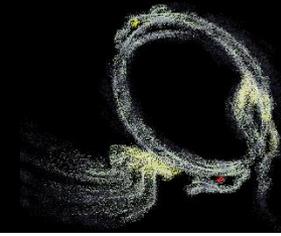


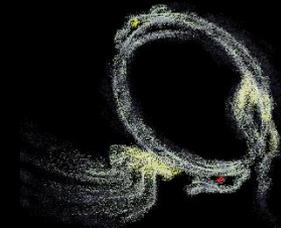
BIF 0442 / S721 — FUNDAMENTOS DE TD

UMA FORMULAÇÃO ALTERNATIVA PARA A 1ª LEI



$$dU = \delta q - \delta w$$

UMA FORMULAÇÃO ALTERNATIVA PARA A 1ª LEI

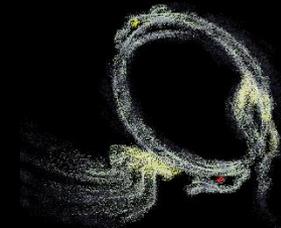


$$dU = \delta q - \delta w$$

$$dU = n \cdot c_v \cdot dT$$

a energia interna é função da temperatura

UMA FORMULAÇÃO ALTERNATIVA PARA A 1ª LEI



$$dU = \delta q - \delta w$$

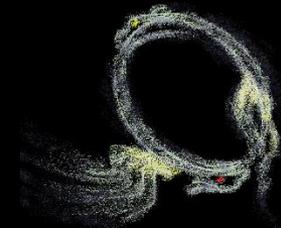
$$dU = n \cdot c_v \cdot dT$$

a energia interna é função da temperatura

$$\delta w = p \cdot dV$$

trabalho implica em deslocamento

UMA FORMULAÇÃO ALTERNATIVA PARA A 1ª LEI



$$dU = \delta q - \delta w$$

$$dU = n \cdot c_v \cdot dT$$

a energia interna é função da temperatura

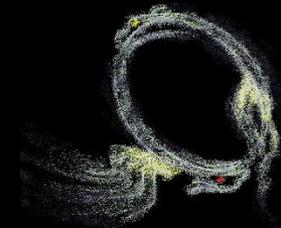
$$\delta w = p \cdot dV$$

trabalho implica em deslocamento

$$\delta q = T \cdot dS$$

considerando-se tanto a parte rev. quanto a irrev.

UMA FORMULAÇÃO ALTERNATIVA PARA A 1ª LEI



$$dU = \delta q - \delta w$$

$$dU = n \cdot c_v \cdot dT$$

a energia interna é função da temperatura

$$\delta w = p \cdot dV$$

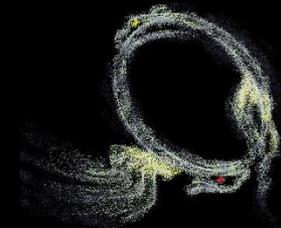
trabalho implica em deslocamento

$$\delta q = T \cdot dS$$

considerando-se tanto a parte rev. quanto a irrev.

$$dS = n \cdot c_v \cdot \frac{dT}{T} + \frac{p}{T} \cdot dV$$

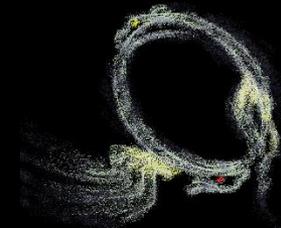
I^a LEI



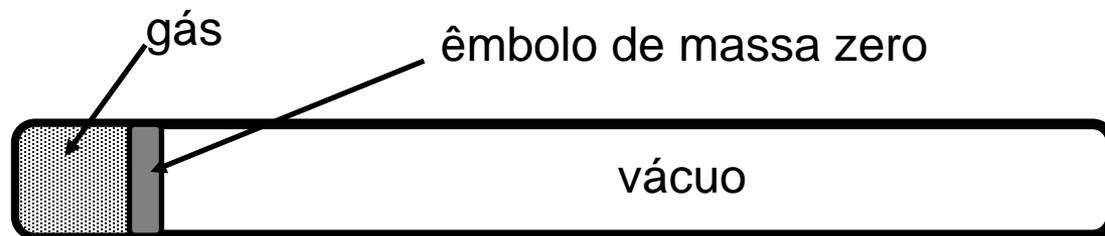
$$dS = n \cdot \left(c_v \cdot \frac{dT}{T} + R \cdot \frac{dV}{V} \right)$$

Lembrando: tanto calor (através de sua definição mecânica) quanto entropia (em decorrência de sua relação com calor) podem ser considerados como um potencial “volume extra” que surge (ou surgiria) em um dado processo.

