

Experimento de Empuxo – Princípio de Arquimedes

Objetivo

Determinar experimentalmente o empuxo que aparece nos corpos, quando imersos total ou parcialmente em um fluido e a determinação da dependência da intensidade do empuxo com a variação de alguns parâmetros relevantes do sistema.

Contextualizando e uma situação-problema

Por que icebergs e navios podem flutuar nos oceanos? Por que você parece ficar mais leve dentro da água? Por que balões podem subir pelos ares e também descer? As respostas a essas perguntas dependem todas de um mesmo princípio físico – o *princípio de Arquimedes*. Esse princípio estabelece que quando um corpo está completamente ou parcialmente imerso em um fluido, ele experimenta uma força vertical, dirigida para cima, de módulo igual ao peso do volume de fluido deslocado pelo corpo. Essa força, exercida pelo fluido sobre o corpo, é chamada **empuxo** e é aplicada no seu centro de gravidade. Segundo esse princípio, o que determina se um corpo flutuará ou afundará em um dado fluido é a densidade relativa do corpo em relação à densidade do fluido. Se o corpo for menos denso que o fluido, ele flutuará, ou, como no caso de um balão, ele subirá. Se o corpo for mais denso que o fluido, ele afundará. É também a densidade relativa que determina a proporção de volume submerso de um corpo flutuando em um dado fluido. Se a densidade do corpo for, por exemplo, um terço da densidade do fluido, então um terço do volume do corpo ficará submerso.

O princípio de Arquimedes tem várias aplicações importantes. Entre elas está a medida da densidade de corpos sólidos de formato irregular e de líquidos. Nesta atividade usaremos o princípio de Arquimedes para inicialmente medir a densidade da água. Para isso adote um procedimento (método) científico para determinar (verificar experimentalmente) a densidade da água nesta primeira etapa. O arranjo experimental é ilustrado na figura 1, onde uma proveta contém um certo volume de água que está em repouso sobre a balança (lado esquerdo da figura 1).

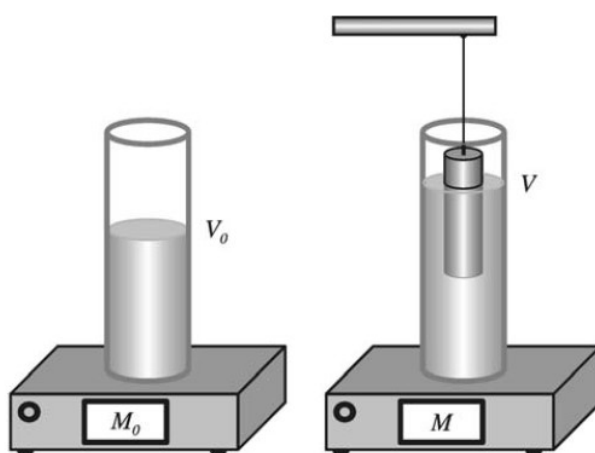


Figura 1: Proveta mais uma porção de água em repouso sobre uma balança. O sistema é mostrado antes e depois de um bloco de densidade desconhecida ser introduzido parcialmente no líquido.

Nesta segunda etapa vamos imergir um bloco de densidade desconhecida nesse líquido (água mais proveta) conforme mostra a figura 1, no lado direito. Se esse bloco for imerso parcialmente na proveta contendo a água, o que deverá ocorrer? Explique o que está acontecendo fazendo uma discussão com base nos conceitos estudados em sala de aula. De que forma o empuxo

está relacionado com o bloco mergulhado no líquido, no caso, da situação parcialmente.

Agora, segundo a Terceira Lei de Newton, a bloco exercerá sobre o líquido uma força de módulo igual ao empuxo e de sentido contrário a esse. Essa força será transmitida à balança, que acusará um aumento no “peso” da proveta. Esse aumento no peso aparente da proveta nos permitirá medir o empuxo exercido pelo líquido sobre a bloco. Suponha que antes da bloco ser imersa no líquido, a balança estivesse medindo uma força de módulo $F_0 = M_0g$, correspondente ao peso da massa conjunta M_0 da proveta e do líquido. Elabore os diagramas de corpo livre (DCL) para as forças que atuam no sistema **antes** e **depois** de mergulhar o bloco no líquido.

