فإن المعدن ذو معامل التمدد المرتفع يتمدد نحو اليسار وبذلك يتغير وضع المؤشر في اتجاه عقارب الساعة.



شكل ٢- ٦: البيروميتر الخطي



شكل ٢- ٥: ترمومتر الشريحتين من معدنين مختلفين

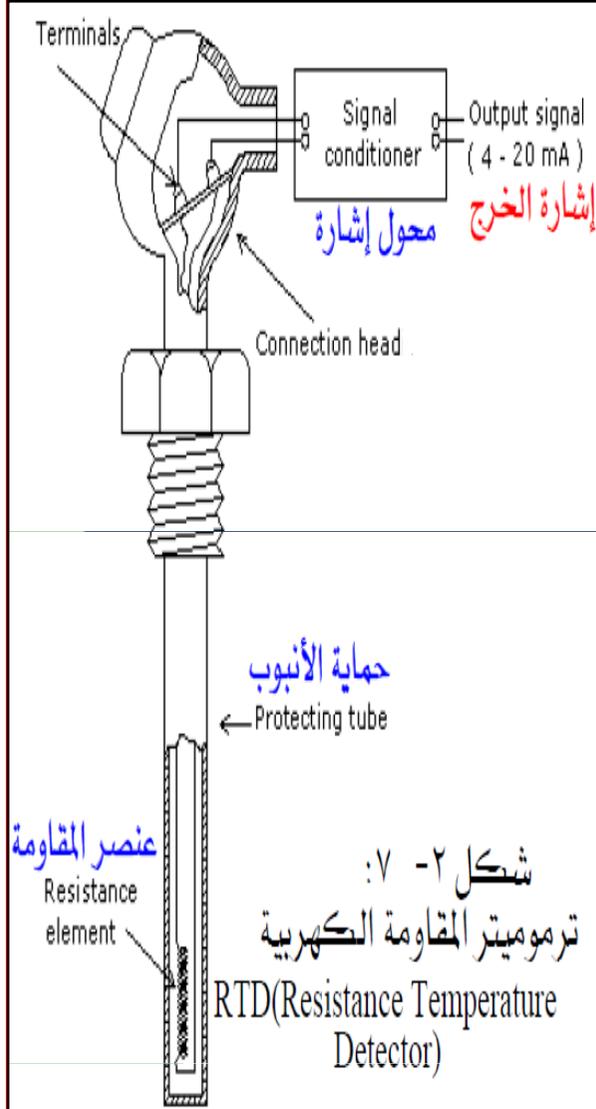
## ٢- ١- ٤ الترمومترات الكهربائية Electric thermometers:

في هذا النوع من الحساسات يمكن قراءة درجة الحرارة بطريقة مباشرة، وهذا قليل الاستخدام في المجال الصناعي. الحساسات الكهربائية التي تتابع الوضع لها إيجابية أكثر من حيث المرونة في الاستخدام (معلومة قابلة للنقل، التخزين) مع المحافظة على دقة كافية للاستخدامات الصناعية وعديد الاستخدامات في المختبرات.

ونجد في المجال الصناعي تركيبة خاصة بهذه الحساسات وهي المبينة في الشكل التالي. وتنقسم الترمومترات الكهربائية إلى قسمين:

- الحساسات الخاملة Passive sensor باستخدام المقاومة أو الثرميستور.
- الحساسات النشطة Active sensor باستخدام الازدواج الحراري.

ترموتر المقاومة الكهربائية أو الثرميستور هذا النوع من الحساسات يتركز حول تأثير درجة الحرارة على المقاومة الكهربائية للموصل. وعليه فإن قياس درجة الحرارة تحول إلى قياس مقاومة كهربية، ونجد نوعين من الترمومترات ترمومتر المقاومة الكهربائية والثرميستور.



