

## 2024 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

教師組 教案表單與學習單

<b>教案設計者：</b> 李建宏(臺中市立臺中女子高級中等學校)、張元儒(國立臺灣師範大學師培生)
<b>課程領域：</b>
<input checked="" type="checkbox"/> 物理 <input type="checkbox"/> 化學 <input type="checkbox"/> 生物 <input type="checkbox"/> 地球科學 <input type="checkbox"/> 科技領域 <input checked="" type="checkbox"/> 自然科學探究與實作 <input type="checkbox"/> 數學 <input type="checkbox"/> 其他 _____ (可複選)
<b>一、教案題目</b>
磁鐵現形記
<b>二、授課時數</b>
800~900 分鐘(一週 2 節，共計 8~9 週共 16~18 節)
<b>三、教案設計理念與動機</b>
<b>壹、動機</b> 高一電磁感應課程中，有一經典例子是磁鐵在非鐵磁性金屬管中運動較久的實驗。在科博館科學中心物理世界中亦有磁鐵球在塑膠管、鋁管、青銅管、紅銅管中掉落時間不同的展示。在以往科展作品中會發現，大多對於此現象的探究因看不見磁鐵而無法精確描述磁鐵在管中運動情形；抑或是將管子鋸一長直縫觀察，但其感應電流異於完整金屬管。 本教案讓學生用至少 4 種方法觀察磁鐵在金屬管中運動的情形並加以比較。搭配高二物理課程學到的運動學、力學，與探究實作的紙蜻蜓課程，在引導與實作後給同學自由決定主題探究及發表。 本教案結合亞洲物理奧林匹亞競賽(APhO)中 2 個主題，實作模擬題，並引用實驗題的概念，將難度改到符合一般學生，且器材易於準備。藉此機會讓學生了解並非要具備艱深的物理知識才能做奧林匹亞的實驗，競賽實驗的關鍵在於變因控制的嚴謹度非常高，較不會有改變操縱變因時控制變因跟著變化顧此失彼的情形，且具備完整的理論基礎，值得於探究時借鏡參考。
<b>貳、教案特色</b> 1、器材準備: 每次上課 8~10 組的大量實驗器材準備對老師是極大的負擔，尤其是探究實作課程，常常還需幫學生張羅不同器材零件。本教案可以用簡單易準備的器材完成 8~9 週的課程(可自行擴充)。 2、以探究與實作的素養能力為基礎，先由老師設計的情境練習，再讓學生改變變因。 3、兼顧理論與實驗:有相關的資料對於此現象進行理論分析，讓學生可以除了實驗實作外，可以由一定的理論基礎加以對照，讓學生體會科學的探究是理論與實驗並行，不僅是由理論預測實驗結果、或由實驗歸納出理論，而是相輔相成，並讓學生用不同測量方式進行實驗，比較各方法優缺點。 4、資訊融入教學:本課程會大量使用到手機、平板與電腦:

- (1)錄製實驗影片，用影像分析軟體(如 Vernier Video Analysis®或 Tracker)分析運動情形
- (2)將數據匯入 Excel 畫圖、數據分析、方程式近似擬合
- (3)使用 phyphox app，亦可使用偵測器如 Vernier Go Direct 三軸磁場感應器進行實驗。
- (4)以 Google 表單進行互評、提問
- 5、以多種方法觀察相同過程。在實驗的過程會有許多假設、變因控制的問題，藉此培養學生解決問題的能力，且可以依照學生能力與反應自由調整課程難度。
- 6、論證與建模方面，當取得實驗數據後會介紹取 log 的方式找出次方關係，再進一步找出關係式。
- 7、多元評量方式:學生在課程中要繳交學習單、提問單、上台報告、實驗書面報告、自評與互評，在扎實訓練課程後產出學習歷程檔案。

