T2 – Estudo de choques num sistema de atrito reduzido

1. Objetivos teóricos

- Estudo de choques a uma dimensão: conservação da quantidade de movimento.
- Classificação dos choques em função do seu caráter elástico.

2. Objetivos técnicos

- Utilização de uma calha de ar: nivelamento da calha e do cavaleiro.
- Determinação do centro de massa de um corpo.
- Medição de velocidades com fotocélulas.

3. Introdução à experiência

A utilização de uma calha de ar apresenta duas vantagens importantes no estudo de choques : (i) serve para alinhar o movimento dos corpos de forma a que os choques se deem nas condições pretendidas de forma reprodutível e (ii) compensando o peso sem introduzir atrito apreciável garante que o movimento dos corpos se faz com velocidade constante antes e após o choque numa extensão suficiente para que as medidas da velocidade dos corpos sejam fáceis e precisas.

Há três aspetos técnicos importantes nesta experiência : nivelar a calha e o cavaleiro de forma a compensar o peso deste ; determinar a posição do centro de massa dos cavaletes para poder regular a posição dos batentes de forma a evitar que o choque provoque movimento de rotação dos cavaleiros ; melhorar a precisão da medição das velocidades.

O nivelamento da calha faz-se por meio de dois parafusos. É importante que a distribuição de massas do cavaleiro seja simétrica para que este se mantenha horizontal. Com efeito a força de pressão do ar sob o cavaleiro que vai compensar o peso deste é perpendicular à sua superfície inferior. Se o cavaleiro estiver inclinado, devido a uma má distribuição das massas, esta força deixa de ser vertical e a sua soma com o peso não é nula mas tem uma resultante horizontal que acelera o cavaleiro (faça a experiência : o sentido desta aceleração é o que esperava ?).

ele ñ vai conseguir parar na calha

Os centros de massa de cada cavaleiro no momento do choque definem uma reta que deve incluir o ponto de contacto (central) do choque para que os cavaleiros não ganhem movimento de rotação. Nota : as possibilidades de regulação da posição dos batentes nos cavaleiros são grosseiras.

A velocidade do cavaleiro é determinada indiretamente medindo uma distância (comprimento da bandeira) e o tempo que o cavaleiro demora a percorrer essa distância! O sinal de sincronismo que inicia e para o cronómetro é gerado em função da bandeira do cavaleiro interromper ou não um feixe de luz (Figura 1).

Δt d $v = \frac{d}{\Delta t}$

ERROS:
- inclinação da calha;
- o fluxo do ar que a calha produz pode nem sempre ser constante;
- para massas bastante reduzidas e com velocidade muito reduzida também, o tempo torna-se imensurável;

- ñ conseguimos recriar um ambiente ideal sem atrito no laboratório onde fizemos a experiência.

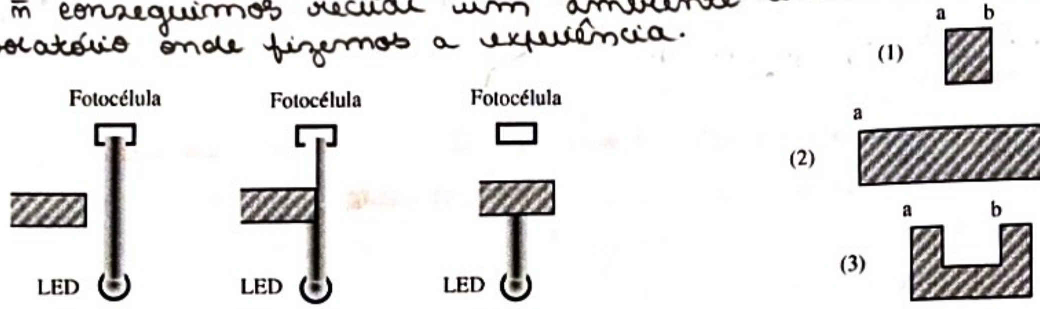


Figura 1

erro do aparelho de medição do temp

Devido à largura do feixe de luz não ser desprezável o sinal elétrico gerado pela fotocélula não é uma onda quadrada (ver Figura 2), mas apresenta uma rampa inicial e final. Os circuitos eletrónicos deverão decidir, analisando este sinal, a partir de que instante a bandeira já interrompeu / deixou de interromper o feixe de luz. O sincronismo da cronometragem nem sempre se efetua a meio da rampa, podendo ter lugar numa zona da rampa mais para baixo ou para cima do centro, introduzindo-se assim um erro na distância percorrida.

