



35ª Olimpíada Internacional de Física

Pohang, Coreia

15 ~ 23 de Julho de 2004

Prova Experimental

Segunda-feira, 19 de Julho de 2004

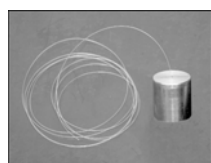
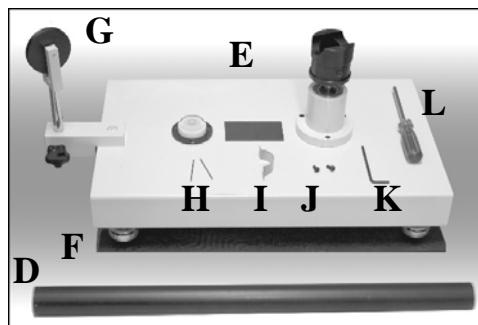
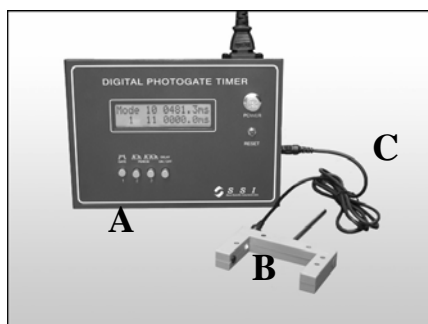
Por favor, ler estas instruções antes de iniciar a prova:

1. O tempo disponível para a prova experimental é de 5 horas.
2. Utilizar apenas a caneta que lhe foi fornecida.
3. Utilizar apenas o lado da frente das *folhas*. Escrever apenas dentro das caixas.
4. Para cada questão, além das *folhas de papel em branco* onde pode escrever, existe também uma *folha de respostas* onde *deve* fazer o sumário dos resultados que obteve.
5. Escrever nas *folhas em branco* os resultados das suas medidas e tudo o que considerar relevante para a resolução da questão. Por favor, utilizar o *mínimo de texto*; deverá procurar exprimir-se sobretudo com equações, números, figuras e gráficos.
6. Preencher as caixas no topo de cada folha de papel que utilizar, registando o país (**Country Code**) e o seu número de estudante (**Student Code**). Numerar cada página (**Page Number**) indicando ainda o número total de *folhas em branco* usadas (**Total Number of Pages**). Se usar folhas de rascunho que não deseje que sejam corrigidas, marque-as com uma grande cruz sobre a folha e não as inclua na sua numeração.
7. No final da prova, ordenar as folhas de cada questão *pela seguinte ordem*:
 - *Folha de respostas* (em primeiro lugar)
 - Folhas utilizadas (ordenadas)
 - Folhas de rascunho inutilizadas
 - Folhas não utilizadas
 - Enunciado da prova (no fim)
8. Não é necessário especificar o erro nos seus valores. No entanto, os desvios em relação aos valores correctos irão determinar a sua classificação.
9. Colocar as folhas dentro do envelope e deixar tudo sobre a mesa. **Não é permitido retirar da sala quaisquer folhas de papel nem qualquer parte do dispositivo experimental.**

Equipamento disponível

1. Lista do equipamento disponível

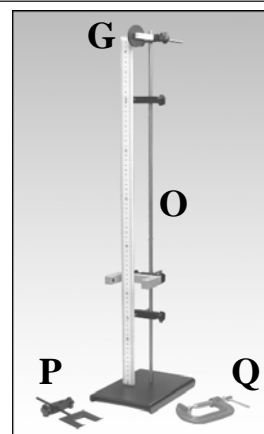
	Nome	Quantidade		Nome	Quantidade
A	Relógio digital	1	L	Chave Philips	1
B	Fotocélula	1	M	Peso e fio	1
C	Cabo de ligação	1	N	Balança electrónica	1
D	Caixa Mecânica Mistério (cilindro preto)	1	O	Suporte e régua	1
E	Mesa de rotação	1	P	Suporte em U	1
F	Tapete de borracha	1	Q	Garra	1
G	Roldana	2		Réguas (0.50 m; 0.15 m)	1 de cada
H	Haste metálica	2		Craveira	1
I	Chapa em forma de U	1		Tesoura	1
J	Parafusos	2		Fio de nylon	1
K	Chave Allen (chave hexagonal, em forma de L)	1		Extras (fios de nylon e algodão, haste, parafuso, chave Allen)	