### 課程進度規劃

<b>01</b> <b>運動學分析</b> 1. 觀察磁鐵在金屬管中運動預測 $y-t$ 、 $v_t-t$ 圖 2. 搭配磁顯片錄影 3. 使用 Vernier Video Analysis® 或 Tracker 軟體畫出 $y-t$ 圖	<b>02</b> <b>終端速度分析I</b> 1. 文獻討論兩滴終端速度 2. 結合文獻討論分析數據並建立模型 3. 聚焦等速度運動階段 4. 使用雷射測距儀，畫出磁鐵下落 $y-t$ 圖與求終端速度	<b>03</b> <b>終端速度分析II</b> 1. 介紹手機應用軟體phyphox的磁力計 2. 搭配2022 APPhO A.1 實作找手機磁場偵測點位置 3. 驗證磁鐵在金屬管是否達到終端速度 4. 列出各實驗法優點與限制	<b>04</b> <b>磁力計精緻實驗</b> 1. 說明由實驗數據取log找出物理量之間為幾次方正反比的關係 2. 找出磁鐵磁場 $B$ 與距離 $x$ 關係 3. 測量磁鐵在金屬管中 $B-t$ 關係轉換成 $x-t$ 關係求終端速度	<b>05</b> <b>規劃與研究I (指定題)</b> 1. 回顧磁力計如何測量磁鐵終端速度 2. 探討重物的總質量對終端速度的影響 3. 擬定計畫，更改磁鐵負重 4. 由 $\log(v)$ 、 $\log(m)$ 關係建立磁鐵所受阻力與終端速度的模型	<b>06-08</b> <b>規劃與研究II (自選題)</b> 1. 老師引入重量、材質、管徑、初速、角度各種變因 2. 學生討論自主探究主題並簡單發表 3. 選定題目開始探究與實作	<b>09</b> <b>發表與回饋</b> 1. 每組上傳PPT報告至雲端 2. 以Google表單提問與回饋 3. 以PPT上台報告 4. 以Google表單進行自評與互評 
---	---	---	--	--	---	--

#### 四、教學目標

1. 結合運動學、力學課程，搭配實驗分析
2. 學習實驗數據處理、作圖、找出關係方程式的流程
3. 學習 [ 發現問題 ]、[ 規劃與研究 ]、[ 論證與建模 ]、[ 表達與分享 ] 四項能力
4. 學習以數位化偵測器、手機 app、物理實驗影像分析軟體，進行實驗及數據分析
5. 學習團隊合作、小組分工，設計實驗，並依照實驗狀況調整測量儀器適合的參數
6. 討論不同方法測量同一現象的差異，並加以比較，找出最合適的實驗方法

#### 五、教育對象

高二、高三學生、專題生

#### 六、課程設計 (方法與步驟)

##### 第一週 運動學分析

##### 壹、引起動機

- 1、**發現問題**: 教師向學生說明欲將磁鐵以相同情形置入壓克力管、鋁管、銅管，請學生**觀察現象**並預估運動時間大約幾秒，最後依照運動時間長短做出排序。

- 2、示範實驗：同時丟入磁鐵，請學生計時磁鐵在壓克力、鋁、黃銅、紅銅管內的時間。
- 3、請學生對於下落時間不同的現象，初步 **提出可驗證的觀點**。

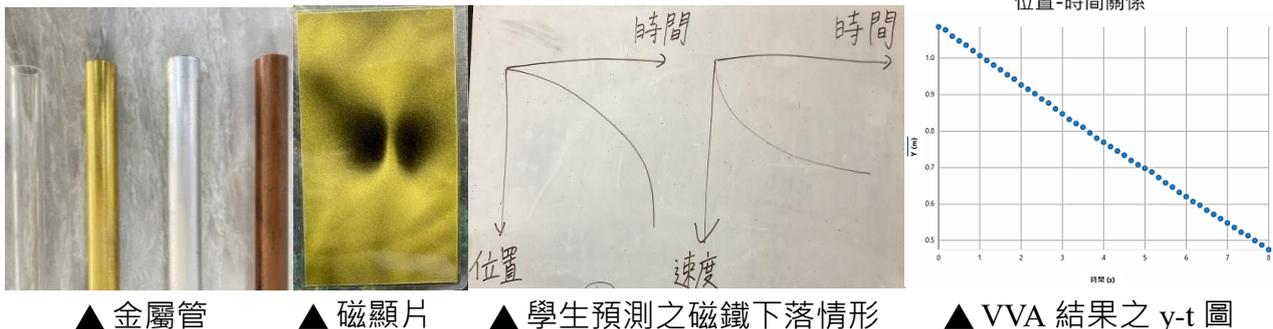
## 貳、進入課程

- 1、學生將磁鐵放進金屬管與自由落體比較，定性與定量的描述觀察到磁鐵下落的情形。

測量參數(應變變因)	控制變因	操縱變因
磁鐵在管中總運動時間	管長、磁鐵、 垂直下落、釋放初速	金屬管與塑膠管 (用自由落體代替)

