

Termostato Analógico

Aluna: Thatiane Célia Miyahira
Orientador: Prof. Ernesto Kemp
UNICAMP - IFGW

21 de novembro de 2006



Resumo

Neste projeto, contruímos um Termostato Analógico com materiais simples e de uso comum como, por exemplo, um recipiente de vidro, fios de cobre e suportes de madeira. Este aparelho é um ótimo instrumento pedagógico voltado principalmente para o Ensino Médio, possibilitando a demonstração de duas áreas distintas da física juntas: a termodinâmica, através das relações de Gay-Lussac e a eletrodinâmica, através do estudo do comportamento linear da resistência da lâmpada (verificando a lei de OHM e Joule). Mostrando aos alunos um panorama mais universal do que é a Física.

1 Motivação

A preocupação central desse trabalho relaciona-se com o ensino de Física. Tendo na Termodinâmica o foco principal dos estudos. A principal motivação foi a importância dos Termostatos para o nosso dia-a-dia, pois eles controlam a temperatura dos refrigeradores, ferros elétricos, ar condicionado e muitos outros equipamentos.

Mas o que é um Termostato? O termostato é um dispositivo destinado a manter constante a temperatura de um determinado sistema, através de regulação automática. A função do termostato é impedir que a temperatura de determinado sistema varie além de certos limites preestabelecidos. Um mecanismo desse tipo é composto, fundamentalmente, por dois elementos: um indica a variação térmica sofrida pelo sistema e é chamado elemento sensor; o outro controla essa variação e corrige os desvios de temperatura, mantendo-a dentro do intervalo desejado. Exemplo de elemento sensor são as tiras bimetálicas, constituídas por metais diferentes, rigidamente ligados e de diferentes coeficientes de expansão térmica. Assim, quando um bimetal é submetido a uma variação

de temperatura, será forçado a curvar-se, pois os metais não se dilatam igualmente. Esse encurvamento pode ser usado para estabelecer ou interromper um circuito elétrico, que põe em movimento o sistema de correção. Outro tipo de elemento sensor combina as variações de temperatura com variações de pressão para ativar mecanismos corretores. Um recipiente de metal, de volume variável, cheio de líquido ou gás, ligado a um bulbo por um tubo fino, é exemplo desse tipo de sensor. As mudanças de temperatura sofridas pelo fluido do recipiente principal são comunicadas ao bulbo pelo tubo de ligação; como o volume do bulbo é fixo, resulta da mudança de temperatura uma variação na pressão do fluido contido; essa variação transmite-se ao recipiente principal, provocando alteração de seu volume e compensando, dessa forma, o aumento ou diminuição de temperatura. Outro sistema utilizado é o elétrico, tendo a resistência do fio como elemento sensor.

Assim, neste projeto propomos a construção de um termostato analógico com funcionamento baseado em princípios termodinâmicos, a fim de controlar a temperatura de uma câmara. Nessa abordagem, a dilatação do gás contido em uma câmara nos fornecerá a temperatura do sistema, de um modo muito semelhante ao que ocorre em termômetros comerciais. Utilizaremos a expansão do gás, que ocorre de forma contínua, para acoplar e desacoplar a fonte de calor (lâmpada de filamento) ao sistema termodinâmico. Desse modo, poderemos manter a temperatura da câmara dentro de certos limites uma vez que a emissão de radiação pela lâmpada é controlada por este processo de realimentação (*feedback*). Existem referências, em citios da Internet, à experimentos bastante parecidos com o que propomos neste projeto[1]. Porém, a falta de documentação adequada destes sítios impedem a construção satisfatória de um dispositivo como este. Neste projeto, procuramos dar uma atenção especial a documentação, uma vez que pretendemos dar a possibilidade de professores de Ensino Médio montarem este experimento em suas escolas.

2 Teoria

2.1 Lei de OHM

Lei de Ohm: em 1826, Georg Simon Ohm descobriu que para condutores metálicos a tensão varia linearmente com a corrente elétrica, ou seja, a razão entre a tensão e a corrente elétrica é constante, e esta constante é denominada resistência R do condutor. Isto é, $R = U/i$ ou $U = Ri$

Gráfico U versus i O gráfico tensão em função da corrente elétrica é uma reta ; este tipo de resistor é chamado resistor ôhmico. A inclinação da reta corresponde ao valor da resistência. O gráfico de resistores não ôhmicos, ou seja, que não obedecem a Lei de Ohm, tais como: tubos eletrônicos, condutores iônicos, não são retas

2.2 Dilatação térmica

Na natureza, alguns corpos estão sujeitos a sofrer uma maior dilatação do que outros . Essa variação que é caracterísitca de cada material, ocorre de acordo com o coeficiente de cada material. Com ele podemos comparar qual substância dilata ou contrai mais do que outra. Quanto maior for o coeficiente de dilatação linear da substância mais facilidade ela terá para aumentar seu tamanho, quando esquentada, ou diminuir seu tamanho, quando esfriada. Abaixo colocamos duas tabelas que ilustram o coeficiente de dilatação linear (em uma dimensão) e o coeficiente de dilatação volumétrico (em 3 dimensões)

2.3 Teoria Cinética dos Gases Ideais

Todo modelo é uma construção imaginária que incorpora apenas as características que se supõe importantes para a descrição do sistema físico em questão, características estas selecionadas intuitivamente ou por conveniência matemática. A validade de um modelo é determinada pela experimentação. O modelo da teoria cinética para um gás ideal (veja também Modelo Cinético para um líquido) se baseia no seguinte.

