

INTRODUÇÃO

Na presente atividade iremos estudar os gases ideais, comprovando por meio de simulações (PhET) as leis de Boyle-Mariotte, Gay-Lussac, Charles e a equação de Clapeyron. Para isso, empregaremos as técnicas básicas utilizadas no tratamento estatístico de dados e conhecimentos básicos de termodinâmica.

OBJETIVOS

- Comprovar as leis de Boyle-Mariotte, Gay-Lussac e Charles, e
- Testar a validade da equação dos gases ideais, ou seja, a equação de Clapeyron.

MATERIAL UTILIZADO

- Calculadora científica em modo de cálculo estatístico,
- Material de apoio (apostilas e vídeos) divulgados no mural da turma, e
- Simulação PhET dos gases ideais, disponível em:
https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_pt_BR.html

RESUMO DAS BASES TEÓRICAS

Em termos rudimentares, um gás ideal pode ser definido como um gás (sistema) composto de partículas (átomos/moléculas) independentes sobre as quais nenhuma força atua, exceto na colisão entre as partículas ou dessas com as paredes do recipiente onde o sistema se encontra confinado. As leis dos gases ideais podem ser resumidamente enunciadas como:

- (i) **Lei de Boyle-Mariotte (1676):** Esta lei se refere a processos isotérmicos, ou seja, onde a temperatura T (em K) é constante, e estabelece a relação entre a pressão em que o gás se encontra, P (em Pa), e o volume ocupado pelo mesmo, V (em m^3), sendo expressa por:

$$P \propto \frac{1}{V} \Rightarrow P \cdot V = \text{constante}$$

- (ii) **Lei de Gay-Lussac (1802):** Esta lei se refere a processos isocóricos, ou seja, onde o volume V é constante, e estabelece a relação entre P e T , sendo expressa por:

$$P \propto T \Rightarrow \frac{P}{T} = \text{constante}$$

- (iii) **Lei de Charles (1787):** Esta lei se refere a processos isobáricos, ou seja, onde a pressão P é constante, e estabelece a relação entre V e T , sendo expressa por:

$$V \propto T \Rightarrow \frac{V}{T} = \text{constante}$$

- (iv) **Equação de Clapeyron (1834):** Constitui a chamada equação de estado dos gases ideais, que estabelece a relação entre os diversos parâmetros termodinâmicos que caracterizam o estado do sistema, sendo dada por:

$$P \cdot V = k_B \cdot N \cdot T$$

onde $k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ é a constante de Boltzmann e N é o número de partículas (átomos/moléculas) que compõem o sistema.

TÓPICOS PRINCIPAIS DO PROCEDIMENTO

Para efetuar a aquisição dos dados necessários para realizar a presente atividade remota, utilize a simulação PhET https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_pt_BR.html, selecionando a tela “IDEAL”, e siga todas as orientações repassadas na aula síncrona onde foi apresentado o roteiro e que se encontra disponível em <https://youtu.be/r1b7cHeK5w8> (login institucional requerido).

(i) Lei de Boyle-Mariotte: Usando o menu “partículas”, injete 100 partículas “leves” (cor vermelha) no recipiente e aguarde que elas fiquem uniformemente distribuídas pelo volume. Selecione: (a) “manter constante” a “temperatura”, no presente caso em 300 K, (b) kPa como sendo a unidade de medida de pressão no manômetro (1 kPa = 1000 Pa), e (c) mostrar a “largura” da caixa. Feito isso, o volume V do recipiente será dado pelo produto largura (L) $\times$ altura (A) $\times$ profundidade (P), onde $A = 8,75 \text{ nm}$ e $P = 4 \text{ nm}$ ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$). Portanto, variando L obteremos uma variação no volume do reservatório, sendo a pressão correspondente lida no manômetro.

Varie L de forma a obter 5 valores distintos de V . Em cada caso, anote a pressão indicada no manômetro, executando uma média de 4 valores, tal como mencionado no vídeo de apresentação mencionado acima. Complete o Quadro abaixo. Observe com muito cuidado as unidades requeridas.

Quadro 1: Dados das simulações com T fixo.

Estado	N	T (K)	V (m ³)	P (Pa)	P.V (Pa.m ³)
1	100	300			
2	100	300			
3	100	300			
4	100	300			
5	100	300			

Com base nesses dados, podemos afirmar que a lei de Boyle-Mariotte é válida? Qual é o intervalo de variação (máximo e mínimo) do produto $P.V$? Para embasar tais respostas, faça um gráfico de P versus $1/V$ e verifique qual a curva obtida. Explique e contextualize tais conclusões. Para um melhor embasamento numérico, calcule o valor médio de $P.V$, $\overline{P.V}$, o correspondente desvio padrão da medida, $\sigma_{P.V}$, e determine o intervalo $[\overline{P.V} - 3\sigma_{P.V}, \overline{P.V} + 3\sigma_{P.V}]$. Lembre que esse intervalo corresponde a faixa de valores onde uma nova medida de $P.V$ deveria pertencer, com 99,73% de probabilidade de acerto.

(ii) Lei de Gay-Lussac: Reinicie a simulação. Usando o menu “partículas”, injete 100 partículas “leves” (cor vermelha) no recipiente e aguarde que elas fiquem uniformemente distribuídas pelo volume. Selecione: (a) “manter constante” o “volume”, fixando o valor de L em 10 nm, ou seja, $V = 3,5 \times 10^{-25} \text{ m}^3$, (b) kPa como sendo a unidade de medida de pressão no manômetro, e (c) mostrar a “largura” da caixa. Verifique que $L = 10 \text{ nm}$. Se necessário corrija esse valor.

