

**F809**

**Relatório Final**

**Determinação Experimental da Temperatura de Zero  
Absoluto**



Aluno: Marcelo Gilli ----- RA 800601

Orientador:  
Prof. Sérgio Gama

1º Semestre 2004

## Resumo

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.

### 1. Introdução: Um Histórico do Conceito de Temperatura Termodinâmica

Nos primeiros anos do século 18, o trabalho pioneiro de Guillaume Amontons (1663-1705) prenunciava o conceito de temperatura termodinâmica. As medidas tomadas por Amontons mostravam que se um volume de ar dentro de um recipiente rígido fechado era aquecido da temperatura ambiente até a temperatura na qual a água evapora, sua pressão sempre subia de um terço.

Amontons sugeriu que uma nova escala de temperatura fosse estabelecida. Seu princípio básico, chamado freqüentemente de lei de Amontons, diz, em termos simplificados, o seguinte: se  $T_c$  representa uma mudança em temperatura numa escala termodinâmica, e  $P_c$  é mudança resultante de pressão, então  $P_c/T_c = \text{constante}$ .

Amontons estava convencido de que se se diminuísse a temperatura o suficiente, a pressão diminuiria até se tornar nula, e então a temperatura também nesse ponto também seria zero.

Amontons estabeleceu uma escala arbitrária de unidades de temperatura, em correspondência um-a-um com a pressão, atribuindo 73 à temperatura da ebulição da água e 51 para a do congelamento da água.

Suas medidas indicavam que o gelo derrete a cerca de 70 por cento da distância termodinâmica entre o zero absoluto e a temperatura da ebulição da água, sob a pressão atmosférica padrão. Segundo medidas atuais, essa distância é 73 por cento.

O trabalho de Amontons foi praticamente ignorado na sua época e permaneceu esquecido por mais de cem anos.

Em 1848, o escocês William Thomson, lord Kelvin (1824-1907), baseado em idéias do francês Sadi Carnot (1796-1832), propôs o conceito de uma escala absoluta de temperatura, em termos da medida de transferência de calor entre dois corpos, em vez da medida de comprimentos ou pressões. Thomson propôs o conceito de zero absoluto como o ponto em que um corpo não pode fornecer nenhum calor.

Quando Kelvin fez suas propostas, a localização aproximada do zero absoluto era bem conhecida, especialmente em termos da escala Celsius. Desde Amontons, sabia-se que a queda de pressão era aproximadamente proporcional à queda de temperatura, a volume constante. Começando à temperatura ambiente ( $\sim 20^\circ\text{C}$ ), constata-se uma queda de pressão de  $1/293$  em relação à pressão anterior quando a queda de temperatura era  $1^\circ\text{C}$ ; se a temperatura inicial é a temperatura de fusão do gelo, a queda de pressão é de  $1/273$  em relação à pressão anterior. Se essa tendência é posta num gráfico e extrapolada ao limite, ela mostra que a pressão se anula a aproximadamente  $-273^\circ\text{C}$ .

Desse modo, e apoiando-se em medidas mais precisas, pode-se definir uma nova escala, chamada de escala termodinâmica, cujo zero de temperatura coincide com  $-273,15^{\circ}\text{C}$ , e cuja unidade possui o tamanho igual a  $1^{\circ}\text{C}$ . Essa escala é chamada Kelvin.

Note que outras escalas termodinâmicas podem ser definidas a partir de outras escalas que não a escala Celsius. Por exemplo, define-se a escala Rankine a partir da escala Fahrenheit. O tamanho da unidade Rankine difere da unidade Kelvin, pois o grau Fahrenheit tem tamanho diferente do grau Celsius, mas a localização do zero absoluto é independente da escala.

A definição do Kelvin como uma unidade do Sistema Internacional data de 1967, e foi estabelecida na 13<sup>ª</sup> Conferência Geral sobre Pesos e Medidas, cuja Resolução Quatro diz:

“O Kelvin, a unidade de temperatura termodinâmica, é a fração  $1/273,16$  da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água.”