→ Além disso, como em teoria, a velocidade do cavaleiro é constante, utilizamos a bandeira + comprida para facilitar a recolha do tempo de passagem na fotocélula. Se, pelo contrário, pretendêssemos a velocidade instantânea (numa situação em que a velocidade do cavaleiro varia), utilizaríamos uma bandeira + pequena, uma vez que assim a variação da velocidade enquanto esta passa no feixe de luz da fotocélula é menor.

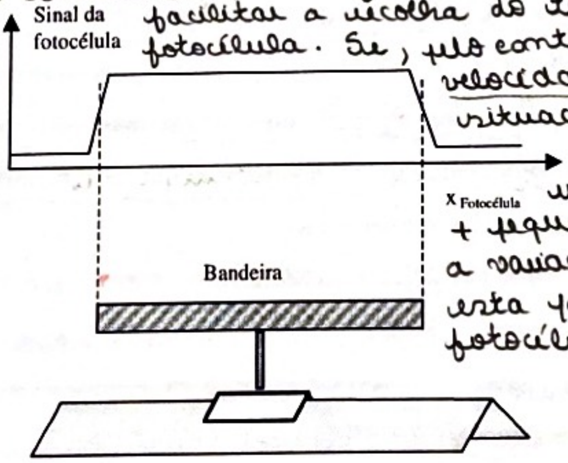


Figura 2

Para reduzir o erro de sincronismo (ver figura 1), pode usar-se uma bandeira mais comprida, (2) em lugar de (1), diminuindo o erro relativo (mas não o erro absoluto) ou então usar-se a bandeira dupla, (3) em lugar da (1), neste caso a cronometragem faz-se em duas rampas a subir (ou a descer), cancelando o erro de sincronizar demasiado em baixo ou em cima.

4. Conhecimentos teóricos

Um choque é uma interação de pequena duração entre dois ou mais corpos e durante a qual atuam forças (muito) intensas.

E_c → energia cinética

→ temos que ter em atenção que os sentidos das velocidades, o que afeta os sinais destas.

⚠ As perdas de energia ocorrem maioritariamente nos adaptadores!

→ como o atrito

Supondo $\boxed{\text{as forças externas desprezáveis}}$, face a estas, verifica-se a conservação da quantidade de movimento total dos corpos que chocam:

$$\boxed{\sum_i m_i \vec{v}_i = constante} \Rightarrow \left.\begin{array}{l} p_i = m_1 \cdot v_{i1} + m_2 \cdot v_{i2} \\ p_f = m_1 \cdot v_{f1} + m_2 \cdot v_{f2} \end{array}\right\} \quad (1)$$

ter em atenção que ao acoplar massas nos cavaleiros, m_1 e m_2 aumentam

Parte da energia cinética inicial pode ser convertida em deformação, calor, etc., sendo a restante redistribuída pelos corpos por forma a não violar (1):

↳ dissipada nos adaptadores (zonas onde os cavaleiros chocam entre eles).

$$\underbrace{\sum_i \tfrac{1}{2} m_i v_i^2}_{E_{c_i}} = \underbrace{\sum_i \tfrac{1}{2} m_i v_i'^2}_{E_{c_f}} + E_{deformação} \quad (2)$$

Para dois corpos A e B que se movem antes e após o choque segundo o eixo dos xx estas equações tomam a forma :

↳ ou seja, no mesmo sentido, admitido como o positivo. $\vec{}\; x$

$$\begin{cases} m_A v_{xA} + m_B v_{xB} = m_A v'_{xA} + m_B v'_{xB} \\ \frac{1}{2} m_A v_{xA}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{xB}^2 = \frac{1}{2} m_A v'^2_{xA} + \frac{1}{2} m_B v'^2_{xB} + E_{deformação} \end{cases} \Rightarrow E_{c_i} = E_{c_f} + E_d \quad (3)$$

E_d → energia de deformação

Os choques podem classificar-se em função do valor da energia de deformação. Analisando um choque de dois corpos no referencial do centro de massa, os corpos aproximam-se um do outro antes do choque e, após este, ou ficam parados ou se afastam com uma velocidade relativa menor ou igual à inicial. Assim o parâmetro *e*, chamado coeficiente de restituição e definido como segue,

$$e = \frac{v'_{xB} - v'_{xA}}{v_{xA} - v_{xB}} \quad (4)$$

} ter em atenção os sentidos das velocidades

está compreendido entre 0 e 1 (verifique que o seu valor não se altera se chamarmos A ao corpo B e vice-versa). A classificação dos choques é a seguinte :

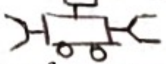
↳ Quanto maior a Ed, menor será o valor de e, pelo que + inelástico será o choque.

