



SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA

Olimpíadas de Física 2018

Seleção para as provas internacionais

Prova Experimental A

Nome: _____

Escola: _____

19 de maio de 2018

Material Granular

Duração da prova: 2h

1 Material

- Tabuleiro plástico, lixa e suporte ajustável em altura
- Proveta e copo graduado
- Areia “normal” de praia e areia colorida
- Garrafa de plástico cortada e tampas com furos diferentes dimensões
- Régua, craveira, colher e agitador
- Recipiente de plástico
- Balança digital
- Papel milimétrico
- Cronómetro digital
- Tubo graduado fechado, contendo areia de praia e água

ATENÇÃO: Não misture os dois tipos diferentes de areia (a areia “normal” e a areia colorida são diferentes). Use a areia correta para cada experiência.

2 Objetivos

Investigar as propriedades físicas de um material granular, a areia.

3 Descrição

A grande maioria das experiências de mecânica realizadas nos laboratórios das escolas envolvem objetos sólidos como esferas, molas, carros e/ou varetas. Além disso os objetos sólidos são também considerados como objetos rígidos ideais. Infelizmente esta abordagem omite o estudo de outra classe de objetos sólidos omnipresentes na vida real, os materiais granulares. Estes são materiais constituídos por muitos grãos ou partículas de reduzida dimensão; enquanto cada grão ou partícula é um objeto sólido, o comportamento coletivo de um grupo desses grãos ou partículas é geralmente muito diferente do dos corpos rígidos.

As provas seguintes partem de experiências comuns de mecânica, desenhadas para explorar alguns aspetos do comportamento de materiais granulares.

A prova consiste em três partes independentes. Na primeira parte, vamos investigar as propriedades estáticas e dinâmicas de um material granular (areia seca) medindo o ângulo de repouso e o ângulo máximo de estabilidade. Esta experiência dá-nos informação acerca do coeficiente de atrito estático dos grãos de areia. O fluxo mássico da areia seca através de um orifício é investigada na segunda experiência. Na terceira parte, observaremos como a areia sedimenta num fluido. Tendo medido a velocidade de sedimentação da areia, podemos estimar o tamanho médio de um grão de areia.

Valores de algumas quantidades físicas:

$$\begin{aligned} \text{Aceleração gravitacional na superfície da Terra:} & \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2 \\ \text{Viscosidade da água à temperatura ambiente:} & \quad \eta = 8,94 \times 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s} \end{aligned}$$

4 Ângulo de repouso

A ampulheta é um dispositivo antigo fascinante usado para medir a passagem do tempo. A forma física torna-o imediatamente reconhecível e possui uma certa elegância que os modernos cronómetros não têm. No entanto a forma geométrica da ampulheta comum deve ter uma razão, uma vez que não se encontram ampulhetas cúbicas. O motivo, como se constata, é que os materiais granulares têm um parâmetro chamado ângulo de repouso, θ_r , que é uma medida do ângulo final formado pela superfície de uma pilha de material granular quando é despejada sobre uma superfície horizontal (forma aproximadamente um cone). O ângulo de repouso θ_r é o ângulo da superfície cónica em relação à superfície horizontal.

- 4.1 Inicialmente um tabuleiro retangular plano, com uma folha de lixa na sua base, é preenchido com areia e a superfície superior da areia é alisada horizontalmente. A superfície da areia pode manter-se estável quando o recipiente é inclinado, desde que sua inclinação seja menor do que o ângulo de estabilidade máxima, θ_m . Quando a inclinação é elevada acima de θ_m , alguns dos grãos de areia começam a rolar e ocorre uma avalanche.

Nota: Use areia do recipiente com areia colorida.

- Faça várias medidas para determinar o ângulo de estabilidade máxima, θ_m .

O ângulo que acabou de calcular, no entanto, não é o ângulo de repouso (atenção que se a areia é muito compacta isso pode afetar o resultado da medição).

- 4.2 Pode realizar outra experiência para determinar o ângulo de repouso da areia, θ_r ? Desenhe um diagrama esquemático da sua experiência (mas não a realize).
- 4.3 Determine o coeficiente de atrito intergranular, μ_s , que é o coeficiente de atrito entre os grãos de areia.

5 Fluxo da Matéria Granular

O fluxo de massa de materiais granulares através de um orifício, devido à força gravitacional, é geralmente independente da geometria do contentor. Esta afirmação é válida desde que

as dimensões do recipiente sejam suficientemente grandes em comparação com o tamanho dos grãos e com o diâmetro do orifício de saída. Note que foi esse facto que, embora talvez desconhecido das pessoas daquele tempo, permitiu que as ampulhetas fossem dispositivos de cronometragem razoavelmente bons. Neste caso vamos determinar parâmetros que podem afetar o fluxo de areia através de um orifício circular.

