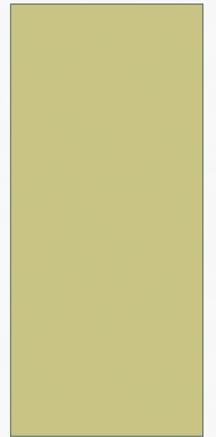


TERMODINÂMICA

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

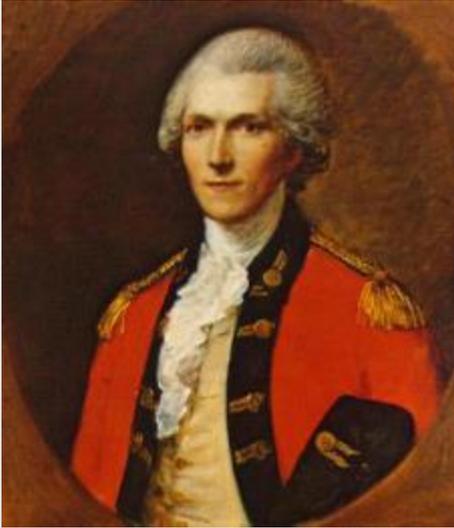


A NATUREZA DO CALOR

- **Experimento de Rumford:** Fricção gerado pelo atrito da broca com o metal é capaz de colocar a água em ebulição em 2h30.
 - Taxa de calor produzida parece inesgotável.
 - Calor produzido pelo **movimento**.

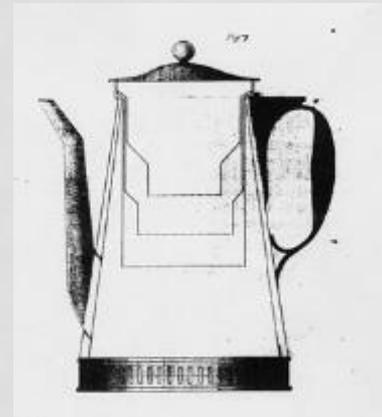


A NATUREZA DO CALOR



1754-1814 Benjamin
Thompson, in Woburn, MA

Lareiras, boiler duplo, panela de pressão, pote gotejador de café (bule), roupas com aquecimento interno, cozinha moderna, aquecimento interno de casas, iluminação interna de casas, tornou popular a máquina a vapor de James Watts .



INVENÇÕES

Rumford

A smooth throat promotes a strong draft without affecting the flue gasses.



A Rumford firebox will maximize the radiant energy of the fire due to its shallow depth and optimally angled sides.

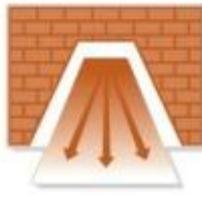


Conventional

A conventional throat creates turbulence that can reduce draft and disturb the fire.

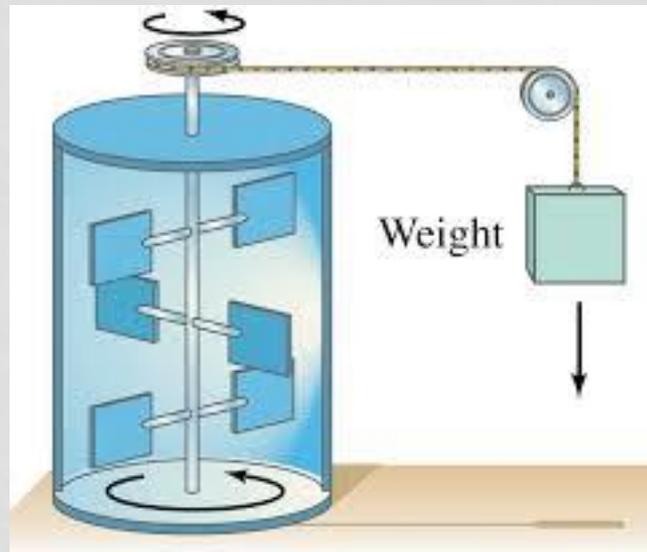


A conventional firebox allows a fraction of the radiant heat out because of its depth and angle of the walls.



A NATUREZA DO CALOR

- **Experimento de Joule:** Energia potencial gravitacional do peso é transformado em energia cinética das pás, que dissipam energia por atrito.



A NATUREZA DO CALOR

- **Experimento de Joule:** Energia potencial gravitacional do peso é transformado em energia cinética das pás, que dissipam energia por atrito.
 - Ao medir a temperatura da água antes e depois da queda do peso, Joule observou que a água estava mais quente.
- Em outras palavras, **calor** é uma forma de **energia**.
 - Conforme veremos mais adiante, calor corresponde à transferência de energia macroscópica para microscópica.