Choque perfeitamente elástico ($e = 1$)	Choque parcialmente elástico/inelástico ($0 < e < 1$)	Choque perfeitamente inelástico ($e = 0$) → plástica
$E_{C\,inicial} = E_{C\,final}$ $v_{relativa\,inicial} = v_{relativa\,final}$	$E_{C\,inicial} \neq E_{C\,final}$ $v_{relativa\,inicial} \neq v_{relativa\,final} \neq 0$	$E_{C\,inicial} \neq E_{C\,final}$ $v_{relativa\,final} = 0$

5. Procedimento experimental

Existem adaptadores com elásticos que se fixam nos cavaleiros e permitem realizar choques quase elásticos. Existem igualmente adaptadores que prendem e não se soltam permitindo simular choques perfeitamente inelásticos. É igualmente possível realizar choques parcialmente elásticos/inelásticos.

} É de extrema importância colocar os adaptadores nos 2 lados dos cavaleiros para que a distribuição das massas do cavaleiro seja simétrica e este se mantenha na horizontal



A dificuldade principal reside na escolha da posição das fotocélulas por forma a poder medir quer as velocidades dos corpos antes do choque quer as velocidades destes após o choque. Em todas as situações (sem exceção : porquê ?) o choque deve ter lugar com os dois cavaleiros na zona entre as fotocélulas e durante toda a duração do choque nenhuma bandeira pode estar a intercetar os feixes de luz. Atenção também ao retorno dos cavaleiros após o choque com o limitador do fim da calha.

para que seja sempre possível obter os tempos de passagem (e por sua vez a velocidade) dos cavaleiros antes e depois do choque ocorrer!

para ñ danificar o cavaleiro nem os adaptadores.

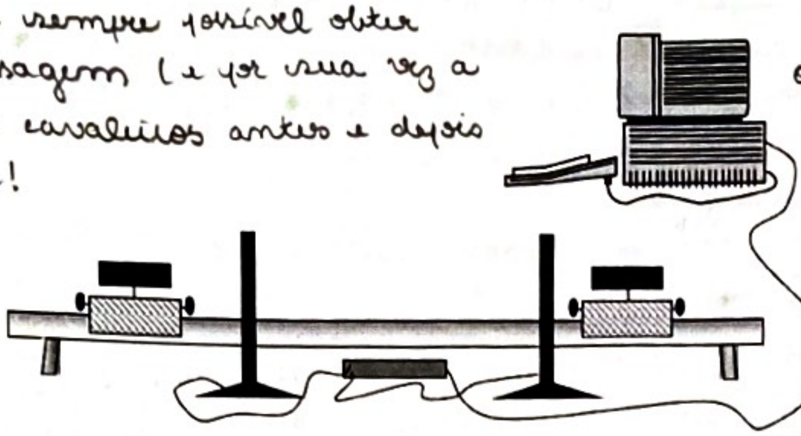


Figura 3

Escolha um conjunto de choques que permita fazer o seu estudo em função de:

1- massa dos cavaleiros (mesma massa ou massas diferentes)

2- velocidades iniciais (um parado, os dois a moverem-se em sentidos opostos, os dois a moverem-se no mesmo sentido)

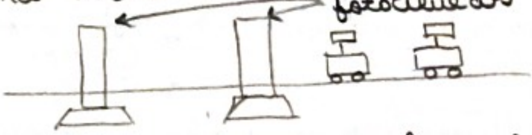
3- Caráter elástico do choque (choques quase elásticos, choques perfeitamente inelásticos, choques parcialmente elásticos/inelásticos)

6. Tratamento dos dados e resultados da experiência

Analise os resultados que obteve nos choques estudados, comparando a quantidade de movimento e a energia cinética antes e depois do choque.

Em lançamentos com sentidos opostos, colocamos um cavaleiro em cada extremidade da calha, provocando um choque + significativo e, por sua vez, uma maior Ed resultante do impacto em relação à situação em que os lançamentos foram realizados no mesmo sentido.

Em lançamentos com o mesmo sentido, os 2 cavaleiros eram colocados na mesma extremidade.



Após o lançamento do 1º cavaleiro, o 2º seria lançado com maior velocidade para que o choque ocorra entre as fotocélulas e, assim, permitir a obtenção da velocidade após o choque na segunda fotocélula.

