



Universidade Estadual de Campinas

Instituto de Física Gleb Wataghin

Experimentos Para o Ensino de Física

Básica, Elaborados Com Rapidez e Baixo Custo



Marson Quintino Ferreira RA: 011 171

Orientador: Richard Landers

Professor Responsável: José J. Lunazzi

Instrumentação para Ensino F 809

Relatório Final
Campinas, 14/06/2005

Resumo: A falta de tempo dos professores de segundo grau, evidenciada pela carga excessiva de trabalho, faz com que as experiências sejam pouco utilizadas, sobretudo pela demora na elaboração das mesmas. O presente trabalho reúne experimentos de simples construção, com a intenção de viabilizar o uso dos mesmos como ferramenta pedagógica no Ensino Médio, sobretudo em escolas públicas.

Agradecimentos:

A realização deste modesto trabalho não seria possível sem a ajuda e boa vontade de muitas pessoas...

Deixo aqui meus agradecimentos especiais para:

Meus familiares, Maria Joana Ribeiro e Marçal Quintino Ferreira, por sempre estarem ao meu lado.

O Prof. Dr. Richard Landers, que gentilmente aceitou meu pedido para orientação desta pequena jornada.

Minha amada Ana Paula de Lima, por ajudar com as fotografias e pelos conselhos químicos prestados, a paciência (que tendeu ao infinito algumas vezes) e seu ombro sempre acolhedor.

O Prof. Rickson Coelho de Mesquita, pelo empréstimo dos equipamentos de fotografia. Como já é de costume, mais uma vez pude contar com sua ajuda.

Ao amigo Hugo Meleguele, sempre disponível e com bom humor. Seus conselhos foram muito importantes para a escrita do texto.

E por fim, mas não menos importante, o Prof. Dr. José Joaquim Lunazzi, por ministrar tão bem a disciplina e pelos conselhos na construção dos experimentos.

Considero-me uma pessoa de muita sorte, pois em meu caminho sempre estive acompanhado de pessoas prestativas e de extrema qualidade.

Marson Quintino Ferreira

1. Introdução

A disciplina de Física no Ensino Médio é freqüentemente colocada pelos alunos como a de mais alto grau de dificuldade, tal empecilho é também devido à ausência de ligação entre os conceitos trabalhados e o dia-a-dia [1].

Diante desta dificuldade os professores precisam cada vez mais estar em contato com ferramentas que ilustrem e vinculem os conteúdos trabalhados com o mundo real, tendo tradicionalmente os experimentos em sala de aula como alternativa.

Contudo, a falta de tempo dos professores, evidenciada pela carga excessiva de trabalho, sobretudo no ensino público, onde a remuneração é baixa [2], faz com que as experiências sejam pouco utilizadas. Neste contexto, o tempo gasto na construção dos experimentos tem grande importância [3].

2. Objetivo

O presente trabalho reúne experiências que podem ser trabalhadas em nível médio como auxiliadoras na prática pedagógica do ensino de Física. A seleção das atividades zelou pelas seguintes características:

- a) Custo de material irrisório (máximo de R\$ 5,00 por experimento);
- b) Construção rápida e fácil (máximo de 10min por experimento, sem exigir nenhuma habilidade fora das presentes numa pessoa comum).

3. Experimentos

- a) Variação da experiência de Galileu para a queda dos corpos [4]

a.1) Material

- Moeda;
- Papel pequeno.

a.2) Requisitos Teóricos

Galileu defendeu a idéia de que a aceleração da gravidade era a mesma para todos os corpos. Como consequência temos que corpos em queda livre, que foram abandonados ao mesmo tempo, percorrem espaços iguais em tempos iguais.

a.3) Experimento

Com um pequeno pedaço de papel e uma moeda, é possível ilustrar que corpos com massas diferentes caem com a mesma velocidade, quando abandonados ao mesmo tempo.

Coloca-se um pedaço de papel menor que o diâmetro da moeda sobre a mesma. Quando o conjunto é abandonado, observa-se que em nenhum momento da queda o papel se separa da moeda, que está protegida da ação da resistência do ar.



