

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030113

高雄縣立路竹高級中學

指導老師姓名

鍾志輝

曾良吉

作者姓名

高至煒

余東穎

歐峻嘉

鍾牧辰

高雄縣第四十四屆中小學科學展覽會作品說明書

組別：國中組

科別：物理科

磁體與渦電流的交會

關鍵字：渦電流、終端速度、強力磁鐵

壹、研究動機

強力磁鐵放入鉛直擺放的鋁管中如照片一，因受渦電流的影響將會緩慢下降，而不像自由落體的快速下降。對此緩慢下降的速度，若是為等速度時我們稱之為終端速度。就如在空氣中的自由落體，當所受浮力等於重力時，物體將會以等速的終端速度落下，我們將設計實驗裝置來量測受渦電流影響下的終端速度，這在物理上是很重要的。畢竟在科普書籍或影帶或科學展示中常看到這個實驗，但是都屬於定性的描述，若能定量的了解一些現象，將較符合物理研究的本質，初步我們就以終端速度為研究的對象，希望能建立量化上的影響機制。

貳、研究目的

瞭解磁體在導管中的終端速度及其影響機制。依此目的我們將對以下幾個問題來進行探討：

- (一) 設計出磁體在導管落下時量測終端速度的裝置及方法。
- (二) 瞭解那些材質會產生終端速度。
- (三) 瞭解凹槽導體是否會產生終端速度。
- (四) 瞭解同一磁體、不同長度導管對終端速度的影響。
- (五) 瞭解同一磁體、不同直徑導管對終端速度的影響。
- (六) 瞭解同質量不同磁性的磁體、對相同導管終端速度的影響。
- (七) 瞭解同磁性不同質量的磁體、對相同導管終端速度的影響。

參、研究器材與設備：

1. 器材：

- (1) workshop 平台 (pasco 公司)、datastudio 軟體、電腦
一台如照片二
- (2) 鋁管：(a) 直徑 1.3cm 長度 1.5m、1.6m、1.7m、1.8m、
1.9m、2.0m 各一隻 (b) 長度 1.7m 直徑 1.3cm、1.5cm、
1.9cm、2.1cm、2.7cm 各一隻)
- (3) 銅管：長度 1.7m 一隻
- (4) 塑膠管：長度 1.7m 一隻
- (5) 鋼管：長度 1.7m 一隻
- (6) 強力磁鐵：
- (7) 測磁儀
- (8) 銅漆包線一捆
- (9) 三用電表