NOTA: em choques onde utilizamos adaptadores com elásticos, o valor da energia de deformação ($E_d = E_{ci} - E_{cf}$) poderá vir a apresentar valores negativos. Isso acontece a um erro na colocação do adaptador, pelo que o elástico preso neste terá dado um "impulso extra" durante o choque.

T3 – Conservação de energia e momento. $\boxed{\text{Pêndulo balístico.}}$

→ No impacto, verifica-se naturalmente uma variação da Ep do pêndulo, que inicialmente posicionado na vertical e no seu ponto + baixo, acaba por sofrer devido à parte de transferência de E_c vinda da esfera.

1. Objetivos

Estudo de choques a uma dimensão

Verificação da conservação da quantidade de movimento.

Medição de velocidades com fotocélulas.

Estudo do choque de um projétil com um corpo rígido.

→ existe transferência total do momento da esfera para o pêndulo, embora haja perda de parte de energia, que se manifesta na forma de som/calor, por exemplo.

1. Introdução

O estudo e compreensão das colisões entre objetos, está associado a alguns princípios físicos elementares de conservação que serão analisados nesta parte do trabalho.

O pêndulo balístico é um dos métodos clássicos mais usados em experiências de laboratório que tenham por objetivo a determinação da velocidade de um projétil. Neste sistema, uma esfera é disparada contra um pêndulo, analisando-se em seguida as relações de energia e momento antes e após o choque. → o pêndulo, que estava em repouso, vai descrever um deslocamento resultante da colisão da esfera.

colisão inelástica

Existem ~~dois~~ três métodos de calcular a velocidade da esfera. No primeiro, a que chamaremos **método aproximado**, vamos assumir que o pêndulo e a esfera se comportam como se fossem apenas uma massa pontual localizada no centro de massa do sistema. No segundo, a que chamaremos **método exato**, vamos considerar a inércia rotacional do pêndulo. No terceiro, vamos chamar de **método direto**. → $v = \frac{d_{esf}}{\Delta t}$

d_{esf} → diâmetro da esfera (distância percorrida)

Δt → tempo registado pelo sensor, que o objeto demorou a percorrer a distância (o diâmetro)

I. Método aproximado

A variação da energia potencial do pêndulo em consequência do impacto do projétil é dada por:

$$\Delta E_p = Mg\Delta h_{CM} \qquad (1)$$

$$\cos(\theta) = \frac{R_{CM} - \Delta h_{CM}}{R_{CM}}$$

Em que M corresponde à massa do sistema pêndulo+esfera, g à aceleração da gravidade e Δh_{CM} à variação de altura do centro de massa do pêndulo. De acordo com a figura 1:

$$\Delta h_{CM} = R_{CM}(1 - \cos\theta) \qquad (2)$$

e assim, consideramos que $E_{p(inicial)} = 0$

$$\Delta E_p = MgR_{CM}(1 - \cos\theta) \qquad (3)$$

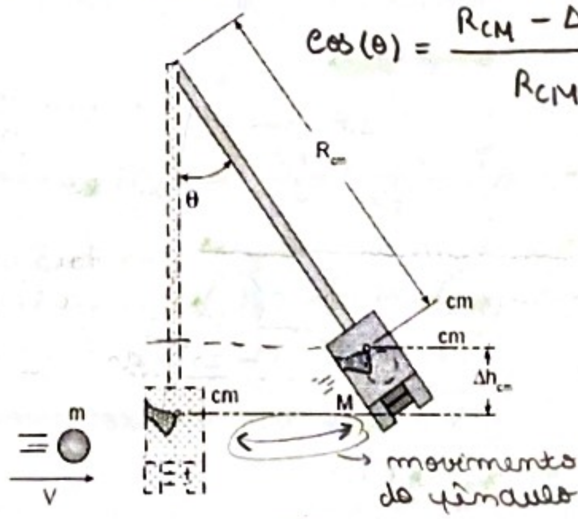


Figura 1

representação do θ máximo alcançado pelo pêndulo e variação da altura deste em relação à posição inicial

Em que R_{CM} representa a distância entre o eixo de rotação do pêndulo e o centro de massa do sistema pêndulo+esfera. Esta energia potencial

variação da energia potencial

$\Delta E_m = 0 \Leftrightarrow$

$\Leftrightarrow \boxed{E_{c_0} = E_{p_f}}$

MOMENTO LINEAR: $p = mv \rightarrow P_{esfera} = m\, v_{esfera}$

do pêndulo

$$E_c = \frac{Mv^2}{2} \Leftrightarrow v = \sqrt{\frac{2E_c}{M}}$$

é igual à energia cinética do pêndulo imediatamente após a colisão. Imediatamente após a colisão o momento linear do pêndulo é dado por

$$p_p = \sqrt{2ME_c}$$

pois como não é considerado a resistência do ar, há conservação de energia e por isso temos que:

$P_{inicial} = P_{final} \Leftrightarrow P_{esfera} = P_{pêndulo} \Leftrightarrow P_{esfera} = \sqrt{2ME_c}$

imediatamente após a colisão até ao momento em que o pêndulo atinge a altura máxima

Sendo $p_{esf} = mv_{esf}$, em que m representa a massa da esfera, e atendendo às relações de conservação referidas, a velocidade da esfera pode ser calculada por:

$$v_{esf} = \frac{M}{m}\sqrt{2gR_{CM}(1-\cos\theta)} \qquad (5)$$

$$= \frac{P_{esfera}}{m}$$

II. Método exato } aqui consideramos o pêndulo como um pêndulo físico pois ñ tem uma distribuição uniforme da massa

Tal como no caso anterior a energia potencial é dada pela equação (3). Neste caso a energia cinética do pêndulo terá de ser calculada através de:

$$E_c = \frac{1}{2}I\omega^2 \qquad (6)$$

} MOMENTO ANGULAR: $L = I\omega$ onde $I = mR^2$

$L = mR^2\omega \Leftrightarrow L = mRv$

VELOCIDADE LINEAR: $v = \omega R$

Em que I representa o momento de inércia e ω a velocidade angular imediatamente após a colisão. Sendo $\boxed{L_p = I\omega \text{ o momento angular}}$ a energia cinética é então dada por:

do pêndulo

$$E_c = \frac{L_p^2}{2I} \qquad (7)$$

MOMENTO ANGULAR → é uma grandeza que se conserva

Combinando as duas equações anteriores teremos:

$$L_p = \sqrt{2IE_C} \qquad (8)$$

De acordo com as leis de conservação, este momento angular é igual ao momento angular da esfera imediatamente antes da colisão

$$L_{esf} = mR_{esf}^2\omega = mR_{esf}v \qquad (9)$$

→ distância entre o centro de massa da esfera e o eixo de rotação do pêndulo

Em que R_b representa a distância entre o eixo de rotação do pêndulo e o centro da esfera.

Como $L_p = L_{esf}$, então:

$$v_{esf} = \frac{1}{mR_b}\sqrt{2IMgR_{CM}(1-\cos\theta)} \qquad (10)$$

↳ distância entre o eixo de rotação e o centro de massa do sistema.

o momento angular da esfera imediatamente antes da colisão é = ao momento angular do pêndulo imediatamente depois.

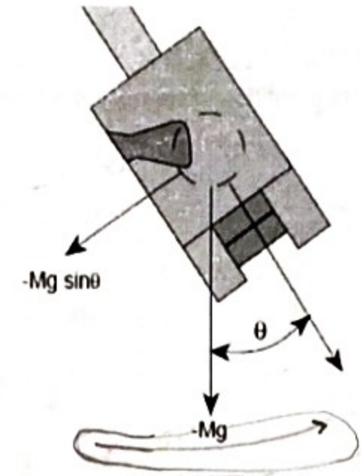
É agora necessário determinar I, o momento de inércia do sistema pêndulo+esfera. Como sabemos:

ñ é trivial porque o pêndulo ñ tem massa uniforme

$$\sum \tau = I\alpha = rF \tag{11}$$

↳ distância entre o eixo de rotação e o centro de massa do sistema.

Em que τ representa o momento (Torque) e α a aceleração angular.



o pêndulo está a oscilar em torno do seu eixo de rotação!!

componentes da força gravítica que atua no pêndulo. ← Figura 2

orientação do movimento do pêndulo, após a colisão

De acordo com a figura 2 temos:

$$F = -Mg\sin\theta \tag{12}$$

↳ componente paralela ao movimento, Px

O momento no pêndulo é então dado por:

$$I\alpha = -R_{CM}Mg\sin\theta \tag{13}$$

Como sabemos, para ângulos pequenos sen $\theta \approx \theta$. Nessa condição,

$$\alpha \approx -\frac{MgR_{CM}}{I}\theta \tag{14}$$

A equação acima tem a mesma forma da equação para o movimento harmónico simples linear.

$$\alpha = -\frac{k}{m}x = -\omega^2 x$$

Podemos então concluir que o pêndulo apresenta movimento harmónico simples, com uma frequência angular dada por:

$$\omega^2 = \frac{MgR_{CM}}{I} \tag{15}$$

ESFERA → como a sua distribuição de massa é uniforme, então o seu centro de massa esteja no centro geométrico!

