

23rd IYPT Problem : Electromagnetic cannon

第23屆徐有庠物理辯論賽題目：電磁砲

Yi-Ju Chen(陳怡如)^a , Tsung-Lin hsieh(謝宗霖)^b, Yu-Cheng Lin(林子程)^c and Tsu-Yi Fu (傅祖怡)^a

a: Department of Physics , National Taiwan Normal University

b: Taipei Municipal Jianguo High School

c: The Kaohsiung Municipal Kaohsiung Senior High School

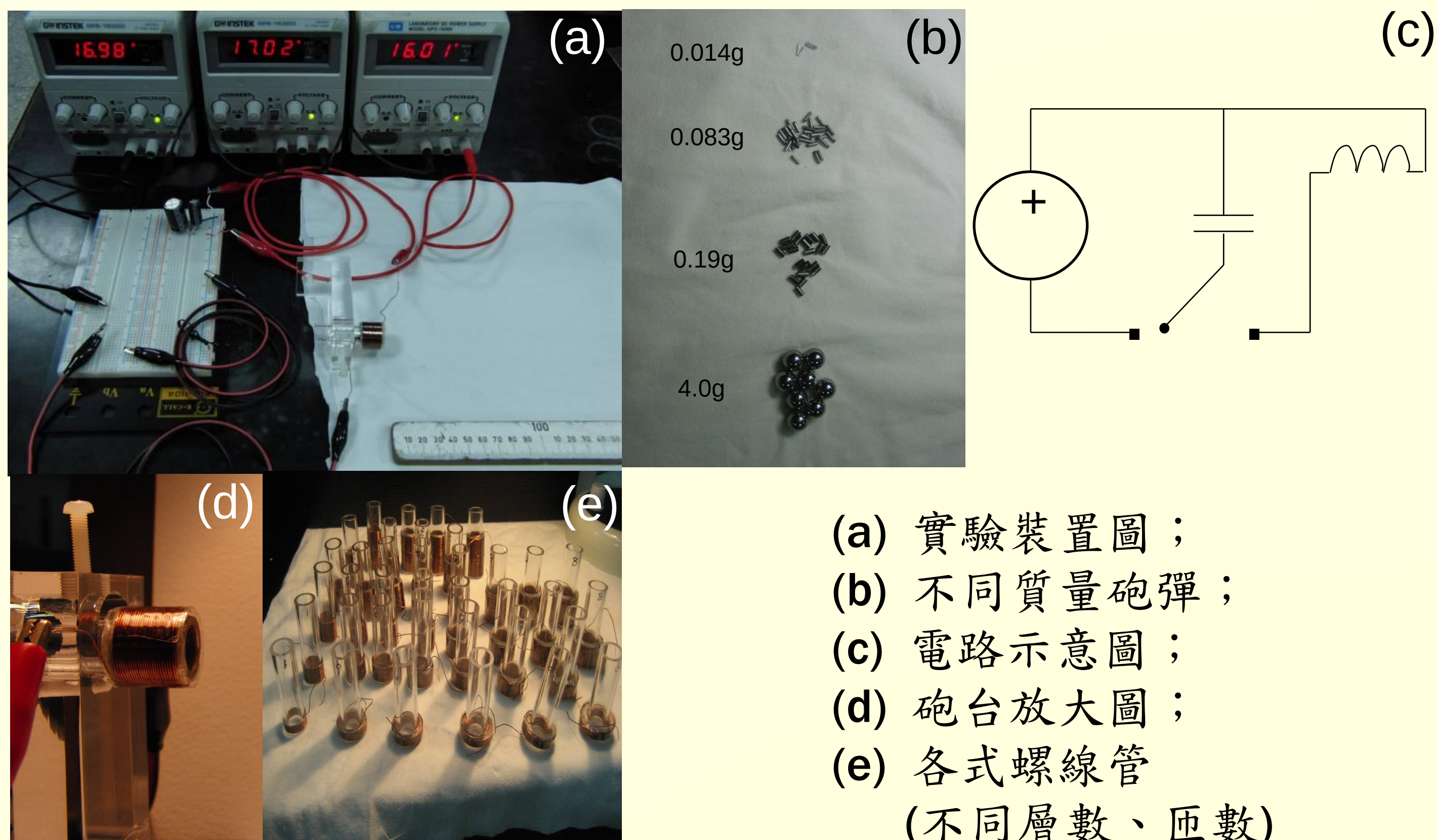
一、摘要

一個螺線管可以被用來發射一個小球，其中電容可被用來供給線圈能量。架設一個裝置，且電容充電最大電壓為50V。研究相關的參數並找出球最大的速度。

實驗過程中以改變一組變因為原則，進而找出最大速度。由實驗中發現砲彈的速度和提供的電壓成正比、和砲彈質量成反比；砲彈的位置在螺線管出口處時具有最大速度；而速度和電容大小、螺線管的層數及匝數有一極值的關係。另外砲彈的鐵磁性性質也和速度有關，鐵具有最大速度，鈷、鎳次之，而銅則不會移動。

二、實驗裝置

本次實驗使用3個串聯的電源供應器，提供電容充電最大電壓到50V。

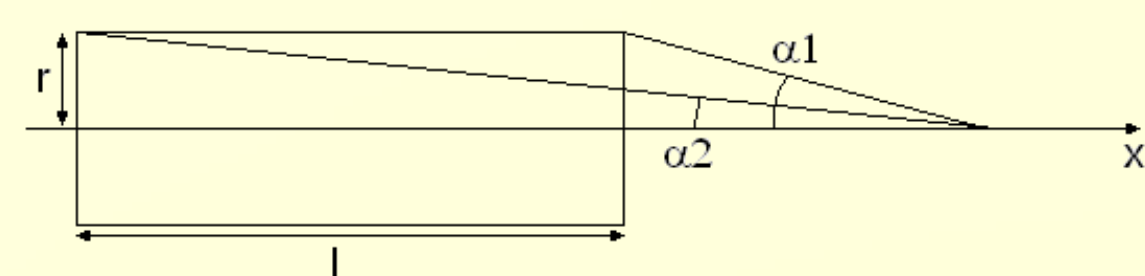


(a) 實驗裝置圖；
(b) 不同質量砲彈；
(c) 電路示意圖；
(d) 砲台放大圖；
(e) 各式螺線管
(不同層數、匝數)

