# A.03.03 – Balanço de Energia

## (Sistemas Fechados)

Prof. C. Naaktgeboren, PhD



https://github.com/CNThermSci/ApplThermSci

Compiled on 2020-04-10 16h38m29s

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

1 Balanço de Energia
- Primeira Lei da Termodinâmica
- Balanço de Energia

2 Tópicos de Leitura

# Enunciado

A 1ª lei da Termodinâmica estabelece que:

- Energia é uma quantidade conservada.

# Enunciado

A 1ª lei da Termodinâmica estabelece que:

- Energia é uma quantidade conservada.

Este princípio da conservação da energia:

- É exaustivamente confirmado em experimentos.

# Algumas Implicações

Logo, no universo observável:

- Não há processos físicos que criem energia,

# Algumas Implicações

Logo, no universo observável:

- Não há processos físicos que criem energia,
- Nem processos físicos que destruam energia.

# Algumas Implicações

Logo, no universo observável:

- Não há processos físicos que criem energia,
- Nem processos físicos que destruam energia.
- Processos físicos podem apenas converter energia de uma forma a outra.

# Algumas Implicações

Logo, no universo observável:

- Não há processos físicos que criem energia,
- Nem processos físicos que destruam energia.
- Processos físicos podem apenas converter energia de uma forma a outra.

A Relatividade Especial de Einstein:

- Unificou as conservações de massa e de energia;

# Algumas Implicações

Logo, no universo observável:

- Não há processos físicos que criem energia,
- Nem processos físicos que destruam energia.
- Processos físicos podem apenas converter energia de uma forma a outra.

A Relatividade Especial de Einstein:

- Unificou as conservações de massa e de energia;
- Através da equivalência massa-energia expressa por $E_{eq} = c^2 m$.

# Algumas Implicações

Logo, no universo observável:

- Não há processos físicos que criem energia,
- Nem processos físicos que destruam energia.
- Processos físicos podem apenas converter energia de uma forma a outra.

A Relatividade Especial de Einstein:

- Unificou as conservações de massa e de energia;
- Através da equivalência massa-energia expressa por $E_{eq} = c^2 m$.
- Assim, a quantidade $E_{tot} = c^2 m + E_{outras}$ do universo é conservada.

# Aplicações

A 1ª lei é central em Termodinâmica.
Suas aplicações são vastas e incluem:

- Princípio em variedade de deduções;

# Aplicações

A 1ª lei é central em Termodinâmica.
Suas aplicações são vastas e incluem:

- Princípio em variedade de deduções;
- Instrumental na definição de propriedades.

# Aplicações

A 1ª lei é central em Termodinâmica.
Suas aplicações são vastas e incluem:

- Princípio em variedade de deduções;
- Instrumental na definição de propriedades.
- Cálculos de processos energéticos.

# Aplicações

A $1^{a}$ lei é central em Termodinâmica.
Suas aplicações são vastas e incluem:

- Princípio em variedade de deduções;
- Instrumental na definição de propriedades.
- Cálculos de processos energéticos.

Exemplo: O que é, afinal, "energia"?

# Aplicações

A 1ª lei é central em Termodinâmica.
Suas aplicações são vastas e incluem:

- Princípio em variedade de deduções;
- Instrumental na definição de propriedades.
- Cálculos de processos energéticos.

Exemplo: O que é, afinal, "energia"?

— Jack P. Holman (SMU)

# Aplicações

A 1ª lei é central em Termodinâmica.
Suas aplicações são vastas e incluem:

- Princípio em variedade de deduções;
- Instrumental na definição de propriedades.
- Cálculos de processos energéticos.

Exemplo: O que é, afinal, "energia"?

- "Energia é uma quantidade (escalar)

— Jack P. Holman (SMU)

# Aplicações

A 1ª lei é central em Termodinâmica.
Suas aplicações são vastas e incluem:

- Princípio em variedade de deduções;
- Instrumental na definição de propriedades.
- Cálculos de processos energéticos.

Exemplo: O que é, afinal, "energia"?

