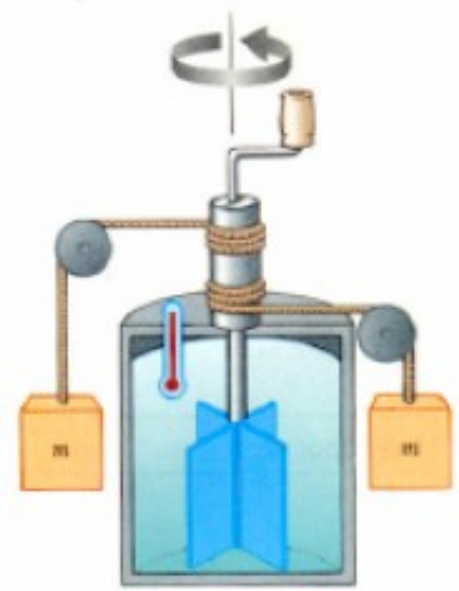
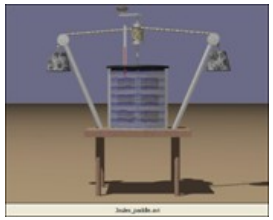
Calor e energia térmica

Caloria

Quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1 g de água de 14,5 ºC para 15,5 ºC.

Podem existir alterações na temperatura de um sistema sem que tenha existido transferência de energia térmica, mas sim através de trabalho realizado sobre ou pelo sistema.



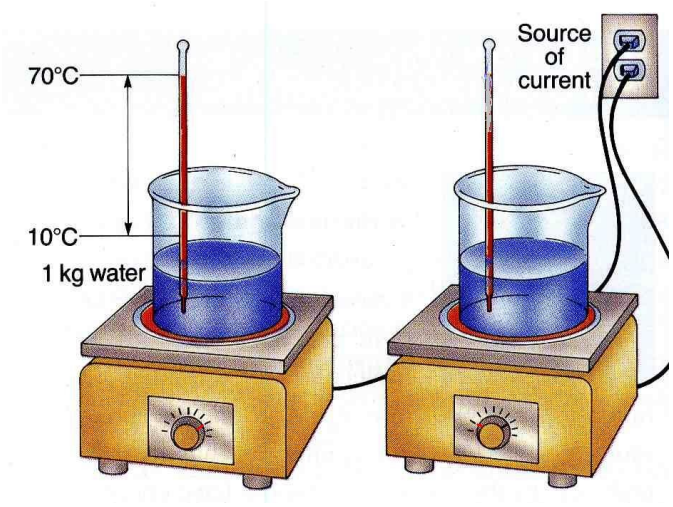


Joule

Estabeleceu a correspondência entre energia térmica e mecânica.

1 cal = 4,186 J.

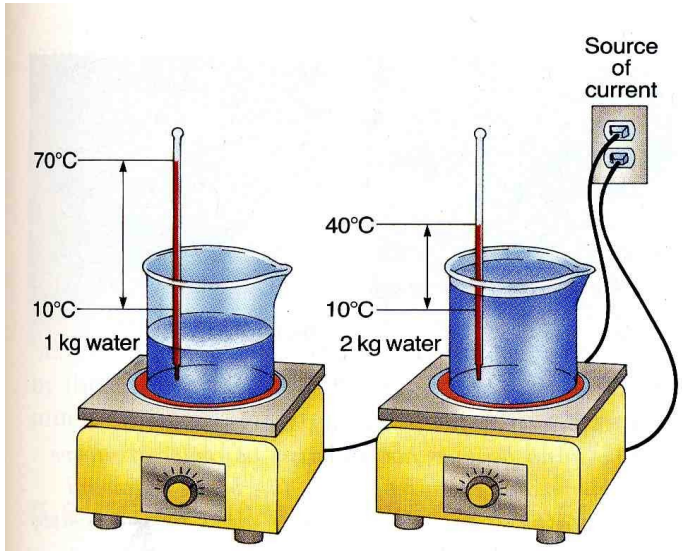
Mais calor ⇒ maior variação de temperatura
(para a mesma substância)



Mais calor **Menos calor**

simulação

Maior massa ⇒ menor variação de temperatura
(para a mesma quantidade de calor)

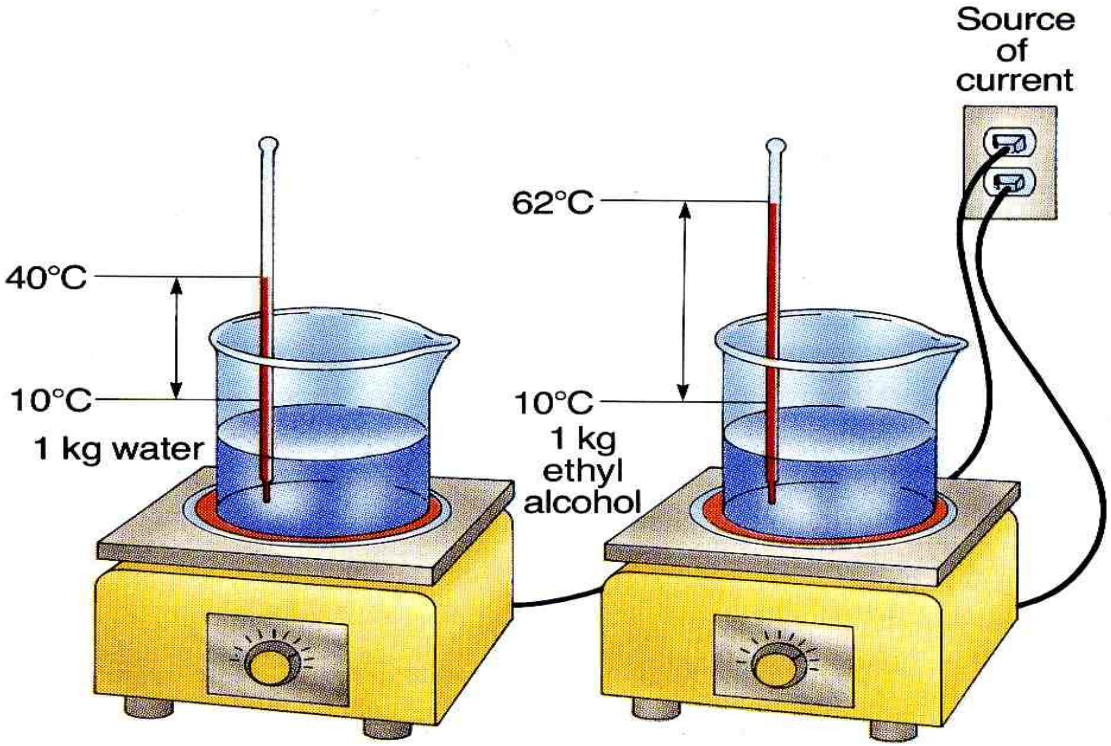


Menor massa **Maior massa**

simulação

Substâncias diferentes ⇒ diferentes variações de temperatura
(para a mesma quantidade de calor)

Menor calor específico (*c*) ⇒ **Maior variação da temperatura**



Água *vs* álcool

Capacidade calorífica e calor específico

Capacidade calorífica

A troca de energia térmica com um sistema, que se mantém no mesmo estado, implica alterações na sua temperatura. A capacidade calorífica (C) de uma substância é definida através de

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad \Rightarrow \quad Q = C\,\Delta T$$

sendo Q o calor trocado com a substância e ΔT a diferença entre as temperaturas final e inicial.

Calor específico

O calor específico (c) de uma substância é a sua capacidade calorífica por unidade de massa

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \quad \Rightarrow \quad Q = m\,c\,\Delta T$$

sendo Q o calor trocado com a substância, ΔT a diferença entre as temperaturas final e inicial e m a massa da amostra.

Substância	Nome	Calor específico [J/(kg.K)]
Al	Alumínio	900
Si	Silício	703
C	Carbono (grafite)	685
C	Carb. (diamante)	520
Fe	Ferro	448
Cu	Cobre	387
Ag	Prata	234
Au	Ouro	129
Pb	Chumbo	128
H_2O (l)	**Água**	**4186**
H_2O (s)	**Gelo**	**2220**
H_2O (v)	**Vapor de água**	**2020**
C_2H_5OH(l)	Etanol	2460
Vidro		837

Geralmente, o calor específico depende da temperatura:

$$Q = m \int_{T_i}^{T_f} c \, dT$$

Para além da temperatura, o calor específico (principalmente o dos gases) varia com a pressão e o volume.

Portanto, para a mesma substância, pode existir um valor para o calor específico a pressão constante e outro para o calor específico a volume constante.

Calor latente

Calor latente

A transferência de calor para um sistema pode não resultar numa variação da sua temperatura mas sim em mudanças de fase no sistema.