أ - ترمومتر المقاومة الكهربائية: يكون الموصل عنصر معدني، ونستطيع أن نوجد علاقة بين المقاومة  $R$  ودرجة الحرارة  $T$  وهم ممثلة في المعادلة التالية:

$$R = R_0(1 + a_1 T + a_2 T^2)$$

$R$ : المقاومة (الوحدة: ohm) عند درجة حرارة  $T$  °C  
 $R_0$ : المقاومة (الوحدة: ohm) عند درجة حرارة  $0$  °C  
 $a_1, a_2$ : ثابتان، لإيجاد قيمة  $a_1$  و  $a_2$  يلزمنا ثلاثة معادلات، وعليه سوف نستخدم الجدول التالي الذي يبين العلاقة بين درجة الحرارة والمقاومة لمادة البلاتين:

| درجة الحرارة (°C) | المقاومة | إشارة الخرج (mA) |
|-------------------|----------|------------------|
| 0                 | 100.0    | 4                |
| 25                | 109.9    | 8                |
| 50                | 119.8    | 12               |
| 75                | 129.6    | 16               |
| 100               | 139.3    | 20               |

هذه المعادلات تكون كالتالي:

- (أ) عند  $100$  °C :  $100.0 = R_0(1 + 0a_1 + 0^2a_2)$   
 (ب) عند  $119.8$  °C :  $119.8 = R_0(1 + 50a_1 + 50^2a_2)$   
 (ج) عند  $139.3$  °C :  $139.3 = R_0(1 + 100a_1 + 100^2a_2)$

ثم نستنتج من المعادلة (أ) :  $R_0 = 100$

ثم نقوم بتعويض  $R_0 = 100$  في المعادلتين (ب) و (ج) فيصبحان:

- (د) عند  $119.8$  °C :  $0.198 = 50a_1 + 2500a_2$   
 (هـ) عند  $139.3$  °C :  $0.393 = 100a_1 + 10000a_2$   
 وأخيرا نستنتج  $a_1$  و  $a_2$  :  
 $a_1 = 0.00399$      $a_2 = -6 \times 10^{-7}$

$$R = 100(1 + 0.00399T - 6 \times 10^{-7}T^2)$$

فتصبح العلاقة كالتالي:



شكل ٢-٨: مسبار PT100

وفي ما يلي جدول يبين بعض المعادن المستخدمة لقياس درجة الحرارة ومجال درجة الحرارة لكل نوع من هذه المعادن.

|          |             |
|----------|-------------|
| النحاس   | -190 → 250  |
| النيكل   | -60 → 180   |
| البلاتين | -250 → 1100 |

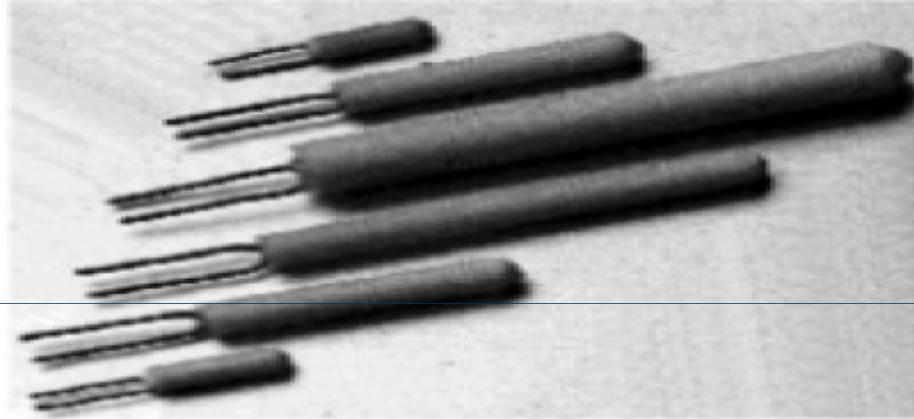
البلاتين هو المعدن الأكثر استخداما،

في الشكل التالي نبين مسبار PT100

## ب- الترميستور:

الترميستور هو شبه موصل مصنوع من أكسيد الحديد تم ضغطه إلى مستويات عالية عند درجة حرارة مرتفعة حوالي 1500° C، من مكونات الترميستور مثلا:

❖ أكسيد الحديد  $Fe_2O_3$ . ❖ ألومينات المغنيسيوم  $MgAl_2O_4$  ❖ تيتانيوم القصدير  $Zn_2TiO_4$ . وهناك نوعان من الترميستور النوع الأول بمعامل حراري سالب والثاني بمعامل حراري موجب وتغير درجة الحرارة في النوعين حسب الرسم البياني التالي:



شكل ٢-٩: نوعان من الترميستور بمعامل حراري سالب وموجب

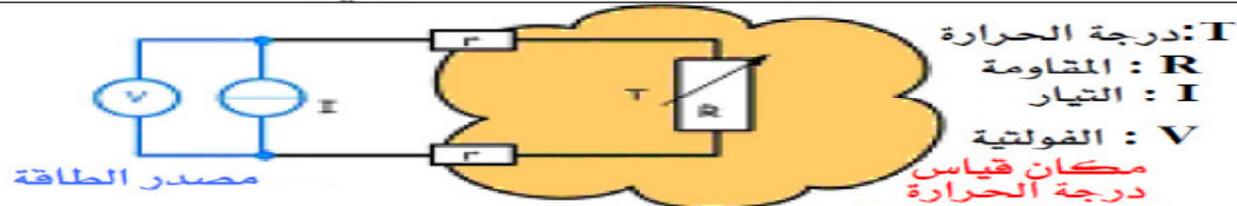
شكل ٢-١٠: ترميستور في شكل أسطوانات

من إيجابيات الترميستور أن حجمه صغير، حيث يتم صنعه في شكل أسطوانات (القطر = 1 إلى 12 مم، الطول = 5 إلى 50 مم). وأيضاً في شكل أقراص أو خرزات. ومن إيجابيات الترميستور أيضاً أنه ذو حساسية عالية، ولكن تغير المقاومة مع درجة الحرارة لاخطى.

## ❖ طريقة قياس درجة الحرارة:

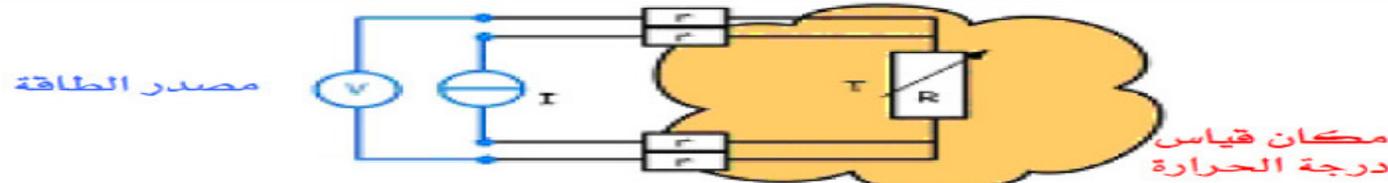
هناك ثلاثة طرق للقياس نلخصها في الجدول التالي:

### المخطط الكهربى

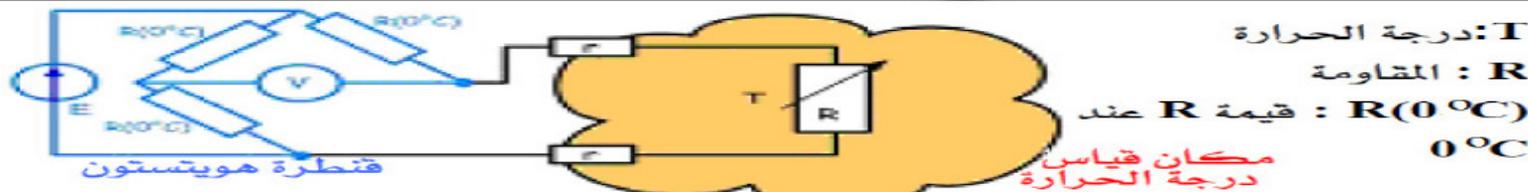


### طريقة القياس

١- سلكين مع مصدر طاقة



٢- أربع أسلاك مع مصدر طاقة

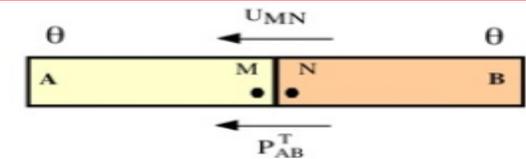


٣- باستخدام قنطرة هويتستون *Wheatstone*

## ج- الازدواج الحراري:

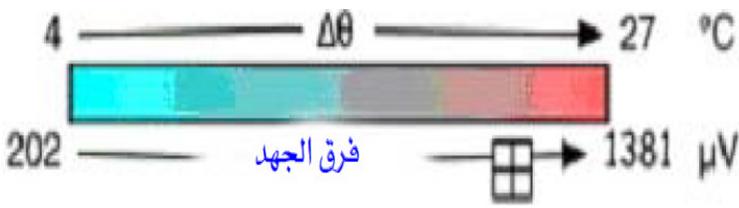
مفهوم الازدواج الحراري في المعادن الموصلة وشبه الموصلة هو ما يحصل تغيرات في الشحنات الحرارية والكهربية في المعدن. حيث إنه عندما يتلاصق معدنين مختلفين كما هو مبين في الشكل ويكونان في نفس درجة الحرارة يتولد فرق جهد حسب نوع المعدنين ودرجة الحرارة. فمثلا عند استخدام معدني حديد/نحاس - نيكل نلاحظ تغير فرق الجهد كما هو مبين في الجدول التالي:

|    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|    | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| 0  | 0    | 50   | 101  | 151  | 202  | 253  | 303  | 354  | 405  | 456  |
| 10 | 507  | 558  | 609  | 660  | 711  | 762  | 814  | 865  | 916  | 968  |
| 20 | 1019 | 1071 | 1122 | 1174 | 1226 | 1277 | 1329 | 1381 | 1433 | 1485 |



شكل ٢-١: تلاصق معدنين مختلفين

مثال: نريد إيجاد قيمة فرق الجهد للازدواج الحراري عند 4°C باستخدام الجدول فرق الجهد يساوي 202µV وعند 27°C: فرق الجهد يساوي 1381µV وبذلك يكون فرق الجهد: (1381-202) يعني 1179µV.

