

## Experimento $A_2$ : Lançamento de Projéteis

### 1 - INTRODUÇÃO

O movimento de um projétil lançado de forma oblíqua é bidimensional. Este movimento pode ser analisado nas direções  $x$  e  $y$  separadamente, ou seja, dois movimentos unidimensionais independentes. Se nenhuma força dissipativa for considerada, podemos dizer que o movimento é constante na horizontal e acelerado na vertical, com aceleração igual à aceleração da gravidade local. Escolhendo de forma adequada o sistema de coordenadas, podemos escrever as equações que regem o movimento na horizontal e na vertical:

• Horizontal:

$$x = x_0 + v_x t \quad (1.1)$$

$$v_x = v_{0x} = \text{constante} \quad (1.2)$$

• Vertical:

$$y = y_0 + v_{0y} t + \frac{1}{2} a_y t^2 \quad (1.3)$$

$$v_y = v_{0y} + a_y t \quad (1.4)$$

$$a = -g \quad (1.5)$$

A combinação destas equações nos permite encontrar o alcance horizontal  $R$ , dado por:

$$R = \frac{v_0^2 \text{sen}(2\theta)}{g} \quad (1.6)$$

em que  $v_0$  é a velocidade inicial em que projétil foi lançado e  $\theta$  é o ângulo de lançamento.

### 2 - OBJETIVOS

Estudar o movimento de projéteis. Verificar que para dois ângulos diferentes é possível obter o mesmo alcance. Fazer a linearização do gráfico  $R \times (2\theta)$  para a obtenção da velocidade inicial do projétil.

### 3 - MATERIAIS UTILIZADOS

- |                               |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
| (i) Canhão de Lançamento;     | (v) Folhas de papel branco; |
| (ii) Mesa Aparadora;          | (vi) Compasso;              |
| (iii) Esfera de aço;          | (vii) Régua;                |
| (iv) Folhas de papel carbono; | (viii) Trena.               |

#### 4 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

##### → ADVERTÊNCIAS

- (i) Evite olhar dentro do canhão disparador. Cuidado ao disparar o canhão para que a bolinha de aço não acerte seu colega/monitor/professor;
- (ii) Cuidado para não girar e desregular o gatilho durante o experimento;
- (iii) Execute o disparo sempre aplicando a menor força possível para desengatilhar o disparador;

##### → PROCEDIMENTO DE LANÇAMENTO

- (i) Monte o sistema canhão e plataforma como indicado Figura 1
- (ii) Certifique-se de que o sistema esteja nivelado. Para isso, coloque a esfera na boca do disparador e verifique se ela permanece parada; Sempre que for efetuar algum disparo a altura do centro da esfera deve ser igual à da base superior da plataforma ( $H_1 = H_2$ , Ver **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