A temperatura não pode ser medida diretamente. Alguma outra grandeza física, relacionada com a temperatura, deve ser medida, e a temperatura é então deduzida dessa medida.

Usa-se para medir a temperatura: a expansão de substâncias, mudanças na resistência elétrica, e mudanças em efeitos termoeletrônicos, como em termopares. De cerca de  $0,002\text{ K}$  (muito próximo do zero absoluto) até  $2\text{ K}$ , mudanças nas propriedades magnéticas de vários sais são usadas para medir mudanças de temperatura. De  $2\text{ K}$  a  $14\text{ K}$ , mudanças na pressão de vapor exercida pelo Hélio são usadas para medir mudanças em temperaturas.

Mudanças na resistência elétrica de uma tira de metal podem ser usadas para medir mudanças de temperatura desde menos de  $1\text{ K}$  até  $1800\text{ K}$ .

O “ruído” molecular produzido pelos movimentos aleatórios de moléculas na matéria pode ser usado para indicar mudanças de temperatura desde alguns  $\text{K}$  até mais de  $2000\text{ K}$ .

## 2. 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, um medidor de pressão com um ponteiro (manômetro) com duas válvulas, um recipiente com água (béquer), um termômetro, e uma

chapa quente. O jarro é tampado com uma rolha, na qual introduz-se um cano de metal. 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 (aprox. 240 cm<sup>3</sup>) 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 cheio 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 cheio 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 do experimento conduzido 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%.

### 3. 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 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 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  $\Delta V$ , 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  $\Delta V$ .

Usamos um frasco de vidro esférico com volume de cerca de  $250 \text{ cm}^3$  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 submerso 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. Posiciona-se então o frasco de modo que o nível da água em seu interior esteja alinhado com o nível da água externo, de modo que a pressão de ar interna seja idêntica à pressão atmosférica. O volume de ar é  $V_1$ . Fecha-se então a torneira do frasco e mede-se  $t_1$ .

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  $\Delta V$ . 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  $\Delta V$  podem ser inseridos na fórmula e podemos achar  $T_0$ . Os resultados do experimento executado 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 frasco (“balão”) de aproximadamente 240 ml, tampado com rolha, através da qual introduz-se o cano de metal;
- 1 manômetro com duas válvulas;
- 2 recipientes de vidro (“béquers”);
- 1 termômetro;
- 1 chapa de metal com aquecedor;
- 1 tubo de borracha fino;
- 1 ebulidor para ferver água;
- 1 frasco (“balão”) de aprox. 250 ml fechado com rolha de borracha; esta deve possuir furo, no qual é inserida uma válvula que permite ou impede a passagem de ar;
- cilindro de medição;
- água, gelo, recipiente para guardar gelo;

## Atividades Realizadas

A primeira parte do semestre foi ocupada com a procura pelos materiais requeridos para a realização do experimento, e subsequente montagem do aparato. Fui bastante auxiliado pelo Renato, técnico do Laboratório LF24, sem cuja assistência meu trabalho teria sido muito difícil. O material usado foi majoritariamente aproveitado de itens que estavam disponíveis nos laboratórios LF24 e Baixas Temperaturas e na Oficina de Vidros. A idéia de usar um ebulidor para ferver a água surgiu devido à excessiva lentidão quando se esquentava só com a chapa. Desse modo, usa-se o ebulidor para atingir a temperatura de ebulição e em seguida ela é mantida deixando o bquer em contato com a chapa quente.

A segunda parte do semestre foi ocupada com medições e análise dos resultados.

## Resultados

### a) Processo Isocórico

Mantendo a notação usada na descrição anterior, chamaremos a temperatura inicial (equilíbrio de água com gelo) de  $t_1$  e a temperatura final (próxima à ebulição da água) de  $t_2$ . A pressão inicial é  $p_1$  e a pressão final é  $p_2$ . Estamos trabalhando com um manômetro diferencial referenciado à pressão atmosférica, de modo que ele marca zero à pressão atmosférica. Portanto, tivemos que adotar um valor para a pressão atmosférica. O valor que adotamos baseado em dados da cidade de Campinas [4] foi  $p_1 = 713 \text{ mmHg} = 0,969 \text{ kgf/cm}^2$ . A temperatura que desejamos achar é a temperatura de zero absoluto  $T_0$ .