Figura 1: variação do experimento de Galileu

b) Estimativa do tempo de reação de uma pessoa [5]

b.1) Material

- Régua maior ou igual a 30cm;
- Duas pessoas.

b.2) Requisitos Teóricos

A equação que descreve o módulo do deslocamento ($|\Delta s|$) de um objeto em queda livre, que partiu do repouso é:

$$|\Delta s| = \frac{g}{2} \times t^2 \Rightarrow \boxed{t = \sqrt{\frac{2 \times |\Delta s|}{g}}}$$

, onde g representa a aceleração da gravidade, e t o tempo decorrido desde o início da queda.

b.3) Experimento

Usando uma régua maior ou igual a 30cm, suspensa por uma pessoa na vertical, pede-se que outro participante posicione uma de suas mãos na extremidade inferior da régua para segurá-la quando esta for abandonada.

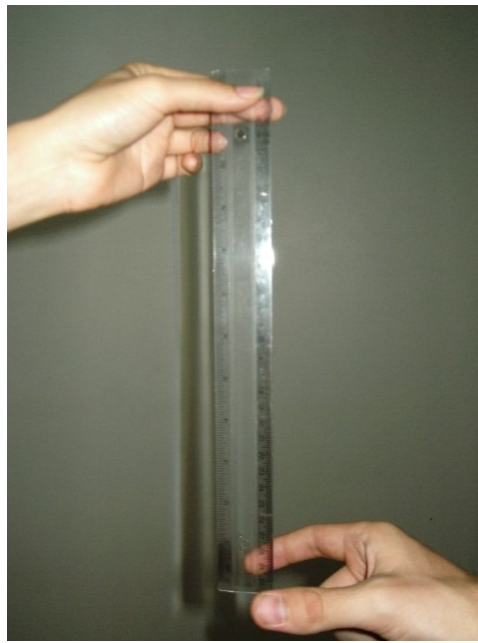


Figura 2: tempo de reação.

Observando a marcação onde o segundo participante segurou o objeto temos o valor de $|\Delta s|$, o que possibilita o cálculo do tempo de reação (t) do participante, como demonstrado em b.2).

c) Relação entre posição e tempo na queda livre [5]

c.1) Material

- Quatro metros de barbante, fio dental ou similares;
- Dez porcas, parafusos, pedras ou similares.

c.2) Requisitos Teóricos

Utilizando a expressão de b.2), vamos encontrar a relação entre os deslocamentos para intervalos de tempos iguais entre si, como ilustrado a seguir:

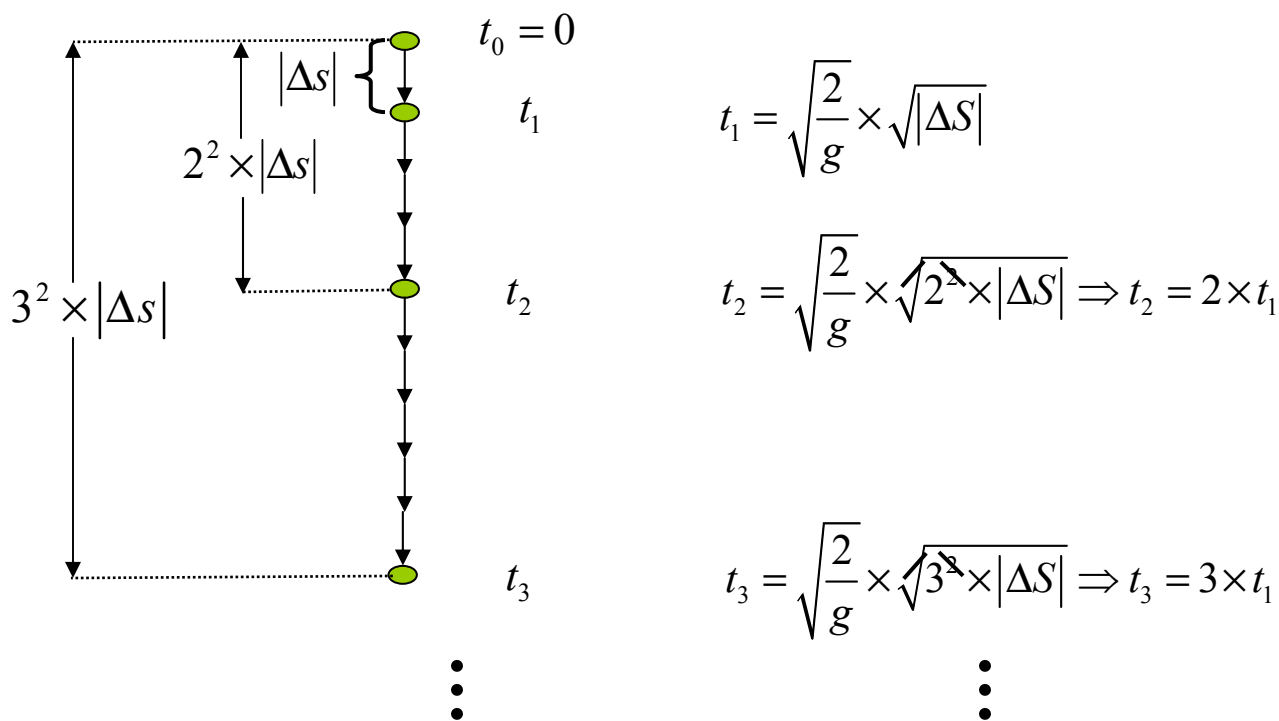


Figura 3: distância percorrida em intervalos de tempo iguais

Definindo $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ temos que

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3 = \dots = t_1$$

c.3) Experimento

Dois barbantes de comprimentos iguais têm porcas de aço amarradas ao longo do seu comprimento. Um deles tem as porcas espaçadas com distâncias iguais, enquanto o outro tem as porcas posicionadas geometricamente a distâncias proporcionais a quadrados inteiros¹: 1, 4, 9, 16, 25 etc. Quando o primeiro barbante é derrubado, as porcas igualmente espaçadas batem no chão em intervalos de tempo progressivamente mais curtos; quando o segundo barbante é derrubado, as porcas batem no chão em intervalos de tempo iguais.

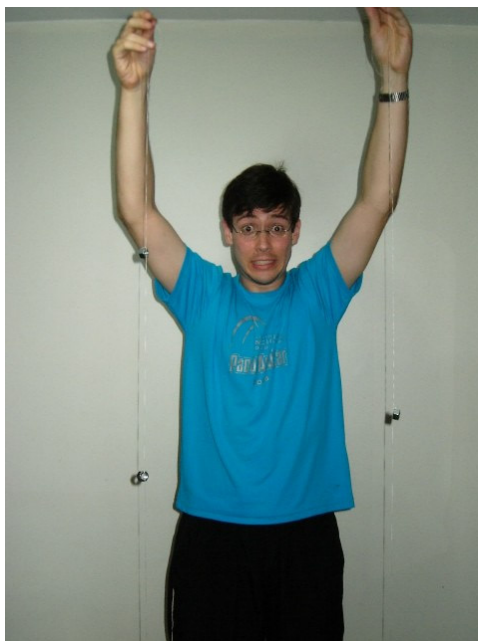


Figura 4: queda livre

d) Comprovação da Lei de Snell [6]

d.1) Material

- Moeda ou objeto similar;
- Recipiente opaco e impermeável;
- Água.

¹ 9cm é uma boa “unidade” para o uso de cinco porcas no mesmo fio.

d.2) Requisitos Teóricos

Lei de Snell-Descartes:

$$n_{H_2O} \times \text{sen}(i) = n_{Ar} \times \text{sen}(r)$$

onde n_i representa o índice de refração do meio i .

