



BIF 0442 / 5721 — FUNDAMENTOS DE TD

CITAÇÕES EM TD

CITAÇÕES EM TD

- *Todo matemático sabe que é impossível compreender um curso elementar de termodinâmica.* - V.I. Arnold (sem data)
- *Velhos químicos nunca morrem: eles alcançam o equilíbrio termodinâmico.* – autor desconhecido
- C. P. Snow
 - *1ª Lei: você não pode ganhar, apenas empatar.*
 - *2ª Lei: você somente pode empatar se atingir o zero absoluto [de temperatura].*
 - *3ª Lei: você não consegue atingir o zero absoluto [de temperatura].*
 - *Conclusão: você não pode nem ganhar nem empatar.*

SIR ARTHUR STANLEY EDDINGTON

- *Se alguém indica que a sua teoria favorita sobre o universo está em discordância com as equações de Maxwell – então pior para as equações de Maxwell. Se [a teoria] é contradita por observações – bem, esses experimentalistas fazem bobagem de vez em quando. Mas, se a sua teoria vai contra a segunda lei da termodinâmica, eu não posso lhe dar nenhuma esperança, não resta nada a esta a não ser colapsar na mais profunda humilhação.*
 - (1915, em “The Nature of the Physical World”)

ARNOLD SOMMERFELD

- A termodinâmica é um assunto cômico. Na primeira vez que você o estuda, você não entende nada. Na segunda vez, você acha que entendeu, com exceção de um ou dois pequenos tópicos. Na terceira vez, você sabe que você não entendeu nada, mas, a essa altura das coisas, você já está tão acostumado ao assunto que não mais se incomoda.
 - (circa1950)

JÁ OUVIU FALAR ? SABE O QUE É OU UMA DEFINIÇÃO ?

- Entropia
- Entalpia
- Energia
- Equilíbrio
- Temperatura
- Calor
- Trabalho
- 1ª Lei
- 2ª Lei
- Ciclo de Carnot