- Uma porção de gás perfeito é constituída por um grande número de moléculas em movimento caótico.
- As moléculas são consideradas pontos materiais.

- As colisões entre duas moléculas ou entre uma molécula e uma parede do recipiente são supostas perfeitamente elásticas.
- Cada colisão tem duração desprezível.
- Entre colisões sucessivas, o movimento das moléculas é retilíneo.
- As forças intermoleculares só se manifestam durante as colisões.
- O estudo das colisões das moléculas pode ser feito com base na mecânica newtoniana.

A característica mais importante desse modelo é que as moléculas, na maior parte do tempo, não exercem forças umas sobre as outras, exceto quando colidem. Assim, as propriedades macroscópicas de um gás são conseqüências primárias do movimento das moléculas e é por isso que se fala em teoria cinética dos gases. As conseqüências mais importantes desse modelo são as relações: onde N representa o número de partículas e o fator entre parênteses, a energia cinética média das partículas. A primeira expressão relaciona a pressão e a segunda, a temperatura absoluta à energia cinética média de translação das moléculas. Se a pressão de um gás aumenta, a energia cinética média de suas moléculas aumenta e também, a sua temperatura.

A distância média percorrida por uma molécula entre duas colisões sucessivas é chamada livre caminho médio. À medida que o volume do recipiente cresce, com a temperatura constante, o livre caminho médio das moléculas se torna cada vez maior e as forças intermoleculares se tornam cada vez menos efetivas. À medida que a temperatura cresce, com o volume constante, a energia cinética média das moléculas cresce e as forças intermoleculares se tornam cada vez menos efetivas porque o tempo de colisão diminui. Assim, o comportamento de um gás real se aproxima do comportamento de um gás ideal para baixas pressões e/ou altas temperaturas.

A alta compressibilidade de um gás é explicada pelos pequenos volumes próprios das moléculas relativamente ao espaço disponível para o seu movimento. A pressão exercida por um gás contra as paredes do recipiente é atribuída à taxa de transferência de momentum (quantidade de movimento) a estas paredes pelos impactos das moléculas.

As leis de Boyle e de Gay-Lussac valem para gases ideais. Ou seja, valem para um gás real na medida em que ele se comporta como ideal. Pela teoria cinética vimos que a pressão aumenta à medida que o volume diminui (lei de Boyle) porque as moléculas colidem com maior freqüência com as paredes do recipiente, e que a pressão aumenta com o aumento da temperatura (lei de Gay-Lussac) porque a elevação da temperatura aumenta a velocidade média das moléculas e, com isso, a freqüência das colisões com as paredes e a transferência de momentum. O sucesso da teoria cinética mostra que a massa e o movimento são as únicas propriedades moleculares responsáveis pelas leis de Boyle e de Gay-Lussac.

3 Montagem Experimental

Como observado na Figura 1, o ambiente controlado pelo termostato será uma câmara cilíndrica e o reservatório térmico uma lâmpada de filamento. Acendendo-se a lâmpada a câmara é aquecida, fazendo com que o gás contido na câmara se expanda. Como a pressão nas duas pontas do tubo contendo mercúrio é igual a pressão atmosférica, utilizando a *Lei de Gay-Lussac* (Equação 1), teremos um volume final maior que o inicial[2].

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (1)$$

Como a câmara estará ligada ao tubo de vidro, esse aumento de volume só será possível deslocando o nível de mercúrio contido no tubo. Quando o mercúrio é deslocado, temos uma diminuição da parte imersa do fio, resultando na separação desde do mercúrio e o desligamento da lâmpada. Com o desligamento da lâmpada, o gás do interior da câmara perde energia para o meio, diminuindo seu volume até que o fio fique novamente imerso no mercúrio, acendendo a lâmpada e iniciando o processo inverso. Teremos, portanto, um sistema térmico cuja temperatura estará sempre entre duas previamente definidas pelo imersão do fio no mercúrio.

