

4300259 – Termo-estatística (DIURNO)

Profa. Kaline Coutinho (kaline@if.usp.br)

Monitor: Ricardo Lima (ricardo2.lima@usp.br)

Turma 1

- Segundas das 10:00h as 10:40h e das 11:00h as 11:40h
<https://zoom.us/j/466506860>
- Quintas das 8:00h as 8:40h e das 9:00h as 9:40h
<https://zoom.us/j/965663238>
- Horário da monitoria: plantão de dúvida das 12:00h as 13h **QUINTAS**

Cadastrem-se no Moodle Stoa USP

- Repositório de informações da disciplina
- É imprescindível se **cadastrar** no Moodle e **visitar** **frequentemente a página da disciplina:**

<http://edisciplinas.usp.br>

- Informações gerais e avisos;
- Aulas gravadas;
- Notas de aula;
- Listas de exercícios;
- Provas, etc.

Avaliação

- $P1 = P_{i1} + P_{i2} + P_{i3} + P_{i4}$, P_i é uma provinha valendo 2,5 com conteúdos específicos.
- P2 prova geral com todo o conteúdo valendo 10,0.
- Média = $(P1 + P2)/2$.
- SUB prova geral valendo 10,0.
- Datas: P_{i1} dia 03/09, P_{i2} dia 28/09, P_{i3} dia 26/10, P_{i4} dia 23/11, P2 dia 07/12 e SUB dia 14/12. A P_{i1} será numa quinta, mas todas as demais avaliações serão nas segundas.

Termo-estatística - Conteúdo

- Revisão: Termodinâmica (1a Lei e 2a Lei)
- Noções de probabilidade e distribuições
- Microestados e Postulado de Equiprobabilidade
- Distribuição de Maxwell-Boltzmann
- Entropia Termodinâmica e Entropia Estatística
- Aplicações: calores específicos, movimento browniano, radiação do corpo negro

Textos

- Notas de Aula (Profs. Silvio Salinas, Kaline Coutinho, Mario de Oliveira)
- Capítulos de livros sugeridos

Cientistas Importantes

- Maxwell, James Clerk (1831-1879), Inglaterra
- Gibbs, Josiah Willard (1839-1903), EUA
- Boltzmann, Ludwig (1844-1906), Austria
- Planck, Max (1858-1947), Alemanha
- Einstein, Albert (1879-1955), Alemanha

Note que o centro da ciência nesta época é na Europa.

Neste período também ocorreram a 1a. e 2a. Guerras Mundiais, onde no final da 2a. Guerra, os EUA começam a ser um grande protagonista mundial.

Maxwell e Boltzmann → concepção atomística da matéria explicando o comportamento dos gases (Teoria Cinética dos Gases).

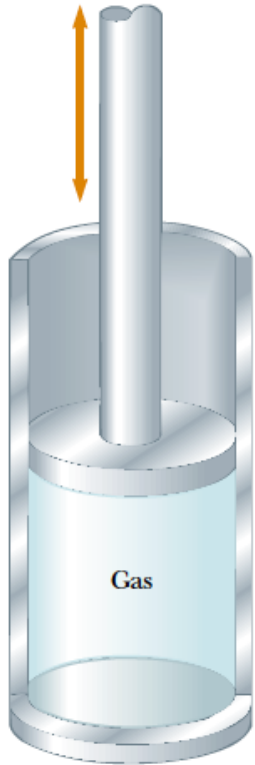
Gibbs → utiliza a formulação da Mecânica Clássica (desenvolvida por Hamilton) e os conceitos estatísticos de Boltzmann para formular a Mecânica Estatística.

Com estes conceitos estatísticos:

- **Planck** explica a radiação do corpo negro assumindo que a matéria é composta de osciladores elementares cujas vibrações dão origem a radiação com energia $e = hf$ onde f = frequência do oscilador e h = constante de Planck.
- **Einstein** explica o efeito foto elétrico e o calor específico de sólidos assumindo a quantização da radiação (onda eletromagnética), isto é, fótons com energia $e = hf$ onde f = frequência da radiação e h = constante de Planck.

Revisão de Termodinâmica

- Aula de hoje:
 - Estado, variáveis, 1a. Lei da Termodinâmica
- Próxima aula:
 - Entropia e 2a. Lei da Termodinâmica



Variáveis de Estado (ou Termodinâmicas): grandezas macroscópicas utilizadas para descrever gases (e outros sistemas) em termodinâmica: T , P , V , n (número de moles), etc.