M



N

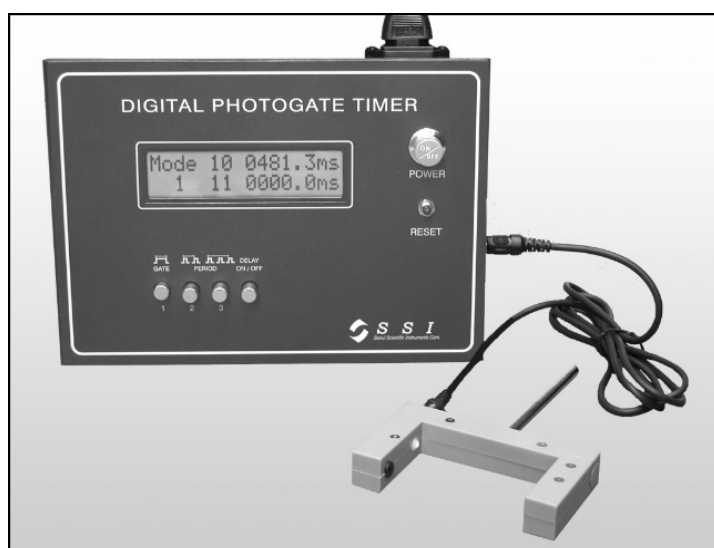


2. Instruções para o relógio digital e a fotocélula

A fotocélula consiste num LED de infravermelho e um fotodetector. Ligando a fotocélula ao relógio digital, pode medir-se o intervalo de tempo durante o qual o feixe de luz infravermelha fica bloqueado na fotocélula.

- Assegurar-se de que a fotocélula está ligada ao relógio digital. Ligar o relógio pressionando o botão “POWER”.
- Para medir a duração de um evento (intervalo de tempo durante o qual o feixe fica bloqueado) pressionar o botão “GATE”. Usar este modo para medir velocidades.
- Para medir o intervalo de tempo entre dois bloqueios sucessivos do feixe, pressionar o primeiro dos botões “PERIOD”, para medir o intervalo entre o primeiro e terceiro bloqueios pressionar o outro botão. Usar este modo para medir o período de oscilações.
- Se o botão “DELAY” estiver metido para dentro, o relógio digital mostra o resultado de cada medição durante 5 segundos e recomeça de seguida nova contagem.
- Se o botão “DELAY” estiver para fora, o relógio digital mostra o resultado da última medição, até que a próxima medição seja efectuada.
- Depois de mudar a posição de qualquer botão, é necessário pressionar o botão “RESET” para activar a mudança de modo do relógio.

Advertência: Não olhe directamente para a fotocélula. A luz de infravermelhos, invisível, pode ser perigosa para os olhos.



Fotocélula, relógio digital e cabo de ligação

3. Instruções para a Balança Electrónica

- Ajustar os pés da balança para a nivelar. (Existe um nível de bolha de ar para ajudar a nivelar a balança; contudo não é necessário um ajustamento perfeito, pelo que não deverá perder um tempo excessivo a nivelar a balança.)
- Ligar a balança, carregando no botão “ON-OFF”; quando ligar a balança, assegurar-se que tem o prato da balança vazio.
- Para pesar um objecto, colocá-lo no prato da balança; a sua massa será indicada em gramas.
- Se nenhum objecto estiver colocado no prato da balança, esta irá desligar-se automaticamente dentro de 25 s, aproximadamente.

