

Ciência e Tecnologia do Vácuo  
4300323  
Agosto 2024  
1ª Lista de Exercícios

**Questões teóricas**

1. Apresente a relação entre as unidades de pressão atm, Torr, bar, mbar e Pa.
2. Qual a pressão ao nível do mar, na cidade de São Paulo (800 m de altitude), a 10 km, a 100 km, a 1000 km e a 10000 km?
3. Apresente os valores das velocidades  $\bar{v}$ ,  $\overline{v^2}$  e  $v_{mp}$  deduzidos a partir da distribuição de Maxwell-Boltzmann.
4. Qual a definição de *throughput* ( $Q$ )? Apresente cinco formas distintas de expressar a quantidade  $Q$ .
5. Qual a definição de impedância, condutância e velocidade de bombeamento num sistema de vácuo?
6. Apresente a relação entre condutância ( $C$ ) e *throughput* ( $Q$ ).
7. Como se pode relacionar a condutância  $C$  com a velocidade de bombeamento?
8. Defina a quantidade livre caminho médio ( $\lambda$ ).
9. Quais são os regimes de fluxo que passamos ao reduzir a pressão de um sistema de vácuo desde a pressão atmosférica (760 Torr) até  $10^{-6}$  Torr?
10. Quais são as fontes de gás em um sistema de vácuo?
11. Quanto tempo leva para formar uma monocamada na superfície de uma câmara de vácuo? Apresente os valores para pressões de 760 Torr, 1 Torr,  $10^{-2}$  Torr,  $10^{-6}$  Torr e  $10^{-10}$  Torr.
12. A que pressão o número de moléculas do gás do volume é igual ao número de moléculas da superfície?

**Questões experimentais**

1. O que são medidores diretos e indiretos? Dê exemplos.
2. Qual o princípio de funcionamento dos manômetros McLeod e Vacustat?
3. Qual o princípio de funcionamento dos manômetros de termocondutividade?
4. Apresente as diferenças entre os manômetros Pirani, Termístor e Termopar.
5. Quais as vantagens e desvantagens de um medidor Pirani e de um Termopar?
6. Qual o efeito de distintos gases na leitura de pressão de manômetros de termocondutividade?
7. Os manômetros McLeod e Vacustat dependem do tipo de gás presente no sistema de vácuo? Discuta a diferença de medida na presença dos gases He e Ar.
8. Qual a importância da armadilha de  $N_2L$  para os manômetros McLeod e Vacustat?
9. Por que a pressão diminui quando se coloca  $LN_2$ ?
10. Explique o princípio de funcionamento dos manômetros de ionização Bayard-Alpert (catodo quente) e do Penning (catodo frio).
11. Por que os medidores Bayard-Alpert e Penning são comumente chamados de medidores de catodo quente e catodo frio, respectivamente?
12. Qual a influência de distintos gases na leitura da pressão desses medidores?
13. Qual a função da degaseificação no Bayard-Alpert?
14. Discuta as principais vantagens e desvantagens dos medidores *Bayard-Alpert* e do *Penning*.

Ciência e Tecnologia do Vácuo  
4300323  
Agosto 2024  
2ª Lista de Exercícios

**Questões teóricas**

1. Num sistema de vácuo, quais são os regimes ao se reduzir a pressão desde a pressão atmosférica (700 Torr em São Paulo) até alto-vácuo?
2. Descreva as características principais do regime molecular e do regime viscoso.
3. Quais são os critérios para se definir se o regime é molecular, viscoso ou intermediário?
4. Considere uma câmara esférica de 30 cm de diâmetro e um duto circular de 5 cm de diâmetro. A partir de qual livre caminho médio ( $\lambda$ ) podemos considerar regime molecular para essas geometrias?
5. Comente em quais condições é válida a expressão