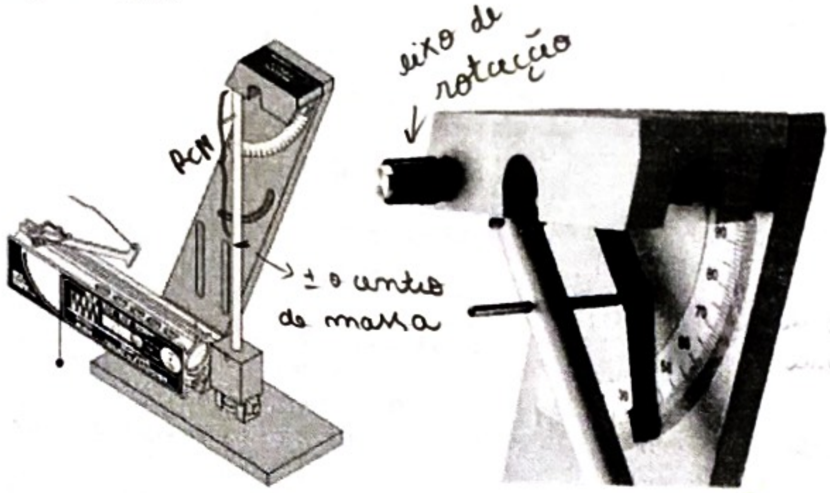
daqui resulta

$$I = \frac{MgR_{CM}}{\omega^2} = \frac{MgR_{CM}T^2}{4\pi^2} \tag{16}$$

em que T representa o período do pêndulo.

2. Procedimento

Dispõe, para a realização desta parte do trabalho, de um lançador de projéteis e de um pêndulo, como mostra a figura abaixo.

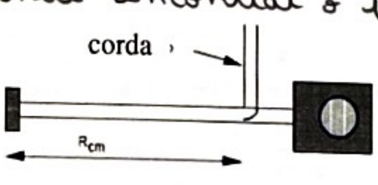


O suporte de suspensão do pêndulo tem acoplado um sistema que permite uma leitura fácil do ângulo de rotação.

Dispõe também de uma bola de aço, e de um conjunto de pequenas massas que podem ser acopladas ao pêndulo, variando a sua massa total. Meça a massa da esfera.

Usando uma corda dobrada, ou outro método que entenda adequado, estime o centro de massa do pêndulo (fig).

↳ foi-se tentando encontrar o ponto de equilíbrio.



VANTAGEM → simples
DESVANTAGEM → pouco exato, e difícil de reduzir a incerteza

Para a medida "direta" da velocidade de lançamento da bola coloque o fotosensor na saída do lançador e retire o braço do pêndulo. Em seguida:

- Meça o diâmetro da esfera.
- Faça o lançamento da esfera e registe o tempo de passagem no fotosensor
- Repita várias vezes o lançamento e registe os tempo correspondentes

Fazemos este método direto porque assim permite-nos fazer a comparação com os 2 métodos, exato e aproximado, e verificar a proximidade entre o valor do método direto e o obtido em cada método para provar qual dos métodos é + adequado para esta experiência.

VANTAGEN → nenhuma
DESVANTAGEM → pouco exato pois ignora a inércia rotacional do pêndulo
CONDIÇÃO → $I=0$; ignora também a massa da bala.

De modo a poder testar os dois modelos propostos, deve realizar as medidas necessárias à determinação da velocidade da esfera (equações 5 e 10).

Para o método aproximado faça vários lançamentos registando os ângulos correspondentes. Faça medidas para diferentes ângulos (variando a massa do pêndulo).

Para o método exato:

- Coloque a bola no recetáculo do pêndulo e registe a distancia entre o eixo de rotação do pêndulo e o centro da esfera
- Sem estar montado o lançador, coloque o pêndulo+bola no seu suporte
- Afaste o pêndulo cinco graus e registe o tempo de 10 oscilações. Determine o período de oscilação. → $T = \frac{t}{10}$
- Coloque o lançador e o pêndulo nas suas posições.
- Faça vários lançamentos registando os ângulos correspondentes.

Tenha especial atenção ao número de ensaios necessário para uma determinação correta de θ e de T.