- 2、拋出問題請學生 **表達與分享**：

- (1)量到的時間是否有重複性?說明考慮到人反應時間的問題，引導學生了解實驗不能只做一次，在計時的項目尚可測量三次加以平均用以減少誤差。
- (2)各組 **合作與討論** 在小白板上畫出磁鐵於金屬管中的  $y-t$  與  $v_y-t$  圖，並對於磁鐵在金屬管中運動情形 **提出可驗證的觀點**。
- (3)**規劃與研究**：介紹磁極顯示片，學生觀察磁鐵在磁極顯示片底下的形狀，並討論如何用在實驗上。
- (4)**論證與建模**：實際錄影後將影片匯入 Vernier Video Analysis® 或 Tracker 軟體，調整合適的取樣率，達到用物理實驗影像分析軟體建立運動模型之學習目標。



▲ 金屬管

▲ 磁顯片

▲ 學生預測之磁鐵下落情形

▲ VVA 結果之  $y-t$  圖

## 參、結語

- 1、**分析資料和呈現證據**：將數據匯入 excel，並繪製  $y-t$  圖。
- 2、**建立模型**：對於磁鐵在塑膠管、金屬管中運動情形嘗試由探究結果提出合適模型以描述所觀察的現象。

### 第二週 終端速度分析 1

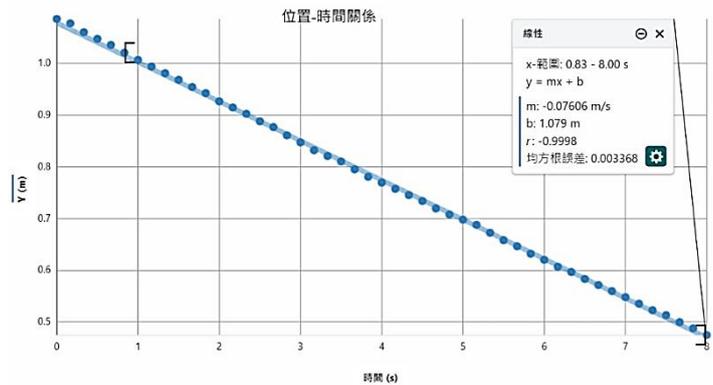
## 壹、引起動機

- 1、回顧上週拍攝影片看到磁鐵在金屬管中運動的情形，討論為何很快就達等速度運動?
- 2、生活中是否有類似最後以等速度運動的例子?成因為何?

## 貳、進入課程

- 1、**蒐集資訊**：為何雨水下落時不會傷到人，是否可應用到磁鐵在金屬管中的運動?

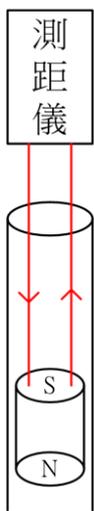
2、**分析資料和呈現證據**: 結合上述文獻討論，我們可知磁鐵運行後段可以用等速度運動去描述，結合上週教學的部分，請學生將數據在  $y-t$  圖中等速度運動段，加上趨勢線，並以線性擬合法找出方程式(如右圖)。



