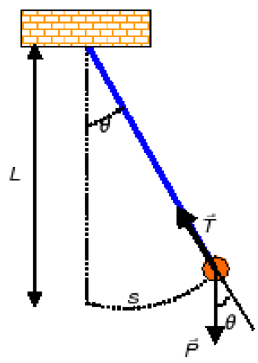
Universidade Estadual de Santa Cruz - DCET
Laboratório de Física II

Atividade 1
MOVIMENTO PENDULAR: DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO GRAVITACIONAL

I. Objetivos: Ao término desta atividade você deverá ser capaz de:
1. entender o conceito de pêndulo físico e pêndulo simples equivalente;
2. verificar a conveniência de realizar simplificações e saber avaliá-las;
3. obter a aceleração da gravidade local com o uso de um pêndulo.

II. Introdução:

Os pêndulos fazem parte de uma classe de osciladores harmônicos simples nos quais a força restauradora está associada à gravidade, ao invés das propriedades elásticas de um fio torcido ou de uma mola comprimida.



O pêndulo simples é composto de um corpo suspenso através de um fio de massa desprezível, e ele é posto a oscilar em torno de sua posição de equilíbrio. O movimento corpo descreve um arco de circunferência.

A componente do peso, tangencial ao deslocamento é a força de restauração desse movimento, porque age no corpo de modo a trazê-lo de volta à sua posição central de equilíbrio.

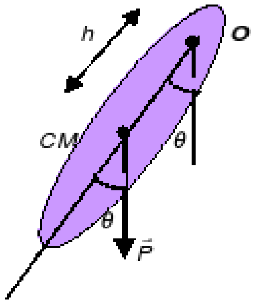
A componente do peso, perpendicular ao deslocamento é equilibrada pela tração exercida pelo fio, de modo que a resultante das forças tem a forma:

$F = -mg\,sen\,\theta$ ou $m\dfrac{L\,d^2\theta}{dt^2} = -mg\,sen\,\theta$

Se resolvemos esta equação diferencial para pequenos ângulos de oscilação, encontraremos uma expressão simples para o período de oscilação do pêndulo:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \quad (1)$$

Ou seja, para pequenos ângulos de oscilação o período depende somente do comprimento do pêndulo e do valor da aceleração da gravidade.



Vamos considerar um objeto de forma arbitrária, que pode oscilar em torno de um eixo que passa pelo ponto O, perpendicular à folha de papel. O eixo está a uma distância h do centro de massa, onde atua a força peso.

Quando o pêndulo da figura ao lado é deslocado de sua posição de equilíbrio de um ângulo θ, surge um torque restaurador

$$\tau = r \times F$$

com módulo:

$$\tau = -(mg \, sen\theta)\, h$$

portanto a equação que descreve o movimento é:

$$\frac{I\, d^2\theta}{dt^2} = -mgh\, sen\, \theta$$

onde: *I* é o momento de inércia e *m* é a massa total do objeto. Resolvendo esta equação diferencial, para pequeno ângulos, encontramos o período de oscilação:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgh}} \quad (2)$$

Um pêndulo simples com o mesmo período de oscilação de um determinado pêndulo físico é chamado de pêndulo simples equivalente. Podemos obter o comprimento L deste pêndulo, igualando as expressões (1) e (2).

$$2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgh}} \quad \Rightarrow \quad L = \frac{I}{mh}$$ comprimento do pêndulo simples equivalente.

Galileu (1564-1642) afirmou que todos os corpos em queda livre, na ausência de forças resistivas, descrevem um movimento uniformemente variado, com a mesma aceleração. No entanto, o valor da aceleração da gravidade por ele obtido foi de aproximadamente 4 m/s². Onde residia a maior dificuldade nesta medida?

Huygens (1629-1695), diferentemente de Galileu, usou o pêndulo e obteve em torno de 9,5 m/s², valor muito próximo do valor médio da aceleração da gravidade na superfície da Terra.

