



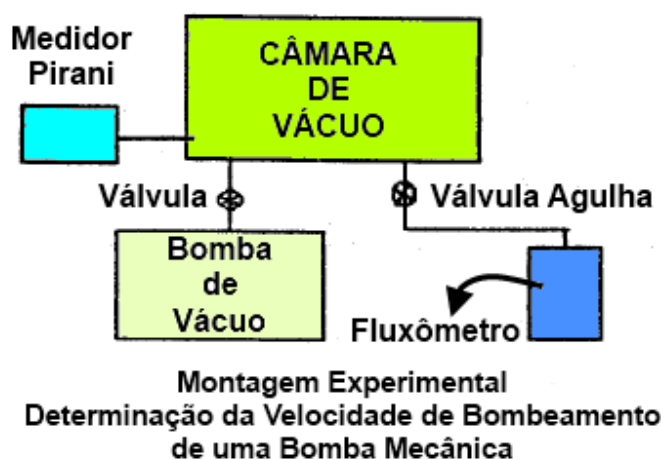
LOM3228 – Métodos Experimentais da Física I (1º semestre de 2019)

LABORATÓRIO 1 DETERMINAÇÃO TEÓRICA E EXPERIMENTAL DAS VELOCIDADES DE BOMBEAMENTO DE BOMBAS DE VÁCUO

Conhecer as curvas de velocidade de bombeamento versus pressão ($S \times P$) de uma determinada bomba de vácuo é de extrema importância. Esta curva descreve o desempenho da bomba ao longo do provável intervalo de aplicação. Se, por exemplo, você observa a curva de uma bomba mecânica do tipo que estamos usando neste experimento, verá que a máxima velocidade ocorre na pressão atmosférica e que a velocidade decai abruptamente quando a bomba chega próxima de sua menor pressão atingível. Se pretende-se usar esta bomba como “backing pump” (bomba primária) para outros tipos de bomba, a curva $S \times P$ fornecerá a informação crucial que dirá a você se ela tem velocidade (capacidade) suficiente para cumprir a função desejada. Esta curva $S \times P$ também é importante quando você precisa comparar bombas de diferentes fabricantes.

O objetivo do presente experimento é determinar a VELOCIDADE DE BOMBEAMENTO de uma BOMBA MECÂNICA DE PALHETAS ROTATIVAS. Dois métodos serão usados: 1) Estabelecendo uma corrente molecular Q e medindo a pressão na boca da bomba; 2) Lançando mão da medida do decaimento da pressão numa câmara de vácuo bombeada pela bomba mecânica.

(A) MÉTODO DA CORRENTE MOLECULAR DO GÁS



O FLUXÔMETRO mede a vazão F de gás em mL/min (ou cm^3/min), nas condições normais de temperatura e pressão, CNTP. Tomando a pressão atmosférica em Lorena como 717 Torr (CONFIRMAR), você pode calcular a corrente molecular Q que passa pelo fluxômetro. O fluxo Q é dado em unidades de $[\text{pressão}] \times [\text{volume}] / [\text{tempo}]$. Por exemplo, se no fluxômetro é lido $F = 100 \text{ mL/min}$, tem-se $Q = F \times 717 \text{ Torr} \times 1,333222 \text{ mbar/Torr} = 95592 \text{ mbar.mL/min}$. Como Q se conserva ao longo da tubulação que alimenta a bomba,

quando o sistema está em equilíbrio a vazão F será igual à velocidade S de bombeamento na entrada da bomba ($F = S$, no equilíbrio), e estará relacionada com a pressão P nesse mesmo local pela bem conhecida relação $S=Q/P$. Como a condutância do tubo que conecta a bomba à câmara é alta, podemos considerar a pressão na boca da bomba como sendo a mesma na câmara. Estabelecendo então diversos



valores de vazão de massa com a válvula agulha na entrada da câmara de vácuo, e lendo a pressão correspondente no medidor Pirani, pode-se determinar **S** para vários valores de **P** empregando a equação para **S** (Para cada valor de **Q**, deve-se esperar tempo suficiente para a pressão atingir o valor de equilíbrio). Discuta o comportamento (linear, exponencial, etc.) de **S** em função de **P**. Se o intervalo de **Q** e **P** fosse maior, o que seria de se esperar?

