

F809

Proposta de Projeto

**Determinação Experimental da Temperatura de Zero
Absoluto**

Aluno:

Marcelo Gilli ----- RA 800601

Orientador:

Prof. Sérgio Gama

2º Semestre 2003

Este experimento foi proposto num artigo publicado em The Physics Teacher [1].

A temperatura de zero absoluto é uma das constantes fundamentais em física. Sua determinação experimental é de grande valor para o ensino e a compreensão da física. Neste projeto, propomos dois meios de determinação experimental do zero absoluto. No primeiro caso, o zero absoluto é definido por meio de um processo isocórico (volume constante), realizado com uma quantidade fixa de ar fechado em um jarro comum. No outro caso, o zero absoluto é determinado por meio de um processo isobárico (pressão constante) com ar fechado num frasco. Os experimentos são caracterizados por sua acessibilidade e considerável precisão de resultados.

1. Determinação da temperatura zero por meio de um processo isocórico

O zero absoluto pode ser determinado via a relação entre a pressão de um gás ideal com a temperatura: $p=f(t)$. Aqui o volume V é mantido constante. Dessa forma, temos, para uma pressão p_1 e uma temperatura T_1 expressa em Kelvin, correspondente a uma temperatura t_1 expressa em graus Celsius:

$$p_1V = nRT_1 = nR(t_1 - T_0) \quad (1)$$

onde n é o número de moles de gás, R é a constante universal dos gases e t_0 é a temperatura de zero absoluto, expressa em graus Celsius. Analogamente, para uma pressão p_2 e uma temperatura T_2 expressa em Kelvin, correspondente a uma temperatura t_2 expressa em graus Celsius:

$$p_2V = nRT_2 = nR(t_2 - T_0) \quad (2)$$

. A fim de determinar T_0 , é necessário determinar experimentalmente p_1 e p_2 para uma certa quantidade de ar em dois níveis de temperatura diferentes, t_1 e t_2 , respectivamente, quando o volume permanece o mesmo. Dividindo a equação (1) pela equação (2), obtemos:

$$T_0 = \frac{p_2t_1 - p_1t_2}{p_2 - p_1}.$$

A fim de determinar T_0 , nós precisamos definir experimentalmente t_1 , t_2 , p_1 , e p_2 .

A montagem experimental compreende um jarro com uma tampa de metal parafusada, um medidor de pressão com um ponteiro (manômetro) com duas válvulas, um recipiente com água, um termômetro, e uma chapa quente. A tampa é furada e há um cano de metal soldado na abertura. O cano permite que o jarro seja conectado a uma das válvulas do manômetro por um pequeno tubo de borracha. A outra válvula do manômetro está livre e pode ser aberta ou fechada para a atmosfera. O jarro tem um volume comparativamente pequeno (200 a 300 cm³) por conveniência de trabalho. Deve ser notado que o volume do jarro deve ser consideravelmente maior que o volume do tubo conector. Isso reduzirá o erro de medida devido ao fato de que o volume da mangueira não pode ter a temperatura controlada.

O experimento é conduzido da seguinte maneira. Primeiro, o recipiente é enchido com água, na qual pomos cubos de gelo. O jarro é totalmente submerso na água. A válvula livre do manômetro é aberta e o sistema é conectado com a atmosfera. Esperamos alguns minutos até que a temperatura do ar no jarro torne-se igual à temperatura da água. A válvula é fechada e o sistema é isolado da atmosfera. Desse modo existe uma massa fixa de ar no jarro com volume constante V e baixa temperatura inicial t_1 à pressão atmosférica p_1 .

Anotamos a pressão p_1 e a temperatura t_1 . Agora o jarro é colocado em um recipiente que está sobre uma chapa quente e enchido com água fervendo. Depois que o ar no jarro alcançou a temperatura da água fervendo e a leitura do manômetro estabilizou-se, anotamos a pressão p_2 e a temperatura t_2 .

Então os valores experimentalmente obtidos de t_1 , t_2 , p_1 , e p_2 são substituídos na fórmula e podemos determinar T_0 . Os resultados de um dos experimentos conduzidos em [1] são os seguintes: $t_1=0,3^\circ\text{C}$; $p_1=1$ atm; $t_2=98^\circ\text{C}$; $p_2=1,36$ atm; $T_0=-271,08^\circ\text{C}$. Este resultado difere do valor dos livros texto ($T_0=-273,15^\circ\text{C}$) com um erro relativo abaixo de 1%.

