



Universidade Estadual de Campinas  
Instituto de Física “Gleb Wataghin”

## **Disciplina F 609: Tópicos de Ensino de Física I**

**Relatório finalizado dia 23 de Novembro de 2007**



**Aluna: Karina Maretti Strangueto ra:044441**

**[karina.kms@gmail.com.br](mailto:karina.kms@gmail.com.br)**

**Orientador: Prof.Dr. Ennio Peres da Silva**

**[Lh2ennio@ifi.unicamp.br](mailto:Lh2ennio@ifi.unicamp.br)**

## A Termodinâmica da compressão e expansão dos gases

### Resumo

O projeto a seguir tem como objetivo a demonstrar a relação entre a pressão e a temperatura de um gás, falando da compressão e da expansão dos gases, que causam respectivamente o aumento e a diminuição da temperatura do gás estudado.

### Descrição do projeto

Este projeto tem como objetivo demonstrar, de forma clara e com baixo custo, os processos termodinâmicos que são ensinados no Ensino Médio, portanto usando relações aprendidas nesse período.

Tendo isso em mente, pode-se montar um experimento destinado a esses alunos onde se demonstra a relação entre a pressão e a temperatura de um gás, falando da compressão e da expansão dos gases, para que vejam experimentalmente o que aprendem na teoria.

Esse experimento usa a compressão de um gás para demonstrar que o gás esquenta durante tal processo e que o mesmo gás se resfria durante uma expansão. Também será estudado o quanto esse gás vai aquecer ou resfriar nesses processos de compressão e expansão respectivamente.

Para isso um gás será comprimido dentro de um tubo e sua temperatura será determinada com o auxílio de um termômetro, depois o tubo passará por um suporte que deixará ocorrer trocas de calor com o ambiente. Após essa troca de calor, o gás terá praticamente a temperatura do meio, então ele será expandido por uma válvula de Joule-Thomson onde resfriará. Essa temperatura também será determinada por um termômetro.

Com esses dados podemos tentar chegar às relações fundamentais dos gases ideais por aproximação, já que o gás que será utilizado, o ar, não é um gás ideal.

Também há a possibilidade de termômetros de bulbo serem construídos para a utilização no experimento, e demonstrações de como o material de que é feito um termômetro modifica na medida do “tamanho” da temperatura, já que cada material tem coeficientes de dilatação diferentes e portanto para a mesma temperatura podem marcar diferentes “alturas”.

## Parte Experimental

Como este experimento destina-se a alunos do ensino médio e mesmo a professores, os materiais utilizados serão de baixo custo e de fácil localização, sendo assim aparecerão em uma linguagem de fácil entendimento neste projeto.

Para a demonstração do experimento será feita uma montagem onde teremos um compressor (bombinha de encher pneu), ligado a um tubo cilíndrico de polipropileno (tubo plástico), por onde o ar circulará.

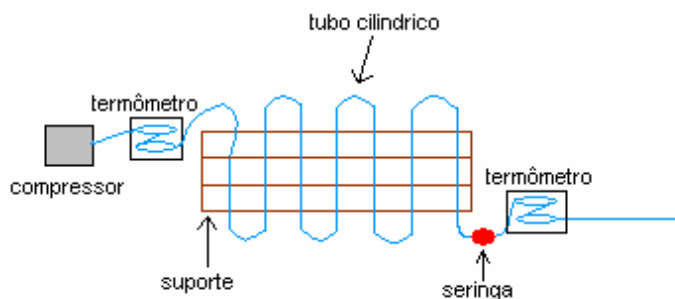
Para haver uma maior troca de calor com o meio, o tubo passará em um suporte ficando na forma de uma serpentina, mas sem deixar contatos entre as partes do tubo.

Depois de passar pelo suporte o tubo será conectado a uma válvula Joule-Thomson (seringa), onde o ar sofrerá uma descompressão.

Como a temperatura deve ser medida em pelo menos duas partes do tubo para se confirmar a sua variação, no início e no fim do tubo haverá uma montagem com isolamento térmica, utilizando isopor, onde se pode encaixar um termômetro com facilidade e medir qual a temperatura no tubo naquele ponto.

Com isso se pode verificar como a compressão ou expansão do gás modificou a sua temperatura.

A montagem ficará, portanto, dessa forma:



## Motivação

Esse experimento pode ser relacionado com o funcionamento da geladeira que praticamente toda população tem em casa e não sabe ao certo como funciona. Explica o porquê fica frio dentro, mas quente atrás do eletrodoméstico.

### **Importância Didática**

Como o projeto é destinado a alunos e professores do Ensino Médio principalmente, a maior importância é o melhor entendimento da parte dos alunos e uma maior motivação para ensinar utilizando várias metodologias da parte do professor.

Dessa forma os alunos entenderão melhor o que está sendo explicado e visualizarão uma utilidade prática do que está sendo aprendido, deixando o conhecimento mais fácil de ser adquirido.

O ensino utilizando a parte experimental em colégios deveria ser mais valorizado e mais empregado, por isso necessita-se desenvolver projetos como esse.

### **Originalidade**

O projeto que mais se aproxima deste, foi realizado na disciplina F 809 e levava o nome de Experimento da relação Pressão- Volume- Temperatura do ar, mas se diferencia com relação ao experimento montado para a demonstração dos fenômenos.

No projeto citado acima o experimento usa lata de alumínio (latinha de refrigerante) e bexiga para as demonstrações, e estava interessado em demonstrar a variação de volume com relação à pressão e temperatura, diferentemente deste que está mais interessado em demonstrar a relação entre a compressão e expansão e a temperatura do ar, ou seja, as mudanças que ocorrem no gás e não nos meios que dependem de seu comportamento, utilizando para isso compressor, tubo cilíndrico de polipropileno, um suporte para o tubo, uma válvula Joule-Thomson e termômetros.

Pelas pesquisas realizadas, um projeto igual a este nunca foi realizado em disciplinas da Unicamp, mas provavelmente já foi realizado em laboratórios para demonstrações de leis básicas da termodinâmica.

### **Lista de materiais**

- Compressor pneumático;
- Tubo cilíndrico de polipropileno;
- Suporte para o tubo;

- Termômetros;
- Conexão em formato T;
- Seringa plástica;
- Elásticos;
- Fita “veda-rosca”.

### **Realização do projeto**

Para a realização do projeto foram definidos alguns passos:

1. Compra do material necessário;
2. Montagem experimental;
3. Obtenção de dados fornecidos pelo experimento;
4. Análise dos dados.

O primeiro ponto acima citado foi concluído com sucesso, o compressor, o tubo (quatro metros), o material para confecção do suporte (madeiras), os termômetros, o isopor e a seringa (60 ml) foram comprados.



Foto1: Compressor.



Foto 2: Mostrador de pressão do compressor.



Foto 3: tubo cilíndrico.



Foto 4: Suporte de madeira.



Foto 5: termômetro de álcool

vermelho com precisão 0.5°C.



Foto 6: Conexão em formato T.



Foto 7: Seringa plástica de 60ml.



Foto 8: Elásticos utilizados para fixar o termômetro a seringa.



Foto 9: Fita “veda-rosca”.

Quanto ao segundo ponto citado, o experimento focou montado da seguinte forma:

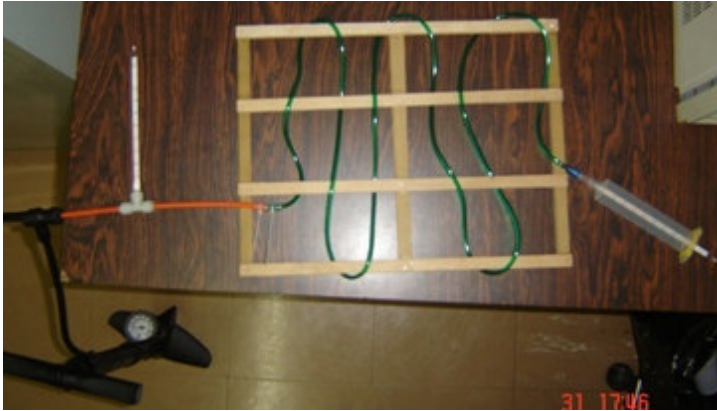


Foto 10: Sistema montado.

Os dados obtidos no experimento não foram muito variados e estão apresentados na tabela abaixo:

Pressão	Temperatura Compressão
0psi	28°C
40psi	30°C
50psi	34°C
60psi	35°C
60psi	36°C

Pressão	Temperatura Expansão
0psi	28°C
40psi	27,5°C
50psi	27,5°C
60psi	27°C
60psi	27°C

Onde a pressão é obtida observando-se o próprio marcador do compressor, sem levar em consideração a pressão do meio em que o experimento está. A temperatura a pressão zero é a temperatura do meio onde o experimento está.

É necessário observar que esses dados variarão com a temperatura do meio onde o experimento está podendo não ser iguais em diferentes dias observados.

Analisando os dados pode-se observar que ocorreu o esperado, ou seja, a temperatura aumentou quando o ar foi comprimido e diminuiu quando o ar foi expandido, sendo linear para as variações encontradas. Dessa forma pode-se comprovar que variando a pressão varia-se também a temperatura de um gás, a fim de se manter uma constante, como as Leis da termodinâmica prevêem.