- "Energia é uma quantidade (escalar)
- que é conservada na natureza

— Jack P. Holman (SMU)

# Aplicações

A 1ª lei é central em Termodinâmica.
Suas aplicações são vastas e incluem:

- Princípio em variedade de deduções;
- Instrumental na definição de propriedades.
- Cálculos de processos energéticos.

Exemplo: O que é, afinal, "energia"?

- "Energia é uma quantidade (escalar)
- que é conservada na natureza
- e que possui unidades de $\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2/\mathrm{s}^2$."

— Jack P. Holman (SMU)

# Balanço de Energia

A 1ª lei é matematicamente expressa por meio de balanço de energia.

# Balanço de Energia

A 1ª lei é matematicamente expressa por meio de balanço de energia.

Em um processo, o balanço de energia é dado por:

# Balanço de Energia

A 1ª lei é matematicamente expressa por meio de balanço de energia.

Em um processo, o balanço de energia é dado por:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Total de energia que} \\ \text{entra no sistema} \end{array} \right) -$$

# Balanço de Energia

A 1ª lei é matematicamente expressa por meio de balanço de energia.

Em um processo, o balanço de energia é dado por:

$$\left(\begin{array}{c}\text{Total de energia que}\\ \text{entra no sistema}\end{array}\right)-\left(\begin{array}{c}\text{Total de energia}\\ \text{que sai do sistema}\end{array}\right)=$$

# Balanço de Energia

A 1ª lei é matematicamente expressa por meio de balanço de energia.

Em um processo, o balanço de energia é dado por:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Total de energia que} \\ \text{entra no sistema} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{Total de energia} \\ \text{que sai do sistema} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Variação líquida de} \\ \text{energia no sistema} \end{array} \right),$$

# Balanço de Energia

A 1ª lei é matematicamente expressa por meio de balanço de energia.

Em um processo, o balanço de energia é dado por:

$$\begin{pmatrix} \text{Total de energia que} \\ \text{entra no sistema} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \text{Total de energia} \\ \text{que sai do sistema} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Variação líquida de} \\ \text{energia no sistema} \end{pmatrix},$$

que matematicamente se escreve:

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1, \quad \text{para um processo 1–2.}$$

# Balanço de Energia

A 1ª lei é matematicamente expressa por meio de balanço de energia.

Em um processo, o balanço de energia é dado por:

$$\left(\begin{array}{c}\text{Total de energia que}\\\text{entra no sistema}\end{array}\right) - \left(\begin{array}{c}\text{Total de energia}\\\text{que sai do sistema}\end{array}\right) = \left(\begin{array}{c}\text{Variação líquida de}\\\text{energia no sistema}\end{array}\right),$$

que matematicamente se escreve:

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1, \quad \text{para um processo 1–2.}$$

Assim, se $E_1$, $E_{ent}$ e $E_{sai}$ são conhecidos, então: $E_2 = E_1 + E_{ent} - E_{sai}$.

# Balanço de Energia – Formas

Processo

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1$$

# Balanço de Energia – Formas

Processo $\xrightarrow{d()}$

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \quad \xrightarrow{d()}$$

# Balanço de Energia – Formas

$$\text{Processo} \xrightarrow{d()} \text{Diferencial}$$

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \xrightarrow{d()} \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist}$$

# Balanço de Energia – Formas

$$\text{Processo} \quad \xrightarrow{d()} \quad \text{Diferencial} \quad \xrightarrow{/dt}$$

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \quad \xrightarrow{d()} \quad \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} \quad \xrightarrow{/dt}$$

# Balanço de Energia – Formas

$$\text{Processo} \xrightarrow{d()} \text{Diferencial} \xrightarrow{/dt} \text{Taxa}$$

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \xrightarrow{d()} \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} \xrightarrow{/dt} \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left.\frac{dE}{dt}\right|_{sist}$$

# Balanço de Energia – Formas

$$\text{Processo} \xrightarrow{d()} \text{Diferencial} \xrightarrow{/dt} \text{Taxa}$$

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \xrightarrow{d()} \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} \xrightarrow{/dt} \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left.\frac{dE}{dt}\right|_{sist}$$