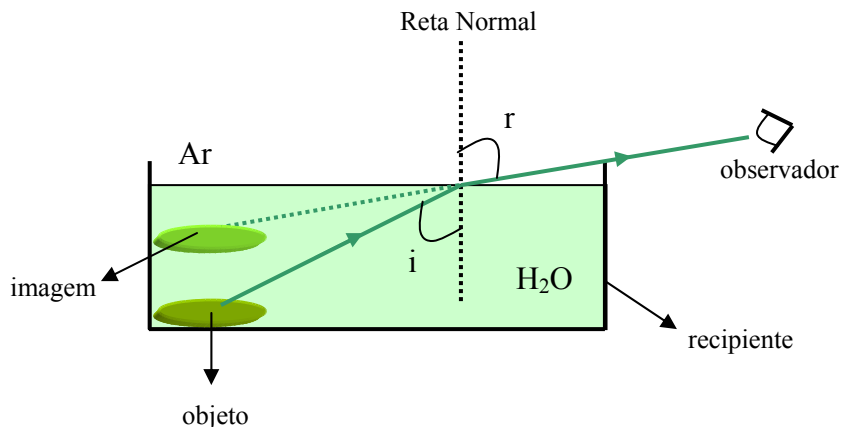


Figura 5: Lei de Snell-Descartes

d.3) Experimento

Colocando uma moeda dentro de um recipiente opaco, colocamos um observador numa posição tal que este não consiga ver a moeda no fundo, como ilustrado na figura 5. Mantendo o observador imóvel, coloca-se água no recipiente. O observador passa a ver a moeda, fenômeno previsto pela Lei de Snell.



Figuras 6 e 7: Lei de Snell-Descartes

e) Soma de forças [5]

e.1) Material

- Duas listas telefônicas.

e.2) Requisitos Teóricos

A força é uma grandeza vetorial, portanto obedece a soma vetorial no cálculo da resultante sobre um sistema.

e.3) Experimento

Colocando apenas uma página de uma lista dentro de outra, que é posteriormente fechada, verifica-se que é muito fácil separar as listas. Quando as listas telefônicas são unidas página por página, ao tentamos separar as listas encontramos muita dificuldade, pois as pequenas forças de atrito de cada página estão sendo somadas.



Figura 8: força de atrito [5]

f) Fibra ótica caseira [8]

f.1) Material

- Ponteira laser;
- Garrafa Pet;
- Água;
- Café coado.

f.2) Requisitos Teóricos

O efeito chamado “reflexão interna total” acontece quando um raio incide numa superfície que separa um meio mais refringente (1) de um menos refringente (2), quando o ângulo de incidência é maior que o ângulo limite. Nesta circunstância o raio não consegue mudar de meio de propagação, e é totalmente refletido, como ilustrado abaixo:

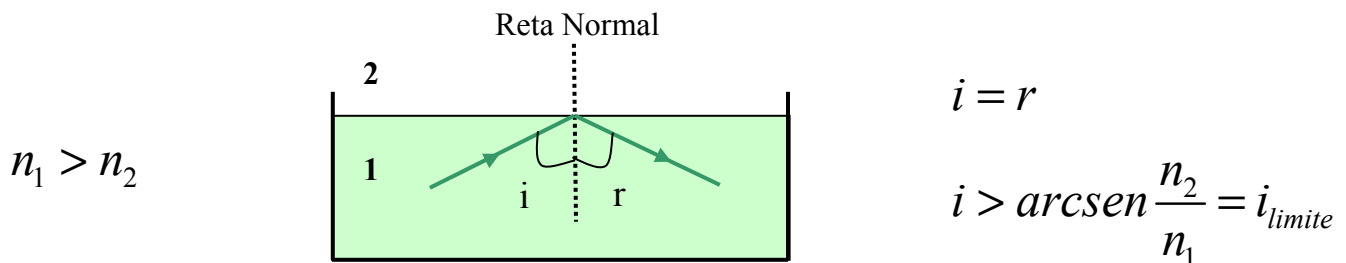


Figura 9: Reflexão interna Total

f.3) Experimento

Um pequeno furo é feito lateralmente na base da garrafa PET, que é preenchida com a mistura de água e café coado. Deixa-se a mistura vazar pelo furo, que é iluminado com o auxílio da caneta laser por trás da garrafa. É possível fazer o feixe de luz acompanhar a parábola descrita pelo líquido, graças às

reflexões internas totais consecutivas que ocorrem no feixe. O café serve para espalhar parte do feixe, tornando visível sua trajetória.



