

# Grandezas Termodinâmicas

## Grandezas Macroscópicas e Microscópicas

- A Termodinâmica se aplica a sistemas **macroscópicos**: qualquer porção visível de matéria que contém um número imenso de átomos ou moléculas.
- Sistemas em estados de equilíbrio termodinâmico (térmico, mecânico e químico) são descritos por poucas grandezas **macroscópicas**, que se aplicam ao sistema como um todo.
- Grandezas **microscópicas** descrevem o estado de átomos ou moléculas individuais.
- Embora cada uma do número imenso de grandezas microscópicas possa variar constantemente e de maneira significativa, as grandezas macroscópicas associadas assumem valores estáveis e bem definidos.

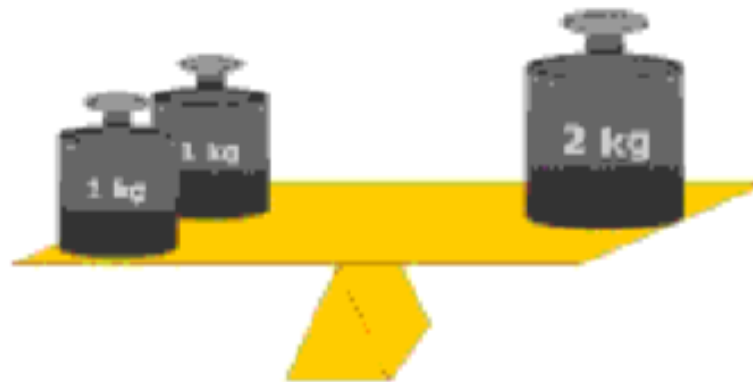
# Grandezas Termodinâmicas

## Grandezas Extensivas e Intensivas

**Grandezas Extensivas** são aditivas em relação às partes do sistema:

★ massa, volume, energia interna, capacidade térmica, . . . .

**Medida:** comparação com protótipos múltiplos ou submúltiplos de uma grandeza padrão.



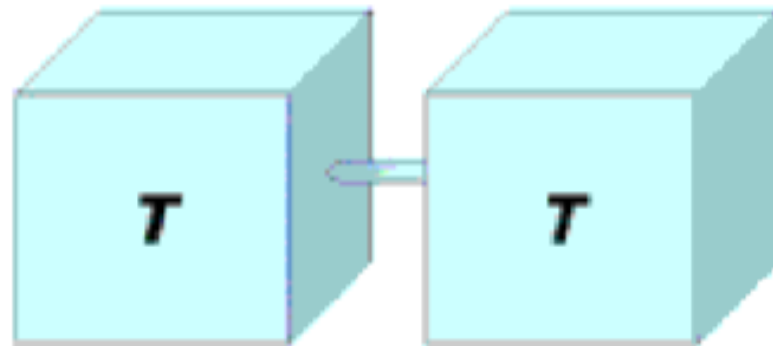
# Grandezas Termodinâmicas

## Grandezas Extensivas e Intensivas

**Grandezas Intensivas** são independentes do tamanho do sistema:

temperatura, pressão, densidade, volume específico, . . . .

**Termometria:** não se podem produzir múltiplos ou submúltiplos de uma temperatura padrão para comparação.



# Grandezas Termodinâmicas

## Quantificando a Matéria

- Unidade SI para quantidade de substância  
Nome: mol, Símbolo: mol.
- Definição:[1]
  - 1 O **mol** é a quantidade de substância de um sistema contendo tantas **entidades elementares** quantos átomos existem em 0,012 quilograma de carbono 12.
  - 2 Quando se utiliza o mol, as entidades elementares devem ser especificadas, podendo ser átomos, moléculas, íons, elétrons, assim como outras partículas, ou agrupamentos especificados dessas partículas.
- Segue desta definição que a **massa molar** do carbono 12 é exatamente 12 gramas por mol,  $M(^{12}\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$ .

# Grandezas Termodinâmicas

Mol: constante de Avogadro

- A definição do mol permite também determinar o valor da constante universal que relaciona o número de entidades à quantidade de matéria de uma amostra. Esta constante é chamada **constante de Avogadro**, símbolo  $N_A$  ou  $L$ .
- Se  $N(X)$  designa o **número de entidades**  $X$  de uma amostra dada, e  $n(X)$  designa a **quantidade de substância** de entidades  $X$  da mesma amostra, se obtem a relação:

$$n(X) = N(X)/N_A$$

- Constante de massa atômica (unidade unificada de massa atômica)

$$u = \frac{1}{12}m(^{12}\text{C}) = 1,660\,538\,921(73) \times 10^{-27} \text{ kg.}$$

- $N_A u = 1 \text{ g/mol} \Rightarrow N_A = 6,022\,141\,29(27) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