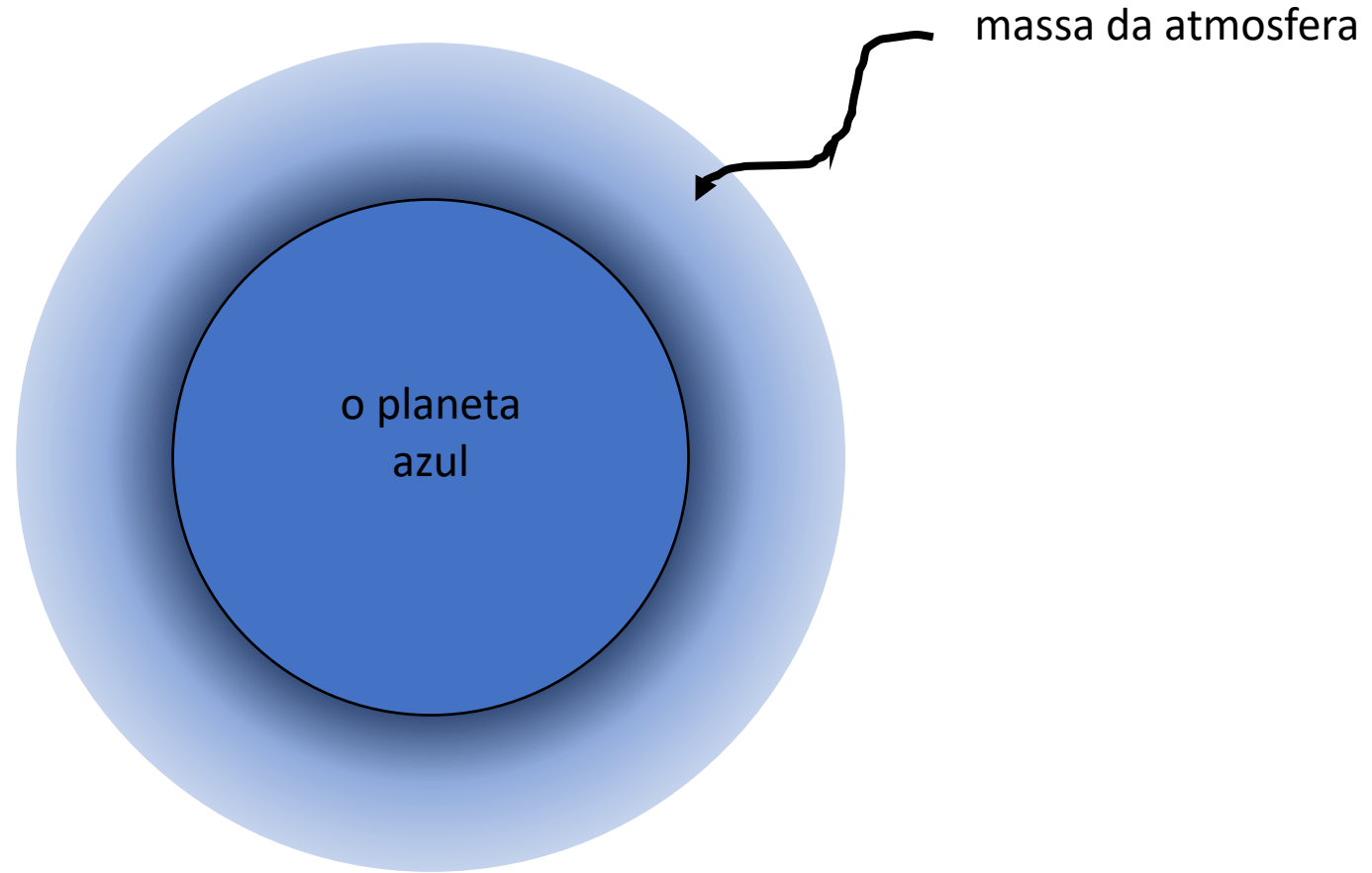
PROBLEMAS INICIAIS

- A massa da atmosfera
- O gelo que cai
- O caminhão e a gasolina
- Dois quartos
- O tiro

A MASSA DA ATMOSFERA

- O campo gravitacional terrestre atrai a atmosfera e causa uma pressão anm que sustenta uma coluna de 0,76 metros de mercúrio. O raio da Terra é de 6400 km, densidade do Hg é $13,5 \text{ g/cm}^3$. Qual a massa aproximada da atmosfera?