$$S_{ef} = \frac{S_b C}{S_b + C}$$

6. Calcule a velocidade média da distribuição de Maxwell-Boltzmann para um gás composto por moléculas de  $N_2$  a uma temperatura de  $T = 300$  K. Compare esse valor com a velocidade do som.
7. Qual a massa de gás removida de um sistema ao passar da pressão atmosférica (700 Torr) para  $10^{-1}$  Torr?
8. Como é o comportamento das condutâncias no regime molecular?
9. Como é o comportamento das condutâncias no regime viscoso?
10. Calcule a condutância de um orifício no regime molecular.
11. Qual a velocidade de bombeamento para bombas difusoras com diâmetros  $D = 2", 4"$  e  $18"$ ?
12. A expressão deduzida para a condutância de um orifício levou em consideração que os dois compartimentos da câmara estavam nas mesmas temperaturas ( $T_1 = T_2$ ). Determine a expressão para essa condutância no caso de  $T_1 \neq T_2$ .
13. Calcule a condutância de um diafragma no regime molecular.
14. Calcule a condutância de um duto circular no regime molecular. Apresente os valores considerando moléculas de  $N_2$  a uma temperatura de  $T = 300$  K.
15. Calcule a variação na condutância em regime molecular quando submetida a uma temperatura de  $T = -196$  °C.
16. Considere uma bomba mecânica, com velocidade de bombeamento  $S = 60$  l/min, conectada a um tubo de  $L = 80$  cm e conectada a uma câmara de uma polegada de diâmetro ( $D = 2,54$  cm). Qual a velocidade de bombeamento efetiva da bomba mecânica no regime molecular e no regime viscoso? Considere o bombeamento de gás  $N_2$  numa temperatura de  $T = 300$  K.
17. S. Dushman propôs que a condutância de um duto pode ser descrita como a associação em série de um orifício com a condutância de um duto. Obtenha a expressão para a condutância nesse caso. Considere gás  $N_2$  a uma temperatura  $T = 300$  K no regime molecular.
18. Calcule a condutância de um duto retangular e comprimento  $L$ . Apresente os valores do fator  $K$  para a relação entre os lados do retângulo  $b/a$  de 0,1 a 1,0.
19. Qual a condutância de um duto circular cuja seção reta seja descrita pela fórmula  $S = S_0 e^{-\beta x}$ ?
20. Considere uma câmara esférica de diâmetro  $D$ . Calcule a pressão na qual o número de choques entre as moléculas seja igual ao número de choques das moléculas contra a parede.
21. No início do bombeamento temos aproximadamente 80% de  $N_2$  e 20% de O. Essa relação se mantém em pressões mais baixas?

22. Considere o sistema de vácuo apresentado na figura abaixo. O volume  $V$  é conhecido. Utilizando as válvulas A e B, as leituras das pressões através dos manômetros e uma bomba mecânica, determine o volume  $V_0$ .

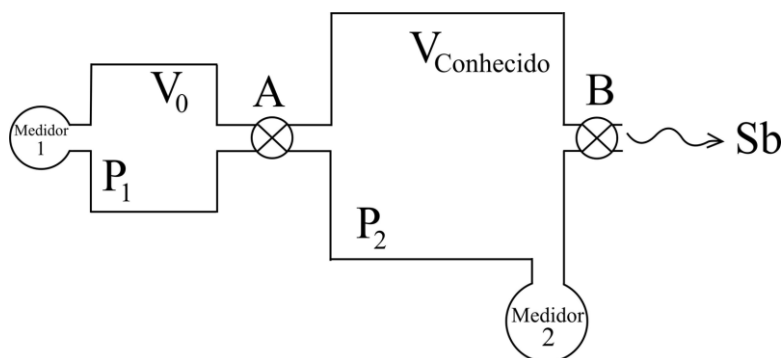


Figura 1. Desenho esquemático de um sistema com câmara de vácuo com volume desconhecido ( $V_0$ ).