(int.) $\downarrow \div m$

# Balanço de Energia – Formas

| Processo | $\xrightarrow{d()}$ | Diferencial | $\xrightarrow{/dt}$ | Taxa |
|---|---|---|---|---|
| $E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1$ | $\xrightarrow{d()}$ | $\delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist}$ | $\xrightarrow{/dt}$ | $\dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left.\dfrac{dE}{dt}\right\rvert_{sist}$ |

(int.) $\quad \downarrow \div m$

$$e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1$$

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CN Θ Sci

# Balanço de Energia – Formas

$$
\begin{array}{ccccc}
\text{Processo} & \xrightarrow{d()} & \text{Diferencial} & \xrightarrow{/dt} & \text{Taxa} \\
E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 & \xrightarrow{d()} & \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} & \xrightarrow{/dt} & \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left.\dfrac{dE}{dt}\right|_{sist} \\
\text{(int.)} \quad \downarrow \div m & & \downarrow \div m & & \\
e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1 & \xrightarrow{d()} & & &
\end{array}
$$

# Balanço de Energia – Formas

$$\text{Processo} \quad \xrightarrow{d()} \quad \text{Diferencial} \quad \xrightarrow{/dt} \quad \text{Taxa}$$

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \quad \xrightarrow{d()} \quad \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} \quad \xrightarrow{/dt} \quad \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left.\frac{dE}{dt}\right|_{sist}$$

$$\text{(int.)} \qquad \downarrow \div m \qquad\qquad \downarrow \div m$$

$$e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1 \quad \xrightarrow{d()} \quad \delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist}$$

# Balanço de Energia – Formas

$$\text{Processo} \xrightarrow{d()} \text{Diferencial} \xrightarrow{/dt} \text{Taxa}$$

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \xrightarrow{d()} \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} \xrightarrow{/dt} \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left.\frac{dE}{dt}\right|_{sist}$$

(int.) $\downarrow \div m$ $\quad\downarrow \div m$ $\quad\downarrow \div m$

$$e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1 \xrightarrow{d()} \delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \xrightarrow{/dt}$$

# Balanço de Energia – Formas

| Processo | $\xrightarrow{d()}$ | Diferencial | $\xrightarrow{/dt}$ | Taxa |
|---|---|---|---|---|
| $E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1$ | $\xrightarrow{d()}$ | $\delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist}$ | $\xrightarrow{/dt}$ | $\dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left.\frac{dE}{dt}\right\rvert_{sist}$ |
| (int.) $\downarrow \div m$ | | $\downarrow \div m$ | | $\downarrow \div m$ |
| $e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1$ | $\xrightarrow{d()}$ | $\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist}$ | $\xrightarrow{/dt}$ | $\dot{e}_{ent} - \dot{e}_{sai} = \left.\frac{de}{dt}\right\rvert_{sist}$ |

# Balanço de Energia – Formas

$$\begin{array}{ccccc}
\text{Processo} & \xrightarrow{d()} & \text{Diferencial} & \xrightarrow{/dt} & \text{Taxa} \\
E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 & \xrightarrow{d()} & \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} & \xrightarrow{/dt} & \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left.\dfrac{dE}{dt}\right|_{sist} \\
\text{(int.)} \quad \downarrow \div m & & \downarrow \div m & & \downarrow \div m \\
e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1 & \xrightarrow{d()} & \delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} & \xrightarrow{/dt} & \dot{e}_{ent} - \dot{e}_{sai} = \left.\dfrac{de}{dt}\right|_{sist}
\end{array}$$

# Balanço de Energia – $E_{ent}$, $E_{sai}$

Em sistemas compressíveis simples, $E_{ent}$ e $E_{sai}$ podem ser apenas nas formas de:

# Balanço de Energia – $E_{ent}$, $E_{sai}$

Em sistemas compressíveis simples, $E_{ent}$ e $E_{sai}$ podem ser apenas nas formas de:

1. calor e

# Balanço de Energia – $E_{ent}$, $E_{sai}$

Em sistemas compressíveis simples, $E_{ent}$ e $E_{sai}$ podem ser apenas nas formas de:

1. calor e
2. trabalho.

# Balanço de Energia – $E_{ent}$, $E_{sai}$

Em sistemas compressíveis simples, $E_{ent}$ e $E_{sai}$ podem ser apenas nas formas de:

1. calor e
2. trabalho.