(B) DETERMINAÇÃO DO VOLUME DA CÂMARA

Para se obter a velocidade de bombeamento da câmara seguindo o processo do item c (ver abaixo) é necessário conhecermos o volume **V** da câmara. Para isso, deve-se adotar o seguinte procedimento: Reduzir a pressão da câmara utilizando a bomba de vácuo. Fecham-se as válvulas do sistema de vácuo e estabelece-se um pequeno fluxo de gás através do fluxômetro, a pressão na câmara vai aumentar gradativamente e, dado tempo suficiente, atingirá a pressão atmosférica (Obs.: este tempo pode ser muito longo, de forma que basta realizar o experimento até certa pressão, não sendo necessário atingir a pressão atmosférica). Como a impedância do tubo que liga o fluxômetro à câmara é muito grande, durante um grande intervalo de pressões o fluxo de gás é constante. Nessas condições, da equação dos gases perfeitos, $PV = N \cdot k \cdot T$, podemos escrever:

$$V \cdot (dp/dt) = k \cdot T \cdot (dN/dt) = Q \quad (1)$$

uma vez que o volume da câmara é constante. A segunda igualdade dessa equação vem da definição de corrente molecular. Na situação em que **Q** é constante, obtemos:

$$P = P_0 + (Q/V) \cdot t \quad (2)$$

de modo que um gráfico de **P x t** deve resultar em uma linha reta com coeficiente angular dado por **Q/V**. Estabelecendo-se **Q**, obtém-se **V**, que pode então ser utilizado para obter **S** (item C abaixo).

Encontre os volumes da câmara do sistema de vácuo e do criostato.

(C) MEDIDA DE S PELO DECAIMENTO DA PRESSÃO NA CÂMARA DE VÁCUO.

A velocidade de bombeamento pode ser determinada também através da medida do decaimento da pressão na câmara de vácuo na medida em que ela é bombeada. Se não existe fluxo de gás para dentro da câmara e ela é conectada à bomba mecânica em um determinado instante de tempo, então a pressão **P** decai com o tempo **t** de bombeamento de acordo com a expressão

$$P = P_0 \cdot e^{-(S/V) \cdot t} \quad (3)$$

onde **P₀** é a pressão inicial na câmara, **S** é a velocidade de bombeamento e **V** é o volume da câmara determinado no item (B).

Fechando-se a válvula agulha, de modo a não se ter fluxo de gás para dentro da câmara, e colocando-a na pressão atmosférica, pode-se iniciar o bombeamento abrindo a válvula que conecta a câmara à bomba, e simultaneamente, passando a medir o tempo. Anotando-se a pressão em função do tempo até a câmara atingir a mais baixa pressão possível de ser atingida com a bomba disponível, pode-se construir um gráfico de **ln(P/P₀) x t**. O coeficiente angular da parte linear do gráfico dá a razão **S/V**.



ORIENTAÇÕES PARA O RELATÓRIO DO LABORATÓRIO 1

Na INTRODUÇÃO ou OBJETIVOS, deve-se situar o leitor sobre a importância de se conhecer os parâmetros das bombas de vácuo, principalmente, pelas suas grandes possibilidades de utilização, os das BOMBAS MECÂNICAS. **A velocidade de bombeamento e suas condições são de fundamental importância para o sucesso do projeto de um sistema de vácuo.**

No MODELO TEÓRICO, demonstre como se obtém a velocidade de bombeamento pelos métodos sugeridos. **Desenvolva e prove as equações 1, 2 e 3.**

Na METODOLOGIA EXPERIMENTAL, descreva detalhadamente todo o sistema de vácuo, tipo, marca e modelo de bombas usadas, tipos de conexões, medidores. **Descreva detalhadamente o procedimento, a preparação, até as medidas.** Lembre-se que a leitura do fluxômetro está calibrada para fornecer valores nas CNTP. Assim, se o fluxômetro marcar o valor $F = 100 \text{ cm}^3/\text{min}$, teremos $Q = 100 \text{ atm.cm}^3/\text{min}$, se a pressão no fluxômetro estiver em 1 atmosfera, e $S = Q/P = 100 \text{ cm}^3/\text{min}$.