Na prática, não podemos trabalhar com um pêndulo simples. Assim, em princípio, deveríamos usar os parâmetros e as equações de movimento do pêndulo físico. Ainda que um pêndulo possua um fio de massa desprezível que sustenta uma esfera de densidade homogênea, o comprimento do pêndulo simples equivalente é maior do que a distância do ponto de suspensão ao centro de gravidade da esfera.

$$L = D + \frac{2}{5}\frac{R^2}{D}$$

onde: L - comprimento do fio;
D – distância do ponto de supensão ao centro de gravidade da esfera;
R – raio da esfera.

Bessel, no início do século XIX, idealizou um método para determinar a aceleração gravitacional com um "pêndulo simples", que não requer o conhecimento da localização do centro de gravidade da esfera. O procedimento proposto por Bessel baseia-se no fato de que é possível medir a diferença de comprimento que um pêndulo sofre, sem conhecer os seus respectivos comprimentos. Ou seja, constrói-se um pêndulo com grande comprimento, digamos da ordem de 3 m e se determina experimentalmente o seu período; em seguida, encurta-se o pêndulo, digamos para 2 m aproximadamente, medindo-se esse encurtamento e o novo período. É fácil demonstrar a partir da equação 1, aproximando-se L por D, que a aceleração gravitacional é:

$$g = 4\pi^2 \frac{d}{T_1^2 - T_2^2}$$

onde: d - diferença entre os dois comprimentos.

III. Procedimento Experimental:

- Construa um pêndulo com uma esfera de chumbo de aproximadamente 2 cm de raio, suspensa por um fio fino de aproximadamente 3 m;
- Coloque-o a oscilar com pequena amplitude;
- Meça o tempo total de 20 oscilações;
- Repita a medida anterior 15 vezes;
- Em seguida, encurte o fio por aproximadamente 1 m e meça novamente o tempo total das oscilações, repetindo esta medida 15 vezes;
- Finalmente, apresente o valor médio obtido para a aceleração gravitacional e a incerteza associada à medida.

IV. **Guia para apresentação dos resultados:**

Apresente as questões teóricas envolvidas no experimento. Por exemplo, explique de onde sai a expressão do período;

Discuta as simplificações e aproximações utilizadas;

Discuta a conveniência ou não de se obter um grande número de oscilações em cada medida;

Comente as escolhas sobre as dimensões do fio e esfera;

Apresente a análise de erros.

V. Referências:

FERNANDO LANG DA SILVEIRA, Determinando a aceleração gravitacional, Revista de Ensenãnza de la Física, Córdoba, 10(2): 29-35, 1995.

Universidade Estadual de Santa Cruz – DCET
Laboratório de Física II

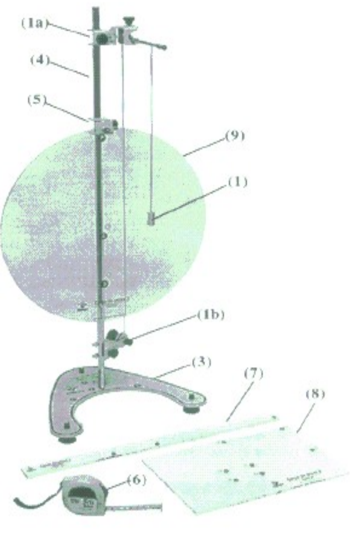
Atividade 2
PÊNDULO FÍSICO

I. Objetivos: Ao término desta atividade você deverá ser capaz de:
1. entender o conceito de pêndulo físico e pêndulo simples equivalente;
2. obter o momento de inércia, em relação a um eixo, de um objeto a partir de sua oscilação em torno desse eixo.

II. Introdução:

O movimento pendular está presente em um grande número de reflexões de cientistas que se debruçaram sobre problemas da Mecânica Clássica. Podemos citar, por exemplo, o experimento do pêndulo cônico de Newton, com o qual ele obteve uma relação entre a aceleração centripeta da Terra e a sua aceleração gravitacional, corroborando a idéia de que a Terra girava em torno do seu próprio eixo. No seculo XIX, Foucault demonstrou a existência desta rotação com bastante precisão, a partirdo movimento de uma esfera de 30 kg suspensa por um fio de 67 m de comprimento, este experimento ficou conhecido como Pêndulo de Foucault.