A MASSA DA ATMOSFERA

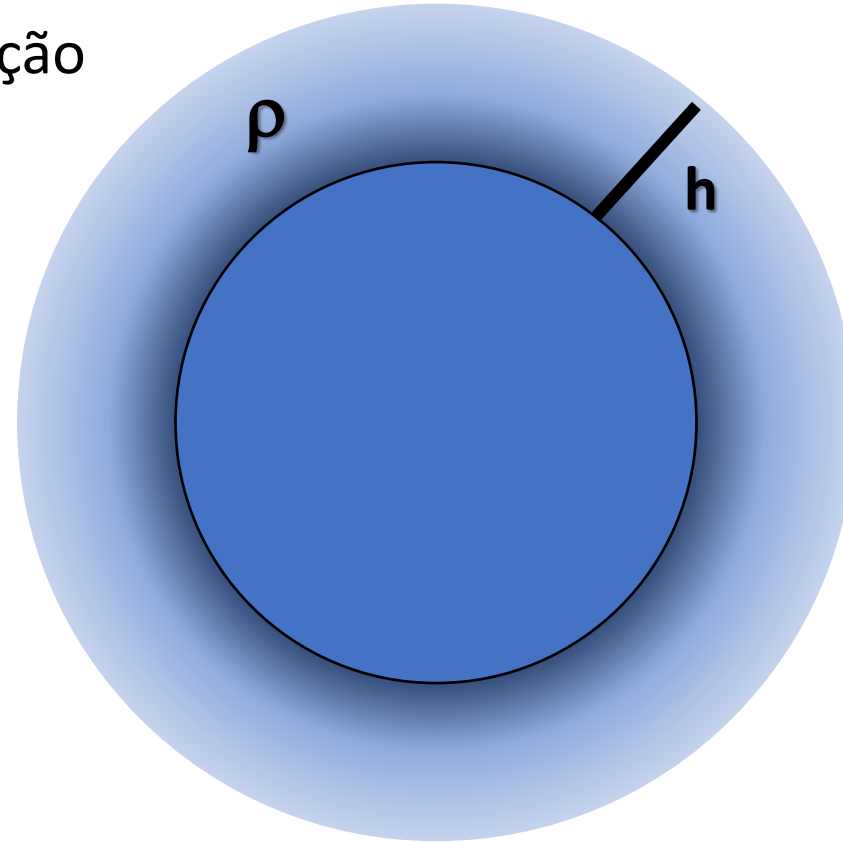


O JEITO ERRADO

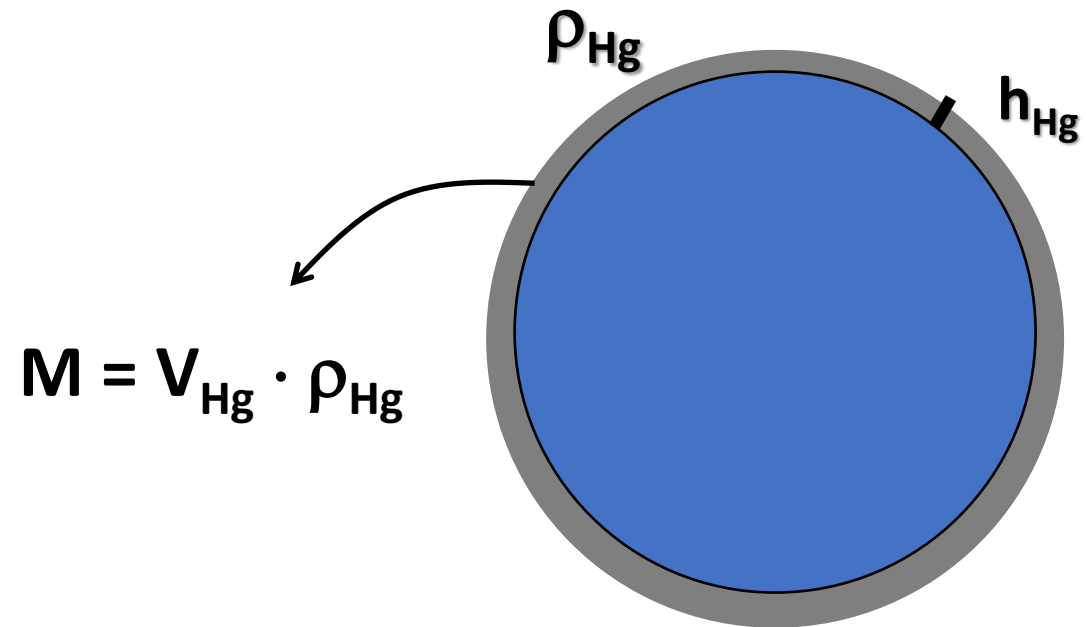
Querer fazer alguma combinação
entre a densidade do ar e a
altura da atmosfera ...