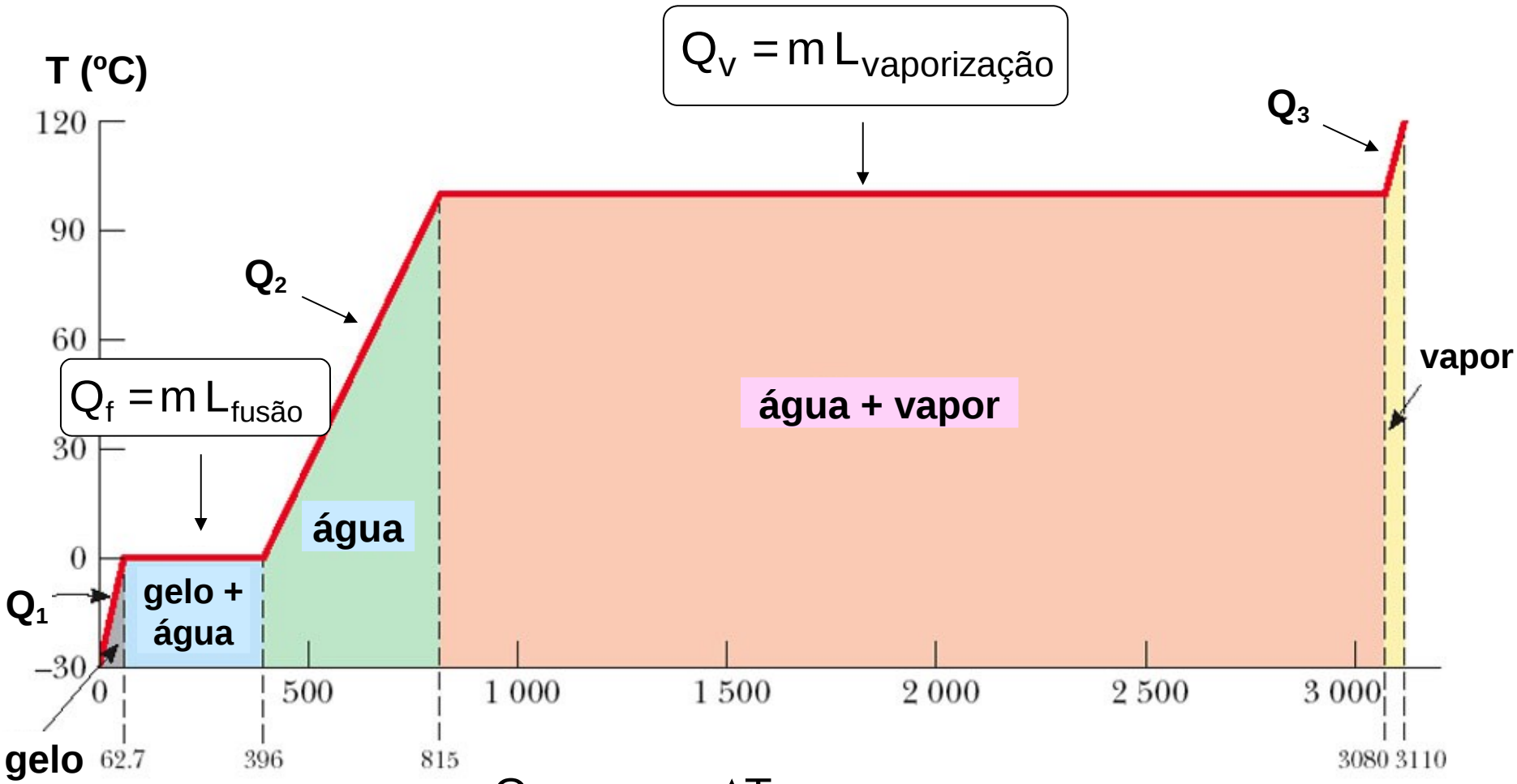
O calor latente (L) de uma substância é definido através de

$$L = \frac{Q}{m} \quad \Rightarrow \quad Q = m\,L$$

sendo Q o calor trocado com a substância e m a massa da amostra.

Os calores latentes podem ser de fusão ou de vaporização, consoante a substância passe de sólido para líquido (e vice-versa), ou de líquido para vapor (e vice-versa).

Diagrama de fases para a água



$$Q_1 = m\,c_{gelo}\,\Delta T_1$$

$$Q_2 = m\,c_{água}\,\Delta T_2$$

$$Q_3 = m\,c_{vapor}\,\Delta T_3$$

© 2006 Brooks/Cole - Thomson

simulação

Um corredor de 65 kg gera 800 kJ de calor em 30 minutos de corrida. Se este calor não for dissipado, qual é o aumento de temperatura sofrido?

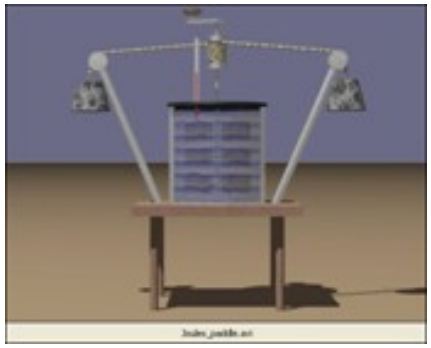
Valor médio do calor específico do corpo humano = 3500 J/(kg ºC)

$$Q = m\,c\,\Delta T \quad \Rightarrow \quad \Delta T = \frac{Q}{m\,c} = \frac{8.10^5\ J}{65\,kg \times 3500\,J/\left(kg\,^oC\right)}$$

$$\Rightarrow \quad \Delta T = 3{,}5\,^oC$$

Considere o ”aparelho de Joule”. Cada massa é de 1,5 kg e o tanque tem 200g de água. Qual é o aumento de temperatura da água após as massas caírem de uma altura de 3 m?

Calor específico da água (fase líquida) = 4186 J/(kg ºC)



$$Q = m_{água}\, c_{água}\, \Delta T \qquad U = m\, g\, h$$

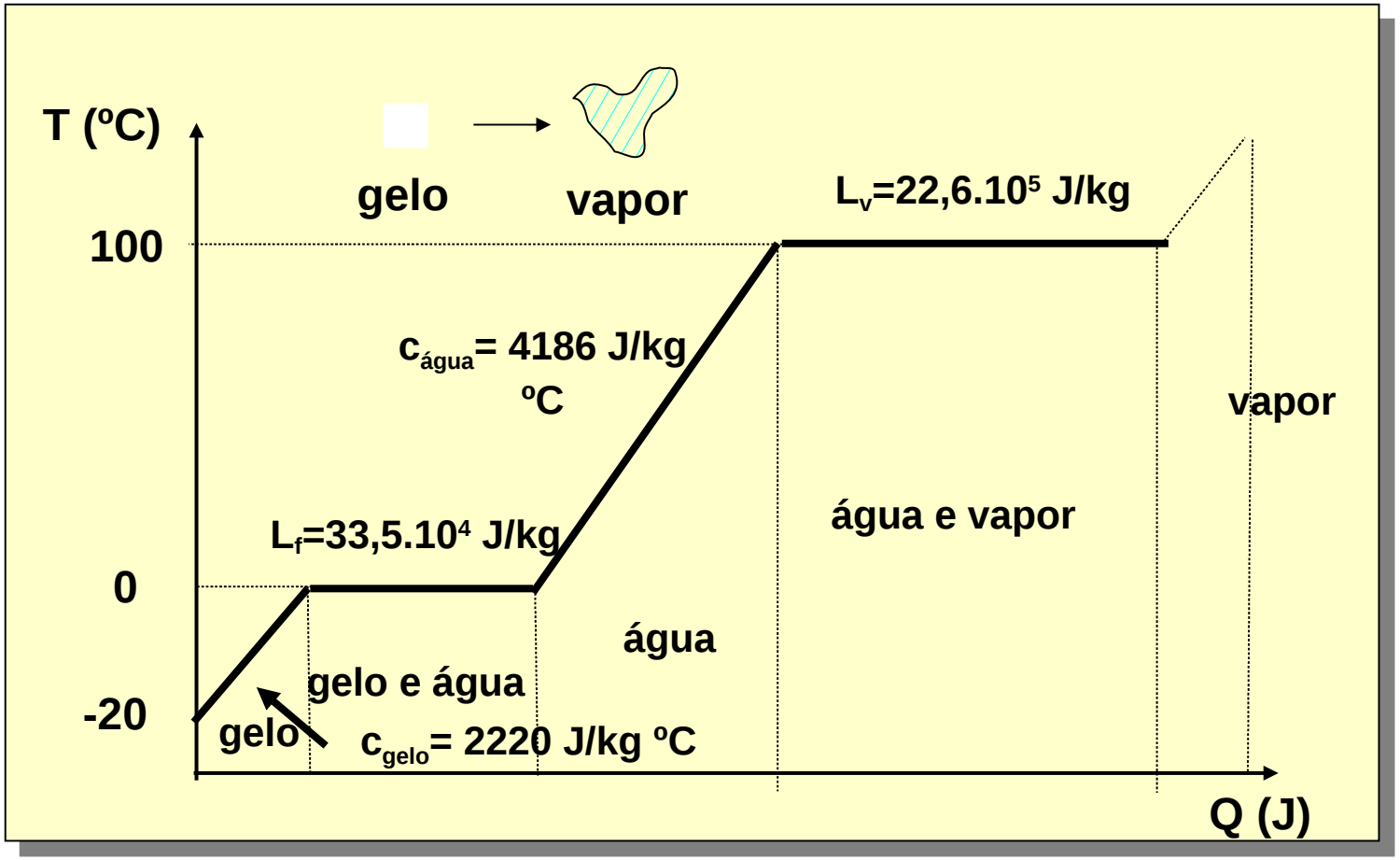
Conservação da energia ⇒ $U = Q$

⇒ $$m_{água}\, c_{água}\, \Delta T = m\, g\, h$$

⇒ $$\Delta T = \frac{m\, g\, h}{m_{água}\, c_{água}} = \frac{2 \times 1{,}5 \times 9{,}8 \times 3}{4186 \times 0{,}2} = 0{,}105\, ^{o}C$$

Determine a quantidade de calor necessária para converter totalmente 10g de gelo a -20ºC em vapor de água a 100ºC.