Na atividade aqui proposta, iremos realizar experimentos com pêndulos físicos, determinando experimentalmente seus períodos de oscilação e seus momentos de inércias, relacionando-os com pêndulos simples.



III. Material necessário:

- base de sustentação;
- esfera de metal;
- linha de costura;
- objeto plano regular (barra, placa ou disco regular) com ponto de sustentação que permita sua oscilação;
- objeto irregular qualquer com ponto de sustentação que permita sua oscilação;
- fita métrica;
- cronômetro.

IV. Procedimento experimental

a) Utilize a base de sustentação para suspender o objeto regular por um ponto P e meça 10 vezes o tempo de 10 oscilações;

b) Determine o período e a incerteza padrão associada a essa medida.

c) Suspenda a esfera na base de sustentação utilizando o fio de costura. Varie o comprimento do fio até que o período desse pêndulo se iguale ao período do objeto regular oscilante, obtido no ítem anterior.

d) Anote o comprimento desse “pêndulo simples“ com a incerteza associada.

e) Calcule o momentum de inércia do pêndulo físico do item a em relação ao seu eixo de rotação. E então calcule teoricamente o comprimento L do pêndulo simples equivalente desse pêndulo. Compare com o valor obtido no item d. Aponte as incertezas e aproximações associadas às medidas e aos cálculos.

f) Utilize a base de sustentação para suspender o objeto irregular por um ponto P e meça 10 vezes o tempo de 10 oscilações;

g) Determine o período e a incerteza padrão associada a essa medida.

h) Calcule o momento de inércia do objeto em relação ao eixo que passa pelo ponto P, sem utilizar o valor da aceleração da gravidade.

Universidade Estadual de Santa Cruz – DCET
Laboratório de Física II

Atividade 3
DINÂMICA DE ROTAÇÃO E MOMENTO ANGULAR

I. Objetivo
Facilitar a compreensão de alguns conceitos relacionados à dinâmica do corpo rígido por meio de experimentos qualitativos.

II. Introdução
Um objeto extenso pode apresentar um movimento complexo. Vamos nos ater ao estudo de corpos rígidos, para os quais apenas consideramos o movimento de rotação e de translação. Num corpo rígido, a distância entre os seus pontos permanece inalterada no decorrer do tempo.

Vamos analisar alguns fenômenos relacionados a movimentos de rotação, aplicando conceitos da teoria, tais como: conservação de energia mecânica, conservação de momento angular e inércia rotacional.

III. Procedimentos experimentais

Experimento I
- Coloque no topo de um plano inclinado uma esfera, um cilindro oco e outro maciço, todos retidos por uma barra. Em seguida, retire a barra e observe o deslocamento dos três corpos, liberados ao mesmo tempo, ao rolarem sobre o plano inclinado sem deslizar;
- Retire a esfera, e repita o procedimento anterior. Qual dos cilindros terá maior energia cinética de rotação na base do plano? Qual terá maior energia cinética de translação?
- Substitua os cilindros por duas esferas de raios distintos, e refaça o experimento. Qual terá maior energia cinética de translação?
- Em relação ao experimento acima, responda as questões:

a) A aceleração do centro de massa desses corpos de simetria radial depende de sua massa ou de seu raio?
b) Se o plano fosse completamente liso como se relacionaria o tempo de descida dos cilindros?

Experimento II
Uma pequena esfera de massa m, está amarrada a um cordão leve que passa por um tubo oco. Segure o tubo com uma das mãos e com a outra, o cordão. Ponha a esfera a girar numa circunferência de raio R, com velocidade v. Puxando o cordão para baixo, o raio diminui. O que ocorre com a velocidade? Deduza o resultado observado.