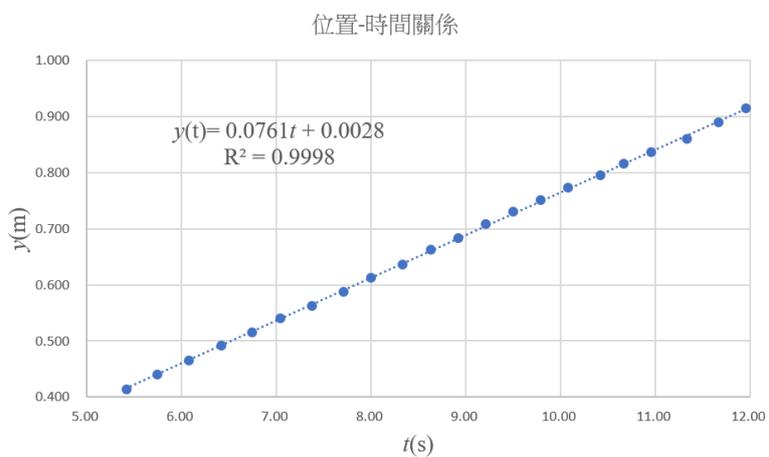
3、**形成或訂定問題**: 說明目前會將主題聚焦於等速度運動段的運動情形。

4、**擬定研究計畫**: 除了磁極顯示片，討論是否有其他方法可以「看」到磁鐵的運動？

5、**觀察現象**: 磁鐵的表面反光特性佳，介紹雷射測距儀原理與方法，帶領學生使用雷射測距儀測量磁鐵位置對時間變化。



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	時間(秒)	位置(m)										
2	5.42	0.414										
3	5.75	0.440										
4	6.08	0.466										
5	6.42	0.492										
6	6.75	0.515										
7	7.04	0.540										
8	7.38	0.562										
9	7.71	0.588										
10	8.00	0.613										
11	8.33	0.636										
12	8.63	0.662										
13	8.92	0.684										
14	9.21	0.708										
15	9.50	0.730										
16	9.79	0.751										
17	10.08	0.773										



### 參、結語

1、**解釋和推理**: 只要能找出磁鐵在管中  $y-t$  關係圖，就可以找出物體終端速度。

## 第三週 終端速度分析 2

### 壹、引起動機

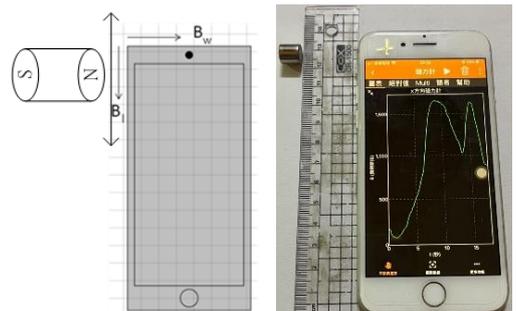
1、**論證與建模**: 回顧磁鐵在金屬管中的運動，注意到磁鐵很快就可以達到終端速度。

2、**擬定研究計畫**: 上週課程著重在實際看見磁鐵的位置，接下來要用其他方法「看見」磁鐵位置。同時思考如果只有磁極顯示片與碼表，該如何設計實驗量出終端速度？

### 貳、進入課程

1、App 介紹: 教師說明 phyphox 磁力計之功能與示範操作，並提醒學生應注意手機與強力磁鐵要保持一定距離。

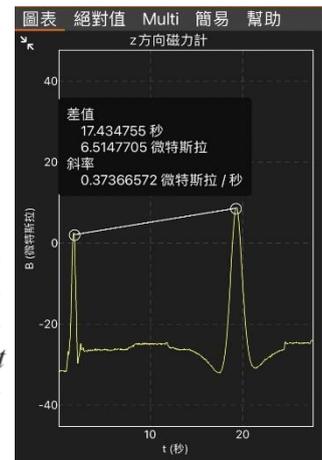
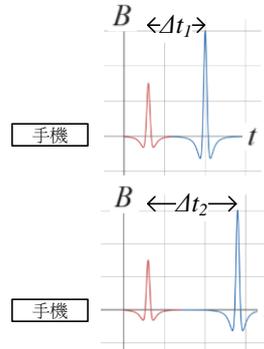
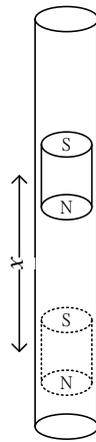
2、尋找偵測器的位置: 搭配 2022 APho A.1 實驗找出手機上的磁場偵測器位置。



