

ESTUDO DE ESCOAMENTO DE GASES E VAPOR  
D'ÁGUA NUM TUBO DE PEQUENO DIÂMETRO

Gilberto M. Gualberto, Mário A.B. de Moraes  
e Ross A. Douglas

Instituto de Física Gleb Wataghin, UNICAMP  
C.P. 1170, Campinas - SP

O escoamento de argônio, propano e vapor d'água através de um tubo pequeno foi estudado. Foi medido o tempo médio de trânsito das moléculas para as temperaturas de 25 e 80 °C. A partir destes dados foram calculados os tempos médios de repouso das moléculas na superfície interna do tubo.

Escoamento, tempo de repouso

## 1. INTRODUÇÃO

O tempo necessário para um sistema de vácuo chegar a uma determinada pressão na faixa de alto ou ultra vácuo é determinado pela desorção e escoamento de gases até a bomba .

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Em geral, as moléculas evaporadas de uma superfície colidem com uma outra superfície onde são novamente adsorvidas. O tempo de permanência na superfície é chamado de tempo de repouso ( $\tau$ ). Este tempo depende fortemente da energia de adsorção,  $Q$ , e da temperatura absoluta,  $T$ , através da equação de Frenkel:

$$\tau = \tau_0 \exp Q/RT$$

onde  $\tau_0$  é o período da vibração de uma molécula na superfície (aproximadamente  $10^{-13}$ s) e R é a constante universal dos gases.

De um modo geral, as moléculas são evaporadas a uma certa distância do ponto onde adsorverem, devido a um efeito de migração superficial.

Segundo Robinson (1) o tempo médio de trânsito ( $\bar{t}$ ) de uma molécula através de um tubo é dado pelo produto do número médio de colisões com a parede, pela soma do tempo de voo (tempo médio entre colisões sucessivas) e o tempo médio de repouso na superfície.

Em termos dos parâmetros geométricos do sistema usado nesta experiência, temos

$$\begin{aligned} \bar{t} &= \frac{1}{2} \left( \frac{L}{d} \right)^2 \beta \left[ \frac{d}{\bar{v}} + s\tau \right] \left[ 1 + \frac{3}{4} \frac{\tau}{\tau_s} \frac{a^2}{d^2} \right]^{-1} \\ &= 2 \times 10^7 \left[ \frac{0,2}{\bar{v}} + \tau \right] \left[ 1 + 2 \times 10^{-14} \frac{\tau}{\tau_s} \right]^{-1} \end{aligned}$$

- onde:
- L - comprimento do tubo (1300 cm)
  - d - diâmetro do tubo (0,2 cm)
  - $\bar{v}$  - velocidade média molecular
  - $\beta$  - coeficiente de rugosidade
  - s - probabilidade de adesão
  - $\tau$  - tempo médio de repouso na superfície
  - $\tau_s$  - tempo médio entre pulos de um sítio para outro no processo de difusão superficial
  - a - distância média de cada pulo (estimado em  $3 \times 10^{-8}$  cm).

### 3. EXPERIMENTAL

A geometria foi escolhida para minimizar o efeito de

difusão superficial que depende de  $(a/d)^2$  e facilitar a medida de  $\tau$ .

Pode se medir valores do tempo de repouso numa faixa que é limitada pelo tempo de vôo das moléculas entre colisões sucessivas com a parede, ou seja, pela razão do diâmetro do tubo para a velocidade média das moléculas. Para a medida de tempos curtos de repouso é necessário usar tubos de pequenos diâmetros. Entretanto há uma limitação determinada pela sensibilidade e estabilidade do detetor do sinal. Por outro lado, o caminho livre médio das moléculas tem que ser maior que o diâmetro do tubo uma vez que a equação é somente válida para o regime escoamento molecular.

O sistema utilizado tinha como detetor um espectrometro de massa tipo monopolo de marca Veeco e era bombeado com uma bomba de difusão convencional.

O tubo (0,2cm em diâmetro e 1300cm de comprimento) foi imerso num banho d'água para manter a temperatura constante durante o experimento.

É essencial um bom vácuo no tubo antes de realizar o experimento. No caso de vapor d'água, isso é particularmente importante devido a lentidão de escoamento deste gás através do tubo. Frequentemente o tubo era aquecido durante várias horas para facilitar o escoamento desse vapor.

Uma ante-câmara de volume suficientemente grande em que a pressão é mantida essencialmente constante durante o experimento foi pressurizado com o gás selecionado. Quando se abriu uma válvula para o tubo, houve um atraso antes do aparecimento do sinal do gás no espectrômetro de massa ligado à outra extremidade do tubo. O sinal cresceu e depois chegou a um valor constante. O tempo médio de trânsito das moléculas (medido com um registrador x-t) é o tempo entre o instante da abertura da válvula até que o sinal alcance a metade do valor final.

#### 4. RESULTADOS

A tabela I mostra os resultados obtidos para o tempo médio de trânsito ( $\bar{t}$ ) e o tempo médio de repouso ( $\tau$ ) em

segundos.

Tabela I - Tempo médio de trânsito ( $\bar{t}$ ) e de repouso ( $\tau$ ) das moléculas.

	25C		80C	
	$\bar{t}$	$\tau$	$\bar{t}$	$\tau$
Ar	120	$<5 \times 10^{-7}$	110	$<5 \times 10^{-7}$
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	130	$1 \times 10^{-6}$	100	$<5 \times 10^{-7}$
H <sub>2</sub> O	440	$2 \times 10^{-5}$	115	$2 \times 10^{-6}$

A variação do tempo médio de repouso em função da temperatura para moléculas d'água na superfície é prevista pela equação de Frenkel. O valor observado é coerente com a energia de adsorção na superfície metálica do tubo.

5. CONCLUSÕES

Concluimos que é possível medir com aparelhos relativamente simples os tempos de repouso de moléculas nas superfícies. Observamos que para o caso de vapor d'água um aumento relativamente pequeno da temperatura, produz uma redução de um fator da ordem de dez no tempo de repouso. Em geral para moléculas muito pesadas (por exemplo vapores de óleo da bomba difusora) o efeito seria ainda maior.

6. AGRADECIMENTOS

Este projeto foi apoiado pelo CNPq e FINEP.

7. BIBLIOGRAFIA

(1) N.W. Robinson, "The Physical Principles of Ultra-high Vacuum Systems and Equipment" Chapman and Hall, London (1968)pp. 222-232.