三、實驗原理及測量

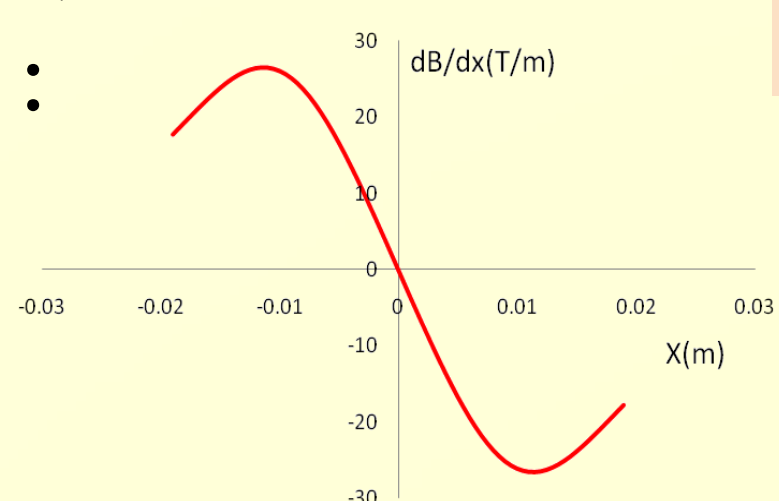
(一) 實驗原理

- 電容進行放電時，螺線管瞬間強大電流通過，將生成一磁場：

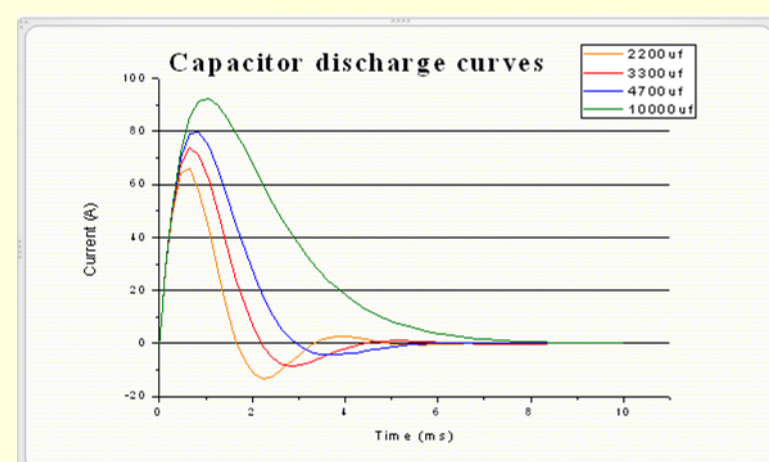


$$B(x) = \frac{\mu_0 n I}{2} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) = \frac{\mu_0 n I}{2} \left(\frac{x + l/2}{\sqrt{(x + l/2)^2 + r^2}} - \frac{x - l/2}{\sqrt{(x - l/2)^2 + r^2}} \right)$$

