

# Capítulo 18

## Temperatura, calor e primeira lei da termodinâmica

Neste capítulo vamos explorar os seguintes tópicos:

Temperatura e a lei zero da termodinâmica

Termômetros e escalas de temperatura

A expansão térmica

Temperatura e Calor

Calor específico

Calor de transformação

Trabalho, calor e primeira lei da termodinâmica

Transferência de calor mecanismos

**(18-1)**

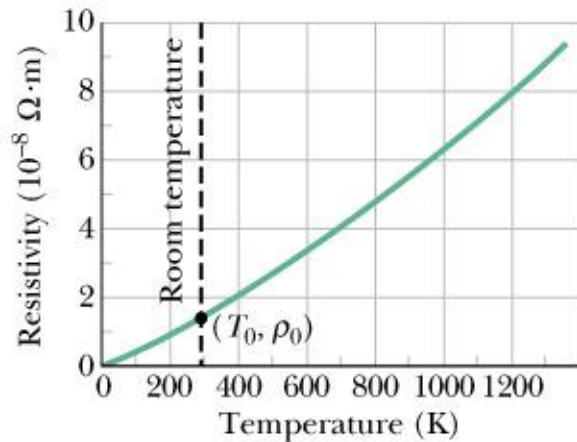


Thermally sensitive element

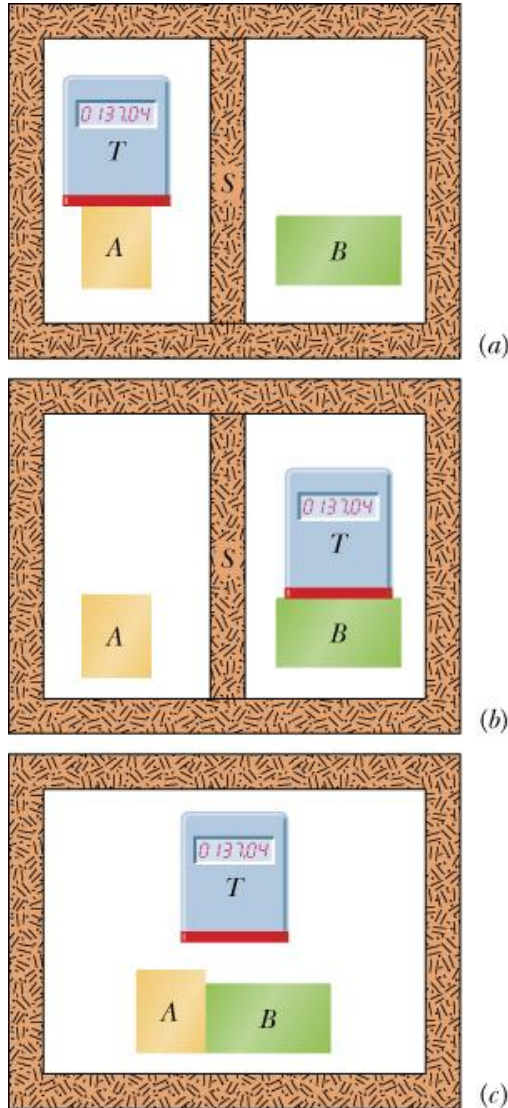
## Temperatura (Símbolo: T)

A temperatura é um parâmetro físico fundamental. No que segue, vamos descrevê-lo e também estudar os métodos usados para medi-la.

É um experimental facto de que muitas propriedades de um objeto dependem temperatura. Por exemplo, a resistência  $R$  de uma condutor. Na figura inferior marcamos a resistividade de cobre em função do  $T$ . Podemos usar  $R$  ou qualquer outro parâmetro que depende  $T$  ao pino para baixo o conceito de temperatura. A imagem superior mostra um instrumento que mede a resistência  $R$  de um interior de arame. Tal instrumento descalibrado é conhecido como um "termoscópio". Um termoscópio" calibrado é chamado de "termômetro"



(18-2)