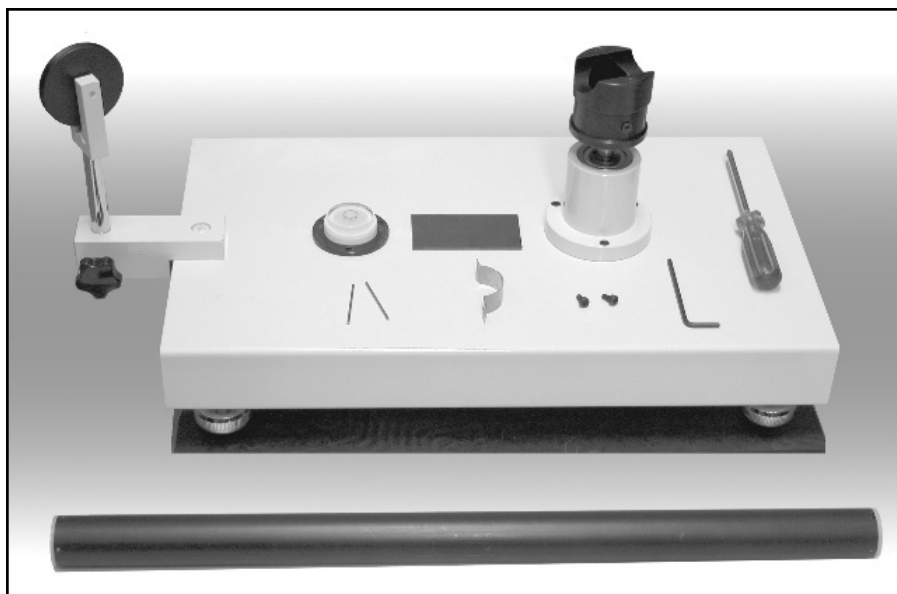


Balança

4. Instruções para a mesa de rotação

- Ajustar os pés da mesa de rotação para que ela fique numa posição estável, aproximadamente horizontal, sobre o tapete de borracha.
- Com a chapa em forma de U e os dois parafusos fornecidos, montar a Caixa Mecânica Mistério (cilindro negro) na cabeça de rotação. Usar a chave Allen (hexagonal, em forma de L) para apertar os parafusos.
- O fio atado ao peso deverá fixar-se ao parafuso que está na parte lateral da cabeça rotativa. Para o efeito, usar a chave de fendas Philips.

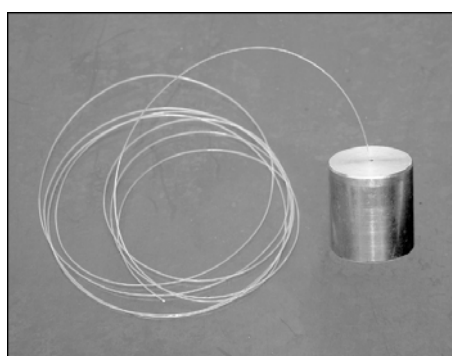
Advertência: Mantenha alguma distância em relação ao aparelho, enquanto ele estiver a rodar, pois pode magoar-se. Em particular, não olhe muito de perto para ele, evitando magoar os olhos.



Caixa Mecânica Mistério e mesa de rotação



Cabeça de rotação



Peso e fio

Caixa Mecânica Mistério

[Objectivo] Determinar a massa da bola e a constante elástica das duas molas da Caixa Mecânica Mistério

Informação geral sobre a Caixa Mecânica Mistério

A Caixa Mecânica Mistério (CMM) é formada por uma bola maciça ligada a duas molas, sendo o conjunto colocado dentro de um tubo cilíndrico negro, como mostra a Fig. 1. As duas molas foram feitas cortando uma mola grande em dois bocados desiguais, com diferente número de espiras. Os comprimentos e massas das molas quando estas não estão esticadas podem ser ignorados. O tubo é homogéneo e está selado dos dois lados com duas tampas idênticas. As tampas penetram 5 mm no tubo. O raio da bola é 11 mm e o diâmetro interior do tubo é 23 mm. A aceleração da gravidade é $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Há atrito entre a bola e a parede interior do tubo.