Fazendo um gráfico da variação da pressão pela variação da temperatura na compressão e outro para a expansão, encontra-se:

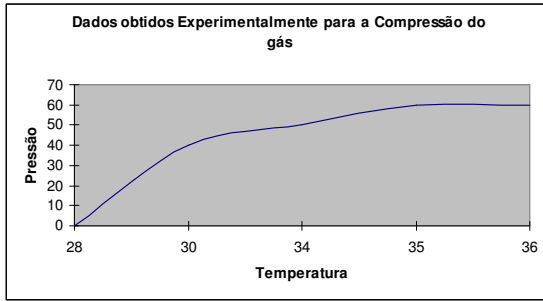


Gráfico1: Variação da pressão pela temperatura durante o processo de compressão.

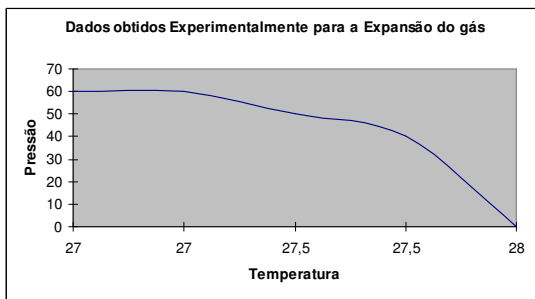


Gráfico2: Variação da pressão pela temperatura durante o processo de expansão.

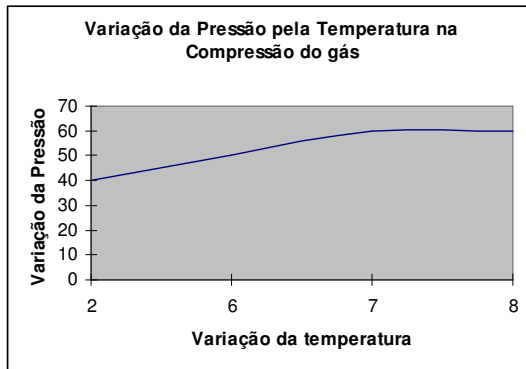


Gráfico3: Gráfico da variação da pressão pela variação da temperatura no processo de compressão de um gás.

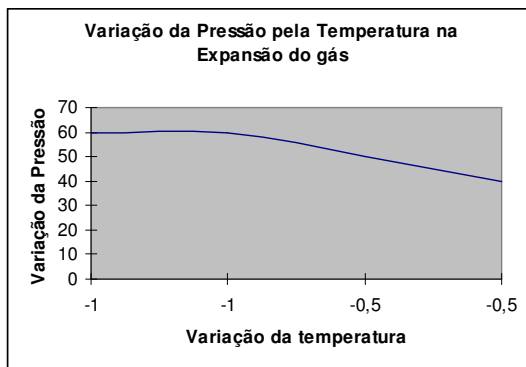


Gráfico4: Gráfico da variação da pressão pela variação da temperatura.



É necessário levar em consideração que o gás que estamos trabalhando não é perfeito (Ideal) e, portanto, haverá variações se os resultados experimentais forem relacionados aos teóricos, pode-se ver isso nos gráficos, onde a variação da pressão pela variação da temperatura na compressão e na expansão não são constantes como previa a teoria.

Também se deve levar em consideração que quanto mais tempo o experimento permanece em funcionamento, mais próximo do ideal fica a variação, pois as medidas se tornam cada vez mais estáveis.

Foram encontradas algumas dificuldades durante a montagem do experimento. Uma dessas era com relação a como furar a rolha de borracha comprada para tampar a saída de ar da seringa, mas foi logo solucionada percebendo-se que a rolha não era necessária para a obtenção dos dados, pois o ar podia ser dispensado após a expansão. Outra foi com relação ao termômetro, pois o termômetro comprado media temperaturas a partir de 32 °C e, portanto não era possível obter as temperaturas após a expansão do gás, a solução para essa questão foi a compra de novos termômetros, mostrados abaixo:



Foto 11: Termômetros utilizados no

experimento.

Esse termômetro se adaptou melhor ao experimento já que marca temperaturas de -10°C a 60°C com um erro de 0,5°C.

Uma outra dificuldade, que também foi rapidamente solucionada, era como prender o termômetro na seringa sem que ele ficasse muito longe da saída de ar e distorce-se a medida. Essa dificuldade foi solucionada usando-se elásticos como os mostrados abaixo para fixar o termômetro, fazendo como um laço que engloba o termômetro.



Foto 12: Elásticos utilizados para prender o termômetro na

seringa.

A ultima dificuldade encontrada foi como medir a temperatura da compressão do gás sem que esse gás escapasse. Para conseguir isso foi utilizada uma conexão em formato de T, como a mostrada abaixo, que não deixa o gás escapar e, finalmente, para acoplar o termômetro a essa conexão, sem deixar o gás sair, foi utilizado uma fita conhecida popularmente como “fita veda rosca”.



Foto 13: Conexão em T.



Foto 14: Fita “veda rosca”.

## Referências

- [1] <http://pt.wikipedia.org> (onde procurei com os termos: geladeira, compressor, gás perfeito, Clapeyron, termodinâmica, termologia, condição normal de temperatura e pressão, atmosfera padrão e condição padrão de temperatura e pressão, pois são termos relacionados à teoria e ao procedimento experimental que vou realizar), acessado em 31 de agosto às 11 horas e 15 minutos.
- [2] Gualter & André, **Física volume único**, editora Saraiva, 3ª edição, 6ª tiragem.
- [3] Bonjorno, Regina Azenha; Bonjorno José Roberto; Bonjorno, Valter; Clinton, Marcico Ramos; **Física Fundamental, 2º grau-volume único**; editora FTP, 1993.
- [4] Gref; **Física 2**; editora edusp, 5ª edição.
- [5] [http://www.setrem.com.br/ti/trabalhos/fisica/termologia/estudo\\_dos\\_gases\\_transformacoes\\_isocorica\\_isobarica\\_e\\_isotermica/estudo\\_dos\\_gases\\_transformacoes\\_isocorica\\_isobarica\\_e\\_isotermica.htm](http://www.setrem.com.br/ti/trabalhos/fisica/termologia/estudo_dos_gases_transformacoes_isocorica_isobarica_e_isotermica/estudo_dos_gases_transformacoes_isocorica_isobarica_e_isotermica.htm), acessado em 02 de Setembro às 15 horas e 20 minutos.
- [6] Halliday, Resnick e Walker, **Fundamentos de Física vol.2**, 6ª edição. Editora LTC
- [7] Herbert B. Callen, **Thermodynamics and an introduction to thermostatistics**, second edition.
- [8] [http://www.setrem.com.br/ti/trabalhos/fisica/termologia/estudo\\_dos\\_gases\\_transformacoes\\_isocorica\\_isobarica\\_e\\_isotermica/estudo\\_dos\\_gases\\_transformacoes\\_isocorica\\_isobarica\\_e\\_isotermica.htm](http://www.setrem.com.br/ti/trabalhos/fisica/termologia/estudo_dos_gases_transformacoes_isocorica_isobarica_e_isotermica/estudo_dos_gases_transformacoes_isocorica_isobarica_e_isotermica.htm), acessado em 02 de Setembro às 15 horas e 20 minutos.
- [9] [http://dalton.iq.ufrgs.br/cpgqui/mprof/downloads/02\\_tc/Aula3Formalismo%201.ppt#260,9,Efeito](http://dalton.iq.ufrgs.br/cpgqui/mprof/downloads/02_tc/Aula3Formalismo%201.ppt#260,9,Efeito) (Joule-Thomson, o resfriamento de um gás numa expansão adiabática) acessado dia 30 de Agosto às 10 horas e 35 minutos.
- [9] [http://pt.wikipedia.org/wiki/Tabela\\_de\\_convers%C3%A3o\\_de\\_unidades#Medidas\\_de\\_Press.C3.A3o](http://pt.wikipedia.org/wiki/Tabela_de_convers%C3%A3o_de_unidades#Medidas_de_Press.C3.A3o), acessado dia 02 de Novembro às 21 horas e 33 minutos.

## Anexo 1 (segundo referência [1])

Quando se procura a palavra geladeira aparece:

### **Frigorífico (eletrodoméstico)**


Origem: Wikipédia, a enciclopédia livre.

(Redirecionado de **Geladeira**)

Ir para: [navegação](#), [pesquisa](#)

*Nota: Se procura **Frigorífico** no sentido de indústria de processamento de carne, consulte [Abatedouro](#).*



 Foto de uma geladeira

**Frigorífico**<sup>PE</sup> ou **geladeira**, **frigorífico**, **refrigerador**<sup>PB</sup>, chamado ainda de **geleira** em [Moçambique](#) e [Angola](#), é um utensílio eletrodoméstico essencial na cozinha moderna, para conservar alimentos frescos ou já preparados. É um armário metálico com prateleiras e gavetas e uma porta isolante, para manter o frio no interior do utensílio. O frio é produzido por um compressor, normalmente movido por um motor eléctrico.