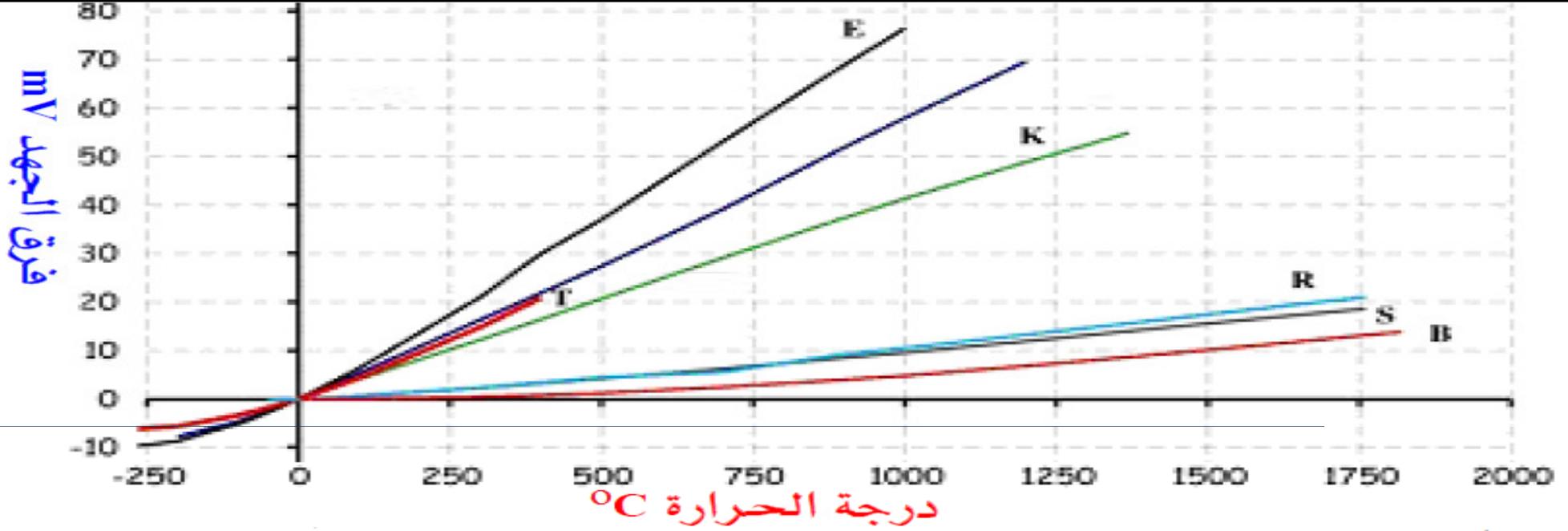


مثال: نريد إيجاد قيمة فرق الجهد للازدواج الحراري عند 27°C و 4°C.

## ❖ أنواع الازدواج الحراري:

لعمل ازدواج حراري يجب اختيار معدنين يمتازا بدقة وحساسية كبيرة كما يجب أخذ خاصية التآكل بعين الاعتبار (بيئة مؤكسدة أو كبريتية.... الخ) ويبين لنا الجدول التالي خصائص بعض الازدواجات الحرارية الأكثر استخداما:

| النوع |                     | مجال درجة الحرارة | %   |                   |
|-------|---------------------|-------------------|-----|-------------------|
| E     | نيكل-كروم           | 0°C à 800°C       | 1,5 | استخدام في فراغ   |
|       | نحاس- نيكل          | -40°C à 900°C     |     | أو بيئة مؤكسدة    |
| R     | بلاتين 13% - روديوم | 0°C à 1600°C      | 1   |                   |
|       | بلاتين              | 0°C à 1700°C      |     |                   |
| S     | بلاتين 10% - روديوم | 0°C à 1550°C      | 1   | مقاوم للأكسدة     |
|       | بلاتين              | 0°C à 1700°C      |     | والتآكل           |
| النوع |                     | مجال درجة الحرارة | %   |                   |
| K     | نيكل- كروم          | 0°C à 1100°C      | 1,5 | صالح لبيئة مؤكسدة |
|       | نيكل- ألومينيوم     | -180°C à 1300°C   |     | صالح لبيئة مؤكسدة |
| T     | نحاس                | -185°C à 300°C    | 0,5 |                   |
|       | نحاس- نيكل          | -250°C à 400°C    |     |                   |
| J     | حديد                | 20°C à 700°C      | 1,5 | مقاوم لتآكل       |
|       | نحاس- نيكل          | -180°C à 750°C    |     |                   |



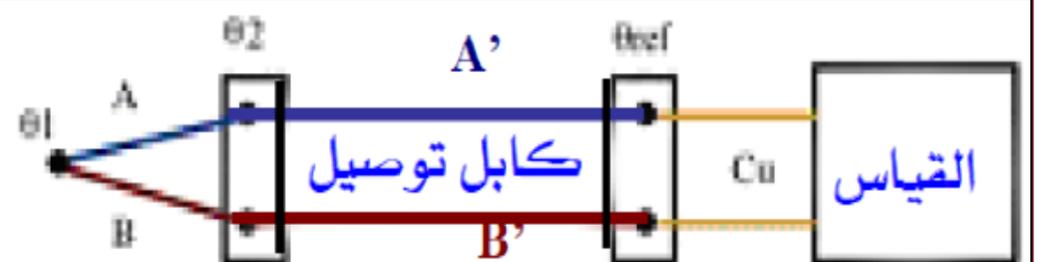
شكل ٢-١: العلاقة بين فرق الجهد ودرجة الحرارة حسب كل نوع ازدواج حراري

❖ **كابل التوصيل في الازدواج الحراري:**

عندما يكون ثمن معادن الازدواج الحراري مرتفع وتكون المسافة طويلة بين مكان التقاط درجة الحرارة وجهاز الاستقبال كما هو مبين في الشكل التالي، نضطر لاستخدام كابل توصيل من خصائص هذا الكابل  $A'B'$  أنه لا يغير فرق الجهد الذي يولده الازدواج الحراري  $AB$ ، في الجدول التالي نبين التوصيلات الأكثر استخداما.