- 螺線管磁場會磁化砲彈，此磁場將產生一磁力： $F = \mu \frac{dB}{dx}$ ，可得螺線管磁場梯度關係圖：

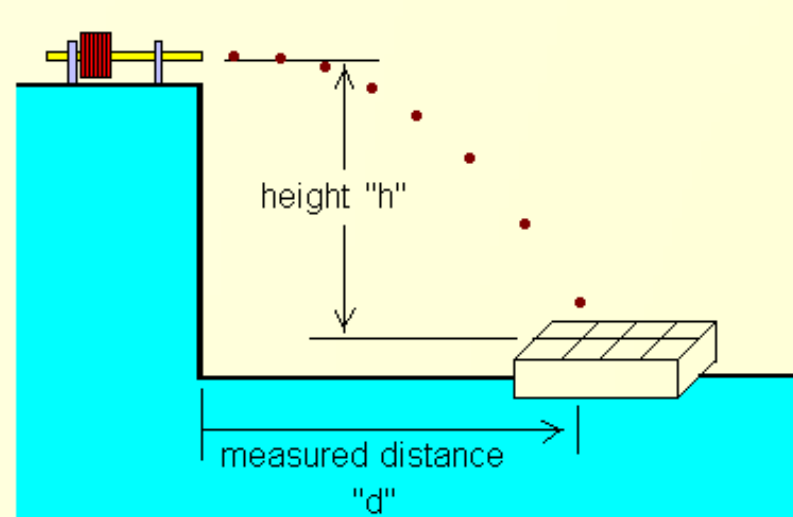


- 電容放電曲線：



當電容放電只有一次震盪時，此震盪會使磁場反轉，使磁力也發生反轉的效應。最理想的狀況，砲彈在整個過程中都是受到加速的。

(二) 測量方法