Varie a temperatura do sistema, acionando o “balde” de controle de temperatura, de maneira a obter 5 valores distintos de T . Em cada caso, anote a pressão indicada no manômetro, executando uma média de 4 medidas, tal como mencionado no vídeo de apresentação mencionado acima. Complete o Quadro abaixo. Observe com muito cuidado as unidades requeridas.

Quadro 2: Dados das simulações com V fixo.

Estado	N	V (m ³)	T (K)	P (Pa)	P/T (Pa/K)
1	100	$3,5 \times 10^{-25}$			
2	100	$3,5 \times 10^{-25}$			
3	100	$3,5 \times 10^{-25}$			
4	100	$3,5 \times 10^{-25}$			
5	100	$3,5 \times 10^{-25}$			

Com base nesses dados, podemos afirmar que a lei de Gay-Lussac é válida? Qual é o intervalo de variação (máximo e mínimo) do quociente P/T ? Para embasar tais respostas, faça um gráfico de P versus T e verifique qual a curva obtida. Explique e contextualize tais conclusões. Para um melhor embasamento

numérico, calcule o valor médio de P/T , $\overline{P/T}$, o correspondente desvio padrão da medida, $\sigma_{P/T}$, e determine o intervalo $[\overline{P/T} - 3\sigma_{P/T}, \overline{P/T} + 3\sigma_{P/T}]$. Lembre que esse intervalo corresponde a faixa de valores onde uma nova estimativa de P/T deveria pertencer, com 99,73% de probabilidade de acerto.

(iii) Lei de Charles: Reinicie a simulação. Usando o menu “partículas”, injete 100 partículas “leves” (cor vermelha) no recipiente e aguarde que elas fiquem uniformemente distribuídas pelo volume. Selecione: (a) “manter constante” a pressão optando por “Pressão $\uparrow V$ ”, (b) kPa como sendo a unidade de medida de pressão no manômetro, e (c) mostrar a “largura” da caixa. Anote o valor da pressão, P , na coluna correspondente do Quadro a seguir.

Varie a temperatura do sistema, acionando o “balde” de controle de temperatura, de maneira a obter 5 valores distintos de T . Em cada caso, calcule o valor do volume V do recipiente. Complete o Quadro abaixo, observando com muita atenção as unidades requeridas. Tome cuidado, pois se a temperatura for elevada para um valor muito alto a simulação poderá indicar um erro. Se isso eventualmente ocorrer, reinicie a presente etapa.

Quadro 3: Dados das simulações com P fixo.

Estado	N	P (Pa)	T (K)	V (m ³)	V/T (m ³ /K)
1	100				
2	100				
3	100				
4	100				
5	100				

Com base nesses dados, podemos afirmar que a lei de Charles é válida? Qual é o intervalo de variação (máximo e mínimo) do quociente V/T ? Para embasar tais respostas, faça um gráfico de V versus T e verifique qual a curva obtida. Explique e contextualize tais conclusões. Para um melhor embasamento numérico, calcule o valor médio de V/T , $\overline{V/T}$, o correspondente desvio padrão da medida, $\sigma_{V/T}$, e determine o intervalo $[\overline{V/T} - 3\sigma_{V/T}, \overline{V/T} + 3\sigma_{V/T}]$. Lembre que esse intervalo corresponde a faixa de valores onde uma nova avaliação de V/T deveria pertencer, com 99,73% de probabilidade de acerto.

(iv) Equação de Clapeyron: Reinicie a simulação. Usando o menu “partículas”, injete 100 partículas “leves” (cor vermelha) no recipiente e aguarde que elas fiquem uniformemente distribuídas pelo volume. Selecione: (a) “manter constante” nada, (b) kPa como sendo a unidade de medida de pressão no manômetro, e (c) mostrar a “largura” da caixa. Anote o valor da temperatura, T , e do volume calculado, V , nas colunas correspondentes do Quadro seguinte.

Varie o número de partículas, adicionando progressivamente 100 partículas “leves” (cor vermelha) no recipiente por vez. Em cada caso, anote a pressão indicada no manômetro, executando uma média de 4 medidas, tal como mencionado no vídeo de apresentação mencionado anteriormente. Complete o Quadro abaixo. Observe com muito cuidado as unidades requeridas.

Quadro 4: Dados das simulações com N variável.

Estado	N	T (K)	V (m ³)	P (Pa)	(P.V)/(k _B .T)
1	100				
2	200				
3	300				
4	400				
5	500				
6	600				
7	700				
8	800				
9	900				
10	1000				

Tendo em mente a expressão da equação de Clapeyron, cabe observar que o valor obtido para o quociente $(P.V)/(k_B.T)$ deveria, em princípio, coincidir com o valor de N correspondente. Portanto, com base nessa informação e nos dados do Quadro 4, podemos afirmar que a equação de Clapeyron é válida? Ela se mantém válida para qualquer valor de N ? Explique e contextualize tais conclusões.

SUGESTÕES PARA REFERENCIAS

- Apostilas sobre teoria de erros (UFBA e UNICAMP) – Ver <http://physika.info>
- Livro de Física II – ex. Halliday, Resnick e Walker Vol.2 – Termodinâmica.
- Demais referências apontadas ao longo do roteiro – Ver <http://physika.info>.