O erro em  $p_1$  foi estimado um tanto imprecisamente, pois  $p_1$  não foi medido localmente, mas obtido de uma instituição (Cepagri) através de seu sítio web. O erro da medida em si é certamente menor que  $0,001 \text{ kgf/cm}^2$ , mas temos que considerar possíveis variações entre o local do experimento e o local onde a pressão foi medida, bem como variações temporais entre o instante do experimento e o instante da medida. Consideramos que o valor de  $0,003 \text{ kgf/cm}^2$  estabelece um limite superior para esse erro.

O valor de pressão medido é  $(p_2 - p_1)$ . Observamos aqui que há uma particularidade no equipamento, que nos induziu a erro em nosso Relatório Parcial. Supusemos erroneamente que havia 5 divisões iguais entre 0 e  $0,5 \text{ kgf/cm}^2$ , como acontece no resto da escala. Na verdade, entre 0 e  $0,5 \text{ kgf/cm}^2$  existem 4 divisões iguais acrescidas de uma quinta divisão adjacente ao zero muito menor que as demais (estimada visualmente como  $0,01 \text{ kgf/cm}^2$ ). Assim, o valor de  $(p_2 - p_1)$ , que supúnhamos ser igual a  $0,35 \text{ kgf/cm}^2$ , deve ser corrigido para  $0,32 \text{ kgf/cm}^2$ .

O erro em  $(p_2 - p_1)$  pode ser considerado como um terço da menor divisão de escala do equipamento, que é o erro de leitura [5]. O valor medido é relativo à pressão atmosférica e não existe erro de calibração do zero, pois este sempre corresponde à pressão atmosférica, por definição. Dessa forma o erro máximo é estimado em  $0,04 \text{ kgf/cm}^2$  e considerar-se-á o erro em  $p_2$  igual ao erro em  $(p_2 - p_1)$ , já que o erro em  $p_1$  situa-se uma ordem de grandeza abaixo do erro de  $p_2$ .

A tabela abaixo mostra os valores de temperatura e pressão medidos, bem como os erros máximos de cada grandeza, denotados pela letra  $\delta$  seguida pelo símbolo da grandeza correspondente.

$T_1$ (°C)	$\delta t_1$ (°C)	$t_2$ (°C)	$\delta t_2$ (°C)	$p_2 - p_1$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\delta (p_2 - p_1)$ (kgf/cm)	$p_1$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\delta p_1$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
2	0,5	93	0,5	0,32	0,04	0,969	0,003

Os valores máximo e mínimo de  $T_0$  são obtidos substituindo os valores medidos acrescidos ou subtraídos de seus erros [5] na fórmula deduzida anteriormente para  $T_0$ :

$$T_0 + \delta T_0 = \frac{(p_2 + \delta p_2)(t_1 + \delta t_1) - (p_1 - \delta p_1)(t_2 - \delta t_2)}{(p_2 + \delta p_2) - (p_1 - \delta p_1)} = \frac{1,33 \times 2,5 - 0,966 \times 92,5}{1,33 - 0,966} = -236^\circ\text{C}$$

$$T_0 - \delta T_0 = \frac{(p_2 - \delta p_2)(t_1 - \delta t_1) - (p_1 + \delta p_1)(t_2 + \delta t_2)}{(p_2 - \delta p_2) - (p_1 + \delta p_1)} = \frac{1,25 \times 1,5 - 0,972 \times 93,5}{1,25 - 0,972} = -320^\circ\text{C}$$

Portanto

$$T_0 = -278 \pm 42^\circ\text{C}$$

## b) Processo Isobárico

Após a apresentação do Relatório Parcial descobriu-se um pequeno vazamento na válvula que controlava a entrada e saída de ar do frasco. Essa válvula foi substituída e fizemos novas medidas.

