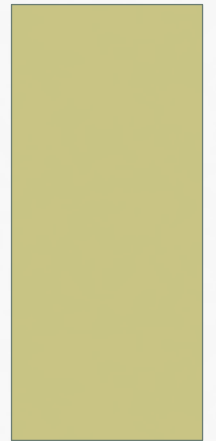


TERRMODINÂMICA

ENTROPIA



CICLO DE CARNOT

- Vimos na aula passada que é **impossível** pela 2ª lei da termodinâmica que qualquer máquina térmica tenha rendimento $\eta=1$.

CICLO DE CARNOT

- Vimos na aula passada que é **impossível** pela 2ª lei da termodinâmica que qualquer máquina térmica tenha rendimento $\eta=1$.
- Para uma fonte que troque calor **apenas** com um reservatório frio à temperatura T_f e outro quente à temperatura T_i , temos que a **eficiência** de todos os ciclos **reversíveis** são **iguais entre si** e **maiores** do que as eficiências de quaisquer máquinas irreversíveis!

CICLO DE CARNOT

- Vimos na aula passada que é **impossível** pela 2ª lei da termodinâmica que qualquer máquina térmica tenha rendimento $\eta=1$.
- Para uma fonte que troque calor **apenas** com um reservatório frio à temperatura T_f e outro quente à temperatura T_i , temos que a **eficiência** de todos os ciclos **reversíveis** são **iguais entre si** e **maiores** do que as eficiências de quaisquer máquinas irreversíveis!
 - Este ciclo é conhecido como ciclo de Carnot e é composto por duas adiabáticas e duas isothermas.

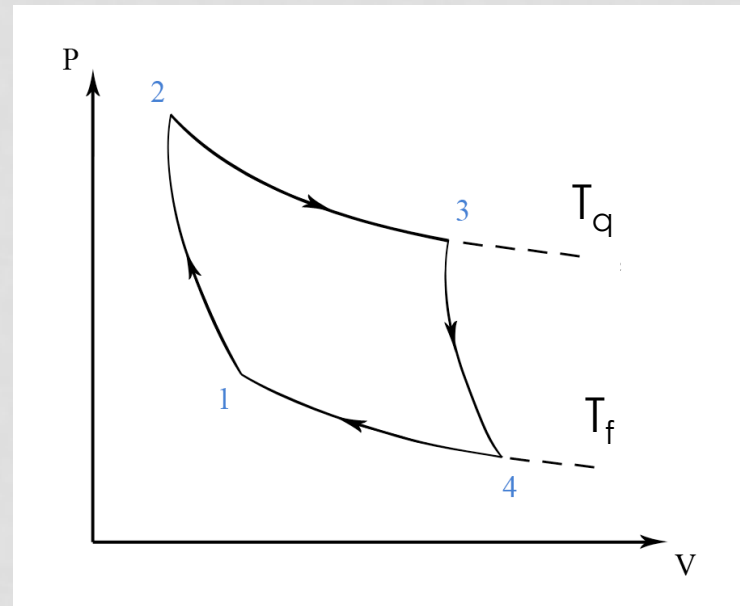
CICLO DE CARNOT

- Vimos na aula passada que é **impossível** pela 2ª lei da termodinâmica que qualquer máquina térmica tenha rendimento $\eta=1$.
- Para uma fonte que troque calor **apenas** com um reservatório frio à temperatura T_f e outro quente à temperatura T_i , temos que a **eficiência** de todos os ciclos **reversíveis** são **iguais entre si** e **maiores** do que as eficiências de quaisquer máquinas irreversíveis!
 - Este ciclo é conhecido como ciclo de Carnot e é composto por duas adiabáticas e duas isothermas.
 - Ele pode ser operado por qualquer substância, vejamos qual sua eficiência para o caso do gás ideal.

CICLO DE CARNOT

- Temos

$$\eta = 1 - \frac{Q_{perdido}}{Q_{ganho}}$$



CICLO DE CARNOT

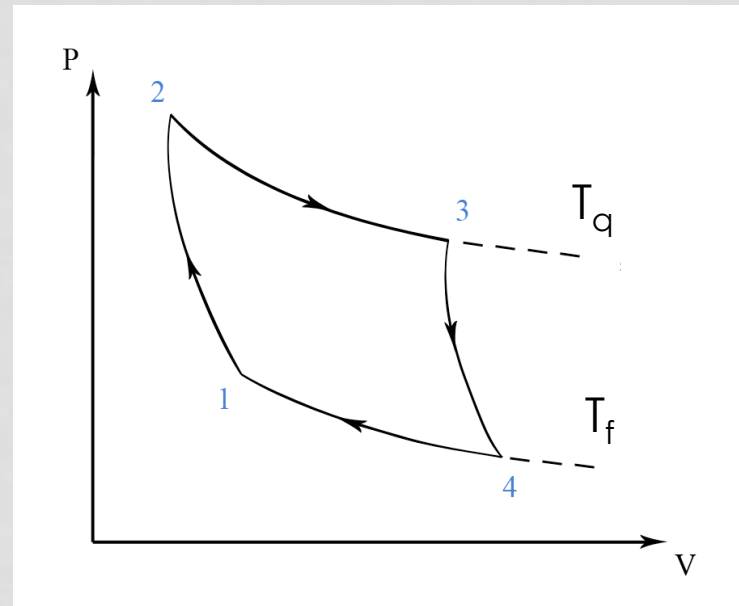
- Temos

$$\eta = 1 - \frac{Q_{perdido}}{Q_{ganho}}$$

- Como 1-→2 e 3-→4 são adiabáticas, temos:

$$Q_{ganho} = Q_{2 \rightarrow 3}$$

$$Q_{perdido} = -Q_{4 \rightarrow 1}$$



CICLO DE CARNOT

- Temos

$$\eta = 1 - \frac{Q_{perdido}}{Q_{ganho}}$$

- Como 1-→2 e 3-→4 são adiabáticas, temos:

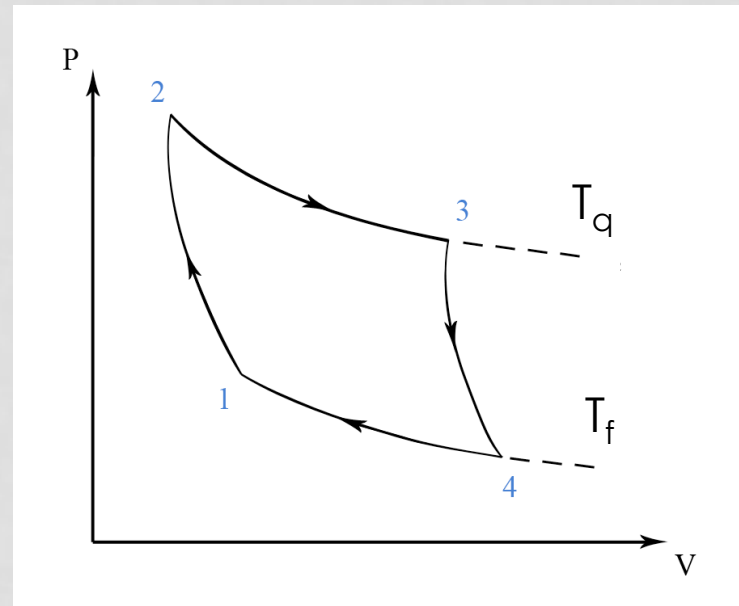
$$Q_{ganho} = Q_{2 \rightarrow 3}$$

$$Q_{perdido} = -Q_{4 \rightarrow 1}$$

Como 2-→3 e 4-→1 são isotermas:

$$Q_{2 \rightarrow 3} = W_{2 \rightarrow 3}$$

$$Q_{4 \rightarrow 1} = W_{4 \rightarrow 1}$$



CICLO DE CARNOT

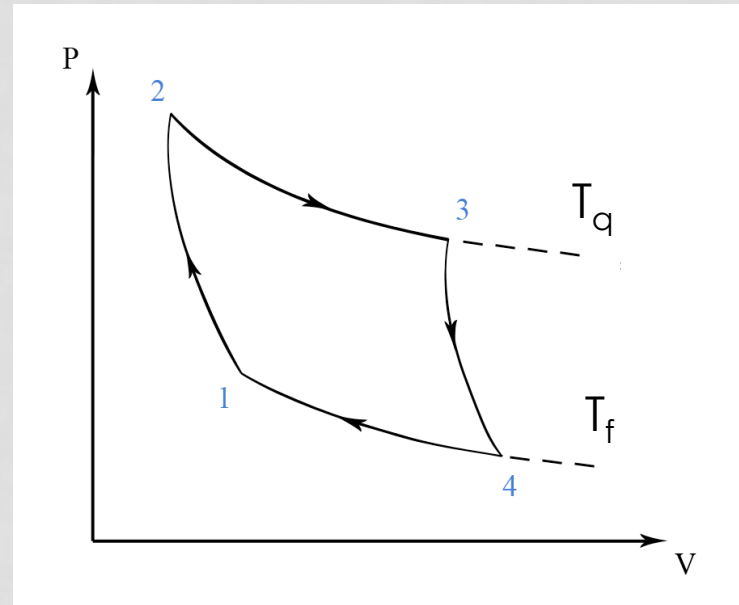
- Temos

$$\eta = 1 - \frac{Q_{perdido}}{Q_{ganho}}$$

- Assim:

$$Q_{perdido} = nRT_f \ln \left(\frac{V_4}{V_1} \right)$$

$$Q_{ganho} = nRT_q \ln \left(\frac{V_3}{V_2} \right)$$



CICLO DE CARNOT

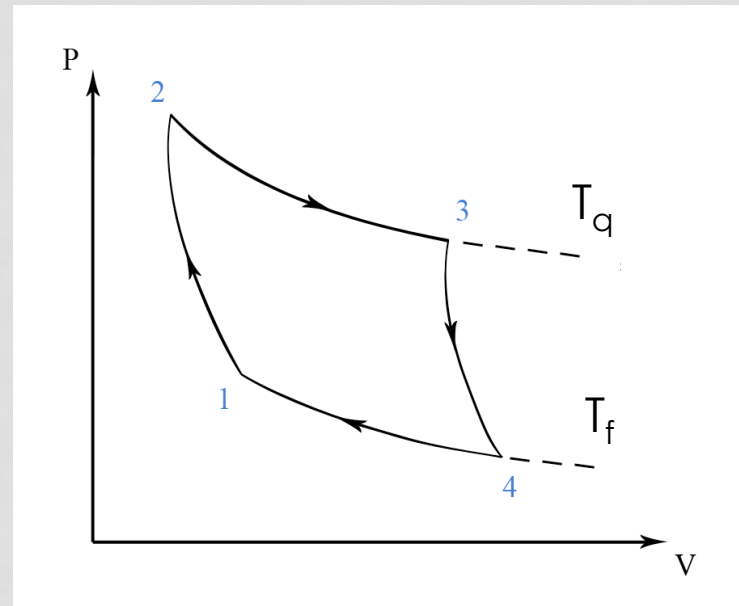
- Portanto,

$$\eta = 1 - \frac{T_f \ln \left(\frac{V_4}{V_1} \right)}{T_q \ln \left(\frac{V_3}{V_2} \right)}$$

- Assim:

$$Q_{perdido} = nRT_f \ln \left(\frac{V_4}{V_1} \right)$$

$$Q_{ganho} = nRT_q \ln \left(\frac{V_3}{V_2} \right)$$



CICLO DE CARNOT

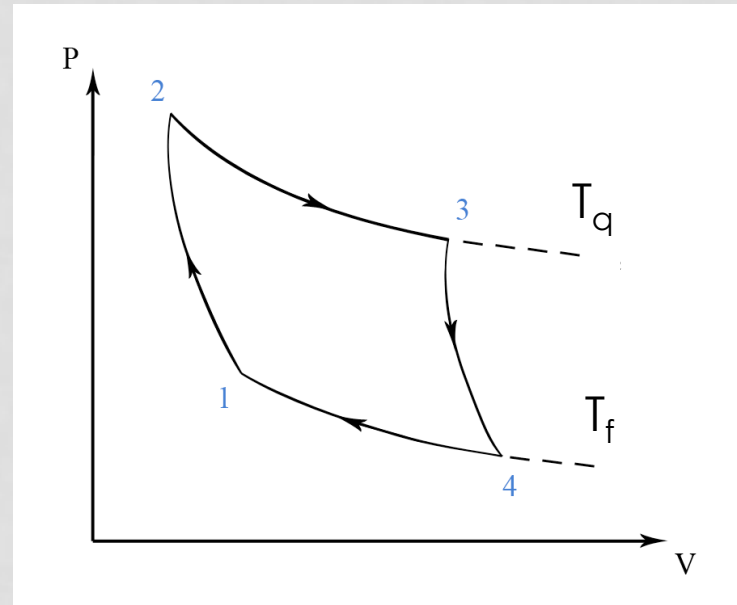
- Portanto:

$$\eta = 1 - \frac{T_f \ln \left(\frac{V_4}{V_1} \right)}{T_q \ln \left(\frac{V_3}{V_2} \right)}$$

Como 1->2 e 3-> são adiabáticas:

$$T_f V_1^{\gamma-1} = T_q V_2^{\gamma-1}$$

$$T_f V_4^{\gamma-1} = T_q V_3^{\gamma-1}$$



CICLO DE CARNOT

- Portanto:

$$\eta = 1 - \frac{T_f \ln \left(\frac{V_4}{V_1} \right)}{T_q \ln \left(\frac{V_3}{V_2} \right)}$$

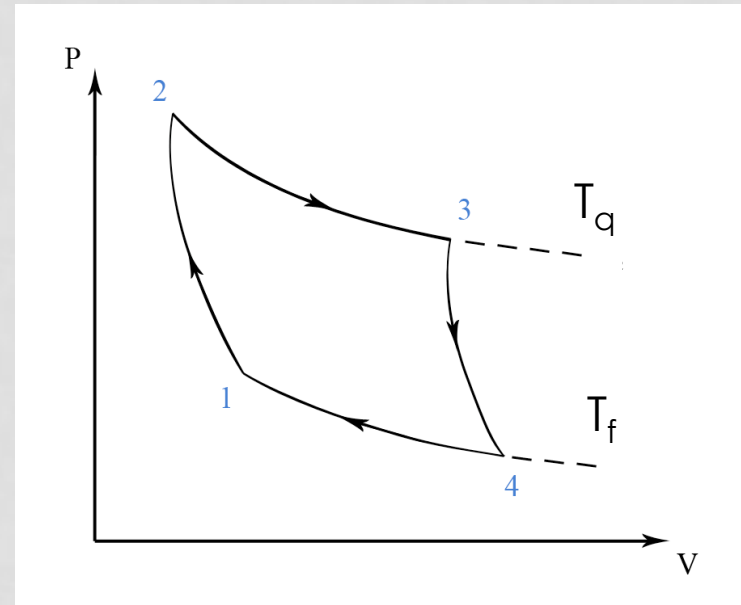
Como 1->2 e 3-> são adiabáticas:

$$T_f V_1^{\gamma-1} = T_q V_2^{\gamma-1}$$

$$T_f V_4^{\gamma-1} = T_q V_3^{\gamma-1}$$

Assim:

$$\frac{V_4}{V_1} = \frac{V_3}{V_2}$$



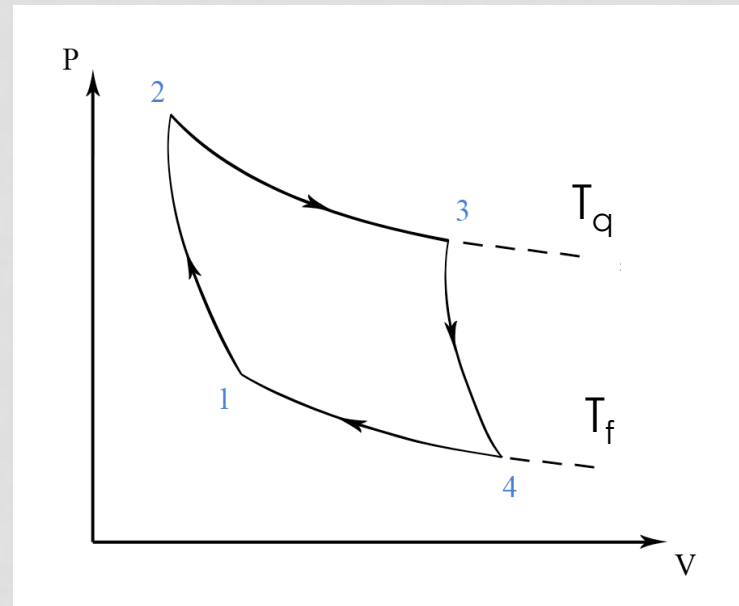
CICLO DE CARNOT

- Temos

$$\eta = 1 - \frac{Q_{perdido}}{Q_{ganho}}$$

- Assim:

$$\frac{Q_{perdido}}{Q_{ganho}} = \frac{T_{frio}}{T_{quente}}$$

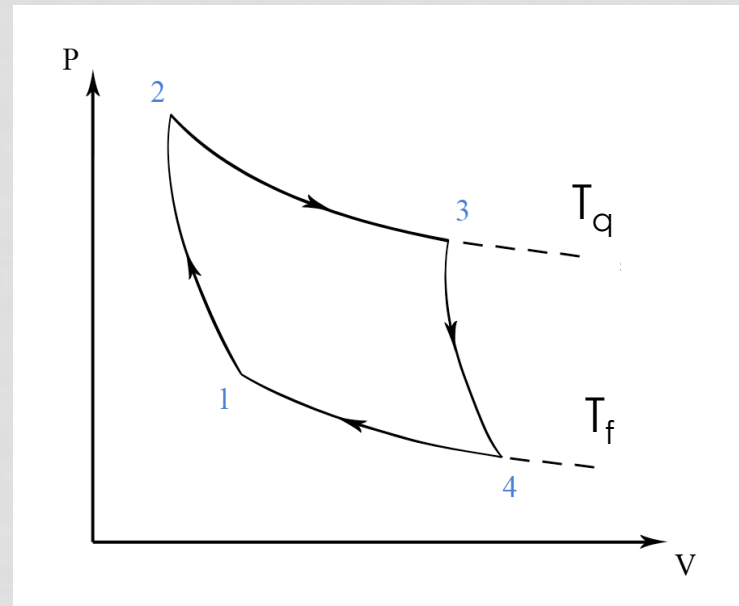


CICLO DE CARNOT

- Portanto:

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q}$$

$$\frac{Q_{perdido}}{Q_{ganho}} = \frac{T_{frio}}{T_{quente}}$$



CICLO DE CARNOT

- Portanto:

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q}$$

- Em resumo:
 - A fórmula acima fornece a eficiência de um ciclo de Carnot (que é reversível) operando entre T_f e T_q .

CICLO DE CARNOT

- Portanto:

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q}$$

- Em resumo:
 - A fórmula acima fornece a eficiência de um ciclo de Carnot (que é reversível) operando entre T_f e T_q .
 - T deve ser medido em Kelvin (utilizamos a equação dos gases ideais na demonstração).

CICLO DE CARNOT

- Portanto:

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q}$$

- Em resumo:
 - A fórmula acima fornece a eficiência de um ciclo de Carnot (que é reversível) operando entre T_f e T_q .
 - T deve ser medido em Kelvin (utilizamos a equação dos gases ideais na demonstração).
 - Pelo que demonstramos anteriormente, esta é a maior eficiência possível para **qualquer** máquina operando entre estas temperaturas.

ESCALA ABSOLUTA DE TEMPERATURA

- Note que nossa demonstração foi totalmente geral e mostra que qualquer máquina operando reversivelmente entre uma fonte fria e uma fonte quente possui a mesma **eficiência**.

ESCALA ABSOLUTA DE TEMPERATURA

- Note que nossa demonstração foi totalmente geral e mostra que qualquer máquina operando reversivelmente entre uma fonte fria e uma fonte quente possui a mesma **eficiência**.
 - Isto independe do material utilizado. Em nossa demonstração da eficiência utilizamos gases ideais, mas o resultado é muito mais geral do que isso.

ESCALA ABSOLUTA DE TEMPERATURA

- Note que nossa demonstração foi totalmente geral e mostra que qualquer máquina operando reversivelmente entre uma fonte fria e uma fonte quente possui a mesma **eficiência**.
 - Isto independe do material utilizado. Em nossa demonstração da eficiência utilizamos gases ideais, mas o resultado é muito mais geral do que isso.
- Poderíamos usar a generalidade de nosso resultado para definir a escala absoluta de temperatura.

ESCALA ABSOLUTA DE TEMPERATURA

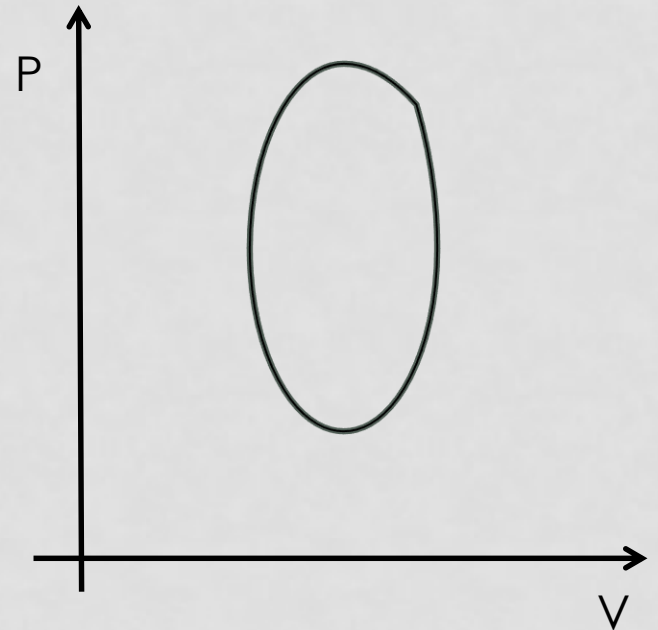
- Note que nossa demonstração foi totalmente geral e mostra que qualquer máquina operando reversivelmente entre uma fonte fria e uma fonte quente possui a mesma **eficiência**.
 - Isto independe do material utilizado. Em nossa demonstração da eficiência utilizamos gases ideais, mas o resultado é muito mais geral do que isso.
- Poderíamos usar a generalidade de nosso resultado para definir a escala absoluta de temperatura.
 - Cf. Moysés seção 10.5.

ESCALA ABSOLUTA DE TEMPERATURA

- Note que nossa demonstração foi totalmente geral e mostra que qualquer máquina operando reversivelmente entre uma fonte fria e uma fonte quente possui a mesma **eficiência**.
 - Isto independe do material utilizado. Em nossa demonstração da eficiência utilizamos gases ideais, mas o resultado é muito mais geral do que isso.
- Poderíamos usar a generalidade de nosso resultado para definir a escala absoluta de temperatura.
 - Obteríamos a mesma escala de temperatura que a fornecida pelos gases ideais.

