



4300159 – Física do Calor

Primeira Lei da Termodinâmica

Trabalho em Processos Quase-Estáticos

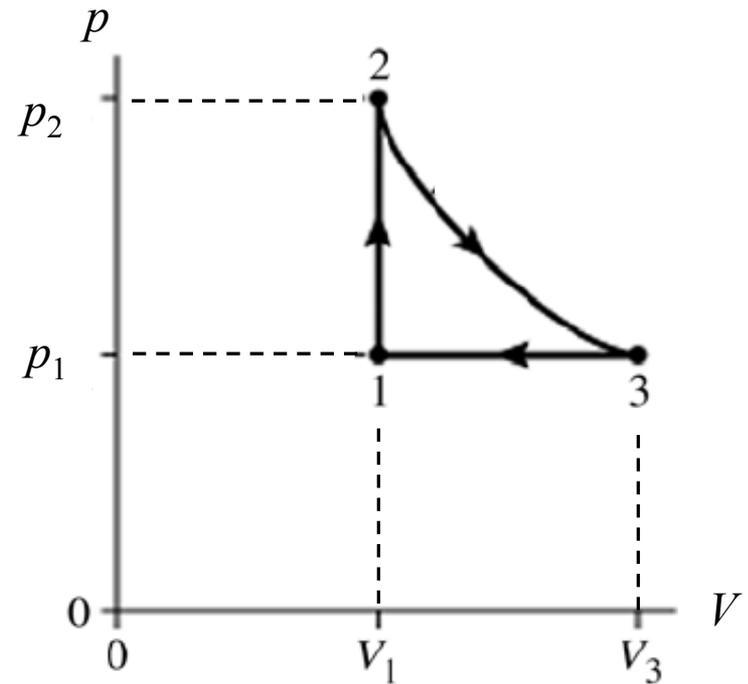
– Trabalho realizado pelo gás em um processo quase-estático:

$$dW_{\text{pelo}} = +PdV$$

– **Definição:** *Ciclo Termodinâmico* ou *Processo Cíclico* é um processo no qual os estados inicial e final são os mesmos. Por exemplo, o processo $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ na figura ao lado é cíclico.

– **Questão:** o trabalho W realizado pelo gás no ciclo $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ é tal que:

- (a) $W > 0$.
- (b) $W = 0$.
- (c) $W < 0$.



– Por definição:
$$W = \int_{\text{ciclo}} pdV = \underbrace{\int_{12} pdV}_{W_{12}} + \underbrace{\int_{23} pdV}_{W_{23}} + \underbrace{\int_{31} pdV}_{W_{31}}$$

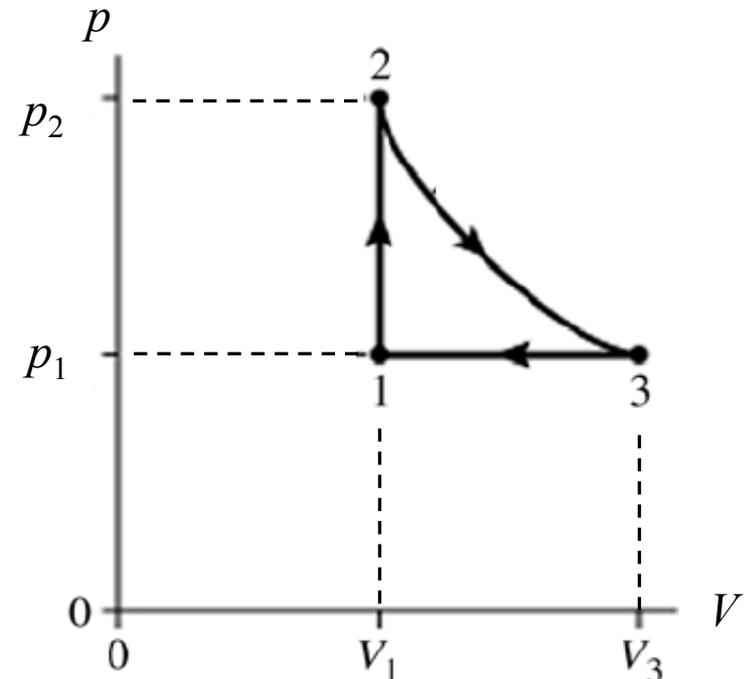
– Processo 1 → 2 isobárico ($dV = 0$ sobre todo o caminho): $W_{12} = 0$.

– $W_{23} > 0$ ($dV > 0$ em todo o caminho) e $W_{31} < 0$ ($dV < 0$ em todo o caminho).