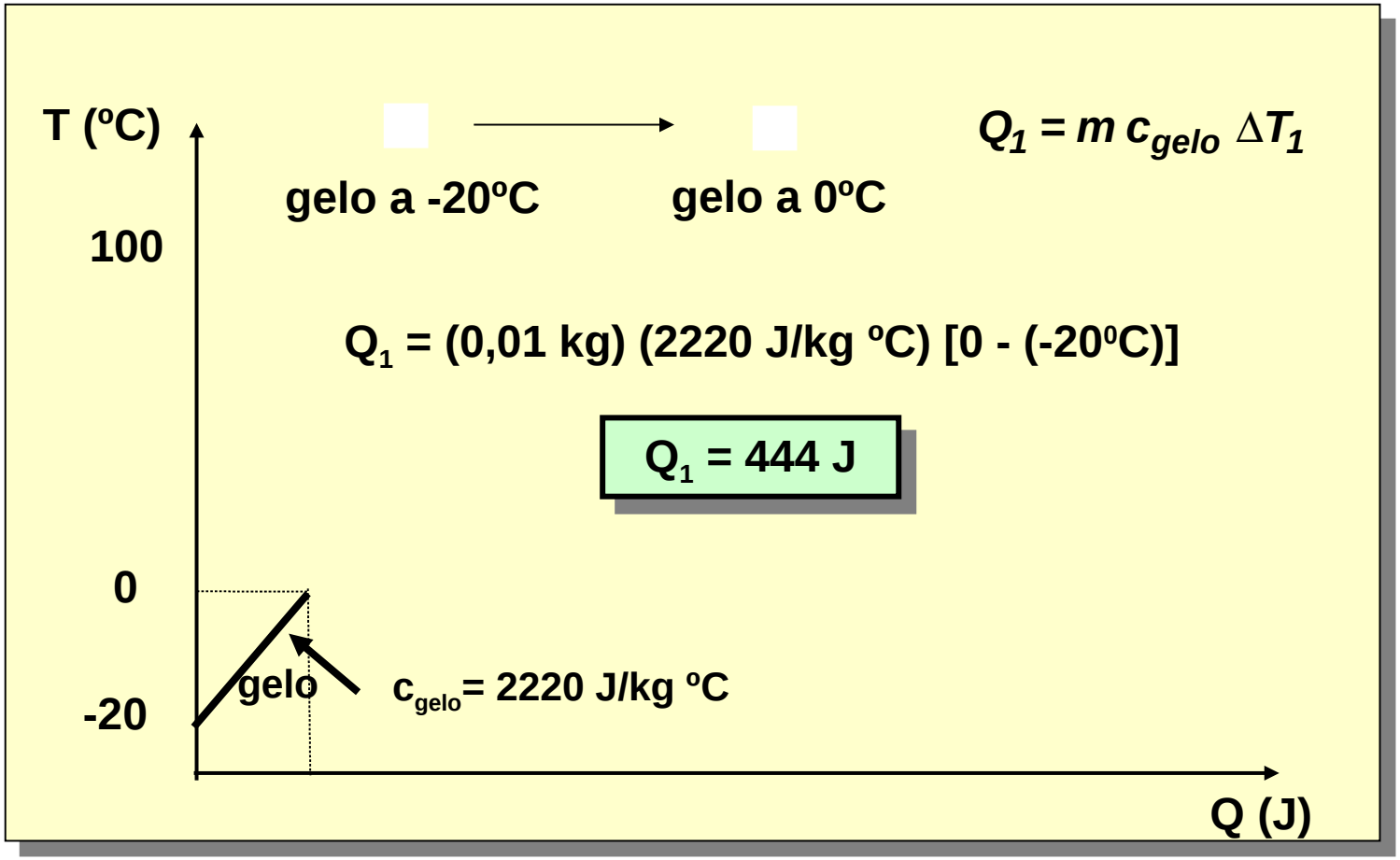
c_{gelo} = 2220 J/(kg ºC) $c_{água}$ = 4186 J/(kg ºC) c_{vapor} = 2020 J/(kg ºC)
$L_{fusão\ do\ gelo}$ = 33,5.10⁴ J/kg $L_{vaporização\ da\ água}$ = 22,6.10⁵ J/kg



Determine a quantidade de calor necessária para converter totalmente 10g de gelo a -20ºC em vapor de água a 100ºC.

c_{gelo} = 2220 J/(kg ºC) $c_{água}$ = 4186 J/(kg ºC) c_{vapor} = 2020 J/(kg ºC)

$L_{fusão\ do\ gelo}$ = $33{,}5.10^4$ J/kg $L_{vaporização\ da\ água}$ = $22{,}6.10^5$ J/kg



$Q_1 = m\, c_{gelo}\, \Delta T_1$

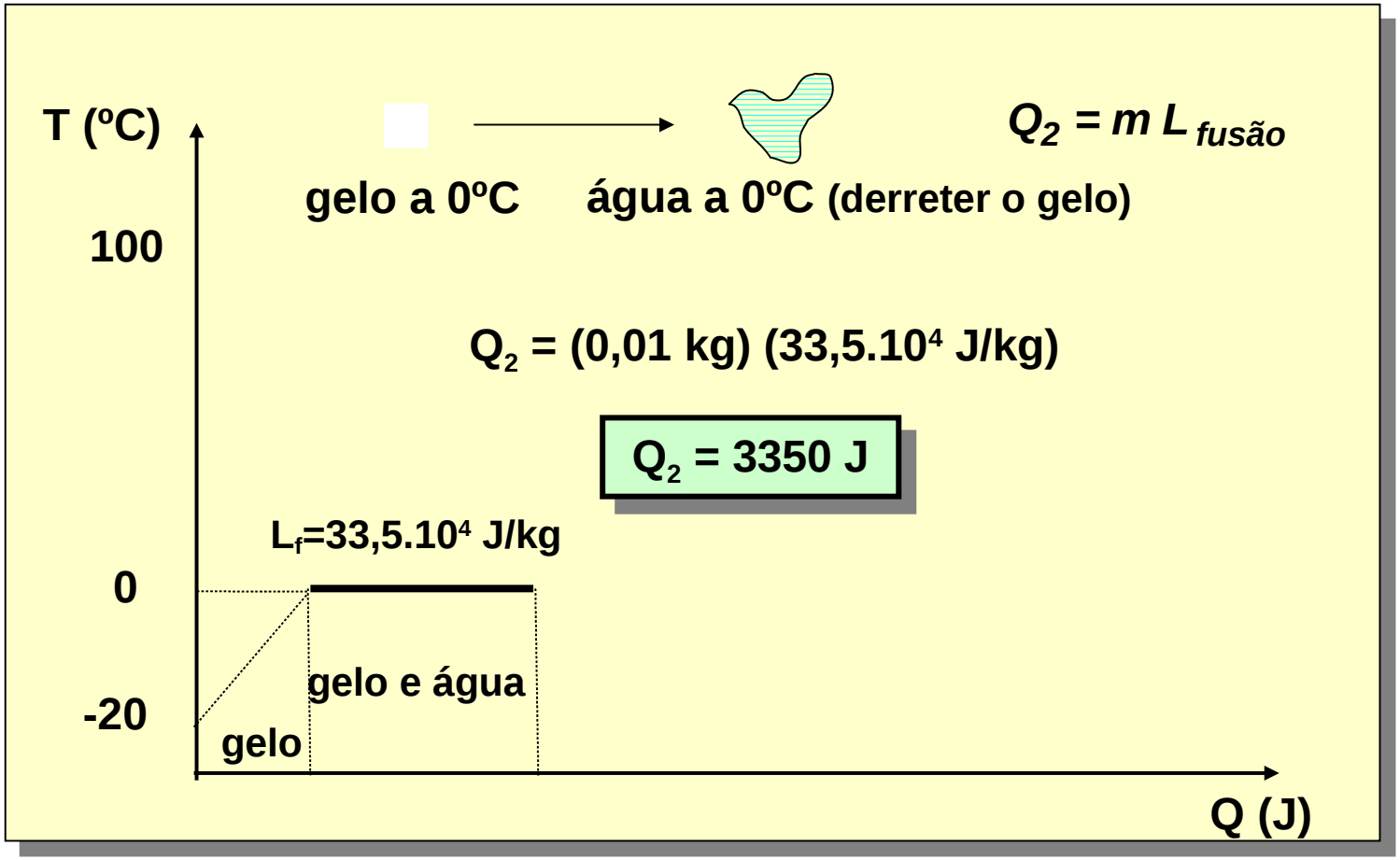
Q_1 = (0,01 kg) (2220 J/kg ºC) [0 - (-20ºC)]

Q_1 = 444 J

Determine a quantidade de calor necessária para converter totalmente 10g de gelo a -20ºC em vapor de água a 100ºC.