Faça uma análise de forças que atuam no bloco, antes e depois da imersão da bloco, representando e equacionando as forças que a balança mede. O diagrama de forças (DCL) que atuam sobre o bloco, serve para nos mostrar que a força de empuxo contribui para a manutenção da bloco em sua posição de equilíbrio, sustentando seu peso **mg** junto com a tensão **T** no suporte da bloco. Dessa análise você será capaz de escrever uma equação para o empuxo do líquido em função das massas antes e depois da imersão do bloco. Apresente essa expressão (equação) nos resultados do artigo (relatório dessa atividade), contendo os DCL e as devidas representações de forças e massas envolvidas.

Neste experimento, desejamos ainda associar a força de empuxo com a densidade do líquido. Isto nos fornecerá um método de medida de densidade de líquidos. Vamos lembrar então que, inicialmente, a proveta continha um volume V_0 do líquido cuja densidade volumétrica é ρ (rô) e que, após a imersão parcial do bloco, a leitura da graduação da proveta indica um volume maior V . Relacione a discussão anterior dos volumes antes e depois do bloco ser imerso no líquido, com o peso do líquido deslocado e o empuxo exercido pelo bloco por meio de uma expressão.

Por último, deduza a expressão que possibilita a determinação do valor da densidade volumétrica ρ do líquido, como coeficiente angular da equação:

$$(M - M_0) = \rho_{liq}(V - V_0) \text{ ou } (V - V_0) = \frac{1}{\rho_{liq}}(M - M_0) \quad \text{Eq. (1)}$$

Lembre que as massas são obtidas pela leitura diretamente na balança, antes e depois da imersão do bloco de densidade desconhecida. Os volumes são fornecidos pela diferença entre as leituras da graduação da proveta, antes e depois da imersão do bloco. Como dica, a sugestão é revisar os conceitos apresentados e discutidos em sala, quando utilizamos o exemplo da estátua de ouro.

Material

- Proveta graduada (observar e anotar a escala e a sensibilidade de leitura);
- Balança (observar e anotar a carga máxima e a sensibilidade de leitura);
- Blocos metálicos de diferentes materiais e tamanhos;
- Água; Água com sal; Álcool;
- Suporte móvel para movimentação do bloco dentro da proveta.

Orientação de Procedimento Experimental

Este experimento é muito simples, mas o sucesso depende de atenção e cuidado em tomar os dados (aquisição de leitura de massas e medidas da graduação do volume da proveta pela imersão do bloco).

1. Meça (leitura) a massa da proveta vazia na balança, para determinar a densidade do líquido.

2. Acrescente de 100 ml até 200 ml (V_0 = volume inicial) de água na proveta e meça o novo valor (leitura) de massa.
3. Faça medidas da massa M , em função do volume deslocado V . Para isto você deve mergulhar uma das peças metálicas (que está disponível) na água, pouco a pouco, de forma a variar a leitura de volume na escala da proveta do volume inicial (V_0) até o máximo (V). Utilize variações de volume que permitam a obtenção de no mínimo 5 pontos. Faça com cuidado para não quebre a proveta e com atenção na leitura das medidas de V (proveta) e M (balança). Note que a massa será dada pela leitura da balança e V pela leitura da escala graduada da proveta.
4. Faça a leitura da massa do bloco, será necessário para determinação da densidade desse objeto, que é desconhecido.