A densidade é variável com a
altura

A altura não é definível



O JEITO CERTO



JEITO CERTO, COMPLICADO: VOLUME DA ESFERA

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

Assim, o raio externo é a soma do raio da Terra (que é redonda) com a altura h da coluna de mercúrio:
 $R = r+h$

O volume da camada de mercúrio é a diferença entre o volume externo e o interno (da Terra)

$$V_{Hg} = \frac{4}{3}\pi(R^3 - r^3)$$

JEITO CERTO, COMPLICADO: VOLUME DA ESFERA

$$V_{Hg} = \frac{4}{3}\pi(R^3 - r^3) =$$

$$\frac{4}{3}\pi(r^3 + 3r^2h + 3rh^2 + h^3 - r^3) =$$

$$\frac{4}{3}\pi(3r^2h + 3rh^2 + h^3)$$

O JEITO CERTO, APROXIMADO

$$\frac{4}{3}\pi(3r^2h + 3rh^2 + h^3)$$

Note que $h/r \cong 1.2 \times 10^{-7}$.

Assim, h funciona quase que como um “infinitesimal”.

Ao eliminarmos, então, os termos de ordem maior que 1, temos:

$$V_{aprox} = 4\pi r^2 h = A_{esfera} h$$

ou seja, dada a altura desprezível da camada de mercúrio, consideramos como se fosse um plano

O JEITO CERTO, APROXIMADO

$$V_{aprox} = 3.91 \cdot 10^{14} \text{ m}^3$$

$$M_{aprox} = 5.28 \cdot 10^{18} \text{ kg}$$

O GELO QUE CAI

- Um bloco de gelo de 200 kg a $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, contido por um envelope metálico de massa desprezível, despenca de uma altura de 50 m, chocando-se com o chão. Aceleração da gravidade = 10 m/s^2 ; calor específico do gelo = $2,1\text{ J/(g K)}$; calor específico de fusão do gelo = 335 J/g . Qual a temperatura final do bloco? E se tivesse despencado de 500 m?

GELÓ

- 50 m: $\Delta E_p = 200 \times 10 \times 50 = 10^5 \text{ J}$
- $\Delta E = m c \Delta T \leftrightarrow \Delta T = 0,24 \text{ K}$

- 500 m: $\Delta E_p = 200 \times 10 \times 500 = 10^6 \text{ J}$
- $\Delta T = 10/4,2 \cong 2,4 \text{ K}$ (isso coloca todo o gelo acima do ponto de fusão). Então,
- $\Delta T = 1 \text{ K} \rightarrow$ todo o bloco vai para $0 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\Delta E_1 = m c \Delta T \cong 4 \times 10^5 \text{ J}$
- $\Delta \Delta E = 10^6 - 4 \times 10^5 = 6 \times 10^5$
- $\Delta m = 6 \times 10^5 / 335 \times 10^3 \cong 2 \text{ g}$ de gelo que derretem