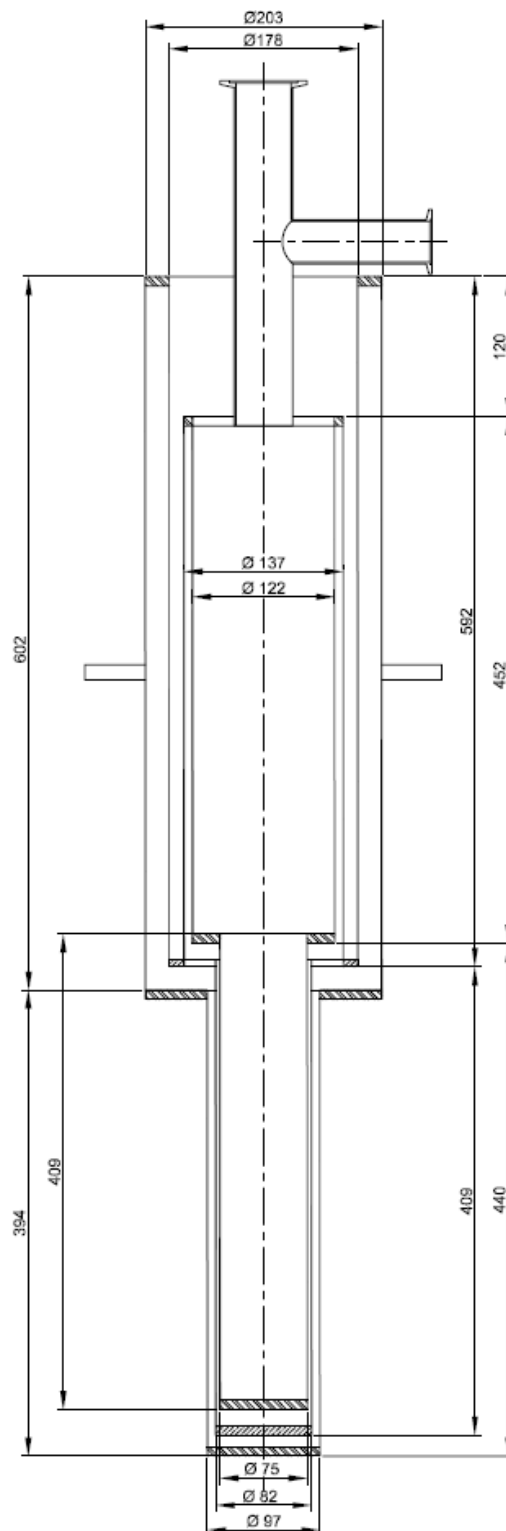
Nos RESULTADOS e ANÁLISE DE DADOS, apresente os resultados em tabelas de forma clara com unidades e descrição dos parâmetros utilizados. Lembre-se de usar as unidades corretamente, **S em [volume] / [tempo] e Q em [pressão] x [volume] / [tempo].**

Quais os volumes da câmara de vácuo e do criostato? Encontre os volumes pelo método da Parte B e pelo cálculo direto dos volumes envolvidos no sistema. Não esqueça das conexões, câmaras, tubos, etc. Compare os volumes encontrados pelas duas formas.

Apresente todos os gráficos pertinentes. **Parte (A): [Q x P] e [S x P]; Parte (B): [P x t]; Parte (C): [P x t].** Faça os ajustes de curvas e encontre os parâmetros importantes.

Como se compara os valores de S obtidos pelos dois métodos? Como se explica que parte do gráfico $\ln(P/P_0)$ não é linear? É possível estimar a influência da impedância do tubo que liga a bomba à câmara na medida de S?

Obs. É comum expressarmos a velocidade de bombeamento de bombas mecânicas em m^3/h , sendo assim, apresente os resultados finais nesta unidade. Encontre na Internet as informações sobre a bomba utilizada (Leybold-Heraeus modelo D25B) e compare com seus resultados.



UM CRIOSTATO DE PESQUISA

Obs. As medidas de diâmetros são externas dos tubos. Supor espessuras de 1,0 mm.