Experimento III
- Monte um plano inclinado elevando uma das extremidades de uma

régua em relação à superfície da mesa;
- Encaixe o eixo do carretel sobre a régua e deixo-o rolar. O que acontece com a velocidade do CM do carretel a partir do momento em que os seus discos laterais tocam a superfície da mesa? Por que?

Experimento IV
- Sente numa cadeira giratória. Tente colocá-la a girar sem tocar seus pés no chão. Por que você não deveria conseguir?

Experimento V
- Gire uma roda de bicicleta perfeitamente balanceada, que não está sujeita a nenhum torque líquido devido à gravidade;
- Observe que ela vai continuar girando por um longo tempo. Há algum torque que mantém esta roda girando?
- Tente inclinar o eixo no plano vertical. O eixo segue a direção desejada?
- Suba numa plataforma giratória e repita o procedimento anterior. O que acontece agora? Por que?

Experimento VI
- Suba na plataforma e segure uma massa em cada mão. Abra os braços e peça que um colega o(a) coloque em rotação com uma pequena velocidade angular;

  ATENÇAO: Posicione-se de modo que seu CM fique sobre o eixo de rotação da plataforma.
- Feche os braços. O que acontece com a velocidade angular do sistema (você + massas + plataforma)? Por que?

IV. Referência

MARIA TEREZINHA XAVIER SILVA, Roteiro experimental de Física I, IF-UFRGS, 2008.

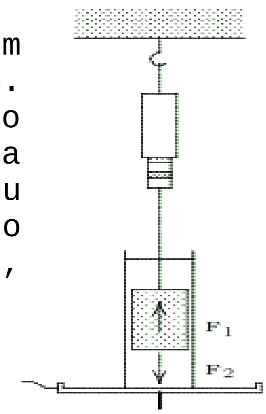
Universidade Estadual de Santa Cruz – DCET
Laboratório de Física II

Atividade 4
PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES: DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE UM LÍQUIDO

I. Objetivo
Determinar a densidade de líquidos aplicando o princípio de Arquimedes.

II. Introdução
Um corpo, ao ser mergulhado em um fluido, fica sujeito a uma força para cima originada pela diferença entre as pressões nas suas partes superior e inferior. Em conseqüência disto é que, por exemplo, um objeto parece possuir um peso menor do que no ar ao ser imerso em um liquido. Esse fenômeno foi explicado por Arquimedes dando origem ao princípio de que “um corpo sólido, total ou parcialmente imerso em um fluido, fica sujeito a uma força vertical voltada para cima, denominada *empuxo* **E**, que é igual ao peso da quantidade do fluido deslocado”.

Considere um objeto pendurado em um dinamômetro como mostra a figura ao lado. Seja P a leitura no dinamômetro quando o objeto está no ar (peso real) e P´ a leitura no dinamômetro quando ele está total ou parcialmente mergulhado em um líquido (peso aparente). Em uma situação de equilíbrio, pode-se escrever



$$P' = P - \rho g V$$

Então, medindo-se o peso aparente do objeto e o seu volume submerso pode-se determinar a densidade do líquido.

III. Materiais utilizados
Cilindro de alumínio com indicação de frações do seu volume, dinamômetro, béquer contendo líquido de densidade desconhecida, haste com suporte, bandeja, régua ou paquímetro.

IV. Procedimentos
-Determine o peso real do cilindro de alumínio suspendendo-o no dinamômetro. Determine o volume total do cilindro.

-Mergulhe gradualmente o cilindro no líquido (p. ex. 1/8 de cada vez) obtendo pares de valores do peso aparente *P´* e o volume mergulhado *V*.

-Represente graficamente os dados obtidos (gráfico P´ x V). A observação do gráfico sugere uma dependência linear entre as duas grandezas e, assim, a relação matemática entre elas deverá ser a equação de uma reta, ou seja:

$$P' = A + BV$$

onde as constantes A (valor de *P´* quando *V = 0*) e B (inclinação da reta) deverão ser determinadas pelo processo de regressão linear. Dê o significado físico dessas constantes.