Análise de Dados

1. Para a análise de resultados, monte uma tabela com as medidas de volumes e massas antes e depois do bloco imerso, bem como suas respectivas incertezas. Grandezas medidas: V_0 , V , M_0 , M , ΔV , ΔM , $\sigma_{\Delta V}$, $\sigma_{\Delta M}$, $\sigma_{\Delta V} / \Delta V$ e $\sigma_{\Delta VM} / \Delta M$. Leia o arquivo Apêndice A para determinar os cálculos de propagação de incertezas para o preenchimento da tabela de dados.
2. Análise os valores de $\sigma_{\Delta V} / \Delta V$ e $\sigma_{\Delta VM} / \Delta M$ e responda: De uma forma geral, qual variável é mais precisa, ΔV ou ΔM ? Em função deste resultado, qual destas variáveis deveria ser usada no eixo y durante o processo de ajuste por mínimos quadrados?
3. A partir da associação feita no tem anterior, preencha o quadro abaixo com as expressões dos coeficientes de ajuste em termos das variáveis de medidas na experiência. Considere que a reta tem como expressão $y = ax + b$. Determine os coeficientes a e b na equação da reta.
4. Apresente os resultados do ajuste por mínimos quadrados. Não esqueça de incluir unidades e incertezas.
5. A partir dos valores dos coeficientes a e b e de suas incertezas calcule a densidade da água e sua incerteza.
6. Determine a densidade do bloco desconhecido, utilizando o valor de massa desse bloco medido na orientação procedimental (item 4), e as informações das variações de volume (ΔV) e massa do líquido (ΔM). Lembre que a equação (1), relaciona essas variações com a densidade do líquido. Compare os resultados do valor obtido para a densidade do bloco a partir da variação do volume (ΔV) com massa do líquido deslocado (ΔM), quando totalmente imerso. Esses valores, podem ser obtidos da tabela que você construiu nos itens 1 e 2 dessa parte.
7. Pesquisa a expressão que calcula o erro experimental percentual, entre os valores esperado (tabelado) e medidos para a densidade do líquido e também para a densidade do bloco desconhecido.

Tratamento de Dados

Que curva descreve melhor graficamente os dados experimentais coletados no experimento?

O objetivo é encontrar diversos pares (ΔV ; ΔM) de modo a ser possível o ajuste de uma reta aos pontos experimentais. Assim, a partir de um certo volume de líquido, V_0 , mergulhamos o bloco pouco a pouco, anotando os valores de V e M .

Após realizar suas medidas, você deverá analisar seus resultados. Frequentemente você desejará descobrir, ou comprovar, o comportamento de uma grandeza medida em função de outra. Como um exemplo, tomemos a equação que relaciona as grandezas E / g e $V - V_0$. Ela nos diz que essas grandezas se relacionam de maneira linear, ou seja, elas obedecem uma relação do tipo $y = ax + b$, onde, no nosso caso, $b = 0$. Com os dados que obtivemos, poderíamos fazer um gráfico de E / g por $V - V_0$. Se nosso modelo estiver correto, esse gráfico deveria representar uma reta e o coeficiente angular dessa reta nos forneceria a densidade volumétrica do líquido usado.

O problema é que cada uma de nossas medidas está sujeita a erros aleatórios e os pontos obtidos nem sempre formarão uma linha perfeita. Eles mostrarão uma certa componente aleatória em sua distribuição. Além disso, os pontos podem apresentar incertezas diferentes, que também devem ser levadas em conta. Por esse motivo, existem várias retas com coeficientes a e b diferentes, que passam perto dos pontos experimentais. A questão é então, saber qual é a reta que melhor descreve os pontos experimentais. No curso de Física I você aprendeu a fazer isso visualmente, em sala de forma teórica ou no laboratório. Se não realizou, não tem problema, pois você aprenderá a realizar agora de forma mais eficiente. No entanto, existem métodos mais rigorosos que permitem determinar matematicamente a curva ou função que melhor descreve o comportamento de um dado conjunto de dados experimentais. Um desses métodos é o método dos mínimos quadrados. No curso usaremos esse método para determinar qual a melhor curva se ajusta a um dado conjunto de medidas. No drive, pasta de atividades práticas, você encontrará um texto introdutório sobre o assunto, bem como referências a textos que apresentam um tratamento detalhado do mesmo. É muito importante que, antes de responder ao questionário abaixo, você tenha lido o texto do Apêndice A e tenha tirado possíveis dúvidas com seu professor. Durante o curso faremos uso do método de mínimos quadrados em outras atividades. Por isso, é essencial que você, pelo menos, tenha compreendido o porque da utilização do mesmo. Aprenda também a usar os programas de ajuste de curvas, que estão disponíveis na internet, como [QtiPlot](#) [4]. Você pode utilizar esses programas para comparação de ajustes e da curva de linearização.

Referências

1. D. Halliday, R. Resnick e K.S. Krane, Física 2 (Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1996), 4a ed.
2. H. Moysés Nussenzveig, Curso de Física Básica, v. 2:Fluidos, Oscilações e Ondas e Calor (Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1996), 3a ed.
3. J.H. Vuolo, Fundamentos da Teoria de Erros (Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1996), 2a ed.
4. <http://www.qtiplot.com>. Acesso em 13/03/2017.