Cometemos também um erro experimental que foi a causa dos resultados discrepantes obtidos. O erro foi que não enxugamos bem o interior do frasco antes de usá-lo, e as gotas de água transformaram-se em vapor ao aquecer o frasco; esse vapor ocupa um certo volume, que é reduzido ao se condensar quando o frasco é resfriado; o volume de gás restante no frasco é então muito menor que o que deveria ser.

Outros cuidados experimentais tomados foram:

1. A pressão de ar quando o frasco está imerso na água quente poderia ser menor que a atmosférica devido à ação de correntes de convecção provenientes do recipiente contendo a água próxima à ebulição. Para evitar isso inseriu-se um tubo de borracha na saída da válvula, de modo que a outra extremidade do tubo situa-se bem longe da suposta corrente de convecção.

2. A temperatura do ar no frasco poderia atingir valores maiores que 100°C, devido ao contato do frasco com bolhas presentes na água em ebulição, ou então devido ao contato acidental com o chão ou as paredes do recipiente no qual o frasco é imerso. Para evitar isso, nunca deixamos a água atingir ebulição com muitas bolhas, ficando a temperatura um pouco abaixo daquela em que isso ocorre. Quanto à possibilidade de o frasco tocar as paredes ou o chão do recipiente, não deixamos que isso acontecesse.

As medidas de  $t_1$  apresentadas neste relatório foram feitas à temperatura ambiente, pois isso não compromete os resultados e estávamos tendo dificuldades para obter as quantidades necessárias de gelo. Mantendo a notação usada na descrição anterior, chamaremos a temperatura inicial (próxima à ebulição da água) de  $t_2$  e a temperatura final (ambiente) de  $t_1$ . O volume inicial é  $V_2$  e o volume final é  $V_1$ . A diminuição de volume ( $V_2 - V_1$ ) é  $\Delta V$ . A tabela abaixo mostra os valores medidos, bem como os erros de medição, denotados pela letra  $\delta$  seguida pelo símbolo da grandeza correspondente. Como quebramos o frasco de 249 ml, tivemos que usar o outro, de 242 ml.

$t_1$ (°C)	$\delta t_2$ (°C)	$\delta t_1 = \delta t_2$ (°C)	$V_2$ (ml)	$\Delta V$ (ml)	$\delta V_2 = \delta \Delta V$ (ml)
20	96	0,5	242	48	1

Os valores máximo e mínimo de  $T_0$  são obtidos substituindo os valores medidos acrescidos ou subtraídos de seus erros [5] na fórmula deduzida anteriormente para  $T_0$ . Ao contrário do que acontecia no processo isocórico, as equações para os valores máximo e mínimo não são evidentes; após uma simples análise por diferenciação, concluímos que os extremos da função  $T_0$  na região de interesse situam-se em algum ponto fronteiro dessa região; procedemos então a substituição exaustiva de todas as combinações de valores extremos das variáveis e selecionamos as duas combinações que produziam os extremos de  $T_0$ .

$$T_0 + \delta T_0 = \frac{(V_2 - \delta V_2)(t_1 + \delta t_1) - [(V_2 - \delta V_2) - (\Delta V + \delta \Delta V)](t_2 - \delta t_2)}{(\Delta V + \delta \Delta V)} =$$

$$= \frac{241 \times 20,5 - (241 - 49) \times 95,5}{49} = -271,4^\circ C$$

$$T_0 - \delta T_0 = \frac{(V_2 + \delta V_2)(t_1 - \delta t_1) - [(V_2 + \delta V_2) - (\Delta V - \delta \Delta V)](t_2 + \delta t_2)}{(\Delta V - \delta \Delta V)} =$$

$$= \frac{243 \times 19,5 - (243 - 47) \times 96,5}{47} = -301,6^\circ C$$

Portanto

$$T_0 = -286,5 \pm 15,1^\circ C$$

Como vemos, obtivemos um resultado que, considerados os erros, envolve o valor esperado teoricamente.