2. 裝置



照片一 磁體置入

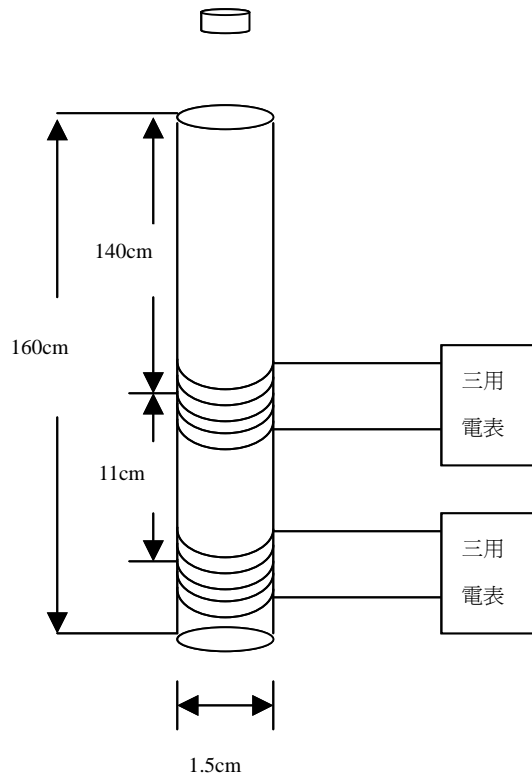


照片二 實驗裝置

肆、研究過程

【研究過程一】設計磁體在導管落下時，量測終端速度的裝置及方法。

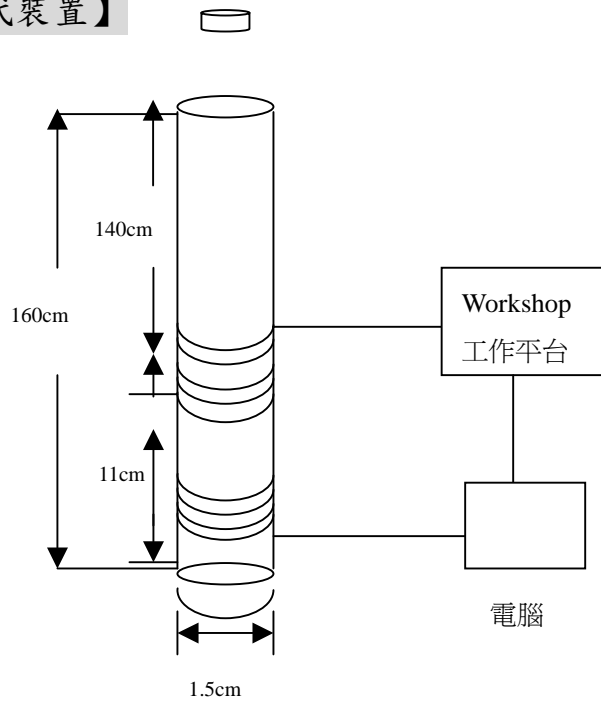
【第一代裝置】



圖一 利用三用電表及鋁管測量磁體的終端速度，線圈是每1cm有20匝。

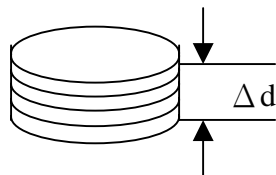
討論：如圖一當磁體通過上方線圈時，三用電表的指針會晃一下，再通過下方線圈時指針也會晃一下，為何如此是因當磁體穿過線圈時，會在線圈上感應出電動勢，磁體接近及離開線圈時，線圈感應到的磁場的變化經歷了由弱—強—弱的過程，而且電動勢的方向經過正與反的變化，這個過程經過三用電表指針偏轉顯示，若是磁鐵反向就是磁場N極轉為S極，三用電表的指針反向偏轉。但是不好讀出數據且磁體通過兩線圈的時間利用碼錶讀出誤差很大，我們又再繼續改良裝置，而有第二代的裝置。

【第二代裝置】

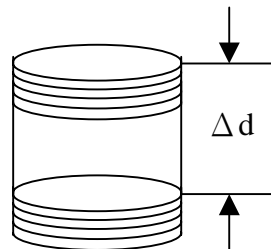


圖二 利用 WORKSHOP 平台及電腦及鋁管測量磁體的終端速度，線圈是每 1cm 有 20 匝。

討論：WORKSHOP 平台採集的是繞在導體管上線圈兩端的電壓訊號，磁體經過線圈時，電腦採集到一個脈衝信號，並以電壓相對於時間的關係圖顯示在頻幕上。若導體管上線圈的規格(匝數、粗細、材料等完全相同，並假設磁體產生的磁場幾乎集中於磁體附近，由於在線圈兩端開口為線圈感應外磁場變化最大處。因此以線圈寬度 Δd (如圖三)除以上下兩個峰值(波峰及波谷)的時間 Δt ，就可估算出磁體通過線圈的速度，或者在測出相鄰兩個線圈(如圖四)時，兩相鄰線圈向上(或向下)的脈衝時間，也可估算出脈衝通過兩個線圈的平均速度，我們採用將用第二個方式進行以下的研究。



圖三 線圈示意圖



圖四 兩個線圈示意圖

【量測終端速度的方法】以 1.7 公尺長，直徑 1.5cm 的鋁管為例

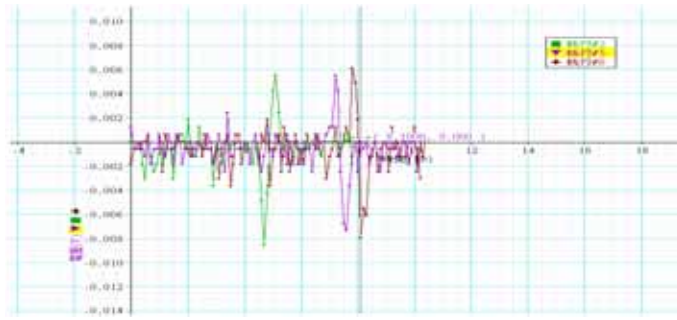
步驟：

1. 取 1.7 公尺長，直徑 1.5cm 的鋁管一隻，如第二代裝置架設。
2. 取 15cm 長中空塑膠硬管一個，在管子上纏繞 20 匝/cm 的銅漆包線相距 11cm 的線圈二個，強力磁鐵套在黑色塑膠管上，以減少管子內氣體的影響如照片三。



