

Expansão Térmica de Líquidos

Física II, 2025/2026

José Luís Argáin, Dário Passos

1 Resumo

Pretende-se com esta experiência estudar a expansão térmica de líquidos. Para tal, começa-se por calibrar um picnómetro em volume, com água destilada. Em seguida, estuda-se a expansão térmica volumétrica da água destilada, usando-se o picnómetro como instrumento de medida, e calcula-se o coeficiente de expansão térmica volumétrica deste líquido.

2 Fundamento teórico

Como é conhecido da experiência quotidiana, os líquidos e os sólidos em geral dilatam com a temperatura. Aliás, é esta sua propriedade que está na base da construção de uma parte significativa dos termómetros. Verifica-se que, a dependência entre a variação do comprimento de um corpo e a sua temperatura, para variações pequenas da temperatura, obedece à relação:

$$\Delta L = L - L_0 = \alpha L_0(T - T_0), \quad (1)$$

onde L é o comprimento final do objeto, L_0 o seu comprimento inicial, T a temperatura final, T_0 a temperatura inicial e α o coeficiente de expansão térmica linear, característico da substância.

Geralmente, a dilatação no volume de um corpo é tridimensional. Neste caso pode demonstrar-se que a variação de volume (V) é:

$$\Delta V = V - V_0 = \beta V_0(T - T_0) \quad (2)$$

onde β representa o coeficiente de expansão térmica volumétrica, o qual, de acordo com a expressão anterior é dado por:

$$\beta = \frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta T}. \quad (3)$$

No caso em que a expansão é isotrópica (igual em todas as direções do espaço), verifica-se que $\beta \approx 3\alpha$.

Por outro lado, se a dependência linear $V(T)$ for conhecida, i.e.,

$$V = a_T T + b_T, \quad (4)$$

é fácil de entender que o declive da reta corresponde a $a_T = \Delta V / \Delta T$ e que a ordenada na origem, $b_T = V_0$, corresponde a um volume inicial. Portanto β pode ser determinado como:

$$\beta = \frac{a_T}{b_T}. \quad (5)$$

Um picnómetro é um instrumento de laboratório utilizado, principalmente, para determinar densidade de líquidos, já que permite medir com facilidade o seu volume (ver Fig. 1). Este consiste, basicamente, num pequeno frasco de vidro com tampa, que possui um capilar (tubinho fino) na parte superior da tampa. O capilar faz com que, pequenas variações do volume do líquido no interior do picnómetro, se transformem em grandes variações na altura da coluna de líquido no capilar permitindo, desta forma, realizar medidas mais precisas.

Normalmente este capilar tem uma escala linear, mas por ser muito fino, a mesma carece de rótulos. Nesse caso a primeira coisa a fazer, antes de usar este instrumento, é atribuir valores a esta escala. Este procedimento denomina-se calibração do picnómetro. Para fazer isto, acrescenta-se ao picnómetro diferentes volumes conhecidos do líquido em causa, determinando-se para cada valor o correspondente número, n , de divisões da escala. Deste modo, depois de tratados os dados (determinando o declive, a_n , e a ordenada na origem, b_n , da reta), ficar-se-á com uma dependência linear da seguinte forma:

$$V = a_n n + b_n. \quad (6)$$

Note que a ordenada na origem, i.e., o volume líquido (V_0) correspondente à primeira divisão ($n = 0$) da escala do picnómetro. Deste modo, passamos a dispor de uma expressão que nos permite conhecer o valor de V correspondente a cada n .

Para estudar a expansão térmica de um líquido, enchemos o picnómetro até o volume V_0 , correspondente à temperatura inicial T_0 . Seguidamente, aumentamos gradualmente a temperatura desse líquido, registando o valor de n , correspondente a cada valor de T . Assim obtemos o conjunto de pontos (n, T) . A seguir, substituindo cada valor de n na expressão (6), obtemos o conjunto (n, V) .



Figura 1:
Picnómetro.

Finalmente, fazendo a equivalência entre os conjuntos (n, T) e (n, V) chegamos ao conjunto de pontos (V, T) . Depois de ajustar uma reta a este conjunto, obtemos a dependência linear $V(T)$, dada pela equação (4) e calculamos β , mediante a equação (5). Pode colocar-se a questão seguinte: para calcular β qual é o valor mais adequado de b a usar, b_n ou V_0 (é o primeiro ponto medido quando o picnómetro é calibrado)? Resposta: Deve-se usar o valor de V_0 . Portanto, nesta experiência usaremos a expressão:

$$\beta = \frac{a_T}{V_0}. \quad (7)$$

3 Materiais

Os materiais usados são (ver Fig. 2): termómetro, placa de aquecimento, *beaker* de 1 litro, picnómetro de 50 ml, calorímetro de esferovite, pipeta, vareta de vidro, balança, água destilada com corante, água corrente, bases e suportes.

Note que nesta experiência utiliza-se material bastante frágil, pelo que é imprescindível que seja exceccionalmente cuidadoso ao manuseá-lo, em particular a pipeta. Nunca segure o picnómetro pelo capilar, pois este pode soltar-se e o picnómetro cair.



Figura 2: Diagrama da instalação experimental.