## Referências

- [1] D. T. Ivanov, “Experimental Determination of Absolute Zero Temperature”, The Physics Teacher, vol. 41, Março 2003. Disponível em formato pdf no endereço abaixo:  
<http://scitation.aip.org/getpdf/servlet/GetPDFServlet?filetype=pdf&id=PHTEAH000041000003000172000001&idtype=cvips>
- [2] H. A. Klein, “The Science of Measurement: A Historical Survey”. Dover Publications, New York, 1988.
- [3] McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology, Vol. 13.
- [4] <http://orion.cpa.unicamp.br/portal/index.php>
- [5] J.J. Lunazzi, “Fundamentos Básicos Sobre Erros”, IFGW-UNICAMP.

Estas referências são sítios web dos quais incluímos nas páginas seguintes uma reprodução.

- [6] <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/cero/cero.htm>
- [7] [http://www.frontiernet.net/~jlkefer/abs\\_zero.htm](http://www.frontiernet.net/~jlkefer/abs_zero.htm)

Outros sítios interessantes, que, para não inflar demasiadamente o tamanho deste relatório, não serão reproduzidos aqui, já que não acrescentam muito aos anteriores, ou têm relação apenas indireta com este trabalho:

Experimentos:

- [8] <http://romano.physics.wisc.edu/lab/manual/node21.html>
- [9] <http://129.93.84.115/Chemistry/DoChem/DoChem072.html>
- [10] <http://chemmovies.unl.edu/chemistry/dochem/DoChem072.html>
- [11] <http://www.holyghostprep.org/faculty/Los/HonChem/LAbs/gaylussac.htm>
- [12] [http://chemed.chem.purdue.edu/demos/main\\_pages/4.13.html](http://chemed.chem.purdue.edu/demos/main_pages/4.13.html)
- [13] <http://faraday.physics.uiowa.edu/heat/4E30.10.htm>
- [14] <http://www.ivygreen.ctc.edu/knutsen/chem140/gaslaws.html>
- [15] <http://tonga.usip.edu/gmoyna/principles113/week10.pdf>

Teoria:

- [16] <http://www.thermometriccorp.com/abtem.html>
- [17] [http://www.npl.co.uk/thermal/faq\\_index.html](http://www.npl.co.uk/thermal/faq_index.html)

[6] <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/cero/cero.htm>

## Determinación el cero absoluto de temperatura



[Física Estadística y  
Termodinámica](#)

**Calor y  
temperatura**

[Calor  
específico  
de un sólido  
Equivalente](#)

[La escala Kelvin de temperaturas](#)

[Descripción de la experiencia](#)

 [Actividades](#)

[Referencias](#)

[mecánico](#)  
[del calor](#)  
[Calor latente](#)  
► [Cero absoluto de](#)

[temperatura](#)  
[Ley del enfriamiento de Newton](#)  
[Medida de la presión atmosférica](#)  
[Oscilaciones de un globo](#)  
[Medida de la presión de vapor del agua](#)

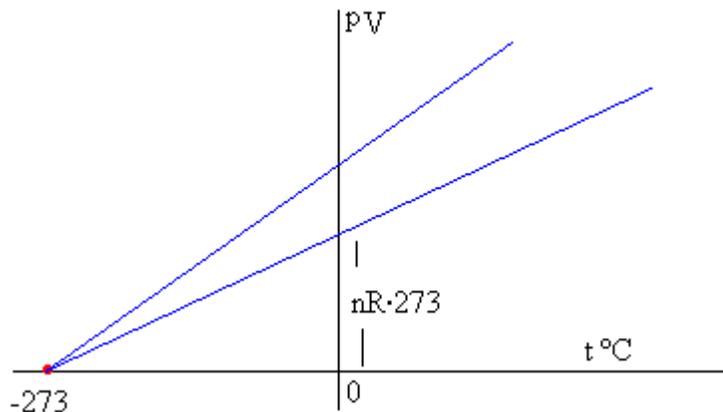
En esta página, se simula una experiencia que permite determinar el cero absoluto de temperatura mediante un proceso a volumen constante.