照片三 中空塑膠硬管，管子上纏繞銅漆包線二個，下方為強力磁鐵套在黑色塑膠管上

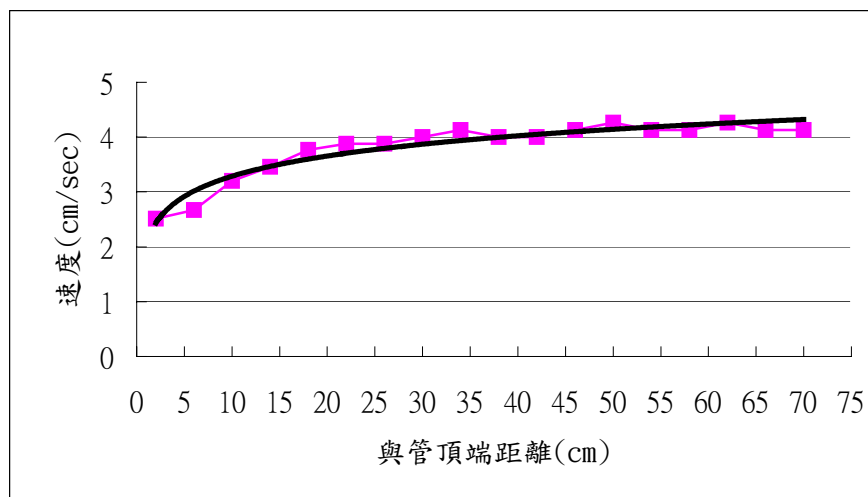
3. 將塑膠硬管用膠帶固定在鋁管最上方。
4. 打開電腦進入 datastudio 軟體，準備擷取數據。
5. 取 1.9cm 長，直徑 1.26cm，磁力 4300 高斯的強力磁鐵一個套在黑色塑膠管上，從鋁管最上方置入。
6. 此時電腦上將擷取電壓與時間關係圖如圖五。



圖五 電腦上擷取電壓與時間關係圖

7. 讀出兩個脈衝波峰或兩個波谷之間的時間距。
8. 重作此實驗共計三次，求出平均時間距，再利用 $\Delta d/\Delta t$ 計算出平均速度。
9. 將塑膠硬管依次往下移動每次 5 公分，重複步驟 5 到步驟 8 直到平均速度值呈現穩定。
10. 繪出求出平均時間且計算出平均速度。
11. 用 excel 軟體繪出位置與平均速度關係圖如下曲線圖圖六，由曲線圖水平部分即為終端速度。

實驗結果



圖六 1.7 公尺長的鋁管終端速度與距離的關係

本研究以下皆採用這個方法測量終端速度。

【研究過程二】 瞭解那些材質會產生終端速度。

實驗步驟：如量測終端速度的方法

實驗數據：如附件（依科教館規定比賽時呈現）

實驗結果：

表一 不同材質的終端速度與材質的關係

材質	銅管	塑膠管	鋼管	鋁管
終端速度	有	無	有	有

討論：

1. 由表一瞭解到銅、鋼、鋁等金屬物質會有終端速度，塑膠材質不會有終端速度。意味者金屬物質會有才會產生渦電流，塑膠材質不會有渦電流的產生。
2. 本來想用鐵管但是鐵會與磁鐵相吸，需要用另外的方法。
3. 鋁管較易在市面上取得且價錢便宜，值得採用，所以以下實驗我們都用鋁管來做。