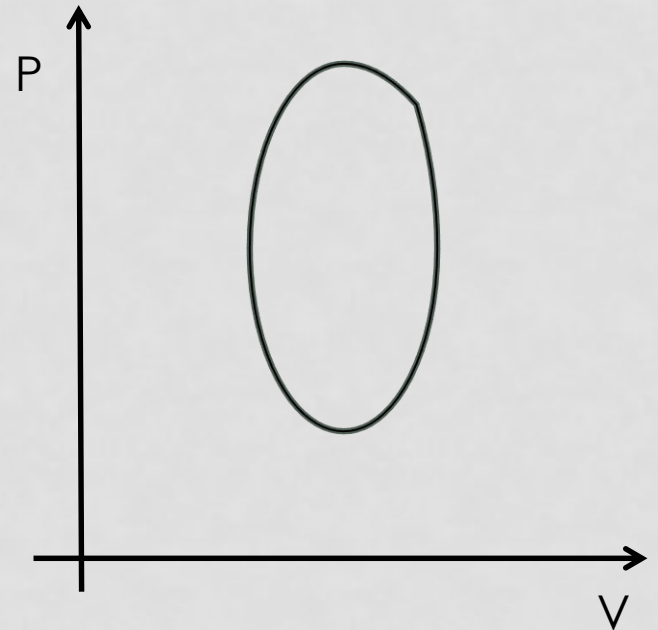
PROCESSOS REVERSÍVEIS

- Considere um processo reversível qualquer.



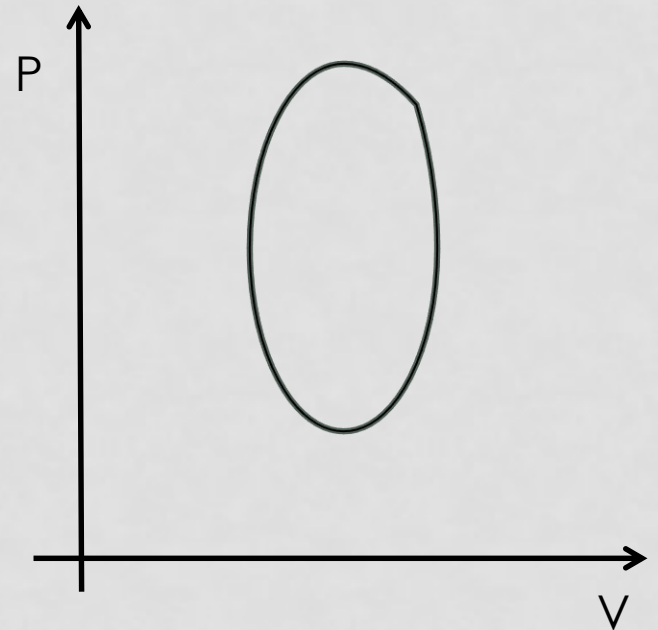
PROCESSOS REVERSÍVEIS

- Considere um processo reversível qualquer.
 - Neste caso claramente não há troca de calor apenas entre uma fonte fria e uma fonte quente.



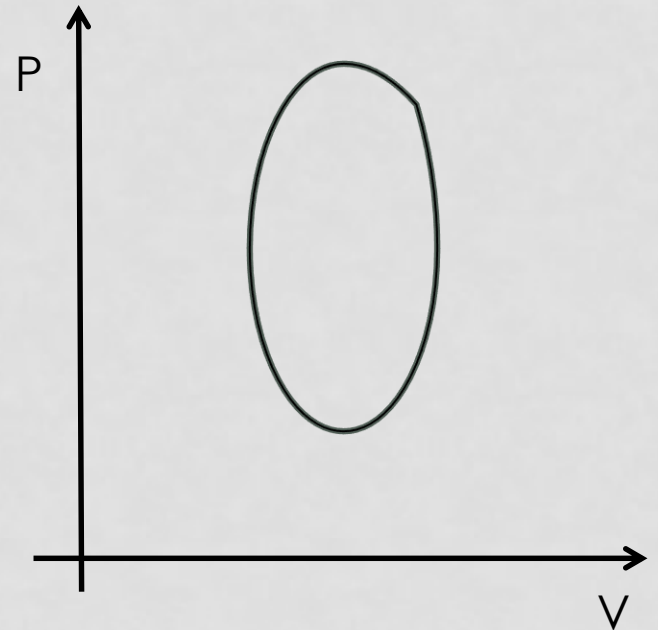
PROCESSOS REVERSÍVEIS

- Considere um processo reversível qualquer.
 - Neste caso claramente não há troca de calor apenas entre uma fonte fria e uma fonte quente.
 - De fato, há troca de calor do gás continuamente do gás com o ambiente.



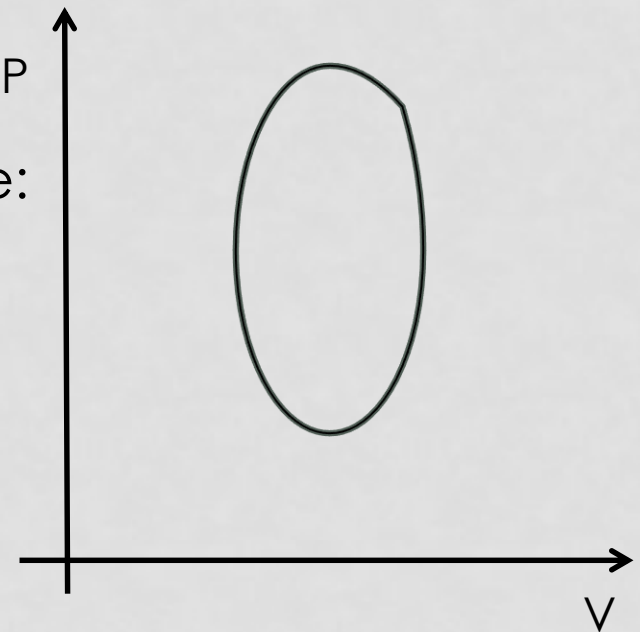
PROCESSOS REVERSÍVEIS

- Considere um processo reversível qualquer.
 - Neste caso claramente não há troca de calor apenas entre uma fonte fria e uma fonte quente.
 - De fato, há troca de calor do gás continuamente do gás com o ambiente.
- Com quem o gás troca calor?



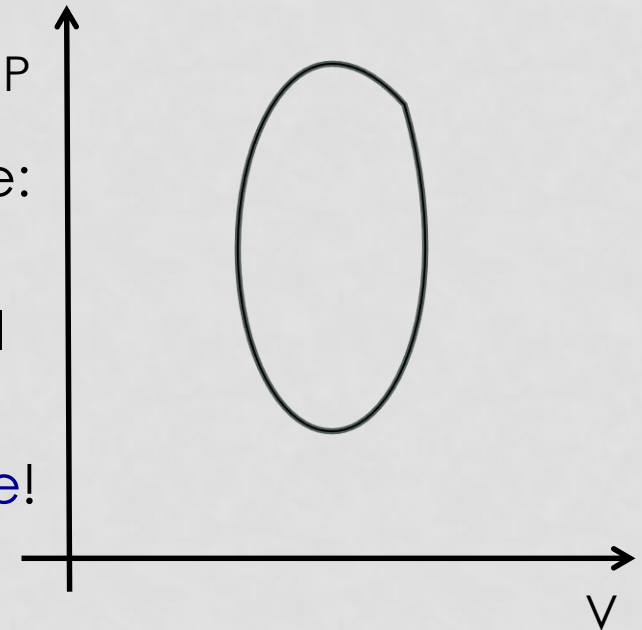
PROCESSOS REVERSÍVEIS

- Considere um processo reversível qualquer.
 - Neste caso claramente não há troca de calor apenas entre uma fonte fria e uma fonte quente.
 - De fato, há troca de calor do gás continuamente do gás com o ambiente.
- Com quem o gás troca calor?
 - Pela 2ª lei há apenas uma possibilidade de trocar calor reversivelmente:
Estando a mesma temperatura!