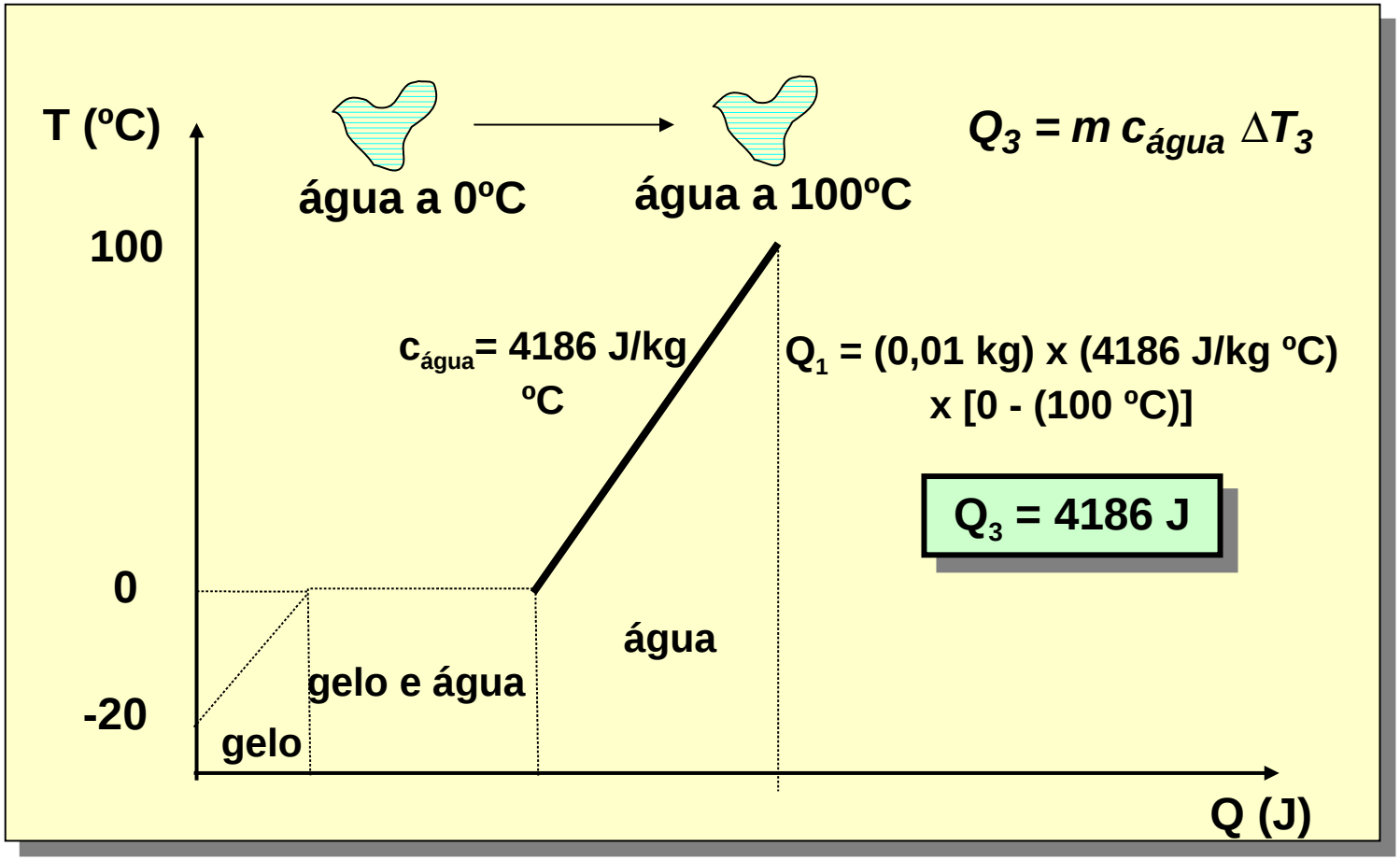
c_{gelo} = 2220 J/(kg ºC) $c_{água}$ = 4186 J/(kg ºC) c_{vapor} = 2020 J/(kg ºC)

$L_{fusão\ do\ gelo}$ = 33,5.10⁴ J/kg $L_{vaporização\ da\ água}$ = 22,6.10⁵ J/kg



Determine a quantidade de calor necessária para converter totalmente 10g de gelo a -20ºC em vapor de água a 100ºC.

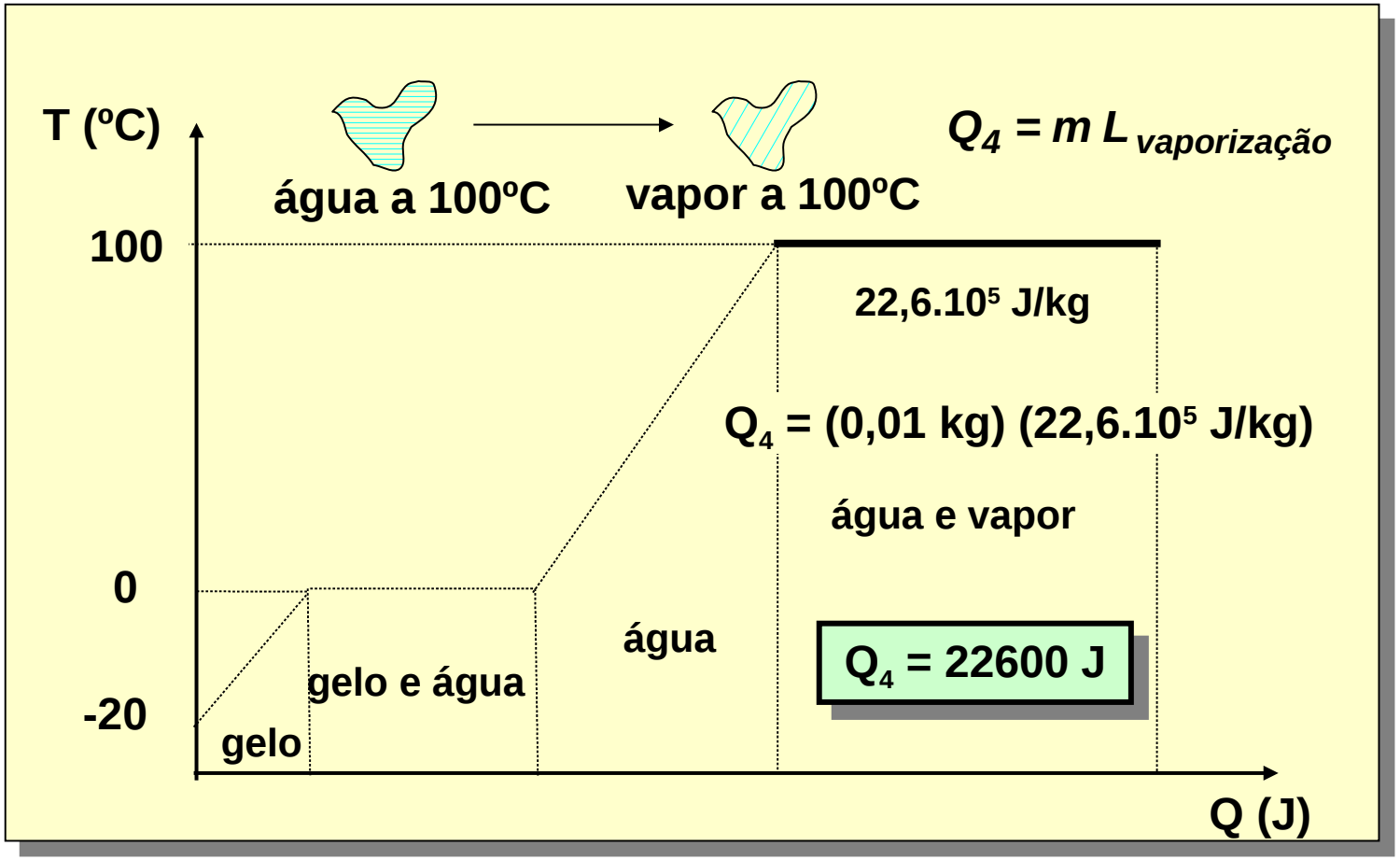
c_{gelo} = 2220 J/(kg ºC) $c_{água}$ = 4186 J/(kg ºC) c_{vapor} = 2020 J/(kg ºC)
$L_{fusão\ do\ gelo}$ = 33,5.10⁴ J/kg $L_{vaporização\ da\ água}$ = 22,6.10⁵ J/kg



Determine a quantidade de calor necessária para converter totalmente 10g de gelo a -20ºC em vapor de água a 100ºC.

c_{gelo} = 2220 J/(kg ºC) $c_{água}$ = 4186 J/(kg ºC) c_{vapor} = 2020 J/(kg ºC)

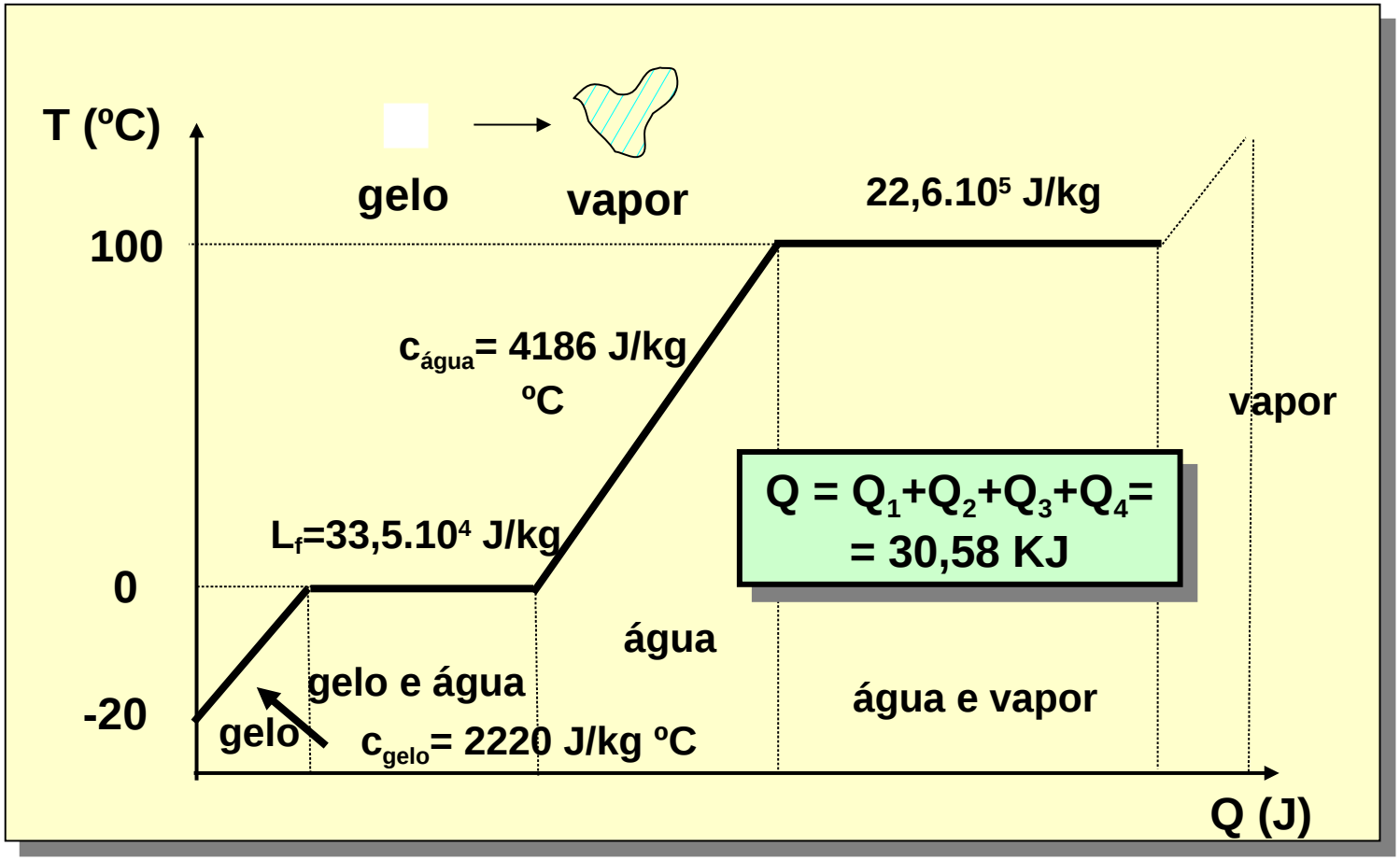
$L_{fusão\ do\ gelo}$ = $33{,}5.10^4$ J/kg $L_{vaporização\ da\ água}$ = $22{,}6.10^5$ J/kg