【研究過程三】瞭解凹槽導體是否會產生終端速度。

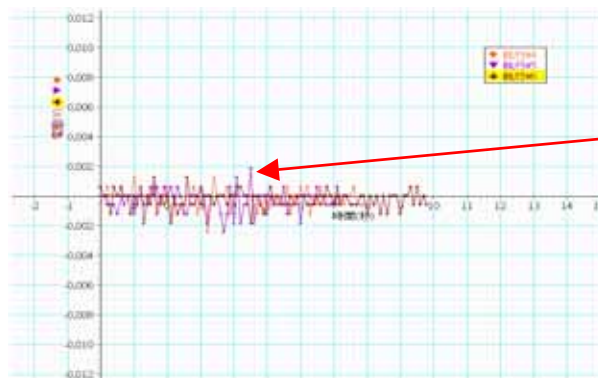
實驗步驟：略

實驗數據：略



照片四 凹槽鋁管實驗圖

(二) 結果：



圖七 凹槽鋁管實驗數據圖

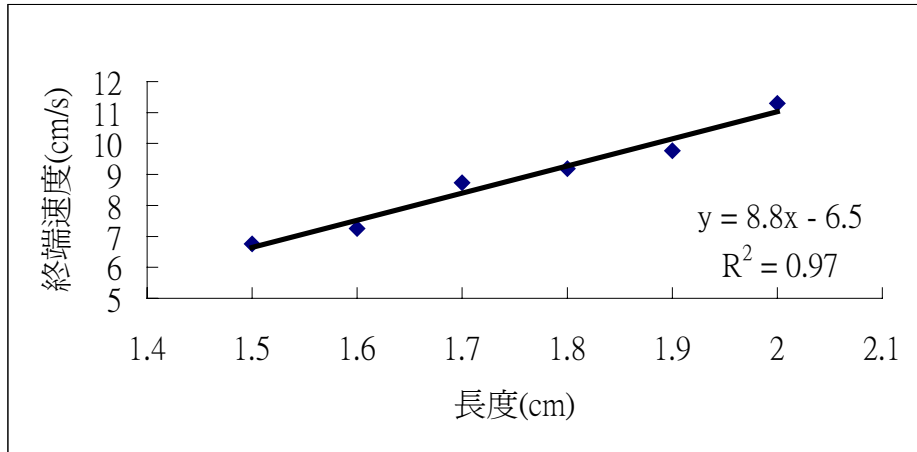
(三) 討論與分析：由照片四及圖七知有脈衝現象的發生，我們經過三次的實驗操作，每一次在磁鐵經過線圈時都產生脈衝，但是脈衝高度不大也就是脈衝產生的電壓很小，可見中空導體會產生渦電流，但是電流如何流，我們的看法應是從導管壁，產生很小的渦電流所致。

【研究過程四】 瞭解同一磁體、不同長度導管對終端速度的影響。

實驗步驟：略

實驗數據：略

實驗結果：



圖八 不同長度的終端速度關係圖

討論與分析：

我們從圖八不同長度的終端速度關係圖分析，瞭解長度與終端速度是呈線性比例的一直線，可見鋁管長度愈長，終端速度愈大，也就是當鋁管愈長時，鋁管的電阻愈大，經由磁鐵在線圈上感應的渦電流愈小，相對的由渦電流所產生的反向磁力就小，造成終端速度加大，而管子內部的空氣也因管子加長而增加，空氣的阻力也不可忽視。由經驗方程式為 $y=8.8x-6.5$ 知若是放在真空中，扣除空氣的影響，應是有可能成正比的。