23. Determine a constante de tempo de um sistema de vácuo com volume  $V$ , sendo bombeado por uma bomba de vácuo com velocidade de bombeamento  $S_b$ , através de uma condutância  $C$ . Utilize a expressão  $P = P(t)$ .
24. Calcule a massa de gás retirada de um sistema de vácuo. Considere que a pressão inicial seja a pressão atmosférica e que a pressão final seja 1,0 Torr. Considere que o gás seja formado por moléculas de  $N_2$ .  
Dados: A massa da molécula de  $N_2$  é  $m = 53,1 \times 10^{-24}$  g

### Questões experimentais

1. Explique o funcionamento de uma bomba mecânica de 1 estágio.
2. Para que serve a válvula de *gas ballast* nas bombas mecânicas?
3. Qual a região de pressão que uma bomba mecânica opera?
4. O que limita a menor pressão de operação da bomba mecânica?
5. Explique em detalhes o funcionamento de uma bomba difusora.
6. Qual a região de pressão que uma bomba difusora opera?
7. Quais os cuidados que devem ser tomados ao ligar e desligar uma bomba difusora?
8. Qual a importância da circulação de água na bomba difusora?
9. O que são *back-streaming* e *back-migration*?

# Ciência e Tecnologia do Vácuo

4300323

Setembro 2024

## 3ª Lista de Exercícios

1. Como funciona o medidor McLeod? Obtenha matematicamente as duas escalas.
2. A partir de qual pressão pode ser considerado regime molecular?
  - a) Calcule para uma câmara com diâmetro  $D = 30$  cm
  - b) Calcule para um duto de  $D = 2''$  ( $\sim 5$  cm)
3. Ao se bombear um sistema de vácuo de 700 Torr até  $10^{-2}$  Torr, qual a ordem de grandeza de massa molecular removida?
4. Considere a pressão de  $P = 2.5 \times 10^{-4}$  Torr e calcule:
  - a) O tempo de formação de uma mono-camada
  - b) Livre caminho médio
  - c) velocidade média
5. Descreva os tipos de vazamentos. Dê exemplos práticos.
6. Como podemos obter as características dos vazamentos através da curva  $P = P(t)$ ? Comente os modelos matemáticos para alguns tipos de vazamentos.
7. Considere uma câmara esférica de  $D = 30$  cm conectada a uma bomba mecânica, com velocidade de bombeamento  $S = 60$  l/min, por um tubo de comprimento  $L = 80$  cm e diâmetro  $D = 2,54$  cm. Qual o tempo para se reduzir a pressão de um sistema de vácuo por um fator 100? Considere tanto o regime molecular como o regime viscoso.
8. Qual o tempo necessário para se reduzir a pressão de uma câmara de  $V = 1000$  l a partir da pressão atmosférica até 1 Torr, com uma bomba de vácuo de 20 l/s?
9. Dimensione uma bomba para ser instalada em um sistema de vácuo, com um volume total de 10000 l, a fim de reduzir a pressão desde a pressão atmosférica até 1,0 Torr num tempo máximo de 5 min.
10. Determine qual o menor vazamento que se pode ser verificado com um detector de vazamentos (*leak detector*) com sensibilidade de  $10^{-10}$  Torr l/s.
11. Na medida da velocidade de bombeamento de uma bomba difusora pelo método da pipeta (injeção de um *throughput*), avalie o erro cometido se houver um vazamento de  $10^{-4}$  cm, além do *throughput* injetado.
12. No método da pipeta, como podemos corrigir a medida da velocidade de bombeamento de uma bomba difusora, levando-se em conta o *throughput* de desgaseificação?
13. Como obter a velocidade de bombeamento  $S$  sabendo-se a curva  $P(t)$ ?
14. Como pode ser feita a medida da velocidade de bombeamento de uma bomba difusora, conhecendo-se uma das condutâncias do sistema de vácuo?
15. Para que servem as armadilhas num sistema de vácuo? Como elas funcionam e quais as consequências para um sistema de vácuo? Dê exemplos.
16. Considere uma bomba difusora com diâmetro de  $3''$  ( $\sim 7,5$  cm). Entre a boca da Bomba difusora e a boca do sistema de vácuo são colocados em série:
17. Uma válvula do tipo gaveta. Considere que essa válvula possa ser aproximada por um tubo de 8 cm de diâmetro e 5 cm de comprimento.
18. Uma armadilha de nitrogênio líquido. Considere que essa armadilha possa ser aproximada por uma abertura anular em série com um duto anular, com as seguintes dimensões:  $D_1 = 20$  cm,  $D_2 = 16$  cm e  $L = 30$  cm.
19. Um anteparo (*baffle*) com condutância de 500 l/s
  - a. Calcule a velocidade de bombeamento efetiva ( $S_{ef}$ ) da Bomba difusora na boca do sistema, sem nitrogênio líquido na armadilha.
  - b. Calcule a velocidade de bombeamento efetiva da Bomba difusora na boca do sistema, com nitrogênio líquido na armadilha. Discuta qual hipótese você teve que fazer para calcular a  $S_{ef}$  neste caso.
  - c. Qual deve ser a taxa de desgaseificação de uma câmara com forma esférica ( $D = 30$  cm) para se manter a pressão operacional de  $10^{-6}$  Torr.

