

TRABALHO PRÁTICO**ESTUDO EXPERIMENTAL DA FORÇA CENTRÍPETA**

Objectivo – Com este trabalho pretende-se determinar a força centrípeta necessária para manter uma massa em movimento circular uniforme e estudar a variação desta força com alguns factores relevantes dos quais a força depende. A execução experimental deste trabalho baseia-se na utilização de uma plataforma de rotação.

1. Introdução

A 1ª lei de Newton estabelece que um corpo, uma vez em movimento, só altera as características desse movimento se sobre ele agir uma força externa. A 2ª lei, por sua vez, estabelece que a variação da velocidade em grandeza e/ou direcção (aceleração) é proporcional e tem a mesma direcção da força aplicada, sendo a massa do corpo a constante de proporcionalidade: $\vec{F} = m\vec{a}$.

Se o corpo evolui com movimento circular uniforme, a direcção da trajectória muda constantemente, o que implica a existência de uma força externa responsável por essa alteração. Mostra-se que a força responsável pelo movimento circular uniforme está dirigida para o centro da circunferência (perpendicular à trajectória, portanto) e é conhecida por **força centrípeta**.

Vamos quantificar esta força. Consideremos um objecto de massa M descrevendo, com uma velocidade linear v , uma trajectória circular de raio r . O objecto encontra-se, portanto, animado de um movimento cuja aceleração, dirigindo-se para o centro da trajectória circular, tem grandeza $\frac{v^2}{r}$.

Deste modo, a intensidade da força centrípeta exercida sobre o objecto é dada por:

$$F = M \frac{v^2}{r}. \quad (1)$$

Se o corpo dá uma volta completa em T segundos (período do movimento), as velocidades angular e linear são dadas, respectivamente, por: $\omega = \frac{2\pi}{T}$ e $v = \omega.r$. Então:

$$F = \frac{4\pi^2 Mr}{T^2}. \quad (2)$$

Utilizando um dispositivo de rotação e o procedimento adequado, é possível verificar a relação (2) para objectos de massas diferentes, variando o raio das suas trajectórias e o período dos seus movimentos.

2. Material necessário

Plataforma de rotação e acessórios necessários ao estudo da força centrípeta; duas massas quadradas de 300 g; suporte para suspensão de massas; uma massa com 3 ganchos; massas variadas; balança; fio; cronómetro; papel milimétrico.

3. Montagem e princípio de funcionamento do dispositivo experimental

O dispositivo experimental utilizado permite medir a velocidade de rotação angular que é necessário imprimir manualmente a uma plataforma, de modo a manter um objecto com uma dada massa num movimento circular uniforme de raio pré-definido, sob a acção de uma certa força centrípeta, memorizada na elongação de uma mola.

A descrição da montagem do dispositivo, indicada a seguir e ilustrada com as figuras 1, 2 e 3, ajudam a esclarecer o seu princípio de funcionamento.

3.1. Nivelamento da base

A experiência requer que o dispositivo esteja extremamente bem nivelado; caso contrário, os resultados virão distorcidos. Para nivelar a base proceda do seguinte modo:

3.1.1. Repare que a base tem a forma de um A (fig. 1). Vire-o para si. Comece, propositadamente, por desnivelar a base colocando uma massa quadrada de 300 g em cada um dos extremos da calha de alumínio da plataforma de rotação (fig. 1) e rodando os pés ajustáveis da base aleatoriamente. Em seguida, retire uma das massas, deixando apenas a do lado esquerdo da calha, quando a régua está na orientação indicada na figura 1-a). Aperte bem o parafuso para que a massa não deslize.