# Grandezas Termodinâmicas

Elementos, peso atômico padrão

- Elementos ▶ Tabela Periódica
- Peso atômico padrão de um elemento E

$$A_r(E) = \sum_i x_i A_r({}^iE)$$

$x_i$  = abundância relativa (fração molar) do isótopo  ${}^iE$

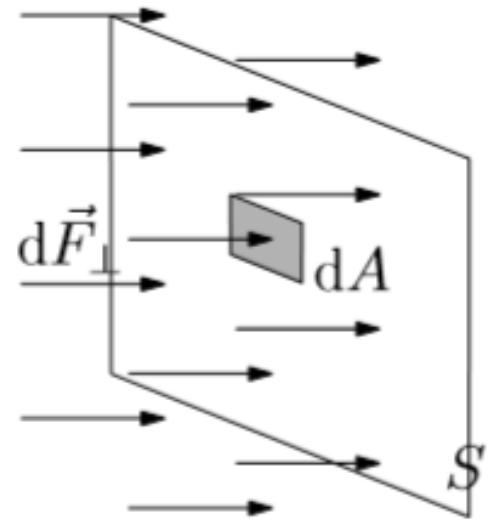
Elemento		Isótopo			Peso Atômico
Z	E	i	$A_r({}^iE)$	$x_i$	$A_r(E)$
6	C	12	12,0000000000(0)	0,9893(8)	12,0107(8)
		13	13,0033548378(10)	0,0107(8)	
1	H	1	1,00782503207(10)	0,999885(70)	1,00794(7)
		2	2,0141017778(4)	0,000115(70)	
8	O	16	15,99491461956(16)	0,99757(16)	15,9994(3)
		17	16,99913170(12)	0,00038(1)	
		18	17,9991610(7)	0,00205(14)	
29	Cu	63	62,9295975(6)	0,6915(15)	63,546(3)
		65	64,9277895(7)	0,3085(15)	

# Grandezas Termodinâmicas

## Pressão: definição

- Definição:

$$P = \frac{|d\vec{F}_\perp|}{dA}$$



- Força sobre uma superfície **plana**  $S$  de área  $A$  sob **pressão uniforme**  $P$ :

$$F_\perp = \int_S P dA = PA.$$

# Grandezas Termodinâmicas

## Pressão: coluna de fluido

- Pressão em uma coluna de fluido:

$$P(y + dy)A - P(y)A + (\rho A dy) g = 0$$

$$\frac{dP}{dy} = -\rho g \Rightarrow P(h) = P(0) - \int_0^h \rho g dy$$

- Para  $\rho g = \text{constante}$ :  $P(h) = P(0) - \rho gh$

- Exemplos,  $g = 9,80 \text{ m/s}^2$

- Mercúrio:  $\rho = 13,6 \text{ g/cm}^3 \Rightarrow \rho g = 1,33 \times 10^5 \text{ N/m}^3 = 1,33 \times 10^5 \text{ Pa/m}$
- ★  $h = 760 \text{ mm}$ :  $\Delta P = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa} \approx 1 \text{ atm}$
- Água:  $\rho = 1,00 \text{ g/cm}^3 \Rightarrow \rho g = 9,8 \times 10^3 \text{ N/m}^3 = 0,98 \times 10^4 \text{ Pa/m}$
- ★  $h = 1,00 \text{ m}$ :  $\Delta P = 0,98 \times 10^4 \text{ Pa} \approx 0,1 \text{ atm}$
- Ar:  $\rho \approx 1,2 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow \rho g = 12 \text{ N/m}^3 = 12 \text{ Pa/m}$
- ★  $h = 1,00 \text{ m}$ :  $\Delta P = 1,2 \text{ Pa} \approx 1,2 \times 10^{-4} \text{ atm}$



# Grandezas Termodinâmicas

## Pressão: unidades

### Unidades de pressão:

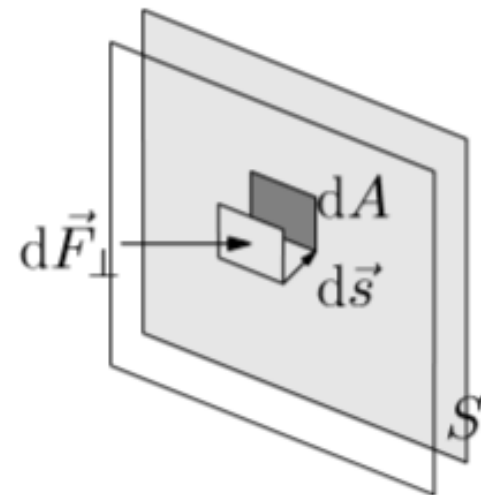
$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$	pascal (SI)
$1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa}$	bar
$1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa}$	atmosfera (padrão)
$1 \text{ mmHg} = 133,3224 \text{ Pa}$	milímetro de mercúrio (0 °C)
$1 \text{ Torr} = (1/760) \text{ atm} = 133,3224 \text{ Pa}$	torr
$1 \text{ kgf/cm}^2 = 98\,066,5 \text{ Pa}$	quilograma-força por centímetro quadrado
$1 \text{ psi} = 1 \text{ lbf/in}^2 = 6\,894,757 \text{ Pa}$	libra-força por polegada quadrada
$1 \text{ kgf/cm}^2 = 14,22 \text{ psi}$	$1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psi}$

# Grandezas Termodinâmicas

## Pressão: trabalho

- Trabalho realizado:

$$\begin{aligned}\delta W &= d\vec{F}_{\perp} \cdot d\vec{s} \\ &= PdA ds_{\perp}\end{aligned}$$



