A DEPENDÊNCIA DA CONDUTÂNCIA EM TEMPERATURA NO REGIME MOLECULAR

Ross Alan Douglas
Instituto de Física - UNICAMP
Caixa Postal 6165
13081 - Campinas - SP

RESUMO

Tradicionalmente, a condutância de um componente de um sistema de vácuo, no regime molecular é definido como o "throughput" dividido pela diferença de pressão do gás entre as duas extremidades da peça.

Esta definição é inadequada quando o gás não é isotérmico. Uma nova definição de condutância, válida tanto para condições isotérmicas como não isotérmicas, apresenta uma condutância que depende da geometria do componente e é independente da temperatura do gás. O reconhecimento deste fato permite a construção de armadilhas criogênicas que não são super-dimensionadas.

Condutância, Temperatura

I - INTRODUÇÃO

No regime molecular onde são desprezados sorvedouros e fontes de gás a condutância de um componente de um sistema de vácuo para um determinado gás é tradicionalmente definida (1) como:

$$C = \frac{Q}{P_1 - P_2}$$

onde $Q = P\, dV/dt$ é o "throughput", P a pressão do gás onde se mede Q, dV/dt é a vazão volumétrica do gás e P_1 e P_2 são as pressões medidas na entrada e saida do componente. Esta definição é valida em condições isotérmicas e normalmente é citada nos livros textos. Num trabalho anterior (2), mostrou-se que em condições não isotérmicas nem o "throughput" e nem a diferença de pressão são grandezas adequadas para compor uma definição satisfatória da condutância.

Em primeiro lugar $Q = kT\, dN/dt$ para gases ideais onde k é a constante de Boltzmann, T a temperatura absoluta e dN/dt é o número de moléculas escoando por unidade de tempo ou seja, a corrente molecular. Em condições isotérmicas e no regime estacionário Q é linearmente proporcional a dN/dt. Entretanto,para sistemas não isotérmicos o "throughput" não é proporcional a corrente molecular e não é constante através do sistema.

Também, quando as temperaturas nos dois lados de um componente, como por exemplo, um orifício, são diferentes como no de transpiração térmica (3), a corrente molecular líquida atravessando o orifício não é zero quando $P_1 = P_2$ mas somente quando $\frac{P_1}{T_1^{1/2}} = \frac{P_2}{T_2^{1/2}}$.

II - ANÁLISE

Neste trabalho vamos investigar a dependência em temperatura da condutância no regime molecular. Um estudo dos sistemas ilustrados na Fig. 1 demonstra como devemos exprimir a condutância em sistemas não isotérmicos.

Admitimos que as pressões e as temperaturas são independentes do tempo, ou seja, que F moléculas são admitidas por segundo, e também há uma bomba com velocidade de bombeamento proporcional a εA_b que bombeia F moléculas por segundo, onde ε é o fator Ho da bomba e A_b a sua área de entrada. Então, temos os seguintes valores das pressões para o sistema da Fig. 1(b), conforme o trabalho anterior (2).

$$P_1 = F(2\pi\, m\, k\, T_1)^{1/2}\left[\frac{1}{\varepsilon A_b} + \frac{1}{A_{34}} + \frac{1}{A_{23}} + \frac{1}{A_{12}}\right]$$

$$P_2 = F(2\pi\, m\, k\, T_2)^{1/2}\left[\frac{1}{\varepsilon A_b} + \frac{1}{A_{34}} + \frac{1}{A_{23}}\right]$$

$$P_3 = F(2\pi\, m\, k\, T_3)^{1/2}\left[\frac{1}{\varepsilon A_b} + \frac{1}{A_{34}}\right]$$

$$P_4 = F(2\pi\, m\, k\, T_4)^{1/2}\left[\frac{1}{\varepsilon A_b}\right]$$

onde m é a massa de uma molécula.

As pressões para o sistema da Fig. 1(a) são obtidos das mesmas equações colocando $1/A_{23} = 0$, ou seja, removendo o orifício A_{23}.

Segundo a definição tradicional de condutância (1), a colocação de uma região na temperatura T' em vez de T, para T' menor que T, diminuiria a sua condutância por um fator de $\sqrt{T/T'}$. A Fig. 1(b) mostra a colo

Fig. 1(a)

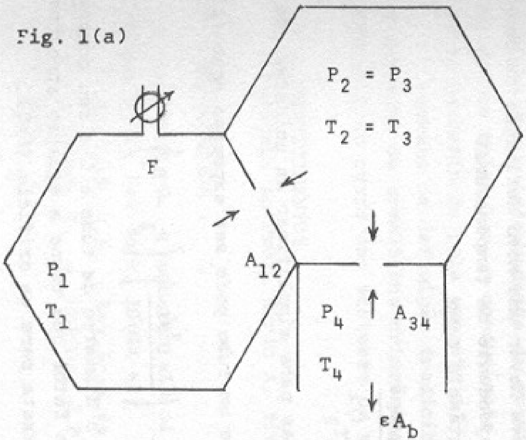

Fig. 1(b)

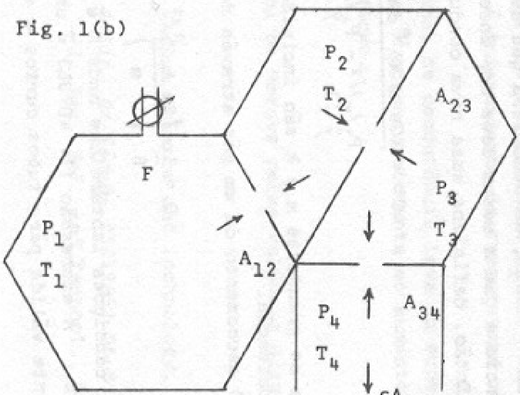

Tabela 1

Os valores de temperatura (em múltiplos de 33K)e pressão (em múltiplos de $F\left(\frac{2\pi\ m\ k}{297}\right)^{1/2}$ dos siste_ mas de Fig. 1, para $\varepsilon = 0{,}5$, $A_b = 2$, $A_{12} = 1$ e $A_{34} = 1$.