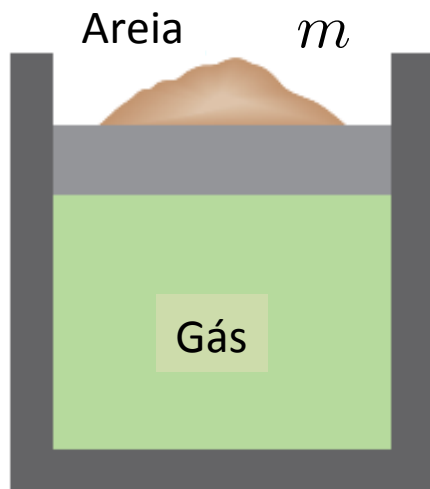
Equações de Estado: Relações (vínculos) entre as variáveis macroscópicas que permitem caracterizar o estado de um sistema (em geral complicadas, a não ser para modelos simplificados). Exemplo para o gás ideal: $PV = nRT$ ou $PV = NkT$

Funções de Estado: Grandezas físicas que podem ser expressas como funções das variáveis termodinâmicas e que não dependem do processo que levou o sistema ao estado termodinâmico: energia interna $U = E_{int}$, entropia S . Para o gás ideal: $U = nc_V T$ e $S = nc_V \ln(T) + nR \ln(V)$

Equilíbrio Termodinâmico e Processos Quase-Estáticos

Exercício para discussão:

1) Na figura abaixo, o pistão pode deslizar verticalmente sem atrito (sem troca de calor). O sistema encontra-se em equilíbrio mecânico na situação indicada, com uma massa m de areia depositada sobre a superfície do pistão.



a) Qual a diferença entre comprimir o gás (i) dobrando a quantidade de areia rapidamente (adicionando toda a areia de uma só vez) e (ii) dobrando a quantidade de areia lentamente (adicionando a areia grão por grão)?

b) A equação de estado $PV = NkT$ é válida durante a compressão em ambos os processos (rápido e lento)?

Resposta:

Neste problema o gás está inicialmente no equilíbrio termodinâmico no estado $(n, V_0, P_0 \text{ e } T_0)$ e podemos achar a energia inicial como $U_0 = nc_V T_0$. Como a massa de areia é duplicada nos dois casos: (i) rápido e (ii) lento, o estado a pressão final é igual, pois $P_0 A = (M+m)g$ onde A é a área e M a massa do pistão e m é a massa da areia. Lembrando que no equilíbrio, a força que o gás faz no pistão para cima tem que ser igual a força que o peso do pistão e areia fazem para baixo. Já no estado final $P_f A = (M+2m)g$. Então $P_f > P_0$. Sabemos que não houve troca de calor, então $Q_i = Q_{ii} = 0$. Assim, usando a 1ª Lei $\Delta U = W$. Assim, com processos diferentes teremos valores diferentes para o trabalho, causando temperaturas finais diferentes.

No processo (ii) lento, ou quase-estático, podemos usar as informações do processo adiabático $P_0 V_0^\gamma = P_f V_f^\gamma$ para achar o V_f e também calcular o trabalho resolvendo a integral de PdV . E com $PV = nRT$ calcularemos T_f . Assim, podemos calcular todas as propriedades do estado final.

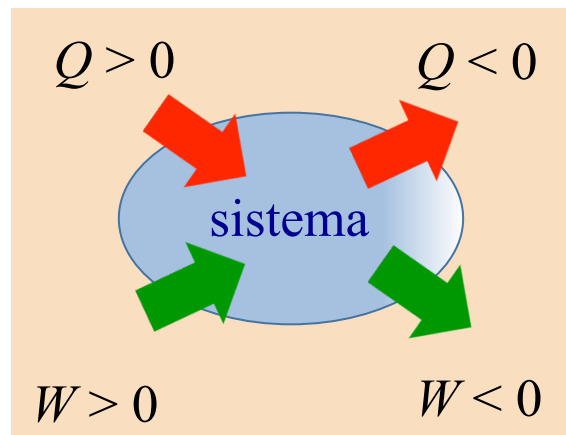
No processo (i) rápido, não podemos usar nem $PV = nRT$ e nem $P_0 V_0^\gamma = P_f V_f^\gamma$ para calcularmos V_f e T_f . Assim, não temos como calcular as propriedades do estado final.

Primeira Lei da Termodinâmica (Princípio da Energia)

Hipótese: As trocas de energia entre um sistema e seu entorno se devem **apenas** ao trabalho e à diferença de temperatura. O *Princípio de Conservação da Energia* pode ser escrito na forma:

Convenção 1: Q positivo = recebido pelo sistema e W positivo = realizado sobre o sistema, ou seja, realizado por um elemento externo. Ambos positivos aumentam a energia interna do sistema.