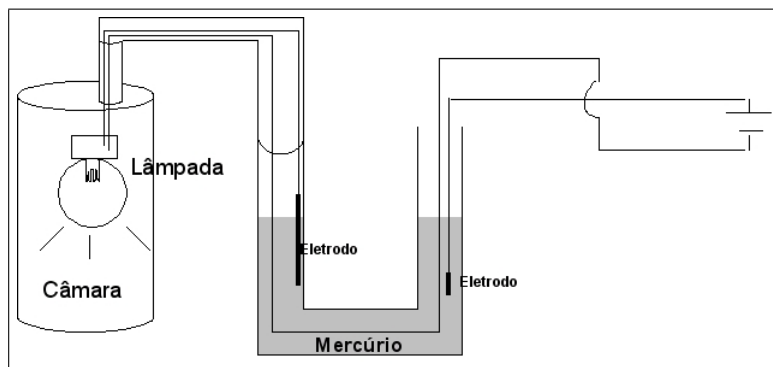


Figura 1: Ilustração esquemática da Montagem Experimental

3.1 Materiais utilizados

- Câmara
- Lâmpada de filamento
- Mercúrio
- Fonte de tensão
- Fios de cobre
- Tubo de vidro em "U"
- Tubos de borracha

3.2 Como foi feito

Dos materiais necessários para a construção do Termostato, usamos um vidro de azeitonas como câmara, o mercúrio nos foi cedido pelo Instituto de Química (uma amostra pode ser vista na Figura 2) e o tubo em forma de "U" pelo laboratório de vidro do Instituto de Física. A escolha de materiais simples, encontrados com frequência em lares, para a construção do aparato experimental tem como objetivo uma maior familiaridade, tendo maior efeito didático que o obtido utilizando materiais industriais. A lâmpada utilizada como fonte térmica é uma lâmpada de 55W (12V). Usamos mercúrio ao invés de água acidulada (ou com íons dissolvidos), pois com a passagem de corrente, poderia ocorrer a eletrólise da solução, formando assim, hidrogênio e oxigênio, o que traria um risco ao experimento. Enquanto o mercúrio também é líquido a temperatura ambiente, possui elevada tensão superficial (não molha o vidro), alta condutividade térmica e elétrica, o caracterizando como um bom material condutor. Sua expansão volumétrica uniforme ao longo de uma ampla faixa de temperatura (passa para o estado gasoso somente após atingir 630 K) e elevada densidade ($13,6 \text{ g.cm}^{-3}$ a 20°C) o tornam um elemento ideal para a fabricação de instrumentos para medidas físicas como o apresentado nesse relatório.

3.3 Problemas superados

Inicialmente se pensou em utilizar uma lata de leite em pó como a câmara (como mostra a figura 3, entretanto a lâmpada não conseguia esquentar a lata de forma que possibilitasse o aumento do volume do gás. Então decidimos pintar a lata de preto (como mostra a figura 5), pois como sabemos, a cor preta absorve mais energia. Porém, essa medida também não funcionou.

Como, nós achávamos que o erro estava na falta de aquecimento, colocamos uma resistência para aumentá-lo (figura 6). Mas, novamente, não deu certo. Tentamos mudar o foco do problema, ou seja, supomos que o erro estava no tamanho do objeto, tentamos substituir por uma "lata" de fermento, mas também não funcionou, pois o frasco, ao contrário do que imaginávamos, não era de metal e sim de papelão (figura 7). Finalmente, descobrimos que o problema estava no próprio aquecimento em si. A tampa da lata de leite dilatava de forma diferente do restante da lata, perdendo sua vedação, fazendo com que ela perdesse ar com o aquecimento (impossibilitando a existência de pressão suficiente para deslocar o mercúrio). Então substituímos por um recipiente de vidro, o que resultou no sucesso da experiência (figura 8).

3.4 Fotos das montagens experimentais

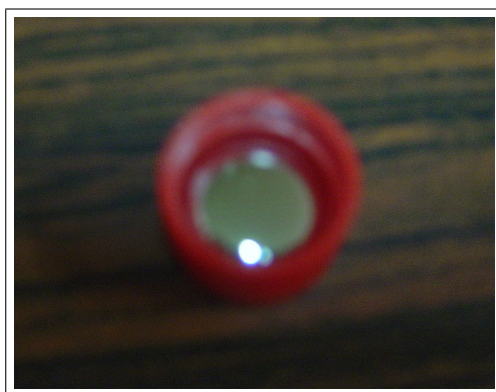


Figura 2: Amostra do mercúrio que nos cedido pelo Instituto de Química

4 Conclusões e considerações finais

Esse experimento possibilitou a demonstração experimental da teoria de Gay Lussac de uma forma didática. No decorrer de sua confecção pensamos em fazer um termostato que permitisse que a lâmpada acendesse aos poucos. Entretanto, como não havia uma resistência de fio que permitisse a passagem de de 4,6 A, isso não foi possível de maneira direta. Para produzir tal efeito seria necessário a utilização de circuito com um transistor de potência, fazendo com que o experimento perdesse um pouco de seu caráter didático com a introdução de uma "caixa preta" no sistema experimental.