- Pressão uniforme:

$$dW = P \int_S dA ds_{\perp} \Rightarrow \boxed{dW = PdV}$$

- Pressão constante:

$$W = \int_{V_i}^{V_f} PdV = P\Delta V$$

# Lei Zero da Termodinâmica

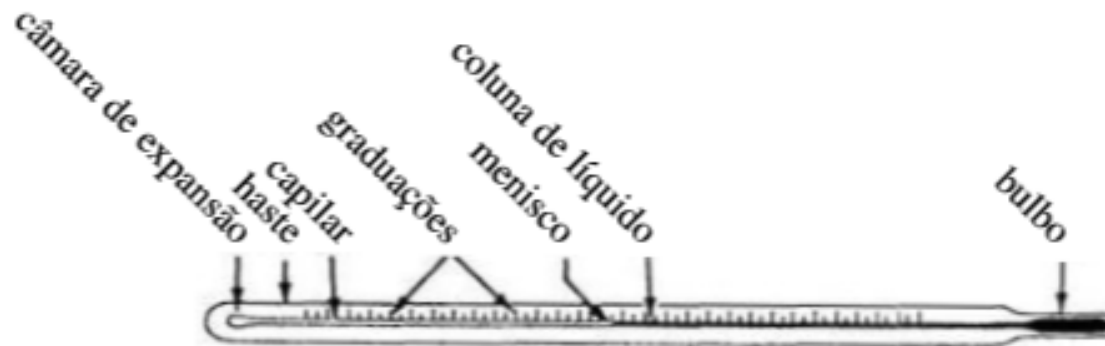
## Termômetros

- Termômetro:** instrumento que mede a temperatura pela variação de uma propriedade física (**propriedade termométrica**) provocada por aquecimento ou resfriamento.
- Escala de Temperatura:** relação entre o valor da propriedade termométrica e o valor atribuído à temperatura.

# Escalas de Temperatura

## Primeiras Escalas de Temperatura

- *Evolution of the Thermometer 1592-1743*, Bolton [2]
- **Fahrenheit (1724):**
  - Termômetro de líquido em vidro (álcool/mercúrio)



- Propriedade termométrica: altura da coluna de líquido.
- Calibração: [3]
  - grau 0: temperatura de uma mistura de água, gelo e sal;
  - grau 32: temperatura de uma mistura de água e gelo;
  - grau 96: temperatura de uma pessoa adulta saudável (oral ou axilar).

# Escalas de Temperatura

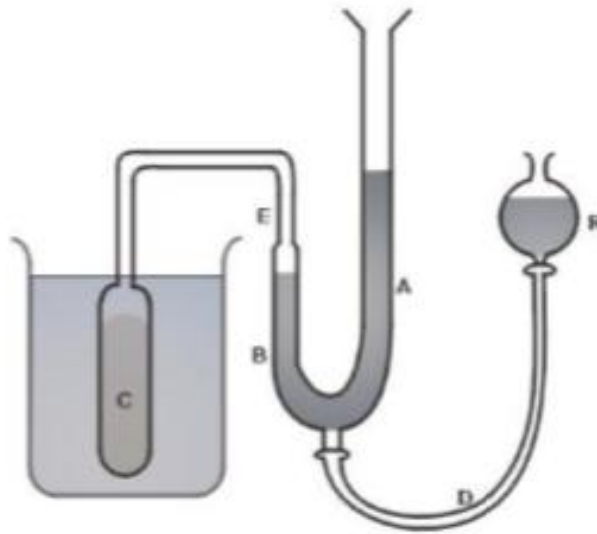
## Primeiras Escalas de Temperatura

- **Pontos Fixos:** mudança de estado de substâncias puras, a pressão constante, transcorre a uma temperatura fixa e reprodutível.
- **Celsius (1742) Escala Centígrada:**
  - Termômetro de líquido em vidro (mercúrio)
  - Calibração:
    - grau 0: temperatura de fusão do gelo;
    - grau 100: temperatura de ebulição da água sob 1 atm de pressão.

# Escalas de Temperatura

## Escala do Gás Ideal

- **Termômetro de gás a volume constante**



- Propriedade termométrica: pressão do gás (em C).
- Inicialmente calibrado com os pontos fixos da escala centígrada: Lei de Charles.

$$\Delta P \propto \Delta t.$$

# Escalas de Temperatura

## Escala do Gás Ideal

- Para pressões ou densidade do gás suficientemente baixas, a relação  $P(t)$  é independente do gás (limite do **gás ideal**).
- Boyle, Amontons, Lambert, Gay-Lussac, Charles

$$PV = nR(t + t_0)$$

- Zero absoluto:  $t_0 = -273,15$  °C.

# Escalas de Temperatura

## Escala do Gás Ideal

- **Escala do gás ideal:**

$$PV = nRT$$

$$(R = 8,314\,4621(75) \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1})$$

- Para um termômetro de gás (ideal) a volume constante é necessário um único ponto fixo para definir a escala:

$$\frac{T}{T_{\text{tr}}} = \frac{P}{P_{\text{tr}}}$$

- Temperatura do ponto triplo da água (equilíbrio entre sólido, líquido e vapor) que ocorre a uma pressão de  $0,611655 \text{ kPa} \approx 0,006 \text{ atm}$ .  
A sua temperatura é **definida** como:  $T_{\text{tr}} \equiv 273,16 \text{ K}$ .



# Escalas de Temperatura

## Escala do Gás Ideal

- **Escala do gás ideal:**

$$PV = nRT$$

$$(R = 8,314\,4621(75) \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1})$$

- Para um termômetro de gás (ideal) a volume constante é necessário um único ponto fixo para definir a escala:

$$\frac{T}{T_{\text{tr}}} = \frac{P}{P_{\text{tr}}}$$

- Temperatura do ponto triplo da água (equilíbrio entre sólido, líquido e vapor) que ocorre a uma pressão de  $0,611655 \text{ kPa} \approx 0,006 \text{ atm}$ .  
A sua temperatura é **definida** como:  $T_{\text{tr}} \equiv 273,16 \text{ K}$ .