測量參數(應變變因)	控制變因	操縱變因
phyphox 軟體中 磁力計磁場相對大小	磁極方向 磁鐵與手機遠近	磁鐵與手機的相對位置

3、**觀察現象、分析資料**:當手機磁力計擺放在金屬管旁，磁鐵下落時手機各方向的磁場會如何變化？如何由訊號判定何時磁鐵最接近手機？

4、**擬定研究計畫**:欲測量終端速度，需要用到兩支手機置於不同位置，藉由兩支手機的垂直距離，除以磁鐵到達兩支手機的時間差，即可求出終端速度。教師應提醒學生進行此實驗之前需要額外給一個訊號觸發讓兩支手機同時感應到，才能求出時間差。



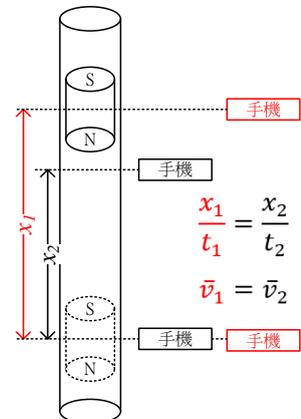
兩支手機距離 $x$	$\Delta t_1$	$\Delta t_2$	$\Delta t =  \Delta t_1 - \Delta t_2 $	$\bar{v} = \frac{x}{\Delta t}$
16(cm)	17.43(s)	19.58(s)	2.15(s)	7.44(cm/s)

5、**解釋和推理**: 驗證是否已經達到終端速度，可參考 2005 APhO 實驗。當下方手機位置固定，改變上方手機位置，計算出平均速度皆相同時，代表已達到終端速度。

測量參數(應變變因)	控制變因	操縱變因
兩支手機磁力計量 到峰值時間差	下方手機位置 (靠近底部)	兩支手機的距離

參、結語

1、**評價與省思**: 學生於三周的課堂使用磁極顯示片、雷射測距儀、phyphox 磁力計，也可使用 Vernier Go Direct 三軸磁場感應器更精確測出磁鐵在金屬管中的終端速度。學生可以比較各個實驗的結果，並思考每個方法的優點、限制。



#### 第四週 磁力計精緻實驗(選擇)

壹、引起動機

- 1、本週屬於難度較高的課程，較適合專題生/對實驗有興趣的學生群。
- 2、**發現問題**: 磁鐵離偵測器越近，量到的磁場越強，要怎麼用理論/實驗描述此現象？
- 3、**形成或訂定問題**: 如磁鐵在金屬管中不是等速度運動時，則磁鐵於管內的準確位置更顯重要。之前實驗無法準確定義磁鐵在每一時刻的位置，則我們該如何使用磁力計找出  $x-t$  關係?2022 APhO 其中有道實驗題使用模擬方式，但我們在此實際操作探究之。

貳、進入課程

1、**提出可驗證的觀點**: 當磁鐵與手機有一定距離, 可以假設磁場大小  $B$  與距離  $x$  (磁鐵中心到手機偵測器位置) 有  $n$  次方反比的關係, 即  $B(x)=k/x^n$ , 其中  $k$  為常數。

2、**擬定研究計畫**:

測量參數(應變變因)	控制變因	操縱變因
磁力計的磁場大小	磁鐵的磁場(僅一顆磁鐵)	磁鐵中心與偵測器位置的直線距離



▲ 使用 phyphox 磁場偵測計

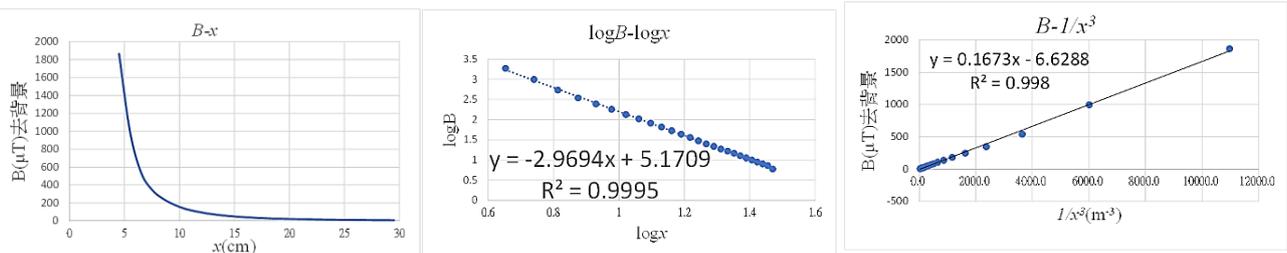
▲ 使用 Vernier Go Direct 三軸磁場感應器

3、**分析資料**: 當測量不同位置的磁場後, 將上式取  $\log$  可得出

$$\log(B)=\log(k)+n\log(x)$$

作  $\log(x)$  與  $\log(B)$  關係圖, 從斜率可求出  $n=3$ , 再作  $B-1/x^3$  關係圖為一斜直線, 斜率為  $k$ 。

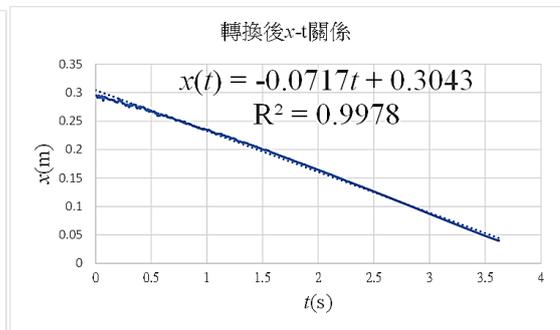
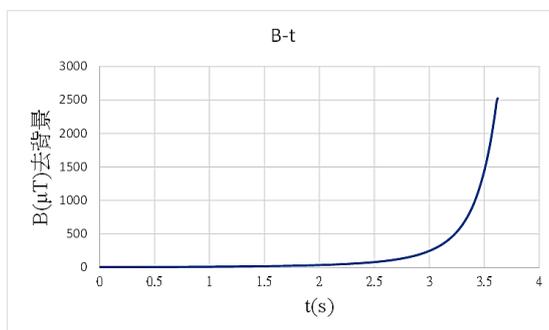
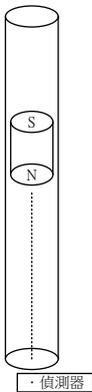
4、**論證與建模**: 參考 2022 APhO 實驗中的磁場理論計算, 可得出距離磁鐵一段距離時, 磁場與距離成三次方反比。



5、**提出可驗證的觀點**: 當到達終端速度時, 位置  $x$  可以表示成  $x_0+vt$ , 代換後可得出

$$B(t) = k/x^3 = k/(x_0+vt)^3 \Rightarrow x(t) = x_0+vt = (k/B)^{1/3}$$

6、**解釋和推理**: 磁鐵在金屬管中運動時, 測量到的  $B-t$  關係轉換成  $x(t)=(k/B)^{1/3}$  對  $t$  關係圖, 斜率就是終端速度  $v$ 。



參、結語

1、**論證與建模**: 使用第四種方法測出終端速度, 亦有嚴謹理論, 可由專題生進行實驗。

## 第五週 規劃與研究 1(指定題)

### 壹、引起動機

- 1、回顧使用磁力計量出磁鐵在金屬管中的終端速度方法。
- 2、**規劃與研究**: 藉由這些測量方法，教師先帶學生做指定題，後續再由學生做自選題。

### 貳、進入課程

- 1、**形成或訂定問題**: 當磁鐵磁場固定，改變下落重物的總質量，對終端速度有甚麼影響？
- 2、**提出可驗證的觀點**: 當總質量越大，依照阻力的力學模型，終端速度應該越大；但阻力與終端速度的幾次方成正比尚未得知。
- 3、**擬定研究計畫**: 在此為節省時間，採用 phyphox 磁力計量終端速度的方法。