Referências

- [1] Site da Web "Feira de Ciências" http://www.feiradeciencias.com.br/sala08/08_21.asp
- [2] M. W. Zemansky and R. H. Dittman, Heat and Thermodynamics
- [3] Francis W. Sears and Gerhard L. Salinger Thermodynamics, Kinetic Theory and Statistical Thermodynamics

Comentários do coordenador do curso * Projeto aprovado, por ser muito simples terá de apresentá-lo oportunamente no evento que faremos para o público geral, do tipo Experimente a Física (www.ifl.unicamp.br/lunazzi/experimenteafisica.htm), registrando as conversas com o público. Noto as deficiências: disse que varia a resistência, e não é assim, com mercúrio a variação é quase binária, do tipo tem ou não tem contato. Com



Figura 3: 1ª Montagem experimental

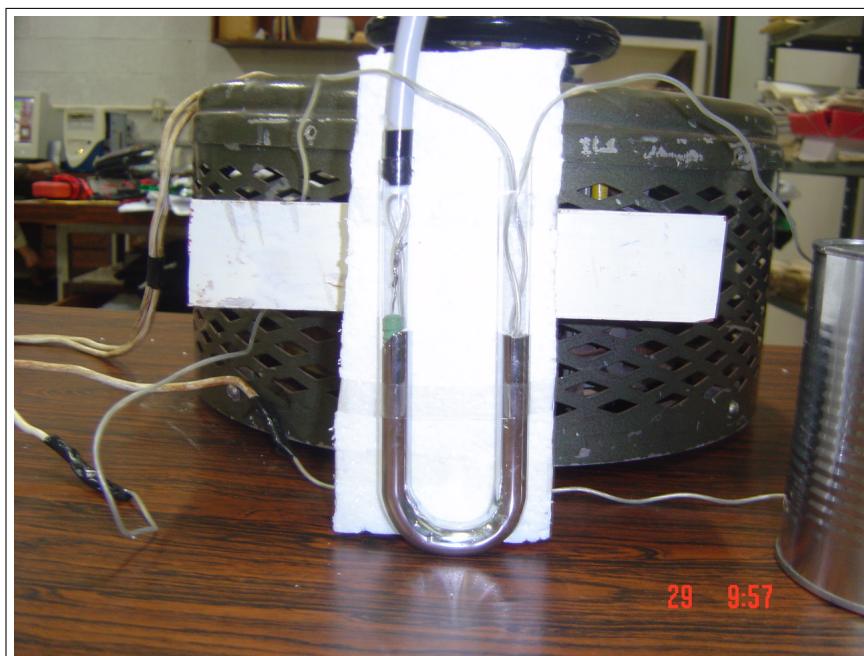


Figura 4: Magnificação do tubo em forma de U



Figura 5: Câmara da 2ª Montagem experimental



Figura 6: Resistência usada na 3ª Montagem experimental



Figura 7: Caixa de fermento usada na 4ª Montagem experimental



Figura 8: Montagem Final do aparato experimental

água acidulada como sugere a referência, suspeito que a eletrólise da água venha a gerar gases até explosivos e complique o experimento. Outra discussão a resolver é até onde o gas segue a conduta de um gas ideal. Também não coloca um termómetro no experimento, tudo bem provar que a temperatura resulta constante pelo volume do gas, mas quanto isso representa em termos de graus centígrados?

* Faltam as fotos do que tem realizado, a nota em princípio sería 8,0 depois de colocar nova versao do RP com esas fotos na semana que vem. Mas precisa explicar também porqué o tubo tem de ser de vidro, se for propriedade corrosiva do mercúrio, descrever. Água em lugar de mercúrio daría um tubo comprido porém bem mais fácil de se conseguir, porque nao? * RP2 visto, nota 5

ANEXOS

Pisca-pisca, por dilatação

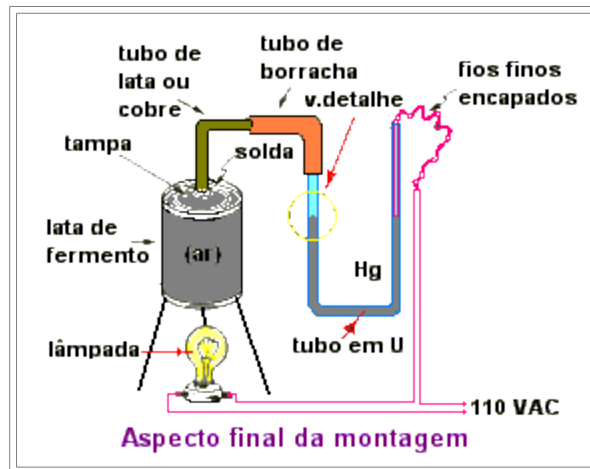
Prof. Luiz Ferraz Netto
leobarretos@uol.com.br