Nota: Use areia do recipiente com areia colorida.

Vamos supor que o fluxo de massa da areia (massa por unidade de tempo), W , através de um orifício circular, depende da densidade da areia ρ , da aceleração da gravidade g , do diâmetro do orifício D , e do coeficiente de atrito intergranular μ_s . Com base nesta suposição, a taxa de fluxo segue a equação

$$W = C(\mu_s)\rho\sqrt{g}D^{a_{teor}} \quad (1)$$

onde $C(\mu_s)$ é um fator empírico adimensional que depende do coeficiente de atrito interno da areia e a_{teor} é uma constante.

5.1 Determine o valor teórico de a_{teor} .

5.2 Meça o fluxo mássico de areia $W(D)$ usando tampas com vários diâmetros de orifício (meça-os com a craveira) e, recorrendo à mesma suposição usada para obter a equação 1, em que $W \propto D^{a_{exp}}$, determine o valor de a_{exp} da experiência a partir da representação gráfica mais conveniente. Sugestão: colocar areia na garrafa e medir o tempo até ter uma certa massa transferida, sem esgotar a areia na garrafa.

A lei mais geralmente aceite para estimar o fluxo de grãos através de um orifício foi proposta por Beverloo, que é uma modificação da equação 1, e tem a forma

$$W = C(\mu)\rho\sqrt{g}(D - k.d)^{a_{teor}}$$

onde d é o diâmetro do grão e k é um parâmetro de ajuste adimensional. De acordo com a lei de Beverloo, os grãos de facto não fluem através de todo o orifício, mas através de uma abertura de saída efetiva cujo diâmetro é dado por $(D - k.d)$.

5.3 Com base nesta lei, determine o valor de $k.d$ usando uma regressão linear adequada dos dados obtidos em 5.2 (considere o valor de a_{teor} e não o valor obtido a_{exp}).

6 Taxa de sedimentação da areia

A areia é um meio poroso com grãos de diferentes formas e tamanhos. A fim de estimar o tamanho de um grão de areia, podemos supor que a forma do grão é esférica; no entanto o tamanho de qualquer grão individual pode diferir do dos outros grãos. Apesar disso, ainda podemos estimar o tamanho médio dos grãos de areia. Nesta experiência será medida a taxa de sedimentação das partículas de areia na água e, a partir daí, estimar o raio médio de um grão de areia.

Nota: Use areia normal de praia nesta secção. Planeie a experiência com muito cuidado antes de começar porque não será capaz de reutilizar a areia uma vez molhada.

Determine as seguintes quantidades:

- 6.1 Densidade da areia no ar (massa dos grãos de areia dividida pelo volume total, incluindo o volume de ar dentro dos poros).
- 6.2 Densidade da areia em água (massa dos grãos de areia dividida pelo volume total, incluindo o volume de água dentro dos poros). Deve agitar a mistura de água e areia de forma a retirar o ar.
- 6.3 A partir dos resultados anteriores, calcular a densidade média dos grãos de areia (massa dos grãos de areia dividida pelo volume total dos grãos de areia).

O cilindro graduado contém água e areia normal de praia, e está fechado com uma tampa de borracha. Agite bem a areia (com o tubo na horizontal, segurando a tampa e evitando a acumulação de areia em qualquer um dos extremos) e coloque o tubo na posição vertical. A areia assentará no fundo a uma certa taxa de sedimentação, que é a velocidade de aumento de altura do sedimento.

- 6.4 Meça a rapidez com que a areia assenta ao atingir várias alturas do sedimento e determine a taxa de sedimentação da areia dentro da região onde o tamanho da areia é quase homogêneo. Repita esta medida várias vezes. Faça primeiro vários ensaios da técnica a usar para fazer a medição já que vai ter de ser rápido.
- 6.5 Derive uma equação relacionando a taxa de sedimentação e a densidade da areia que calculou antes, tendo em conta as forças gravitacional, de Arquimedes e viscosa. A partícula de areia é considerada esférica e qualquer efeito turbulento é desprezado. Também pode assumir que uma boa agitação faz com que a areia fique distribuída uniformemente. A fórmula para a força viscosa é $F_{viscosa} = 6\pi r\eta v_{terminal}$, onde r é o raio do grão e η a viscosidade da água.
- 6.6 Faça uma estimativa do diâmetro médio das partículas de areia.