### La escala Kelvin de temperaturas

La ecuación de un gas ideal es  $pV=nRT$ , donde

- $p$  es la presión
- $V$  el volumen
- $n$  el número de moles
- $R$  la constante de los gases  $R=8.3143 \text{ J}/(\text{K mol})$
- $T$  la temperatura.

Si hacemos una gráfica del producto  $pV$  en función de la temperatura obtenemos una línea recta, que intersecará el eje X en el valor  $T=-273^\circ\text{C}$ . Si empleamos distintos gases pero con el mismo número  $n$  de moles, obtendremos la misma línea. Pero si el número  $n$  de moles es distinto obtendremos otra línea distinta que interseca al eje X en el mismo valor de  $T=-273^\circ\text{C}$ .



En vez de grados centígrados es por tanto, más conveniente usar una nueva escala de temperaturas, denominada escala Kelvin, de modo que a la temperatura centígrada  $-273^\circ\text{C}$  le corresponde el cero de la nueva escala.

Si  $t$  es la temperatura en grados centígrados, la correspondiente temperatura  $T$  en la escala Kelvin será.

$$T(\text{K})=t(^{\circ}\text{C})+273.$$

Ningún sistema puede tener una temperatura negativa ya que el producto  $pV$  es siempre positivo. A la temperatura 0 K un gas que ocupa un volumen  $V$  ejercerá una presión nula  $p=0$  sobre las paredes del recipiente que lo contiene. Como la presión se debe a los choques de las moléculas con las paredes del recipiente, en el cero absoluto de temperatura cesará el movimiento de las moléculas que ya no ejercerán fuerzas sobre las paredes del recipiente.



### **Referencias**

Ivanov D. *Experimental determination of absolute zero temperature*. The Physics Teacher, Vol 41, March 2003, pp. 172-175

[7] [http://www.frontiernet.net/~jlkeefe/abs\\_zero.htm](http://www.frontiernet.net/~jlkeefe/abs_zero.htm)

---

## AP Physics Lab: Experimental Determination of Absolute Zero

### Introduction

Under most conditions of constant pressure, Charles's Law states that the volume of a gas is proportional to the absolute temperature of the gas. Thus, as the average kinetic energy of the gas molecules approaches zero, the volume of the gas tends to zero also. However, gases liquefy at temperatures near absolute zero and occupy a specific volume, thus acting radically different from gases in volume changes.

In this experiment a volume of air is cooled and a graph of the temperature-volume relationship is plotted. From an extrapolation of the graph to zero volume, the temperature, in degrees Celsius, at which the average kinetic energy of the air molecules is zero can be predicted. This temperature is called absolute zero.

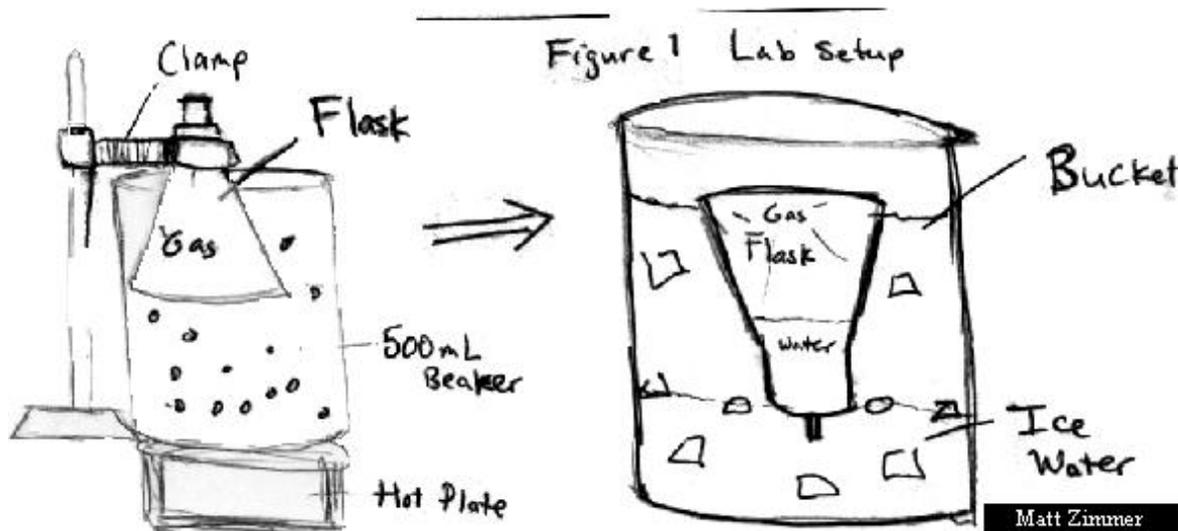
**Materials:** 125 mL Erlenmeyer flask 500 mL beaker solid glass rod, one-hole stopper, goggles, large bucket, hot plate, graduated cylinder, tongs, ice, clamps, thermometer