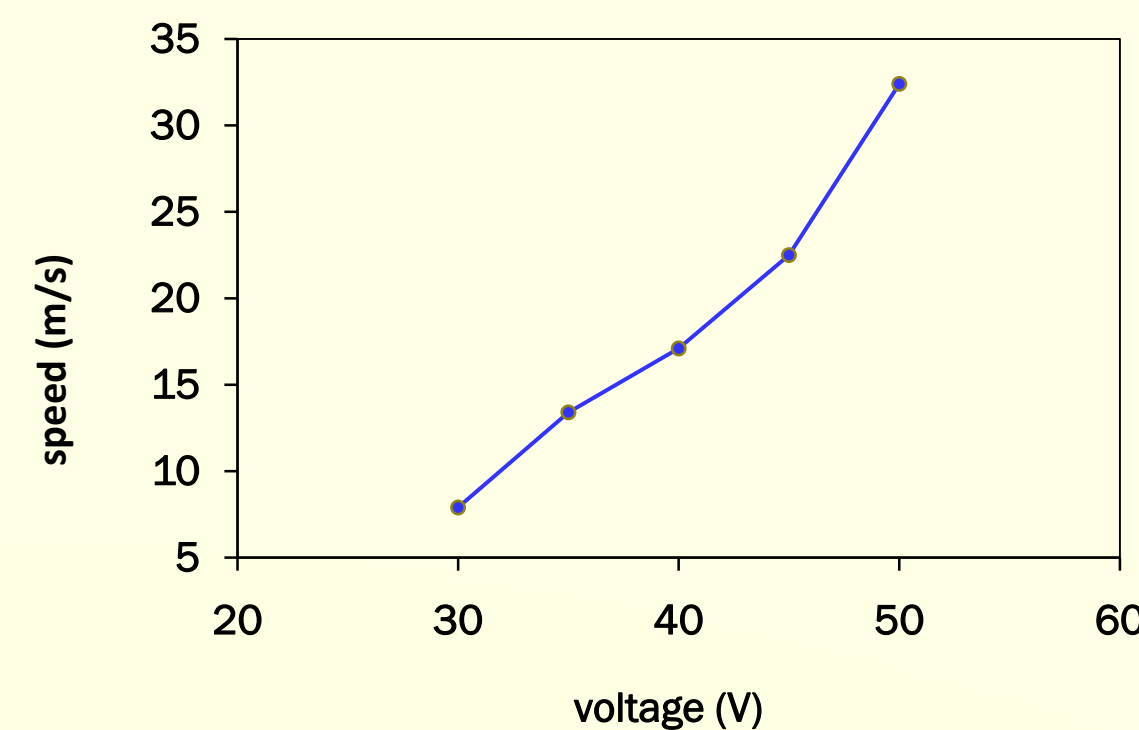
此實驗是利用水平拋射的公式，量測水平射程d以及出射高度h，帶入計算可得出射速度：

$$v = \sqrt{gd^2 / 2h}$$

四、實驗結果

(一) 速度 vs. 電壓

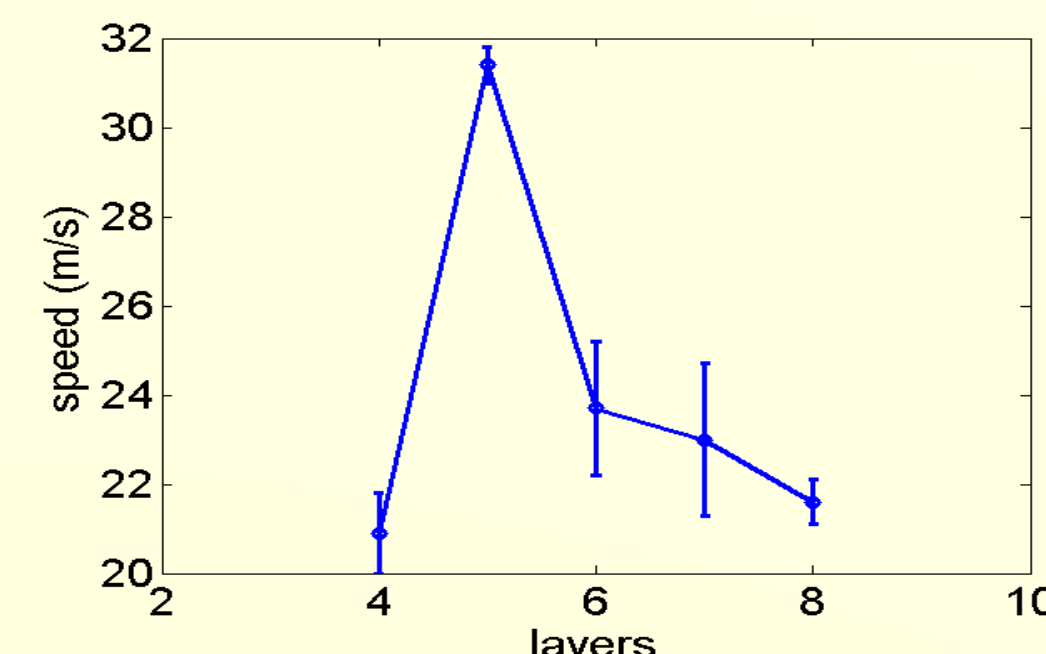
- ✓ 電容 1470µF ✓ 螺線管 1.5cm、5層
✓ 質量 0.014g ✓ 位置 0.0mm