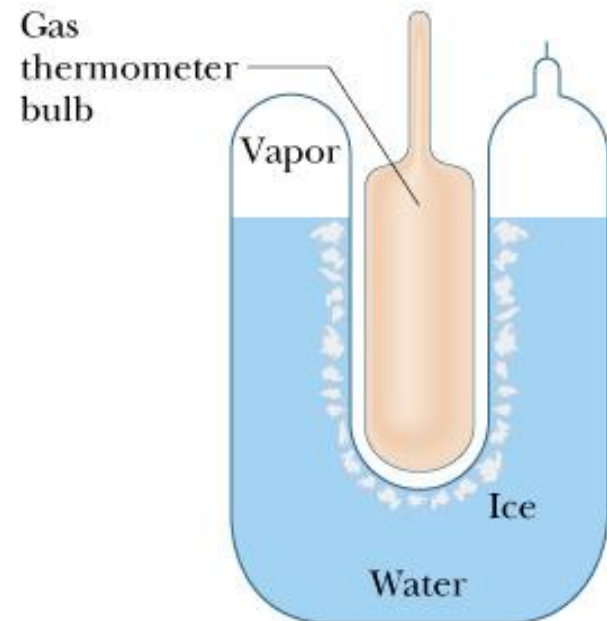
## A lei zero da termodinâmica

Considere a imagem superior na figura. Nós colocamos um termoscópio (T corpo) em contato estreito com corpo de um e os dois objetos são colocados dentro de um isolamento de paredes espessas caixa. A leitura de T do corpo atingirá eventualmente um valor constante (137,04 neste exemplo). Dizemos que os dois corpos estão em equilíbrio térmico. Cada mensurável parâmetro de um corpo e T é estável. Além disso, as duas corpos têm a mesma temperatura. Suponha agora que os corpos T e B são colocados em contato estreito, como mostrado no meio de imagem, e que a leitura de T é ainda 137,04. Se agora colocar os corpos A e B em contato próximo encontramos experimentalmente que eles estão em equilíbrio térmico com cada outro. Se os corpos A e B são cada um em equilíbrio térmico com a T do corpo, então A e B estão em equilíbrio térmico com o outro. A declaração acima é conhecida como a lei zero da termodinâmica "

(18-3)

$$T_3 = 273.16 \text{ K}$$

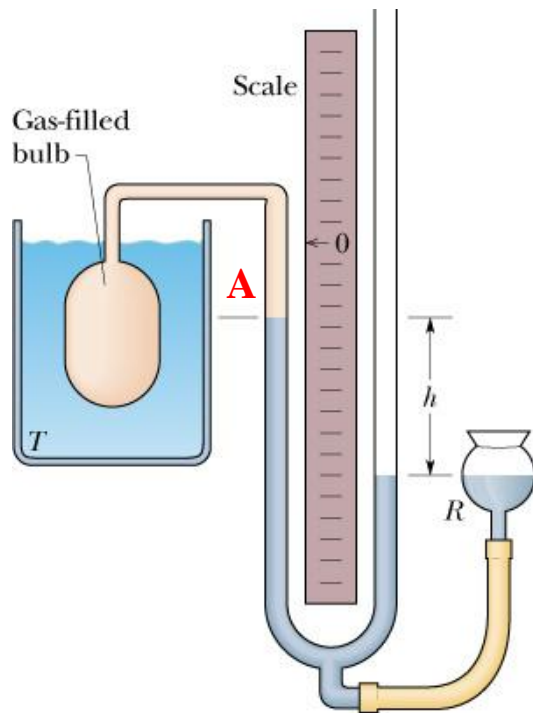
(18 - 4)



### O ponto triplo da água

Nesta seção, vamos definir a temperatura na Escala Kelvin. Em seguida, calibrar um termoscópio e assim, convertê-la em um termômetro. Embora o temperatura de um corpo não tem um limite superior, ele tem um limite inferior que definem a ser o zero da escala Kelvin.

Para configurar uma escala de temperatura temos que escolher um fenômeno reproduzível térmica e arbitrariamente atribuir uma temperatura Kelvin para este fenômeno. Exemplos são o ponto de congelamento e o ponto de ebulição da água à pressão atmosférica. Acontece que o ponto triplo da água é mais fácil de reproduzir e é assim escolhido para definir a escala Kelvin. O ponto triplo de água é definida como a temperatura onde há a coexistência de água em estado sólido, líquido e gasoso a uma certa temperatura e pressão. a temperatura a este ponto é considerado como sendo  $T_3=273,16 \text{ K}$

