

Determinando o Número de Avogadro pelo método de J. Perrin

A. Bebeachibuli, L. H. Libardi, V. S. Bagnato,
Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo

Resumo: Neste trabalho repetimos o famoso experimento para a determinação do número de Avogadro usando uma suspensão de partículas sólidas. O experimento é simples e pode ser repetido como parte do Laboratório de Física Moderna.

Abstract: We present the experiment to determine the Avogadro's number from a suspension of solid particles under the action of gravitational field. The experiment is easy and can be reproduced as a practice laboratory in undergraduate course.

I- Introdução

Um dos maiores avanços científicos da ciência moderna foi a atomística. Saber que tudo é constituído de átomos foi o passo fundamental para o grande avanço técnico-científico que hoje vivemos. O desenvolvimento da atomística não foi fácil em vista da tecnologia da época. Saber somente que tudo era constituído de átomos, não era suficiente, era preciso determinar o tamanho atômico, isto é, o fator de escala que conecta o mundo atômico ao mundo macroscópico que nos rodeia. Importantes leis da química e da teoria dos gases estabeleceram o chamado peso molar ou MOL, e a determinação do número de átomos (ou moléculas) contidas no mol, constitui o fator de escala procurado. Este número é o "número de Avogadro (N_0). Vários métodos foram usados na determinação de N_0 , em especial, um deles é interessante pela sua simplicidade e facilidade de ser implementado em qualquer curso de física elementar.

II- Uma Breve Nota sobre J. Perrin [1]

Jean Baptiste Perrin nasceu em Lille, no dia 30 de Setembro de 1870. Foi educado na "École Normal Supérieure", começando como assistente em física no período de 1894-1897 quando começou suas pesquisas com raios catódicos e raios-X. Ele recebeu o grau de "docteur ès sciences" em 1897



com uma tese em raios catódicos e raios Röntgen e foi designado, no mesmo ano, para um lectorado em química física na Sorbonne (Universidade de Paris). Tornou-se Professor local em 1910.

O trabalho pelo qual ele é melhor conhecido é o estudo de colóides e, em particular, o movimento de Browniano. Seus resultados neste campo puderam confirmar os estudos teóricos de Einstein nos quais foi mostrado que partículas coloidais deveriam obedecer as leis dos gases e consequentemente usar estas propriedades para obter o número de Avogadro N_0 .

O valor medido por ele concordou excelentemente com outros valores obtidos por métodos completamente diferentes (seu estudo se trata da sedimentação em equilíbrio de suspensões que contêm partículas microscópicas de tamanho uniforme). As medidas de Perrin foram fundamentais para a evolução da atomística e sua realização foi recompensada com o Prêmio Nobel em 1926.

Manteve doutorados honorários em várias Universidades. Em 1923 ele foi eleito para a Academia Francesa de Ciências.

Perrin foi também um oficial no corpo de exército de engenharia durante a Primeira Guerra. Quando os alemães invadiram seu país em 1940, ele fugiu para os EUA onde morreu

em 7 de abril de 1942. Depois da Guerra, em 1948, seus restos mortais foram transferidos à sua pátria pelo couraçado Jeanne d'Arc, e foi enterrado no Panthéon.

III- O Experimento de Perrin [1]

A medida do número de Avogadro consiste em contar, direta ou indiretamente, o número de constituintes num MOL. Os átomos (ou moléculas) são extremamente pequenos para serem contados diretamente. Perrin procurou um sistema físico onde as partículas fossem pequenas o suficiente para se comportarem como um gás mas grandes o suficientes para serem contadas. Da sua vasta experiência, como o estudo do movimento Browniano, Perrin notou que o movimento aleatório das partículas assemelhava-se muito com o movimento de moléculas com tanto sucesso tratados pela teoria cinética dos gases.

A idéia de Perrin foi considerar uma suspensão constituída de partículas pequenas o suficiente para se comportarem como moléculas de um gás (devido ao seu movimento aleatório), mas grandes o suficiente para terem sua massa individual medida, comportariam-se como um sistema gasoso.

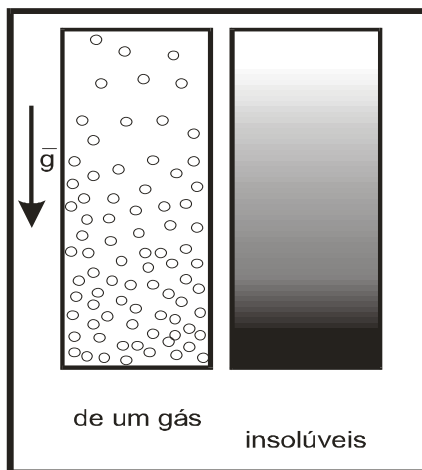


Figura 1: Comparação da distribuição das partículas suspensas num líquido com um sistema gasoso na presença do campo gravitacional.