Comente os resultados encontrados comparando com valores esperados, em especial o valor do peso real *P*.

Considere $g = (9{,}81 \pm 0{,}05)\,m/s^2$ em seus cálculos.

A título de ilustração, logo abaixo estão relacionados em g/cm^3, os valores da densidade de alguns líquidos à temperatura ambiente:

$$\rho_{alcools} = (0{,}80 \pm 0{,}02); \qquad \rho_{glicerina} = (1{,}26 \pm 0{,}01)$$
$$\rho_{benzeno} = (0{,}90 \pm 0{,}01); \qquad \rho_{éter} = (1{,}49 \pm 0{,}01)$$
$$\rho_{água} = (1{,}00 \pm 0{,}01); \qquad \rho_{mercúrio} = (13{,}6 \pm 0{,}1)$$

Universidade Estadual de Santa Cruz – DCET

Laboratório de Física II

Atividade 5a

ANÁLISE GRÁFICA: TÉCNICA EM PAPEL LOG-LOG

Ao estudar um fenômeno físico a partir de um experimento, medimos grandezas e buscamos encontrar uma relação matemática entre elas. Um estudante, familiarizado com o estudo de funções, pode intuir sobre a expressão matemática que rege a relação entre duas grandezas pela simples visualização de um gráfico com as medidas dessas grandezas. Atualmente, a busca por uma função que ajuste bem um conjunto de pontos num gráfico é facilitada por ferramentas computacionais.

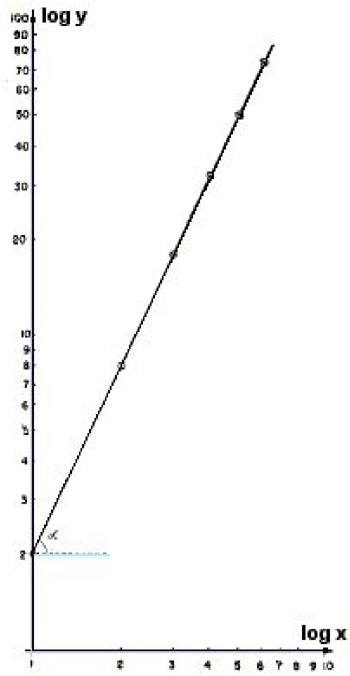
No entanto, antes do advento do computador, a análise dos gráficos de pontos experimentais era feita na base do papel e lápis.

Na análise de um gráfico, podemos ter duas sitações básicas. Quando o gráfico resulta numa reta, ficaremos sabendo que as grandezas medidas são diretamente proporcionais. E quando o resultado é uma curva, a função pode ser parabólica ou exponencial, por exemplo. Neste caso, o gráfico em papel log-log pode ajudar nossa análise.

No papel di-logarítmico (di-log ou log-log), os dois eixos são divididos proporcionalmente aos logarítmos dos números inteiros. Vejamos um exemplo de uso da técnica:

Exemplo: Em um certo experimento, obtivemos a seguinte tabela de valores para as grandezas x e y:

x	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
y	72	50	31	18	9	2	0	3	8	16	36	51	72



Se levássemos esses valores para papel milimetrado, não obteríamos uma reta e sim algo próximo a uma parabola. Quando colocamos esses valores num papel log-log, o que obtemos é uma reta:

A reta encontrada no gráfico tem a seguinte equação:

$$\log y = a \log x + \log b$$

Esta equação pode ser escrita:

$$\log y = \log(x^a b)$$

Ou, simplesmente:

$$y = b x^{a}$$

Sabemos que a = tg α, e a partir do gráfico podemos medir o ângulo α com um transferidor. Por outro lado, <u>b</u> pode ser obtido observando que, para x = 1, temos
log y = log b, ou seja: y = b. Este último nos dá: $\alpha = 63^o$, tg α = a = 2 e, para x = 1, y = b = 2. Logo, a função procurada é y = $2.x^2$.