2. Determinação da temperatura zero por meio de um processo isobárico

O zero absoluto pode também ser determinado a uma pressão constante p por meio da relação do volume de um gás ideal com a temperatura $V=f(t)$. Dessa forma, podemos escrever, para um volume V_1 e e uma temperatura T_1 expressa em Kelvin, correspondente a uma temperatura t_1 expressa em graus Celsius:

$$pV_1 = nRT_1 = nR(t_1 - T_0) \quad (3)$$

Analogamente, para um volume V_2 e e uma temperatura T_2 expressa em Kelvin, correspondente a uma temperatura t_2 expressa em graus Celsius, temos:

$$pV_2 = nRT_2 = nR(t_2 - T_0) \quad (4)$$

.A fim de determinar T_0 , precisamos achar experimentalmente os volumes V_1 e V_2 de uma certa quantidade de ar em duas diferentes temperaturas t_1 e t_2 , respectivamente, quando a pressão é uma constante.

Dividindo a equação (3) pela equação (4) obtemos, para T_0 :

$$T_0 = \frac{V_2 t_1 - V_1 t_2}{V_2 - V_1}.$$

Se definimos a diferença entre o volume final e o volume inicial como ΔV , isto é, $\Delta V = V_2 - V_1$, a relação pode ser escrita na seguinte forma:

$$T_0 = \frac{V_2 t_1 - (V_2 - \Delta V) t_2}{\Delta V}.$$

A fim de determinar T_0 , temos que determinar experimentalmente t_1 , t_2 , V_2 e ΔV .

Usamos um frasco de vidro esférico com volume de cerca de 300 cm^3 para nossos experimentos. O mesmo é fechado com uma rolha de borracha com um furo que possui um cano de vidro com uma válvula passando através dele. Primeiro o frasco é submergido em um recipiente com água fervendo num fogão. A válvula inicialmente está aberta. Esperamos alguns minutos enquanto o ar no frasco atinge a temperatura de ebulição, no processo do qual a pressão aumenta e parte do ar sai do frasco até sua pressão tornar-se igual à atmosférica. Depois disso fechamos a válvula. Deste modo fixamos uma massa definida de ar no frasco com volume V_2 , igual ao volume do frasco à temperatura t_2 . A temperatura da água fervendo t_2 é medida com um termômetro de mercúrio.

O próximo estágio é pôr o frasco, com a torneira para baixo, em água com cubos de gelo. A torneira é aberta sob a água e esperamos alguns minutos até que o ar no frasco esfrie até a temperatura da água t_1 . Durante esse estágio, a pressão do ar no frasco decresce e alguma

água flui para dentro dele. O processo continua até que a pressão de ar no frasco seja igual à pressão atmosférica. O volume de ar decresce até V_1 . A torneira é então fechada e medimos t_1 .

Então retiramos o frasco de dentro da água, destampamo-lo, e despejamos a água de seu interior em um cilindro de medição. Desse modo medimos seu volume ΔV . Esse volume é igual à diferença entre o volume inicial e o volume final de gás, i.e. $\Delta V = V_2 - V_1$.

Por fim, medimos o volume inicial V_2 do frasco. A fim de realizar isso, abrimo-lo e enchemo-lo com água, e então inserimos a rolha furada, com a torneira aberta. A água em excesso vaza. O volume de água remanescente é medido com um cilindro de medição. Sua quantidade é igual ao volume inicial de ar V_2 .

Assim, os valores experimentalmente medidos de t_1 , t_2 , V_2 , e ΔV podem ser inseridos na fórmula e podemos achar T_0 . Os resultados de um dos experimentos executados em [1] são os seguintes: $t_1 = 0,5^\circ\text{C}$; $t_2 = 98,2^\circ\text{C}$; $V_2 = 327 \text{ cm}^3$; $\Delta V = 86 \text{ cm}^3$; e $T_0 = -273,29^\circ\text{C}$. Esse resultado difere do valor dos livros-texto por um erro relativo abaixo de 1%.

Lista de Materiais

- 1 jarro de 200 a 300 ml com tampa de metal parafusada; a tampa deve possuir um furo e um cano de metal soldado ao mesmo;
- 1 manômetro com duas válvulas;
- 2 recipientes de vidro;
- 2 termômetros;
- 2 chapas de metal;
- 1 tubo de borracha fino;
- 2 aquecedores para ferver água;
- 1 frasco esférico de aprox. 300 ml fechado com tampão de borracha; este deve possuir furo, no qual é inserido um cano de vidro com torneira;
- cilindro de medição
- água, gelo, recipiente para guardar gelo;

Referência

[1] D. T. Ivanov, “Experimental Determination of Absolute Zero Temperature”, The Physics Teacher, vol. 41, Março 2003.