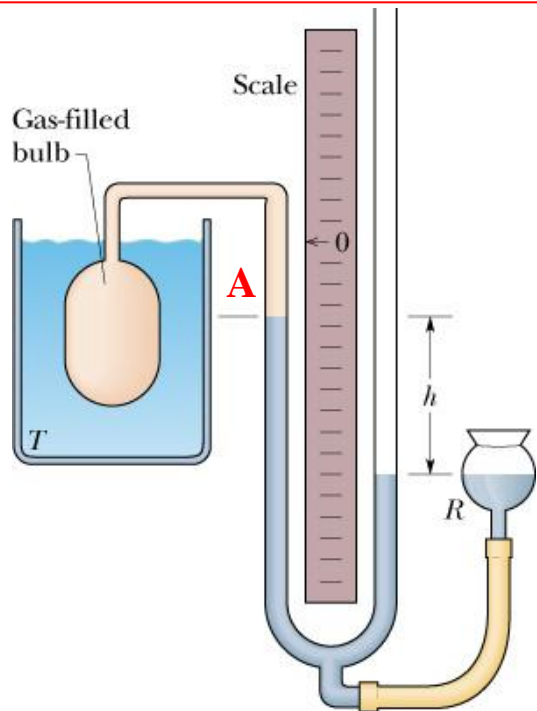


## O termômetro de gás a volume constante

Na figura é mostrado um termômetro de gás constante volume. É constituída por uma ampola de vidro contendo um gás. O bulbo é ligado a um manômetro de mercúrio. A temperatura  $T$  do banho em torno da lâmpada é medida como se segue:

O reservatório de mercúrio é levantado ou abaixado para que o nível de mercúrio é a marca  $A$ . Isto assegura que o volume do gás é constante. A pressão do gás pé dada por a equação:  $p = p_0 + \rho gh$ . Aqui  $\rho$  é a densidade de mercúrio e  $h$  é a diferença de altura entre ponto  $A$  e da superfície de mercúrio na extremidade aberta do manômetro.

$$T = 273.16 \left( \lim_{p_3 \rightarrow 0} \frac{p}{p_3} \right)$$



A temperatura  $T$  do banho e a pressão do gás  $p_3$  são ligados pela equação:  $T = Cp$  (eqs.1). Aqui  $C$  é uma constante. O bulbo de vidro é líquido colocado dentro uma célula de ponto triplo à temperatura  $T_3 = 273.16$  K, e a pressão do gás  $p_3$  isto é medido.

Neste caso?  $T_3 = Cp_3$  (eqs.2)

Se dividirmos a equação 2, com a equação 1, temos

$$\frac{T}{T_3} = \frac{p}{p_3} \rightarrow T = 273.16 \left( \frac{p}{p_3} \right)$$

A fim de obter resultados consistentes devemos nos certificar de que o gas quantidade no interior da lampada e pequeno. Isto e expresso como:

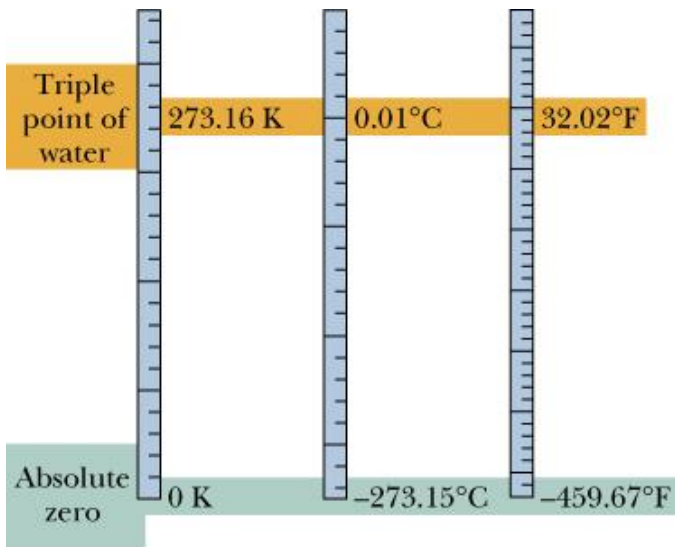
$$T = 273.16 \left( \lim_{p_3 \rightarrow 0} \frac{p}{p_3} \right)$$

Sob estas condições a leitura teromometro não depende que tipo de gás é usado no interior da lâmpada..

(18-6)

$$T_C = T - 273.15^\circ$$

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32^\circ$$



As escalas Celsius e Fahrenheit

A escala de temperatura Kelvin é usada no ensino básico e no trabalho científico. Para mais prática todos os dias

aplicações da escala Celsius é amplamente utilizado. O

Grau Celsius tem o mesmo tamanho que o Kelvin a.