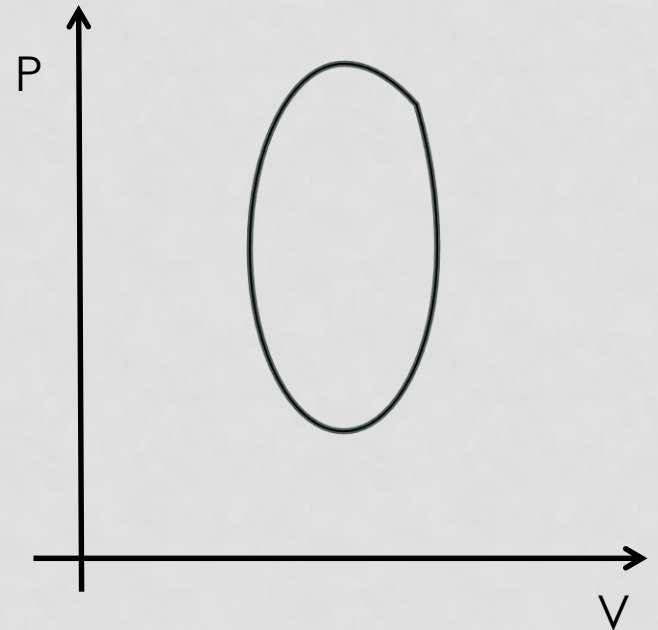
PROCESSOS REVERSÍVEIS

- Considere um processo reversível qualquer.
 - Neste caso claramente não há troca de calor apenas entre uma fonte fria e uma fonte quente.
 - De fato, há troca de calor do gás continuamente do gás com o ambiente.
- Com quem o gás troca calor?
 - Pela 2ª lei há apenas uma possibilidade de trocar calor reversivelmente:
Estando a mesma temperatura!
 - Portanto, em um processo reversível supomos que o gás está em contato com um reservatório térmico **diferente!**



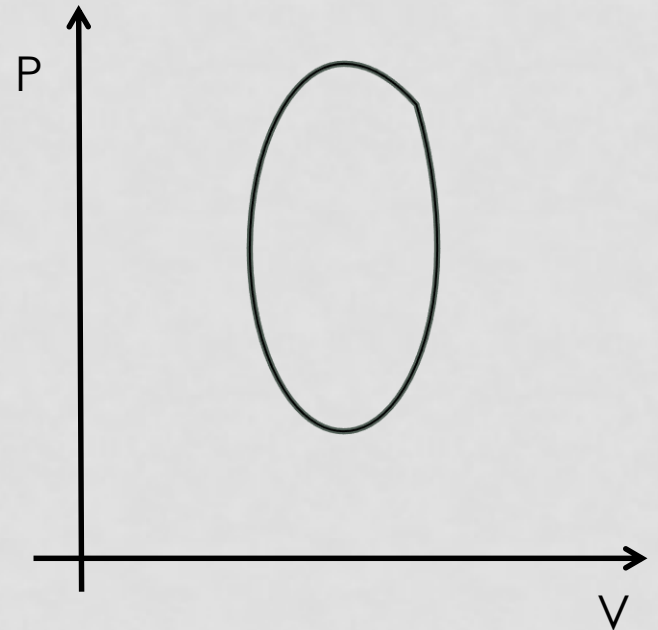
PROCESSOS REVERSÍVEIS

- Em qualquer ciclo reversível toda a troca de calor deve ser feita com alguém a **mesma** temperatura!



PROCESSOS REVERSÍVEIS

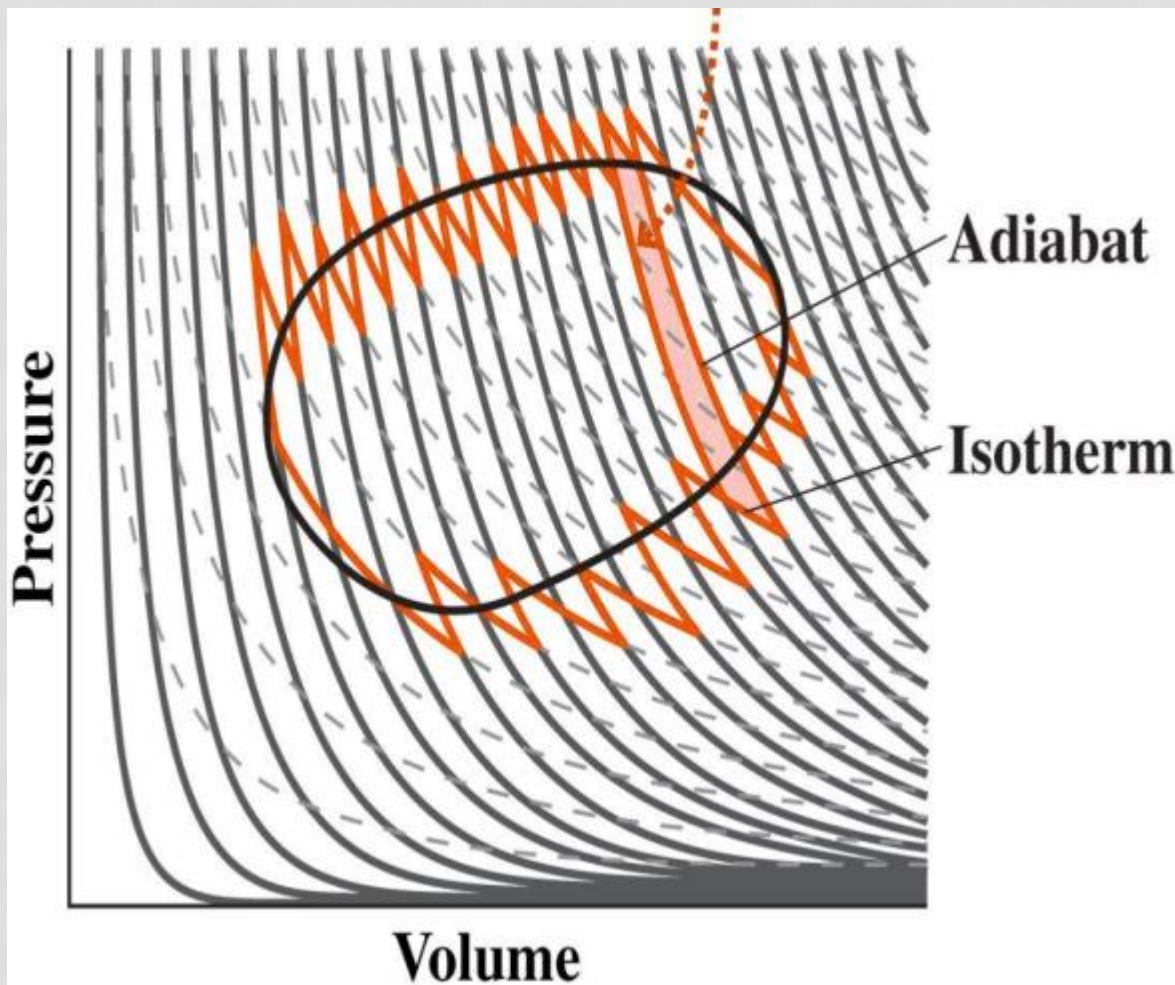
- Em qualquer ciclo reversível toda a troca de calor deve ser feita com alguém a **mesma** temperatura!
 - Isto significa que cada deslocamento infinitesimal no ciclo pode ser pensado como uma máquina de Carnot, operando entre diferentes temperaturas!



PROCESSOS REVERSÍVEIS

- Em qualquer ciclo reversível toda a troca de calor deve ser feita com alguém a **mesma** temperatura!
 - Isto significa que cada deslocamento infinitesimal no ciclo pode ser pensado como uma máquina de Carnot, operando entre diferentes temperaturas!