3. Resultados

Execute todos os cálculos pedidos e/ou necessários à concretização dos objetivos e tarefas propostos.

Explique a opção por oscilações de pequena amplitude (ver equações 13 e 14), uma vez que I não depende de θ.

Compare os resultados obtidos, para a velocidade do projétil, pelos dois modelos propostos. Compare com a medida "direta" da velocidade de lançamento. ⊛

Comente criticamente todos os resultados obtidos.

→ pois apesar de I ñ depender de θ, com isto diminuímos a distância percorrida pelo pêndulo, diminuindo assim o efeito da resistência do ar, que tendo um efeito muito elevado poderia atrasar o movimento. Portanto, com isto, o movimento aproxima-se de um movimento harmónico simples, sem uma força de atrito que diminua a E_m do sistema.

⊛ Os resultados do método "exato" aproximam-se + da medida "direta" da Vesfera que os do método "aproximado". Com isto, mostramos que depois da colisão, o movimento do centro de massa do sistema vai-se parecer a uma rotação em torno de um eixo fixo e ñ da translação do ponto inicial e final, variando a Eq (método aproximado)

↓

temos que ter em atenção ao efeito do I no movimento do pêndulo para podermos calcular de forma + exata a Vesfera, visto que se trata de um pêndulo real, com uma distribuição ñ uniforme de massa e que por isso sofre o efeito de torque.

v_y → velocidade vertical } tem um movimento uniforme variado

v_x → velocidade horizontal v_0 → velocidade inicial / saída

⚠ tempo de subida = tempo de descida

T1 - Estudo do movimento de um projétil.

1. Objetivos

→ o corpo descreve uma trajetória parecida com uma parábola

- Estudar experimentalmente o movimento de um projétil lançado obliquamente.
- Modelar a trajetória do projétil.

NOTA: v_x ñ muda, é = em todo o percurso constante → movimento uniforme

2. Sugestões de procedimento

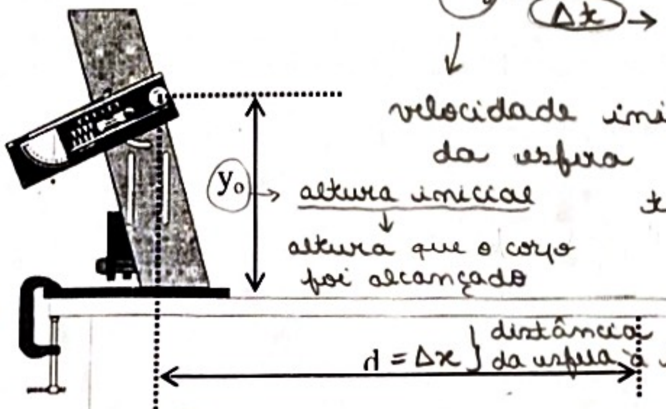
- A montagem experimental a utilizar (esquematizada a seguir) consiste basicamente num canhão lançador de projéteis e um fototransístor para medição de tempos. O projétil é uma esfera plástica que pode ser lançada de um ângulo escolhido, sendo possível medir a velocidade de lançamento recorrendo ao tempo de passagem à saída do canhão.

∡ de lançamento

$v_{0y} = v_0 \sin(\alpha)$

$v_{0x} = v_0 \cos(\alpha)$

↓ também se verifica para as outras velocidades (sem ser inicial)



$v_0 = \frac{d}{\Delta t}$ → d → diâmetro da esfera; Δt → tempo do fototransístor → tempo de lançamento da esfera

↓ velocidade inicial da esfera

y_0 → altura inicial → altura que o corpo foi alcançado

$d = \Delta x$ } distância do ponto de lançamento da esfera à placa vertical ($\overline{\Delta x}$ → média)

Δy → altura do ponto da trajetória na qual a esfera colide com a placa vertical ($\overline{\Delta y}$ → média)

Fig 1. Esquema da montagem experimental a utilizar

Nota: verificar que inicialmente o canhão está na **posição de curto alcance** ("short range").

para o sensor poder fazer a medição (se a bola passasse muito rápido, o sensor ia ter dificuldades em medir) ← para ñ sair com demasiada força

- De modo a poder determinar a velocidade de lançamento deverá, escolhido um determinado ângulo de lançamento, efetuar um número suficiente de medidas independentes da distância (d) atingida pelo projétil.