	(1)	(2)	(3)
A_{23}	∞	∞	A_{23}
T_1	9	9	9
T_2	9	1	9
T_3	9	1	9
T_4	9	9	9
P_1	9	.9	$9+3/A_{23}$
P_2	6	2	$6+3/a_{23}$
P_3	6	2	6
P_4	3	3	3
$P_1/\sqrt{T_1}$	3	3	$3+1/A_{23}$
$P_2/\sqrt{T_2}$	2	2	$2+1/A_{23}$
$P_3/\sqrt{T_3}$	2	2	2
$P_4/\sqrt{T_4}$	1	1	1

cação de um orifício de área A_{23} na região com pressão P_2 e P_3 para simular o efeito da redução da temperatura na condutância desta região. Uma boa simulação implica que através de uma medida das pressões P_1 e P_4 não seria possível distinguir entre uma situação com baixa temperatura nas regiões 2e3, eda presença do orifício A_{23} e temperatura inalterada nesta região.

A Tabela 1 fornece valores de temperatura e pressão dos sistemas da Fig. 1 para as seguintes condições:

(1) O sistema da Fig. 1(a) ou seja com a ausência de orifício A_{23} em condições isotérmicas e a temperatura de 297K.

(2) O sistema da Fig. 1(a) com a região de P_2 e P_3 na temperatura de 33K.

(3) O sistema da Fig. 1(b) ou seja com o orifício A_{23}, em condições isotérmicas a temperatura de 297K.

Nota-se que na coluna (2) que apresenta condições não isotérmicas P_3 é menor que P_4 mas $P_3/T_3^{1/2}$ é maior que $P_4/T_4^{1/2}$, mostrando que o gás pode escoar de uma região de pressão menor para uma outra de pressão maior se os valores das temperaturas T_3 e T_4 são escolhidos convenientemente.

Observa-se pela Tabela 1 que o único valor de A_{23} para qual a simulação é válida é $1/A_{23} = 0$, isto é, a ausência do orifício, e portanto concluimos que não há mudança de condutância quando a temperatura é alterada. Assim, se demonstra que deve haver uma nova definição de condutância e que a mesma deve ser independente da temperatura.

Então, definimos essa nova condutância como

$$C' = \frac{(2\pi\ m\ k)^{1/2} dN/dt}{P_1/T_1^{1/2} - P_2/T_2^{1/2}}$$

onde as grandezas m e k são incluidas para simplificar as unidades de condutância.

O escoamento de um gás através de um tubo pode ser expresso como (1)

$$Q = \frac{1}{6}\left(\frac{2\pi\ k\ T}{m}\right)^{1/2}\left(\frac{D^3/L}{1+ 4D/3L}\right)\left(P_1 - P_2\right)$$

para condições isotérmicas onde D é o diametro de tubo e L o seu comprimento. A expressão (1+ 4D/3L) é um fator que torna a equação aproximadamente válida para tubos curtos e exata para um orifício (L=0).

Para o tratamento de escoamento em sistemas não isotérmicos é conceniente reformular esta equação, expressando a vazão do gás em corrente molecular e especificando as temperaturas na entrada e na saída do componente como T_1 e T_2. Assim obtemos:

$$dN/dt = \frac{1}{(2\pi\ km)^{1/2}}\left(\frac{A.\ 4D/3L}{1+\ 4d/3L}\right)\left(\frac{P_1}{T_1^{1/2}} - \frac{P_2}{T_2^{1/2}}\right)$$

onde A é a área de secção do tubo.

Desta maneira, a nova condutância seria:

$$C' = \frac{(2\pi\ k\ m)^{1/2}\, dN/dt}{P_1/T_1^{1/2} - P_2/T_2^{1/2}} = \frac{A.\ 4D/3L}{1+\ 4D/3L}$$

que é igual a $(4D/3L)A$ para tubos compridos e para um orifício é A, a sua área.

III - CONCLUSÃO

Observa-se que esta nova definição de condutância para escoamento de gases no regime molecular fornece uma grandeza que depende da geometria do componente e é independente da temperatura do gás.

O conjunto de valores $P_i/\ T_i^{1/2}$ correspondentes as regiões de um sistema do tipo mostrado na Fig. 1 é determinado apenas pela geometria do sistema sendo independente da escolha das temperaturas T_i. Portanto, no regime molecular, a condutância é independente da temperatura do gás, sendo determinada pela geometria

O emprego da definição tradicional de condutância leva ao superdimensionamento de armadilhas criogênicas e consequentemente ao aumento desnecessário do custo dos sistemas de vácuo.

IV - AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Mário A. Bica de Moraes pelas valiosas discussões.

V - REFERÊNCIAS

1- LEWIN, G. - Fundamentals of Vacuum Science and Technology, McGraw-Hill, New York, 1965.

2- DOUGLAS, R.A. - Rev.Bras.de Aplic. de Vácuo, 05(1985) 56-62.

3- EDMUNDS, T. e HOBSON, J.P. - J. Vac. Sci. and Technol., 02 (1965) 1982.