Um gás ideal na presença de um campo gravitacional distribui-se obedecendo a conhecida fórmula barométrica[2,3], segundo a qual a densidade de moléculas decresce com a altitude segundo a lei experimental

$$n(z) = n_0 \exp\left(-\frac{Mgz}{RT}\right)$$

onde $n(z)$ é a densidade a uma posição z , n_0 a densidade na superfície, M o mol ou massa molecular das partículas e g a aceleração da gravidade. Se medirmos a distribuição da densidade de um gás no campo gravitacional podemos determinar o valor de seu MOL (M). Se conhecermos a massa de cada partícula (m) do sistema, podemos deter o valor do número de Avogadro através de:

$$N_0 = \frac{MOL}{m}$$

Perrin utilizou uma suspensão de finas partículas na presença do campo gravitacional. Medindo-se a densidade destas partículas como função da altura determina-se o MOL, e conhecendo-se m , obtém-se N_0 . A figura 1 mostra o aspecto geral da distribuição do gás e seu equivalente na suspensão de partículas.

IV- Materiais e Procedimento Experimental

Para o experimento, é necessário o seguinte material:

- tubo de vidro de 1,40 m x 6,3 cm (com um extremo fechado).
- lâmpada incandescente (7,0 W)
- fotocélula
- multímetro
- alumina em pó de pouca dispersão.
- água destilada
- suporte para o tubo e o detetor

Na figura 2, temos a montagem experimental básica:

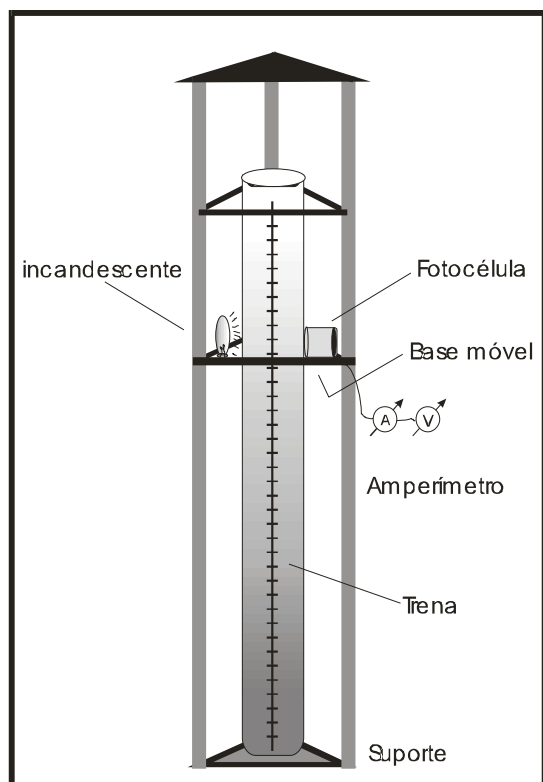


Figura 2: Montagem experimental básica.

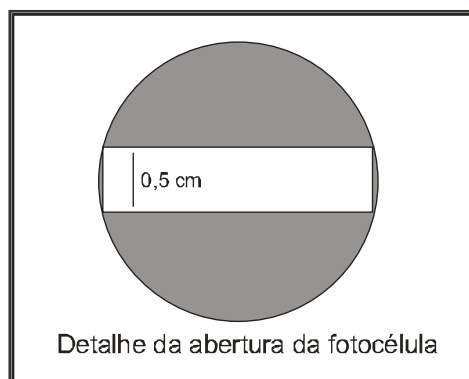


Figura 3: Montagem mostrando a abertura sobre o detector

Num suporte prendemos um tubo de vidro 1,40m x 6,3cm onde foi adicionado uma mistura de água destilada e alumina. Deve-se usar alumina de polimento, para que a dispersão seja pequena e o tamanho médio das partículas não varie muito. Uma lâmpada incandescente e uma fotocélula foram presas em uma base móvel. Foi conectada na fotocélula um amperímetro e um voltímetro

para medir a potência na fotocélula. A idéia geral do experimento consiste em medir ao longo do tubo a intensidade da luz que o atravessou. Dessa forma conseguimos determinar a variação na densidade de partículas com a altura. A intensidade de luz diminui a medida que o número de partículas aumenta e esta diminuição é proporcional à densidade de partículas em cada posição.

Para medir o diâmetro médio das partículas, observamos ao microscópio o pó de alumina e seu tamanho médio é determinado com o auxílio de uma escala milimetrada.

Usamos o aumento de 500 vezes e o tamanho médio do diâmetro obtido a partir de várias partículas observadas foi:

$$D_m = (5.45 \pm 2) \times 10^{-6} \text{ m}$$

A massa da alumina pode ser determinada a partir de sua densidade conhecida que é 3.987 g/cm³. Portanto a massa

$$m = (3.38 \pm 3) \times 10^{-13} \text{ Kg}$$

Para medida do perfil de intensidade começamos incidindo a luz branca no tubo contendo água destilada, medindo a voltagem na fotocélula a cada 2 centímetros do tubo, obtendo assim o "zero" da medida. Desta forma, as imperfeições e eventuais sujeiras no tubo poderão ser eliminadas na medida final.

Seguimos com a preparação da suspensão de alumina em água destilada com uma concentração de 1,22 g/l. Adicionamos a solução no tubo e esperamos a decantação da alumina durante 1 hora e meia. Obtemos assim uma distribuição das partículas no tubo visível a olho nu.