(A) INSTRUÇÕES GERAIS PARA FAZER OS RELATÓRIOS

I. Título do Experimento

II. Nome completo e RA dos integrantes do grupo

III. Resumo

Deve conter uma BREVE DESCRIÇÃO (6 a 8 linhas) do problema, a motivação, o método empregado, os resultados obtidos e principais conclusões. O resumo deve ter uma ESTRUTURA INDEPENDENTE do resto do trabalho, isto é, o leitor deve ser capaz, ao lê-lo, de ter uma idéia geral do trabalho, sem necessidade de consulta ao restante do trabalho.

IV. Introdução ou Objetivos

Explique a PROPOSTA DO EXPERIMENTO. Se quiser, mostre um breve, muito breve, esboço histórico do problema. Mostre resumidamente sua relevância para a comunidade a que é endereçado e a sua utilidade. Se possível, situe o problema em relação a outras áreas às quais está relacionado. DEIXE CLAROS OS OBJETIVOS do trabalho.

V. Modelo Teórico

Nesta parte, você deve colocar os resultados teóricos que são RELEVANTES para o trabalho. Em geral, não são feitas deduções, mas os aspectos da teoria utilizada (relações matemáticas, afirmações, etc.) são discutidos. DEIXE CLARO O QUE É CADA GRANDEZA UTILIZADA e o significado físico das relações usadas. Neste item, você deve fazer uso de referências onde a teoria foi desenvolvida (livros, apostilas, relatórios, artigos, sites, etc.).

VI. Metodologia Experimental

Aqui você deve apresentar o que comumente chamamos de materiais e métodos. Coloque um esquema da montagem experimental. Descreva os instrumentos utilizados com suas precisões e também os materiais (substâncias, elementos químicos, componentes, etc.), evitando apresentá-los como “uma receita de bolo”. Descreva o MÉTODO USADO, os CUIDADOS EXPERIMENTAIS tomados para a obtenção dos dados e as principais dificuldades.

VII. Resultados e Análise dos dados

Os dados experimentais obtidos devem ser apresentados nesta parte, procurando colocá-los em tabelas, com legenda, título etc. Deixe claro todas as etapas seguidas durante a análise dos dados. Os cálculos não precisam ser apresentados explicitamente, mas o leitor deve ser capaz de repeti-los com as indicações do texto. Evite deixar os resultados espalhados no meio dos cálculos. Dê uma atenção bastante especial para as estimativas de erro nos valores obtidos (procure durante a realização de a experiência verificar cuidadosamente as fontes de erro que afetam as medidas).

VIII. Discussão e Conclusão

Comente os resultados obtidos, sua qualidade e confiabilidade. Tente justificar eventuais discrepâncias que forem observadas. Aponte sugestões para melhorar a qualidade dos dados etc. Coloque as condições resultantes da experiência. Você deve discernir claramente quais foram essas conclusões. Não coloque como conclusões afirmações (mesmo que corretas) que não decorrem diretamente da experiência realizada. Se possível, relacione essas conclusões com as de outras experiências. Verifique até que ponto os objetivos da experiência foram alcançados (teste de um modelo, aplicações, etc.).

IX. Bibliografia

Enumere os livros, apostilas, revistas científicas, sites, etc. consultados para a elaboração do relatório.



(B) SEQUÊNCIA DE OPERAÇÃO PADRÃO DE UM SISTEMA DE VÁCUO (Bomba Difusora em série com Bomba Mecânica)

Neste roteiro, veremos a seqüência padrão de operação de um sistema de vácuo constituído de uma bomba mecânica e uma bomba difusora. As etapas envolvidas na operação, desde o início do uso do sistema até o desligamento do sistema, devem ser seguidas ao longo do curso de acordo com as regras aqui estabelecidas.

1ª ETAPA - Geralmente todas as válvulas de um sistema de vácuo estão fechadas quando o sistema está desligado. Muitas vezes também temos de trabalhar dentro da câmara para colocar amostras, material de evaporação, etc., de forma que no início devemos colocar o sistema bomba mecânica (BM) e bomba difusora (BD) em funcionamento antes de fazermos vácuo na câmara. Assim, a primeira etapa é ligar a BM, e abrir a válvula S_1 .