Na maior parte dos casos, o frigorífico doméstico possui um compartimento para fabricar gelo e congelar produtos frescos, embora uma cozinha possa ter um destes eletrodomésticos e ainda um congelador separado (por exemplo, uma arca frigorífica).

Este utensílio é um descendente das antigas casas-de-gelo e caixas-de-gelo, que usavam gelo natural produzido no inverno nas regiões frias. Ainda hoje as caixas térmicas, com isolamento plástico, são usadas para levar coisas frescas para a praia ou para acampar (e também para a pequena venda-a-retalho de cervejas e refrigerantes).

Para além da versão doméstica, são comuns os frigoríficos industriais que podem ser do tamanho dum doméstico, mas especializados para um tipo de produtos (como bebidas ou sorvetes), até ao tamanho de um cômodo de uma casa, ou maior, nos entrepostos frigoríficos para conservar pescado, carne ou vegetais para exportação, ou para distribuição. Neste caso recebem o nome de "câmara frigorífica".

### **Breve história do frigorífico**

A primeira máquina refrigeradora foi construída em 1856, usando o princípio da compressão de vapor, pelo australiano James Harrison, que tinha sido contratado por uma fábrica de cerveja para produzir uma máquina que refrescasse aquele produto.

Em 1857, foi construído o primeiro vagão refrigerado para a indústria de carnes de Chicago e, em 1866, o primeiro vagão com refrigeração apropriada para frutas, também nos Estados Unidos da América.

O primeiro frigorífico doméstico só apareceu em 1913 e foi batizado DOMELRE (DOMestic ELectric REfrigerator), mas este nome não teve sucesso e foi Kelvinator o nome que popularizou este utensílio nos EUA. Tal como a maioria dos seus descendentes modernos, este frigorífico era arrefecido por meio de uma bomba de calor de duas fases. Outro que se tornou muito popular foi o General Electric "Monitor-Top", que apareceu em 1927. Ao contrário dos predecessores, neste frigorífico o compressor, que produzia bastante calor, estava colocado no topo do aparelho, protegido por um anel decorativo. Foram vendidos mais de um milhão destes aparelhos, dos quais alguns ainda estão em funcionamento.

### Como funciona um frigorífico?



Refrigerador aberto

O funcionamento de um frigorífico baseia-se em três princípios:

1. O calor transfere-se das zonas quentes para as zonas frias (ou menos quentes).
2. A pressão é proporcional à temperatura. Ou seja, aumentando a pressão, aumenta-se a temperatura e vice-versa.
3. A evaporação de um líquido retira calor. Fenómeno análogo à sensação de frescura sentida pela evaporação de álcool sobre a pele, ou pela transpiração.

No interior de cada frigorífico existe uma serpentina oculta (evaporizador) onde circula um gás muito frio ( $-37^{\circ}\text{C}$ ). O calor dos alimentos é transferido para este gás que vai aquecendo à medida que percorre a serpentina. Para transferir esse calor para o exterior usa-se um compressor que ao aumentar a pressão ao gás, aumenta-lhe a temperatura. Este gás aquecido segue para o condensador (a serpentina visível na parte traseira do frigorífico), onde troca calor com o ar exterior, arrefecendo o gás e condensando-o. O líquido refrigerador passa então por uma válvula de expansão ou garganta, que provoca um abaixamento brusco na pressão e conseqüente evaporação instantânea e auto-arrefecimento. Este gás frio entra no frigorífico e completa-se o ciclo termodinâmico.

Quando a palavra procurada é compressor:

## Compressor

Origem: Wikipédia, a enciclopédia livre.

Ir para: [navegação](#), [pesquisa](#)

Equipamento industrial concebido para aumentar a pressão de um fluido em estado gasoso (ar, vapor de água, hidrogênio, etc...). Normalmente, conforme a equação de Clapeyron, a compressão de um gás também provoca o aumento de sua temperatura.

Os compressores podem ser classificados em 2 tipos principais, conforme seu princípio de operação:

- **Compressores de deslocamento positivo (ou Estáticos):** Estes são subdivididos ainda em *Alternativos ou Rotativos*.

Nos *compressores alternativos* a compressão do gás é feita em uma câmara de volume variável por um pistão, ligado a um mecanismo biela-manivela similar ao de um motor alternativo. Quando o pistão no movimento ascendente comprime o gás a um valor determinado, uma válvula se abre deixando o gás escapar, praticamente com pressão constante. Ao final do movimento de ascensão, a válvula de exaustão se fecha, e a de admissão se abre, preenchendo a câmara a medida que o pistão se move.

Nos *compressores rotativos*, um rotor é montado dentro de uma carcaça com uma excentricidade (desnivelamento entre o centro do eixo do rotor e da carcaça). No rotor são montadas palhetas móveis, de modo que a rotação faz as palhetas se moverem para dentro e para fora de suas ranhuras. O gás contido entre duas palhetas sucessivas é comprimido a medida o volume entre elas diminui devido à rotação e à excentricidade do rotor.

- **Compressores de palhetas (ou Dinâmicos):** Estes são subdivididos ainda em *centrífugos* ou *axiais*.

Os compressores dinâmicos ou turbocompressores possuem dois órgãos principais: impelidor e difusor. O impelidor é um órgão rotativo munido de pás que transfere ao gás a energia recebida de um acionador. Essa transferência de energia se faz em parte na forma cinética e em outra parte na forma de entalpia. Posteriormente, o escoamento estabelecido no impelidor é recebido por um órgão fixo denominado difusor, cuja função é promover a transformação da energia cinética do gás em entalpia, com conseqüente ganho de pressão. Os compressores dinâmicos efetuam o processo de compressão de maneira contínua, e portanto correspondem exatamente ao que se denomina, em termodinâmica, um volume de controle.

**Principais Modelos:** a) **Pistão ou Alternativo:** Produz ar comprimido por redução de volume do volume.

**b) Parafuso:** Produz ar pelo deslocamento do ar, ou seja, transforma energia de velocidade em pressão.

Compressores de rotativos Nos compressores rotativos, os gases são comprimidos por elementos giratórios. Outras das particularidades destes tipos de compressores são por exemplo as menores perdas mecânicas por atrito, pois dispensam um maior número de peças móveis, a menor contaminação de ar com óleo lubrificante, a ausência de reações variáveis sobre as fundações que provocam vibrações, o fato de a compressão ser feita de um modo contínuo e não intermitente, como sucede nos alternativos e a ausência de válvulas de admissão e de descarga que diminui as perdas melhorando o rendimento volumétrico. Outro aspecto muito importante, para os diferentes tipos, prende-se com a economia de energia, com os rendimentos volumétrico, associados a fugas, e mecânico, associado a movimentos relativos entre as peças que constituem a máquina, e com a manutenção dos mesmos.

3.1 Compressores de parafusos Esse tipo de compressor possui dois rotores em forma de parafusos que giram em sentido contrário, mantendo entre si uma condição de engrenamento, conforme mostra a figura. A conexão do compressor com o sistema se faz através das aberturas de sucção e descarga, diametralmente opostas: O gás penetra pela abertura de sucção e ocupa os intervalos entre os filetes dos rotores. A partir do momento em que há o engrenamento de um determinado filete, o gás nele contido fica encerrado entre o rotor e as paredes da carcaça. A rotação faz então com que o ponto de engrenamento vá se deslocando para a frente, reduzindo o espaço disponível para o gás e provocando a sua compressão. Finalmente, é alcançada a abertura de descarga, e o gás é liberado. De acordo com o tipo de acesso ao seu interior, os compressores podem ser classificados em herméticos, semi-herméticos ou abertos. A categoria dos compressores de parafuso pode também ser sub-dividida em compressores de parafuso duplo e simples. Os compressores de parafuso podem também ser classificados de acordo com o número de estágios de compressão, com um ou dois estágios de compressão (sistemas compound).

3.1.1 COMPRESSORES DE PARAFUSO SIMPLES O compressor de parafuso simples, consiste num elemento cilíndrico com ranhuras helicoidais, acompanhado por duas rodas planas dispostas lateralmente e girando em sentidos opostos. O parafuso gira com uma certa folga dentro de uma carcaça composta de uma cavidade cilíndrica. Esta contém duas cavidades laterais onde se alojam as rodas planetárias. O parafuso é acionado pelo motor, e está encarregado de acionar as duas rodas. O processo de compressão ocorre tanto na parte superior como na inferior do compressor. Com isto consegue-se aliviar a carga radial sobre os mancais, de modo a que a única carga que atua sobre os mesmos, além daquela resultante do próprio peso, é atuante sobre os eixos das rodas planetárias, resultante da pressão do gás nos dentes das mesmas durante o engrenamento.

3.1.2 COMPRESSORES DE PARAFUSO DUPLO As secções transversais deste tipo de compressores podem apresentar configurações distintas. No entanto, em ambos os casos, o rotor macho apresenta quatro lóbulos, enquanto que o rotor fêmea, apresenta seis reentrâncias (ou gargantas). Normalmente, o veio do motor atua sobre o rotor macho, que por sua vez aciona o rotor fêmea. Um compressor parafuso duplo pode ser descrito como uma máquina de deslocamento positivo com dispositivo de redução de volume. O gás é comprimido simplesmente pela rotação dos rotores acoplados. Este gás percorre o espaço entre os lóbulos enquanto é transferido axialmente da sucção para a descarga.

