



Experimentos com Pinças Óticas

Prof. Nathan Bessa Viana

1 Introdução

Pinças óticas [1], [2] são instrumentos que utilizam luz fortemente focalizada por uma lente para prender objetos próximos ao foco da mesma. Realizaremos nesta escola dois experimentos nos quais serão utilizadas as principais ferramentas de um laboratório de pinças óticas. Entre elas destacamos a microscopia ótica, a micromanipulação de objetos e a análise de imagens.

2 Movimento Browniano Livre

Neste experimento analisaremos o movimento Browniano livre de uma esfera de poliestireno em solução aquosa através da observação do movimento da mesma, capturado por videomicroscopia. Este é um experimento clássico que permite determinar o raio da esfera ou a viscosidade do meio em que ela está envolvida. Usaremos uma esfera de poliestireno de raio $a = 1,50 \pm 0,02 \mu m$ e a viscosidade da água $\eta = 10^{-3} Ns/m^2$ para fazer uma determinação experimental da constante de Boltzmann, que fornece uma idéia da magnitude das flutuações térmicas.

2.1 Teoria

O desvio quadrático médio de uma esfera devido a seu movimento Browniano num plano é dado por:

$$\langle \Delta r^2 \rangle = 4Dt, \quad (1)$$

onde D é o coeficiente de difusão. O coeficiente de difusão está relacionado com o coeficiente de fricção da esfera β e a temperatura absoluta T da amostra:

$$D = \frac{k_B T}{\beta}, \quad (2)$$

onde k_B é a constante de Boltzmann.

Em um fluido isotrópico e homogêneo, no limite de baixo número de Reynolds, o coeficiente de fricção de uma esfera de raio a é dado por:

$$\beta_0 = 6\pi\eta a. \quad (3)$$

Se a isotropia for quebrada e uma parede plana rígida infinita, impermeável ao fluido for introduzida, o coeficiente de fricção passa a depender da distância que a esfera se encontra da parede:

$$\beta = \beta_0 \left(1 - \frac{9a}{16h} + \dots \right)^{-1}, \quad (4)$$

onde h é a distância do centro da esfera à parede plana.

2.2 Procedimentos Experimentais

- (1) Usando a pinça ótica capture uma esfera e leve-a, utilizando o sistema de micromanipulação, para uma região que não contenha muitas outras esferas. Mova também a esfera para longe da superfície da lamínula com a qual é feito o porta-amostras, de modo que $h \sim 10a$.
- (2) Coloque o sistema de captura de imagens para gravar um filme com uma taxa de captura de cerca de 30 quadros por segundo.
- (3) Ao interromper o laser que gera a pinça ótica a esfera passa a executar um movimento Browniano livre. Interrompa o laser por cerca de 5 segundos tornando a estabelecer a pinça ótica ao final da interrupção.
- (4) Registre no computador o vídeo do experimento no formato AVI.
- (5) Use o programa ImageJ (IJ) para abrir o filme gravado. Converta-o em formato 8-bit para ser realizado o processo de “binarização” das imagens. A “binarização” é um passo intermediário para que o programa IJ, utilizando um algoritmo que encontra o centro de estruturas em imagens, possa determinar o centro da esfera em cada instante de tempo.
- (6) Através da função do IJ, “Analyse Particles”, analise o vídeo para obter uma tabela da posição da esfera (em pxl) em função do tempo. Converta a posição para microns utilizando a relação adequada que depende da lente usada no microscópio.
- (7) Copie o resultado da análise das imagens no programa Kaleidagraph para fazer a análise dos dados.
- (8) A partir dos dados determine o valor de $\Delta r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$ para cada par de imagens coletadas com um intervalo de tempo t . Faça uma média com os resultados obtidos para todo o filme. Repita o procedimento variando o intervalo de tempo t entre as imagens.
- (9) Faça um gráfico de $\langle \Delta r^2 \rangle$ por t e usando a Equação 1 determine o coeficiente de difusão D .
- (10) A partir do coeficiente de difusão obtido e dos valores de a e de η determine o valor para a constante de Boltzmann.

3 Método de Stokes para Calibração de Pinças Óticas

Neste experimento calibraremos a pinça ótica utilizando o método da força de Stokes. O método consiste, basicamente, em mover o estágio do microscópio com velocidade constante conhecida e medir a mudança na posição de equilíbrio da esfera presa na pinça ótica. Para deslocamentos da ordem de metade do raio da esfera, o potencial ótico de aprisionamento da mesma é aproximadamente harmônico, o que faz com que a pinça ótica possa ser tratada como uma “mola”. Igualando a força de Stokes com a força ótica a constante elástica da pinça ótica é determinada.

3.1 Teoria

O centro de massa de uma esfera presa pela pinça ótica executa um movimento Browniano confinado. A partícula está sujeita a um potencial harmônico e a sua posição média em relação à posição de equilíbrio na pinça ótica é nula. As flutuações de posição nesse caso são muito pequenas, da ordem de nanômetro. É possível caracterizar as flutuações em torno da posição de

equilíbrio na pinça ótica e assim, usando o teorema da equipartição da energia, encontrar que $\langle \Delta x^2 \rangle = \frac{k_B T}{\kappa}$, onde κ é a constante elástica da pinça ótica na direção x . No entanto esse método requer um sistema de vídeo com altas taxas de captura e filmes grandes para que se obtenha uma estatística boa das flutuações de posição. O método de Stokes é mais simples. Ele consiste em colocar o estágio do microscópio em movimento com velocidade conhecida de modo que o módulo da força de atrito sobre a esfera (F_S) é dado por:

$$F_S = \beta V, \quad (5)$$

onde V é a velocidade de deslocamento do estágio do microscópio. A força de Stokes atuando sobre a esfera retira-a de sua posição de equilíbrio até que seja equilibrada pela força ótica, cujo módulo é dado por:

$$F_O = \kappa \Delta x, \quad (6)$$

sendo Δx a mudança da posição de equilíbrio da esfera devido à ação da força de Stokes. Igualando as Equações 5 e 6 encontramos a constante elástica da pinça ótica:

$$\kappa = \frac{\beta V}{\Delta x}. \quad (7)$$

3.2 Procedimentos Experimentais

- (1) Verifique a calibração de velocidade do estágio do microscópio. Para isso, use uma esfera presa na lamínula, coloque o estágio para mover e através da análise do movimento meça sua velocidade V de deslocamento.
- (2) Capture uma esfera com a pinça ótica. Certifique-se que na região de observação da amostra não haja muitas outras esferas. Coloque o estágio para mover com velocidade V controlada e registre um filme do processo.
- (3) Através da análise do filme realizado determine a variação da posição de equilíbrio Δx (ou Δy) da esfera na pinça ótica e assim, obtenha a constante elástica κ utilizando a Equação 7.

Referências

- [1] K. C. Neuman e S. M. Block, Rev. Scient. Instr. **75**, 2787 (2004).
- [2] N. B. Viana, M. S. Rocha, O. N. Mesquita, A. Mazolli, P. A. Maia Neto e H. M. Nussenzveig, Phys. Rev. E, **75**: 021914 (2007).