Determine a quantidade de calor necessária para converter totalmente 10g de gelo a -20ºC em vapor de água a 100ºC.

c_{gelo} = 2220 J/(kg ºC) $c_{água}$ = 4186 J/(kg ºC) c_{vapor} = 2020 J/(kg ºC)

$L_{fusão\ do\ gelo}$ = $33{,}5.10^4$ J/kg $L_{vaporização\ da\ água}$ = $22{,}6.10^5$ J/kg



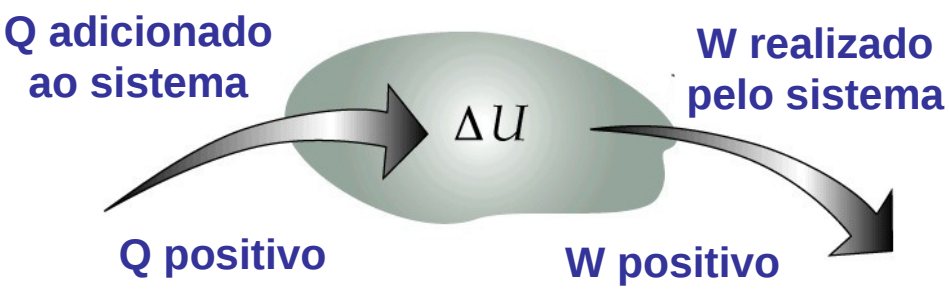
Primeira Lei da Termodinâmica

A energia total de qualquer sistema fechado é uma grandeza conservativa.

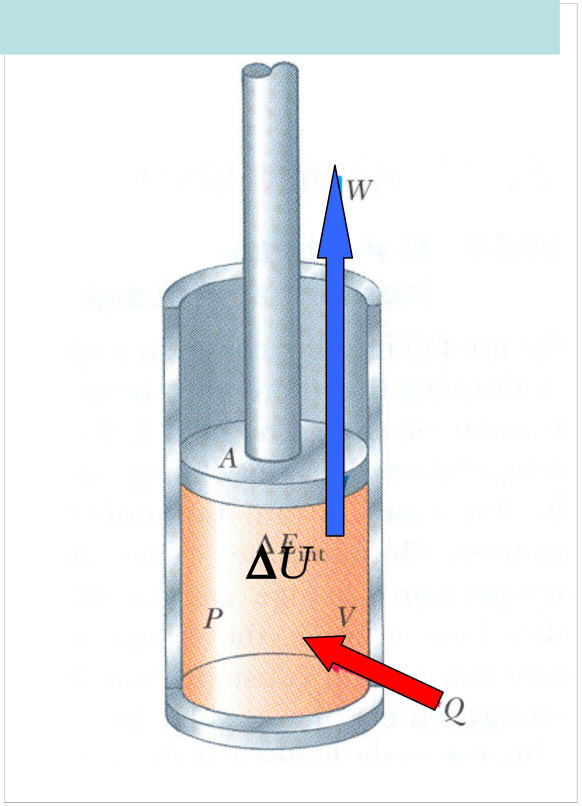
Um sistema fechado troca energia com o exterior através de:

- **realização de trabalho (W)**
- **fluxo de calor (Q)**

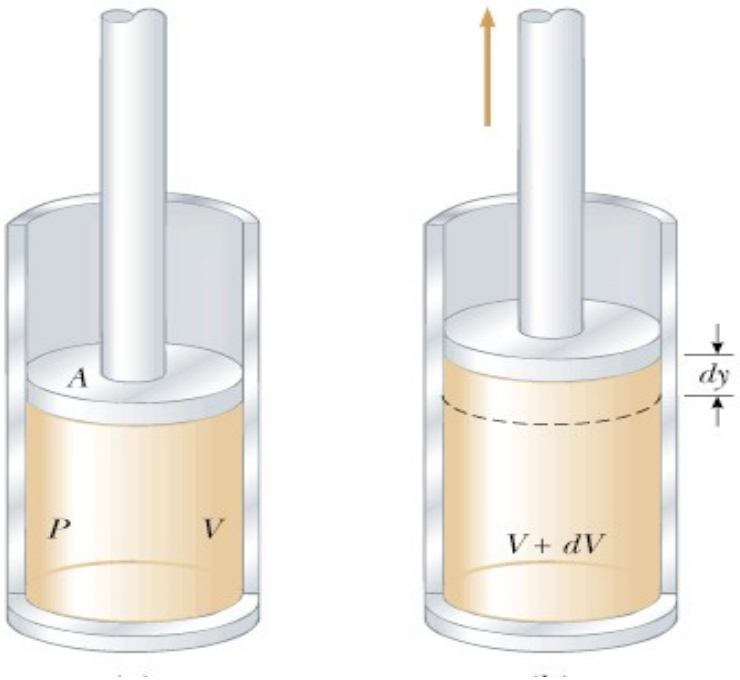
$$Q = dU + W$$



$$\Delta U = Q - W$$



Trabalho e diagramas PV para um gás

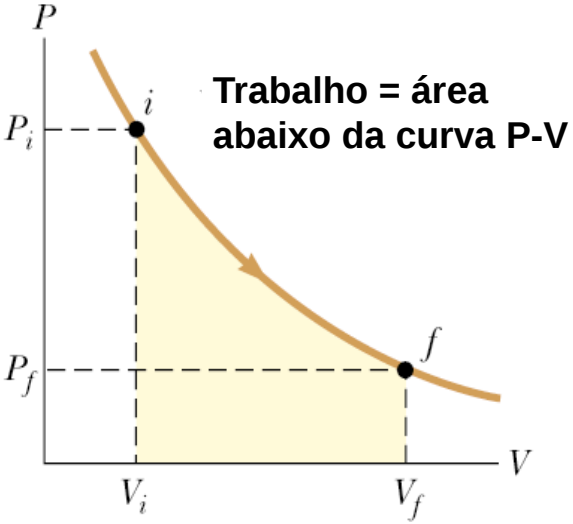


Trabalho realizado pelo gás ao expandir-se e mover o êmbolo:

$$dW = F\,dy$$
$$= PA\,dy \quad (A = \text{secção do êmbolo})$$
$$= P\,dV$$

Trabalho realizado pelo gás quando o seu volume varia de V_i para V_f :