Assim, no balanço de energia:

# Balanço de Energia – $E_{ent}$, $E_{sai}$

Em sistemas compressíveis simples, $E_{ent}$ e $E_{sai}$ podem ser apenas nas formas de:

1. calor e
2. trabalho.

Assim, no balanço de energia:

$$E_{ent} = Q_{ent} + W_{ent}, \qquad \text{e}$$

# Balanço de Energia – $E_{ent}$, $E_{sai}$

Em sistemas compressíveis simples, $E_{ent}$ e $E_{sai}$ podem ser apenas nas formas de:

1. calor e
2. trabalho.

Assim, no balanço de energia:

$$E_{ent} = Q_{ent} + W_{ent}, \qquad \text{e}$$

$$E_{sai} = Q_{sai} + W_{sai}.$$

# Balanço de Energia – $E_{sist}$

Em sistemas clássicos (pré-relativísticos) não reativos, $E_{sist} = E_{micro} + E_{macro}$:

# Balanço de Energia – $E_{sist}$

Em sistemas clássicos (pré-relativísticos) não reativos, $E_{sist} = E_{micro} + E_{macro}$:

1. $E_{micro} \equiv U_{sist}$, a energia interna, em kJ;

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

# Balanço de Energia – $E_{sist}$

Em sistemas clássicos (pré-relativísticos) não reativos, $E_{sist} = E_{micro} + E_{macro}$:

1. $E_{micro} \equiv U_{sist}$, a energia interna, em kJ;
2. $E_{macro} = E_c + E_p$, a soma das energias cinética, e potencial, em kJ, onde:

# Balanço de Energia – $E_{sist}$

Em sistemas clássicos (pré-relativísticos) não reativos, $E_{sist} = E_{micro} + E_{macro}$:

1. $E_{micro} \equiv U_{sist}$, a energia interna, em kJ;
2. $E_{macro} = E_c + E_p$, a soma das energias cinética, e potencial, em kJ, onde:
3. $E_c = me_c = m\mathbb{V}^2/2$, com $[\![\mathbb{V}]\!] = \sqrt{\text{kJ}/\text{kg}} = \sqrt{1000}\ \text{m}/\text{s} \approx 31,6\ \text{m}/\text{s} \approx 114\ \text{km}/\text{h}$, ou

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

# Balanço de Energia – $E_{sist}$

Em sistemas clássicos (pré-relativísticos) não reativos, $E_{sist} = E_{micro} + E_{macro}$:

1. $E_{micro} \equiv U_{sist}$, a energia interna, em kJ;
2. $E_{macro} = E_c + E_p$, a soma das energias cinética, e potencial, em kJ, onde:
3. $E_c = me_c = m\mathbb{V}^2/2$, com $[\![\mathbb{V}]\!] = \sqrt{\mathrm{kJ/kg}} = \sqrt{1000}\,\mathrm{m/s} \approx 31{,}6\,\mathrm{m/s} \approx 114\,\mathrm{km/h}$, ou
4. $E_c = me_c = m\mathbb{v}^2/2000$, com $[\![\mathbb{v}]\!] = \mathrm{m/s} = \sqrt{\mathrm{J/kg}}$;

# Balanço de Energia – $E_{sist}$

Em sistemas clássicos (pré-relativísticos) não reativos, $E_{sist} = E_{micro} + E_{macro}$:

1. $E_{micro} \equiv U_{sist}$, a energia interna, em kJ;
2. $E_{macro} = E_c + E_p$, a soma das energias cinética, e potencial, em kJ, onde:
3. $E_c = me_c = m\mathbb{V}^2/2$, com $[\![\mathbb{V}]\!] = \sqrt{\mathrm{kJ/kg}} = \sqrt{1000}\ \mathrm{m/s} \approx 31{,}6\ \mathrm{m/s} \approx 114\ \mathrm{km/h}$, ou
4. $E_c = me_c = m\mathbb{v}^2/2000$, com $[\![\mathbb{v}]\!] = \mathrm{m/s} = \sqrt{\mathrm{J/kg}}$;
5. $E_p = me_p = mg\mathbb{Z}$, com $[\![g]\!] = \mathrm{m/s^2}$, $[\![\mathbb{Z}]\!] = \mathrm{km}$ e $[\![g\mathbb{Z}]\!] = \mathrm{k(m/s)^2} = \mathrm{k(J/kg)}$, ou