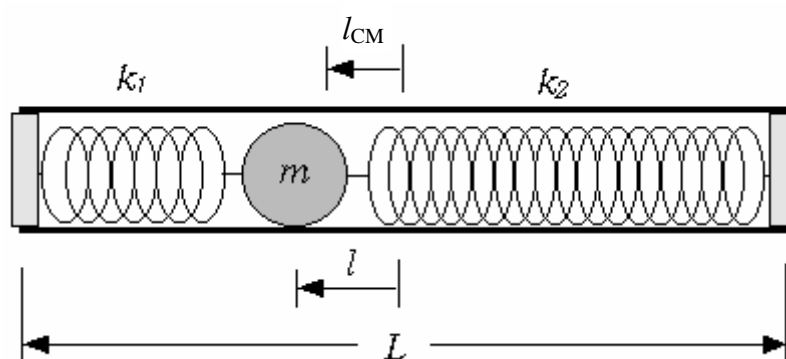


Fig. 1 – Caixa Mecânica Mistério (CMM) (não está representada à escala correcta).

O objectivo desta experiência é determinar a massa m da bola e as constantes das molas k_1 e k_2 sem abrir a CMM. A principal dificuldade da experiência é a impossibilidade de determinar a massa m ou a posição da bola l numa única experiência, dado que estas duas grandezas surgem sempre em conjunto. A posição da bola l é a distância entre os centros da bola e do tubo quando a CMM se encontra em equilíbrio na horizontal e a força de atrito é nula.

As grandezas físicas relevantes devem ser representadas pelos símbolos indicados mais abaixo. Se precisar de recorrer a outras grandezas físicas, represente-as com símbolos que não constem da lista, para evitar qualquer confusão.

Símbolos para representar as grandezas físicas

Massa da bola: m

Raio da bola: r ($=11$ mm)

Massa da CMM excluindo a bola: M

Comprimento do tubo cilíndrico negro: L

Comprimento da porção das tampas inserida no tubo: δ ($=5,0$ mm)

Distância entre o centro de massa da CMM e o centro do tubo: l_{CM}

Distância entre o centro da bola e o centro do tubo: x (ou l , no caso de a CMM se encontrar em equilíbrio na horizontal)

Aceleração da gravidade: g ($=9,8$ m/s²)

Massa do peso que é pendurado no fio: m_0

Velocidade do peso: v

Deslocamento vertical do peso: h

Raio do eixo em torno do qual o fio é enrolado: R

Momentos de inércia: I , I_0 , I_1 , I_2 , etc.

Velocidades e frequências angulares: ω , ω_1 , ω_2 , etc.

Períodos de oscilação: T_1 , T_2

Constante elástica efectiva total da mola: k

Constantes elásticas das duas molas: k_1 , k_2

Número de espiras das duas molas: N_1 , N_2

Atenção: Não tente abrir a CMM. Se a abrir será desqualificado e a sua classificação na Parte Experimental será zero.

Atenção: Não abane violentamente nem deixe cair a CMM: a bola pode desprender-se das molas. Se a CMM parecer defeituosa comunique-o imediatamente ao monitor. A CMM será substituída uma vez sem que isso afecte a sua classificação. Substituições posteriores da CMM resultarão numa penalização de 0,5 pontos por cada substituição.

PARTE A – Produto da massa e da posição da bola ($m \times l$) (4,0 pontos)

Nesta parte deverá determinar experimentalmente o valor do produto de l pela massa m da bola. Este produto será necessário para determinar o valor de m na **PARTE B**. Tenha em atenção que l é a distância entre o centro da bola e o centro do tubo quando a CMM se encontra em equilíbrio na horizontal, como se mostra na Fig. 1.

1. Sugerir, justificando com equações, um método de determinação de $m \times l$. (2,0 pontos)
2. Utilizar este método para determinar experimentalmente o valor de $m \times l$. (2,0 pontos)

PARTE B – A massa m da bola (10,0 pontos)

A Fig. 2 mostra a CMM fixa na horizontal à cabeça de rotação. Nesta figura pode-se também ver um fio com uma ponta enrolada em torno do eixo da cabeça de rotação e um peso amarrado à outra ponta. Quando o peso cai, o fio desenrola-se e a CMM roda. A combinação da equação pertinente para esta experiência com a obtida na **PARTE A** permite obter uma equação para m .