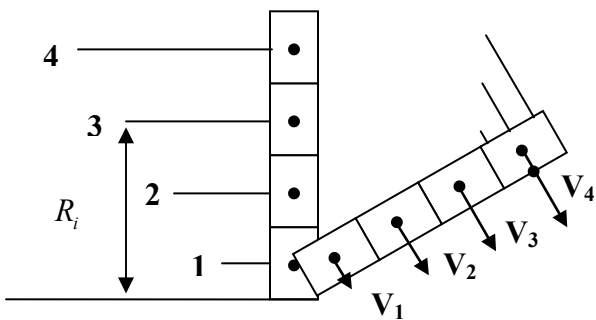
Figura 10: Fibra ótica caseira

g) Constância da aceleração da gravidade [4]

g.1) Material²

- Quatro caixas arquivo morto ou similares.

g.2) Requisitos Teóricos



$$v_i = \omega_i \times R_i$$

$$a_i = \frac{dv_i}{dt} \therefore a_i = \frac{d\omega_i}{dt} \times R_i$$

Figura 9: aceleração tangencial.

² Para que o efeito se torne visível é necessário que a coluna seja alta (mais de 1,5m) e que a resistência do ar seja desprezível quando comparada ao peso de cada elemento da coluna, para que o atraso seja exclusivamente devido à constância de g.

Enquanto os blocos da figura acima ficam unidos, eles têm a mesma velocidade angular (ω), e portanto o módulo da aceleração tangencial é tão maior quanto maior for o raio da trajetória.

f.3) Experimento

Uma coluna de caixas é construída na vertical, como ilustrado na figura 9. Quando tombamos a coluna, as caixas se separam, quanto menor a distância entre a caixa e o eixo de rotação menor é o tempo da queda. Isso acontece porque para que a coluna fique intacta durante a queda, é necessário que as caixas mais distantes do eixo de rotação tenham uma aceleração maior que a da gravidade³.

g) Comprovação da pressão atmosférica [6]

g.1) Material

- Copo rígido;
- Água.
- Folha de papel

g.2) Requisitos Teóricos

A pressão atmosférica é não nula.

g.3) Experimento

Um copo cheio de água é tampado com uma folha de papel. Vira-se o copo de boca para baixo, enquanto seguramos a folha com uma das mãos. O apoio da folha é tirado sem que a água derrame, graças à ação da pressão atmosférica.

³ O peso da caixa deve ser muito maior que a força de resistência do ar, para que esta possa ser desprezada e o efeito seja observado exclusivamente por conta da constância de g . Este inconveniente é facilmente contornado colocando-se livros ou objetos pesados dentro das caixas.

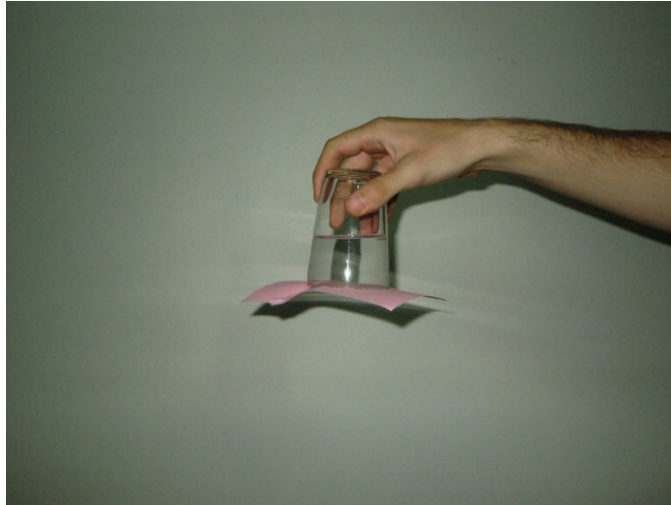


Figura 11: Ação da pressão atmosférica

h) Papel que não pega fogo [7]

h.1) Material

- Folha de papel;
- Fósforo, isqueiro ou similares;
- Água.

h.2) Requisitos Teóricos

Para que a queima aconteça é necessário que o corpo atinja uma temperatura satisfatória. A transferência de calor de um corpo para outro dificulta o processo de aquecimento, e o ar é um mau condutor de calor, quando comparado à água.

h.3) Experimento

Um adulto deve sempre estar supervisionando a realização deste experimento.