Sucção Quando os rotores giram, os espaços entre os lóbulos abrem-se e aumentam de volume. O gás então é succionado através da entrada e preenche o espaço entre os lóbulos. Quando os espaços entre os lóbulos alcançam o volume máximo, a entrada é fechada. O gás admitido na sucção fica armazenado em duas cavidades helicoidais formadas pelos lóbulos e a câmara onde os rotores giram.

Compressão Os lóbulos do rotor macho começarão a encaixar-se nas ranhuras do rotor fêmea no fim da sucção, localizada na traseira do compressor. Os gases provenientes de cada rotor são unidos numa cunha em forma de "V", com a ponta desse "V" situada na intersecção dos fios, no fim da sucção. Posteriormente, em função da rotação do compressor, inicia-se a redução do volume no "V", ocorrendo a compressão do gás.

Descarga No compressor de

parafuso não existem válvulas para determinar quando a compressão termina. A localização da câmara de descarga é que determina quando isto acontece. São utilizadas duas aberturas: uma para descarga radial na saída final da válvula de deslizamento e uma para descarga axial na parede de final de descarga. O posicionamento da descarga é muito importante pois controla a compressão, uma vez que determina a razão entre os volumes internos. O processo de descarga é finalizado quando espaço antes ocupado pelo gás é tomado pelo lóbulo do rotor macho. Este sistema de descarga confere a este tipo de compressores uma vantagem adicional perante os compressores alternativos: a capacidade de operarem com razões de compressão mais altas. Essa vantagem, deve-se ao fato de no final da descarga dos compressores de parafuso, todo o gás se ter expandido, isto é nenhum gás permanece dentro da câmara como acontece nos compressores alternativos.

**3.1.3 COMPRESSORES COMPOUND** Enquanto que a maioria dos compressores efetua a compressão num único estágio, estes usam dois pares de rotores. A compressão é repartida entre esses dois estágios, existindo entre cada um deles um processo de arrefecimento do gás que está a ser comprimido. Com isto, para além da eficiência energética ser superior, a temperatura do gás de descarga é inferior àquela que seria obtida caso o compressor efetuasse a compressão num único estágio. Nos compressores de parafuso arrefecidos a óleo, o óleo e o respectivo sistema de arrefecimento, são normalmente suficientes para garantir que a temperatura dos gases de escape não são demasiado elevadas. Estas poderiam por em causa quer a sua lubrificação, quer a sua vida útil do equipamento. No entanto, quando a aplicação em causa exigir a utilização de compressões isentas de óleo, os compressores de parafuso compound são uma boa solução. Nestes, mesmo que não se use o óleo, a existência de um sistema de arrefecimento a ar ou a água entre os dois estágios de compressão, é o suficiente para garantir temperaturas do gás de descarga que não sejam demasiado elevadas.

#### **3.1.4 COMPRESSORES HERMÉTICOS, SEMI-HERMÉTICOS E ABERTOS**

Nos compressores herméticos, aplicados apenas para pequenas potências, o motor e o compressor encontram-se acoplados e ambos encerrados por invólucro metálico selado.

Nos semi-herméticos, compressores mais modernos que os anteriores, apesar de o motor e o compressor se encontrarem acoplados e envolvidos por um invólucro metálico, este pode ser desparafusado com vista a uma manutenção local.

Os compressores abertos são aqueles em que o acesso ao seu interior é facilitado. Podem ser abertos e reparados no próprio local de funcionamento. O motor encontra-se separados do compressor, sendo a transmissão efetuada normalmente através de correias.

**3.1.5 INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO** No projeto de um compressor de parafuso devem-se ter certos cuidados de modo a facilitar a sua instalação e manutenção: • Os painéis e as tampas devem ser de fácil remoção com fechos de abertura rápida; • Purgador exterior de modo a permitir uma rápida mudança do óleo; • Filtro de aspiração de fácil acesso; • Uma secção reduzida do aparelho não requer muito espaço, permitindo a instalação mesmo em áreas limitadas; • Acesso simplificado para a limpeza do refrigerador; • Os elementos da assistência de rotina devem ser agrupados na mesma área, reduzindo o tempo de paragem e os custos; • Intervalo de manutenção normalizado e reduzidos; • Níveis de ruído baixos; • Os compressores devem ser concebidos, sempre que possível, para passar através de portas normais. Os compressores de parafuso, por apresentarem poucas peças móveis e não apresentarem válvulas de entrada e saída e operarem com temperaturas internas relativamente baixas, não exigem muita manutenção. Praticamente isentos de vibrações, esses equipamentos têm uma longa vida útil. Para instalá-los, recomenda-se assentá-los em locais distantes de paredes e teto e em pisos de bem nivelados.

**3.2 COMPRESSORES DE PALHETAS** O compressor de palhetas possui um rotor ou tambor central que gira excêntrica em relação à carcaça, conforme mostra a figura abaixo. Esse tambor possui rasgos radiais que se prolongam por todo o seu comprimento e nos quais são inseridas palhetas retangulares, conforme é mostrado no detalhe da figuras abaixo. Compressor de Palhetas – rotor Compressor de Palhetas – vista frontal Quando o tambor gira, as palhetas deslocam-se radialmente sob a ação da força centrífuga e se mantêm em contato com a carcaça. O gás penetra pela abertura de sucção e ocupa os espaços definidos entre as palhetas. Novamente observando a figura ao lado, podemos notar que, devido à excentricidade do rotor e às posições das aberturas de sucção e descarga, os espaços constituídos entre as palhetas vão se reduzindo de modo a provocar a compressão progressiva do gás. A variação do volume contido entre duas palhetas vizinhas, desde o fim da admissão até o início da descarga, define, em função da natureza do gás e das trocas térmicas, uma relação de compressão interna fixa para a máquina. Assim, a pressão do gás no momento em que é aberta a comunicação com a descarga poderá ser diferente da pressão reinante nessa região. O equilíbrio é, no entanto, quase instantaneamente atingido e o gás descarregado. Compressores de palhetas rotativas são caracterizados pela versatilidade, potência, confiabilidade e relação preço-qualidade. Podem ser encontrados nos comboios, nas obras, destilarias, fábricas de bebidas, instalações de empacotamento e nas grandes e pequenas unidades industriais .

**3.3. COMPRESSORES DE LÓBULOS** Esse tipo de compressor possui dois rotores em que giram em sentido contrário, mantendo uma folga muito pequena no ponto de tangencia entre si e com relação à carcaça. O gás penetra pela abertura de sucção e ocupa a câmara de compressão, sendo conduzido até a abertura de descarga pelos rotores,. Os compressores de lóbulos, embora classificados volumétricos, não possuem compressão interna, porque os rotores apenas deslocam o fluido de uma região de baixa pressão para uma de alta pressão. São conhecidos como sopradores ROOTS e constituem um exemplo típico do que se pode chamar de soprador, porque gera aumentos de pressão muito pequenos. Ilustração Nº das partes Componentes

1 carcaça 2 Rotor 3 Eixo motor 4 Eixo induzido 5 Engrenagem motora 6 Engrenagem induzida 7 Discos de lubrificação 8 mancal 9 Mancal 10 Selagem 11 Pistão de balanceamento São amplamente utilizados na sobre alimentação de motores e como sopradores de gases de pressão moderada.

Os Compressores tipo roots, são compressores de baixa pressão, que são muito utilizados em transportes pneumáticos e na sobrealimentação dos motores Diesel. Estes compressores apresentam um rendimento volumétrico muito baixo, mas em compensação o rendimento mecânico é elevado. No entanto a principal vantagem destes compressores é a sua grande robustez, o que permite que rodem anos sem qualquer revisão.

**3.4 CARACTERÍSTICAS DOS COMPRESSORES ROTATIVOS VANTAGENS** - O movimento é de rotação; - A velocidade de rotação é alta, o que permite acoplamento direto e dimensões reduzidas; - A fundação pode ser pequena; - O rendimento volumétrico é alto e independente da relação de pressão do compressor; - A ausência de válvulas, a não ser a da retenção de carga; - O arrefecimento pode ser feito durante a compressão por meio de óleo; - O funcionamento é silencioso **DESvantagens** - A lubrificação tem que ser eficiente; - A contaminação do gás com óleo lubrificante, o que exige um separador de óleo na instalação; - Desgaste apreciável por atrito entre os rotores e a carcaça; - Fugas internas de gás.

Assim como a equação de Clapeyron , determina que a compressão de um gás resulta no aumento de sua temperatura, o primeiro e o segundo princípio da termodinâmica igualmente não aceitam que exista trabalho sem energia, nesse sentido "para melhorar a performance dos sistemas compressão" tanto do compressor hermético como a temperatura do próprio gás comprimido (agente



refrigerador) precisam passar por um processo de resfriamento diminuindo o volume sem alterar a composição, esse processo de resfriamento que muitas vezes é feito erroneamente levando o sistema ao meio "além da perda de energia dissipada na atmosfera" resulta em poluição atmosférica e para capturar essa energia uma solução são os sistemas integrados de condensação que funcionam afixados na carcaça dos compressores herméticos.