### Procedures: **Goggles required beyond this point!**

1. Prepare an ice bath using a large bucket approximately 3/4 full.
2. Fit the dry Erlenmeyer flask with a one-hole stopper.
3. Prepare a hot water bath on the hot plate in a 500 mL beaker half filled.
4. Clamp the Erlenmeyer flask in the hot water bath such that most of it is under the water.
5. Allow the water to boil 4-5 min to allow the zeroth law to take effect.
6. Record the temperature of the boiling water to 0.1° C.



7. As quickly as possible, place the solid glass rod into the one hole stopper, then remove the florence flask from the beaker. Allow it to cool for a minute.



8. Invert the Erlenmeyer flask and place it in the ice bath. Remove the glass rod while under water, then totally submerge the flask for 4-5 min. Stir occasionally.

9. Record the temperature of the ice bath to  $0.1^{\circ}\text{C}$ .

The next step should be done as quickly as possible to avoid warming of the flask.

10. Using tongs, raise the inverted flask until the water level inside and outside are equal. Now seal the flask with the glass rod.

11. Determine the volume of water collected in the inverted flask, then the volume of the entire flask. This will allow you to calculate the volume of the air at both temperatures.

### Analysis

1. Plot the volume of the air in the flask vs. temperature. Allow room on your graph to extrapolate back to zero volume (y axis).

2. In your analysis, respond to the following questions:

a) why did the water flow into the flask in the ice bath?

b) why was it necessary to allow the two water levels to become equal in Step 10?

c) from your graph, what is the predicted temperature for zero volume of a gas. Calculate a % error.

d) explain why the temperature cannot drop below absolute zero.

e) what can be done to improve the accuracy of this experiment?

f) what are some assumptions that you made in conducting the experiment and analyzing the data?

g) what happens to air before it gets close to absolute zero that would prevent an accurate determination of absolute zero?

h) Look up, write out, and identify the terms in the van der Waals Equation. What does this equation adjust for when dealing with real gases?

i) theoretically, what happens to molecules at absolute zero?

---

Back to the [Brockport High School Science Department](#)

## Comentários Relativos aos Relatórios Anteriores

### Comentário feito sobre o Documento de Projeto

Emissor	Data
<a href="#">Prof. José J. Lunazzi</a>	06/04/2004 23:59:55

#### Comentário

Projeto aprovado. Faltariam talvez referencias ao tema em paginas da internet. Entende-se, por outro lado, que todo o material indicado serah disponibilizado pelo aluno ou pelo professor. Bom trabalho!

### Comentário feito sobre o Relatório Parcial

Emissor	Data
<a href="#">Prof. José J. Lunazzi</a>	31/05/2004 15:42:03

#### Comentário

RP aprovado com a objeção de não ter feito cálculo de erros, o que invalida, ao menos em parte, poder dizer se o resultado foi ou não satisfatório. Veja, por exemplo, a apostila de erros que coloquei como material para o curso.