O CAMINHÃO E A GASOLINA

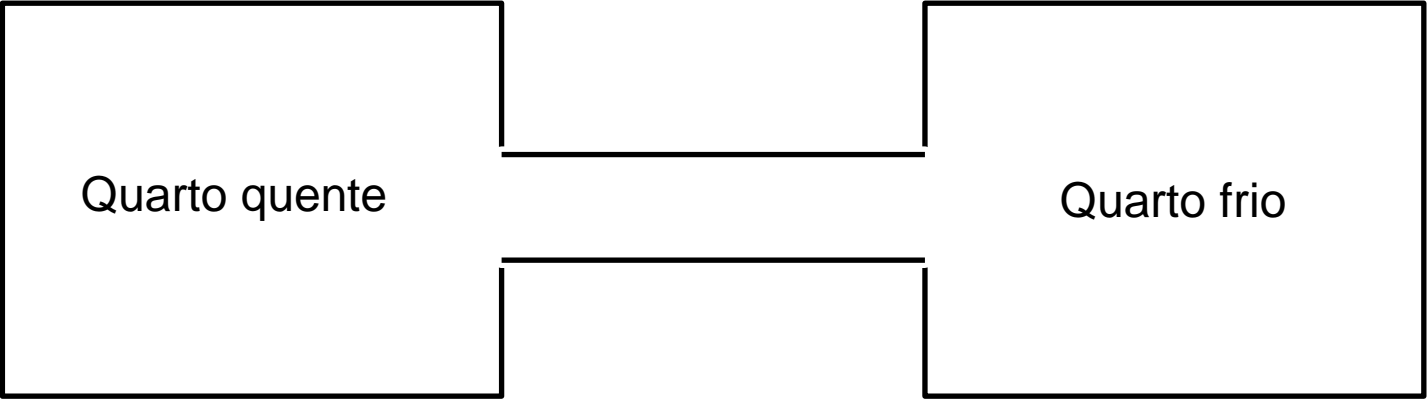
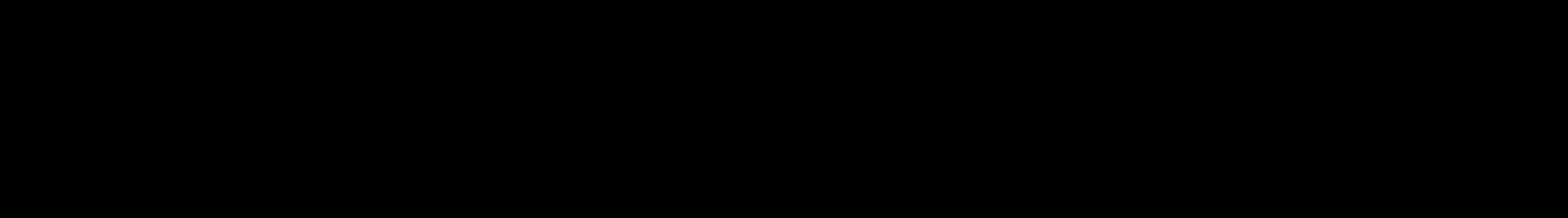
- A combustão de 1 litro de gasolina libera 38848 kJ de energia. O motor de um caminhão de 40 toneladas tem eficiência de 40%. O caminhão é levado do repouso a 90 km/h. Quanta gasolina é gasta desprezando-se a viscosidade do ar e o atrito do solo?

O CAMINHÃO E A GASOLINA

- Energia obtida por litro, dada a eficiência: 15539 kJ / litro
- $\Delta E_c = \frac{1}{2} 40000 25^2 = 12500 \text{ kJ}$
- Logo, consome-se 0,8 litros para levar o caminhão a 90 km/h

DOIS QUARTOS

- A energia cinética de uma molécula num gás como o ar é proporcional à temperatura e, na média:
 - $E_{\text{molécula}} = 1.5kT$ (sendo k a constante de Boltzmann)
- Dois quartos idênticos numa casa estão a temperaturas diferentes. As moléculas de ar no quarto mais quente têm energia cinética total maior que as do quarto mais frio?



NÃO !!

- Pelo enunciado, a pressão é a mesma nos dois quartos, e também os respectivos volumes. Assim,
- $pV = nRT = c$
- $n_{\text{frio}} = c/RT_{\text{fria}}$
- $n_{\text{quente}} = c/RT_{\text{quente}}$
- $E_{\text{total}} = n E_{\text{molécula}}$
- Assim:

$$E_{\text{cin}_f} = n_f \cdot E_{\text{molécula}} = \frac{pV}{RT_f} \cdot \frac{3kT_f}{2}$$