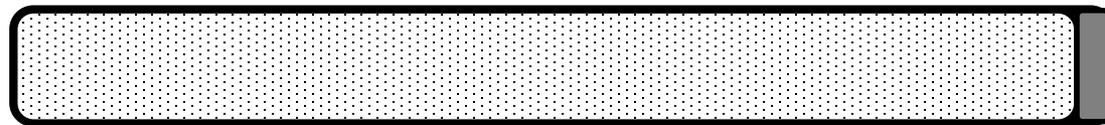
AUMENTO DE ENTROPIA SEM ALTERAÇÃO DE TEMPERATURA

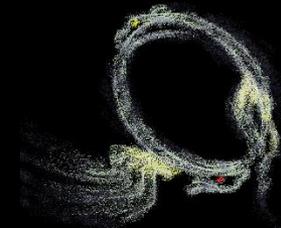


CONDIÇÃO INICIAL



CONDIÇÃO FINAL

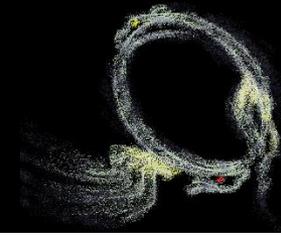




$$dS = n \cdot \left(c_v \cdot \frac{dT}{T} + R \cdot \frac{dV}{V} \right)$$

A equação acima nos mostra que a entropia pode ser alterada através de mudanças de temperatura e por mudanças de volume. Ou seja, a entropia não tem suas variações relacionadas somente a “calor”, como muitos tendem a acreditar.

PROBLEMINHA



Utilizando a equação anterior, prove que uma expansão (contração) adiabática de um gás ideal ($pV=nRT$) tem variação nula de entropia.

Dicas

(a) $p \cdot V^\gamma = \text{constante}$;

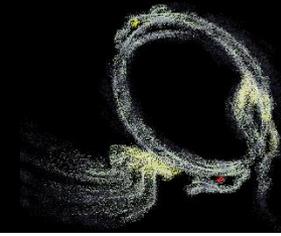
(b) $\gamma = \frac{c_v + R}{c_v}$;

(c) $\int_1^2 \frac{dx}{x} = \ln\left(\frac{x_2}{x_1}\right)$;

(d) $\log\left(\frac{x_1}{x_2}\right) = -\log\left(\frac{x_2}{x_1}\right)$;

(e) $\log(x^y) = y \cdot \log(x)$

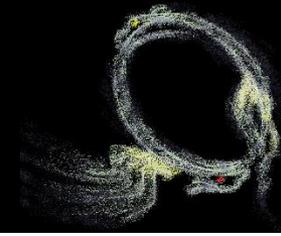
SOLUÇÃO GRANDE – REESCREVENDO P



$$p V = n R T \leftrightarrow p = (n R T) / V$$

$$\frac{V^\gamma}{V} = \frac{\text{constante}}{n \cdot R \cdot T} = V^{\gamma-1}$$

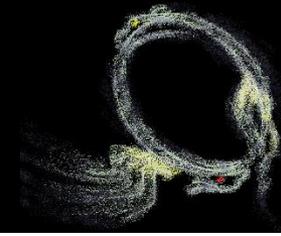
REESCREVENDO V EM FUNÇÃO DE T



$$\frac{\text{constante}}{n \cdot R \cdot T} = \frac{k}{T} = V^{\gamma-1}$$

$$V = \left(\frac{k}{T} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$$

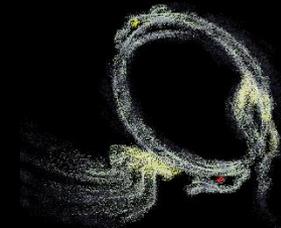
VARIAÇÃO MENSURÁVEL DE ENTROPIA



$$dS = n \cdot \left(c_v \cdot \frac{dT}{T} + R \cdot \frac{dV}{V} \right)$$

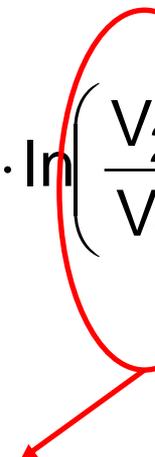
$$\int_1^2 dS = \Delta S = n \cdot \left(c_v \cdot \int_1^2 \frac{dT}{T} + R \cdot \int_1^2 \frac{dV}{V} \right) = n \cdot \left(c_v \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + R \cdot \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \right)$$