Atividade 5b
EQUAÇÃO DE BERNOULLI: ESCOAMENTO DE LÍQUIDOS

I. Objetivo

Obter a relação empírica entre o tempo Δt de escoamento de um líquido sob ação da gravidade e a altura h de elevação do nível deste líquido, utilizando a técnica de gráficos log-log.

II. Introdução

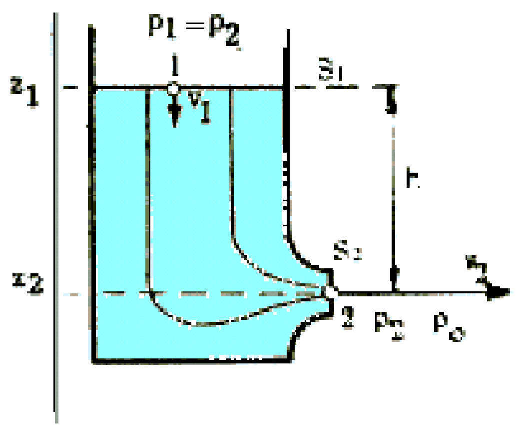
O escoamento de um líquido incompressível sob a ação de um campo gravitacional constante, num regime de fluxo estacionário, pode ser descrito pela equação de Bernoulli.

$$p + 1/2 \rho v^2 + \rho g h = constante$$ (ao longo de uma linha de fluxo)

onde ρ, v, p e h são, respectivamente: densidade, velocidade, pressão interna, e ''elevação'' do fluido.

Esta equação é uma conseqüência do princípio de conservação de energia. Se multiplicarmos a equação acima pelo volume V do fluido, cada um de seus três termos representará uma forma de energia. Pela ordem: trabalho associado à pressão, energia cinética e energia potencial gravitacional. Note que essa equação é válida para situações em que a temperatura e a pressão possuem variações desprezíveis e não há forças dissipativas.

Considere o escoamento de água como apresentado na figura abaixo, a secção transversal S_1 está aberta e, portanto a pressão nesta área é a pressão atmosférica. A água escoa por uma saída com secção transversal S_2, posicionada a uma distância horizontal h em relação a S_1. A pressão na saída é a pressão atmosférica.



O volume de água por unidade de tempo que sai em S_2 deve ser igual aquele que desce em S_1, ou seja:

$$v_1 S_1 = v_2 S_2$$

Se $S_1 \gg S_2$ => $v_1 = 0$

Desta forma, a equação de Bernoulli se reduz a:

$$\rho g h = 1/2 \rho v_2^2$$

Finalmente, para a velocidade v_2

$$v_2 = \sqrt{2gh}$$

Com a realização do experimento aqui proposto, deverá ser possível encontrar uma expressão similar para a velocidade de escoamento do líquido.

III. Material necessário

balde de 20 litros com orifício próximo à base, água, copo de Becker de 2 l, régua e cronômetro.

IV. Procedimento

Deixe a água escoar do orifício para um copo de Becker. Meça o tempo decorrido para a adição de 200 ml de água no Becker e a respectiva altura do nível de água na garrafa. Repita esse procedimento até que o nível de água chegue ao orifício. Com os pontos obtidos nas medidas, elabore uma análise orientada pelos ítens abaixo:

- Faça um gráfico h x Δt em papel milimetrado.

- Faça um gráfico h x Δt em papel log-log.

- Encontre, a partir dos gráficos, a relação entre a altura de elevação do nível da água h e o tempo Δt de escoamento.

- Aponte os parâmentros que estão relacionados à velocidade de escoamento da água.

- Se o experimento fosse realizado com um outro líquido, de densidade diferente, como se comportaria a velocidade?

- Apresente as incertezas associadas às medidas de altura, volume e tempo de escoamento.

- Quais aproximações foram utilizadas neste experimento.

Universidade Estadual de Santa Cruz – DCET
Laboratório de Física II

Atividade 6
EQUAÇÃO DE BERNOULLI: ESCOAMENTO DE LÍQUIDOS

I. Objetivo

Determinar experimentalmente o coeficiente de viscosidade de um fluido.