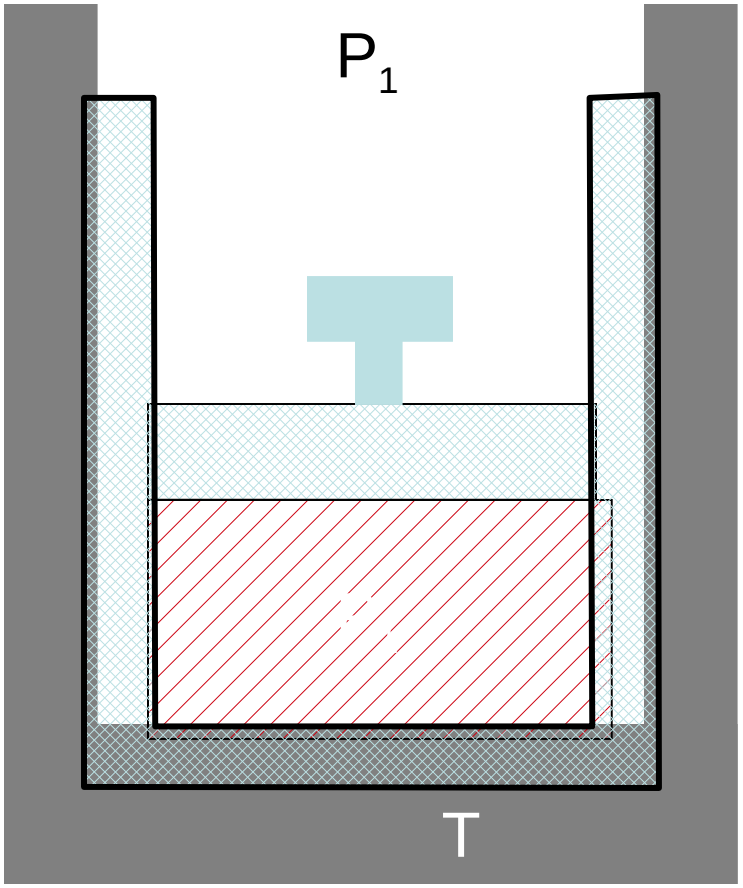
$$W = \int_{V_i}^{V_f} P\,dV$$

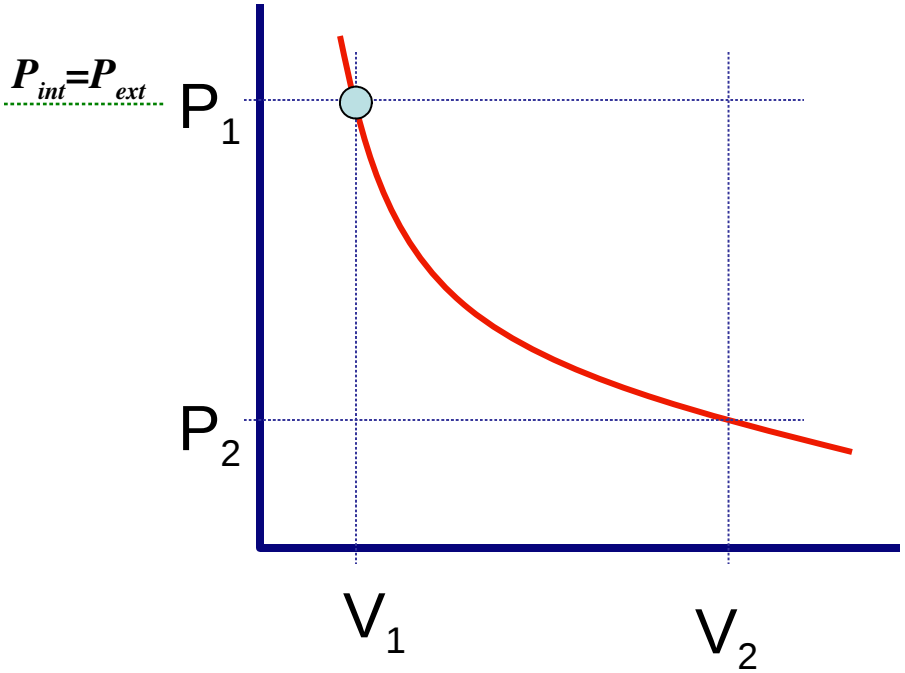


simulação

Processos reversíveis

Exemplo: expansão lenta mantendo a temperatura constante:

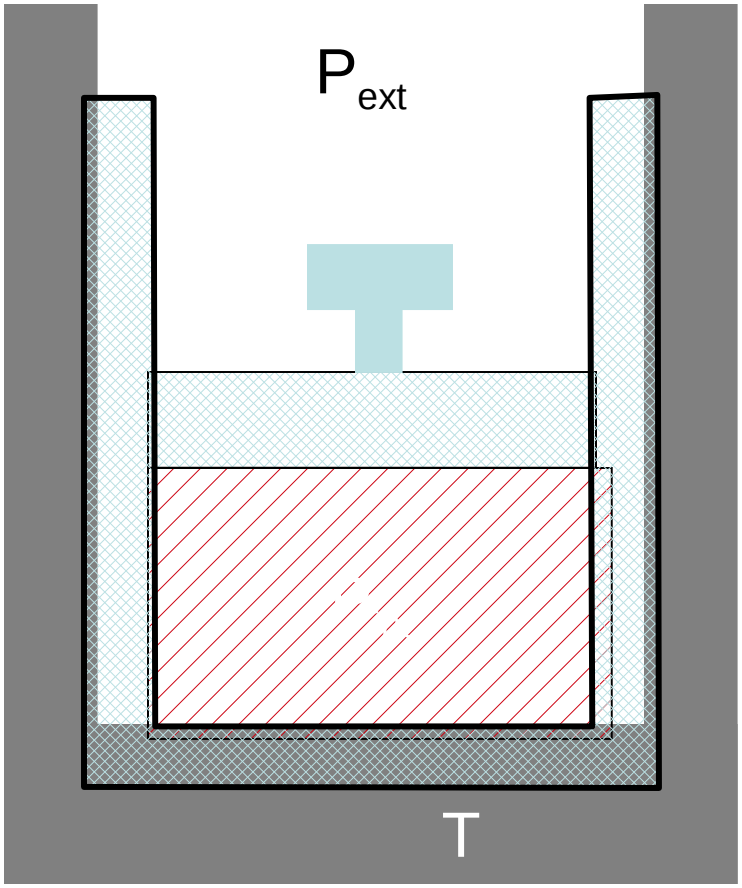


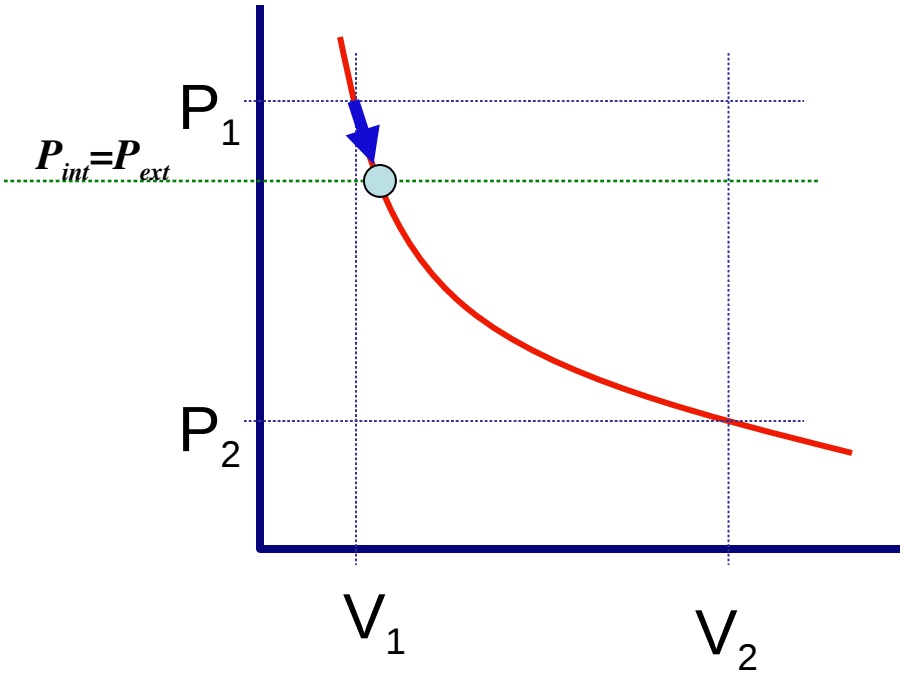


Admita que a pressão exterior varia muito lentamente de P1 para P2, de modo que a pressão interior é sempre igual à exterior (processo infinitamente lento)

Processos reversíveis

Exemplo: expansão lenta mantendo a temperatura constante:

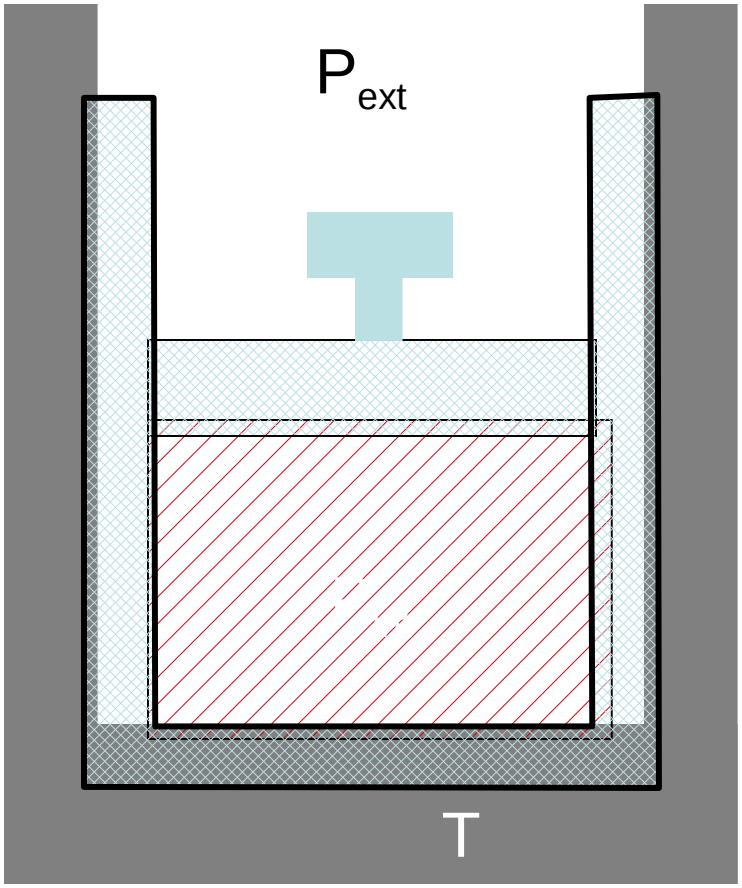


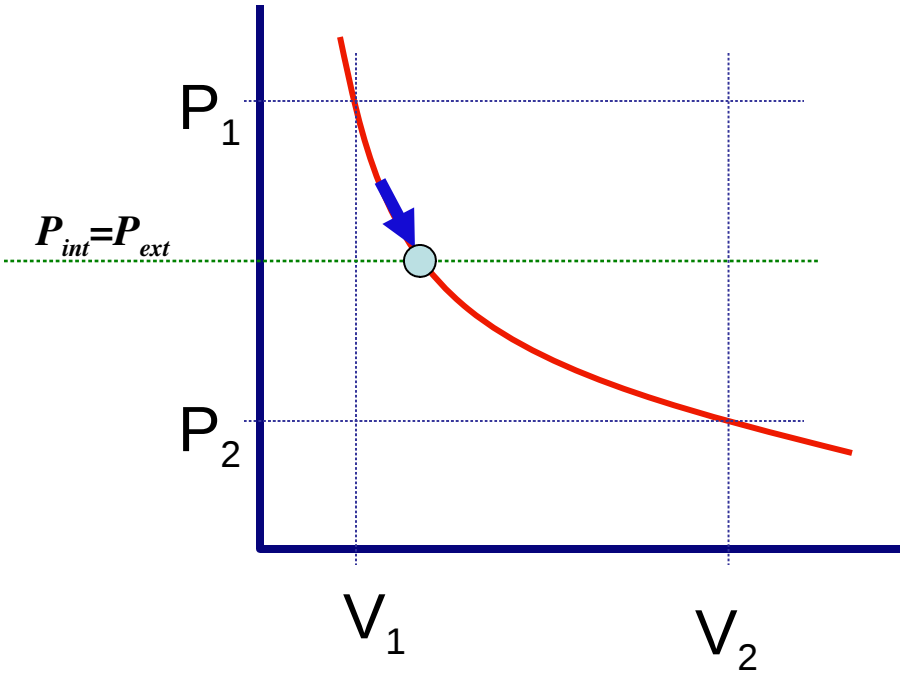


Admita que a pressão exterior varia muito lentamente de P1 para P2, de modo que a pressão interior é sempre igual à exterior (processo infinitamente lento)

Processos reversíveis

Exemplo: expansão lenta mantendo a temperatura constante:

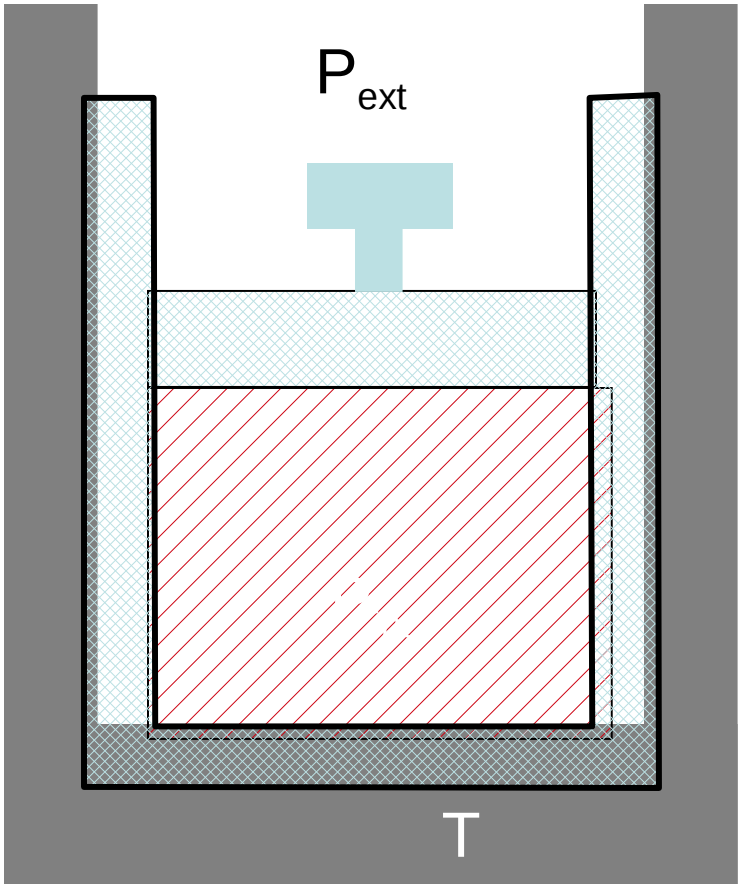


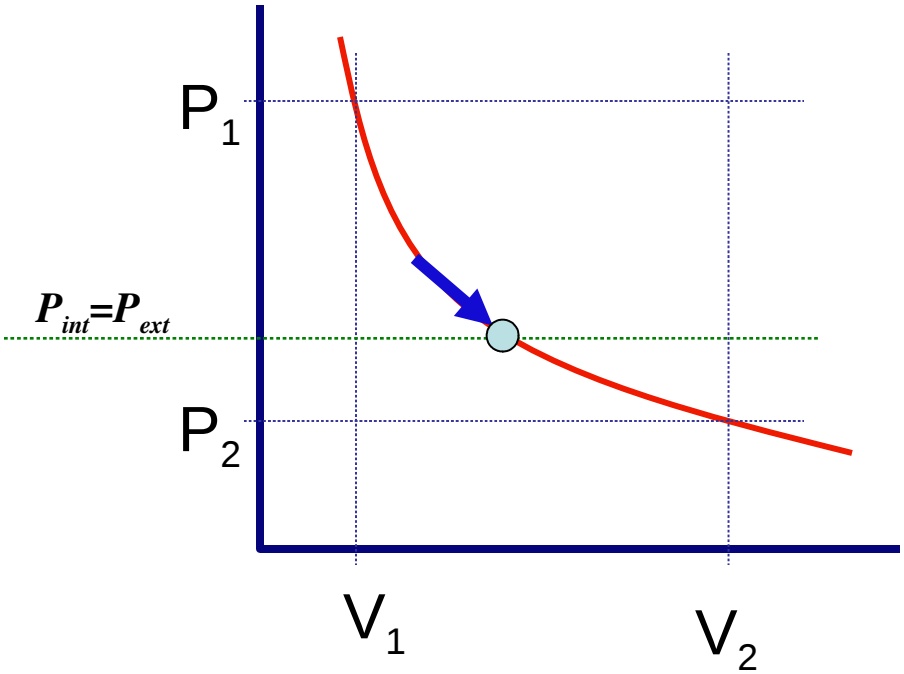


Admita que a pressão exterior varia muito lentamente de P1 para P2, de modo que a pressão interior é sempre igual à exterior (processo infinitamente lento)

Processos reversíveis

Exemplo: expansão lenta mantendo a temperatura constante:

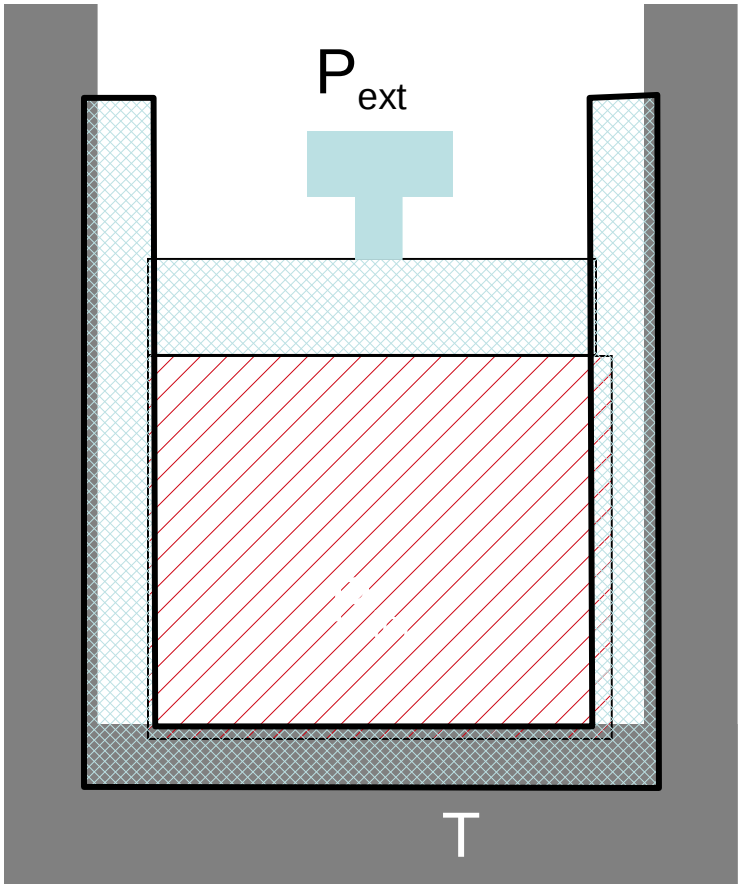


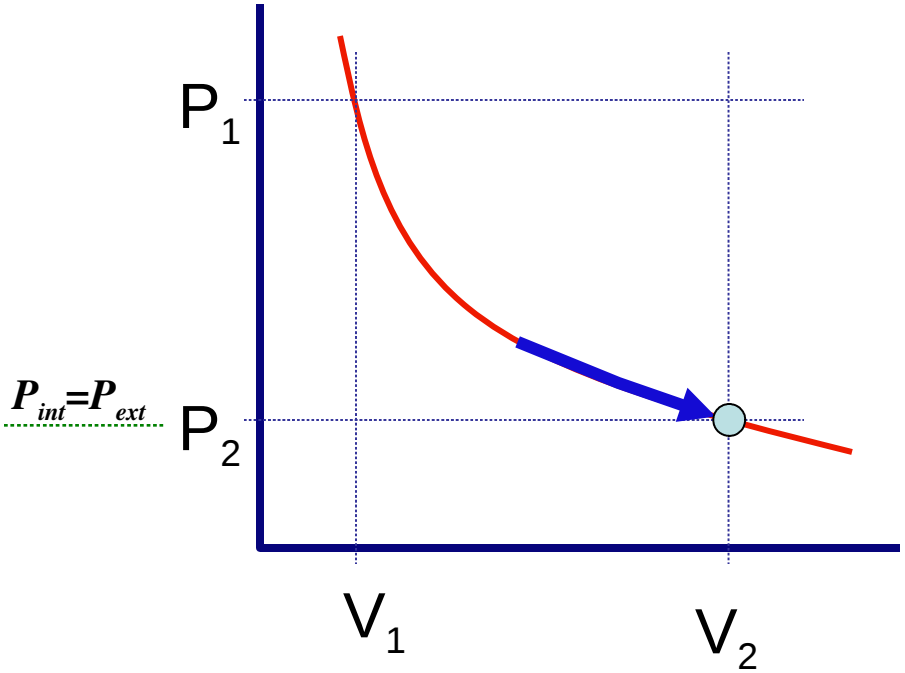


Admita que a pressão exterior varia muito lentamente de P1 para P2, de modo que a pressão interior é sempre igual à exterior (processo infinitamente lento)