PROCESSOS REVERSÍVEIS



$$\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_h}{T_h} = 0$$

**Ao longo do
caminho
fechado**

$$\sum \frac{Q}{T} = 0$$

PROCESSOS REVERSÍVEIS

- Em outras palavras, qualquer que seja nosso processo reversível, podemos afirmar que

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0$$

PROCESSOS REVERSÍVEIS

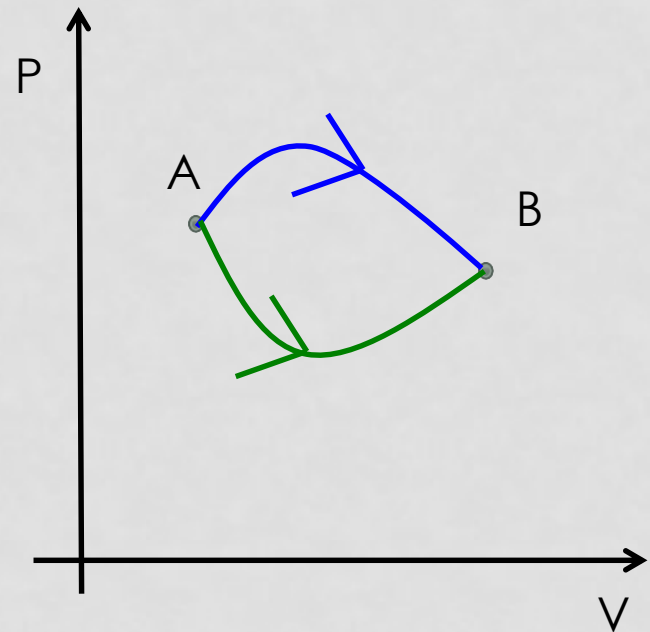
- Em outras palavras, qualquer que seja nosso processo reversível, podemos afirmar que

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0$$

- Isto significa que

$$\int_A^B \frac{dQ}{T}$$

fornece o mesmo resultado por **qualquer** caminho!!

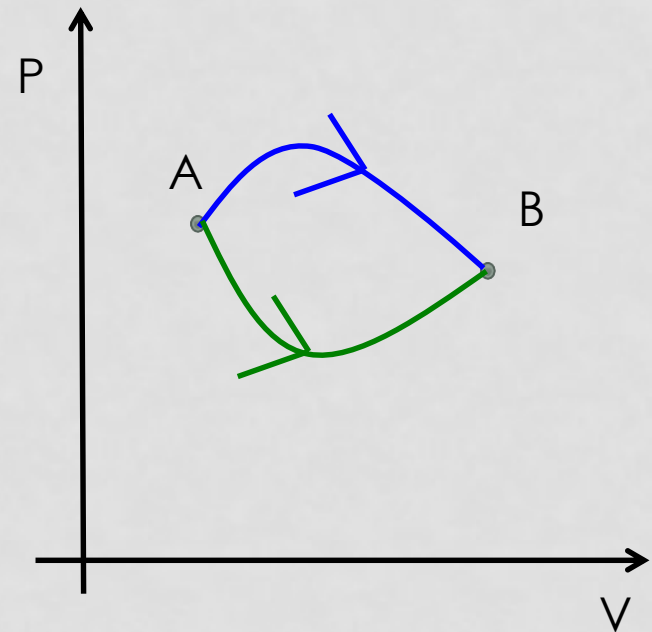


PROCESSOS REVERSÍVEIS

- Em outras palavras:

$$\int_A^B \frac{dQ_{rev}}{T}$$

é função apenas de A e B.



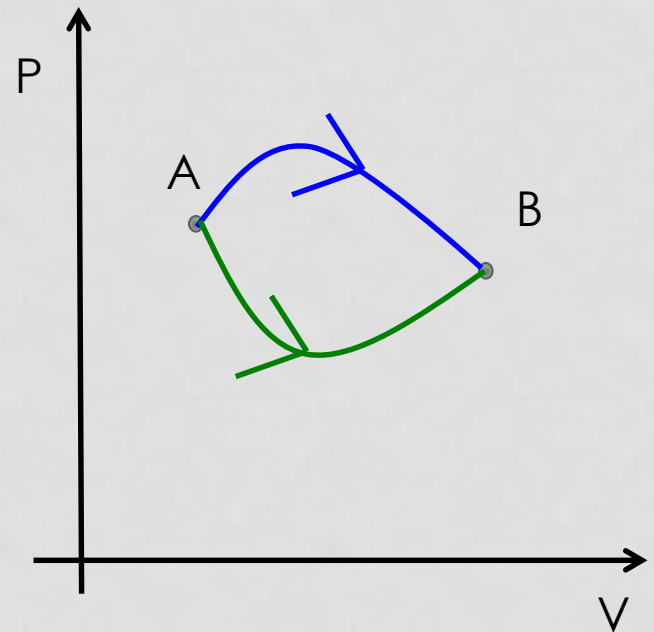
PROCESSOS REVERSÍVEIS

- Em outras palavras:

$$\int_A^B \frac{dQ_{rev}}{T}$$

Nossa demonstração vale apenas para transformações reversíveis!!!

é função apenas de A e B.



PROCESSOS REVERSÍVEIS

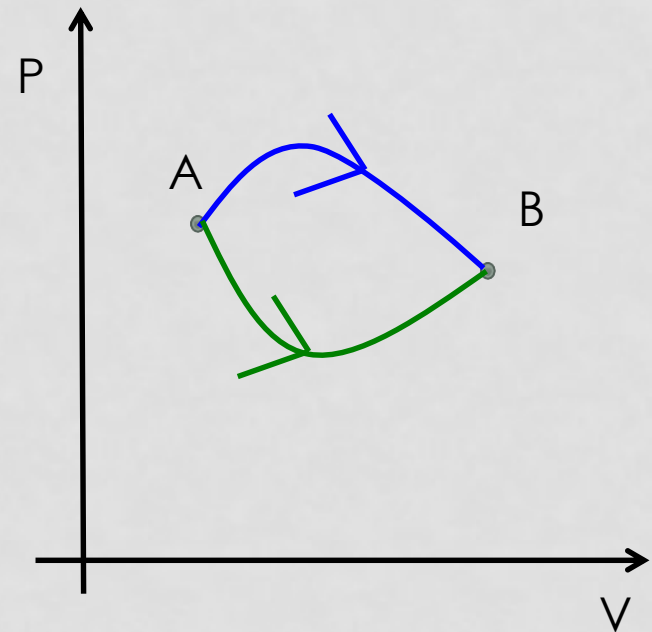
- Em outras palavras:

$$\int_A^B \frac{dQ_{rev}}{T}$$

é função apenas de A e B.

- Definimos, então,

$$S(B) - S(A) := \int_A^B \frac{dQ_{rev}}{T}$$



ENTROPIA

- Desta forma, podemos concluir que a entropia, definida como

$$S(B) - S(A) := \int_A^B \frac{dQ_{rev}}{T}$$

é uma **variável de estado!**

ENTROPIA

- Desta forma, podemos concluir que a entropia, definida como

$$S(B) - S(A) := \int_A^B \frac{dQ_{rev}}{T}$$

é uma **variável de estado!**

- Para sabermos a variação de entropia em um processo basta sabermos os estados inicial e final. **Independente do processo!**
- Sabemos que:

$$dU = dQ - PdV$$

ENTROPIA

- Desta forma, podemos concluir que a entropia, definida como

$$S(B) - S(A) := \int_A^B \frac{dQ_{rev}}{T}$$

é uma **variável de estado!**

- Para sabermos a variação de entropia em um processo basta sabermos os estados inicial e final. **Independente do processo!**
- Sabemos que:

$$dU = dQ - PdV$$

- Logo:

$$dU = TdS - PdV$$

ENTROPIA

- Note a analogia:

$$dW_{rev} = PdV$$

$$dQ_{rev} = TdS$$

-

ENTROPIA

- Note a analogia:

$$dW_{rev} = PdV$$

$$dQ_{rev} = TdS$$

- Como vimos, em um processo irreversível temos

$$W \neq \int PdV$$

ex. Expansão livre

ENTROPIA

- Note a analogia:

$$dW_{rev} = PdV$$

$$dQ_{rev} = TdS$$

- Como vimos, em um processo irreversível temos

$$W \neq \int PdV \quad \text{ex. Expansão livre}$$

- Mais adiante veremos como se dá a troca de calor em processos irreversíveis!
- Daremos antes alguns exemplos de transformações reversíveis.