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CN Θ Sci

# Balanço de Energia – $E_{sist}$

Em sistemas clássicos (pré-relativísticos) não reativos, $E_{sist} = E_{micro} + E_{macro}$:

1. $E_{micro} \equiv U_{sist}$, a energia interna, em kJ;
2. $E_{macro} = E_c + E_p$, a soma das energias cinética, e potencial, em kJ, onde:
3. $E_c = me_c = m\mathbb{V}^2/2$, com $[\![\mathbb{V}]\!] = \sqrt{\mathrm{kJ/kg}} = \sqrt{1000}\,\mathrm{m/s} \approx 31,6\,\mathrm{m/s} \approx 114\,\mathrm{km/h}$, ou
4. $E_c = me_c = m\mathbb{v}^2/2000$, com $[\![\mathbb{v}]\!] = \mathrm{m/s} = \sqrt{\mathrm{J/kg}}$;
5. $E_p = me_p = mg\mathbb{Z}$, com $[\![g]\!] = \mathrm{m/s^2}$, $[\![\mathbb{Z}]\!] = \mathrm{km}$ e $[\![g\mathbb{Z}]\!] = \mathrm{k(m/s)^2} = \mathrm{k(J/kg)}$, ou
6. $E_p = me_p = mg\mathbb{z}/1000$, com $[\![g]\!] = \mathrm{m/s^2}$ e $[\![\mathbb{z}]\!] = \mathrm{m}$.

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

# Balanço de Energia – Em Processo

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \rightarrow$$

# Balanço de Energia – Em Processo

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \rightharpoondown$$

$$(Q_{ent} + W_{ent}) - (Q_{sai} + W_{sai}) = \Delta E_{sist} = (U_2 + E_{c,2} + E_{p,2}) - (U_1 + E_{c,1} + E_{p,1}) \rightharpoondown$$

# Balanço de Energia – Em Processo

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \rightharpoondown$$

$$(Q_{ent} + W_{ent}) - (Q_{sai} + W_{sai}) = \Delta E_{sist} = (U_2 + E_{c,2} + E_{p,2}) - (U_1 + E_{c,1} + E_{p,1}) \rightharpoondown$$

$$(Q_{ent} - Q_{sai}) + (W_{ent} - W_{sai}) = \Delta E_{sist} = (U_2 - U_1) + (E_{c,2} - E_{c,1}) + (E_{p,2} - E_{p,1}) \rightharpoondown$$

# Balanço de Energia – Em Processo

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \rightharpoondown$$

$$(Q_{ent} + W_{ent}) - (Q_{sai} + W_{sai}) = \Delta E_{sist} = (U_2 + E_{c,2} + E_{p,2}) - (U_1 + E_{c,1} + E_{p,1}) \rightharpoondown$$

$$(Q_{ent} - Q_{sai}) + (W_{ent} - W_{sai}) = \Delta E_{sist} = (U_2 - U_1) + (E_{c,2} - E_{c,1}) + (E_{p,2} - E_{p,1}) \rightharpoondown$$

$$Q_{liq,ent} - W_{liq,sai} = \Delta U_{sist} + \Delta E_{c,sist} + \Delta E_{p,sist} \rightharpoondown$$

# Balanço de Energia – Em Processo

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \rightharpoondown$$

$$(Q_{ent} + W_{ent}) - (Q_{sai} + W_{sai}) = \Delta E_{sist} = (U_2 + E_{c,2} + E_{p,2}) - (U_1 + E_{c,1} + E_{p,1}) \rightharpoondown$$

$$(Q_{ent} - Q_{sai}) + (W_{ent} - W_{sai}) = \Delta E_{sist} = (U_2 - U_1) + (E_{c,2} - E_{c,1}) + (E_{p,2} - E_{p,1}) \rightharpoondown$$

$$Q_{liq,ent} - W_{liq,sai} = \Delta U_{sist} + \Delta E_{c,sist} + \Delta E_{p,sist} \rightharpoondown$$

$$Q_{liq,ent} - W_{liq,sai} = m\left[(u_2 - u_1) + (\mathbb{V}_2^2 - \mathbb{V}_1^2)/2 + g(\mathbb{Z}_2 - \mathbb{Z}_1)\right]. \qquad \text{(expl.)}$$