Quando a palavra é gás perfeito:

## Gás perfeito

Origem: Wikipédia, a enciclopédia livre.

Ir para: [navegação](#), [pesquisa](#)

Um **gás perfeito** ou **ideal** é um modelo idealizado para o comportamento de um gás. Um gás perfeito obedece às seguintes leis:

- [lei de Boyle-Mariotte](#)
- [lei de Charles](#)
- [lei de Gay-Lussac](#)

Da teoria e da combinação destas leis, temos que *o produto da pressão e do volume dividido pela temperatura é constante para uma certa quantidade molar de qualquer gás:*

$$\frac{PV}{T} = C$$

A constante  $C$  na verdade é o produto do número de mols do gás pela constante  $R$ , chamada constante dos gases perfeitos. Daí vem a equação de estado dos gases perfeitos, onde  $n$  é o número de mols do gás:

$$PV = nRT$$

O valor numérico de  $R$  depende das unidades utilizadas:

$$R = 0,082 \left[ \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right] = 62,4 \left[ \frac{\text{mmHg} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right] = 1,98 \left[ \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right] = 8,31 \left[ \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right] = 8,31.$$

Para fazer com que um gás real se comporte aproximadamente como ideal, reduz-se a pressão e eleva-se a temperatura, para que a distância entre as moléculas seja a maior possível.

É importante lembrar que não existem gases perfeitos em condições normais. Para tornar um gás próximo de ser considerado perfeito, é preciso que ele esteja a **alta temperatura** e **baixa pressão**. Nessas condições, os choques entre as moléculas se tornam praticamente elásticos, não havendo perda de energia cinética.

Quando a palavra é Clapeyron:

## Benoît Paul-Émile Clapeyron

Origem: Wikipédia, a enciclopédia livre.

(Redirecionado de **Clapeyron**)

Ir para: [navegação](#), [pesquisa](#)

**Esta página precisa ser reciclada de acordo com o livro de estilo.**

Sinta-se livre para editá-la para que esta possa atingir um nível de qualidade superior.



Benoit Clapeyron

**Benoit Paul Émile Clapeyron** ([Paris](#), [26 de Fevereiro de 1799](#) — [28 de Janeiro de 1864](#)), [engenheiro](#) e [físico francês](#), foi um dos fundadores da [termodinâmica](#).

Ele desenvolveu os estudos de [Nicolas Léonard Sadi Carnot](#).

### Vida

Nascido em [Paris](#), Clapeyron estudou na **Escola Politécnica** e na **Escola de Minas** antes de mudar-se para [São Petersburgo](#) em [1820](#), para lecionar na *École des Travaux Publics*. Retornou a [Paris](#) somente após a [Revolução de Julho de 1830](#), supervisionando a construção do primeiro trilho de [railway](#) que conectando a cidade a [Versailles](#) and Saint-Germain.



*Este artigo é um esboço sobre **Física**. Você pode ajudar a Wikipédia expandindo-o.*

Equação de Clapeyron

Para caracterizar o estado de um gás, devemos conhecer suas variáveis de estado:

Volume: unidades: L, mL, cm<sup>3</sup>, etc.  
Pressão: unidades: atm, mm de Hg, etc.  
Temperatura: unidades: °C (graus celsius) e K (kelvin)

Durante o estudo de gases, usaremos freqüentemente a escala absoluta de temperatura ou escala kelvin, para qual vale a seguinte relação:

$$T(\text{kelvin}) = t(\text{celsius}) + 273$$

Exemplos:

$$\begin{aligned} 0^{\circ}\text{C} &= 273 \text{ K} \\ 20^{\circ}\text{C} &= 293 \text{ K} \\ 100^{\circ}\text{C} &= 373 \text{ K} \end{aligned}$$

Reunindo os trabalhos experimentais de Boyle (1660), Charles (1787), Gay-Lussac (1805), que permitiram estabelecer relações entre as variáveis de estado de um gás, o francês Clapeyron chegou à seguinte equação:

Equação de Clapeyron:

$$P.V = n.R.T$$

Sendo que:

- P - pressão
- V - volume
- T - temperatura absoluta do Gás (kelvin)
- n - número de mols na amostra
- R - constante universal dos gases

A equação de Clapeyron ou Lei dos Gases Perfeitos relaciona quatro variáveis de um gás: pressão, volume, temperatura absoluta e número de mols. Como o próprio nome indica, R é um constante universal, isto é, que tem sempre o mesmo valor para qualquer que seja o gás usado. O valor numérico de R varia com as unidades empregadas. Para que fique mais claro, vamos calcular o valor de R, usando o volume molar de um gás a CNTP (Condições Normais de Temperatura e Pressão): Volume molar a CNTP = 22,4 L

$$V = 22,4 \text{ L} \text{ @ } n = 1 \text{ mol CNTP pressão} = 1 \text{ atm ou } 760 \text{ mm de Hg}$$

$$\text{temperatura} = 0^{\circ}\text{C} = 273 \text{ K}$$

$$\text{Se } PV = nRT \quad 1 \text{ atm} \times 22,4 \text{ L} = 1 \text{ mol} \times R \times 273 \text{ K}$$

$$22,4 \text{ atm} \times \text{L} \quad \text{atm} \times \text{L}$$

$$\text{então} = 0,082$$

---

$$273 \text{ mols} \times \text{K} \quad \text{mol} \times \text{K}$$

$$R = \frac{\text{atm} \times \text{L}}{0,082}$$

---

$$\text{mol} \times \text{K}$$

usando P em mm de Hg:

$$P \times V = 760 \text{ mmHg} \times \text{L}$$

$$R = 0,082$$

---

$$n \times T = 1 \text{ mol} \times 273 \text{ K}$$

$$R = \frac{\text{mmHg} \times \text{L}}{62,3}$$

---

$$\text{mol} \times \text{K}$$

---

- São chamados gases perfeitos ou ideais os gases que seguem esta e as demais leis dos gases. Muitas vezes devemos fazer correções para podermos aplicar as leis dos gases aos gases reais.
- R pode, evidentemente, ser expresso em outras unidades. Os dois valores que foram determinados acima são os que usaremos com maior frequência.

Quando a palavra é termodinâmica:

## Termodinâmica

Origem: Wikipédia, a enciclopédia livre.

Ir para: [navegação](#), [pesquisa](#)

**Esta página ou secção foi marcada para revisão, devido a apresentar inconsistências e dados de confiabilidade duvidosa.** Se tem algum conhecimento sobre o tema, por favor verifique e melhore a consistência e o rigor deste artigo.



A Wikipédia possui o ***Portal de física***

A **Termodinâmica** é a parte da Termologia (Física) que estuda os fenômenos relacionados com trabalho, energia, calor e entropia, e as leis que governam os processos de conversão de energia. Apesar de todos nós termos um sentimento do que é energia, é muito difícil elaborar uma definição precisa para ela. Na verdade a Física aceita a energia como conceito primitivo, sem definição, ou seja, apenas caracterizando-a.

É bastante conhecido o fato de que uma substância é constituída de um conjunto de partículas denominadas de moléculas. As propriedades de uma substância dependem, naturalmente, do comportamento destas partículas.

A partir de uma visão macroscópica para o estudo do sistema, que não requer o conhecimento do comportamento individual destas partículas, desenvolveu-se a chamada termodinâmica clássica. Ela permite abordar de uma maneira fácil e direta a solução de nossos problemas. Uma abordagem mais elaborada, baseada no comportamento médio de grandes grupos de partículas, é chamada de termodinâmica estatística.

## Índice

[esconder]

- 1 Processos
  - 1.1 Equilíbrio
- 2 Princípios da Termodinâmica
- 3 Transformações termodinâmicas particulares
- 4 Termodinâmica
- 5 Leis da Termodinâmica

## Processos

Sempre que uma ou mais propriedades de um sistema varia, diz-se que ocorreu uma mudança de estado. O caminho através de sucessivos estados pelo qual passa o sistema é definido como processo. Um processo de quase-equilíbrio (quasi-estático) é aquele em que o desvio do equilíbrio termodinâmico é infinitesimal, e todos os estados pelo qual o sistema passa pode ser considerado como estados de equilíbrio. Muitos processos reais podem ser aproximados com precisão pelo processo de quase-equilíbrio.

## Equilíbrio

Por outro lado, se um processo evolui muito rapidamente e o sistema não esteve em equilíbrio durante nenhum instante durante a mudança de estado, este é um processo de não-equilíbrio. Na termodinâmica clássica a descrição destes processos fica limitada ao que havia antes e depois de restabelecido o equilíbrio, sendo esta incapaz de especificar os estados intermediários pelo qual passou o sistema. Uma abordagem mais eficiente destes processos é feita através da termodinâmica do não equilíbrio ( a abordagem não é unanimidade entre os estudiosos da área, alguns preferem outros tipos).

## Princípios da Termodinâmica

De acordo com o princípio da Conservação da Energia, a energia não pode ser criada nem destruída, mas somente transformada de uma espécie em outra. O primeiro princípio da Termodinâmica estabelece uma equivalência entre o trabalho e o calor trocados entre um sistema e seu meio exterior.