➡ 速度和供給電壓成正相關

(三) 速度 vs. 螺線管層數

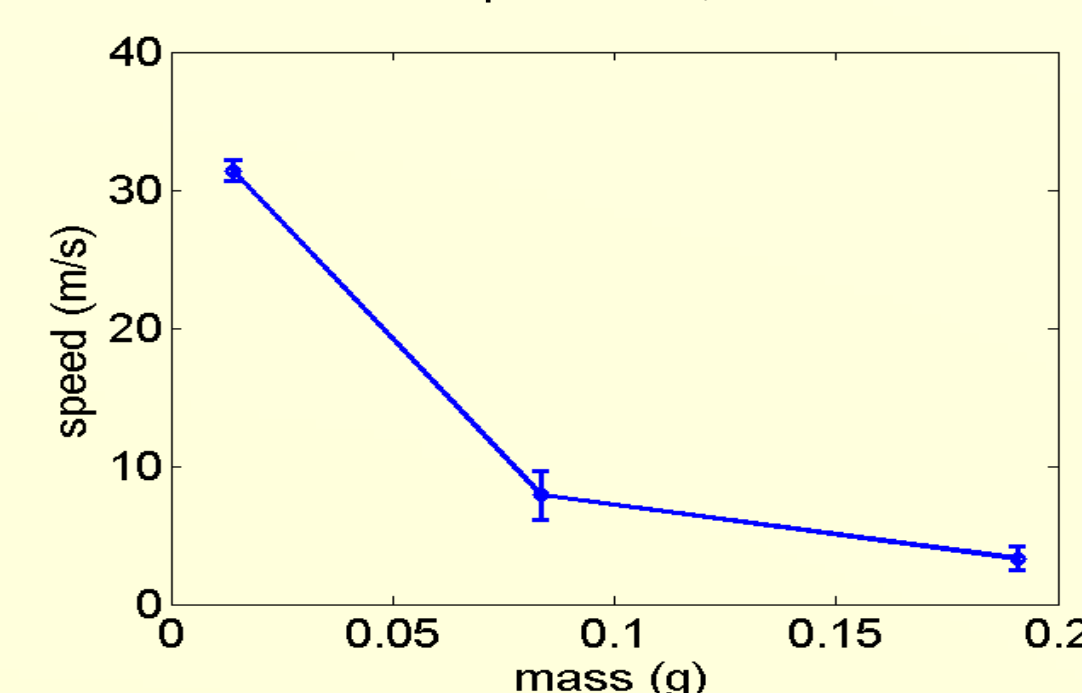
- ✓ 電壓 50V ✓ 螺線管 1.5cm ✓ 質量 0.014g
✓ 電容 1470µF ✓ 位置 0.0mm