O zero da escala Celsius é deslocado de modo que:

$$T_C = T - 273.15^\circ$$

A escala Fahrenheit usada em os EUA emprega menor grau do que a escala Celsius

e um zero diferente:  $0^\circ \text{C} = 32^\circ \text{F}$

A relação entre as duas escalas de temperatura é

dado pela equação:  $T_F = \frac{9}{5}T_C + 32^\circ$

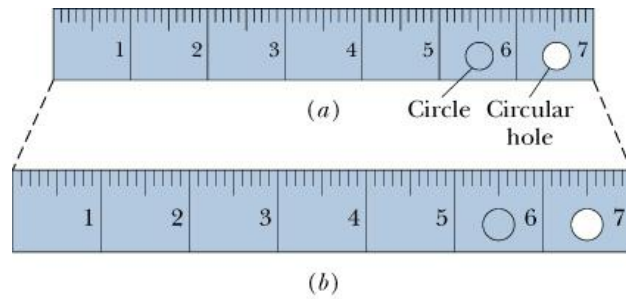
(18-7)

$$\Delta L = \alpha L \Delta T$$

## Expansão linear

Se a temperatura de uma haste de metal de comprimento  $L$  é aumentada por uma quantidade  $\Delta T$ , o seu comprimento também aumenta por uma quantidade  $\Delta L = \alpha L \Delta T$

O termo  $\alpha$  é conhecido como o coeficiente de expansão linear e depende o material da haste



$$\Delta V = \beta V \Delta T$$

A constante  $\alpha$  não altera muito com a temperatura. Assim, por mais prático fins que pode ser tomada como uma constante.

Expansão de volume.

Todas as três dimensões de um sólido expandir com a temperatura, e, assim, o volume também se expande. Para líquidos este é o único parâmetro de expansão significativa. Para uma líquido de volume  $V$ , Um aumento  $\Delta T$  da temperatura resulta em aumento de volume  $\Delta V = \beta V \Delta T$  O termo  $\beta$  conhecido como o coeficiente de expansão de volume.

Para um sólido  $\beta = 3\alpha$

(18-8)



## Temperatura e Calor

Considere as duas objetos mostradas na figura. Um é chamado (a) o "sistema" e o outro "meio ambiente". No exemplo

do texto, o sistema é uma lata de e do meio ambiente é a mesa da cozinha. Se a temperatura do sistema  $T_S$  é maior do que

a temperatura ambiente  $T_E$  (Ver fig), então a energia é transferidos do sistema para o ambiente. Esta energia

é conhecido como "calor"(Símbolo  $Q$ ). Neste caso, o calor é retirado

(b) como negativo. Se  $T_E$  (veja fig.a) o calor é transferido a partir do ambiente para o sistema. Neste caso "calor" (símbolo  $Q$ ). Neste caso, o calor é retirado

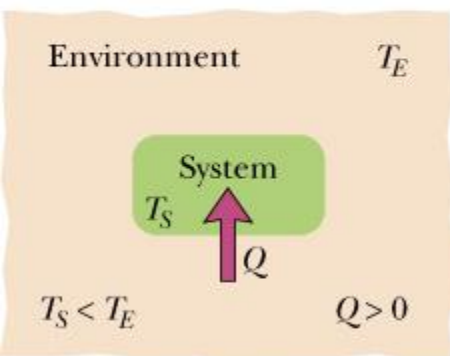
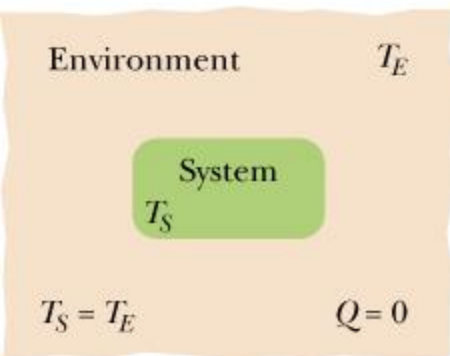
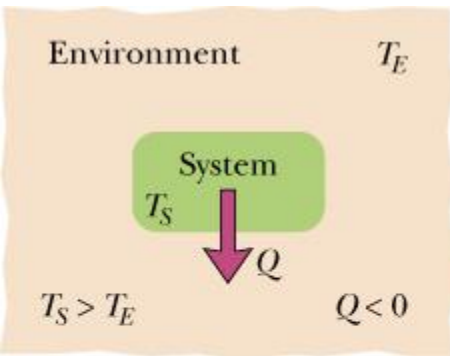
como negativo. Se  $T_S = T_E$  (veja fig.b) não temos a transferência de calor.