Apresentação

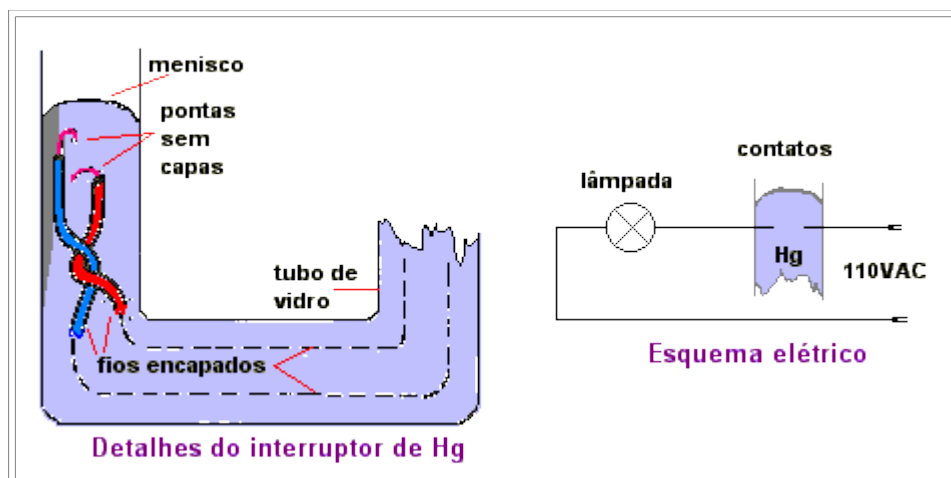
Para a montagem desse interessante dispositivo dinâmico, que evidencia a dilatação dos gases (ar, no caso), necessita-se do seguinte material:

- uma lâmpada incandescente de 40 ou 60 W (110 V) e seu respectivo soquete,
- uma lata cilíndrica com tampa destacável (tipo fermento em pó, leite em pó etc),
- tubo de vidro em U (diâmetro de 3 a 5 mm),
- pequena quantidade de mercúrio (Hg) [ou água levemente acidulada],
- conexão de borracha ou látex e
- fios de ligação.

Abaixo ilustramos aspecto final da montagem, para facilitar a descrição a seguir (uma figura vale mais que mil palavras!).



Um pequeno tubo de cobre ou latão, em forma de L, deve ser parcialmente introduzido num orifício praticado no centro da tampa da lata e a seguir soldado (use soldador de 100 W e solda comum). Um pequeno tubo de borracha ou látex fará a conexão desse tubo metálico com o tubo de vidro em forma de U. Dois fios de cobre encapados (tipo extensão de telefone) são introduzidos no tubo de vidro. No ramo da esquerda, esses fios têm uma pequena porção de seu isolamento retirado, lixando-se as extremidades descobertas.



Introduz-se Hg no tubo de vidro, até cobrir as extremidades desencapadas dos dois fios, conforme se ilustra acima.

Um dos fios que saem pelo ramo da direita vai direto a um dos pólos da rede elétrica domiciliar (110 V) e o outro vai a um dos terminais do soquete da lâmpada. Do outro terminal do soquete vai um fio de ligação até o outro pólo da tomada da rede elétrica.

A lâmpada pode ser colocada sob a lata (como na primeira ilustração), ao lado dela, ou, com as devidas adaptações, dentro da própria lata, ficando lá hermeticamente fechada (colocar bornes isolados da lata para as ligações do soquete) .

Na temperatura ambiente (na qual foi feita a montagem), o Hg “molha” as duas extremidades desencapadas dos fios, fechando o circuito elétrico — a lâmpada acende.

Com o aquecimento, o ar do interior da lata expandese (devido à irradiação e/ou convecção provocada pela lâmpada acesa) e empurra o Hg do ramo da esquerda do tubo em U (a pressão do ar na lata toma-se maior que a pressão atmosférica), descobrindo as extremidades dos fios, interrompendo o circuito elétrico — a lâmpada apaga.

Trocando calor com o ambiente, o ar do interior da lata esfria, contrai-se, sua pressão diminui e o mercúrio retoma ao nível primitivo (igual nos dois ramos), restabelecendo o circuito (lâmpada acende). O ciclo reinicia.

Para se aproveitar da energia radiante da lâmpada acesa (caso a lâmpada seja colocada ao lado da lata), convém pintar o exterior da lata com tinta preta opaca. Os devidos suportes para tal montagem ficam por conta da habilidade do montador.

O experimento destaca:

- a) a dilatação térmica dos gases;
- b) a lei: sob volume constante, a pressão do gás é diretamente proporcional à temperatura absoluta.

Nota: A variação de volume devido ao abaixamento do nível de Hg é bem pequena em confronto como volume do ar da lata. Para medir a temperatura do

ar basta introduzir um termômetro (com rolha, através da tampa) na lata; a pressão é medida pelo desnível do Hg nos dois ramos;
c) a convecção do ar, transferindo calor da lâmpada para a lata, quando a lâmpada é colocada sob a lata;
d) o calor radiante proveniente da lâmpada e a absorção de parte desse calor pela superfície negra da lata; e) um interruptor de Hg;
f) um “feedback” positivo: a própria temperatura, desliga a fonte de calor;
g) um manômetro de Hg;
h) um termômetro a gás a volume constante

http://www.feiradeciencias.com.br/sala08/08_21.asp

O MODELO MICROSCÓPICO DE UM GÁS PERFEITO

$$E_c = 1 / 2mv^2$$

O estudo do gás perfeito realizado sob a perspectiva microscópica leva-nos à teoria cinética dos gases. Nesse modelo teórico, pelo fato de encontrarmos um número muito grande de partículas por unidade de volume (10²⁰ partículas por cm³), as hipóteses impostas representam o que deve acontecer, em média, com as partículas do gás.