【研究過程五】瞭解同一磁體、不同直徑導管對終端速度的影響。

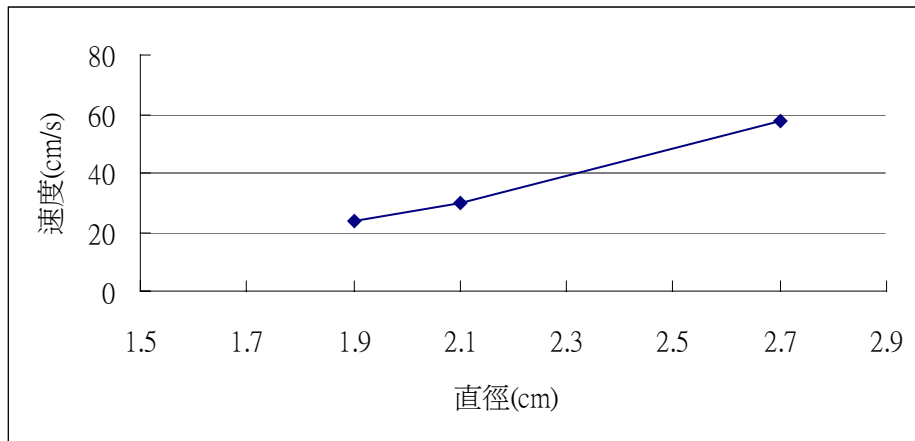
實驗步驟：略

實驗數據：略

實驗器材：如照片五



實驗結果：



圖九 不同直徑的鋁管對終端速度的影響

討論與分析：

由圖九知直徑越大，速度越大，我們分析原因認為管子直徑大，鋁管的電阻愈小，經由磁鐵在線圈上感應的渦電流愈大，相對的由渦電流所產生的反向磁力就大，造成終端速度要變小，但與我們實驗結果不同，原因可能是空氣的阻力為一很大因素，畢竟流體在圓柱形磁

鐵落下時產生的現象很複雜，是故對於終端速度的探討，磁體與管子口徑大小約略相同，盡量將空隙減到最小。

【研究過程六】 同質量不同磁性的磁體對導管終端速度的影響。

實驗步驟：我們將磁鐵改由小型磁鐵，其磁力如下：若是兩個串聯在一起時為 3500 高斯，三個串聯在一起時為 3900 高斯，四個串聯在一起時為 4100 高斯如照片五，五個串聯在一起時為 4260 高斯，六個串聯在一起時為 4360 高斯。我們將磁鐵加沙子總質量控制在 10 克，分別為二個小型磁鐵加沙子（磁場大小 3500 高斯）、三個小型磁鐵加沙子（磁場大小 3900 高斯）、四個小型磁鐵加沙子（磁場大小 4100 高斯）、五個小型磁鐵加沙子（磁場大小 4260 高斯）、六個小型磁鐵加沙子（磁場大小 4360 高斯）等改變磁力如照片六到照片九。其餘實驗步驟如量測終端速度的方法



照片六：最左邊為小型磁鐵四個串聯在一起，中間為中型磁鐵，右邊為較大型磁鐵



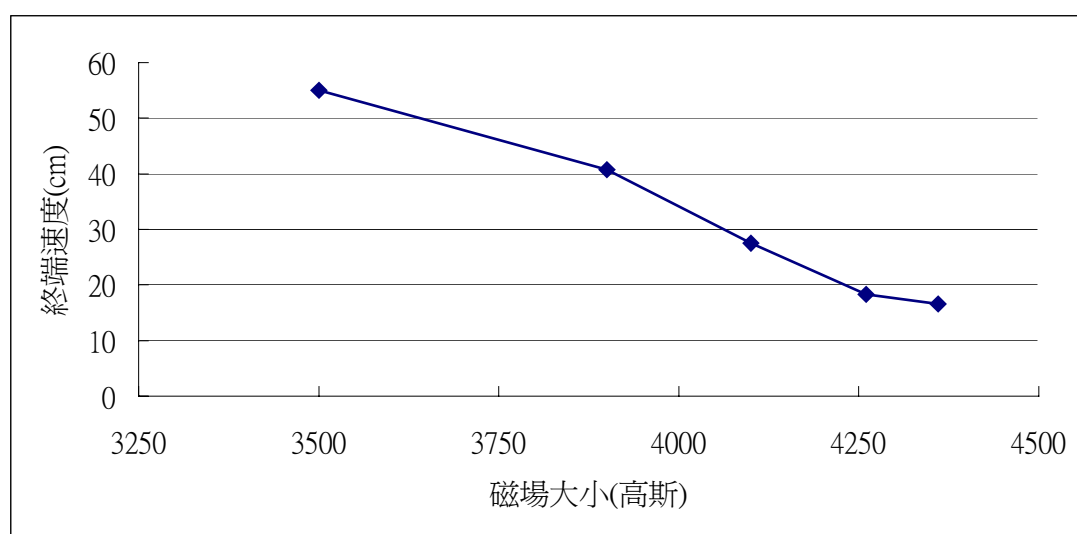
照片七：將小型磁鐵與沙子一起用紙袋捲起、以方便改變同質量不同磁性。



照片八：左一為 0.45mm 的銅質漆包線圈、左二為三用電表、左三為游標尺、右二為測磁儀探針、右一為測磁儀主體

照片九：量測磁場

實驗結果：



圖十同質量的不同磁場與終端速度關係圖

討論與分析：

1. 同質量下不同磁場與終端速度的關係如圖十，呈現出當磁場越大時，終端速度越小，代表的是磁場越大，產生的渦電流越大，也就是當磁鐵磁場愈大時，經由磁鐵在線圈上感應的渦電流愈