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

- Revisão de Física I:
 - Para um corpo sob a ação da força peso ->

$$E = T + U$$

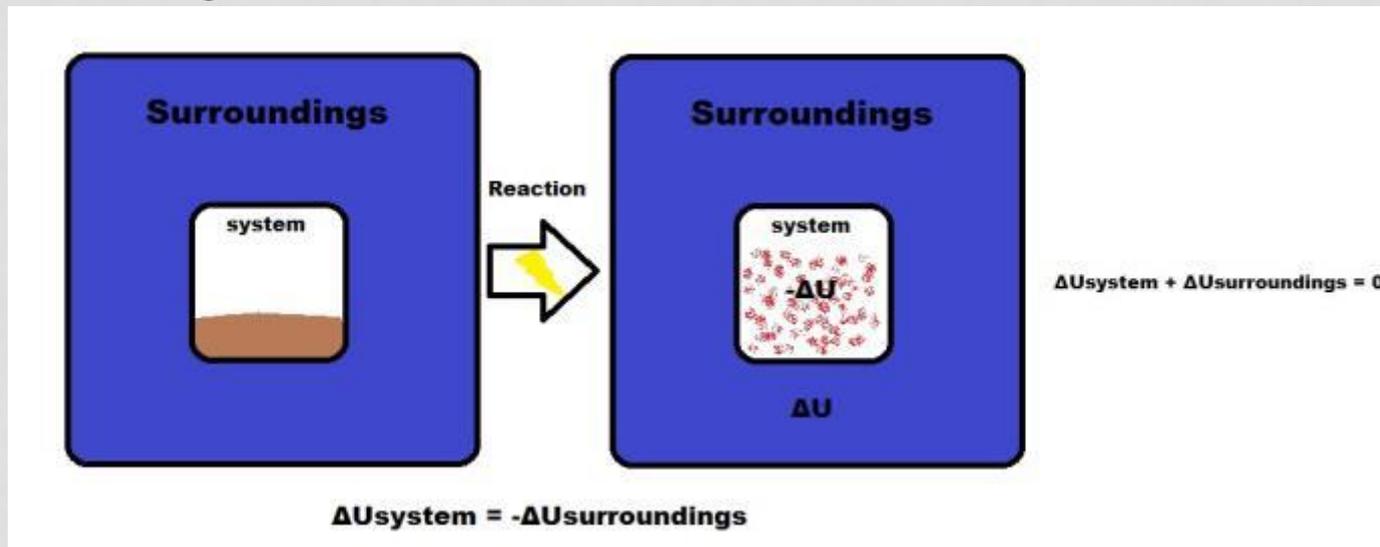
onde T é a energia cinética e U é a energia potencial gravitacional,

E é uma constante de movimento

Este é um teorema, demonstrado matematicamente a partir das leis de Newton.

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

- A 1ª lei da termodinâmica promove o teorema da conservação de energia mecânica para um princípio geral:
 - A energia mecânica perdida por um sistema é transformada em energia elétrica, nuclear, calor, ou qualquer outra forma de energia.



1ª LEI DA TERMODINÂMICA

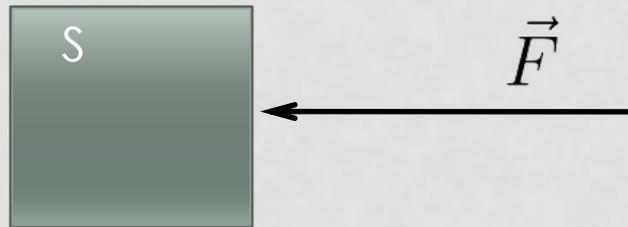
- **Observações**
- Um sistema contém apenas energia interna
- Um sistema não contém energia na forma de calor ou trabalho
- Calor e trabalho somente existem durante uma mudança no sistema
- A energia interna é uma função de estado

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

- Formalizando a troca de energia.
- Considere um sistema S . Como podemos variar a energia de S ?

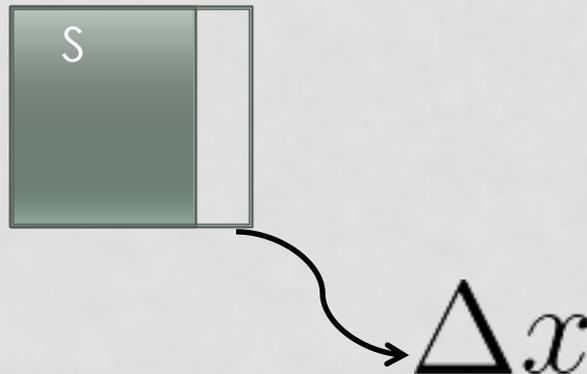
1ª LEI DA TERMODINÂMICA

- Considere um sistema S. Como podemos variar a energia de S?
 - Podemos realizar trabalho sobre S.
 - Ex. Trabalho realizado por forças de pressão.



1ª LEI DA TERMODINÂMICA

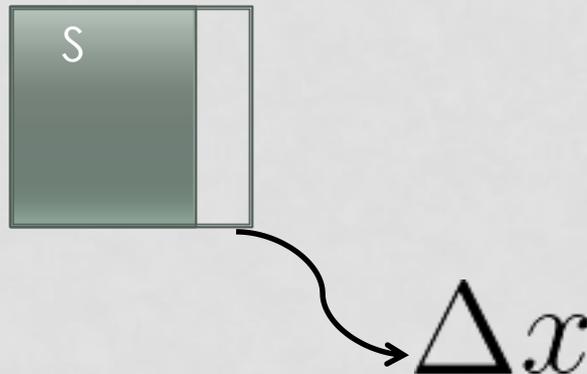
- Considere um sistema S . Como podemos variar a energia de S ?
 - Podemos realizar trabalho sobre S .
 - Ex. Trabalho realizado por forças de pressão.