ملاحظة: الازدواج الحراري له قدرة حرارية أقل (زمن استجابة أقل) ودرجة حرارة تشغيل تصل إلى  $2700^{\circ}\text{C}$  يعني أكبر من حساسات المقاومة الكهربائية، كما يمكن استخدام الازدواج الحراري في درجات الحرارة المنخفضة.

| سالب       | موجب                 | سالب          | موجب |
|------------|----------------------|---------------|------|
| Constantan | نحاس                 | Constantan T  | نحاس |
| Constantan | حديد                 | Constantan J  | حديد |
| ألومينيوم  | كروم                 | Constantan V  | نحاس |
| بلاتين     | بلاتين روديوم - 10 % | Cupronickel S | نحاس |



شكل ٢-١٣: كابل توصيل الازدواج الحراري

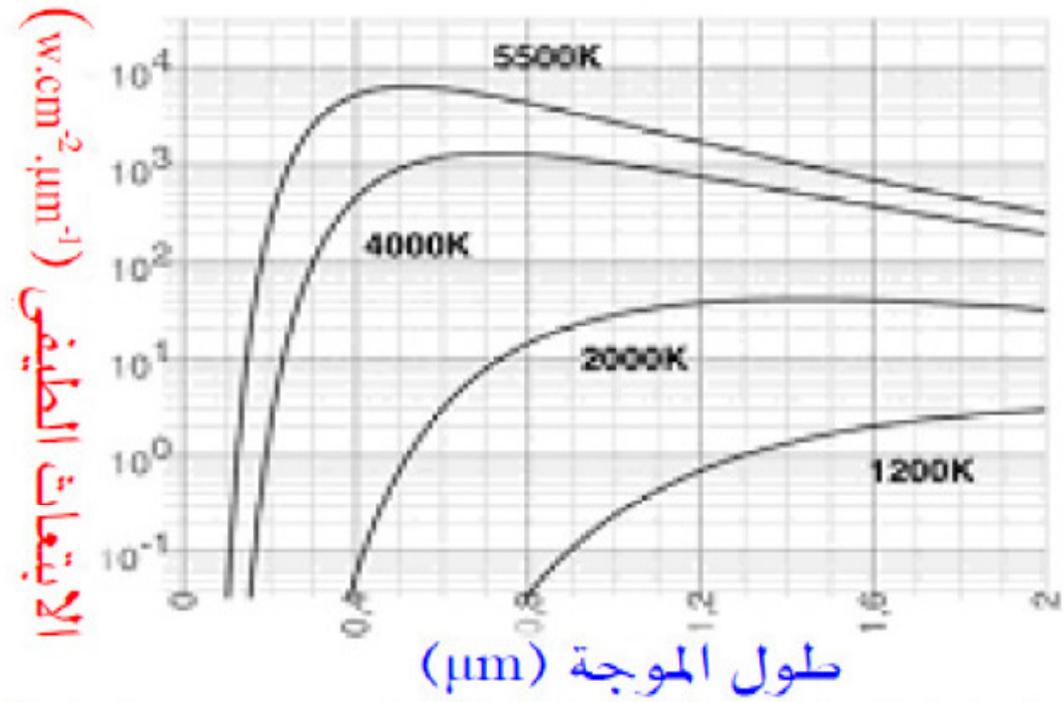
## د- البيروميتر الضوئي:

البيروميتر الضوئي هو طريقة لقياس درجة الحرارة تستند إلى العلاقة بين درجة الحرارة الجسم والإشعاع الحراري (تحت الحمراء أو المرئي) الذي يصدره الجسم. الحساسات المستخدمة إذن هي حساسات ضوئية، ضوئية- كهربية أو حرارية.