→ ∡ que faz com a horizontal

- Escolha um ângulo de lançamento (por exemplo, 30º) e determine experimentalmente a trajetória do projétil. Um ponto da trajetória pode ser obtido registando a posição da marca do projétil deixada num alvo vertical; a marca é deixada pela colisão do projétil numa folha branca sobre a qual é colocada uma folha de papel químico coladas sobre uma placa rígida vertical. Os vários pontos da trajetória obtêm-se repetindo a experiência para várias distâncias do alvo ao ponto de lançamento do projétil. Sugere-se a realização de vários ensaios para cada ponto da trajetória.

Obs.: ∡ para obter maior alcance é 45º!

EQUAÇÕES PARAMÉTRICAS DO MOVIMENTO:

$x(t) = v_{0x} t = v_0 \cos(\alpha) t$

$y(t) = y_0 + v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2 = y_0 + v_0 \sin(\alpha) t - \frac{1}{2} g t^2$

$t = \frac{x}{v_0 \cos(\alpha)} = \frac{x}{v_{0x}}$ } tempo que demora desde a posição inicial e a posição x !

- Repita o procedimento acima para diferentes ângulos de lançamento.

para obter ≠ equações de trajetória!!.

3. Resultados

- Execute todos os cálculos pedidos e/ou necessários à concretização dos objetivos e tarefas propostos.

- Modele a trajetória do projétil com uma equação adequada. Despreze, em primeira aproximação, o efeito da resistência do ar. Se necessário, considere este efeito numa segunda aproximação (veja, por exemplo, §6 do cap. X do livro "*A first course in fluid dynamics*" indicado na bibliografia).

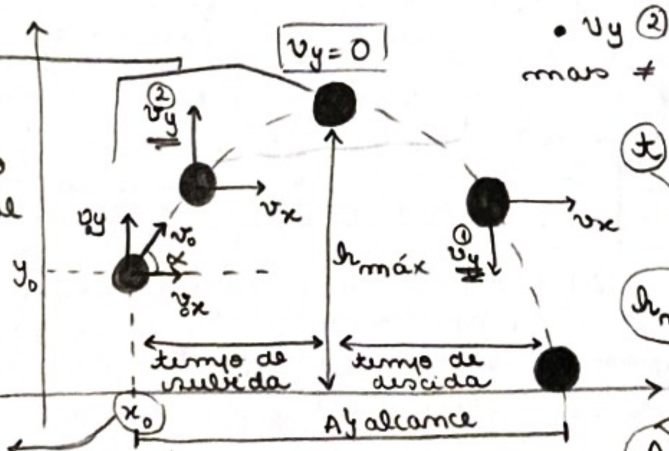
- Comente criticamente todos os resultados que obtiver.

Bibliografia

- D. Halliday, R. Resnick and J. Walker, *Fundamentals of Physics*, Wiley, 7th edition (2005).

- A. R. Paterson, *A first course in fluid dynamics*, Cambridge University Press, Cambridge (1983).

nesta 1ª parte, o corpo vai perdendo velocidade vertical pois vai-se anulando com a gravidade



posição inicial

• v_y ② e v_y ① são = em módulo mas ≠ em sentido!

$t = \frac{v_0 \sin(\alpha)}{g} = \frac{v_{0y}}{g}$

→ tempo de subida / descida

$h_{máx} = y_0 + \frac{v_0^2 \sin(\alpha)}{2g} = y_0 + \frac{v_{0y}^2}{2g}$

→ altura máxima

→ alcance

$A = x_0 + \frac{v_0^2 \sin(2\alpha)}{g} = x_0 + v_x \Delta t$

EQUAÇÃO DO MOVIMENTO / TRAJETÓRIA:

TEÓRICA

$$y(x) = y_0 + \frac{v_0 \sin(\alpha)}{v_0 \cos(\alpha)} x - \frac{1}{2} g \frac{x^2}{v_0^2 \cos^2(\alpha)} \Leftrightarrow \boxed{y(x) = y_0 + \tan(\alpha) x - \frac{g}{2 v_0^2 \cos^2(\alpha)} x^2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \boxed{y(x) = - \frac{g}{2 v_{0x}^2} x^2 + \frac{v_{0y}}{v_{0x}} x + y_0}$$ → equação obtida pelo gráfico

→ ter em atenção o referencial considerado

↳ O valor obtido experimentalmente da altura máxima é provável que seja inferior ao valor obtido pela teoria.

isto verifica-se porque a esfera, apesar de ñ considerarmos, está sujeito a uma força proveniente do ar que o impede de alcançar a mesma altura máxima que atingiria caso ñ se verificasse esta força

resistência do ar !!