VARIAÇÃO MENSURÁVEL DE ENTROPIA

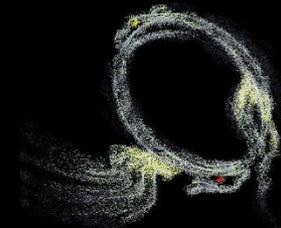


$$dS = n \cdot \left(c_v \cdot \frac{dT}{T} + R \cdot \frac{dV}{V} \right)$$

$$\int_1^2 dS = \Delta S = n \cdot \left(c_v \cdot \int_1^2 \frac{dT}{T} + R \cdot \int_1^2 \frac{dV}{V} \right) = n \cdot \left(c_v \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + R \cdot \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \right)$$


$$V = \left(\frac{k}{T} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$$

VARIAÇÃO MENSURÁVEL DE ENTROPIA



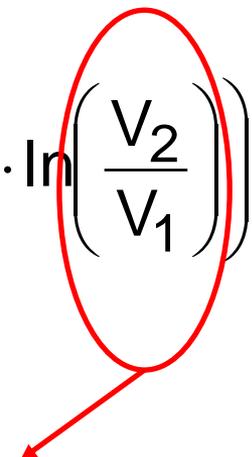
$$dS = n \cdot \left(c_v \cdot \frac{dT}{T} + R \cdot \frac{dV}{V} \right)$$

$$\int_1^2 dS = \Delta S = n \cdot \left(c_v \cdot \int_1^2 \frac{dT}{T} + R \cdot \int_1^2 \frac{dV}{V} \right) = n \cdot \left(c_v \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + R \cdot \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \right)$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{-\frac{1}{\gamma-1}}$$



$$V = \left(\frac{k}{T} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$$



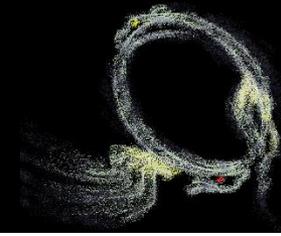


$$\Delta S = n \cdot \left(cv \cdot \ln \left(\frac{T2}{T1} \right) + R \cdot \ln \left(\left(\frac{T2}{T1} \right)^{-\frac{1}{\gamma-1}} \right) \right)$$

$$\Delta S = n \cdot \left(cv \cdot \ln \left(\frac{T2}{T1} \right) - \frac{1}{\gamma-1} \cdot R \cdot \ln \left(\frac{T2}{T1} \right) \right)$$

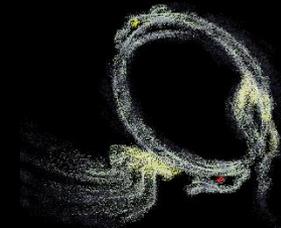
$$\Delta S = n \cdot \frac{1}{\gamma-1} \cdot \ln \left(\frac{T2}{T1} \right) \cdot (cv \cdot (\gamma-1) - R)$$

MANIPULAÇÕES ALGÉBRICAS



$$\Delta S = n \cdot \frac{1}{\gamma - 1} \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) \cdot (c_v \cdot (\gamma - 1) - R)$$

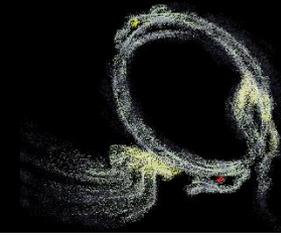
γ



$$(b) \gamma = \frac{c_v + R}{c_v}$$

$$(c_v \cdot (\gamma - 1) - R) = c_v \cdot \left(\frac{c_v + R}{c_v} - 1 \right) - R = c_v + R - c_v - R = 0$$