$$W = F \Delta x$$

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

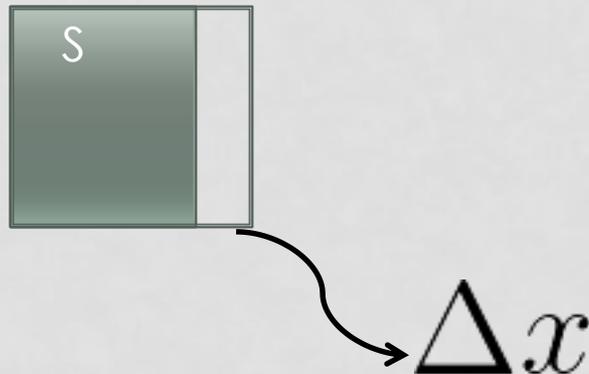
- Considere um sistema S . Como podemos variar a energia de S ?
 - Podemos realizar trabalho sobre S .
 - Ex. Trabalho realizado por forças de pressão.



$$W = F \Delta x \implies W = P A \Delta x$$

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

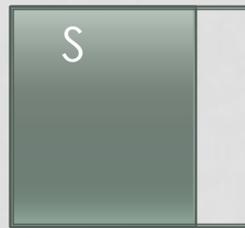
- Considere um sistema S. Como podemos variar a energia de S?
 - Podemos realizar trabalho sobre S.
 - Ex. Trabalho realizado por forças de pressão.



$$W = F \Delta x \implies W = P \Delta V$$

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

- Considere um sistema S. Como podemos variar a energia de S?
 - Podemos realizar trabalho sobre S.
 - Ex. Trabalho realizado por forças de pressão.



Desafio: Mostre a fórmula abaixo para forças de pressão para uma superfície de formato qualquer

Δx

$$W = F \Delta x \implies W = P \Delta V$$

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

- Considere um sistema S . Como podemos variar a energia de S ?
 - Podemos realizar trabalho sobre S .
 - Ex. Trabalho realizado por forças de pressão.
 - Ex. Trabalho realizado por forças elétricas, gravitacionais, ...

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

- Considere um sistema S . Como podemos variar a energia de S ?
 - Podemos realizar trabalho sobre S .
 - Ex. Trabalho realizado por forças de pressão.
 - Ex. Trabalho realizado por forças elétricas, gravitacionais, ...
 - Neste curso abordaremos apenas o primeiro caso.

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

- Considere um sistema S . Como podemos variar a energia de S ?
 - Podemos realizar trabalho sobre S .
 - Ex. Trabalho realizado por forças de pressão.
 - Ex. Trabalho realizado por forças elétricas, gravitacionais, ...
 - Neste curso abordaremos apenas o primeiro caso.
 - Podemos trocar **calor** com S .

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

- Considere um sistema S . Como podemos variar a energia de S ?
 - Podemos realizar trabalho sobre S .
 - Ex. Trabalho realizado por forças de pressão.
 - Ex. Trabalho realizado por forças elétricas, gravitacionais, ...
 - Neste curso abordaremos apenas o primeiro caso.
 - Podemos trocar **calor** com S .
 - Definiremos um pouco melhor adiante.

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

- Considere um sistema S . Como podemos variar a energia de S ?
 - Podemos realizar trabalho sobre S .
 - Ex. Trabalho realizado por forças de pressão.
 - Ex. Trabalho realizado por forças elétricas, gravitacionais, ...
 - Neste curso abordaremos apenas o primeiro caso.
 - Podemos trocar **calor** com S .
 - Definiremos um pouco melhor adiante.
 - Escrevemos matematicamente:

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

$$\Delta U = Q - W$$

- Na fórmula acima, $\Delta U = U_f - U_i$ é a variação da energia interna do sistema S entre os estados i e f.

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

$$\Delta U = Q - W$$

- Na fórmula acima, $\Delta U = U_f - U_i$ é a variação da energia interna do sistema S entre os estados i e f.
- Q é o **calor cedido ao sistema**.
 - $Q > 0$ significa que o sistema recebeu calor.

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

$$\Delta U = Q - W$$

- Na fórmula acima, $\Delta U = U_f - U_i$ é a variação da energia interna do sistema S entre os estados i e f.
- Q é o **calor cedido ao sistema**.
 - $Q > 0$ significa que o sistema recebeu calor.
- W é o **trabalho realizado pelo sistema**.
 - $W < 0$ significa que trabalho externo foi realizado sobre o sistema que, portanto, ganhou energia.

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

$$\Delta U = Q - W$$

- Na fórmula acima, $\Delta U = U_f - U_i$ é a variação da energia interna do sistema S entre os estados i e f.
- Q é o **calor cedido ao sistema**.
 - $Q > 0$ significa que o sistema recebeu calor.
- W é o **trabalho realizado pelo sistema**.
 - $W < 0$ significa que trabalho externo foi realizado sobre o sistema que, portanto, ganhou energia.
- Note que isto é apenas uma convenção e podemos escrever a 1ª lei de muitas formas.

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

$$\Delta U = Q - W$$

- Na fórmula acima, $\Delta U = U_f - U_i$ é a variação da energia interna do sistema S entre os estados i e f.
- Q é o **calor cedido ao sistema**.
 - $Q > 0$ significa que o sistema recebeu calor.
- W é o **trabalho realizado pelo sistema**.
 - $W < 0$ significa que trabalho externo foi realizado sobre o sistema que, portanto, ganhou energia.
- Note que isto é apenas uma convenção e podemos escrever a 1ª lei de muitas formas.
 - Por exemplo:

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

$$\Delta U = Q + W$$

- Na fórmula acima, $\Delta U = U_f - U_i$ é a variação da energia interna do sistema S entre os estados i e f.
- Q é o **calor cedido ao sistema**.
- W é o **trabalho realizado sobre sistema**.
 - Nesta nova convenção, W ser positivo significa que o sistema ganhou energia.