# Escalas de Temperatura

## Escala Termodinâmica de Temperatura

- **Escala Termodinâmica de Temperatura:**  
W. Thomson (Lord Kelvin) 1848 [4]
- Baseada na Termodinâmica do Ciclo de Carnot, é uma escala definida **independentemente de qualquer termômetro.**
- A Escala do Gás Ideal é equivalente à Escala Termodinâmica.
- Ela é também denominada “escala Kelvin”. Desde 1954 ela é adotada como a escala de temperatura do Sistema Internacional de Unidades (SI) em que é assim definida: [1]

*“kelvin, K: O kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, é a fração  $1/273,16$  da temperatura termodinâmica no ponto tríplice da água.”*

# Escalas de Temperatura

## Nova Escala Celsius

- A **escala Celsius** (redefinição da escala centígrada) é admitida no SI: ela é a escala Kelvin com o zero deslocado pelo valor absoluto do ponto de gelo, 273,15 K. A relação entre as duas escalas é dada pela expressão:

$$\frac{t}{^{\circ}\text{C}} = \frac{T}{\text{K}} - 273,15,$$

em que  $t$  representa o valor de uma temperatura na escala Celsius e  $T$  o valor da mesma temperatura na escala Kelvin.

- A unidade da escala Celsius, denominada "**grau Celsius**" e representada pelo símbolo  $^{\circ}\text{C}$ , é, por definição, igual ao **kelvin** em magnitude.
- Nesta escala, a temperatura correspondente ao zero absoluto vale  $-273,15^{\circ}\text{C}$ .

# Escalas de Temperatura

## Nova Escala Fahrenheit

- A escala Fahrenheit não é admitida no SI mas continua sendo usada, principalmente nos Estados Unidos da América. A sua relação com a escala Celsius se expressa como:

$$\frac{t_F}{^\circ\text{F}} = \frac{9}{5} \frac{t}{^\circ\text{C}} + 32.$$

A relação entre as unidades é  $1^\circ\text{F} = \frac{5}{9}^\circ\text{C}$ .

- Na escala Fahrenheit o ponto do gelo corresponde a  $32^\circ\text{F}$  (graus Fahrenheit), o ponto de ebulição normal da água a  $212^\circ\text{F}$ .
- Na escala Fahrenheit o zero absoluto equivale a  $-459,67^\circ\text{F}$ .
- A escala Rankine é a versão absoluta desta escala. Ela usa uma unidade (grau Rankine, símbolo  $^\circ\text{R}$ ) idêntica em magnitude ao grau Fahrenheit, mas o seu zero é deslocado para baixo de  $459,67^\circ\text{F}$ , de forma que o zero absoluto corresponde a  $0^\circ\text{R}$ .

# Termômetros

## Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90)

- Em 1927 a Conferência Geral de Pesos e medidas estabeleceu uma Escala Internacional de Temperatura (EIT) com o objetivo de superar as dificuldades práticas de realização da escala termodinâmica através de termometria de gás e prover uma substituta universalmente aceita para as diferentes escalas nacionais então existentes. A EIT-27, e suas revisões posteriores, foram formuladas de forma a permitir medidas precisas e reproduzíveis de temperatura, tão aproximadas das temperaturas termodinâmicas quanto possível ao seu tempo. A versão da EIT em vigência atualmente é a EIT-90 [6, 7], que será brevemente descrita a seguir.
- A EIT-90 é estabelecida entre 0,65 K e a maior temperatura que na prática pode ser medida em termos da lei de radiação de Planck usando radiação monocromática. Na região de baixas temperaturas, ela é suplementada pela “Escala Provisória de Baixas Temperaturas de 0,9 mK a 1 K, EPBT-2000” [8, 9], que define a temperatura  $T_{2000}$  através da curva de fusão do  $^3\text{He}$ .