A seguir as hipóteses da teoria cinética, a respeito dos gases perfeitos:

- Uma porção de gás perfeito é constituída por um grande número de moléculas em movimento caótico.
- As moléculas são consideradas pontos materiais.
- As colisões entre duas moléculas ou entre uma molécula e uma parede do recipiente são supostas perfeitamente elásticas.
- Cada colisão tem duração desprezível.
- Entre colisões sucessivas, o movimento das moléculas é retilíneo.
- As forças intermoleculares só se manifestam durante as colisões.
- O estudo das colisões das moléculas pode ser feito com base na mecânica newtoniana.

A TEMPERATURA NA TEORIA CINÉTICA

A temperatura de um gás perfeito está relacionada com a energia de movimento das moléculas.

ENERGIA INTERNA DE UM GÁS PERFEITO

Das hipóteses do modelo teórico do gás perfeito, conclui-se que a energia interna resume-se na energia cinética de translação de suas moléculas.

A energia interna de um gás perfeito é função exclusiva do número de mols (n) e da temperatura absoluta (T) do gás.

Na verdade a energia interna de um gás é função não exclusiva da temperatura e sim da soma da Energia Cinética com a Energia Potencial. Há, no ensino médio, tendência de se atribuir toda energia interna à Energia Cinética e, por conseguinte, à temperatura do gás. Mas, se analisarmos as mudanças de estado de um modo geral, fica fácil perceber uma variação da energia interna mesmo não havendo variação da temperatura se a pressão for mantida constante.

Retirado de "http://pt.wikipedia.org/wiki/Teoria_cin%C3%A9tica_dos_gases"

Teoria Cinética dos Gases

(* Preparado por [C.A. Bertulani](#) para o projeto de **Ensino de Física a Distância**)

O modelo de Bernoulli

Daniel Bernoulli, em 1738, foi o primeiro a entender a pressão atmosférica em termos moleculares. Ele imaginou um cilindro vertical, fechado com um pistão no topo, o pistão tendo um peso sobre ele, ambos o pistão e o peso sendo suportados pela pressão dentro do cilindro. Ele descreveu o que ocorria dentro do cilindro da seguinte forma: "imagine que a cavidade contenha partículas muito pequenas, que movimentam-se freneticamente para lá e para cá, de modo que quando estas partículas batam no pistão elas o sustentam com repetidos impactos, formando um fluido que expande sobre si caso o peso for retirado ou diminuído ..." É triste dizer que seu relato, apesar de correto, não foi aceito de maneira geral. A maioria dos cientistas acreditavam que as moléculas de um gás estavam em repouso, repelindo-se à distância, fixas de alguma forma por um éter. Newton mostrou que $PV = \text{constante}$ era uma consequência dessa teoria, se a repulsão dependesse inversamente com o quadrado da distância. De fato, em 1820 um inglês, John Herapath, deduziu uma relação entre pressão e velocidade molecular dada abaixo, e tentou publicá-la pela Royal Society (a academia de ciências britânica). Foi rejeitada pelo presidente, Humphry Davy, que replicou que igualando pressão e temperatura, como feito por Herapath, implicava que deveria existir um zero absoluto de temperatura, uma idéia que Davy relutava em aceitar.

O elo entre energia molecular e pressão

Não é difícil estender o modelo de Bernoulli em termos de uma descrição *quantitativa*, relacionando a pressão de um gás com as velocidades moleculares. Como um exercício, vamos considerar uma partícula de massa m , movimentando-se rapidamente de um lado para outro com velocidade v dentro de um cilindro estreito de comprimento L com um pistão em um extremo, de modo que todo o movimento é ao longo da mesma direção. Obviamente, o pistão não sente uma força contínua, mas uma série de impactos igualmente espaçados. No entanto, se o pistão for muito mais pesado que a partícula, isto terá o mesmo efeito que uma força suave durante tempos longos comparados com o intervalo entre os impactos.

Usando a lei de Newton na forma **força = taxa de variação do momento**, vemos que o momento de uma partícula muda de $2mv$ a cada vez que ela atinge o pistão. O tempo entre impactos é $2L/v$, de modo que a frequência entre impactos é $v/2L$ por segundo. Isto significa que se não houvesse uma força de equilíbrio, por conservação de momento a partícula iria causar uma mudança no momento do pistão de $2mv \cdot v/2L$ unidades por segundo. Isto é a taxa de variação do momento, e logo deve ser igual à força de equilíbrio, que é portanto

$$F = mv^2/L \quad [7.1]$$

Agora podemos generalizar ao caso de muitas partículas que movimentam-se freneticamente dentro de uma caixa retangular de comprimento L na direção x (que é ao longo de uma das arestas do cubo). A força total em um lado de área A perpendicular à direção x é a soma de cada termo devido a uma partícula, sendo que o que importa é a velocidade na direção x .