ENTROPIA

- Exemplos:

- 1) Transformação adiabática reversível:

$$dQ_{rev} = 0$$

ENTROPIA

- Exemplos:

- 1) Transformação adiabática reversível:

$$dQ_{rev} = 0 \Rightarrow dS = 0$$

ENTROPIA

- Exemplos:

1) Transformação adiabática reversível:

$$dQ_{rev} = 0 \Rightarrow dS = 0$$

Processo adiabático é isentrópico!

ENTROPIA

- Exemplos:

1) Transformação adiabática reversível:

$$dQ_{rev} = 0 \Rightarrow dS = 0$$

Processo adiabático é isentrópico!

2) Transição de fase reversível:

- i.e., em contato com um reservatório térmico a mesma temperatura da transição:

ENTROPIA

- Exemplos:

1) Transformação adiabática reversível:

$$dQ_{rev} = 0 \Rightarrow dS = 0$$

Processo adiabático é isentrópico!

2) Transição de fase reversível:

$$\Delta S = \int \frac{dQ_{rev}}{T}$$

$$\Delta S = \frac{1}{T} \int dQ_{rev} = \frac{Q_{rev}}{T}$$

ENTROPIA

- Exemplos:

1) Transformação adiabática reversível:

$$dQ_{rev} = 0 \Rightarrow dS = 0$$

Processo adiabático é isentrópico!

2) Transição de fase reversível:

$$\Delta S = \int \frac{dQ_{rev}}{T}$$

$$\Delta S = \frac{1}{T} \int dQ_{rev} = \frac{Q_{rev}}{T} = \frac{mL}{T}$$

ENTROPIA

- Exemplos:

Ciclo de Carnot:

Diagrama P x V

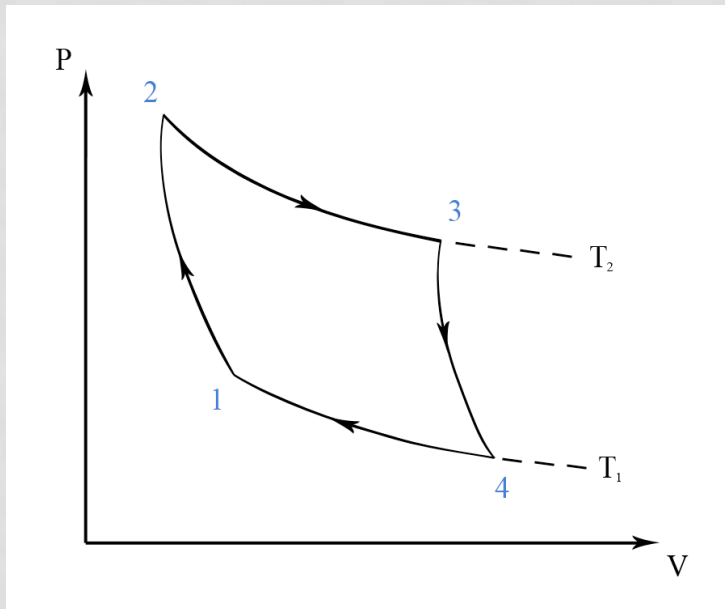
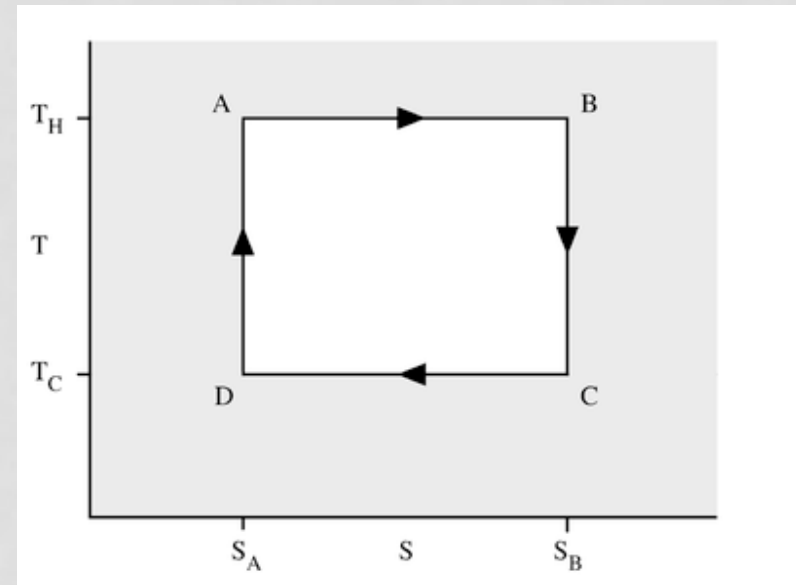


Diagrama T x S



PROCESSOS IRREVERSÍVEIS

- Considere um processo irreversível que leve do estado inicial i para o estado final f .
 - Qual a variação de entropia entre i e f ?
- Por definição:

$$\Delta S = \int \frac{dQ_{rev}}{T}$$

PROCESSOS IRREVERSÍVEIS

- Considere um processo irreversível que leve do estado inicial i para o estado final f .
 - Qual a variação de entropia entre i e f ?
- Por definição:

$$\Delta S = \int \frac{dQ_{rev}}{T}$$

- Para calcular a variação de entropia em um processo reversível **devemos imaginar** um processo reversível que ligue os **mesmos estados inicial e final!!**

PROCESSOS IRREVERSÍVEIS

- Exemplos:
 - 1) Expansão livre:

PROCESSOS IRREVERSÍVEIS

- **Exemplos:**

- 1) Expansão livre:

Neste caso $Q=0$! Mas para calcular a variação de entropia devemos imaginar um processo que leve do mesmo estado inicial para o mesmo estado final e calcular o calor trocado neste outro processo!!

PROCESSOS IRREVERSÍVEIS

- Exemplos:

- 1) Expansão livre:

Como vimos, neste processo $T_i = T_f$.

PROCESSOS IRREVERSÍVEIS

- **Exemplos:**

- 1) Expansão livre:

Como vimos, neste processo $T_i = T_f$.

O processo reversível que leva do mesmo estado inicial para o mesmo estado final é a expansão isotérmica entre o volume V_i e V_f !

$$dQ_{rev} = dW_{rev} = nRT \frac{dV}{V}$$

PROCESSOS IRREVERSÍVEIS

- Exemplos:

- 1) Expansão livre:

Como vimos, neste processo $T_i = T_f$.

O processo reversível que leva do mesmo estado inicial para o mesmo estado final é a expansão isotérmica entre o volume V_i e V_f !

Como $T = \text{cte}$, concluimos que

$$\Delta U = 0$$

donde

PROCESSOS IRREVERSÍVEIS

- **Exemplos:**

- 1) Expansão livre:

Como vimos, neste processo $T_i = T_f$.

O processo reversível que leva do mesmo estado inicial para o mesmo estado final é a expansão isotérmica entre o volume V_i e V_f !