II. Introdução

Quando uma esfera se move verticalmente, com velocidade constante no interior de um fluido viscoso em repouso, a força peso é contrabalançada pela soma da força de empuxo e a força de arrasto, ou seja:

$$P = F_D + E$$

A força de arrasto ou força resistente sobre uma esfera foi estudada por Newton, que obteve uma equação geral para a força resistente que atua sobre uma esfera que se move em um fluido:

$$F_D = \frac{\pi}{8} C_D \rho D^2 v^2$$

onde C_D é o coeficiente de arrasto, D é o diâmetro da esfera, ρ é a densidade do fluido, v é a velocidade relativa entre a esfera e o fluido.

O coeficiente de arrasto C_D é uma função do número de Reynolds (Re), que por sua vez depende da viscosidade e é definido pela expressão:

$$Re = \frac{v D \rho}{\eta}$$ onde é η é a viscosidade do fluido.

A relação entre o coeficiente de arrasto e o número de Reynolds Re para uma esfera, obtido experimentalmente, resulta em uma função aproximadamente linear apenas para valores de Re menores que 1. Nessa região, temos:

$$C_D = \frac{24}{Re}$$

Em 1851, George Stokes particularizou para Re < 1, a expressão geral de Newton. Assim a força F_D exercida pelo fluido sobre a esfera em queda é:

$$F_D = 3\pi \eta D v$$

Logo, com essa expressão podemos obter a viscosidade do fluido a partir de grandezas facilmente mensuráveis, a força $F_D = P - E$, o diâmetro da esfera e a sua velocidade em relação ao fluido.

III. Material necessário

-haste sustentadora;
-painel principal vertical com fixadores e mufas de encaixe lateral;
-2 sensores fotoelétricos;
-cronômetro digital;
-tripé;
-esferas de aço.

IV. Procedimento experimental

- posicione os sensores distanciados 10 cm um do outro, colocando o sensor mais baixo próximo ao final do tubo;
- prepare o cronômetro e abandone a esfera no topo do tubo repleto de líquido;
- repita a operação de queda por 5 vezes;
- calcule a velocidade média, dividindo a distância percorrida (espaçamento entre os sensores) pela média do tempo gasto em percorrê-la;
- meça o diâmetro da esfera e calcule o seu volume;
- calcule o peso da esfera, sabendo que a densidade do aço é de 7,85 g/cm³;
- calcule o empuxo sobre a esfera totalmente imersa no líquido.

Na elaboração do relatório, calcule o erro percentual dos valores de viscosidade obtidos comparados com os dados na tabela abaixo. E apresente as aproximações e simplificações que foram feitas no experimento e que poderiam explicar parte do erro encontrado.

Temperatura [ºC]	**viscosidade [Pa·s]**
10	1.308×10^{-3}
20	1.003×10^{-3}
30	7.978×10^{-4}
40	6.531×10^{-4}
50	5.471×10^{-4}
60	4.668×10^{-4}
70	4.044×10^{-4}
80	3.550×10^{-4}
90	3.150×10^{-4}
100	2.822×10^{-4}

Viscosidades da água a diferentes temperaturas

	viscosidade [Pa·s]	viscosidade [cP]
nitrogenio líquido a 77K	1.58×10^{-4}	0.158
acetona	3.06×10^{-4}	0.306
metanol	5.44×10^{-4}	0.544
benzeno	6.04×10^{-4}	0.604
água	8.94×10^{-4}	0.894
etanol	1.074×10^{-3}	1.074
mercúrio	1.526×10^{-3}	1.526
nitrobenzeno	1.863×10^{-3}	1.863
propanol	1.945×10^{-3}	1.945
ácido sulfúrico	2.42×10^{-2}	24.2
óleo de oliva	.081	81
glicerina	.934	934
óleo castor	.985	985
piche	2.3×10^{8}	2.3×10^{11}

* Dados de CRC Handbook of Chemistry and Physics, 73rd edition, 1992-1993.