



SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA

Olimpíadas de Física 2015

Seleção para as provas internacionais

Prova Experimental A

16/maio/2015

Olimpíadas de Física 2015
Seleção para as provas internacionais
Prova Experimental A

Master Chef Lobo Mau

Duração da prova: 2 h

1 Material

- Copo com volume medido de detergente verde concentrado
- Proveta para medida de volumes de água
- Água
- Esfera de chumbo ($\rho = 11,34 \text{ g/cm}^3$)
- Fio para suspensão da esfera
- Suporte para suspensão da esfera
- Cronómetro
- Balança
- Craveira, fita métrica
- Agitador
- Papel milimétrico

2 Objetivos

Determinar a diluição óptima de um detergente líquido concentrado.

3 Descrição

O Lobo Mau ganhou uma bolsa para desenvolver técnicas avançadas em culinária científica. Com a primeira mesada de bolsa começou logo a provar receitas de porquinho cozinhado de todas as maneiras na cidade para onde foi estudar. Ao fim de uma semana já tinha esgotado a mesada e acabou a lavar louça à mão no seu restaurante favorito para se aguentar o resto do mês. Nesse restaurante usam um detergente concentrado de alta qualidade, que é necessário diluir para poupar nos gastos da cozinha. O Lobo Mau prefere usar o detergente mais concentrado para aumentar a rapidez do processo de lavagem de louça e vai procurar determinar qual

será a diluição mínima que tem de fazer para que o detergente que usa não tenha um aspecto muito diferente, isto é, não tenha uma viscosidade muito maior do que a habitual do detergente demasiado diluído. O Lobo Mau sabe que as soluções aquosas de elevada viscosidade têm um aumento de viscosidade muito acentuado quando a concentração das moléculas constituintes aumenta acima de um limiar – a concentração de entrelaçamento (*entanglement*), a partir do qual as moléculas começam a entrelaçar-se, dificultando o seu movimento relativo. É este limiar que o Lobo Mau pretende utilizar como diluição óptima para o detergente. A variação da viscosidade η com a concentração volúmica c_V (quociente entre o volume do soluto e o volume total) é dada pela expressão:

$$\eta = A c_V^B \quad (1)$$

em que a constante A e o expoente B são característicos de cada regime de viscosidade. A concentração de entrelaçamento é definida como a concentração acima da qual a variação da viscosidade passa a ser regida por constantes A e B diferentes das observadas a baixas concentrações, ou seja, em que o regime de elevada viscosidade passa a ser preponderante.

4 Execução

⚠ Advertência ⚠

ATENÇÃO: Nesta experiência não se pode voltar atrás na diminuição da concentração do detergente, pelo que é necessário ler com cuidado toda a prova antes de qualquer manipulação e pensar na quantidade de água que se deve adicionar de cada vez.

O plano da experiência é medir a viscosidade do detergente à medida que se lhe vai misturando água. Como não pode usar uma grande quantidade de detergente na experiência, o Lobo Mau optou por medir o período de oscilação T de um pêndulo simples formado por uma esfera a oscilar dentro da solução aquosa, dado pela seguinte equação:

$$T = \frac{16\pi\omega_0}{8\omega_0^2 - \left(\frac{6\pi r}{m}\eta\right)^2} \quad (2)$$

em que r e m são o raio e a massa da esfera, η a viscosidade do fluido (em Pa s) e $\omega_0 = \sqrt{g_e/l}$ a frequência angular do pêndulo não amortecido (sem resistência viscosa), de comprimento l , considerando a aceleração gravítica reduzida pela impulsão sentida pela esfera de densidade ρ_s no fluido de densidade ρ_f : $g_e = (1 - \rho_f/\rho_s)g$. A expressão do período é válida para oscilações de baixa amplitude e para velocidades baixas, para as quais é válida a lei de Stokes que diz que a força de resistência viscosa sentida pela esfera em movimento no fluido é proporcional à velocidade \vec{v} :

$$\vec{F} = -6\pi r \eta \vec{v}. \quad (3)$$

Para reproduzir a experiência do Lobo Mau, deve ser usada a esfera fornecida como pêndulo e manter ao longo da experiência o mesmo comprimento do fio de suspensão.

1. Meça com o cronómetro o período de oscilação com a esfera totalmente imersa no detergente. à medida que o vai diluindo com água. Diluições abaixo de 15 ml de água para 100 ml de detergente concentrado resultam num amortecimento demasiado grande para se obterem valores razoáveis do período ou mesmo qualquer oscilação (amortecimento

super-crítico). Use o agitador para homogeneizar a solução. Registe os dados numa tabela.

2. Determine a viscosidade do detergente à medida que o dilui com água e complete a tabela com estes valores.

5 Análise dos dados

1. Represente os resultados obtidos para a viscosidade em função da concentração de detergente, sob a forma de gráfico.
2. Use um método gráfico para obter a concentração de entrelaçamento do detergente fornecido, que poderá variar com a temperatura da solução.