Processos reversíveis

Exemplo: expansão lenta mantendo a temperatura constante:

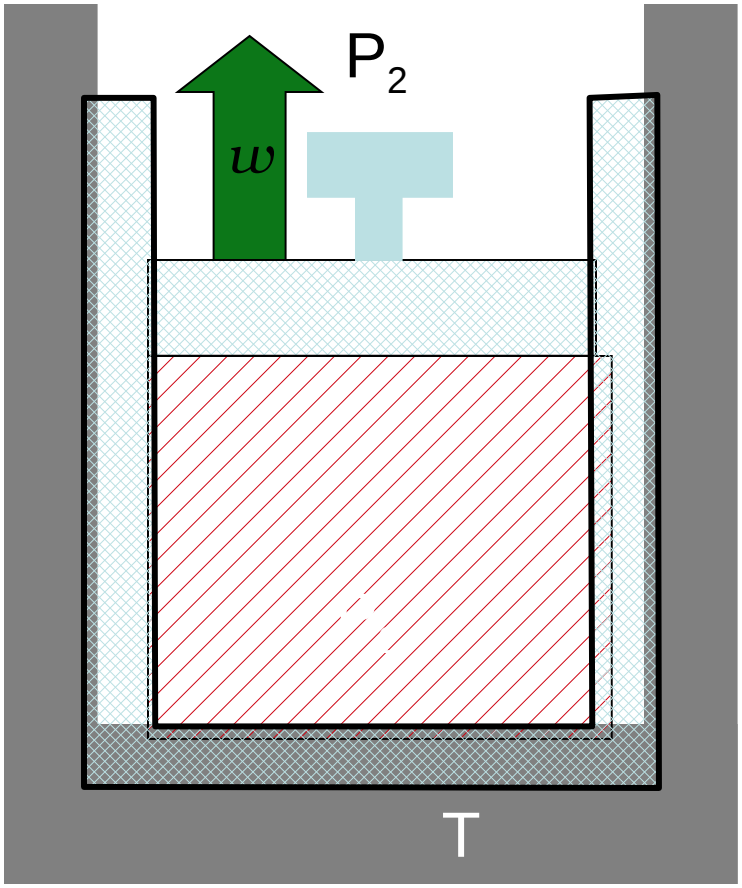


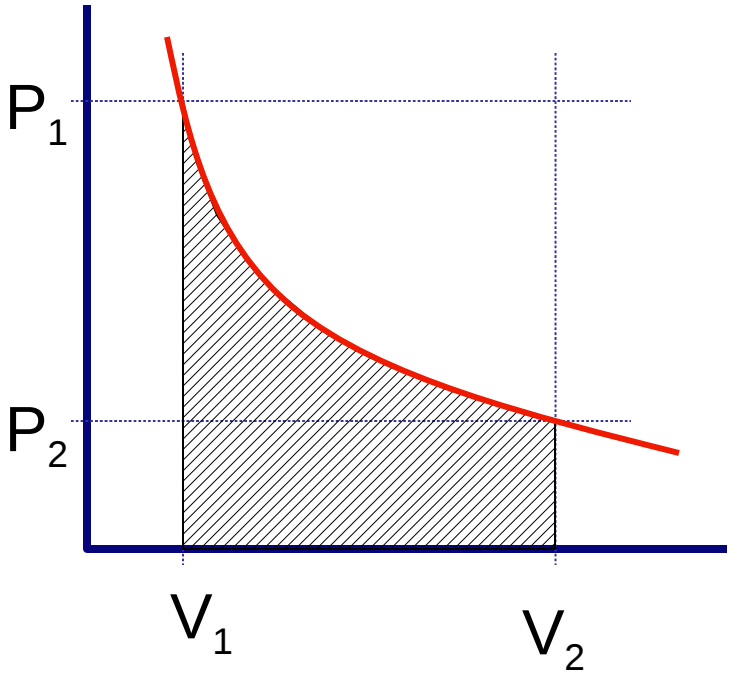


Admita que a pressão exterior varia muito lentamente de P1 para P2, de modo que a pressão interior é sempre igual à exterior (processo infinitamente lento)

Processos reversíveis

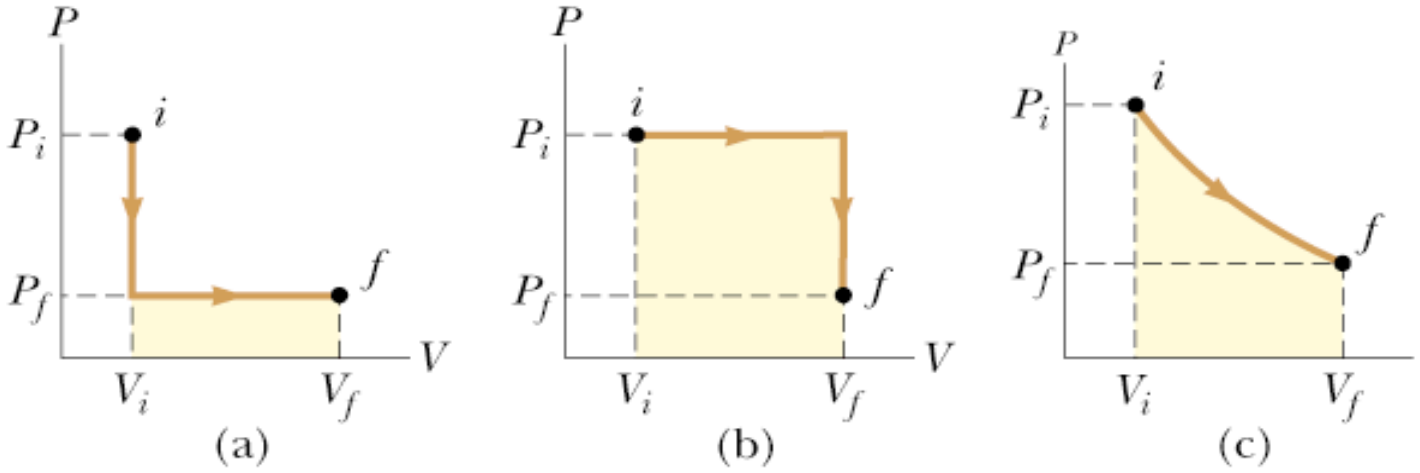
Exemplo: expansão lenta mantendo a temperatura constante:





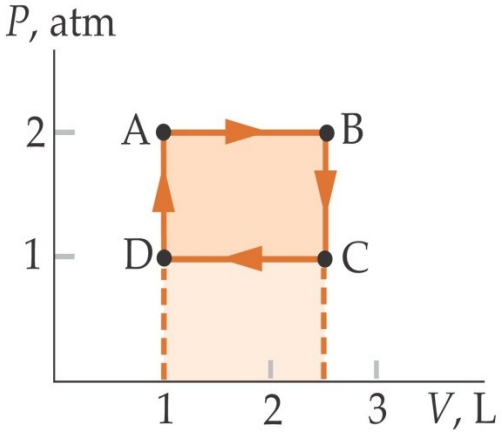
O trabalho realizado pelo gás pode ser calculado a partir da área definida pela curva P-V.

O trabalho realizado depende do *caminho* percorrido (transformação):

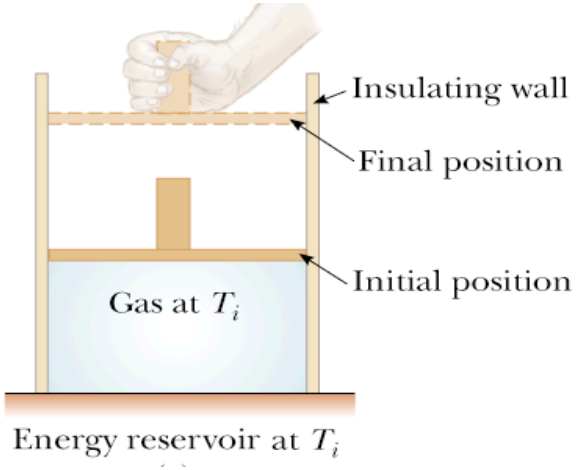


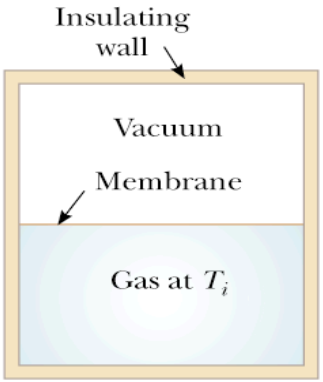
simulação

Num processo cíclico, o trabalho é dado pela área no interior da curva que representa o ciclo em coordenadas (*P*,*V*):



A energia transferida por calor para levar um sistema dum estado inicial *i* para um estado final *f* também depende do processo utilizado. Consideremos o estado inicial (V, P, T_i) e o estado final ($2V$, $P/2$, T_i) :





A força no pistão é reduzida lentamente, de modo a manter a temperatura constante. Durante o processo, o gás realizou trabalho.

A membrana é partida, de modo a permitir uma expansão rápida do gás. O gás não realizou trabalho nem houve transferência de calor.