Consideremos um sistema recebendo uma certa quantidade de calor  $Q$ . Parte desse calor foi utilizado para realizar um trabalho  $t$  e o restante provocou um aumento na sua energia interna  $U$ .

A expressão  $U = Q - t$

Representa analiticamente o primeiro princípio da termodinâmica cujo enunciado pode ser:

A variação da energia interna de um sistema é igual à diferença entre o calor e o trabalho trocados pelo sistema com o meio exterior.

Para a aplicação do primeiro princípio de Termodinâmica devem-se respeitar as seguintes convenções:

- $Q > 0$ : calor recebido pelo sistema.
- $Q < 0$ : calor cedido pelo sistema.
- $t > 0$ : volume do sistema aumenta.
- $t < 0$ : volume do sistema diminui.
- $U > 0$ : temperatura do sistema aumenta.
- $U < 0$ : temperatura do sistema diminui.

### **Transformações termodinâmicas particulares**

**Transformação isotérmica:** Como a temperatura do sistema se mantém constante, a variação da energia interna é nula.

Por exemplo, considere um gás sofrendo uma expansão isotérmica conforme mostra as figuras.

A quantidade de calor que o gás recebe é exatamente igual ao trabalho por ele realizado. A área sombreada sob a curva é numericamente igual ao trabalho realizado.

**Transformação isométrica:** como o volume do sistema se mantém constante, não há realização de trabalho.

Todo o calor trocado com o meio externo é transformado em variação da energia interna.

Se o sistema recebe calor:

- $Q > 0 \implies U > 0$ : temperatura aumenta se o sistema recebe calor.
- $Q < 0 \implies U < 0$ : temperatura diminui se o sistema cede calor.

**Transformação isobárica:** Numa transformação onde a pressão permanece constante, a temperatura e o volume são diretamente proporcionais, ou seja, quando a temperatura aumenta o volume também aumenta.

$U > 0 \implies$  temperatura aumenta.

$T < 0 \implies$  volume aumenta

Parte do calor que o sistema troca com o meio externo está relacionado com o trabalho realizado e o restante com a variação da energia interna do sistema.

**Transformação adiabática:** Nessa transformação, o sistema não troca calor com o meio externo; o trabalho realizado é graças à variação de energia interna.

Numa expansão adiabática, o sistema realiza trabalho sobre o meio e a energia interna diminui.

Expansão adiabática ocorre um abaixamento de temperatura.

Durante a compressão adiabática, o meio realiza trabalho sobre o sistema e a energia interna aumenta.

Ocorre uma elevação de temperatura.

### **Transformação Cíclica**

Denomina-se transformação cíclica ou ciclo de um sistema o conjunto de transformações sofridas pelo sistema de tal forma que seus estados final e inicial são iguais.

Como a temperatura final é igual à temperatura inicial, a energia interna do sistema não varia, havendo uma igualdade entre o calor e o trabalho trocados em cada ciclo.

Num diagrama  $p \times V$  uma transformação cíclica é representada por uma curva fechada. A área interna do ciclo é numericamente igual ao trabalho total trocado com o meio exterior.

Quando o ciclo é percorrido no sentido horário, o sistema recebe calor e realiza trabalho; e no sentido anti-horário o sistema cede calor e recebe trabalho.

### **Termodinâmica**

A termodinâmica permite determinar a direção na qual vários processos físicos e químicos irão ocorrer. Também permite determinar as relações entre as diversas propriedades de uma substância. Contudo ela não trabalha com modelos da microestrutura da substância, e não é capaz de fornecer detalhes dela, mas uma vez que alguns dados sejam conhecidos, através do método da termodinâmica clássica, outras propriedades podem ser determinadas.

### **Leis da Termodinâmica**

A termodinâmica é baseada em leis estabelecidas experimentalmente:

- A Lei Zero da Termodinâmica determina que, quando dois corpos têm igualdade de temperatura com um terceiro corpo, eles têm igualdade de temperatura entre si. Esta lei é a base para a medição de temperatura.
- A Primeira Lei da Termodinâmica fornece o aspecto quantitativo de processos de conversão de energia. É o princípio da conservação da energia e da conservação da massa, agora familiar, : "A energia do Universo é constante".

- A Segunda Lei da Termodinâmica determina o aspecto qualitativo de processos em sistemas físicos, isto é, os processos ocorrem numa certa direção mas não podem ocorrer na direção oposta. Enunciada por Clausius da seguinte maneira: "A entropia do Universo tende a um máximo".
- A Terceira Lei da Termodinâmica estabelece um ponto de referência absoluto para a determinação da entropia, representado pelo estado derradeiro de ordem molecular máxima e mínima energia. Enunciada como "A entropia de uma substância cristalina pura na temperatura zero absoluto é zero". É extremamente útil na análise termodinâmica das reações químicas, como a combustão, por exemplo.

Quando a palavra é termologia :

## Termologia

Origem: Wikipédia, a enciclopédia livre.

Ir para: [navegação](#), [pesquisa](#)

A **Termologia** ou Termofísica é a parte da Física que estuda o calor. Os fenômenos são interpretados a partir de modelos da estrutura da matéria de dois pontos de vista distintos, porém complementares: o macroscópico (temperatura, energia interna e pressão e o microscópico velocidade e energia cinética de átomos e moléculas).

A termologia está restringida ao estudo dos fenômenos a partir da **Lei Zero da Termodinâmica**.

A Lei Zero é essencialmente uma definição macroscópica de temperatura. Embora a noção de quente ou frio pelo contato com a pele seja de uso corrente, ela pode levar a avaliações erradas de temperatura. É bem conhecido o exemplo em que a mesma água pode parecer mais fria ou mais quente ao contato da mão, quando, anteriormente, a mão foi mergulhada em água gelada ou água fervente, respectivamente. De qualquer forma, é da observação cotidiana de que corpos quentes e frios postos em contato produzem no fim de algum tempo a mesma sensação, que se chega ao conceito de **temperatura**. Está claro que, dependendo da superfície do corpo (metálica, porosa, etc.), essa sensação pode ser falha.

Levando em conta as observações anteriores, a lei zero assim postula: se A e B são dois corpos em equilíbrio térmico com um terceiro corpo C, então A e B estão em equilíbrio térmico um com o outro, mais formalmente, existe uma grandeza escalar, a temperatura, que é uma propriedade de todos os sistemas em equilíbrio termodinâmico; essa grandeza é tal que a condição necessária e suficiente para que haja equilíbrio térmico entre vários sistemas é que a temperatura desses sistemas seja a mesma.

Existem muitas grandezas físicas mensuráveis que variam quando a temperatura do corpo é alterada; em princípio essas grandezas podem ser utilizadas como indicadoras de temperatura dos corpos. Entre elas, podem-se citar o volume de um líquido, a resistência elétrica de um fio, o volume de um gás mantido a pressão constante.

Escolhendo-se arbitrariamente grandezas que possam servir para aferir temperatura, conhecidas como grandezas termométricas, podem-se construir uma infinidade de termômetros com escalas



arbitrárias e muitas vezes incomuns. A fim de evitar esse inconveniente, podem-se estabelecer certas regras para essas grandezas ou propriedades das substâncias, regras essas que devem ser adotadas internacionalmente.

Usando regras definidas, obtêm-se as escalas termométricas, como a Celsius (centígrada) e a Fahrenheit, ou escalas absolutas como a Kelvin. Na teoria cinética, quando dois gases estão à mesma temperatura a energia média dos átomos e moléculas é a mesma e essa propriedade pode ser utilizada como definição de temperatura. A escala microscópica que coincide com as escalas absolutas usuais é aquela em que a temperatura é escolhida proporcionalmente à energia cinética média, sendo  $2/3k$  (onde  $k$  é a constante de Boltzmann,  $k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$  unidades do SI) a constante de proporcionalidade.

As escalas internacionais de temperatura utilizam o ponto triplo da água (ponto de equilíbrio entre as fases sólida, líquida e de vapor) como padrão; sua temperatura em graus Kelvin é escolhida como igual a

Quando a expressão é condição normal de temperatura e pressão:

### Condições Normais de Temperatura e Pressão

Origem: Wikipédia, a enciclopédia livre.

Ir para: [navegação](#), [pesquisa](#)

As **Condições Normais de Temperatura e Pressão** (cujas siglas são **CNTP** no Brasil e **PTN** em Portugal), referem-se à condição experimental com temperatura e pressão de 273,15 **K** (0 **°C**) e 101 325 **Pa** (101,325 **kPa** = 1,01325 bar = 1 **atm** = 760 **mmHg**), respectivamente. Esta condição é geralmente empregada para medidas de gases em condições atmosféricas (ou de atmosfera padrão). O equivalente de **CNTP/PTN** no inglês é **NTP** (*Normal Temperature and Pressure*).