2ª ETAPA - Em seguida devemos ligar o sistema de refrigeração da BD. Normalmente o sistema de refrigeração é constituído ou de uma ventoinha ou de uma corrente de água que circula em uma tubulação em volta da bomba difusora. Somente após verificar que o sistema de refrigeração está funcionando, deve ser ligada a BD, que leva cerca de 20-30 minutos para entrar em regime. Neste ponto temos o sistema de vácuo operando normalmente e podemos utilizá-lo para fazer vácuo na câmara. Observe que as etapas 1 e 2 podem ser realizadas mesmo sem a câmara no lugar.

3ª ETAPA - A válvula S_2 só pode ser aberta quando a pressão na câmara for menor que aproximadamente 10^{-1} Torr, pois ela não funciona bem para pressões maiores. Para isto utilizamos a BM para alcançar esta pressão. Fazemos isto fechando a válvula S_1 (apenas por alguns minutos) e abrimos a válvula S_3 . Quando a pressão na câmara for menor que 10^{-1} Torr, fechamos a válvula S_3 e abrimos a válvula S_1 . Em seguida abrimos S_2 . Após alguns minutos já devemos ligar o medidor de alto-vácuo. Em alguns minutos a pressão deve se aproximar de 10^{-4} Torr, mas pode levar horas para atingir pressões próximas a 10^{-6} Torr.

4ª ETAPA - Quando queremos realizar uma operação qualquer dentro da câmara, temos de colocá-la na pressão atmosférica. Para isso fechamos primeiramente S_2 e em seguida abrimos S_4 . S_1 continua aberta e S_3 fechada. Aguardar que a pressão aumente até a pressão atmosférica, e então a câmara pode ser aberta e as operações desejadas podem ser realizadas.

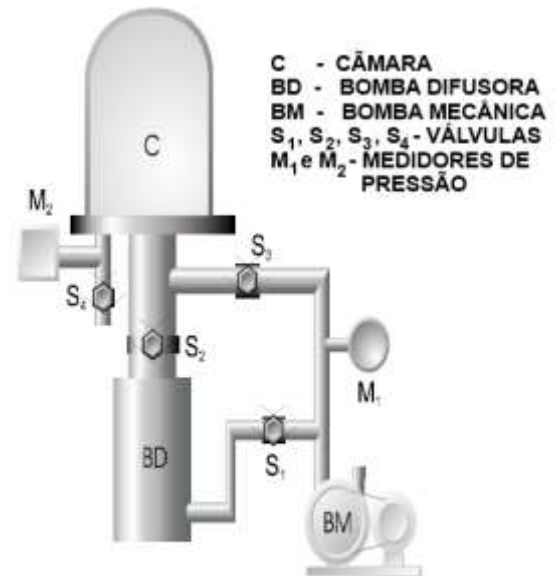


Diagrama esquemático de um sistema de vácuo convencional constituído de uma bomba mecânica e uma bomba difusora.



Duas **observações** que "jamais poderão ser esquecidas":

- **Primeira:** nunca abra S_4 com S_2 aberta, pois o óleo e as partes internas da BD ficarão oxidados.
- **Segunda:** jamais abra S_3 com a câmara em alto vácuo, pois o óleo da BM irá para a câmara e BD. Lembre-se que do lado esquerdo de

S_3 existe uma pressão de $\sim 10^{-6}$ Torr e do lado direito $\sim 10^{-2}$ Torr. Esta diferença de pressão é que provoca o fluxo de óleo da BM para a câmara ao abrir a torneira S_3 .

5ª ETAPA - Após o término da operação na câmara, temos de evacuá-la novamente. Para isto, fechamos S_4 e em seguida realizamos o procedimento descrito na etapa 3.

6ª ETAPA - Para desligar o sistema, primeiramente fechamos a válvula S_2 , desligamos a BD e aguardamos cerca de meia hora para que o óleo da BD se resfrie. Observe que durante este tempo S_1 continua aberta e, S_2 e S_3 fechadas. Em seguida, S_1 deve ser fechada e a BM deve ser desligada. Após desligar a BM, "imediatamente" abra V para o ar entrar na BM.