Se  $T_S < T_E$  (veja fig.c) calor é transferido a partir do ambiente para o sistema. Neste caso  $Q > 0$ .

(c) Assim calor é a energia transferida entre um System e a sua ambiente, porque uma diferença de temperatura existe entre

os dois. Unidade SI para  $Q$ : The Joule. Outra unidade não-SI é o caloria (cal) definida como:  $1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$ .

(18 - 9)



## **Capacidade calorífica.**

Se um objeto cuja temperatura inicial é  $T_i$  absorve uma quantidade  $Q$  de calor, a sua temperatura aumenta para um valor  $T_f$  de acordo com a equação:  $Q = C\Delta T = C(T_f - T_i)$ . A constante de proporcionalidade  $C$  é conhecido como o "**capacidade calorífica**".

## **Calor específico.**

A capacidade de calor  $C$  de um objeto é proporcional à sua massa  $m$ . Assim, a equação acima pode ser escrita como:  $Q = mc(T_f - T_i)$ . A constante  $c$  é conhecido como o "**calor específico**". E que depende do material do qual o objeto é feito.

## **Calor específico molar.**

Se medir a capacidade de calor que corresponde a um mole de uma substância, esta constante é conhecido como "calor específico molar". É um conveniente parâmetro porque 1 mole de qualquer substância contém o mesmo número ( $6,02 \times 10^{23}$ ) de átomos ou moléculas.

## Transformação de Calor

Um objeto pode existir em um dos três "estados" ou "fases". Estes são o sólido, o líquido e os estados de gás. Na fase sólida, os átomos estão presos numa estrutura rígida. Em a fase líquida do objeto não tem uma estrutura rígida, mas assume a forma do recipiente. No estado de gás, os átomos estão livres um do outro e encher completamente o volume do recipiente. Quando o estado de um objeto de mudanças de massa  $m$ , o objeto pode absorver ou liberar uma quantidade de calor  $Q$  sem qualquer mudança na temperatura  $T$ . O calor  $Q$  é dado pela equação:  $Q=Lm$ . A constante  $L$  é conhecido como o "**calor latente de transformação**". Se as alterações de objetos a partir do líquido para a fase gasosa o calor de transformação  $L_V$  é conhecido como "calor latente de vaporização". Se o objeto alterações do estado sólido para o líquido de calor de transformação  $L_F$  é conhecido como "calor latente de fusão". Um objeto absorve calor para ir a partir de sólido para o líquido ou de líquido para a fase gasosa. Inversamente, um objeto colocado para resfriar pode ir de líquido à sólido ou a partir de um gás para a fase líquida.

$$W = \int_{V_i}^{V_f} p dV$$

Um olhar mais atento calor e trabalho

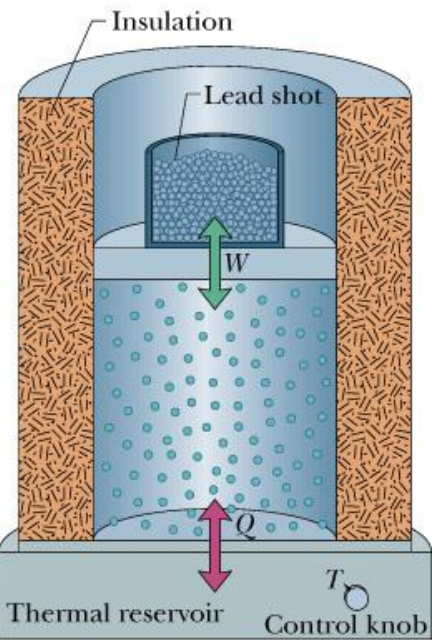
Considere um volume de gás contido no cilindro mostrado na figura ao lado. O gás pode absorver ou libertar calor para ou a partir do reservatório térmico existente, na parte inferior do cilindro. A

pressão do gás é determinada pela quantidade de massa colocado no topo do êmbolo de área  $A$ . Trabalho  $W$  é feito

ou mediante a remoção ou a adição de massa no topo do pistão. Por exemplo, se a massa é removida e o

pistão se move para cima por uma distância  $ds$ , O gás faz trabalho  $dW = Fds = (pA) ds = p(Ads) = pdV$

Aquí  $p$  é a pressão do gás e  $dV$  é a mudança de volume.