➡ 螺線管為5層時，速度最大

(五) 速度 vs. 砲彈質量

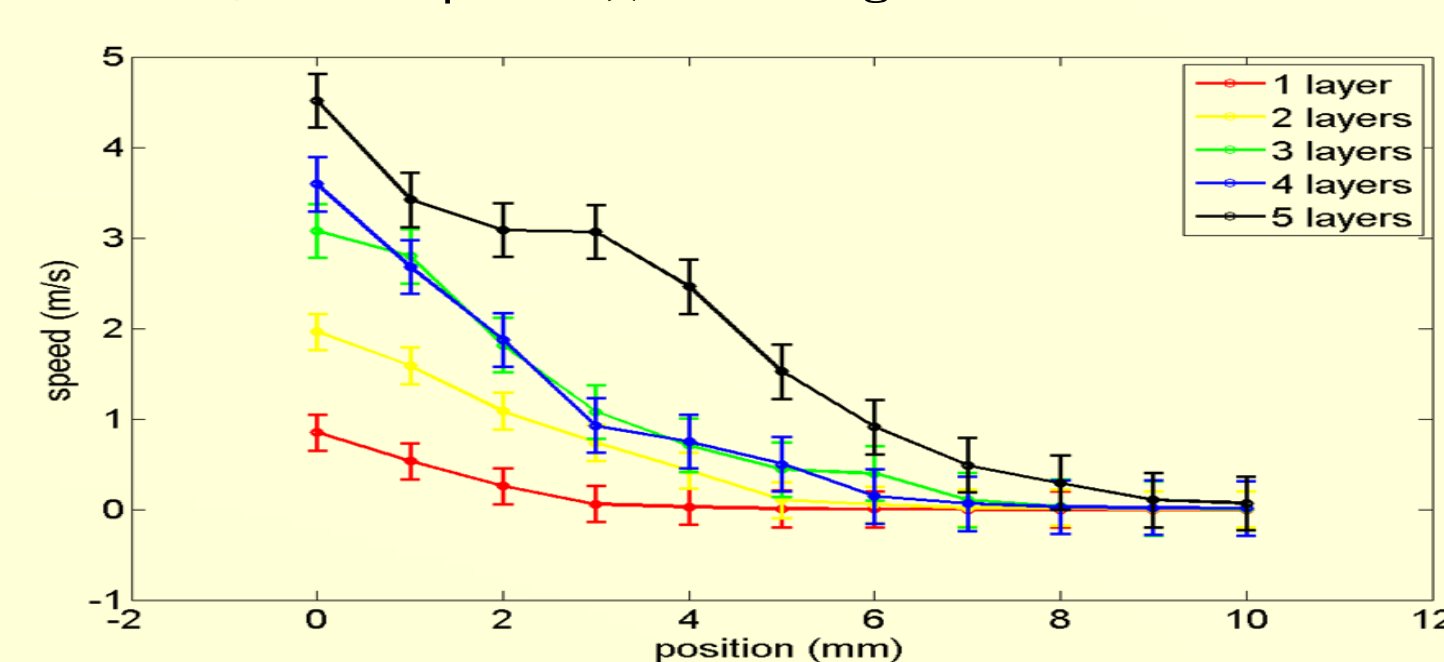
- ✓ 電壓 50V ✓ 螺線管 1.5cm、5層
✓ 電容 1470µF ✓ 位置 0.0mm