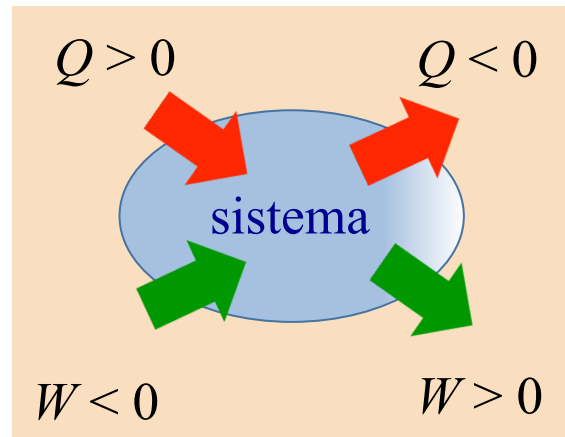
$$dU = dQ + dW$$



Primeira Lei da Termodinâmica (Princípio da Energia)

Convenção 2: Q positivo = recebido pelo sistema e aumenta a energia interna do sistema e W positivo = realizado pelo sistema e diminui a energia interna do sistema.

$$dU = dQ - dW$$



Para o gás ideal
 $dW = PdV$

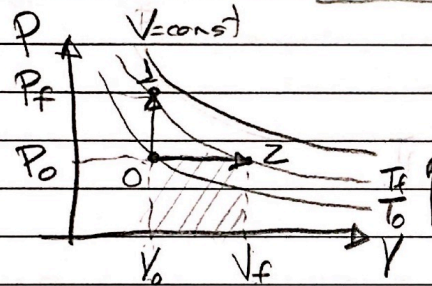
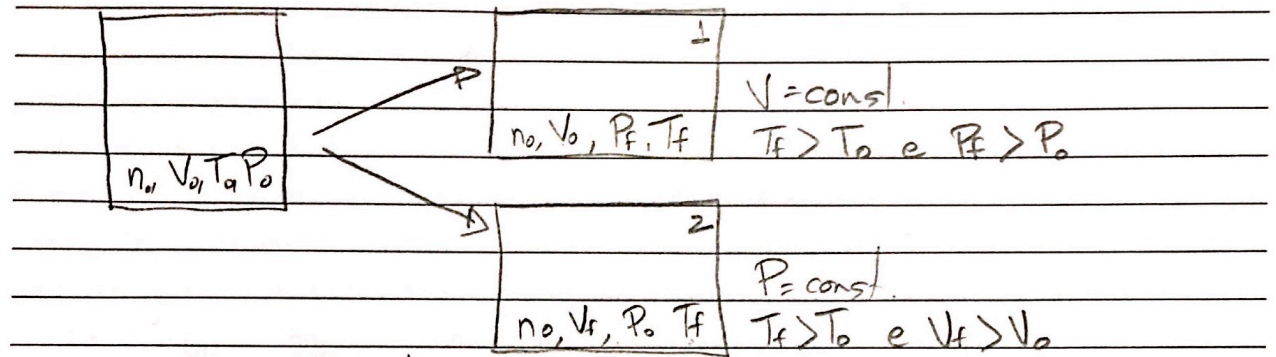
Note que o sinal do trabalho é definido de forma diferente. Na convenção 1 sobre o sistema e na conversão 2 pelo sistema. Nós vamos usar a conversão 2, pois neste caso todas as variáveis se referem ao sistema.

Exercício para discussão:

2) Dois recipientes contém o mesmo número de mols de gases (ideais) nas mesmas condições (P_i , V_i , T_i). Em um dos recipientes, a temperatura do gás é elevada mantendo-se o volume constante. No outro recipiente, a temperatura é elevada mantendo-se a pressão constante. Sendo as temperaturas finais iguais nos dois casos, é correto afirmar que:

- a) A variação de energia interna do gás é igual nos dois casos.
- b) A variação de energia interna do gás é, em princípio, diferente nos dois casos, pois depende do calor transferido em cada processo.
- c) O calor transferido nos dois processos é o mesmo.
- d) O calor transferido é maior quando o volume é mantido constante.
- e) O calor transferido é maior quando a pressão é mantida constante.

Resposta:



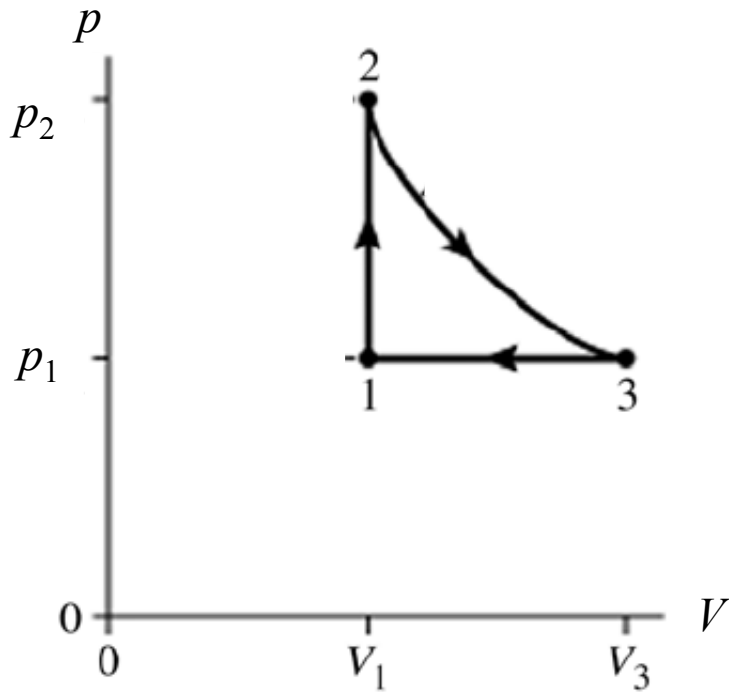
- a) $\Delta U_1 = \Delta U_2$?? Correto
 gás ideal $U(T)$
- b) Errado, pois U só depende de n, c_v e T .
- c) $Q_1 = Q_2$?? Errado

$$\begin{array}{l}
 1) V = \text{const} \quad W_1 = 0 \Rightarrow \Delta U_1 = Q_1 \\
 2) P = \text{const} \quad W_2 = P_0 \Delta V \Rightarrow \Delta U_2 = Q_2 - P_0 \Delta V
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Com } \Delta U_1 = \Delta U_2 \\ Q_1 = Q_2 - P_0 \Delta V \\ Q_1 < Q_2 \end{array}$$

- d) $Q_1 > Q_2$ Errado
- e) $Q_1 < Q_2$ Correto

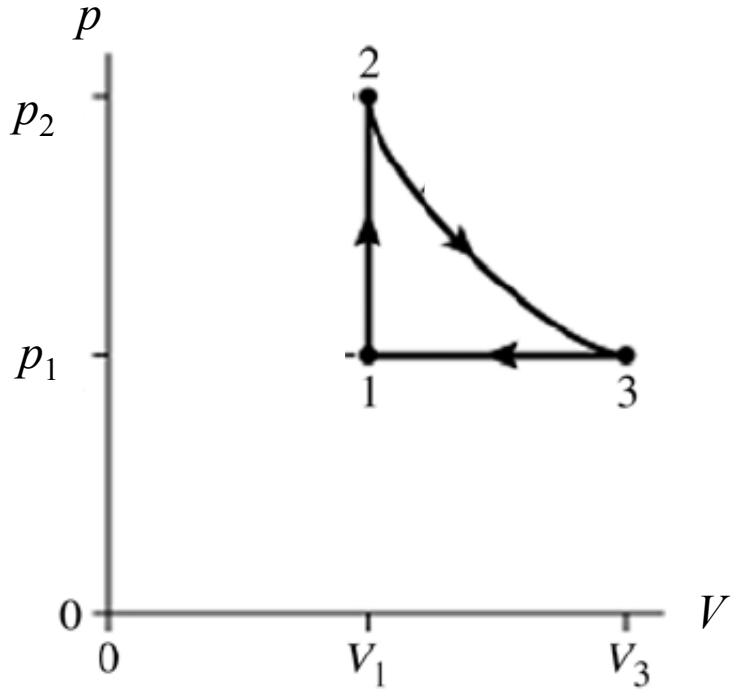
- a) A variação de energia interna do gás é igual nos dois casos. **Correto**
- b) A variação de energia interna do gás é, em princípio, diferente nos dois casos, pois depende do calor transferido em cada processo. **Errado**
- c) O calor transferido nos dois processos é o mesmo. **Errado**
- d) O calor transferido é maior quando o volume é mantido constante. **Errado**
- e) O calor transferido é maior quando a pressão é mantida constante. **Correto**

Exercício para discussão:



3) O diagrama ao lado representa três processos quase-estáticos consecutivos de um gás ideal. O processo $2 \rightarrow 3$ é isotérmico. Complete a tabela abaixo, indicando cada quantidade como maior do que zero, menor do que zero ou igual a zero em cada processo.

	ΔP	ΔV	ΔT	ΔE_{int}	W	Q
1→2						
2→3						
3→1						



Resposta:

Primeira Lei
 $\Delta U = Q - W$

$dW = PdV$

$\propto \Delta T$ (área)

	ΔP	ΔV	ΔT	ΔE_{int}	W	Q
1→2	> 0	= 0	> 0	> 0	= 0	> 0
2→3	< 0	> 0	= 0	= 0	> 0	> 0
3→1	= 0	< 0	< 0	< 0	< 0	< 0

Informação do gráfico
 $PV/T = \text{const}$