測量參數(應變變因)	控制變因	操縱變因
兩支手機磁力計 量到峰值的時間差	磁鐵的磁場(僅一顆磁鐵) 兩支手機距離	磁鐵上方的負重

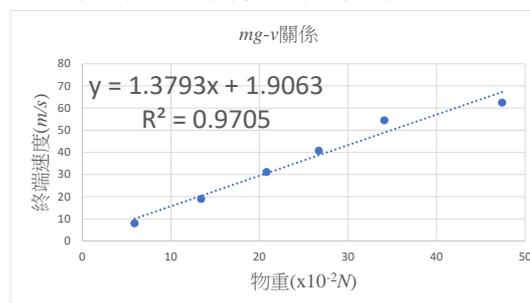
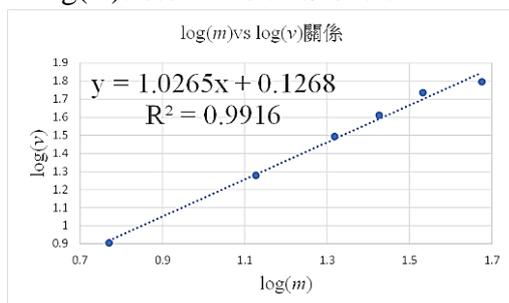
- 4、**分析資料**: 假設磁鐵達終端速度後，阻力與物重大小相同，則可寫成以下方程式:

$$mg = kv^{\alpha}$$

其中  $k$  為常數，與磁鐵磁場、金屬管材質等有關，將上式取  $\log$  後可得出

$$\log(m) + \log(g) = \log(k) + \alpha \log(v)$$

作  $\log(v)$  與  $\log(m)$  關係圖，找出其斜率  $\alpha$ ，可知道阻力與速度的幾次方成正比與  $k$  值。



### 參、結語

- 1、**建立模型**: 學生可將建立的假說與實驗結果做總結並提出合理的主張。

## 第六週~第八週 規劃與研究 2(自選題)

### 壹、引起動機

- 1、請學生回顧之前實驗方法與試作的變因，討論有哪些可以做為探究的主題。
- 2、此時不一定要執著於終端速度，也可以試著觀察加速、減速期。

### 貳、進入課程

- 1、**形成或訂定問題**: 學生討論探究的主題後初步試作、簡單發表，老師也可以 **提出可驗證的觀點**，讓學生決定主題後實作。在試做後和決定主題之前要採用下方表格報告:

測量參數(應變變因)	控制變因	操縱變因

2、**擬定研究計畫**: 實驗報告評量須包含以下面向:

- (1)設計適當的紀錄格式，詳實記錄有系統性的定性或定量資料數據。
- (2)使用數學等方式，有效處理數據，提出整理後發現的規則及分析結果。

3、**收集資料數據**: 確立自選題的題目後，依關鍵詞彙查詢資料，初步比較資訊的可靠性，提出合理假說，能推斷實驗可能的過程或結果，並明確列出研究計畫內將使用的器材，以及實驗方法。

參、結語

1、**建立模型**: 在選定題目實作後，建模是非常重要的一環，利用所學的運動學、力學逐步建立相關模型。

### 第九週 發表、提問、回饋

壹、進入課程

- 1、每組於報告前三天將投影片上傳至雲端供各組瀏覽。
- 2、**表達與分享**: 請學生至 Google 提問表單，針對各組上台報告的內容提出問題與回饋，老師針對學生提出的問題當作加分參考，並將問題匿名後公告。之後學生於書面報告時須回答其中 2 個問題。
- 3、每組報告完後，以組為單位至 Google 評分表單給各組評分，包含對自己組別評分。

貳、結語: 教師給予各組報告建議，並做 2~3 分鐘具有系統性的歸納與總結。

## 七、學習評量內容

每次分段實驗學習單

上台報告

書面報告(包含由同儕在 Google 表單提問問題之回答)

## 參考資料

第 44 屆中小學科學展覽會：磁鐵在非鐵金屬管中的磁浮現象與應用

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/44/D/030103.pdf>

第 45 屆中小學科學展覽會—『探』究竟

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/45/senior/0401/040106.pdf>

第 56 屆中小學科學展覽會 強「磁」奪「鉛」-磁鐵於不完整鉛管中運動現象

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/051801.pdf>

2022 亞洲物理奧林匹亞競賽 Experiment 1: Magnetic Black Box

<https://apho2022.in/questions-and-solutions/>

2005 亞洲物理奧林匹亞競賽斜面上的磁煞車

<https://tpmso.org/apho/index.php/question/>

臺中女中探究與實作課程 P56~P58

<https://itcgs.tcgs.tc.edu.tw/resource/openfid.php?id=27018>

高中選修物理力學一課本