Como $T = \text{cte}$, concluimos que

$$\Delta U = 0$$

donde

$$dQ_{rev} = dW_{rev} = nRT \frac{dV}{V}$$

PROCESSOS IRREVERSÍVEIS

- **Exemplos:** gás ideal

1) Expansão livre:

Assim:

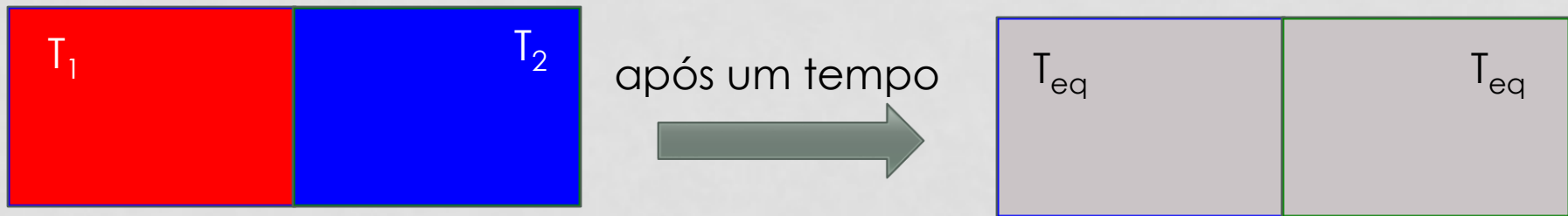
$$dW = pdV = nRT \frac{dV}{V}$$

$$dQ_{rev} = dW_{rev} = nRT \frac{dV}{V}$$

$$\Delta S = \int \frac{dQ_{rev}}{T} = \int_{V_i}^{V_f} nR \frac{dV}{V}$$

PROCESSOS IRREVERSÍVEIS

- **Exemplos:** dois corpos em contato térmico
 - 2) Troca de calor ($T_1 > T_2$)
 - Qual a variação de entropia neste processo claramente irreversível?



$$dS = dS_1 + dS_2 = -\frac{dQ_R}{T_1} + \frac{dQ_R}{T_2} = dQ_R \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) > 0$$

AUMENTO DE ENTROPIA DO UNIVERSO

- Se a variação de entropia de um sistema entre $i \rightarrow f$ é a mesma quer o processo seja reversível ou não, qual a diferença na prática dos 2 processos?

AUMENTO DE ENTROPIA DO UNIVERSO

- Se a variação de entropia de um sistema entre $i \rightarrow f$ é a mesma quer o processo seja reversível ou não, qual a diferença na prática dos 2 processos?
- Voltemos à expansão livre:
 - Vimos que um processo reversível que leva do mesmo estado inicial ao mesmo estado final é a **expansão isotérmica**.

AUMENTO DE ENTROPIA DO UNIVERSO

- Se a variação de entropia de um sistema entre $i \rightarrow f$ é a mesma quer o processo seja reversível ou não, qual a diferença na prática dos 2 processos?
- Voltemos à expansão livre:
 - Vimos que um processo reversível que leva do mesmo estado inicial ao mesmo estado final é a **expansão isotérmica**.
 - Neste caso, a variação de entropia do gás é dada por

$$\Delta S_{gas} = \int \frac{dQ_{rev}}{T}$$

AUMENTO DE ENTROPIA DO UNIVERSO

- Se a variação de entropia de um sistema entre $i \rightarrow f$ é a mesma quer o processo seja reversível ou não, qual a diferença na prática dos 2 processos?
- Voltemos à expansão livre:

- Vimos que um processo reversível que leva do mesmo estado inicial ao mesmo estado final é a **expansão isotérmica**.
- Neste caso, a variação de entropia do gás é dada por

$$\Delta S_{gas} = \int \frac{dQ_{rev}}{T}$$

- De onde vem o calor absorvido pelo gás nesta expansão?

AUMENTO DE ENTROPIA DO UNIVERSO

- Se a variação de entropia de um sistema entre $i \rightarrow f$ é a mesma quer o processo seja reversível ou não, qual a diferença na prática dos 2 processos?

- Voltemos à expansão livre:

- Vimos que um processo reversível que leva do mesmo estado inicial ao mesmo estado final é a **expansão isotérmica**.
- Neste caso, a variação de entropia do gás é dada por

$$\Delta S_{gas} = \int \frac{dQ_{rev}}{T}$$

- De onde vem o calor absorvido pelo gás nesta expansão?
 - Da vizinhança! Se o processo é reversível, ela está também à temperatura T !

AUMENTO DE ENTROPIA DO UNIVERSO

- Se a variação de entropia de um sistema entre i->f é a mesma quer o processo seja reversível ou não, qual a diferença na prática dos 2 processos?
- Voltemos à expansão livre:
 - Vimos que um processo reversível que leva do mesmo estado inicial ao mesmo estado final é a **expansão isotérmica**.
 - Neste caso, a variação de entropia do gás é dada por

$$\Delta S_{gas} = \int \frac{dQ_{rev}}{T}$$

- De onde vem o calor absorvido pelo gás nesta expansão?
 - Da vizinhança! Se o processo é reversível, ela está também à temperatura T! Logo:

$$\Delta S_{viz} = - \int \frac{dQ_{rev}}{T}$$

AUMENTO DE ENTROPIA DO UNIVERSO

- Na expansão isotérmica reversível temos, então:

$$\Delta S_{viz} + \Delta S_{gas} = 0$$

AUMENTO DE ENTROPIA DO UNIVERSO

- Na expansão isotérmica reversível temos, então:

$$\Delta S_{universe} = 0$$

AUMENTO DE ENTROPIA DO UNIVERSO

- Na expansão isotérmica reversível temos, então:

$$\Delta S_{universe} = 0$$

- E no processo irreversível de expansão livre? Neste caso a vizinhança é o vácuo e temos

$$\Delta S_{viz} = 0$$

$$\Delta S_{Universe} = \Delta S_{gas} + \Delta S_{Viz}$$

$$\Delta S_{gas} = \int \frac{dQ_{rev}}{T}$$

AUMENTO DE ENTROPIA DO UNIVERSO

- Na expansão isotérmica reversível temos, então:

$$\Delta S_{universe} = 0$$

- E no processo irreversível de expansão livre? Neste caso a vizinhança é o vácuo e temos

$$\Delta S_{viz} = 0$$

- A variação de entropia do gás é a mesma. Como vimos, é positiva. Logo,

$$\Delta S_{universe} > 0$$

AUMENTO DE ENTROPIA DO UNIVERSO

- Portanto, em um processo no qual o gás vai do estado inicial i para o estado final f .

	Reversível	Irreversível
Gás	ΔS_{gas}	ΔS_{gas}
Universo		

AUMENTO DE ENTROPIA DO UNIVERSO

- Portanto, em um processo no qual o gás vai do estado inicial i para o estado final f .

	Reversível	Irreversível
Gás	ΔS_{gas}	ΔS_{gas}
Universo		

O mesmo!

AUMENTO DE ENTROPIA DO UNIVERSO

- Portanto, em um processo no qual o gás vai do estado inicial i para o estado final f .

	Reversível	Irreversível
Gás	ΔS_{gas}	ΔS_{gas}
Universo	$\Delta S_{universo} = 0$	$\Delta S_{universo} > 0$

AUMENTO DE ENTROPIA DO UNIVERSO

- Portanto, em um processo no qual o gás vai do estado inicial i para o estado final f .

	Reversível	Irreversível
Gás	ΔS_{gas}	ΔS_{gas}
Universo	$\Delta S_{universo} = 0$	$\Delta S_{universo} > 0$

- Em outras palavras, se levarmos o gás de i para f através de um processo irreversível a vizinhança não irá para o mesmo estado final que ela iria caso tivéssemos levado o gás de i para f reversivelmente.

COMENTÁRIOS

- O fato de que num sistema isolado a entropia sempre aumenta ou continua a mesma é uma das conseqüências mais profundas da 2ª lei da termodinâmica.

COMENTÁRIOS

- O fato de que num sistema isolado a entropia sempre aumenta ou continua a mesma é uma das consequências mais profundas da 2ª lei da termodinâmica.
- Este enunciado traz claramente a seta do tempo.

COMENTÁRIOS

- O fato de que num sistema isolado a entropia sempre aumenta ou continua a mesma é uma das conseqüências mais profundas da 2ª lei da termodinâmica.
- Este enunciado traz claramente a seta do tempo.
 - Por demonstrações análogas as que fizemos para mostrar que o ciclo de Carnot tem rendimento maior do que qualquer máquina irreversível que opera entre as mesmas temperaturas mostre de forma bem geral que a entropia de um sistema isolado aumenta num processo irreversível.

COMENTÁRIOS

- Note que nada impede que diminuamos a entropia de um sistema. Basta que a vizinhança aumente o suficiente sua entropia para compensar.