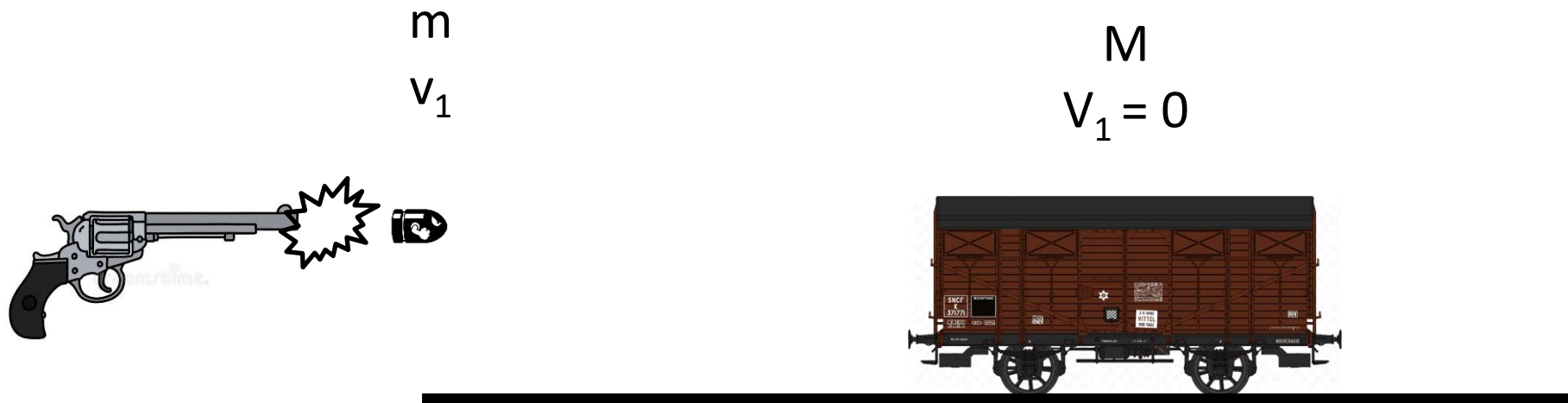
$$E_{\text{cin}_q} = n_q \cdot E_{\text{molécula}} = \frac{pV}{RT_q} \cdot \frac{3kT_q}{2}$$

$$E_{\text{cin}} = \frac{pV}{R} \cdot \frac{3k}{2}$$

O TIRO NO VAGÃO

- Uma bala de massa m e velocidade v_1 é disparada contra um vagão em repouso, com massa M . Qual a velocidade final do vagão e da bala no caso de um choque completamente elástico? E no caso de um choque completamente plástico (inelástico)?

O TIRO NO VAGÃO



O TIRO — CASO ELÁSTICO

- Conservação de momentum
 - $M V_2 + m v_2 = m v_1$
- Conservação de energia
 - $\frac{1}{2} (M V_2^2 + m v_2^2) = \frac{1}{2} m v_1^2$

$$V_2 = -v_1$$

ou

$$v_2 = v_1 (m - M) / (m + M)$$

$$V_2 = 0$$

ou

$$V_2 = 2 v_1 m / (m + M)$$



O TIRO — CASO INELÁSTICO: $V_2 = v_2$

Conservação de momentum

- $v_2 = v_1 m / (m+M)$

Conservação de energia

- $m v_1^2 = (m+M) v_2^2 \leftrightarrow v_2 = v_1 \sqrt{m/(m+M)}$



O TIRO — CASO INELÁSTICO: $V_2 = v_2$

Conservação de momentum

- $v_2 = v_1 m / (m+M)$

Conservação de energia

- $m v_1^2 = (m+M) v_2^2 \leftrightarrow v_2 = v_1 \sqrt{m/(m+M)}$

• Como !?!



PORQUE ESTES PROBLEMAS FORAM DADOS

- Ter em mente que, muitas vezes, há uma questão puramente mecânica a ser resolvida
- Conservação de energia
- Energia x momentum e o “surgimento” de “energia interna”
- Cuidado com ficar migrando para o nível microscópico

“We commence with basic notions relating heat and work—**cognizant of the warning (Keller et al., 2003) that classical thermodynamic notions become blurred in the reductionist limit of ‘single molecule’ experiments**—the very basis of the present-day assault on muscle.” (Smith et al., 2005)

“Measurements made on large ensembles of molecules are routinely interpreted using thermodynamics, **but the normal rules of thermodynamics may not apply to measurements made on single molecules.**” (Keller et al., 2003)