4 Procedimento experimental

Anote o erro de leitura de todos os instrumentos. Como a escala do picnómetro é analógica o seu erro de leitura deve corresponder à metade da escala mínima (metade de uma divisão). No entanto, tratando-se de uma leitura num tubo bem fino, o efeito da capilaridade é importante, tornando a superfície do líquido curvilínea. Por esta razão, neste caso faz mais sentido tomar o erro de leitura como 1 divisão do picnómetro e não metade.

4.1 Calibração em volume do picnómetro

1. Pese o picnómetro vazio e bem seco e registe a temperatura ambiente;
2. Encha-o de água destilada, até à primeira marca da escala, e volte a pesá-lo;
3. Em seguida, com a pipeta, vá acrescentando água destilada até à marca seguinte (de 10 em 10 divisões) e pese-o novamente. Assim obterá um conjunto de 10 pontos (n,m) ;
4. Repita este procedimento até alcançar a última marca da escala.

4.2 Determinação experimental do coeficiente de expansão térmica volúmetrica de líquidos

1. Encha o picnómetro de água destilada até à primeira marca (V_0) e meça a temperatura ambiente (T_0);
2. Coloque água da torneira a aquecer no *beaker*;
3. Ponha água da torneira no calorímetro (pouco mais de metade da capacidade total do recipiente) a uma temperatura de, aprixomadamente, 3°C acima da temperatura ambiente (para isto utilize a água que colocou previamente a aquecer);
4. Introduza o picnómetro no calorímetro, espere que se atinja o equilíbrio térmico e meça a temperatura e o correspondente aumento de volume do líquido (número de divisões n na escala);

5. Repita este procedimento até a temperatura da água atingir os 50°C. Assim obterá o conjunto de pontos (n,m) .

5 Análise de resultados

5.1 Calibração volumétrica do picnómetro

1. Calcule o volume de água ($V = m/\rho$) correspondente a cada uma das medidas de massa realizadas na alínea 4.1 (consulte a tabela apresentada no final do protocolo para conhecer a densidade da água, ρ_{ag} , em função de T_0). Deste modo transformará o conjunto (n,m) em (n,V) ;
2. Construa um gráfico de V em função de n ;
3. Ajuste uma reta de regressão linear ($y = a_n x + b_n$) ao gráfico, calculando o declive, a_n (note que deve verificar-se que $\delta a_n/a_n \ll 1$), a ordenada na origem, b_n , e os seus respetivos erros, δa_n e δb_n . Para isto, recomenda-se usar a função proj.lin do *software* Excel (ver seção 4.3 da sebenta "Fundamentos de Análise de Dados", na tutoria eletrónica). Note que o *software* Excel está acessível a todos os alunos da UAIG, no pacote Microsoft Office 365. Assim obterá a expressão (6).

5.2 Cálculo do coeficiente de expansão térmica volumétrica de líquidos

Note que o coeficiente de expansão térmica da água destilada varia, quase linearmente com a temperatura, no intervalo de temperatura de execução deste experiência (T_{amb} , 50°C). Neste intervalo, β varia entre $210 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ (a 20°C - ver tabela 3b) e $631 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ (a 50 °C). Portanto, o valor esperado deve corresponder, aproximadamente, à média destes dois valores, ou seja $\beta_{ref} = 427 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$. É este valor que deve ser usado como valor de referência.

1. Para cada um dos valores de n , do conjunto de pontos (n,T) obtido na alínea 4.2, calcule o correspondente valor de V usando a equação (6). Assim obterá (n,V) e, conseqüentemente, o conjunto de pontos (V,T) ;
2. Construa um gráfico de V em função de T e ajuste-lhe uma reta ($y = a_T x + b_T$), calculando o declive a_T , b_T , δa_T e δb_T ;
3. Mediante a equação (7), calcule β e, tomando em conta os erros δa_T e δb_n , determine o erro propagado, através da seguinte expressão:

$$\delta\beta = \beta \sqrt{\left(\frac{\delta a_T}{a_T}\right)^2 + \left(\frac{\delta V_L}{V_0}\right)^2}, \quad (8)$$

onde δV_L é o erro de leitura do picnómetro. Para mais detalhes sobre a obtenção desta fórmula, ver a sebenta "Fundamentos de Análise de Dados", na tutoria eletrónica;

4. Verifique se o declive esperado $\beta_{ref} \in [\beta - \delta\beta, \beta + \delta\beta]$. Determine também o erro relativo percentual, de β em relação a β_{ref} ;
5. Analise os resultados e retire conclusões.

T (°C)	ρ_{ag} (kg m ⁻³)
19	998,22
20	998,02
21	997,80
22	997,58
23	997,34
24	997,10
25	996,85
26	996,59
27	996,32
28	996,05

(a)

<i>Líquido</i>	β (1/°C)
Éter	1650×10^{-6}
Álcool etílico	1100×10^{-6}
Gasolina	950×10^{-6}
Glicerina	500×10^{-6}
Mercúrio	180×10^{-6}
Água	210×10^{-6}

(b)

Figura 3: a) Tabela da densidade da água pura, para diversas temperaturas. b) Coeficientes de expansão térmica volúmetrica de alguns líquidos, a 20°C.