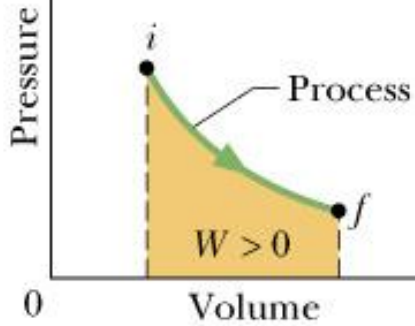


O gás começa a partir de um estado inicial a uma pressão  $p_i$ , Volume  $V_i$  e temperatura  $T_i$  e a sua é lentamente alterado para um estado final descrito por a pressão  $p_f$ , Volume  $V_f$  e temperatura  $T_f$ . O trabalho  $W$  feito pelo gás durante a mudança (conhecido como "processo termodinâmico") É dada por:

$$W = \int dW = \int_{V_i}^{V_f} p dV$$

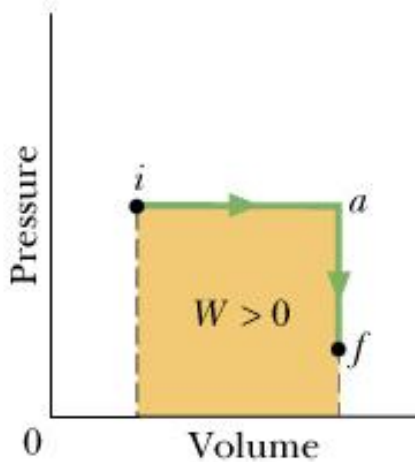
(18-12)

Há muitas maneiras de obter a partir da inicial à final estado do gás. Um tal processo é mostrado na P contra V no gráfico da fig.a.



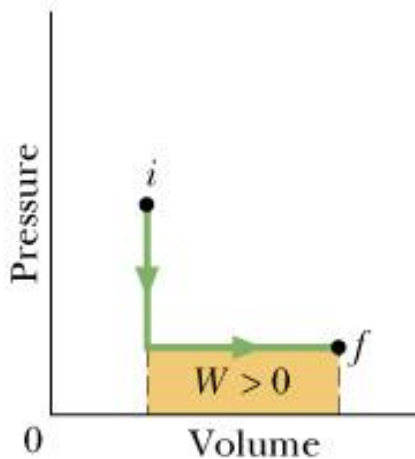
O trabalho  $W = \int_{V_i}^{V_f} p dV = \text{Área de cor sob a trama}$

Na fig. b, primeiro manter a pressão constante em  $p_i$  e mudança o volume a partir  $V_i$  para  $V_f$  por absorção de calor a partir do reservatório. Em seguida, diminuir a pressão para a sua última valor  $p_f$  removendo alguns dos audiência de massa em cima do pistão. Em fig.c que reverter o processo. Primeiro

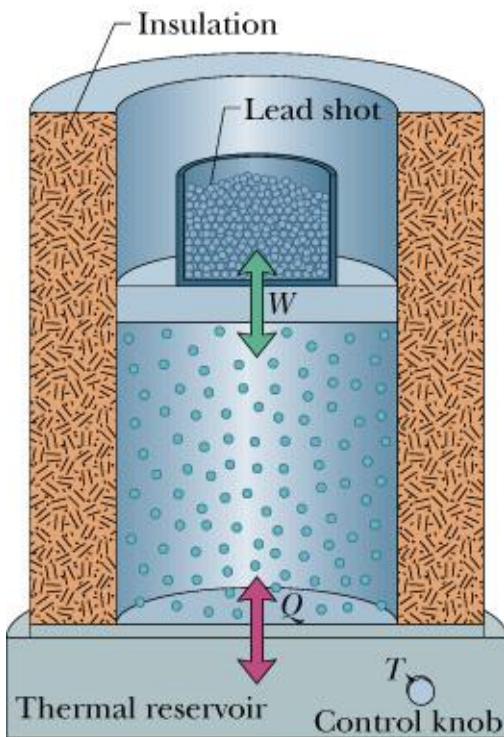


mudamos a pressão de  $p_i$  para  $p_f$  e, em seguida

podemos mudar o volume. Assim, o gás pode ser retirado do uma inicial para um estado final de um número infinito de processos. O calor absorvido e o trabalho feito depende do caminho percorrido no diagrama p contra V.