6 Resolução

O pêndulo usado nas medidas ilustrativas era constituído por uma bola de chumbo (densidade 11340 kg/m³) de 80,7 g de massa e ~ 23,9 mm de diâmetro, suspensa por um fio de 23 cm de comprimento. Iniciou-se a experiência com 200 ml de detergente concentrado, para o qual o pêndulo não tem oscilação pois a viscosidade é suficientemente elevada para se atingir uma situação de amortecimento super-crítico. Adicionando 10 ml de água de cada vez, já se consegue medir um período (com uma imprecisão muito grande) com 20 ml de água. O primeiro ponto aproveitável no gráfico é o obtido com 30 ml de água adicionada. É necessário homogeneizar a solução de cada vez que se adiciona água, utilizando para tal a vareta fornecida. O período de oscilação do pêndulo para cada diluição foi obtido medindo com o cronómetro várias vezes o tempo de cinco oscilações completas. Para as concentrações mais altas não foi possível medir o tempo de cinco períodos devido ao amortecimento acentuado da oscilação. A viscosidade é calculada pela relação apresentada no guião. A densidade do detergente varia pouco com a diluição com água, entre 1040 kg/m³ e 1036 kg/m³ (para a diluição maior experimentada), pelo que se utiliza na expressão um valor constante para a densidade do fluido. A tabela seguinte mostra os resultados obtidos, apresentando-se já os cálculos dos logaritmos necessários ao desenho do gráfico adequado. A repetição da medida nalguns valores de concentração é demonstrativa dos erros de medida.

$V_{\text{det.}} \text{ (ml)}$	$V_{\text{água}} \text{ (ml)}$	Conc. det. (c_V)	$\ln c_V$	$\eta \text{ (Pas)}$	$\ln \eta$
200	30	0,870	-0.13976	2.358	0.85781
200	40	0,833	-0.18232	2.019	0.7026
200	50	0,800	-0.22314	1.756	0.56304
200	50	0,800	-0.22314	1.822	0.59993
200	50	0,800	-0.22314	1.760	0.56531
200	60	0,769	-0.26236	1.487	0.39676
200	70	0,741	-0.30010	1.418	0.34925
200	70	0,741	-0.30010	1.360	0.30748
200	80	0,714	-0.33647	1.241	0.21592
200	90	0,690	-0.37156	1.223	0.20131
200	100	0,667	-0.40547	1.193	0.17647
200	100	0,667	-0.40547	1.132	0.12399

A relação entre a viscosidade e a concentração $\eta = Ac_V^B$ pode ser linearizada para representar graficamente os resultados de um modo vantajoso a observar-se e determinar-se a concentração a que se dá a transição de regimes: $\ln \eta = \ln A + B \ln c_V$.

Cada um dos regimes é observado como uma variação linear no gráfico de $\ln \eta$ em função do $\ln c_V$. As rectas podem ser ajustadas visualmente no gráfico desenhado em papel milimétrico. A intersecção das duas rectas define a concentração de entrelaçamento, que no caso das medidas apresentadas é de $c_V = 0,69$.

É de notar que a viscosidade é nestas gamas de valores fortemente dependente da temperatura do fluido. Por outro lado, os valores obtidos para a viscosidade contêm certamente um erro sistemático proveniente da alteração do período de oscilação provocada pela proximidade da parede e do fundo do copo. Apesar deste erro, a variação da viscosidade mostra a dependência esperada duma mudança de regimes devida ao entrelaçamento das moléculas do fluido.

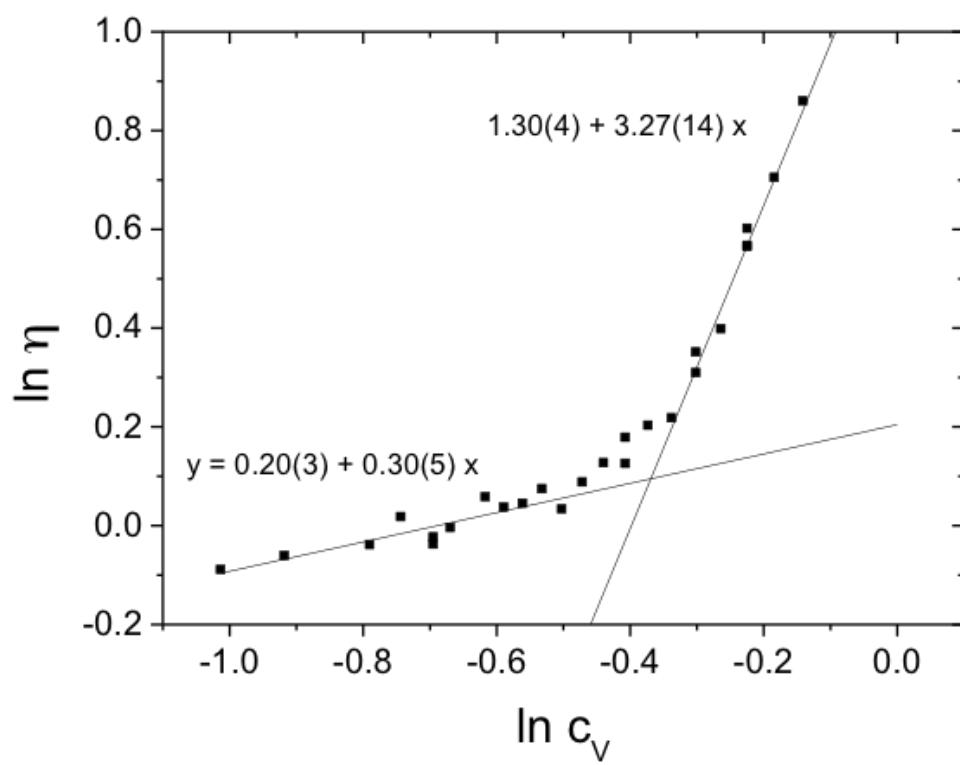


Figura 1: Representação gráfica dos resultados.