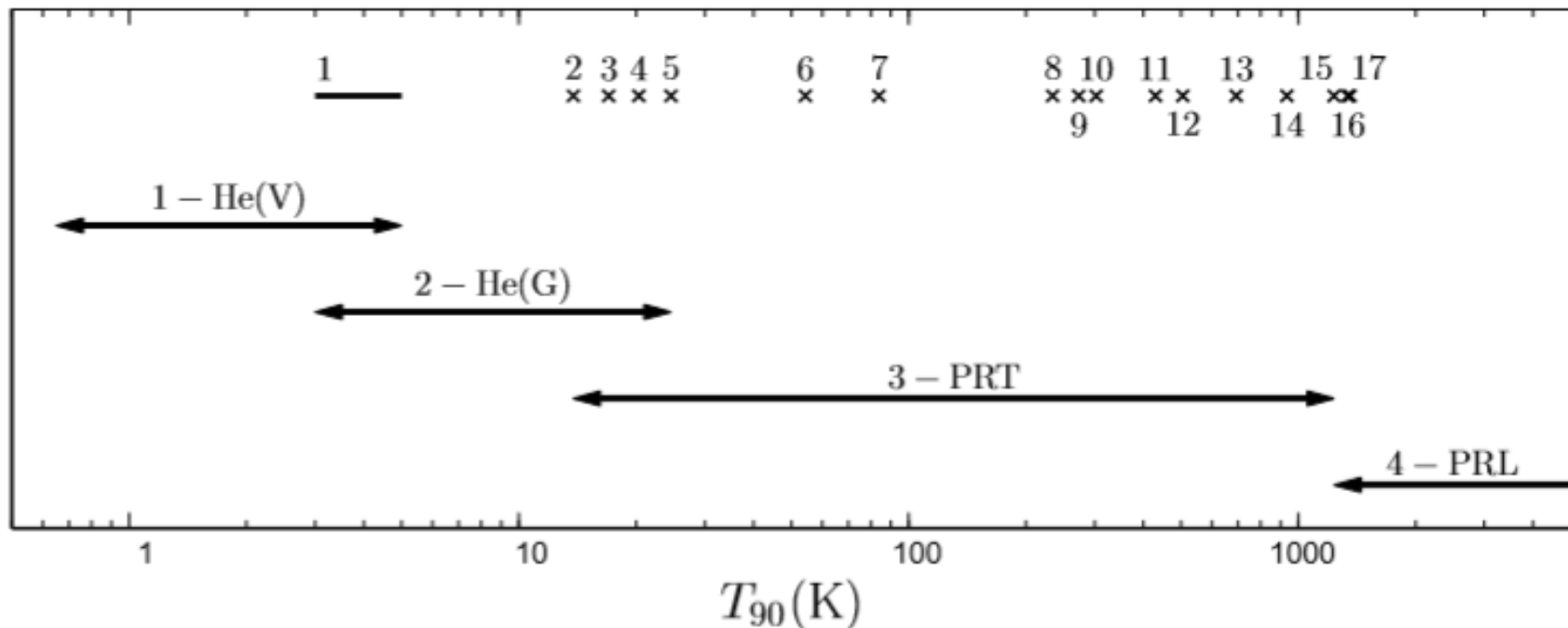
# Termômetros

## Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90)

- A definição da EIT-90 é resumida na figura a seguir. Os símbolos  $T_{90}$  e  $t_{90}$  são utilizados para representar as temperaturas da escala quando expressas, respectivamente, na escala Kelvin e na escala Celsius.
- A primeira parte da definição consiste numa série de dezessete pontos fixos a que se associam valores da temperatura, definidos como exatos (Tabela a seguir). Tais pontos fixos de definição são pontos triplos ou pontos de fusão ou congelamento de substâncias puras, com exceção dos pontos 1, 3 e 4.
- A segunda parte consiste na especificação de quatro tipos de termômetros padrão, para faixas de temperatura apropriadas como indicado na figura.
- As EIT's são, portanto, definidas através de termômetros. Entretanto, nem os valores atribuídos aos pontos fixos de definição nem as funções de interpolação são arbitrários. Eles foram definidos através de trabalhos de experimentação meticulosos por laboratórios metrológicos e de pesquisa de maneira a reproduzir, tanto quanto possível, a escala termodinâmica de temperatura.

# Termômetros

Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90)



**Definição da EIT-90.** 1–17: Pontos fixos de definição da escala (Tabela a seguir).

Termômetros de definição da escala e intervalos correspondentes (setas). 1–He(V): pressão de vapor de  $^3\text{He}$  ou  $^4\text{He}$ ; 2–He(G): termômetro de gás a volume constante usando  $^3\text{He}$  ou  $^4\text{He}$ ;

3–PRT: termômetro de resistência de platina; 4–PRL: lei de radiação de Planck.

# Termômetros

## Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90)

### EIT-90. Pontos fixos de definição.

Número	Temperatura		Substância ( <sup>a</sup> )	Estado ( <sup>b</sup> )
	$T_{90}/\text{K}$	$t_{90}/^{\circ}\text{C}$		
1	3 a 5	-270,15 a -268,15	He	V
2	13,803 3	-259,346 7	e-H <sub>2</sub>	T
3	≈ 17	≈ -256,15	e-H <sub>2</sub> (ou He)	V (ou G)
4	≈ 20,3	≈ -252,85	e-H <sub>2</sub> (ou He)	V (ou G)
5	24,556 1	-248,593 9	Ne	T
6	54,358 4	-218,791 6	O <sub>2</sub>	T
7	83,805 8	-189,344 2	Ar	T
8	234,315 6	-38,834 4	Hg	T
9	273,16	0,01	H <sub>2</sub> O	T
10	302,914 6	29,764 6	Ga	M
11	429,748 5	156,598 5	In	F
12	505,078	231,928	Sn	F
13	692,677	419,527	Zn	F
14	933,473	660,323	Al	F
15	1 234,93	961,78	Ag	F
16	1 337,33	1 064,18	Au	F
17	1 357,77	1 084,62	Cu	F

<sup>a</sup> Todas as substâncias exceto <sup>3</sup>He são de composição isotópica natural, e-H<sub>2</sub> é hidrogênio na concentração de equilíbrio das formas orto e para.

<sup>b</sup> Para definições completas e conselhos para a realização destes vários estados, veja "Supplementary Information for the ITS-90" [10]. Os símbolos têm os seguintes significados: V: ponto de pressão de vapor; T: ponto triplo (temperatura na qual as fases sólida, líquida e de vapor estão em equilíbrio); G: ponto de termômetro de gás; M, F: ponto de fusão, ponto de congelamento (temperatura, a uma pressão de 101 325 Pa, na qual as fases sólida e líquida estão em equilíbrio).