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

$$\Delta U = Q + W$$

- Na fórmula acima, $\Delta U = U_f - U_i$ é a variação da energia interna do sistema S entre os estados i e f.
- Q é o **calor cedido ao sistema**.
- W é o **trabalho realizado sobre sistema**.
 - Nesta nova convenção, W ser positivo significa que o sistema ganhou energia.
- **Exercício**: Discuta todas as possibilidades de sinal.

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

$$\Delta U = Q + W$$

- Na fórmula acima, $\Delta U = U_f - U_i$ é a variação da energia interna do sistema S entre os estados i e f.
- Q é o **calor cedido ao sistema**.
- W é o **trabalho realizado sobre sistema**.
 - Nesta nova convenção, W ser positivo significa que o sistema ganhou energia.
- **Exercício**: Discuta todas as possibilidades de sinal.
- A profundidade da fórmula acima está nos seguintes pontos:

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

$$\Delta U = Q - W$$

1. A energia interna de um sistema S depende **apenas** do **estado em que o sistema se encontra**.
 1. Tal estado é caracterizado pelas suas variáveis macroscópicas (exs: P,V,T)

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

$$\Delta U = Q - W$$

1. A energia interna de um sistema S depende **apenas** do **estado em que o sistema se encontra**.
 1. Tal estado é caracterizado pelas suas variáveis macroscópicas (exs: P,V,T)
 2. Este é um fato experimental!

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

$$\Delta U = Q - W$$

1. A energia interna de um sistema S depende **apenas** do **estado em que o sistema se encontra**.
 1. Tal estado é caracterizado pelas suas variáveis macroscópicas (exs: P,V,T)
 2. Este é um fato experimental!
2. Portanto, a variação da energia de um sistema depende **apenas** dos estados inicial e final, **sem depender** de processo para ir de i a f.

1ª LEI DA TERMODINÂMICA

$$\Delta U = Q - W$$

1. A energia interna de um sistema S depende **apenas** do **estado em que o sistema se encontra**.
 1. Tal estado é caracterizado pelas suas variáveis macroscópicas (exs: P,V,T)
 2. Este é um fato experimental!
2. Portanto, a variação da energia de um sistema depende **apenas** dos estados inicial e final, **sem depender** de processo para ir de i a f.
3. Q e W, contudo, dependem do processo!!
O exemplo seguinte ilustrará melhor este ponto.

W E Q DEPENDEM DO CAMINHO

- **Exemplo:**
- Considere que desejamos aquecer uma certa quantidade de água de 30 oC para 40 oC.
- **Maneira 1:** Colocamos o recipiente com água sobre uma chama.

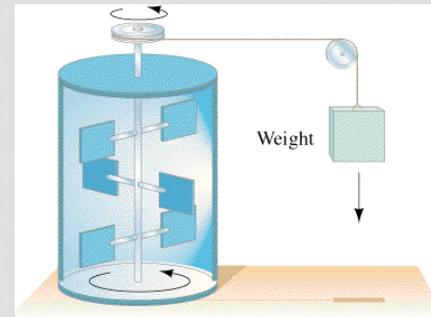


W E Q DEPENDEM DO CAMINHO

- **Exemplo:**
- Considere que desejamos aquecer uma certa quantidade de água de 30 oC para 40 oC.
 - **Maneira 1:** Colocamos o recipiente com água sobre uma chama.
 - Praticamente não há trabalho realizado. A variação de energia interna é devido basicamente ao calor transferido da chama para a água.

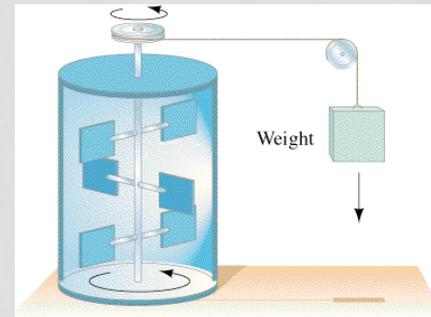
W E Q DEPENDEM DO CAMINHO

- **Exemplo:**
- Considere que desejamos aquecer uma certa quantidade de água de 30 oC para 40 oC.
- **Maneira 1:** Colocamos o recipiente com água sobre uma chama.
 - Praticamente não há trabalho realizado. A variação de energia interna é devido basicamente ao calor transferido da chama para a água.
- **Maneira 2:** Colocamos pás para girar dentro do recipiente.



W E Q DEPENDEM DO CAMINHO

- **Exemplo:**
- Considere que desejamos aquecer uma certa quantidade de água de 30 oC para 40 oC.
- **Maneira 1:** Colocamos o recipiente com água sobre uma chama.
 - Praticamente não há trabalho realizado. A variação de energia interna é devido basicamente ao calor transferido da chama para a água.
- **Maneira 2:** Colocamos pás para girar dentro do recipiente.
 - Há um trabalho realizado pelas pás sobre a água.