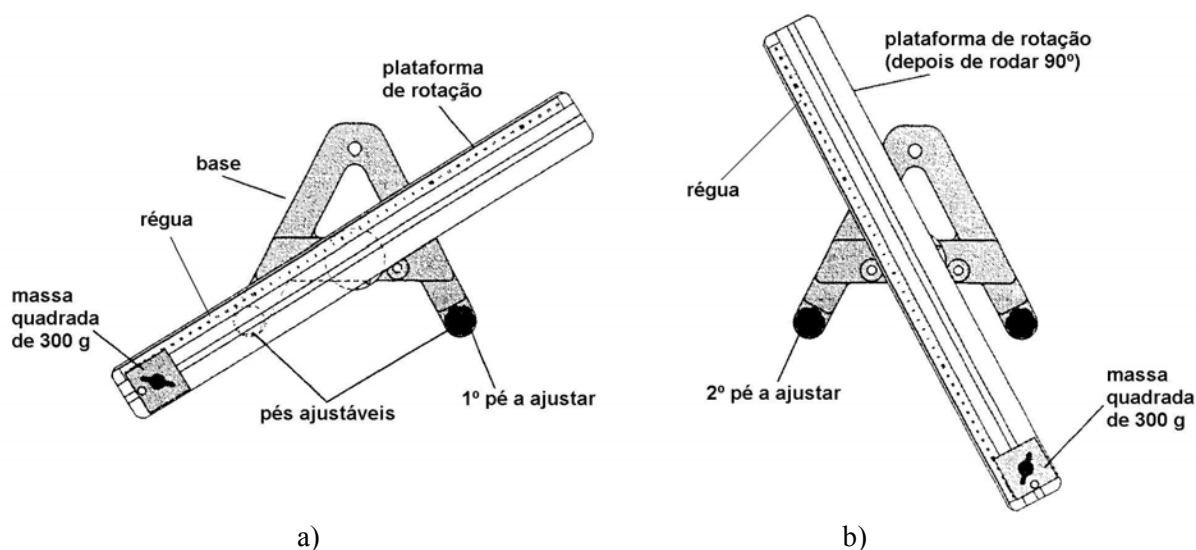


Figura 1

Nivelamento da base: a) Ajuste de um dos pés; b) Ajuste do outro pé.

3.1.2. Ajuste o parafuso de um dos pés da base (pé direito) até que a extremidade da plataforma que tem a massa quadrada fique alinhada sobre o parafuso do outro pé da base (pé esquerdo) - fig.1-a)).

3.1.3. Em seguida, rode a plataforma de 90°, até que fique paralela a um dos lados do A da base, como mostra a fig. 1-b), e ajuste o parafuso do outro pé (o esquerdo) até que a plataforma fique estabilizada nessa posição. Quando tal acontecer, a plataforma de rotação está nivelada e deve permanecer sempre em repouso, qualquer que seja a orientação em que a coloque.

3.1.4. Retire a massa quadrada da calha.

3.2. Colocação dos acessórios para o estudo da força centrípeta

- 3.2.1. Monte a coluna central na ranhura da plataforma de rotação, do lado que tem a régua (fig. 2). Faça coincidir a marca de referência da coluna com o zero da régua da plataforma e aperte o parafuso de fixação de modo a que a coluna central fique nessa posição.

Como pode verificar, essa coluna tem uma mola suspensa, à qual está ligado um disco colorido cujo diâmetro permite atravessar o orifício de uma placa indicadora. Esta placa pode ser deslocada ao longo da coluna central e fixada a diferentes alturas.

Do conjunto mola + disco, está suspenso um fio que contorna uma pequena roldana presa também à coluna central. A força aplicada a esse fio provocará a maior ou menor distensão da mola e, portanto, a coincidência entre o disco colorido e o orifício da placa indicadora.