Há duas condições de temperatura e pressão comumente utilizadas, são elas:

- **CNTP**, com valores de temperatura e pressão de 273,15 **K** e 101 325 **Pa** (pressão normal), respectivamente. A **IUPAC** (União Internacional da Química Pura e Aplicada) recomenda que o uso da pressão de 1 atm (pressão normal) seja descontinuado.
- **CPTP**<sup>[1]</sup> (sigla significando Condições Padrão de Temperatura e Pressão), referindo-se às atuais **STP**<sup>[2]</sup> (do inglês - *Standard Temperature and Pressure*) com valores de temperatura e pressão de 273,15 **K** e 100 000 **Pa**, respectivamente.

### Valor verdadeiro convencional para o volume molar de um gás ideal

Atualmente a **CODATA** (CODATA, 2007) recomenda para o volume molar de um gás ideal, os seguintes valores:

- Nas **CNTP** (273,15 **K**; 101 325 **Pa**):  $22,413\ 996 \pm 0,000\ 039 \text{ L mol}^{-1}$

- Nas CPTP (273,15 K; 100 000 Pa):  $22,710\ 981 \pm 0,000\ 040\ \text{L mol}^{-1}$

Este é o melhor valor estimado para o volume molar, conhecido também como **valor verdadeiro convencional (de uma grandeza)**

Quando a expressão é atmosfera padrão:

### **Atmosfera padrão**

Origem: Wikipédia, a enciclopédia livre.

Ir para: [navegação](#), [pesquisa](#)

O termo **atmosfera padrão** por definição refere-se à pressão exata de 101 325 Pa. Ele é utilizado como unidade de pressão, com o símbolo atm (1 atm = 101 325 Pa). Este termo refere-se ao mesmo valor de pressão definida como **pressão normal**.

Atualmente a IUPAC recomenda que o uso da pressão de 101 325 Pa seja descontinuado, recomendando desde 1982, o uso da atual **pressão padrão**, definida como uma pressão de  $10^5$  Pa (100 000 Pa exatamente).

A pressão de atmosfera padrão, medida ao nível do mar, está acompanhada por outras características como densidade do ar e temperatura, porém, é importante salientar que o termo refere-se apenas à pressão de 1 atm.

Quando a expressão é condições padrão de temperatura e pressão:

### **Condições Padrão de Temperatura e Pressão**

Origem: Wikipédia, a enciclopédia livre.

Ir para: [navegação](#), [pesquisa](#)

As Condições Padrão de Temperatura e Pressão (CPTP) referem-se às atuais **STP** (do inglês *Standard Temperature and Pressure*), que correspondem às condições de temperatura e pressão de 273,15 K (0 °C) e 100 000 Pa (100 000 Pa =  $10^5$  Pa = 100,000 kPa = 1 bar), respectivamente.

### **Valor verdadeiro convencional para o volume molar nas CPTP**

Atualmente a CODATA (CODATA, 2007) recomenda para o volume molar  $V_m$  de um gás ideal nas CPTP o valor de:

$$V_{m(CPTP)} = 22,710\ 981 \pm 0,000\ 040\ \text{L mol}^{-1}$$

Este é o melhor valor estimado para o volume molar, conhecido também como **valor verdadeiro convencional (de uma grandeza)**.

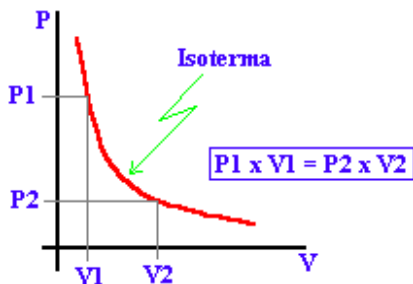
**Anexo 2** (segundo referências [1], [2], [3], [4] e [5]).

Transformações gasosas e seus gráficos:

- Isotérmica;
- Isobárica;
- Isométrica (ou Isovolumétrica ou ainda Isocórica);
- Adiabática.

Isotérmica

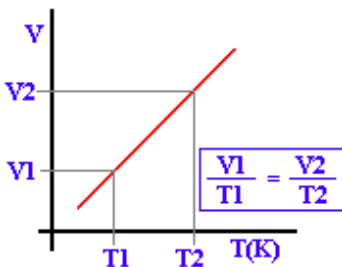
São transformações em que a temperatura permanece constante e, portanto, pressão e volume são inversamente proporcionais.



Lei de Boyle-Mariotte:  **$P \cdot V = \text{constante}$**

Isobáricas

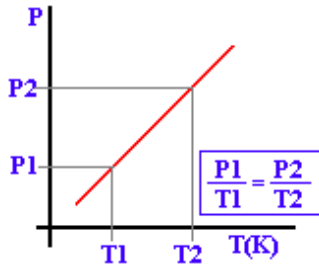
São transformações que ocorrem à pressão constante, portanto o volume e a temperatura são diretamente proporcionais.



Lei de Gay-Lussac:  **$V/T = \text{constante}$**

### Isométricas

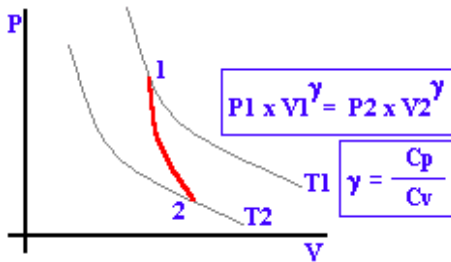
São transformações com volume constante, portanto a pressão e a temperatura são diretamente proporcionais.



Lei de Charles:  $P/T = \text{constante}$

### Adiabática

São transformações que ocorrem sem troca de calor.  $C_p$  e  $C_v$  são os calores específicos do gás a pressão constante e a volume constante.



Equação de Clapeyron:

$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$  onde  $R$  é a constante universal dos gases perfeitos. Quando a pressão for dada em atmosfera, volume em l e temperatura em Kelvin, tem valor  $0,082 \text{ atm} \cdot \text{l/MOL} \cdot \text{K}$ .

Lei Geral dos Gases Perfeitos:

$$P_1 \cdot V_1 / T_1 = P_2 \cdot V_2 / T_2 = \text{constante}$$

Energia cinética média por molécula de um Gás Perfeito:

$$E_{\text{média}} = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T \text{ onde } k \text{ é a constante de Boltzmann.}$$

Energia Interna de um Gás Perfeito:

$U = 3/2.n.R.T$  ou  $\Delta U = 3/2.n.R. \Delta T$  onde  $n$  é o número de mols,  $R$  é a constante dos gases perfeitos e  $T$  é a temperatura do gás.

Primeira Lei da Termodinâmica:

$\Delta U = Q - \tau$ , onde  $\Delta U$  é a variação da energia interna de um sistema,  $Q$  é o calor e  $\tau$  é o trabalho.

Trabalho em Transformação Isobárica:

$\tau = p. \Delta V$ , onde  $\tau$  é o trabalho realizado no sistema,  $p$  é a pressão e  $\Delta V$  é a variação de volume.

Transformações Cíclicas:

Transformações que chegam ao ponto de início, sendo que o sistema ou realiza trabalho ou sofre um trabalho.

Segunda Lei da Termodinâmica (explicação de como a geladeira funciona):

O calor não passa espontaneamente de um corpo de menor temperatura (frio) para um corpo de maior temperatura (quente). Para isso acontecer, um trabalho deve ser empregado no sistema.

$$\tau = Q_{\text{quente}} - Q_{\text{frio}}$$

Máquinas Térmicas:

$$\text{Rendimento } (\eta) = \tau / Q_{\text{quente}}$$

$$\eta = 1 - Q_{\text{frio}} / Q_{\text{quente}}$$

Ciclo de Carnot:

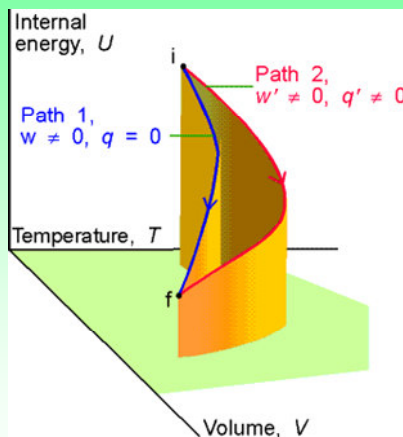
$\eta_{\text{máx}} = 1 - T_{\text{fria}} / T_{\text{quente}}$ , onde  $T_{\text{fria}}$  é a temperatura absoluta da fonte fria e  $T_{\text{quente}}$  é a temperatura absoluta da fonte quente.

$$Q_{\text{quente}} / Q_{\text{frio}} = T_{\text{quente}} / T_{\text{fria}}$$

**Anexo 3** (referência [8]):

- 3 -  
**Primeira Lei**  
**Formalismo**

**FUNÇÕES DE ESTADO E DIFERENCIAIS EXATAS**



*Processo 1:*  
adiabático

*Processo 2:*  
não -adiabático

$\Delta U$  é igual  
para os dois processos

- **Diferencial exata:** quantidade infinitesimal que, quando integrada, dá um resultado que é independente da curva (do caminho) que liga os estados inicial e final

(ex:  $dU$ )

- **Diferencial não-exata:** quantidade infinitesimal que, quando integrada, dá um resultado que depende da curva (do caminho) que liga os estados inicial e final

(ex:  $\delta q$  ,  $\delta w$ )

## Variação da Energia Interna

- Para um sistema fechado:

$dU$  é função do Volume e da Temperatura

$$dU = \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV + \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT$$

$$dU = \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV + C_v dT$$

- pressão interna

$$\pi_T = \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T$$

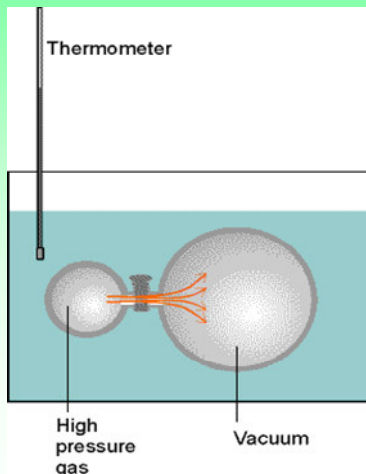
$$dU = \pi_T dV + C_v dT$$

para um gás perfeito não há interações entre as moléculas, a energia interna é independente do volume da amostra

$$\left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = 0$$

## Energia interna e expansão isotérmica do gás perfeito

*Experiência de Joule:* Medida de  $(\partial U / \partial V)$



Expansão devido ao vácuo:

$$w = 0$$

Não há troca de calor no sistema

$$q = 0$$

*Para um gás perfeito  $\pi_T$  (pressão interna) não depende do volume*



## Varição da energia interna com a Temperatura a P cte

$$\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_P = \pi_T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P + C_v$$

- Coeficiente de expansão (térmica)

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$$

- Dependência entre U e T a pressão cte

$$\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_P = \alpha \pi_T V + C_v$$

## Dependência da entalpia com a Temperatura

$$H = U + PV$$

Varição de H a Volume cte  $\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_V = \left(1 - \frac{\alpha\mu}{\kappa_T}\right) C_p$

**Compressibilidade isotérmica**  $\kappa_T$

**Coefficiente Joule-Thomson**  $\mu$

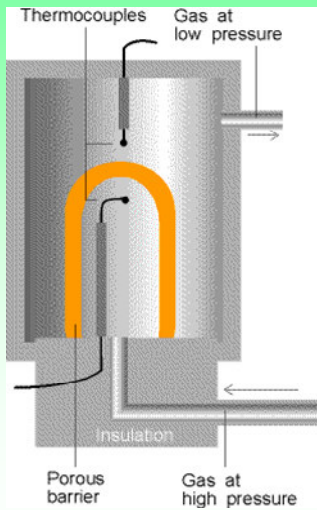
$$\kappa_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T$$

$$\mu = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H$$

$\kappa_T$  é >0  $P \nearrow V \searrow$

Obs.: Para um gás ideal  $\kappa_T = 1/p$

## Efeito Joule-Thomson, o resfriamento de um gás numa expansão adiabática



- *Expansão de um gás através de uma barreira porosa*
- *Condições isentálpica:*
  - Expansão de uma  $P_i$  cte até  $P_f$  cte
  - Isolamento térmico  $\Rightarrow$  processo adiabático
- *Medida de  $\Delta T$*

Labels in diagrams: Válvula de estrangulamento, Pressão a jusante,  $P_i$ ,  $P_f$ ,  $P_i, V_i, T_i$ ,  $V_i \rightarrow 0$ , Pressão a montante,  $0 \rightarrow V_f$ ,  $P_i, V_f, T_f$ .

A pressão fica cte em cada lado da válvula

Obs.:

- Temperatura mais baixa do lado de P mais baixa
- $\Delta T \propto \Delta P$

**EFEITO JOULE - THOMSON**

## Efeito Joule - Thomson

- Coeficiente Joule-Thomson isotérmico

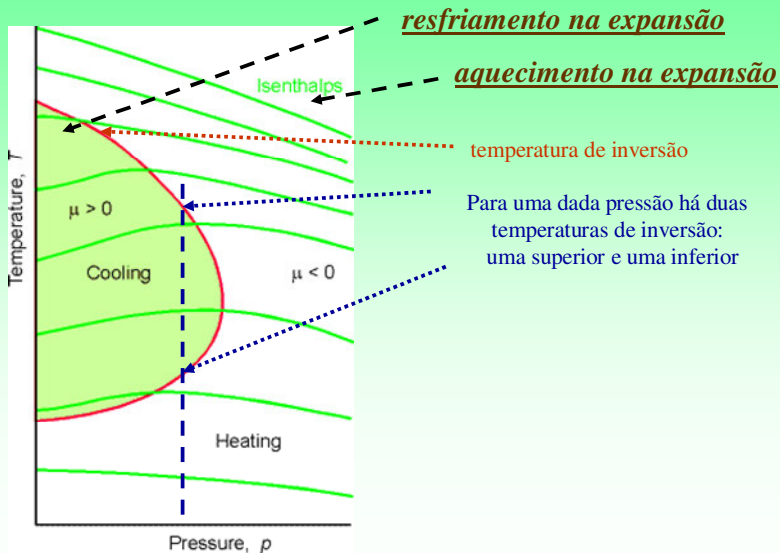
$$\mu_T = \left( \frac{\partial H}{\partial P} \right)_T$$

$\mu > 0$  Resfriamento na expansão

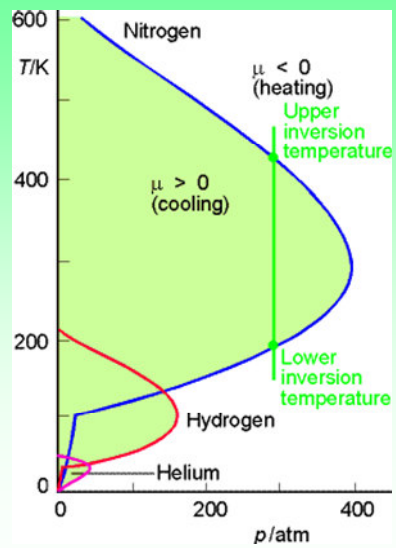
$\mu < 0$  Aquecimento na expansão

## Efeito Joule - Thomson

$\mu$  : coeficiente Joule - Thomson  $\mu = \left( \frac{\partial T}{\partial P} \right)_H$



## Temperaturas de inversão de três gases reais



## Relação entre $C_v$ e $C_p$

- Relação geral

$$C_p - C_v = \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_P - \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_P$$

## Relação entre $C_v$ e $C_p$

Para um gás ideal

$$C_p - C_v = nR$$

Para qualquer substância pura

$$C_p - C_v = \frac{\alpha^2 TV}{\kappa_T}$$

**Anexo 3** (segundo referencia [9])

### Medidas de Pressão

Unidade	Símbolo	Equivalência
<u>pascal</u>	Pa	= 1 N.m <sup>-2</sup> = 1 kgf.m <sup>-1</sup> .s <sup>-2</sup>
<u>atmosfera</u>	atm	= 101325 Pa = 101325 N.m <sup>-2</sup>
<u>bar</u>	bar	= 10 <sup>5</sup> Pa
<u>torricelli</u>	Torr	= (101325/760) Pa ~ 133,323 Pa
<u>milímetro de mercúrio</u> (convencional)	mmHg	= 1 torr
<u>libra por polegada quadrada</u>	psi	~ 6,894 757 x 10 <sup>3</sup> Pa
<u>milímetro de água</u>	mmH2O	~ 9,859 503 Pa

Meu orientador, o Prof. Ennio Peres da Silva concordou com o expressado no relatório parcial e deu a seguinte opinião:

Considero esse projeto da aluna Karina Maretti, sobre compressão e expansão de gases, um entre muitos experimentos fundamentais que deveriam fazer parte do ensino secundário. Nas últimas décadas demonstrações experimentais em salas de aula ou laboratórios quase que desapareceram nas escolas, principalmente nas da rede pública. Experimentos que permitem associar a teoria física com o cotidiano dos alunos, no caso deste projeto com os processos de refrigeração e às geladeiras domésticas, sem dúvida produzem um efeito facilitador ao ensino e à aprendizagem, devendo ser estimulados. Quanto à formação da aluna Karina, ela tem se dedicado com determinação ao projeto e conta com o apoio material e de pessoal do Laboratório de Hidrogênio do DFA, mas ela deverá desenvolver os experimentos por si só, de forma a perceber e aprender as questões (dificuldades) metodológicas e experimentais envolvidas no planejamento e execução de atividades como esta.

No relatório final, o meu orientador, Prof. Ennio Peres da Silva concordou com o expressado e deu a seguinte opinião:

Em minha opinião, o experimento desenvolvido pela aluna Karina Maretti atende ao objetivo de apoiar a formação em ciências e em física no nível do Ensino Médio brasileiro. O experimento pode-se dizer está mesmo acima do nível que tenho observado nas escolas, mesmo na rede particular, isto quando existe algum tipo de demonstração experimental, o que não ocorre na ampla maioria das instituições de ensino. Evidentemente que, como em tudo o que fazemos, há aperfeiçoamentos que podem ser introduzidos, principalmente a partir da aplicação do experimento na prática escolar, o que dará subsídios para esses aperfeiçoamentos. Pude perceber também que a aluna obteve conhecimentos práticos e didáticos importantes, que sem dúvida auxiliaram significativamente sua formação profissional.