A *pressão* é a força por unidade de área, $P = F/A$. É claro que não sabemos qual são as velocidades verdadeiras das moléculas em um gás, mas vamos ver que não precisamos destes detalhes. Se somarmos N contribuições, uma para cada partícula da caixa, cada contribuição sendo proporcional a v_x^2 para cada partícula, a soma resulta em N vezes o valor *médio* de v_x^2 .

onde existem N partículas em uma caixa de volume V .

No próximo passo notamos que as partículas estão igualmente se movendo em todas as direções, de modo que o valor médio de v_x^2 deve ser o mesmo que os de v_y^2 ou v_z^2 , e como $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$.

Isto é um resultado impressionantemente simples! A pressão macroscópica de um gás é diretamente relacionada à energia cinética média por molécula. É claro que não consideramos as complicações devido às interações entre as

partículas, nosso resultado serve para gases como o ar em temperatura ambiente já que estas interações são muito pequenas. Além do mais, é bem conhecido experimentalmente que a maioria dos gases satisfazem a lei dos gases ideais sob um grande intervalo de temperatura

$$PV = nRT \text{ [7.4]}$$

para n moles de gás, isto é, $n = N/N_A$, com N_A igual ao número de Avogadro e R a constante do gás.

Introduzindo a constante de Boltzmann $k = R/N_A$, é fácil combinar nosso resultado para a pressão e a lei dos gases ideais para obtermos que **a energia cinética média molecular é proporcional à temperatura absoluta**,

A constante de Boltzmann é $k = 1,38 \times 10^{-23}$ joules/K.

http://www.if.ufrj.br/teaching/fis2/teoria_cinetica/teoria_cinetica.html

Teoria Cinética dos Gases Ideais

Todo modelo é uma construção imaginária que incorpora apenas as características que se supõe importantes para a descrição do sistema físico em questão, características estas selecionadas intuitivamente ou por conveniência matemática. A validade de um modelo é determinada pela experimentação. O modelo da teoria cinética para um gás ideal [veja também [Modelo Cinético](#) para um líquido] se baseia no seguinte.

- O gás é constituído por um número muito grande de moléculas em movimento desordenado descrito pelas leis de Newton.
- O volume próprio das moléculas é desprezível frente ao volume do recipiente.
- As forças intermoleculares são desprezíveis, exceto nas colisões mútuas e com as paredes do recipiente.
- As colisões são elásticas e de duração desprezível.

A característica mais importante desse modelo é que as moléculas, na maior parte do tempo, não exercem forças umas sobre as outras, exceto quando colidem. Assim, as propriedades macroscópicas de um gás são conseqüências primárias do movimento das moléculas e é por isso que se fala em teoria cinética dos gases. As conseqüências mais importantes desse modelo são as relações:

onde N representa o número de partículas e o fator entre parênteses, a energia cinética média das partículas. A primeira expressão relaciona a pressão e a segunda, a temperatura absoluta à energia cinética média de translação das moléculas. Se a pressão de um gás aumenta, a energia cinética média de suas moléculas aumenta e também, a sua temperatura. A distância média percorrida por uma molécula entre duas colisões sucessivas é chamada livre caminho médio. À medida que o volume do recipiente cresce, com a temperatura

constante, o livre caminho médio das moléculas se torna cada vez maior e as [forças intermoleculares](#) se tornam cada vez menos efetivas. À medida que a temperatura cresce, com o volume constante, a energia cinética média das moléculas cresce e as forças intermoleculares se tornam cada vez menos efetivas porque o tempo de colisão diminui. Assim, o comportamento de um gás real se aproxima do comportamento de um gás ideal para baixas pressões e/ou altas temperaturas.

A alta compressibilidade de um gás é explicada pelos pequenos volumes próprios das moléculas relativamente ao espaço disponível para o seu movimento. A pressão exercida por um gás contra as paredes do recipiente é atribuída à taxa de transferência de momentum (quantidade de movimento) a estas paredes pelos impactos das moléculas.

As leis de Boyle e de Gay-Lussac valem para gases ideais. Ou seja, valem para um gás real na medida em que ele se comporta como ideal. Pela teoria cinética vimos que a pressão aumenta à medida que o volume diminui (lei de Boyle) porque as moléculas colidem com maior frequência com as paredes do recipiente, e que a pressão aumenta com o aumento da temperatura (lei de Gay-Lussac) porque a elevação da temperatura aumenta a velocidade média das moléculas e, com isso, a frequência das colisões com as paredes e a transferência de momentum. O sucesso da teoria cinética mostra que a massa e o movimento são as únicas propriedades moleculares responsáveis pelas leis de Boyle e de Gay-Lussac.