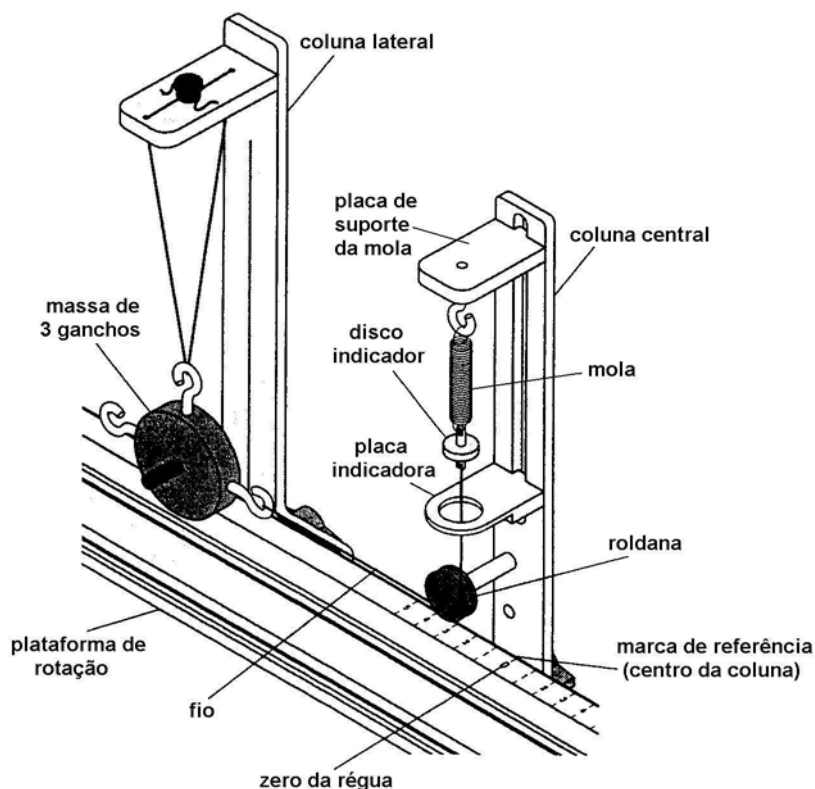


Figura 2

Representação esquemática dos acessórios utilizados no estudo da Força Centrípeta.

- 3.2.2. Monte, agora, do mesmo lado da calha e à esquerda da coluna central (figura 2), a coluna lateral. Escolha uma posição qualquer para esta coluna e fixe-a através do parafuso apropriado. Com o auxílio da régua da calha, meça a distância r entre esta posição e o zero da mesma escala, onde está localizada a coluna central. Registe cuidadosamente este valor. Ele corresponderá ao *raio da trajectória circular* do objecto, como se verá.

Esta coluna consiste apenas de uma placa de suporte onde está preso um fio que sustentará o corpo ao qual se vai aplicar a força centrípeta e cujo movimento de rotação estudaremos. O corpo consistirá de uma massa de 3 ganchos (fig.2).

- 3.2.3. Porque precisará desse valor no decorrer da experiência, comece por medir e registar o valor da massa de 3 ganchos, M (chame-lhe “valor de M medido directamente” ou, para simplificar, valor directo de M ; verá mais tarde porquê).

Em seguida, pendure-a, por meio de um dos ganchos, ao fio da coluna lateral e prenda-o, através de outro gancho, ao fio ligado à mola da coluna central; este fio deve passar pela parte inferior da pequena roldana da coluna central (fig. 2 e 3).

Note que a mola se distende e que o fio da coluna lateral que sustenta a massa de 3 ganchos se desvia da posição vertical.

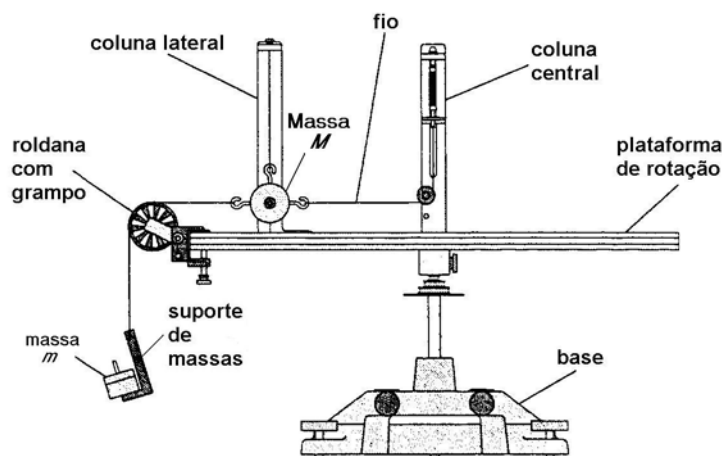


Figura 3

Representação esquemática do dispositivo completo utilizado no estudo da Força Centrípeta.

- 3.2.4. Fixe a roldana com grampo (fig. 3) à extremidade da plataforma de rotação que fica mais perto da massa de 3 ganchos. Utilizando um fio, suspenda o suporte de massas ao gancho livre do objecto, fazendo passar o fio pela roldana (fig. 3).

Escolha uma massa m , registe o seu valor e coloque-a no suporte de massas (fig. 3). Registe também o valor da massa m_s do suporte.

- 3.2.5. De seguida, desloque verticalmente a placa horizontal de suporte da mola de forma a que o fio que sustenta a massa de 3 ganchos volte a estar alinhado com a linha vertical da coluna lateral.