# Balanço de Energia – Em Processo

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \rightharpoondown$$

$$(Q_{ent} + W_{ent}) - (Q_{sai} + W_{sai}) = \Delta E_{sist} = (U_2 + E_{c,2} + E_{p,2}) - (U_1 + E_{c,1} + E_{p,1}) \rightharpoondown$$

$$(Q_{ent} - Q_{sai}) + (W_{ent} - W_{sai}) = \Delta E_{sist} = (U_2 - U_1) + (E_{c,2} - E_{c,1}) + (E_{p,2} - E_{p,1}) \rightharpoondown$$

$$Q_{liq,ent} - W_{liq,sai} = \Delta U_{sist} + \Delta E_{c,sist} + \Delta E_{p,sist} \rightharpoondown$$

$$Q_{liq,ent} - W_{liq,sai} = m\left[(u_2 - u_1) + (\mathbb{V}_2^2 - \mathbb{V}_1^2)/2 + g(\mathbb{Z}_2 - \mathbb{Z}_1)\right]. \qquad \text{(expl.)}$$

$$Q - W = m\left[(u_2 - u_1) + (\mathbb{V}_2^2 - \mathbb{V}_1^2)/2 + g(\mathbb{Z}_2 - \mathbb{Z}_1)\right]. \qquad \text{(impl.)}$$

# Balanço de Energia – Em Processo (cont.)

Negligenciando as variações das energias macroscópicas do sistema fechado:

- $\Delta e_c = 1\ \mathrm{kJ/kg}$ implica, p. ex.; em: $(\mathbb{V}_1; \mathbb{V}_2) = (0; \sqrt{2})\ \sqrt{\mathrm{kJ/kg}} \approx (0; 161)\ \mathrm{km/h}$;

# Balanço de Energia – Em Processo (cont.)

Negligenciando as variações das energias macroscópicas do sistema fechado:

- $\Delta e_c = 1\ \mathrm{kJ/kg}$ implica, p. ex.; em: $(\mathbb{V}_1; \mathbb{V}_2) = (0; \sqrt{2})\ \sqrt{\mathrm{kJ/kg}} \approx (0; 161)\ \mathrm{km/h}$;
- ...ou em: $(\mathbb{V}_1; \mathbb{V}_2) = \ldots \approx (110; 195)\ \mathrm{km/h}$;

# Balanço de Energia – Em Processo (cont.)

Negligenciando as variações das energias macroscópicas do sistema fechado:

- $\Delta e_c = 1\ \mathrm{kJ/kg}$ implica, p. ex.; em: $(\mathbb{V}_1; \mathbb{V}_2) = (0; \sqrt{2})\ \sqrt{\mathrm{kJ/kg}} \approx (0; 161)\ \mathrm{km/h}$;
- ...ou em: $(\mathbb{V}_1; \mathbb{V}_2) = \ldots \approx (110; 195)\ \mathrm{km/h}$;
- $\Delta e_p = 1\ \mathrm{kJ/kg}$ implica em: $\Delta\mathbb{Z} \approx 0,102\ \mathrm{km} = 102\ \mathrm{m}$ para $g = 9,81\ \mathrm{m/s^2}$.

# Balanço de Energia – Em Processo (cont.)

Negligenciando as variações das energias macroscópicas do sistema fechado:

- $\Delta e_c = 1\ \mathrm{kJ/kg}$ implica, p. ex.; em: $(\mathbb{V}_1; \mathbb{V}_2) = (0; \sqrt{2})\ \sqrt{\mathrm{kJ/kg}} \approx (0; 161)\ \mathrm{km/h}$;
- ...ou em: $(\mathbb{V}_1; \mathbb{V}_2) = \ldots \approx (110; 195)\ \mathrm{km/h}$;
- $\Delta e_p = 1\ \mathrm{kJ/kg}$ implica em: $\Delta \mathbb{Z} \approx 0,102\ \mathrm{km} = 102\ \mathrm{m}$ para $g = 9,81\ \mathrm{m/s^2}$.