Um pequeno recipiente é construído com uma folha de caderno, de modo que não permita vazamentos quando preenchido com água. Acendendo um isqueiro debaixo desta caixa cheia de água, o papel não pega fogo, pois o calor é transferido para a água do recipiente.



Figura 12: Transferência de calor

i) Diferença de densidade entre ar quente e frio [6]

i.1) Material

- Prato;
- Vela;
- Copo;
- Água.

i.2) Previsão Teórica:

Para que a queima se efetue, é necessária a presença de oxigênio.

Mantendo-se a pressão constante, quanto maior a temperatura, maior o volume ocupado pelo gás⁴.

i.3) Experimento

Um adulto deve sempre estar supervisionando a realização deste experimento.

Coloque no prato a vela acesa, de pé, e derrame água. Cubra vagarosamente a vela com um copo de boca larga. A vela se apagará devido à falta de oxigênio. A

⁴ Consideramos neste experimento que o volume ocupado por n moléculas de O_2 é o mesmo ocupado por n moléculas de CO_2 , quando mantidos à mesma pressão. O anexo demonstra que essa é uma boa aproximação.

ausência da chama permite que o ar dentro do copo esfrie, causando diferença de pressão entre o ambiente e a parte interna, fazendo com que mais água entre no copo⁵.



Figuras 13 e 14: expansão do ar quente.

j) Pressão de coluna de água [8]

j.1) Material

- Garrafa PET, copo descartável ou similares;
- Água.

j.2) Requisitos teóricos

Considere um recipiente, que contenha água, em queda com aceleração constante \vec{a} , onde $|\vec{a}| \leq |\vec{g}|$. A pressão medida num ponto M dentro do líquido pode ser escrita como:

$$P_{total} = P_{atmosferica} + \rho_{H_2O} \times h \times (g - a)$$

onde ρ_{H_2O} representa a densidade da água.

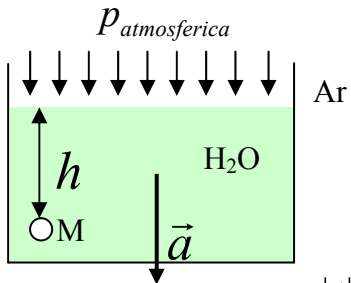
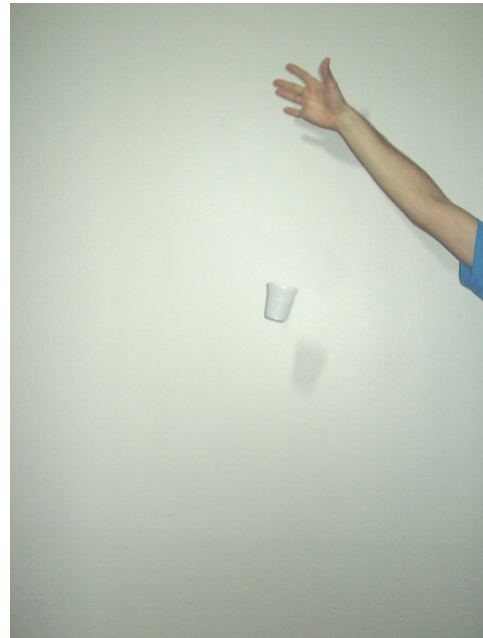


Figura 15: Recipiente em queda com $|\vec{a}| \leq |\vec{g}|$

⁵ É preciso usar pouca água dentro do copo, pois caso contrário a pressão ao redor da vela será muito maior que a ambiente enquanto o ar estiver quente. Com isso a diminuição de pressão não será suficiente para empurrar a água para dentro do copo.

j.3) Experimento

Um furo é feito na base do recipiente, que é preenchido com água. Deixa-se a água fluir pelo furo, com o recipiente suspenso. Quando o mesmo é abandonado em queda livre, a água para de sair pelo furo, pois não há mais diferença de pressão significativa no interior do fluido.



Figuras 16 e 17: água em queda livre.

4. Bibliografia

[1] http://educacao.aol.com.br/colunistas/adilson_oliveira/0016.adp
(consultado em 15/04/2005)

[2] A. Sayad, Revista Educação, .capa., ed 95.