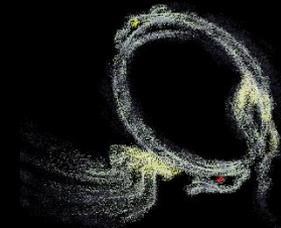
PROCESSO ADIABÁTICO REVERSÍVEL



=

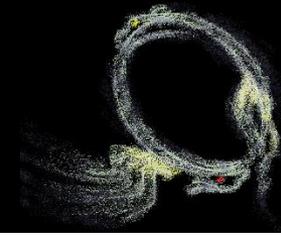
ISOENTRÓPICO

C_V E C_P



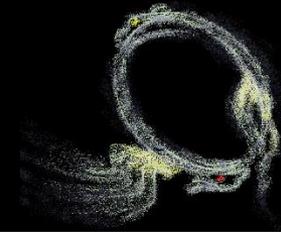
- Calor específico
 - pode ser por unidade de massa (geralmente c) ou por mol (geralmente C)
 - processo a volume constante: c_v
 - processo a pressão constante: c_p
- Como alterações a pressão constante ocorrem com variações concomitantes de volume, em geral $c_p > c_v$
- Para um gás ideal:
 - $c_p = R + c_v$

VAMOS INVENTAR UMA FUNÇÃO ...



$$dH = n C_p dT$$

VAMOS INVENTAR UMA FUNÇÃO ...



$$dH = n C_p dT$$

Estabeleça “quem” é H utilizando dois caminhos:

1. Através da definição de C_p e da equação do gás ideal
2. Através da formulação alternativa da 1ª Lei

CAMINHO 1 — PRIMEIRO PASSO



$$dH = n(C_v + R)dT = n \cdot C_v \cdot dT + n \cdot R \cdot dT$$

CAMINHO 1



$$dH = n(C_v + R)dT = n \cdot C_v \cdot dT + n \cdot R \cdot dT$$

$$T = \frac{P \cdot V}{n \cdot R} \Rightarrow dT = \frac{P}{n \cdot R} dV + \frac{V}{n \cdot R} dP$$

CAMINHO 1



$$dH = n(C_v + R)dT = n \cdot C_v \cdot dT + n \cdot R \cdot dT$$

$$T = \frac{P \cdot V}{n \cdot R} \Rightarrow dT = \frac{P}{n \cdot R} dV + \frac{V}{n \cdot R} dP$$

$$dH = n \cdot C_v \cdot dT + P \cdot dV + V \cdot dP$$

CAMINHO 1



$$dH = n \cdot C_v \cdot dT + d(P \cdot V)$$

CAMINHO 2 — PRIMEIRO PASSO



$$dS = n \cdot \left(c_v \cdot \frac{dT}{T} + R \cdot \frac{dV}{V} \right)$$

Essa equação veio, originalmente, de:

$$dS = n \cdot c_v \cdot \frac{dT}{T} + \frac{p}{T} \cdot dV$$



Que nos retorna a:

$$T \cdot dS = n \cdot C_v \cdot dT + p \cdot dV$$

COMPARANDO "1" COM "2"



$$dH = n \cdot C_v \cdot dT + P \cdot dV + V \cdot dP$$

$$T \cdot dS = n \cdot C_v \cdot dT + P \cdot dV$$

COMPARANDO "1" COM "2"



$$T \cdot dS + V \cdot dP = n \cdot C_v \cdot dT + d(P \cdot V) = dH$$

COMPARANDO "1" COM "2"



$$T \cdot dS + V \cdot dP = n \cdot C_v \cdot dT + d(P \cdot V) = dH$$

δq

variação
de
pressão a
volume
constante

dU

COMPARANDO "1" COM "2"



$$T \cdot dS + V \cdot dP = n \cdot C_v \cdot dT + d(P \cdot V) = dH$$

δq

variação
de
pressão a
volume
constante

dU

COMPARANDO "1" COM "2"



$$T \cdot dS + V \cdot dP = n \cdot C_v \cdot dT + d(P \cdot V) = dH$$

dQ

dU

virou função de estado

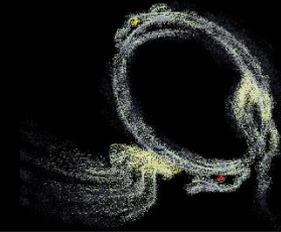
JUNTANDO E INTEGRANDO



$$dH = dU + d(P \cdot V) = dQ$$

$$H = U + P \cdot V = Q$$

H: ENTALPIA → “THE HEAT FUNCTION”



$$H = U + P \cdot V = Q$$

q.e.f.