Se for necessário ajuste a altura da roldana com grampo para que as partes horizontais dos fios fiquem à mesma altura e paralelos à plataforma (fig. 3).

Mova a placa indicadora de forma a centrar o disco colorido no seu orifício.

Repare, agora, no seguinte: o peso das massas $m+m_s$ constitui uma força aplicada à massa de três ganchos; ao descermos ou subirmos a posição superior da mola (de forma a “endireitarmos” a sustentação do objecto, a massa de 3 ganchos) e depois marcarmos a elongação da mola fazendo coincidir o disco e o orifício da placa indicadora, estamos a memorizar a força aplicada ao objecto na distensão da mola.

- 3.2.6. Retire a massa suspensa na roldana e retire a roldana. Repare que, na coluna central, o disco indicador deixa de estar alinhado com a placa indicadora. Contudo, a marca da placa indicadora continua a registar a posição de elongação da mola correspondente ao peso suspenso.
- 3.2.7. Agora, se fizer rodar manualmente a plataforma (rodando o pé da plataforma), existe uma velocidade de rotação para a qual o disco indicador avermelhado volta a ficar centrado no orifício da placa indicadora. Nesta situação, a força centrípeta aplicada ao objecto tem a grandeza do peso da massa anteriormente suspensa. Tentando imprimir à plataforma uma velocidade constante que faça coincidir o disco e o orifício, podemos assim medir directamente a grandeza da força centrípeta aplicada.

RESUMINDO: O corpo de massa M (massa de 3 ganchos), realiza um movimento circular uniforme de raio r (a distância entre a coluna lateral e a coluna central), quando lhe está aplicada uma força centrípeta correspondente ao peso das massas $m+m_s$. Utilizando este dispositivo é possível, portanto, desenvolver um estudo experimental da acção da força centrípeta, alterando qualquer uma das variáveis: M , r , v ou $F(m)$.

4. Procedimento e tratamento dos resultados obtidos

Importante – Como preparação para o trabalho, aconselha-se a leitura das notas “Introdução à análise de dados nas medidas de grandezas físicas” (nomeadamente, das secções 1 a 5.1, 7 e 8) e das notas “Gráficos” (fotocópias retiradas da ref. bibliográfica [5]).

4.1. Variação do Raio da Trajectória

Nesta parte da experiência, a massa M do objecto e a força centrípeta (peso da massa m e do suporte) nele exercida permanecem constantes. Ao peso total da massa m mais do suporte chamar-se-á "valor da força centrípeta obtido directamente" ou, sucintamente "valor directo de F ".

Uma vez que tem o dispositivo preparado e tomou nota dos valores das grandezas envolvidas, pode começar imediatamente a primeira parte deste trabalho.

- 4.1.1. Faça rodar a plataforma, aumentando a velocidade de rotação até que o disco indicador avermelhado volte a ficar centrado no orifício da placa indicadora. Isto significa que o fio que suporta o objecto suspenso está novamente na vertical e, portanto, o objecto suspenso está na posição correspondente ao raio seleccionado.
- 4.1.2. Mantendo a plataforma a rodar a esta velocidade, determine o período T do movimento, medindo, com um cronómetro, o tempo correspondente a dez voltas completas. Registe o período e também o valor de T^2 . Sugere-se a criação de uma tabela para os diferentes valores do r , T e T^2 - a Tabela I, por exemplo.
- 4.1.3. Desloque agora a coluna lateral, de modo a seleccionar um novo valor para o raio r . Repita o procedimento dos pontos 3.2.4. a 3.2.6. e 4.1.1 a 4.1.2., sempre com a mesma massa m suspensa, uma vez que pretendemos que a força centrípeta tenha a mesma intensidade nesta parte do trabalho. Repita o procedimento para um número total de cinco valores do raio r .

4.1.4. Represente, em papel milimétrico, os valores do raio r em função do quadrado do período T^2 (eq. 2) e trace a recta que melhor se ajusta aos pontos experimentais, quer “a olho”, baseando-se no que sabe sobre o traçado de rectas, quer por meio de um tratamento matemático rigoroso. Tanto num caso como no outro deve explicitar a metodologia ou o formulário matemático em que se baseou.