# Termômetros

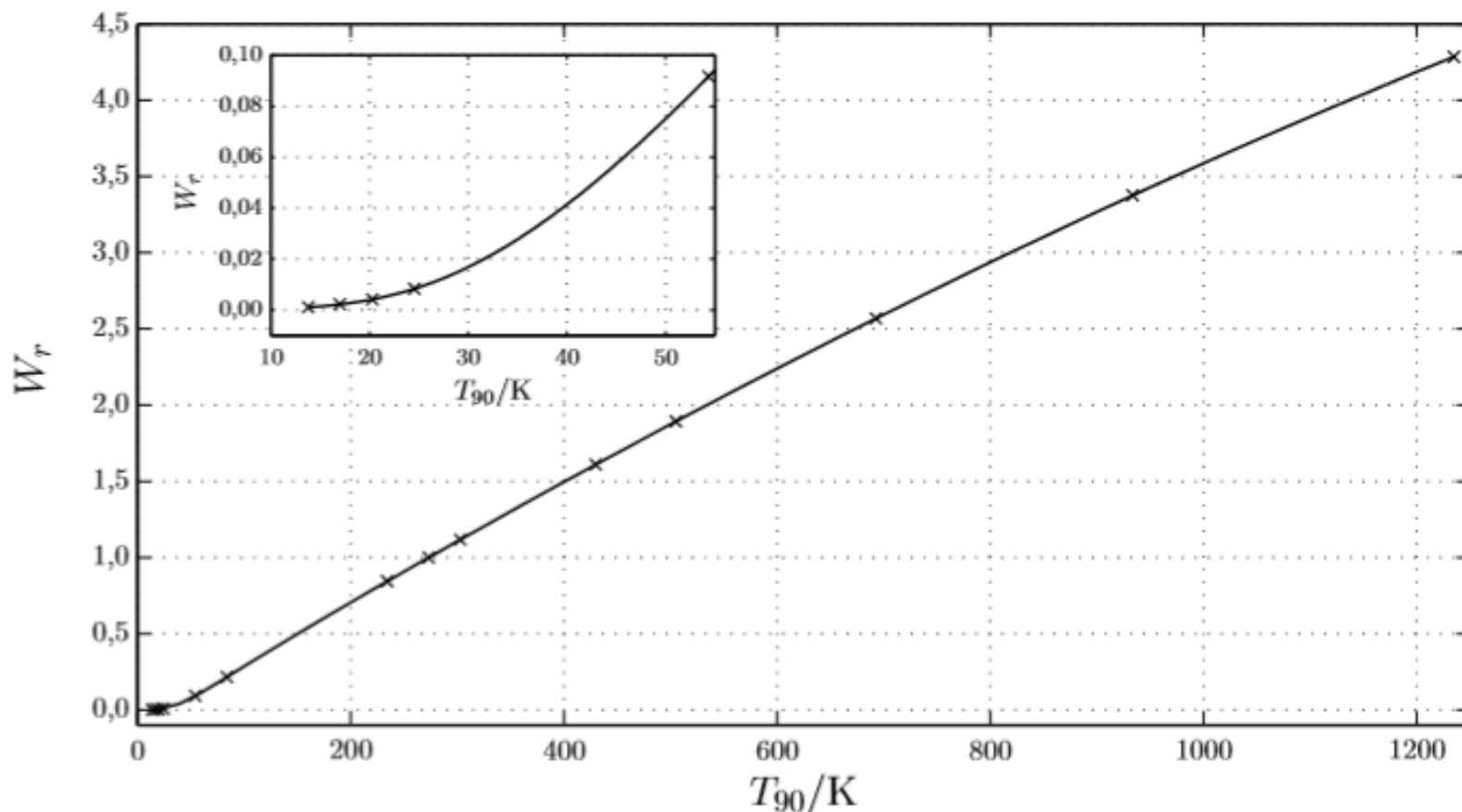
Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90)

## Termômetros padrão de definição da EIT-90

- 1–He(V):** Entre 0,65 K e 5,0 K a temperatura  $T_{90}$  é definida em termos das relações entre a pressão de vapor saturante<sup>1</sup> e a temperatura do  $^3\text{He}$  e do  $^4\text{He}$ .
- 2–He(G):** Entre 3,0 K e o ponto triplo do neônio (24,5561 K) a temperatura  $T_{90}$  é definida por meio de termômetros a gás a volume constante, utilizando He, calibrados a três temperaturas experimentalmente realizáveis (pontos fixos de definição) e utilizando procedimentos de interpolação especificados.
- 3–PRT:** Entre o ponto triplo do hidrogênio (13,8033 K) e o ponto de congelamento da prata (961,78 °C) a temperatura  $T_{90}$  é definida por meio de termômetros de resistência de platina calibrados em conjuntos especificados de pontos fixos de definição utilizando procedimentos de interpolação especificados.
- 4–PRL:** Acima do ponto de congelamento da prata (961,78 °C) a temperatura  $T_{90}$  é definida, a partir de um ponto fixo de definição, por meio da lei de radiação de Planck.

# Termômetros

Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90)



**Termômetro de resistência de platina.** Função de referência,

$W_r(T_{90}) = R(T_{90}) / R(273,16 \text{ K})$  para termômetros de resistência de platina padrão da EIT-90.

As cruzeiras indicam pontos fixos utilizados na determinação da função desvio  $\Delta W = W - W_r$ .



# Termômetros

## Outros termômetros de uso prático

Além dos termômetros padrão da EIT-90, há uma grande variedade de outros tipos de termômetros que são utilizados na prática. Há aplicações nas quais é necessário que as medidas de temperatura se refiram à EIT-90 mas que, no entanto, não necessitam de todo o grau de acurácia nela especificado. O documento “Techniques for Approximating the International Temperature Scale of 1990” [11] apresenta um estudo de métodos e instrumentos mais simples e práticos de aproximação à EIT-90 do que a sua definição fundamental que são de uso comum, abordando também os níveis de acurácia possíveis.