أهمية البيروميتر الضوئي تكمن في قياس درجة الحرارة بدون ملامسة الأشياء. وهي طريقة جيدة في الظروف التي تمنعنا من استخدام الحساسات الحرارية الكلاسيكية:

- درجة حرارة مرتفعة جدا (أكبر من  $2000^{\circ}\text{C}$ ) - قياس على مسافات كبيرة.
- بيئة صعبة. - جسم متحرك. - تحديد نقاط الحرارة.

الرسم البياني التالي يبين الابتعاث الطيفي Spectral emittance حسب طول الموجة لدرجات حرارة مختلفة.



شكل ٢- ١ أ: البيروميتر الضوئي شكل ٢- ١ ب: الابتعاث الطيفي حسب طول الموجة

نلاحظ في الرسم البياني تزايد الابتعاث مع درجة الحرارة مع انتقال الطيف من الأشعة تحت الحمراء إلى الإشعاع المرئي (من  $0.4\mu\text{m}$  إلى  $0.8\mu\text{m}$ ) كلما زادت درجة الحرارة.

❖ تحت  $500^{\circ}\text{C}$  الإشعاع الحراري يكون بالكامل في مجال الأشعة تحت الحمراء.

❖ في حالة الشمس ( $5000^{\circ}\text{K}$ ) الطول الأقصى يتناسب مع حساسية العين.

هناك ثلاثة أنواع من البيروميترات:

- بيروميتر أحادي اللون **monochromatic pyrometer** ( $\lambda=0.65\mu m$ ) والجدول التالي يبين لنا حدود استخدام الحساسات الضوئية - الكهربائية في البيروميترات الضوئية:

|              |        |                    |        |                       |        |
|--------------|--------|--------------------|--------|-----------------------|--------|
| ديود ضوئي Si | 600 °C | مقاومة ضوئية Pb S  | 100 °C | مقاومة ضوئية In Sb    | 0 °C   |
| ديود ضوئي Ge | 200 °C | مقاومة ضوئية Pb Se | 50 °C  | مقاومة ضوئية Hg Cd Te | -50 °C |

- بيروميتر ثنائي اللون **bichromatic pyrometer** ، هذا البيروميتر يمكن اعتباره بيروميترين أحادي اللون يستخدم مجالين متقاربين من الإشعاع الحراري متمركز على طولين للموجة  $\lambda_1$  و  $\lambda_2$  .  
- بيروميتر لقياس الطاقة: مجموعة طيف الإشعاع الحراري للهدف يتم التقاطها عن طريق حساس له نطاق واسع وهو من النوع الحراري. عمليا تتم معايرة البيروميتر في ظروف الاستخدام عن طريق ازدواج حراري إذا أمكن ذلك.

**هـ- المقياس الحراري المملوء بالنيتروجين Gas-filled thermal system:**

هذا المقياس (شكل ٢ - ١٥) يستطيع أن يقيس درجات حرارة في نطاق  $-268^{\circ}C$  إلى  $760^{\circ}C$ . وهو يستخدم أسطوانة مملوءة بالنيتروجين، أو البخار غاطسة في السائل الذي نريد قياس درجة حرارته، كعنصر حس درجة حرارة عند طرفه الأسفل. وهناك أنبوب شعري يوصل الأسطوانة بالمنفاخ الذي يحول الضغط إلى قوة على الناحية اليمنى بينما في الجهة اليسرى يوجد منفاخ التغذية المرتدة الذي يولد توازن مع القوة. منفاخ التغذية المرتدة تم توصيلة بتضييق عند خط الإمداد وفوهة وقلاب من الناحية الأخرى. تم معايرة تضييق الإمداد بحيث يكون ضغط المنفاخ 3psi عندما تكون المسافة بين الفوهة والقلاب في أقصى حد لها. ضغط المنفاخ سوف يتزايد حتى 15psi عندما تكون الفوهة مغلقة بالكامل.