Há atrito entre a bola e a parede interior do tubo cilíndrico. O mecanismo físico do atrito e o escorregamento da bola no movimento de rotação são complicados. Para simplificar a análise pode-se ignorar a dissipação de energia devida ao atrito cinético.

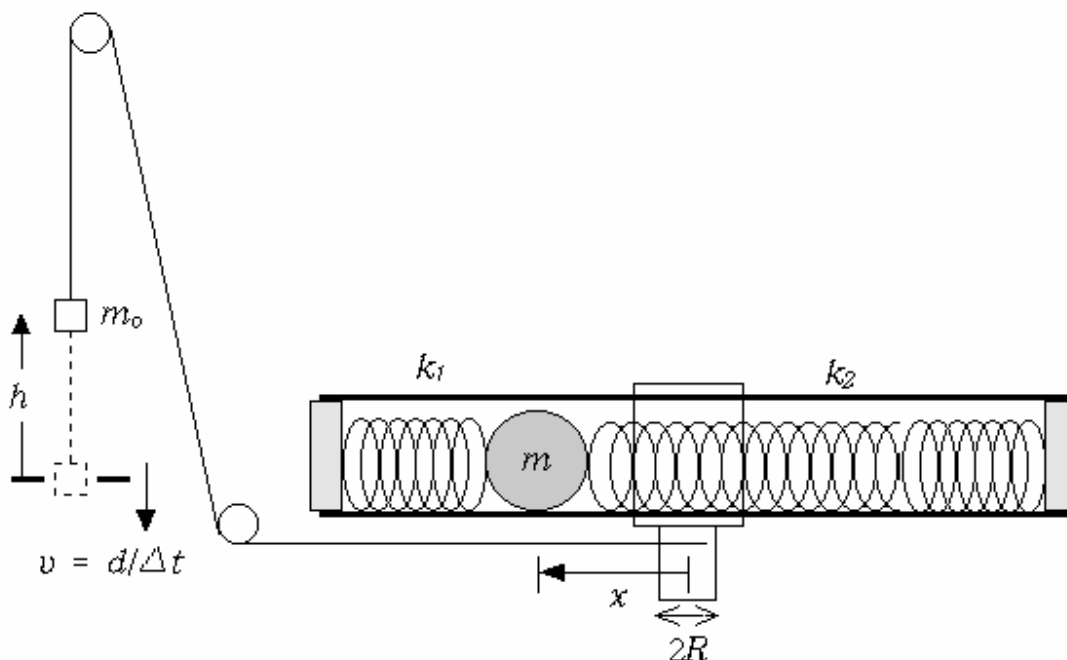


Fig. 2 – Rotação da Caixa Mecânica Mistério (o esquema não está representado na escala correcta). A velocidade angular ω da CMM pode ser obtida a partir da velocidade v do peso quando passa na fotocélula. x é a distância da bola ao eixo de rotação e d é o comprimento do peso.

1. Medir a velocidade do peso v para vários valores do deslocamento h do peso. Recomenda-se medir v apenas uma vez para cada h e considerar valores para h desde $h = 1,0 \times 10^{-2}$ m até $4,0 \times 10^{-1}$ m com um intervalo entre $1,0 \times 10^{-2}$ e $2,0 \times 10^{-2}$ m. Usar os dados para fazer um gráfico que permita determinar o valor de m . Depois de obter uma ideia da relação entre v e h , pode repetir as medições ou acrescentar alguns pontos, caso ache necessário. Quando a CMM roda lentamente, a bola não se afasta da sua posição de equilíbrio estática devido ao atrito entre a bola e a parede do tubo. Quando a CMM roda suficientemente depressa, a bola choca com a tampa no topo do tubo e permanece nessa posição, visto que as molas são fracas. Identificar no gráfico as regiões de rotação lenta e rápida. (4,0 pontos)
2. Mostrar que as medidas são compatíveis com o facto de h ser proporcional a v^2 ($h = C v^2$) na região de rotação lenta. Mostrar, a partir dos seus dados, que $h = A v^2 + B$ na região de rotação rápida. (1,0 ponto)
3. O momento de inércia de uma bola de massa m e raio r em relação a um eixo que passa pelo seu centro é $2mr^2/5$. Se a bola estiver afastada do eixo de rotação de uma distância a , o momento de inércia aumenta de ma^2 . Utilizar o símbolo I para representar o momento de inércia total de todos os corpos em rotação com excepção da bola. Relacionar o coeficiente C com os parâmetros m , l , etc. da CMM. (1,0 ponto)
4. Relacionar os coeficientes A e B com os parâmetros m , l , etc. da CMM. (1,0 ponto)
5. Determinar o valor de m a partir das medidas e dos resultados obtidos na **PARTE A**. (3,0 pontos)