Os termômetros de uso mais comum são dos tipos descritos a seguir. Todos eles requerem algum tipo de calibração. Para cada um destes tipos, em geral, há uma variedade de materiais ou sistemas que podem ser utilizados, cada qual apropriado a determinada faixa de temperatura e nível de acurácia. No Brasil, o INMETRO tem dois laboratórios termométricos,[12] o Later - Laboratório de Termometria (termometria de contato) e o Lapidar - Laboratório de pirometria (termometria de radiação) que fornecem serviços de calibração, baseados em instrumentos rastreados à EIT-90.

# Termômetros

## Outros termômetros de uso prático

**Resistores, termistores** Neste tipo de termômetro a grandeza termométrica é a resistência elétrica do sensor. Resistores são baseados em metais ou suas ligas. O comportamento da resistência é aproximadamente linear, crescendo com o aumento da temperatura. Os chamados termistores são baseados em materiais semicondutores. O comportamento da resistência é altamente não linear e, normalmente, decresce com o aumento da temperatura.

**Termopares** São baseados no efeito termoelétrico: uma força eletromotriz (f.e.m.) aparece entre as extremidades de um condutor quando estas se encontram a temperaturas diferentes. A f.e.m. termoelétrica depende apenas da diferença de temperatura entre as duas extremidades e não do seu perfil ao longo do condutor. Um termopar é constituído de um par de fios de metais ou ligas diferentes, unidos em um dos extremos por uma junção que é colocada em contato com o objeto cuja temperatura se quer medir (junta de prova). A grandeza termométrica é a diferença de potencial entre os dois outros terminais dos fios mantidos a uma temperatura de referência.

# Termômetros

## Outros termômetros de uso prático

**Diodos** A grandeza termométrica é a voltagem através da junção, em ligação direta, que decresce aproximadamente linearmente com o aumento da temperatura quando a corrente é mantida fixa.

**Pressão de vapor** Termometria por pressão de vapor pode ser realizada com uma variedade de substâncias em faixas de temperatura apropriadas.

**Termômetros magnéticos** A grandeza termométrica é a susceptibilidade magnética (razão entre momento e campo magnético) de amostras paramagnéticas, que varia inversamente com a temperatura.

**Líquido em vidro** Baseados na dilatação térmica de um líquido, como o termômetro de mercúrio.

**Radiação infra-vermelha** Pirômetros óticos com sensibilidade na região do infravermelho.

# Termômetros

## Outros termômetros de uso prático

Os “termômetros digitais” a que estamos acostumados, em sua maioria, são baseados em termopares. A f.e.m. termoelétrica é medida, convertida em temperatura, por meios eletrônicos, e apresentada numa tela (ver figura).

A figura mostra também a curva de referência para um tipo de termopar muito utilizado, o Cromel/Alumel,<sup>2</sup> a partir dos dados da referência [11]. Este tipo de termopar é utilizável numa larga faixa de temperatura. Perto da temperatura ambiente sua sensibilidade é da ordem de  $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .

Os termopares medem apenas a diferença de temperatura entre a junta de prova e os terminais de medida, mantidos a uma mesma temperatura de referência. As tabelas, em geral, assumem esta temperatura de referência como o ponto de gelo,  $0^\circ\text{C}$ . Num termômetro digital a temperatura de referência é medida independentemente (utilizando geralmente um termistor calibrado para temperaturas em torno da ambiente) para ser levada em conta na conversão da f.e.m. termoelétrica em temperatura.