$$dE_{\text{int}} = dQ - dW$$

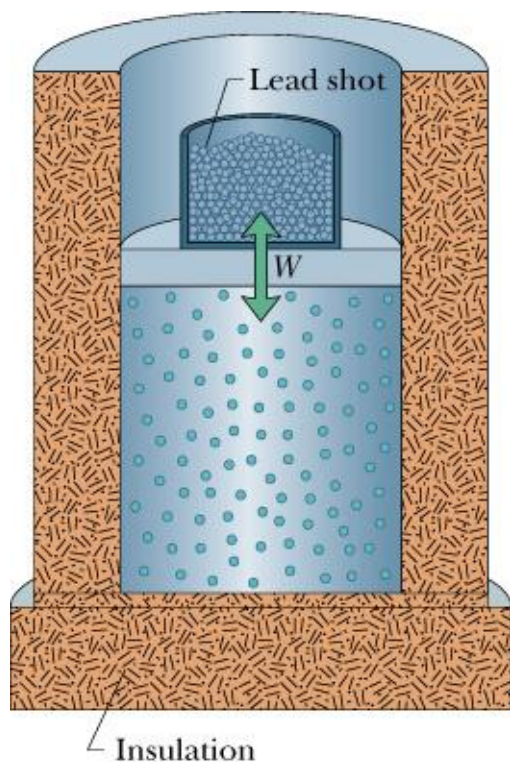


A primeira lei da termodinâmica

Considere o gás mostrado na figura. Ele muda de uma fase inicial para um calor final, absorvendo  $Q$  e fazendo o trabalho  $W$ . Tanto  $Q$  e  $W$  dependerá da natureza do processo. A quantidade  $Q - W$ , por outro lado, é independente do processo e depende somente dos estados iniciais e finais do sistema. A quantidade  $Q - W$  representa a alteração na energia interna

$$dE_{\text{int}} = dQ - dW$$

A energia interna  $E_{\text{int}}$  de um sistema tende a aumentar se a energia é adicionada na forma de calor  $Q$  e tende a diminuir se a energia é perdida como trabalho  $W$  feito pelo sistema. A primeira lei é uma reafirmação do princípio da conservação de energia



Alguns casos especiais da primeira lei da termodinâmica

### 1. Processo adiabático.

Neste processo, o sistema é tão bem isolado e que o processo ocorre tão rápido que nenhum calor é trocado com o ambiente ( $Q = 0$ ). Assim, a primeira lei toma a forma:  $\Delta E_{\text{int}} = -W$

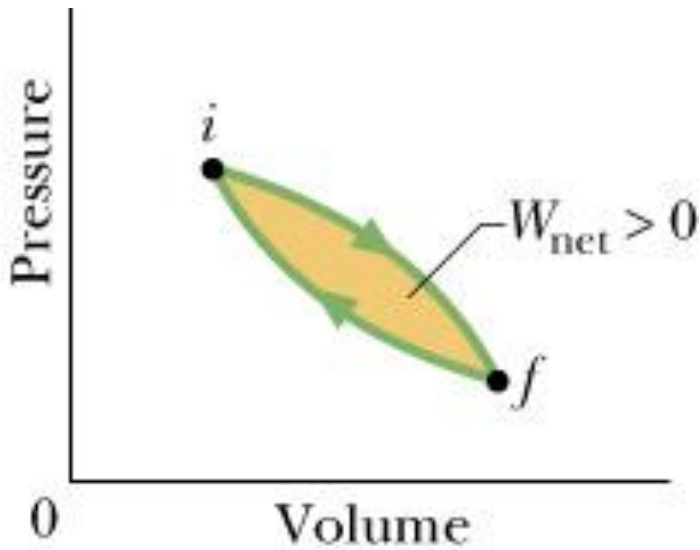
Se o trabalho é feito pelo sistema ( $W > 0$ ) a interna energia diminui na mesma proporção.

### 2. Processo de volume constante.

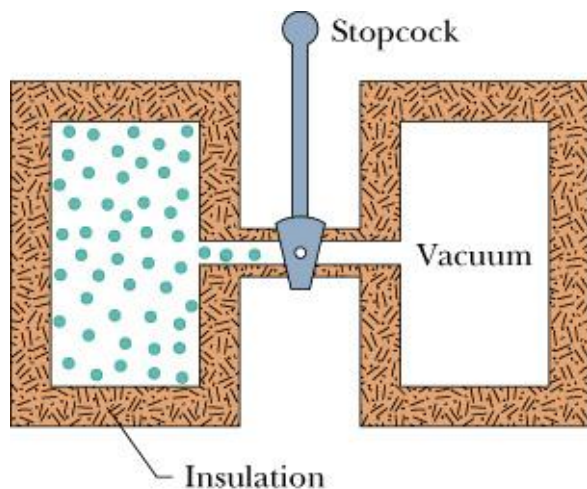
O volume do gás na figura é mantida constante.

