

IX Olimpíada Ibero-Americana de Física

Salvador, Setembro de 2004

1 Experimento/Experiência I: Medidas de viscosidade; Lei de Stokes

1.1 Objetivo

O objetivo deste experimento é estudar a viscosidade de um fluido (detergente líquido) e o efeito que exerce sobre objetos em movimento no seu seio.

1.2 Introdução

A Mecânica dos fluidos estuda o movimento de fluidos em tubos, ou de objetos no interior de fluidos. De maneira geral, o movimento relativo de sólidos e fluidos só pode ser descrito de forma simples em situações de baixa velocidade. Nessa situação dizemos que o regime de escoamento do fluido é laminar, pois o fluido se comporta como se fosse composto de camadas muito finas que deslizam, com atrito, umas sobre as outras. A forma dessas lâminas depende da simetria do problema. Nas condições de regime laminar define-se o coeficiente de viscosidade, η .

Em 1850, G. G. Stokes mostrou que, para escoamento laminar, a força de arrasto exercida sobre uma esfera de raio r deslocando-se com velocidade \vec{v} num fluido infinito de viscosidade η , era dada por:

$$\vec{F}_S = -6\pi\eta r\vec{v}. \quad (1)$$

Quando há paredes próximas (ou seja, se a hipótese de meio infinito não for satisfeita) devem ser feitas correções à lei de Stokes (1). No caso de uma esfera caindo verticalmente ao longo do eixo de uma coluna cilíndrica de comprimento H e raio interno $R > r$, Ladenburg, Emersleben e Faxén determinaram que a força de arraste/resistência calculada por Stokes deve ser corrigida da seguinte forma:

$$\vec{F}_S = -6\pi\eta\lambda r\vec{v},$$

sendo que, na aproximação $R \gg r$ e $H \gg r$ e para baixas velocidades, o parâmetro λ é dado por

$$\lambda = \left(\frac{1 + 3,3 \left(\frac{r}{H} \right)}{1 - 2,104 \left(\frac{r}{R} \right) + 2,09 \left(\frac{r}{R} \right)^3} \right).$$

1.3 Questão

Considere uma esfera em queda vertical ao longo do eixo do cilindro. Escreva a segunda lei de Newton para o movimento da esfera. Tenha em conta que sobre a esfera actua o peso, a força de resistência e o empuxo/impulsão.

A viscosidade do fluido faz com que a esfera alcance uma velocidade limite, v_{lim} . Mostre que essa velocidade limite é dada por

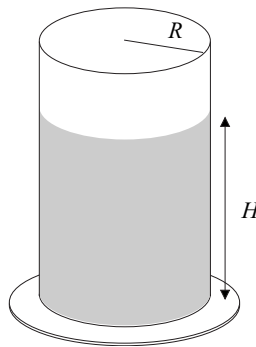
$$v_{\text{lim}} = \frac{2(\rho_{\text{esf}} - \rho)}{9\eta\lambda} g r^2,$$

onde ρ_{esf} é a densidade da esfera, ρ é a densidade do líquido e g a aceleração da gravidade.

1.4 Experimento / Experiência

1.4.1 Material

- Uma proveta com aproximadamente 1 litro de detergente.
- 20 esferas metálicas de diâmetros 1,5 mm, 2,0 mm, 2,5 mm e 3,0 mm (5 de cada). Considere que a incerteza na medida do diâmetro é desprezível/desprezável.
- cronômetro
- régua graduada
- fita adesiva / fita-cola
- papel milimetrado/milimétrico.



Precaução: todas as esferas, uma vez utilizadas, devem permanecer no fundo da proveta; **NÃO TENHA TENTAR RETIRÁ-LAS.**

1.4.2 Dados

- Densidade do detergente: $\rho = 1,029 \pm 0,004 \text{ g/cm}^3$,
- Densidade das esferas metálicas: $\rho_{\text{esf}} = 7,8 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$
- Diâmetro interno da proveta: $60,5 \pm 0,5 \text{ mm}$.
- $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

1.4.3 Medidas e Análise

1. Determine experimentalmente a velocidade limite de queda para esferas de diferentes diâmetros, tendo cuidado de deixar cair as esferas o mais perto possível do eixo da proveta. Explique o procedimento utilizado e estime o erro das suas medidas.
2. Construa um gráfico em papel milimetrado/milimétrico de $v_{\text{lim}}(r)$
3. Obtenha o coeficiente de viscosidade do detergente, η . Estime a incerteza do seu resultado.
4. O regime em que se dão os fenômenos dinâmicos em fluidos pode ser avaliado com a introdução de um parâmetro adimensional, denominado número de Reynolds. No caso em questão o número de Reynolds vem dado por

$$\mathcal{R} = \frac{2r\rho v_{\text{lim}}}{\eta}. \quad (2)$$

Um valor $\mathcal{R} \ll 1$ indica que a aproximação laminar é razoável. Verifique a condição de regime laminar para os experimentos realizados com as diversas esferas utilizadas.