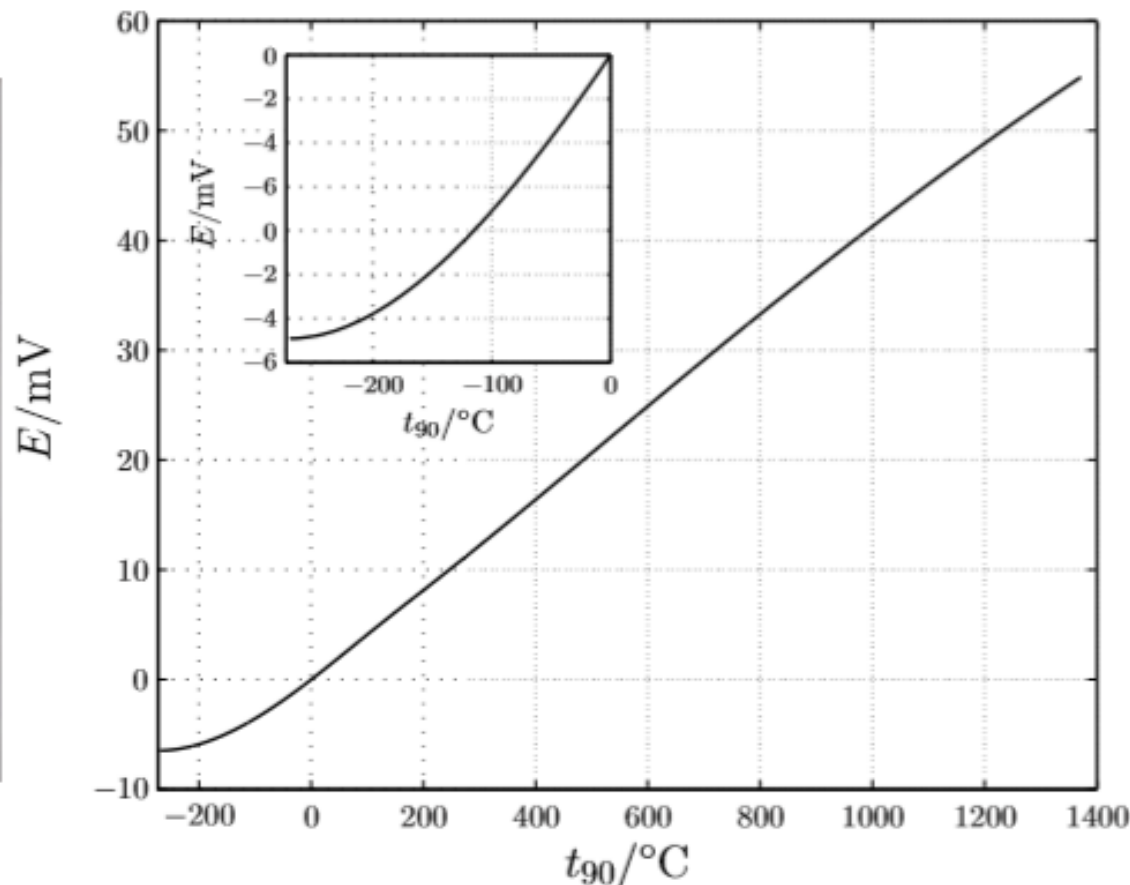
---

<sup>2</sup> Para ligações de metais Cromel (Ni-Cr) e Alumel (Ni-Al) ver [11].



# Termômetros

Outros termômetros de uso prático



**Termopar tipo K.** Termopar conectado a um multímetro digital que mostra a temperatura. À direita, função de referência,  $E(t_{90})$  para a f.e.m. termoelétrica de termopares do tipo K (Cromel/Alumel). A temperatura de referência (junta fria), é  $0^{\circ}\text{C}$ . [11]



# Referências I

- [1] *Tradução da publicação do BIPM: Resumo do Sistema Internacional de Unidades - SI*.  
INMETRO.  
Em: <[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pdf/Resumo\\_SI.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pdf/Resumo_SI.pdf)>.  
Acesso em: 19 mai. 2011.  
**6, 21**
- [2] BOLTON, H. C.  
The Chemical Publishing Co., 1900.  
Disponível em <[http://en.wikisource.org/wiki/Evolution\\_of\\_the\\_Thermometer](http://en.wikisource.org/wiki/Evolution_of_the_Thermometer)>.  
Acesso em: 3 mar. 2013.  
**16**
- [3] FAHRENHEIT, D. G.  
*Experimenta et observationes de congelatione aquae in vacuo factae a D. G. Fahrenheit, R. S. S.*  
*Philosophical Transactions (London)*, v. 33, p. 78–84, 1724.  
Em: <<http://dx.doi.org/10.1098/rstl.1724.0016>>.  
**16**
- [4] THOMSON, W.  
*A escala termométrica absoluta baseada na teoria da potência motriz de Carnot e calculada a partir das observações de Regnault.*  
*Rev. Bras. Ensino Fis.*, v. 29, p. 487–490, 2007.  
**21**
- [5] *Physical Principals*.  
European Virtual Institute for Thermal Metrology.  
Em: <<http://www.evitherm.org>>.  
Acesso em: 3 mar. 2013.  
**25**
- [6] *Échelle Internationale de Température de 1990 (EIT-90)*.  
BIPM: Bureau International des Poids et Mesures.  
Em: <<http://www.bipm.org/utils/common/pdf/its-90/EIT-90.pdf>>.  
Acesso em: 12 mai. 2011.  
**26**



# Referências II

- [7] *The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)*.  
BIPM: Bureau International des Poids et Mesures.  
Em: <<http://www.bipm.org/utils/common/pdf/its-90/ITS-90.pdf>>.  
Acesso em: 12 mai. 2011.  
**26**
- [8] *L'échelle Provisoire pour les Basses Températures situées entre 0,9 mK et 1 K, EPBT-2000*.  
BIPM: Bureau International des Poids et Mesures.  
Em: <<http://www.bipm.org/utils/en/pdf/PLTS-2000.pdf>>.  
Acesso em: 25 mai. 2011.  
**26**
- [9] *The Provisional Low Temperature Scale from 0.9 mK to 1 K, PLTS-2000*.  
BIPM: Bureau International des Poids et Mesures.  
Em: <<http://www.bipm.org/utils/en/pdf/PLTS-2000.pdf>>.  
Acesso em: 25 mai. 2011.  
**26**
- [10] *Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990*.  
BIPM: Bureau International des Poids et Mesures.  
Em: <[http://www.bipm.org/en/publications/its-90\\_supplementary.html](http://www.bipm.org/en/publications/its-90_supplementary.html)>.  
Acesso em: 12 mai. 2011.  
**29**
- [11] BEDFORD, R.; BONNIER, G.; MAAS, H.; PAVESE, F.  
*Techniques for Approximating the International Temperature Scale of 1990*.  
BIPM: Bureau International des Poids et Mesures.  
Em: <[http://www.bipm.org/en/publications/its-90\\_techniques.html](http://www.bipm.org/en/publications/its-90_techniques.html)>.  
Acesso em: 12 mai. 2011.  
**33, 36, 37**
- [12] *Laboratórios de Metrologia Térmica*.  
INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.  
Em: <<http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/inmetro/labmetTermica.asp>>.  
Acesso em: 30 mai. 2011.  
**33**

# Referências III

- [13] *The NIST reference on constants, units and uncertainty: CODATA Internationally recommended values of the Fundamental Physical Constants.*  
NIST.  
Em: <<http://physics.nist.gov/cuu/Constants/>>.  
Acesso em: 18 fev. 2013.  
**38**
- [14] *Periodic table of the elements.*  
IUPAC.  
Em: <<http://www.iupac.org/highlights/periodic-table-of-the-elements.html>>.  
Acesso em: 18 mar. 2013.  
**42, 43**