PARTE C – As constantes elásticas das molas, k_1 e k_2 (6,0 pontos)

Nesta parte, irá ter de realizar algumas experiências de pequenas oscilações, usando a CMM como um pêndulo físico rígido. Existem dois pequenos buracos em cada uma das extremidades do tubo cilíndrico da CMM. Duas hastes metálicas finas podem ser inseridas nos buracos e usadas como eixo para as oscilações. O suporte em forma de U deve ser preso ao suporte universal e usado para sustentar o eixo de oscilação. Notar que a frequência angular de pequenas oscilações, ω , é dada por $\omega = [\text{momento da força}/(\text{momento de inércia} \times \text{ângulo})]^{1/2}$. Nesta expressão, o momento da força e o momento de inércia são medidos em relação ao ponto de suspensão. De forma semelhante à **PARTE B**, considerar duas situações experimentais, indicadas na Fig. 3, para poder eliminar na análise o momento de inércia I_0 da CMM excluindo a bola.

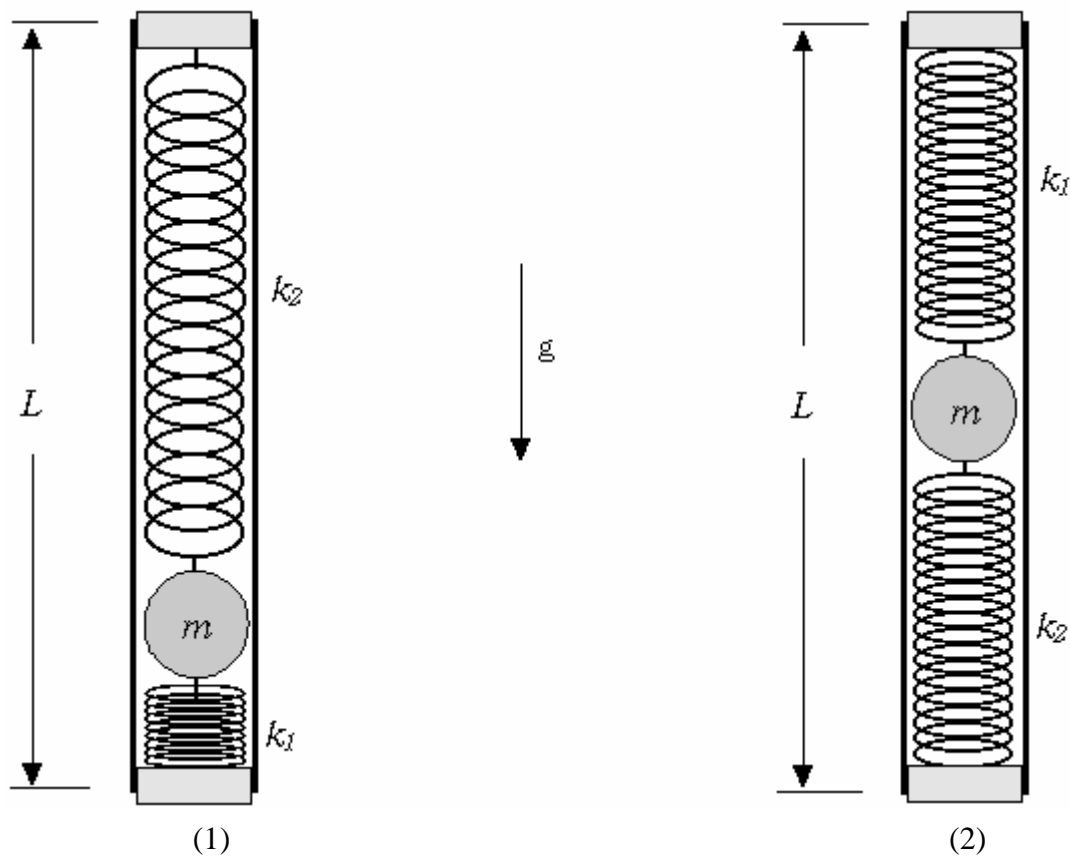


Fig. 3 – Oscilação da Caixa Mecânica Mistério (que não está representada na escala correcta). Os períodos de pequena oscilação, T_1 e T_2 , para as duas configurações acima podem ser medidos usando a fotocélula. São fornecidas duas hastes para eixo e um suporte em forma de U.

1. Medir os períodos T_1 e T_2 para pequenas oscilações (Figs. 3(1) e 3(2)) e anotar na folha os seus valores. (1,0 ponto)
2. Explicar, recorrendo a equações, porque são diferentes as frequências angulares ω_1 e ω_2 de pequenas oscilações para as configurações mostradas nas Figs. 3(1) e 3(2), respectivamente. Usar o símbolo I_0 para representar o momento de inércia da CMM, excluindo a esfera, em relação ao eixo perpendicular à CMM e que passa no seu topo. Usar o símbolo Δl para representar o deslocamento da bola em relação à posição de equilíbrio horizontal. (1,0 ponto)
3. Obter uma equação que possa ser utilizada para exprimir Δl , eliminando I_0 das expressões obtidas anteriormente. (1,0 ponto)