W E Q DEPENDEM DO CAMINHO

- **Exemplo:**
- Considere que desejamos aquecer uma certa quantidade de água de 30 oC para 40 oC.
 - **Maneira 1:** Colocamos o recipiente com água sobre uma chama.
 - Praticamente não há trabalho realizado. A variação de energia interna é devido basicamente ao calor transferido da chama para a água.
 - **Maneira 2:** Colocamos pás para girar dentro do recipiente.
 - Há um trabalho realizado pelas pás sobre a água.
- Mesmos estados iniciais e finais, mas trabalho realizado e calor trocado são diferentes.

W E Q DEPENDEM DO CAMINHO

- Portanto, as seguintes frases **não fazem sentido**:
 - O calor que a água possuía foi perdido quando ela se congelou.

W E Q DEPENDEM DO CAMINHO

- Portanto, as seguintes frases **não fazem sentido**:
 - ~~O calor que a água possuía foi perdido quando ela se congelou.~~
 - No processo no qual água a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ é transformada em gelo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ à pressão constante, há uma transferência de calor da água para o ambiente.

W E Q DEPENDEM DO CAMINHO

- Portanto, as seguintes frases **não fazem sentido**:
 - ~~O calor que a água possuía foi perdido quando ela se congelou.~~
 - No processo no qual água a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ é transformada em gelo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ à pressão constante, há uma transferência de calor da água para o ambiente.
 - O sistema S possui 500 calorias.

W E Q DEPENDEM DO CAMINHO

- Portanto, as seguintes frases **não fazem sentido**:
 - ~~O calor que a água possuía foi perdido quando ela se congelou.~~
 - No processo no qual água a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ é transformada em gelo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ à pressão constante, há uma transferência de calor da água para o ambiente.
 - ~~O sistema S possui 500 calorias.~~

W E Q DEPENDEM DO CAMINHO

- Portanto, as seguintes frases **não fazem sentido**:
 - ~~O calor que a água possuía foi perdido quando ela se congelou.~~
 - No processo no qual água a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ é transformada em gelo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ à pressão constante, há uma transferência de calor da água para o ambiente.
 - ~~O sistema S possui 500 calorias.~~
 - O sistema S possui uma energia interna de tantos joules. Esta quantidade pode variar desde que ou façamos trabalho sobre S ou transfiramos calor para S.

DIAGRAMA P, V

- Num gás homogêneo, o estado é univocamente determinado ao fornecermos P e V.

DIAGRAMA P, V

- Num gás homogêneo, o estado é univocamente determinado ao fornecemos P e V.
 - Isto significa que T é função apenas de P e V. Mais adiante no curso discutiremos qual é esta função.

DIAGRAMA P, V

- Num gás homogêneo, o estado é univocamente determinado ao fornecermos P e V.
 - Isto significa que T é função apenas de P e V. Mais adiante no curso discutiremos qual é esta função.
- Assim, as transformações termodinâmicas costumam ser representadas em um diagrama P,V.

DIAGRAMA P, V

- Um processo termodinâmico é representado pelo conjunto de pontos que o gás passa entre seu estado inicial e final.
 - Exemplo:

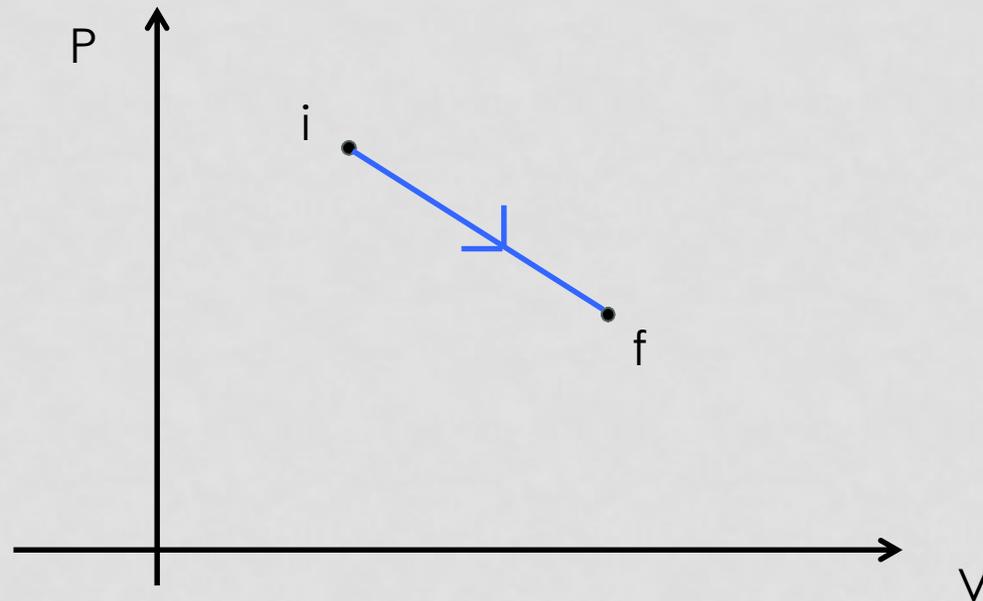


DIAGRAMA P, V

- Como calcular o trabalho realizado pelo gás neste processo?
 - Exemplo:

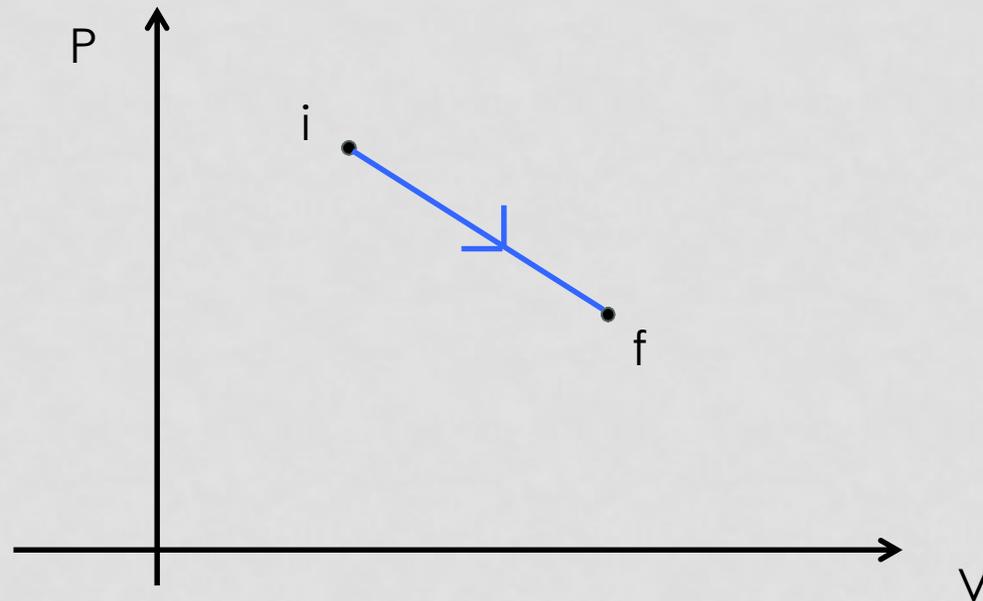


DIAGRAMA P, V

- Como calcular o trabalho realizado pelo gás neste processo?
 - Exemplo:

Como vimos, num processo infinitesimal:

$$W = P\Delta V$$

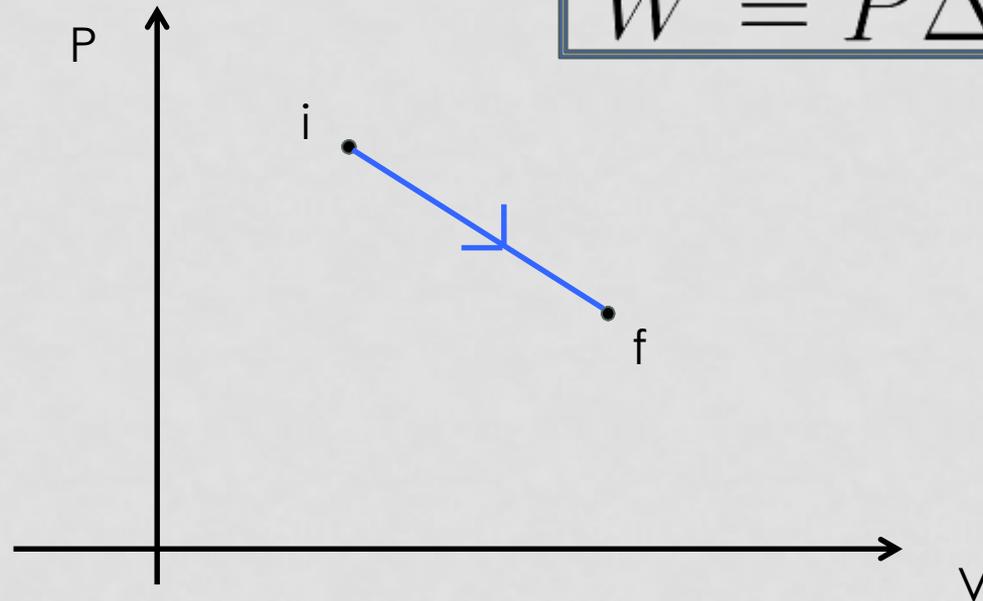


DIAGRAMA P, V

- Como calcular o trabalho realizado pelo gás neste processo?
 - Exemplo:

Num processo qualquer:

$$W_{i \rightarrow f} = \int_{i \rightarrow f} P dV$$

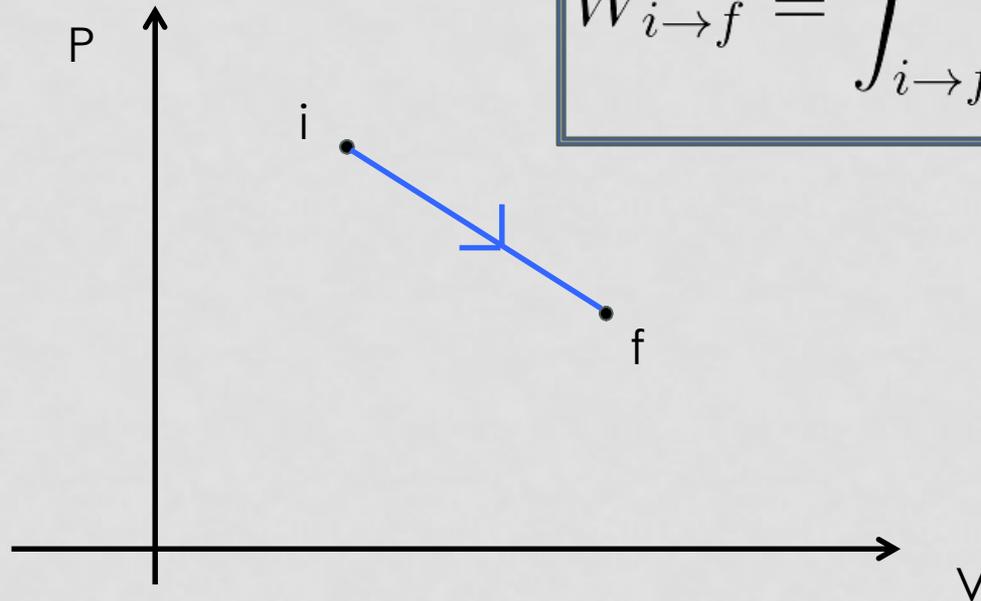


DIAGRAMA P, V

- Como calcular o trabalho realizado pelo gás neste processo?
 - Exemplo:

Num processo qualquer:

$$W_{i \rightarrow f} = \int_{i \rightarrow f} P dV$$

Graficamente, o trabalho corresponde à área da região hachurada.

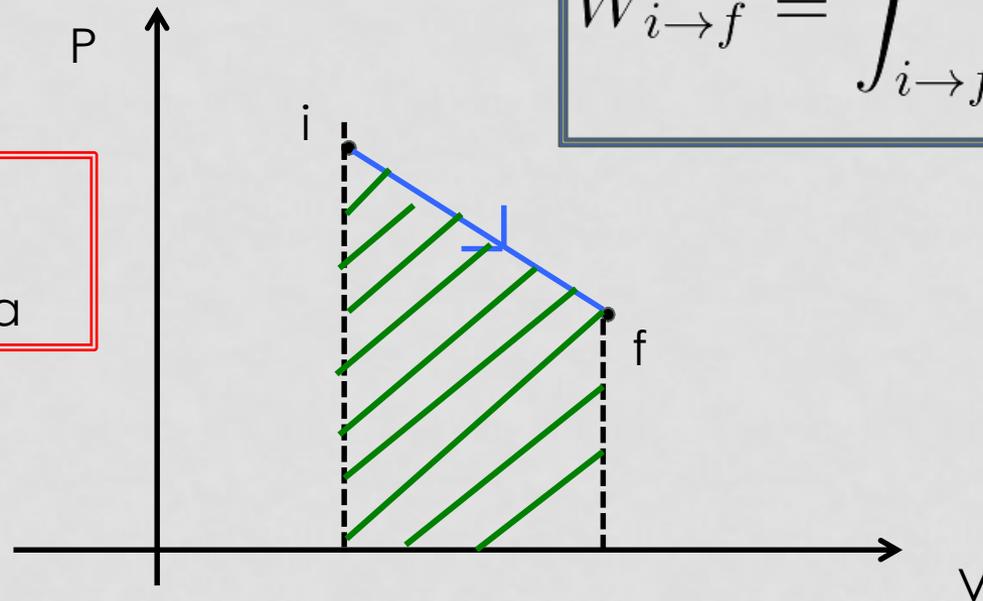


DIAGRAMA P, V

- $W > 0$ se o gás se expande e $W < 0$ caso se contraia.
- Exemplo:

Num processo qualquer:

$$W_{i \rightarrow f} = \int_{i \rightarrow f} P dV$$

Graficamente, o trabalho corresponde à área da região hachurada.