<http://www.ufsm.br/gef/TeoCin.htm>

Lei de Ohm: em 1826, Georg Simon Ohm descobriu que para condutores metálicos a tensão varia linearmente com a corrente elétrica, ou seja, *a razão entre a tensão e a corrente elétrica é constante, e esta constante é denominada resistência R do condutor.* Isto é, $R = U/i$

ou

$$U = Ri$$

Gráfico U versus i

O gráfico tensão em função da corrente elétrica é uma reta ; este tipo de resistor é chamado resistor ôhmico. A inclinação da reta corresponde ao valor da resistência. O gráfico de resistores não ôhmicos, ou seja, que não obedecem a Lei de Ohm, tais como: tubos eletrônicos, condutores iônicos, não são retas

Dilatação térmica

Todos os corpos na natureza estão sujeitos a este fenômeno, uns mais outros menos. Geralmente quando **esquentamos** algum corpo, ou alguma substância, esta tende a **aumentar** seu volume (**expansão térmica**). E se **esfriarmos** algum corpo ou substância esta tende a **diminuir** seu volume (**contração térmica**).

Existem alguns materiais que em condições especiais fazem o contrário, ou seja, quando esquentam contraem e quando esfriam dilatam. É o caso da água quando está na pressão atmosférica e entre 0°C e 4°C. Mas estes casos são exceções e, embora tenham também sua importância, não serão estudados aqui neste capítulo.

Porque isso acontece ?

Bem, você deve estar lembrado que quando **esquentamos** alguma substância estamos **aumentando a agitação** de suas moléculas, e isso faz com que elas se **afastem** umas das outras, aumentando logicamente o espaço entre elas. Para uma molécula é mais fácil, quando esta está vibrando com mais intensidade, afastar-se das suas vizinhas do que aproximar-se delas. Isso acontece por causa da maneira como as forças moleculares agem no interior da matéria. Então ...

"...se o espaço entre elas aumenta, o volume final do corpo acaba aumentando também"

Quando **esfriamos** uma substância ocorre exatamente o inverso. **Diminuimos a agitação interna** das mesmas o que faz com que o espaço entre as moléculas diminua, ocasionando uma **diminuição** do volume do corpo.

"Se o espaço entre as moléculas diminui, o volume final do corpo acaba diminuindo também"

Como calcular estas dilatações ou estas contrações ?

Existem **três equações** simples para determinar o quanto um corpo varia de tamanho, e cada uma delas deve ser usada em uma situação diferente.

1 - Dilatação térmica linear

ΔL = o quanto o corpo aumentou seu comprimento

L_0 = comprimento inicial do corpo

$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$ α = coeficiente de dilatação linear (depende do material)

ΔT = variação da temperatura ($T_f - T_i$)

Vale destacar que o **coeficiente de dilatação linear** (α) é um número tabelado e depende de cada material. Com ele podemos comparar qual substância dilata ou contrai mais do que outra. Quanto **maior** for o coeficiente de dilatação linear da substância **mais facilidade** ela terá para aumentar seu tamanho, quando esquentada, ou diminuir seu tamanho, quando esfriada.

Outra coisa interessante de notar é que, se soubermos o valor do coeficiente de dilatação linear (α) de uma determinada substância, poderemos também saber o valor do coeficiente de dilatação superficial (β) e o coeficiente de dilatação volumétrica (γ) da mesma. Eles se relacionam da seguinte maneira:

$$\beta = 2\alpha$$

2 - Dilatação térmica superficial

$$\Delta A = A_o \cdot \beta \cdot \Delta T$$

ΔA = o quanto o corpo aumentou sua área
 A_o = área inicial do corpo
 β = coeficiente de dilatação superficial (depende do material)
 ΔT = variação da temperatura ($T_f - T_i$)

3 - Dilatação térmica volumétrica

$$\Delta V = V_o \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

ΔV = o quanto o corpo aumentou seu volume
 V_o = volume inicial do corpo
 γ = coeficiente de dilatação volumétrica (depende do material)
 ΔT = variação da temperatura ($T_f - T_i$)

Obs:

ΔL , ΔA ou ΔV positivos significa que a substância aumentou suas dimensões.

ΔL , ΔA ou ΔV negativos significa que a substância diminuiu suas dimensões.

Tabelas com os coeficientes de dilatação linear (α) e volumétrica (γ) de algumas substâncias

substância	Coefficiente de dilatação linear (α) em $^{\circ}\text{C}^{-1}$
aço	$1,1 \times 10^{-5}$
alumínio	$2,4 \times 10^{-5}$
chumbo	$2,9 \times 10^{-5}$
cobre	$1,7 \times 10^{-5}$
ferro	$1,2 \times 10^{-5}$
latão	$2,0 \times 10^{-5}$
ouro	$1,4 \times 10^{-5}$
prata	$1,9 \times 10^{-5}$
vidro comum	$0,9 \times 10^{-5}$
vidro pirex	$0,3 \times 10^{-5}$
zinco	$6,4 \times 10^{-5}$

substância	Coefficiente de dilatação volumétrica (γ) em $^{\circ}\text{C}^{-1}$
álcool	100×10^{-5}
gases	$3,66 \times 10^{-3}$
gasolina	11×10^{-4}
mercúrio	$18,2 \times 10^{-5}$

<http://br.geocities.com/galileon/2/dilatacao/dilat.htm>