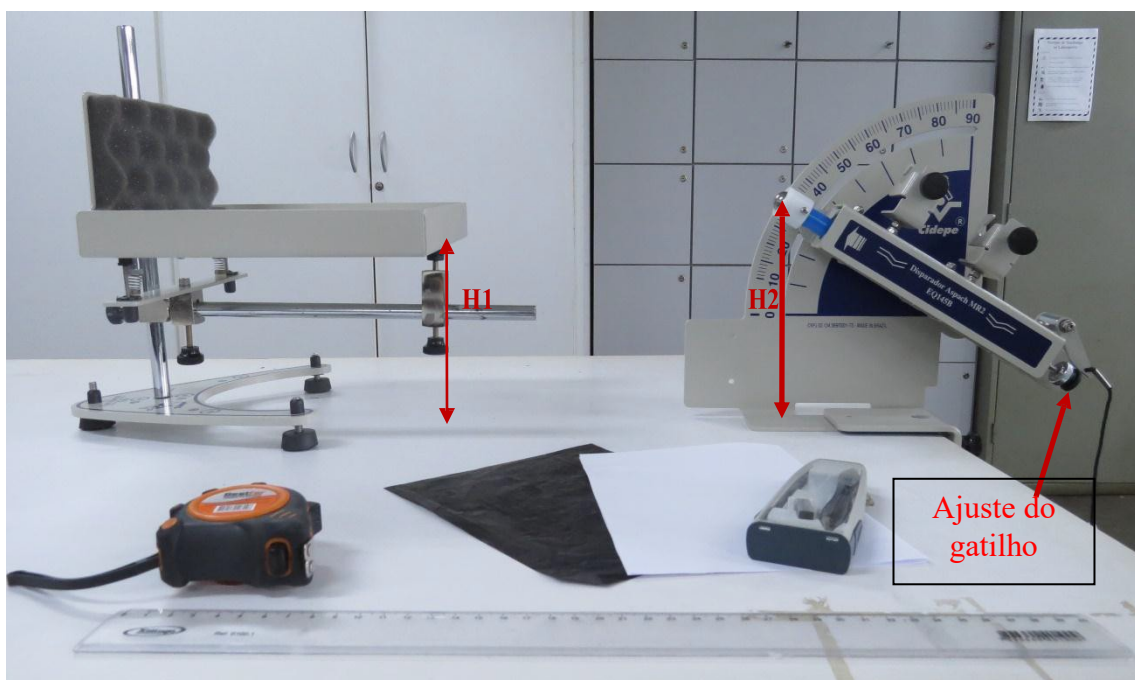


Figura 1 - Montagem do canhão e plataforma de amparo

- (iii) CALIBRAÇÃO DO SISTEMA - O canhão disparador pode se inclinar formando diferentes ângulos com a horizontal. Ajuste o canhão disparador para fazer um ângulo de  $45^\circ$  com a horizontal e garanta que  $H_1 = H_2$ . Posicione a Plataforma na extremidade oposta ao canhão e faça um disparo. Gire delicadamente o “AJUSTE DO GATILHO” até alcançar a tensão adequada para acertar vários disparos na plataforma.
- (iv) Sempre que “ENGATILHAR” o sistema tome cuidado para não modificar o “AJUSTE DO GATILHO”!
- (v) Sobre a mesa aparadora coloque uma folha de papel A4 e em seguida uma folha de papel carbono.

- (vi) Faça um disparo e verifique as marcas geradas pela esfera de aço na folha A4 ao “quicar” sobre a plataforma. Intérprete estas marcas para escolher o local da queda do projétil. Faça uma marcação sobre este local para o diferenciar dos demais (círculo, quadrado, cruz, ponto...) e cubra novamente a plataforma com PAPEL CARBONO. Repita este procedimento 5 (cinco) vezes e faça a mesma marcação sobre o local de queda do projétil para cada disparo.
- (vii) Sem mover a PLATAFORMA e o PAPEL BRANCO, utilize um compasso para desenhar o menor círculo que contenha, em seu interior, as cinco marcas produzidas pelos disparos. Meça o raio  $r_c$  deste círculo e meça a distância  $x_c$ , que corresponde a distância do centro do círculo a boca do canhão disparador. A distância  $x_c$  é o alcance horizontal,  $x$ , e a medida de  $r_c$  fornecerá a imprecisão máxima do alcance representando a incerteza nesse experimento. Assim, o alcance horizontal será dado por  $x = x_c \pm r_c$ ; registre estes valores na Tabela 1.
- (viii) Refaça os procedimentos (iv), (v), (vi) e (vi) para os ângulos de inclinação  $45^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $55^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $65^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $75^\circ$  e  $80^\circ$  do disparador. Tente utilizar o mesmo “papel branco” para os disparos com inclinações diferentes. Faça marcações diferentes para os sinais induzidos pela queda do projétil em cada inclinação. Comente qualquer surpresa constatada em relatório.

## 5 - ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÕES

- (i) As marcas deixadas pelos lançamentos são coincidentes? Explique seu resultado;
- (ii) Com os dados da Tabela 1 faça um gráfico do alcance horizontal em função do  $\text{sen}(2\theta)$ . Trace a curva que melhor se ajuste a esses pontos;
- (iii) Obtenha os coeficientes linear e angular e suas respectivas incertezas. Discuta o significado físicos desses dados;
- (iv) A partir dos dados obtidos anteriormente calcule a velocidade de disparo e sua incerteza. Use o valor da aceleração da gravidade  $(9,8 \pm 0,1) \text{ m/s}^2$ ;
- (v) A partir do resultado acima encontre as componentes de velocidades na direção  $x$  e  $y$  e o tempo de voo da esfera para cada inclinação;
- (vi) Encontre a altura máxima atingida pela esfera para cada inclinação. Faça um gráfico da altura em função do ângulo de lançamento e comente seus resultados. Compare com o que esperava obter teoricamente;
- (vii) Discuta seu resultado e de sua conclusão.

## 6 - QUESTIONÁRIO PREPARATÓRIO

**Questão 1)** A partir das equações que regem o movimento do projétil dadas acima, demonstre a expressão para o alcance horizontal  $R = \frac{v_0^2 \text{sen}(2\theta)}{g}$ . Qual é a unidade de  $R$ ? Faça uma análise dimensional.

**Questão 2)** (a) O que caracteriza os ângulos equivalentes? (b) Para qual ângulo obtêm-se o maior deslocamento? Por que? (c) Por que não é necessário fazer os experimentos para ângulos inferiores a  $45^\circ$ ? Qual seria a diferença do movimento do projétil se os valores tomados de ângulos de disparos fossem  $30^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $40^\circ$  e  $45^\circ$ ?

**Questão 3)** O lançamento de projéteis é um movimento bidimensional, e pode ser estudado pela associação de dois movimentos unidimensionais. Qual a diferença entre o movimento horizontal e vertical?

**Questão 4)** Esboce um gráfico da posição, velocidade e aceleração em função do tempo para os movimentos na horizontal e vertical. Discuta estes gráficos;

**Questão 5)** O lançamento oblíquo corresponde a uma parábola. Isole o tempo na equação [1] e substitua na equação [3], prove que o comportamento da altura  $y$  em função do deslocamento horizontal  $x$ , pode ser expresso pela equação da parábola

**Questão 6)** Escreva um texto sucinto sobre o procedimento experimental que será realizado para obtenção dos objetivos da prática relacionada a este roteiro

## 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- YOUNG, H.D.; FREEDMAN, R.A.; Sears e Zemansky Física I: Mecânica, 12.Ed., São Paulo: Addison Wesley (2008).
- Livro de Atividades Experimentais, CIDEPE.