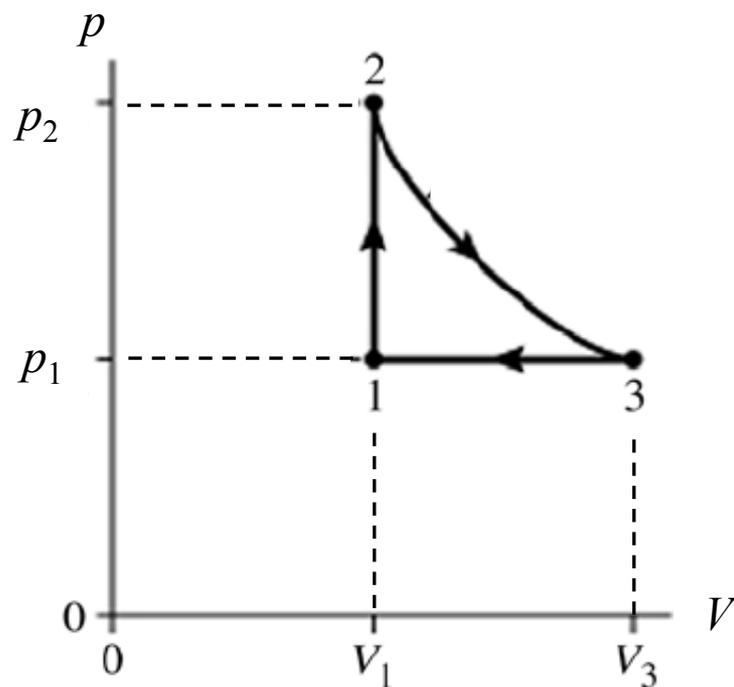
– A área A_{23} sob a curva 2 → 3 é maior que a área A_{31} sob a curva 3 → 1. Assim:

$$\begin{aligned} W &= W_{12} + W_{23} + W_{31} \\ &= 0 + A_{23} - A_{31} > 0 \end{aligned}$$

- (a) $W > 0$.
- (b) $W = 0$.
- (c) $W < 0$.



– **Problema:** Considere o trabalho W realizado por um mol de gás no ciclo $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ mostrado na figura abaixo, onde $2 \rightarrow 3$ é um processo isotérmico e $V_3 = 2V_1$. Obtenha uma expressão para W em termos de p_1 e V_1 (estado inicial), admitindo que



– Como discutido na questão anterior,

$$\begin{aligned} W &= W_{12} + W_{23} + W_{31} \\ &= 0 + W_{23} + W_{31} \end{aligned}$$

– Utilizando a definição de trabalho, e a equação de estado ($n = 1$ mol), teremos, para o processo isotérmico:

$$W_{23} = \int_{23} p dV = \int_{V_2}^{V_3} RT_2 \frac{dV}{V} = RT_2 \ln(2) = p_2 V_2 \ln(2)$$

– N processo isobárico, $p_1 = p_3$ e $V_3 = 2V_1$:

$$W_{31} = \int_{31} p dV = p_3 \int_{V_3}^{V_1} dV = -p_1 V_1$$

– Uma vez que $(p_2 V_2) = (p_3 V_3) = (2p_1 V_1)$ na isoterma, teremos:

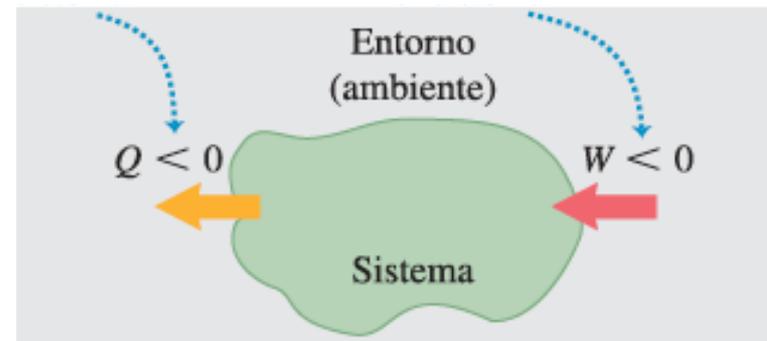
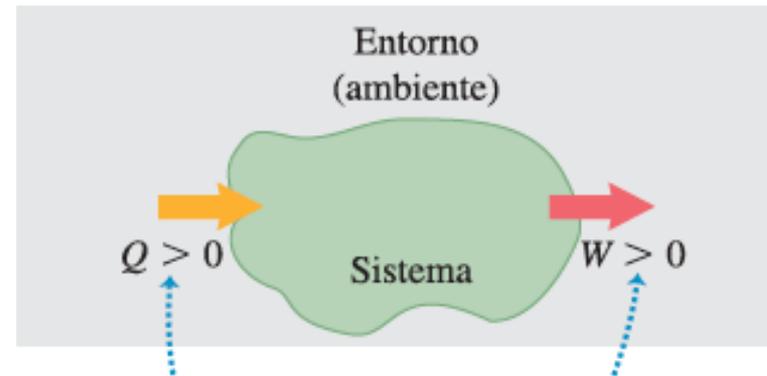
$$W = 2 \ln(2) p_1 V_1 - p_1 V_1 = 0.386 p_1 V_1$$

Primeira Lei da Termodinâmica

– Consideraremos um sistema (não necessariamente um gás!) que troca energia com o entorno mecanicamente (trabalho) e/ou termicamente (calor).