[3] F. Resende, A. M A. Lopes e J. M. Egg, Ciência e Educação,
Vol. 10 nº 2, disponível em:
<http://www.fc.unesp.br/pos/revista/pdf/revista10vol2/a7r10v2.pdf>
(consultado em 15/04/2005)

[4] Sugestão do Prof. Dr. José Joaquin Lunazzi

[5] <http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica10>
(consultado em 15/04/2005)

[6] Sugestão do Físico Hugo Meneguele.

[7] Apresentado por Sérgio Orsini, professor de Física do Ensino Médio.

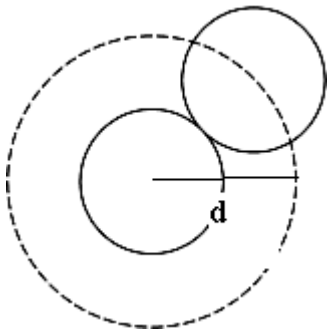
[8] E. C. Valadares, Física Mais que Divertida, Editora UFMG.

[9] Texto copiado na íntegra de:
http://pt.wikibooks.org/wiki/Curso_de_termodin%C3%A2mica:Equa%C3%A7%C3%A3o_de_estado_de_Van_der_Waals (consultado em 12/06/2005)

Anexo [9]

N moléculas, postas num recipiente de volume V podem se deslocar no volume total V só se o volume ocupado pelas moléculas for nulo. Em realidade, as moléculas ocupam um volume não nulo e existe, no recipiente, um certo volume excluído, não disponível para o deslocamento das moléculas.

Sejam duas moléculas supostamente esféricas e de diâmetro d . O volume excluído para este par de moléculas, (ou o volume inacessível para cada um dos dois centros de gravidade), é uma esfera de raio d :



$$\text{Volume excluído por par} = \frac{4}{3} \pi d^3$$

$$\text{Volume excluído por molécula} = \frac{1}{2} \left(\frac{4}{3} \pi d^3 \right)$$

$$\text{Volume excluído por mol} = b = \frac{2}{3} N_A \pi d^3$$

Observamos que o volume excluído representa 4 vezes o volume ocupado pelas moléculas. O volume realmente disponível no recipiente de volume V contendo n mol de gás é :

$$V_{\text{excluído}} = V_{\text{recipiente}} - nb$$

A equação de estado, baseada sobre a equação dos gases perfeitos, se escreve então :

$$P = (V_{\text{recipiente}} - nb) nRT$$

Efeito das forças de atração intermoleculares

A pressão P que intervém na equação de estado de um gás é, de forma rigorosa, a pressão que obriga as moléculas a ficar no recipiente de volume V . Na ausência de interações, esta pressão é idêntica à pressão aplicada fora do recipiente, P_{ext} .

As forças de atração entre as moléculas são equivalentes a uma pressão "interna" P_{int} , que reduz a pressão externa necessária para manter o gás no volume V . A pressão recebida pelo gás mesmo é $P = P_{\text{ext}} + P_{\text{int}}$. Para expressar quantitativamente P_{int} , escolhe dois pequenos elementos de volume v_1 e v_2 ao acaso no gás e contendo 1 molécula cada um. A força de atração entre v_1 e v_2 é f . Juntando uma segunda molécula em v_1 , a força de atração se torna $2f$. Juntando uma terceira molécula em v_1 a força de atração fica $3f$, etc. O efeito é o mesmo juntando as moléculas em v_2 . A força de atração entre v_1 e v_2 é então proporcional a c_1 , a concentração de moléculas em v_1 e a c_2 , a concentração de moléculas em v_2 . Em média, a concentração de moléculas no gás é c , idêntica em todo volume. Em consequência, a força entre os dois elementos de volume v_1 e v_2 é

proporcional a c_2 . Da mesma maneira, P_{int} é proporcional a c_2 . O coeficiente de proporcionalidade, anotado \underline{a} , depende da natureza química do gás estudado.