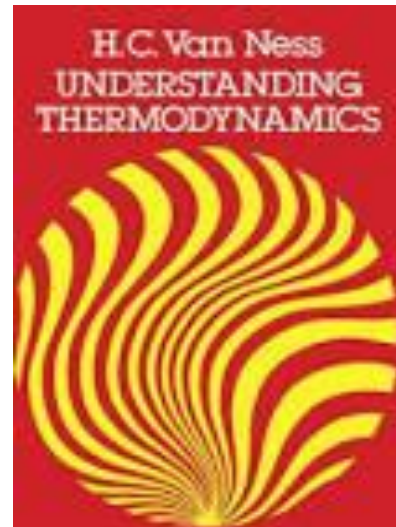
Keller, D., Swigon, D., Bustamante, C., 2003. Relating single-molecule measurements to thermodynamics. *Biophys. J.* 84, 733–738.
[https://doi.org/10.1016/S0006-3495\(03\)74892-9](https://doi.org/10.1016/S0006-3495(03)74892-9)

Smith, N.P., Barclay, C.J., Loisel, D.S., 2005. The efficiency of muscle contraction. *Prog. Biophys. Mol. Biol.* 88, 1–58.
<https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2003.11.014>

BIBLIOGRAFIA

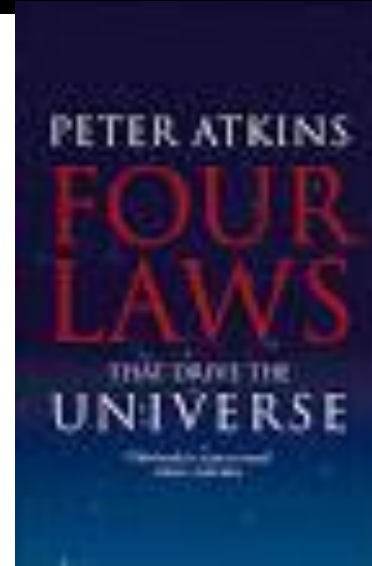
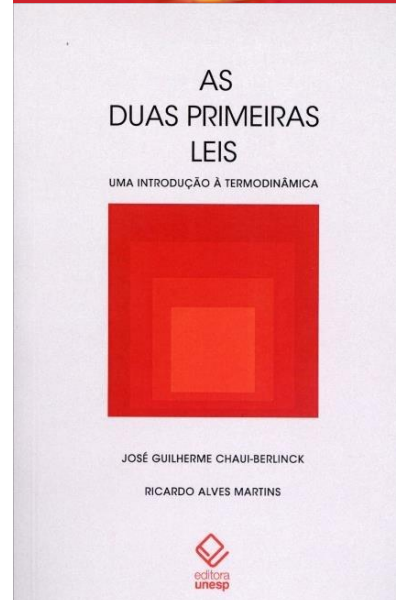
H C Van Ness (1969)

Understanding
Thermodynamics



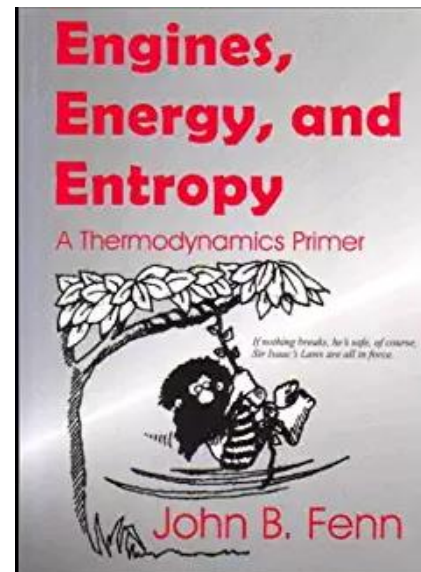
J G Chaui-Berlinck
R A Martins (2013)

As Duas Primeiras Leis



P Atkins (2007)

Four Laws That
Drive the
Universe



J Fenn (2003)

Engines, Energy,
and Entropy