➡ 速度和質量成反比的關係，愈輕速度愈快

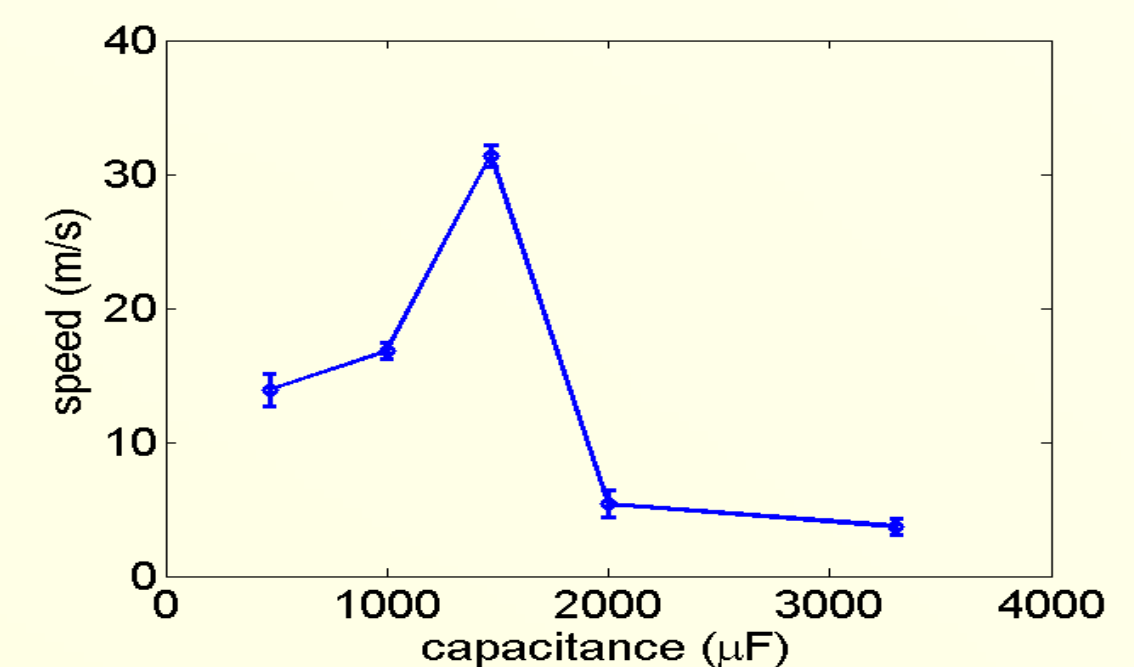
(七) 速度 vs. 砲彈位置

- ✓ 電壓 50V ✓ 螺線管 1.0cm
✓ 電容 3700µF ✓ 質量 0.083g



(二) 速度 vs. 電容

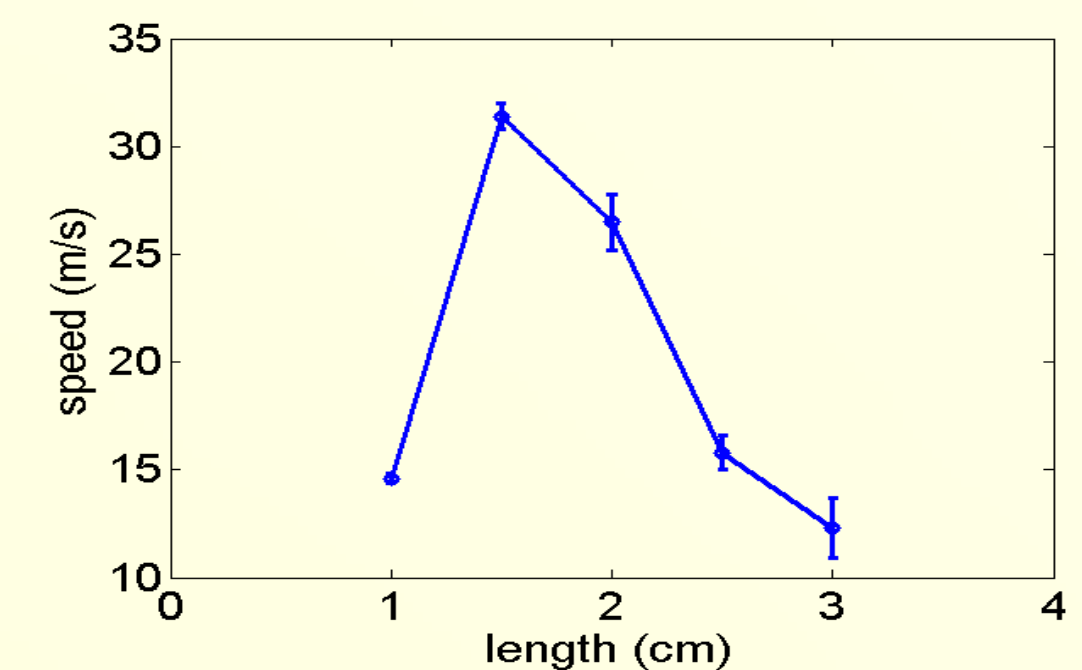
- ✓ 電壓 50V ✓ 螺線管 1.5cm、5層
✓ 質量 0.014g ✓ 位置 0.0mm