Medimos novamente a voltagem na fotocélula nos mesmos pontos onde medimos o zero.

A partir da corrente e voltagem obtida, pudemos calcular a potência da luz que chegou até a fotocélula. Determinando a potência perdida devido a presença das partículas em função da altura. Este resultado está mostrado na figura 4.

A potência resultante é a diferença entre a potência medida com o valor do "zero" obtido inicialmente usando água pura.

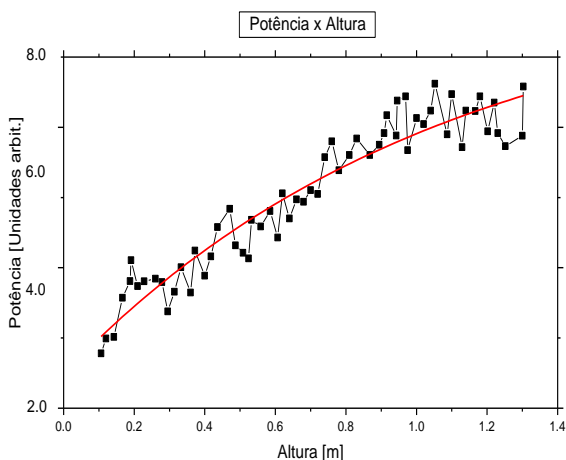


Figura 4: Potência na fotocélula x altura do tubo.

A potência medida na fotocélula é proporcional a intensidade de luz que emerge da solução (I).

Essa intensidade é proporcional à densidade de partículas pela relação:

$$I = I_0 e^{-\sigma n x}$$

onde:

σ = secção de choque

n = densidade de partículas

x = caminho ótico dentro da solução

Assim é possível determinar o número de partículas por:

$$\frac{\ln \frac{I}{I_0}}{\sigma x} = n \Rightarrow \frac{\ln \frac{I}{I_0}}{\pi r_p^2 x} = \frac{N_p}{V}$$

N_p = número de partículas

V = secção volumétrica de medida pelo detector

r_p = raio da partícula

Por fim, determinamos o número de Avogadro construindo o gráfico de:

$$\ln \frac{N_p}{N_{p0}} \text{ versus a posição } (z)$$

Isto está mostrado na figura 5.

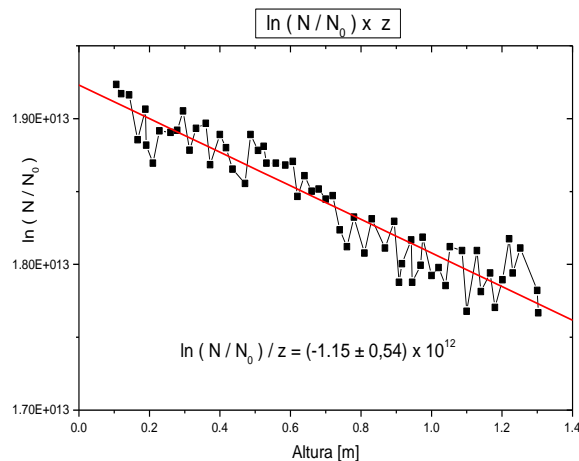


Figura 5: Número de partículas em função da altura.

Lembrando o número de partículas em cada fatia localizada a posição z é:

$$N_p = N_{p0} e^{-\frac{M_p N_0 g z}{RT}}$$

onde:

M_p = massa molecular da alumina

g = aceleração da gravidade

R = constante universal dos gases

T = temperatura em Kelvin

Obtemos então:

$$\frac{\ln \frac{N_p}{N_{p0}}}{z} = (-1.15 \pm 0.54) \times 10^{12} \frac{1}{m}$$

Por fim, para determinarmos o número de Avogadro, usamos:

$$N_0 = \frac{1.15 \times 10^{12} RT}{M_p g} = (8.36 \pm 0.9) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$N_0 = (8.36 \pm 0.9) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Que é um valor bem próximo do valor especificado na literatura [4]:

$$N_0 = 6.022 137 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}.$$

Lembrando que não levamos em conta forças variadas existentes na suspensão o desvio de

~30% com relação ao valor considerado na literatura chega mesmo a ser surpreendente.

V- Conclusão

O número de Avogadro tem uma importância fundamental na ciência pois une o mundo microscópico ao macroscópico.

Como recomendação final a aqueles que farão este experimento lembramos que a utilização de água destilada fez com que as partículas de alumina ficassem mais impregnadas na parede do tubo. Recomendamos o uso de água comum filtrada. O posicionamento da fotocélula deve ser o mesmo na medida do "zero" e da suspensão. A luz ambiente não deve incidir no sensor.

A granulação da alumina deve ser uniforme, pois o tamanho médio das partículas é fundamental no cálculo de N_0 .

A medida ao longo do tubo com a suspensão, deve ser rápida pois a decantação varia muito com o tempo.

Referências:

1. From Nobel Lectures Physics 1922-1941.
2. Apostila de Física moderna elementar. Introdução à atomística. Cap. III por V. S. Bagnato e L.G. Marcassa, 1999 - IFSC
3. Qualquer livro básico de química.