Assim  $W = 0$  e a primeira lei toma a forma:  $\Delta E_{\text{int}} = Q$ .

Se o calor é absorvido pelo gás ( $Q > 0$ ) a energia interna aumenta pela mesma quantidade



(18 - 16)



3. Processo cíclico. Este é um processo no qual um sistema sofre trocas de calor e energia mas retorna ao seu estado inicial. Neste caso  $\Delta E_{\text{int}} = 0$  e a primeira lei prevê que:  $Q = W$

O trabalho líquido durante um processo cíclico é igual para a quantidade de calor transferido.

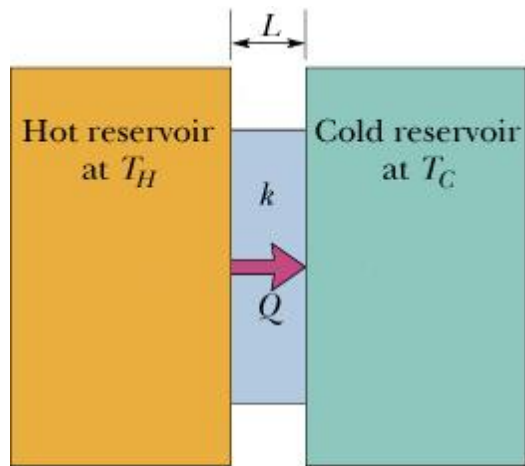
4. Expansão livre. Neste tipo de processo não transferência de calor ocorre para o sistema e nenhum trabalho é feito por ele. ou seja. Isto é.  $Q = 0$  e  $W = 0$   
A primeira lei prevê que  $\Delta E_{\text{int}} = 0$

A imagem à esquerda mostra um tal processo. Uma quantidade de gás é inicialmente confinado à esquerda câmara enquanto o camera a direito está vazia. As câmaras são termicamente isolado de modo que nenhum calor pode ser trocado com o meio ambiente. A válvula é aberta eo gás ocupa ambas as câmaras. Nenhum trabalho é feito no processo.



$$P_{cond} = \frac{Q}{t} = kA \frac{T_H - T_C}{L}$$

(18 - 17)



## Mecanismos de Transferência de Calor

Há três mecanismos através dos quais o calor é transferido de um para outro objeto. Estes são: condução, convecção e radiação.

$$T_H > T_C$$

### Condução

Considere um paralelepípedo de área  $A$  e a espessura  $L$  (mostrado na figura ao lado), intercalada entre um reservatório quente e um frio de uma temperatura  $T_H$  e  $T_C$ , respectivamente. Experimento mostra que o calor fluirá a partir do quente para o

reservatório frio através da laje à taxa:  $P_{cond} = \frac{Q}{t} = kA \frac{T_H - T_C}{L}$

A constante  $k$  é conhecido como "condutividade térmica" E que depende da o material de que o paralelepípedo é feita.

## Convecção.

Quando um fluido entra em contacto com um objecto cuja temperatura é mais elevada do que a do fluido, a temperatura dos aumentos de fluido eo fluido expande e sua torna-se menos denso. O fluido mais leve mais quente sobe enquanto alguns do fluido mais frio circundante toma seu lugar. No processo de calor é transferido por convecção.

## Radiação.

Esta troca de calor ocorre através da emissão ou absorção de radiação eletromagnética.

Assim, este processo pode ocorrer em vácuo. A taxa

$P_{rad}$  em que um objecto da área  $A$  e temperatura  $T$  radiação emite é dada por:

$P_{rad} = \sigma \varepsilon AT^4$  A constante  $\sigma = 5.6703 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$  é conhecido como o constante **Stefan - Boltzman**. A constante  $\varepsilon$  a emissividade da superfície do objecto

Para uma superfície totalmente absorptiva  $\varepsilon = 1$ . Tal objeto é conhecido como um "radiador de corpo negro". A taxa à qual um objecto absorve a radiação térmica

a partir do seu ambiente à temperatura  $T_{env}$  é dada pela equação::  $P_{abs} = \sigma \varepsilon AT_{env}^4$

O ganho líquido de energia é:  $P_{net} = P_{abs} - P_{rad} = \sigma \varepsilon AT_{env}^4 - \sigma \varepsilon AT^4 = \sigma \varepsilon A (T_{env}^4 - T^4)$

(18 - 18)

**Nota - se :**  $P_{net} > 0$  if  $T_{env} > T$