4. Combinando os resultados das **PARTES C** 1~3 e da **PARTE B**, encontrar e escrever na folha de respostas o valor da constante efectiva total da mola (k) para o sistema de duas molas. (2,0 pontos)
5. Obter as constantes das molas k_1 e k_2 . Escrever na folha de respostas os seus valores. (1,0 ponto)

Country Code	Student Code

Folha de respostas

PARTE A

1. Sugira e justifique, usando equações, um método experimental que permita obter o produto $m \times l$. (2,0 pontos)

2. Determine, experimentalmente, o valor de $m \times l$. (2,0 pontos)

$m \times l =$ _____ .

Country Code	Student Code

PARTE B

1. Medir v para vários valores de h . Representar os dados em gráfico numa forma que permita determinar o valor de m . Identificar no gráfico as regiões de rotação lenta e rápida. (4,0 pontos)

(O gráfico é feito em papel separado)

2. Mostrar, a partir das medidas efectuadas, que $h = C v^2$ na região de rotação lenta e $h = A v^2 + B$ na região de rotação rápida. (1,0 ponto)

(Usar o gráfico acima)

3. Relacionar o coeficiente C com os parâmetros da CMM. (1,0 ponto)

Country Code	Student Code

4. Relacionar os coeficientes A e B com os parâmetros da CMM. (1,0 ponto)

Country Code	Student Code

5. Determinar o valor de m a partir das medidas e dos resultados obtidos na ***PARTE A***.
(3,0 pontos)

$m =$ _____ .

Country Code	Student Code

PARTE C

1. Medir os períodos T_1 and T_2 das pequenas oscilações representadas nas Figs. 3(1) e 3(2) e anotar aqui os seus valores respectivos. (1,0 ponto)

$T_1 =$ _____ .

$T_2 =$ _____ .

2. Explicar, usando equações, a razão porque as frequências angulares ω_1 e ω_2 para pequenas oscilações das duas configurações são diferentes. (1,0 ponto)

Country Code	Student Code

3. Calcular ΔI eliminando I_0 dos resultados anteriores. (1,0 ponto)

$\Delta I =$ _____ .

Country Code	Student Code

4. Escrever o valor da constante elástica efectiva, k , do sistema de duas molas (2,0 pontos)

$k =$ _____ .

5. Obter os valores efectivos de k_1 e k_2 e escrever aqui os seus valores. (1,0 ponto)

$k_1 =$ _____ .

$k_2 =$ _____ .