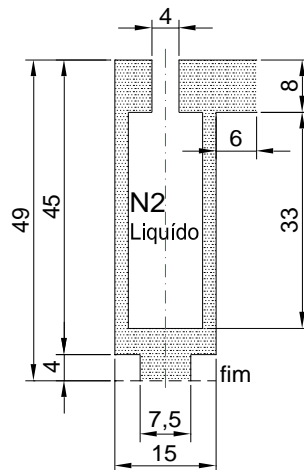
# Ciência e Tecnologia do Vácuo

4300323

Outubro 2024

## 4ª Lista de Exercícios

1. Explique o que é a pressão de vapor de um líquido.
2. Descreva o funcionamento de uma bomba difusora. Quais são os componentes necessários para o funcionamento correto de uma bomba difusora? Apresente as vantagens e desvantagens dessa bomba de vácuo.
3. Considere uma gota de óleo de uma bomba difusora na temperatura ambiente com uma massa de  $M = 500$  u.m.a. e, na temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), pressão de vaporização  $P_v \sim 10^{-6}$  Torr. Calcule a pressão residual de um sistema sujeito à evaporação dessa gota quando é bombeado por uma bomba de  $S = 50$  l/s. Calcule também o diâmetro do orifício correspondente a um vazamento dessa magnitude.
4. Faça os mesmos cálculos do exercício anterior considerando uma gota de mercúrio na temperatura ambiente. Considere, nesse caso, uma pressão de vaporização  $P_v \sim 10^{-3}$  Torr.
5. Apresente a lei de Henry, a primeira e a segunda lei de Fick.
6. Calcule a condutância de uma armadilha, com e sem nitrogênio líquido, com as dimensões apresentadas na figura abaixo (as medidas estão em cm):



7. Calcule o *throughput* de permeação de uma área de  $100\text{ cm}^2$  de Paládio (Pd) por gás de  $\text{H}_2$ , sendo que um lado é exposto à pressão de 150 Torr de He e o outro tem pressão desprezível. Considere uma espessura de 2 mm. Considere uma temperatura de  $T = 300\text{ K}$ . Nessa temperatura, a constante de permeação tem o valor de  $K = 10^{-6}\text{ cm}^2\text{ atm}^{1/2}/\text{s}$ . Calcule o diâmetro de um orifício equivalente ao vazamento real correspondente.
8. Faça o mesmo cálculo para o gás  $\text{H}_2$  em  $\text{SiO}_2$  considerando as mesmas condições do exercício anterior. Nesse caso, utilize  $K = 10^{-11}\text{ cm}^2\text{ atm}^{1/2}/\text{s}$ .
9. Faça um esboço do gráfico de  $K(T)$  em função da temperatura.
10. Como é possível determinar experimentalmente o coeficiente de difusão  $D$ ?
11. Como varia o *throughput* de difusão em função do tempo  $Q(t)$ ?
12. Apresente 5 materiais que podem ser utilizados em pressões de pré-vácuo e de alto vácuo.
13. Apresente um gráfico da queda da pressão em função do tempo em um sistema de vácuo, indicando explicitamente qual a fonte de gás mais importante em cada região de pressão.
14. Quais são as principais fontes de gases em um sistema de vácuo?
15. Descreva a permeação de gases. Dê exemplos.
16. Descreva a difusão de gases. Dê exemplos.
17. Descreva a evaporação.
18. Descreva a desorção térmica.
19. Descreva os modelos matemáticos que descrevem as principais fontes de gases em um sistema de vácuo.