– Nas trocas mecânicas, convencionaremos utilizar o trabalho realizado *pele sistema sobre o entorno*.

– A convenção para o calor continua a mesma: positivo quando a energia transita, por diferença de temperatura, *do entorno para o sistema*.



Primeira Lei da Termodinâmica

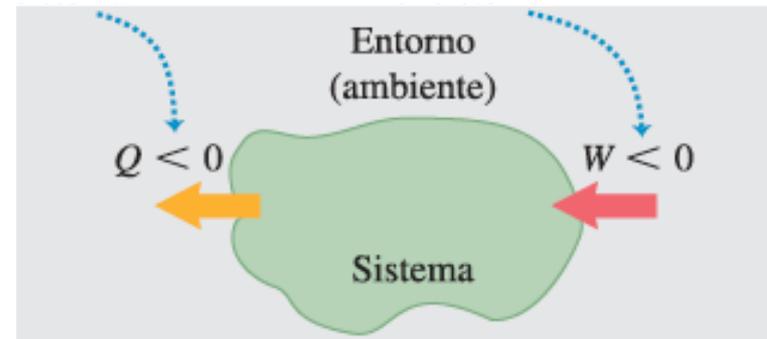
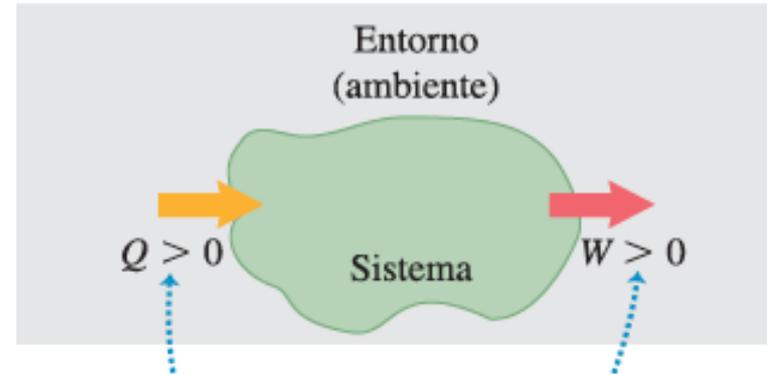
– A Primeira Lei da Termodinâmica manifesta o Princípio de Conservação da Energia aplicado ao sistema:

$$dU = dQ - dW$$

– Perceba que a definição acima é consistente com a Conservação:

i) $dQ > 0$ (energia transitando para o sistema) implica $dU > 0$ (aumento da energia interna do sistema).

ii) $dW > 0$ (energia transitando para o entorno) implica $dU < 0$ (diminuição da energia interna do sistema).



Primeira Lei da Termodinâmica

– Perceba, porém, que as convenções e definição da Primeira Lei não são únicas.

– Por exemplo, a convenção para o trabalho coincide com a definição da aula anterior de trabalho realizado *pelo* sistema. Caso convencionássemos utilizar o trabalho realizado *sobre* o sistema, escreveríamos a Primeira Lei com o sinal trocado:

$$dW_{\text{pelo}} = -dW_{\text{sobre}}$$

$$dU = dQ - dW_{\text{pelo}} = dQ + dW_{\text{sobre}}$$

– As duas formas de escrever a Primeira Lei são equivalentes (basta ser coerente com as convenções utilizadas). Na Disciplina, convencionaremos o trabalho realizado pelo sistema, como no slide anterior.

– Porém, é importante entender a arbitrariedade das convenções, como também é importante perguntar-se: qual lhe parece o melhor conjunto de convenções? Por que?

Energia Interna do Gás Ideal

– Na maioria das vezes, o sistema de interesse será um gás ideal, cuja energia interna é função exclusivamente da temperatura (para N fixo):

$$U(T) = Nc_V T = nC_V T$$

$$dU = Nc_V dT = nC_V dT$$

Questão) Em um dado processo de expansão, o volume de um gás dobra, enquanto sua temperatura é mantida constante. Nessa situação:

- (a) O gás cede calor ao entorno.
- (b) O entorno cede calor ao gás.
- (c) O trabalho realizado pelo gás é positivo.
- (d) O trabalho realizado sobre o gás é positivo.
- (e) A energia interna do gás aumenta.
- (f) A energia interna do gás diminui.
- (g) A energia interna do gás permanece constante.

- (a) O gás cede calor ao entorno.
- (b) O entorno cede calor ao gás.
- (c) O trabalho realizado pelo gás é positivo.
- (d) O trabalho realizado sobre o gás é positivo.
- (e) A energia interna do gás aumenta.
- (f) A energia interna do gás diminui.
- (g) A energia interna do gás permanece constante.

$$W = \int_{V_i}^{V_f} p dV > 0 \quad (\text{expansão, } dV > 0 \text{ em todo o processo; é utilizada a convenção } W = W_{\text{pelo}})$$

$$T = \text{const.} \Rightarrow \Delta U = 0$$

$$\Delta U = Q - W \Rightarrow Q = W > 0$$