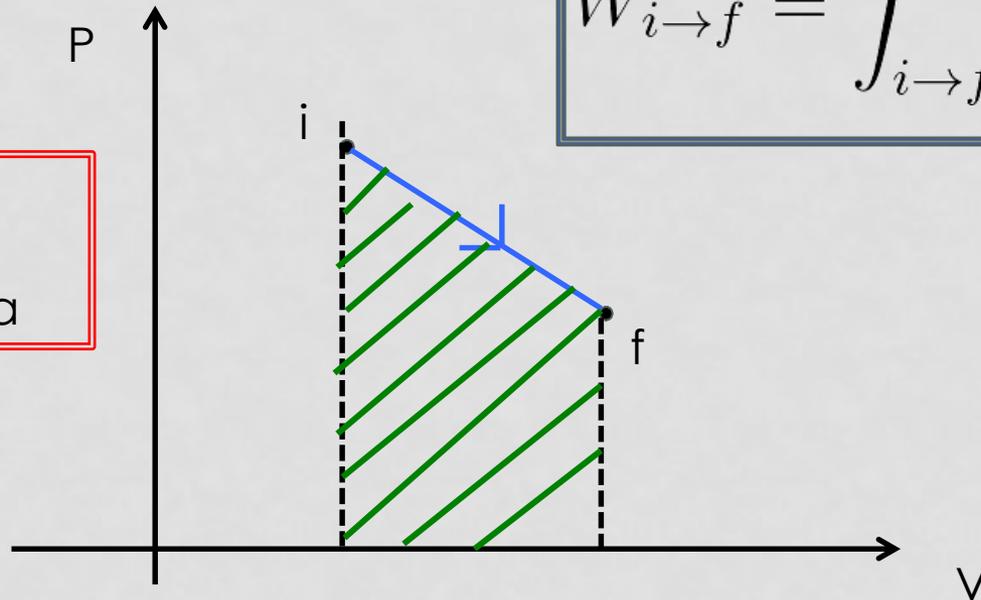
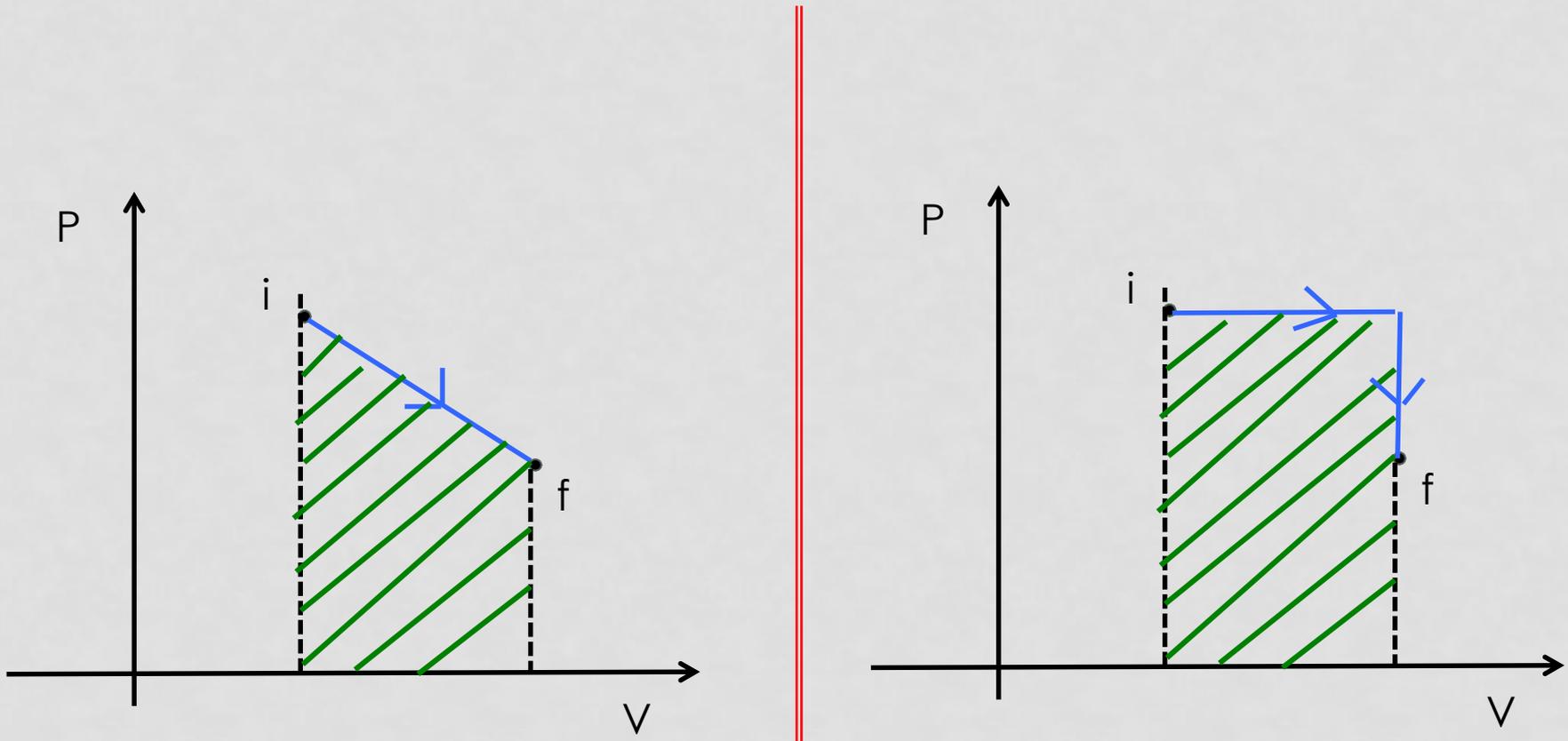


DIAGRAMA P, V

- Note que o trabalho depende do percurso!
 - Exemplo:



CALORIMETRIA

- Como calcular o calor trocado entre dois corpos?
 - **Depende do processo!**

FORMULAÇÃO INFINITESIMAL

- Para processos infinitesimais costumamos escrever

$$dU = \delta Q - \delta W$$

- A notação acima indica que dU é um diferencial exato, enquanto calor e trabalho são diferenciais inexatos.

FORMULAÇÃO INFINITESIMAL

- Para processos infinitesimais costumamos escrever

$$dU = \delta Q - \delta W$$

- A notação acima indica que dU é um diferencial exato, enquanto calor e trabalho são diferenciais inexatos.

FORMULAÇÃO INFINITESIMAL

- Para processos infinitesimais costumamos escrever

$$dU = \delta Q - \delta W$$

FORMULAÇÃO INFINITESIMAL

- Para processos infinitesimais costumamos escrever

$$dU = \delta Q - \delta W$$

- A notação acima indica que dU é um diferencial exato, enquanto calor e trabalho são diferenciais inexatos.
 - Isto significa que ao integrarmos dU entre os estados i e f , basta calcularmos a diferença entre U_f e U_i , enquanto o mesmo não vale para o calor e para o trabalho.
 - **Exemplo matemático: seja $f(x,y) = xy$:**
 - $d(f) = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy = ydx + xdy$. Ao integrarmos a equação anterior entre (x_i, y_i) e (x_f, y_f) : o lado esquerdo não depende da trajetória escolhida, mas cada um dos termos à direita depende.