Tais variações são específicas a certas aplicações. Assim:

# Balanço de Energia – Em Processo (cont.)

Negligenciando as variações das energias macroscópicas do sistema fechado:

- $\Delta e_c = 1\ \mathrm{kJ/kg}$ implica, p. ex.; em: $(\mathbb{V}_1;\mathbb{V}_2) = (0;\sqrt{2})\ \sqrt{\mathrm{kJ/kg}} \approx (0;161)\ \mathrm{km/h}$;
- ...ou em: $(\mathbb{V}_1;\mathbb{V}_2) = \ldots \approx (110;195)\ \mathrm{km/h}$;
- $\Delta e_p = 1\ \mathrm{kJ/kg}$ implica em: $\Delta\mathbb{Z} \approx 0,102\ \mathrm{km} = 102\ \mathrm{m}$ para $g = 9,81\ \mathrm{m/s^2}$.

Tais variações são específicas a certas aplicações. Assim:

$$Q_{liq,ent} - W_{liq,sai} = \Delta U_{sist} \qquad Q - W = \Delta U_{sist} \rightarrow$$

# Balanço de Energia – Em Processo (cont.)

Negligenciando as variações das energias macroscópicas do sistema fechado:

- $\Delta e_c = 1\ \mathrm{kJ/kg}$ implica, p. ex.; em: $(\mathbb{V}_1; \mathbb{V}_2) = (0; \sqrt{2})\ \sqrt{\mathrm{kJ/kg}} \approx (0; 161)\ \mathrm{km/h}$;
- ...ou em: $(\mathbb{V}_1; \mathbb{V}_2) = \ldots \approx (110; 195)\ \mathrm{km/h}$;
- $\Delta e_p = 1\ \mathrm{kJ/kg}$ implica em: $\Delta \mathbb{Z} \approx 0{,}102\ \mathrm{km} = 102\ \mathrm{m}$ para $g = 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$.

Tais variações são específicas a certas aplicações. Assim:

$$Q_{liq,ent} - W_{liq,sai} = \Delta U_{sist} \qquad Q - W = \Delta U_{sist} \rightharpoondown$$

$$Q_{liq,ent} - W_{liq,sai} = m(u_2 - u_1) \qquad Q - W = m(u_2 - u_1) \rightharpoondown$$

# Balanço de Energia – Em Processo (cont.)

Negligenciando as variações das energias macroscópicas do sistema fechado:

- $\Delta e_c = 1\ \mathrm{kJ/kg}$ implica, p. ex.; em: $(\mathbb{V}_1; \mathbb{V}_2) = (0; \sqrt{2})\ \sqrt{\mathrm{kJ/kg}} \approx (0; 161)\ \mathrm{km/h}$;
- ...ou em: $(\mathbb{V}_1; \mathbb{V}_2) = \ldots \approx (110; 195)\ \mathrm{km/h}$;
- $\Delta e_p = 1\ \mathrm{kJ/kg}$ implica em: $\Delta\mathbb{Z} \approx 0,102\ \mathrm{km} = 102\ \mathrm{m}$ para $g = 9,81\ \mathrm{m/s^2}$.

Tais variações são específicas a certas aplicações. Assim:

$$Q_{liq,ent} - W_{liq,sai} = \Delta U_{sist} \qquad Q - W = \Delta U_{sist} \rightharpoondown$$

$$Q_{liq,ent} - W_{liq,sai} = m(u_2 - u_1) \qquad Q - W = m(u_2 - u_1) \rightharpoondown$$

$$q_{liq,ent} - w_{liq,sai} = u_2 - u_1 \qquad q - w = u_2 - u_1 .$$

# Tópicos de Leitura I

Çengel, Y. A. e Boles, M. A.
*Termodinâmica* 7ª *Edição*. Seções 2-6 e 4-2.
AMGH. Porto Alegre. ISBN 978-85-8055-200-3.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Image by David Mark from pixabay.com