

## A.03.03 – Balanço de Energia (Sistemas Fechados)

Prof. C. Naaktgeboren, PhD



<https://github.com/CNThermSci/ApplThermSci>

Compiled on 2020-04-09 16h46m03s

## 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 exhaustivamente 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  $E_{eq} = c^2m$ .

# 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  $E_{eq} = c^2m$ .
- Assim, a quantidade  $E_{tot} = c^2m + E_{outras}$  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 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”?

# 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  $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$** .”

— 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:

# Balanco de Energia

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

Em um **processo**, o balanco 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:

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

# Balanco de Energia

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

Em um **processo**, o balanco 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:

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

que matematicamente se escreve:

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



# 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

processo  $\xrightarrow{d()}$  diferencial

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

# Balanço de Energia – Formas

processo  $\xrightarrow{d()}$  diferencial  $\xrightarrow{/dt}$

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

# Balanço de Energia – Formas

processo  $\xrightarrow{d()}$  diferencial  $\xrightarrow{/dt}$  taxa

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

# Balanço de Energia – Formas

processo  $\xrightarrow{d()}$  diferencial  $\xrightarrow{/dt}$  taxa

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

$\downarrow \div m$

# Balanço de Energia – Formas

processo  $\xrightarrow{d()}$  diferencial  $\xrightarrow{/dt}$  taxa

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

$\downarrow \div m$

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



# Balanço de Energia – Formas

processo  $\xrightarrow{d()}$  diferencial  $\xrightarrow{/dt}$  taxa

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

$\downarrow \div m$

$\downarrow \div m$

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

# Balanço de Energia – Formas

processo  $\xrightarrow{d()}$  diferencial  $\xrightarrow{/dt}$  taxa

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

$\downarrow \div m$

$\downarrow \div m$

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

# Balanço de Energia – Formas

processo  $\xrightarrow{d()}$  diferencial  $\xrightarrow{/dt}$  taxa

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

$\downarrow \div m$

$\downarrow \div m$

$\downarrow \div m$

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

# Balço de Energia – Formas

processo  $\xrightarrow{d()}$  diferencial  $\xrightarrow{/dt}$  taxa

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

$\downarrow \div m$

$\downarrow \div m$

$\downarrow \div m$

$$e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1 \xrightarrow{d()} \delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \xrightarrow{/dt} \dot{e}_{ent} - \dot{e}_{sai} = \left. \frac{de}{dt} \right|_{sist}$$

# Balço de Energia – Formas

processo  $\xrightarrow{d()}$  diferencial  $\xrightarrow{/dt}$  taxa

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

$\downarrow \div m$

$\downarrow \div m$

$\downarrow \div m$

$$e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1 \xrightarrow{d()} \delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \xrightarrow{/dt} \dot{e}_{ent} - \dot{e}_{sai} = \left. \frac{de}{dt} \right|_{sist}$$

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

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

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

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

① calor e

# Balço 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.



# Balanco 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:

# Balanco 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:

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

# Balanco 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:

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

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

Balanço de Energia –  $E_{sist}$  Em sistemas clássicos<sup>1</sup> não reativos,  $E_{sist}$  inclui as formas:

Balanco de Energia —  $E_{sist}$  Em sistemas clássicos<sup>1</sup> não reativos,  $E_{sist}$  inclui as formas:

- ① Microscópicas, agrupadas na **energia interna**,  $U_{sist}$ ,

Balanco de Energia —  $E_{sist}$  Em sistemas clássicos<sup>1</sup> não reativos,  $E_{sist}$  inclui as formas:

- ① Microscópicas, agrupadas na **energia interna**,  $U_{sist}$ , além das formas macroscópicas:

# Balanco de Energia — $E_{sist}$

Em sistemas clássicos<sup>1</sup> não reativos,  $E_{sist}$  inclui as formas:

- ① Microscópicas, agrupadas na **energia interna**,  $U_{sist}$ , além das formas macroscópicas:
- ② **Cinética**,  $E_c = m\mathbb{V}^2/2$ .
- ③ **trabalho**.
- ④ **trabalho**.
- ⑤ **trabalho**.

Assim, no balanço de energia:

# Balanco de Energia — $E_{sist}$

Em sistemas clássicos<sup>1</sup> não reativos,  $E_{sist}$  inclui as formas:

- ① Microscópicas, agrupadas na **energia interna**,  $U_{sist}$ , além das formas macroscópicas:
- ② **Cinética**,  $E_c = m\mathbb{V}^2/2$ .
- ③ **trabalho**.
- ④ **trabalho**.
- ⑤ **trabalho**.

Assim, no balanço de energia:

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



# Balanco de Energia – $E_{sist}$

Em sistemas clássicos<sup>1</sup> não reativos,  $E_{sist}$  inclui as formas:

- ① Microscópicas, agrupadas na **energia interna**,  $U_{sist}$ , além das formas macroscópicas:
- ② **Cinética**,  $E_c = m\mathbb{V}^2/2$ .
- ③ **trabalho**.
- ④ **trabalho**.
- ⑤ **trabalho**.

Assim, no balanço de energia:

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

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

# 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.



Image by David Mark from pixabay.com