4.1.5. Determine, a partir do gráfico, o valor da força centrípeta (chame-lhe “valor da força centrípeta obtido indirectamente” ou, simplesmente, “valor indirecto de F ”). Compare os valores da força centrípeta obtidos directa e indirectamente. Admitindo que o valor directo está mais perto do verdadeiro valor da grandeza, calcule a diferença relativa percentual da medida indirecta em relação à medida directa. Comente o resultado obtido.

4.2. Variação da Força Centrípeta

Nesta parte da experiência, o raio r do movimento circular e a massa M do objecto permanecem constantes.

4.2.1. Uma vez que se pretende variar a força centrípeta, torne a fixar a roldana com grampo à extremidade da plataforma, escolhendo, agora, uma massa m diferente. Repita os procedimentos dos pontos 3.2.4. a 3.2.6. e 4.1.1 a 4.1.2. (Sugere-se a criação de uma nova tabela - Tabela II, por exemplo.) Faça-o para um total de cinco forças aplicadas diferentes, registando sempre os valores de m (ou $m+m_s$), F , T e T^2 na tabela.

4.2.2. Represente, em papel milimétrico, os valores da força centrípeta F em função do inverso do quadrado do período $1/T^2$ (eq. 2) e trace a recta que melhor se ajusta aos pontos experimentais, quer “a olho”, baseando-se no que sabe sobre o traçado de rectas, quer por meio de um tratamento matemático rigoroso. Tanto num caso como no outro deve explicitar a metodologia ou o formulário matemático em que se baseou..

4.2.3. Determine, a partir do gráfico, o valor da massa M do objecto (chame-lhe “valor de M obtido indirectamente” ou, simplesmente, “valor indirecto de M ”). Compare o valor da massa M obtido directa (resultado da medição no ponto 3.2.3) e indirectamente. Calcule a diferença relativa percentual da medida indirecta em relação à medida directa. Comente o resultado obtido.

4.3. Variação da Massa do Objecto

Nesta parte da experiência, a força centrípeta F e o raio r do círculo permanecem constantes.

4.3.1. Junte massas adicionais ao objecto (a massa com 3 ganchos) e pese-o registando o novo valor da sua massa M . Repita os procedimentos dos pontos 3.2.4 a 3.2.6 e 4.1.1. a 4.1.2, registando bem o valor de m e, portanto, da força centrípeta (“valor obtido por medição directa” ou “valor directo de F ”) e o valor do raio r que se manterão constantes nesta parte da experiência. (Sugere-se a criação de uma nova tabela - Tabela III, por exemplo.) Faça-o para um total de três massas M diferentes, registando sempre os valores de M , T e T^2 na tabela.

4.3.2. Usando a eq. (2), calcule a força centrípeta (“valor obtido por medição indirecta” ou “valor indirecto de F ”) para cada uma das diferentes massas do objecto, bem como a diferença relativa da medida indirecta em relação à medida directa. Inclua essas duas colunas de valores

(valor indirecto de F e diferença relativa percentual (admitindo que o verdadeiro valor de F é dado pela medição directa de F) na tabela III.

4.3.3. Comente os resultados obtidos.

5. Relatório

Elabore um relatório do trabalho efectuado, no qual deve incluir, para além da identificação do trabalho e da equipa (nome, licenciatura, turma e grupo) que o realizou:

- o objectivo do trabalho (4 a 5 linhas);
- os resultados experimentais obtidos (organizados em tabelas e gráficos sempre que possível);
- o tratamento matemático adequado desses resultados e a discussão/comentário dos mesmos;
- as conclusões finais.

Bibliografia

- [1] M.M.R.R. Costa e M.J.B.M. de Almeida, *Fundamentos de Física*, Coimbra, Livraria Almedina (1993).
- [2] Paul Tipler, *Física*, Editora Guanabara-Koogan, 4ª Edição (2000).
- [3] M. Alonso e E. Finn, *Física*, Addison-Wesley Iberoamericana (1999)
- [4] *Introdução à análise de dados nas medidas de grandezas físicas*, Coimbra, Departamento de Física da Universidade (2003/04).
- [5] M.C. Abreu, L. Matias e L.F. Peralta, *Física Experimental - Uma introdução*, Lisboa, Editorial Presença (1994).