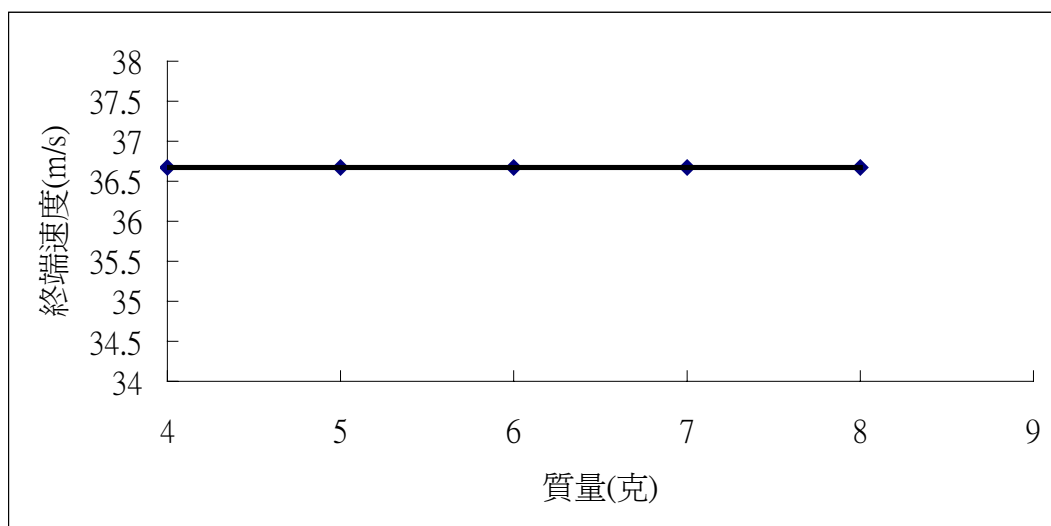
大，相對的由渦電流所產生的反向磁力就大，造成終端速度小。

2. 將小型磁鐵與沙子一起用紙袋捲起、以方便改變同質量不同磁性時質量的的影響。

【研究過程七】瞭解同磁性不同質量的磁體、對相同導管終端速度的影響。

實驗步驟：三個串聯在一起磁場大小為 3900 高斯的小型磁鐵，我們以三個串聯在一起的磁鐵質量當作 0 克，分別加上質量為 4 克、5 克、6 克、7 克、8 克的沙子等改變質量大小，其餘實驗步驟如量測終端速度的方法。

數據分析：



圖十一 同磁場不同質量時終端速度與質量關係圖

討論與分析：

由數據分析圖十一可看出在我們改變質量時發現終端速度沒有變化，推測在我們改變質量小範圍內，終端速度的大小與質量大小無關。若質量大時會不會如此，值得我們繼續探討。

伍、結論

1. 我們設計的實驗器材與裝置歷經三用電表及 workshop 平台搭配電腦的改良，終使我們可量測導管線圈的脈衝，並藉此求出終端速度實為一個在渦電流探討的量化上很好的測量裝置。
2. 發現銅管、鋼管、鋁管有渦電流的產生，而塑膠管沒有。
3. 發現中空導體也會產生渦電流，發現中空導體也會產生渦電流，但是脈衝很小。
4. 發現鋁管長度愈長，終端速度愈大。
5. 發現鋁管直徑越大速度越大，原因可能是空氣阻力造成的浮力為一很大因素。
6. 發現同質量下不同磁場與終端速度的關係為磁體磁場越大時，終端速度越小。
7. 發現同磁性不同質量的磁體，在我們實驗的小範圍內質量對導管終端速度的沒有影響。

六、參考資料

1. 國中理化第四冊第十五章到第十六章。
2. 楊介信、張大同. 凡異出版社. 中學物理實驗大全. p. 1028

評語

030113 國中組物理科

磁體與渦電流的交會

強力磁鐵在非磁性鉛直管中緩慢落下實驗，能將落下產生的“訊號”採集下來，是本實驗優點。但對實驗數據所代表意義及詮釋有待加強。對照及實驗數據等原始資料應提供。