IX Olimpíada Ibero-Americana de Física

Salvador, Setembro de 2004

2 Experimento/Experiência II: Interferometria e polarização

2.1 Introdução histórica

Albert Abraham Michelson e Edward Williams Morley realizaram, em 1887, o que ficou conhecido como o experimento de Michelson-Morley. Nesse célebre experimento, não foi observado qualquer movimento da Terra relativamente ao Éter, meio hipotético no qual acreditava-se que as ondas de luz se propagassem, embora a sensibilidade do aparato/dispositivo fosse suficiente para a observação do efeito esperado, caso existisse. Esse resultado tornou-se um dos mais importantes da teoria da relatividade de Einstein. Para realizar esse experimento, Michelson montou um interferômetro.

2.2 Objetivo

Nesta actividade experimental será utilizado um interferômetro semelhante ao de Michelson-Morley para estudar interferometria de luz e sua dependência com a polarização.

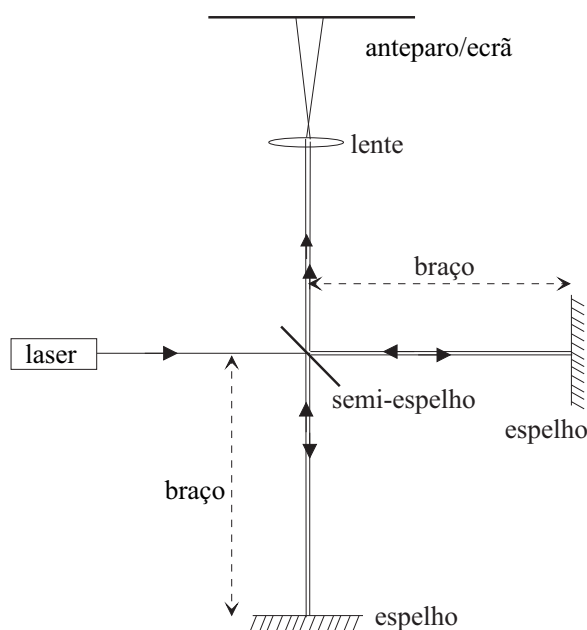


Figura 1: Trajeto dos raios luminosos no interferômetro.

2.3 Experimento / Experiência

Normas de segurança e precaução

1. Não olhe directamente a luz do laser, pois pode provocar lesões permanentes na retina.
2. Não toque, em hipótese alguma, com as suas mãos nenhum dos espelhos ou semi-espelho ou a lente do interferómetro. Podem ser danificados irreversivelmente.

2.3.1 Material

Um interferômetro de Michelson-Morley que consta de: um ponteiro a laser com uma base, dois espelhos planos, um semi-espelho plano e uma lente biconvexa. Dois polarizadores com bases, um polarizador solto, sem base, anteparo/ecrã e papel (ver figura). Os polarizadores estão cortados de forma que o eixo de polarização é paralelo a uma das suas arestas.

2.3.2 Medidas e Observações

1. Ajuste a orientação dos espelhos para obter franjas de interferência no anteparo/ecrã.
2. Desenhe um esquema do que observa no anteparo/ecrã.
3. Que partes do diagrama correspondem:
 - (a) ao padrão de interferências?
 - (b) a possíveis imperfeições do feixe do laser?
4. Como se podem distinguir ambas as contribuições?
5. Será possível determinar, de maneira única, com os elementos de que dispõe, a direção de polarização do feixe laser? Explique.
6. Coloque um polarizador com base em cada braço do interferômetro (entre o semi-espelho e cada espelho plano), de modo a que chegue luz ao anteparo/ecrã de observação proveniente de cada braço do interferômetro.

Assegure-se que a polarização da luz proveniente de um braço é perpendicular à polarização da luz proveniente do outro braço. Como realizou esta verificação?

Qual é a polarização relativa dos polarizadores com base?

Descreva detalhada e ordenadamente o seu procedimento.
7. Explique detalhadamente por que não observa mais franjas de interferência (ou o contraste das franjas é extremamente reduzido) com a configuração do item anterior.
8. Utilizando o polarizador solto, recupere as franjas de interferência sem mexer nos braços do interferômetro nem nos polarizadores com base neles colocados. Explique o procedimento e o resultado em termos de polarização da luz.