Equação de Van der Waals

A equação de Van der Waals se obtêm substituindo P por $(P_{ext} + P_{int})$:

$$(P_{ext} + \frac{an^2}{V^2})(V_{recipiente} - nb) = nRT$$

Em prática, escreveremos P no lugar de P_{ext} más lembrando -se que P representa a pressão externa imposta ao gás, tal que um experimentador pode medir-la por meio de um pistão, por exemplo.

Escreveremos igualmente V no lugar de $V_{recipiente}$ para representar o volume total do recipiente.

$$(P + \frac{an^2}{V^2})(V - nb) = nRT \quad \text{ou ainda :} \quad (P + \frac{a}{\bar{V}^2})(\bar{V} - b) = RT$$

se \bar{V} é o volume total expresso por mol de gás.

Avaliação da equação de Van der Waals

Ponto crítico

As curvas P(V) para CO₂ mostram o efeito do equilíbrio líquido-vapor sobre a equação de estado do gás. Por exemplo, um aumento da pressão aplicado sobre CO₂ a 13°C leva inevitavelmente à liquefação. No aparecimento da primeira gota de líquido, o volume molar diminui muito. A pressão fica constante durante a permanência simultânea do gás e do líquido em equilíbrio apesar da diminuição do volume que passa paulatinamente do volume molar (elevado) do gás ao volume (menor) do líquido. Durante todo este processo, temos :

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = 0 \quad \text{É também o caso à temperatura } T_c, \text{ mesmo se, neste momento, temos volumes molares iguais para o gás e o líquido. Observa-se também que P(V) apresenta um ponto de inflexão à temperatura } T_c \text{ o que quer dizer :}$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_{T_c} \text{ é negativo e diminui se } P \leq P_c \text{ e } P \geq P_c \text{ por conseqüência,}$$

$$\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_{T_c} = 0$$

no ponto crítico

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = -\frac{nRT}{(V-nb)^2} + \frac{2an^2}{V^3} \quad \left(\frac{\partial^2 P}{\partial P}\right)_T = \frac{2nRT}{(V-nb)^3} - \frac{6an^2}{V^4}$$

Para calcular a equação de Van der Waals no ponto crítico, precisa então achar a temperatura T_c , a pressão P_c e o volume V_c tais que :

$$\frac{nRT_c}{(V_c nb)^2} + \frac{2an^2}{V_c^3} = 0 \quad e \quad \frac{2nRT_c}{(V_c - nb)^3} - \frac{2an^2}{V_c^4}$$

As soluções destas equações são :

$$\frac{V_c}{n} = 3b \quad T_c = \frac{8a}{27Rb} \quad P_c = \frac{a}{27b^2}$$

onde V_c/n é o volume molar crítico . Esta equação conduz a um valor constante de Z_c

$$Z_c = \frac{P_c V_c}{nRT_c} = \frac{3}{8} = 0,375$$

No inverso, podemos calcular, por meio destas equações, um valor dos parâmetros a e b a partir dos parâmetros críticos:

$$b = \frac{1}{3} \frac{V_c}{n} \quad a = 3P_c \left(\frac{V_c}{n}\right)^2 \quad R = \frac{8}{3} \frac{P_c V_c}{nT_c}$$

Na equação de estado de Van der Waals, R não é então mais uma constante, mas depende do gás. Em prática, porém, conservamos freqüentemente R como constante e calculamos só a e b a partir das condições críticas .

Tamanho das moléculas

Podemos calcular para cada gás os parâmetros a e b da equação de Van der Waals que reproduz melhor as observações experimentais de P e V em relação a T . Alguns valores são dados nas primeira e a segunda colunas da seguinte tabela :

| Gás | a(atm.L².mol⁻²) | b(L.mol⁻¹) | d(A)calculado |
|-----------------|--|------------------------------|----------------------|
| N ₂ | 1,39 | 0,0391 | 3041 |
| O ₂ | 1,36 | 0,0318 | 2,93 |
| CO ₂ | 3,59 | 0,0427 | 3,23 |
| H ₂ | 0,244 | 0,0266 | 2,76 |
| He | 0,034 | 0,0237 | 2,66 |

Podemos , a partir de b , calcular o volume de uma molécula de gás e assim estimar o diâmetro da molécula (supondo que esta molécula seja esférica).