➡ 電容為1470µF時，速度最大

(四) 速度 vs. 螺線管長度

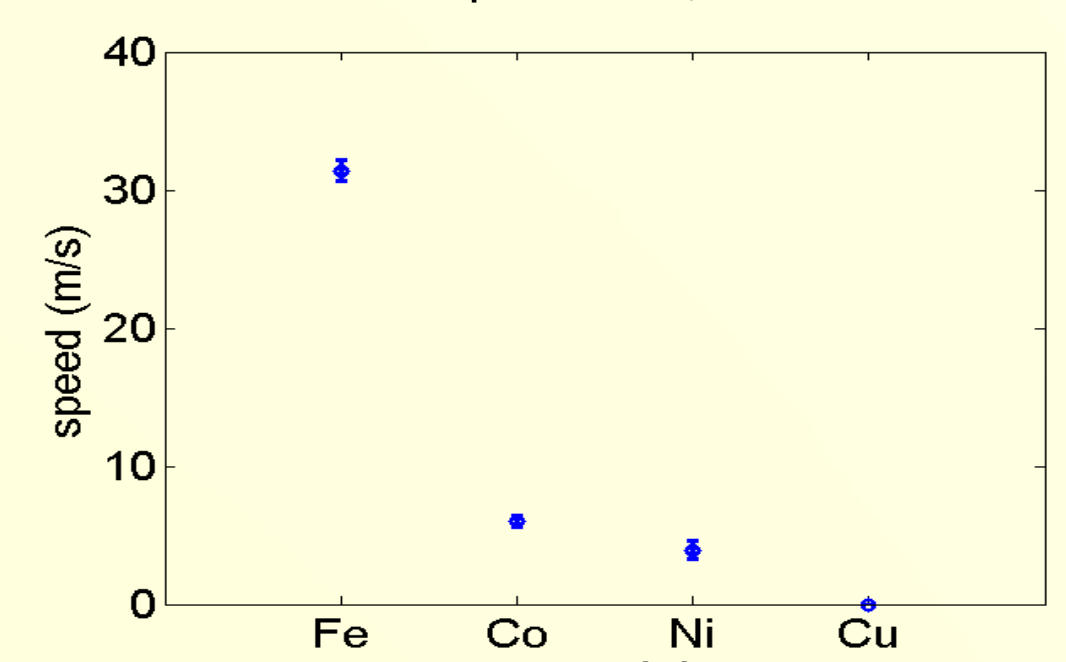
- ✓ 電壓 50V ✓ 螺線管 5層 ✓ 質量 0.014g
✓ 電容 1470µF ✓ 位置 0.0mm



➡ 螺線管為1.5cm時，速度最大

(六) 速度 vs. 砲彈材料

- ✓ 電壓 50V ✓ 螺線管 1.5cm、5層
✓ 電容 1470µF ✓ 位置 0.0mm



➡ 只有鐵磁性物質才能射出，而磁化率愈高的物質，速度也愈快

五、分析與討論

最理想的狀況，當電壓值很大、質量很小、螺線管層數和長度及電容值都在最合適範圍時，且砲彈行進時電容只有一次震盪，則在整個過程中砲彈都是受到加速的。

