

【2022 全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱：拳力出擊、用按發電~探討探討電磁感應的關係

一、摘要：

我們藉由實際操作實驗驗證課堂上學習的電磁感應定律，並且在實驗裝置上重複修正，最終得到了與課堂上的電磁感應定律類似的結果：當匝數與線材截面積愈大時，感應電流值會愈大，但測量結果卻不是呈正比，推測是因實際測量時使用三用電表，與三用電表內的內電阻分壓影響有關。而測量完後，利用測量的結果製作了一個「拳力出擊、用按發電」裝置藝術，讓一般民眾可以參與，並切在其中加入了節能議題藉。而製作此裝置則是利用了 Arduino 模組與 LCD 液晶顯示器讓參與的民眾都可以知道自己的發電量大小，藉此引入節能議題！

二、探究題目與動機：



圖一 2022 年三月全台缺電危機，全民關注能源議題。

(圖片來源：2022/03/22 TVBS 網路新聞)

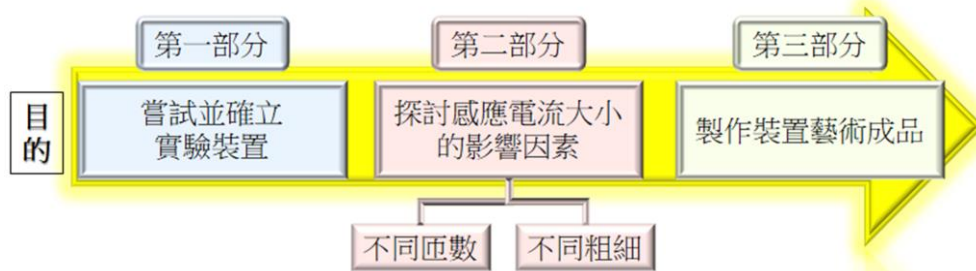
在學完電流磁效應這單元後，我們對電磁感應這可以隔空產生電流的現象十分感興趣，且剛好遇到全台遇上全台跳電的時機，因此更佳希望能夠瞭解發電廠發電的過程，並且希望打造出一種簡單的裝置藝術讓民眾可以正視並了解能源的議題與每個人息息相關，進而達到節約能源的目的！

而根據所學，大部分的發電廠所用的發電原理為「電磁感應定律」，利用通過線圈的磁力線數目生改變進而產生電能，理論上只要讓磁鐵相對線圈快速接近或遠離即可發電，而課本上也說明發電的效果與線圈匝數、線圈粗細、磁鐵與線圈間的相對速度、線圈半徑有關，因此我們先利用實驗量測這些變因與感應電流間的關係，最終討論並設計出一種裝置藝術—「拳力出擊、用按發電」裝置！此裝置可以讓經過民眾經過時用拳頭打擊打擊板，藉由打擊板背後的強力磁鐵迅速接近線圈產生感應電流，並將結果顯示在液晶螢幕上！讓參與民眾可以親身了解產生能源人人有責，在使用的同時更要珍惜；另一部分，也能發洩情緒！



圖二 「拳力出擊、用按發電」裝置

三、探究目的與假設：



圖三 探究目的流程圖

發電機的原理有很多種，但我們希望探討的是課本中利用電樞、場磁鐵...等裝置組成的發電機，雖然其中的冷次定律我們都學過，但真正在實作時才發現有太多的變因是我們沒辦法掌握的，因此我們在一次的實驗嘗試後，經過討論與修正後，最終形成有了新版實驗。因此我們把目的分成三個部分：

- 第一部分：實驗嘗試
- 第二部分：探討不同變因下的發電效果
 - 實驗一：纏繞不同匝數對產生的感應電流大小之影響
 - 實驗二：線材粗細程度對產生的感應電流大小之影響
- 第三部分：製作裝置藝術成品－「拳力出擊、用按發電」

四、探究方法與驗證步驟：

第一部分：實驗嘗試

發電廠的發電裝置大多都是用電樞在場磁鐵產生的穩定磁場中旋轉，使得通過電樞的磁力線數目發生改變進而產生感應電流，因此我們在一開始發嘗試與發想實驗時，就先做了如圖四的裝置圖，利用馬達帶動磁鐵在自製線圈前轉動，並利用三用電表量測電流值。但在實驗的過程中我們發現幾個問題：



圖四 實驗嘗試裝置

甲、自製線圈管長太長，兩端的線圈感受到的磁力線變化不相同。

改善辦法：將線圈纏成一束，減少距離差。

乙、磁鐵等速率選轉時，三用電表顯示的測量結果並非連續值，因此測量到的數據一值改變！

改善辦法：將磁鐵由相同高度自由落下，並重複測量取最大值

因此在此次實驗嘗試後，我們將實驗裝置改為由相同高度丟下磁鐵，並重複測量其感應電流大小！

第二部分：探討不同變因下的發電效果

藉由實驗嘗試後，我們將實驗裝置重新設計，如圖五所示。我們將磁鐵改為強度更強的強力磁鐵，並將線圈纏成束狀，並固定由高度30公分處將強力磁鐵自由落下，藉此固定磁鐵達線圈上緣時速度。以下為我們這部分的實驗器材：



圖五 實驗裝置圖

器材	規格	數量
三用電表		1組
漆包線	0.15cm	若干
漆包線	0.025cm	若干
漆包線	0.115cm	若干

表一 第二部分使用的實驗器材表格

實驗一：纏繞不同匝數對產生的感應電流大小之影響

在物理課本中可知電磁感應會與磁通量變化有關，而磁通量的公式為

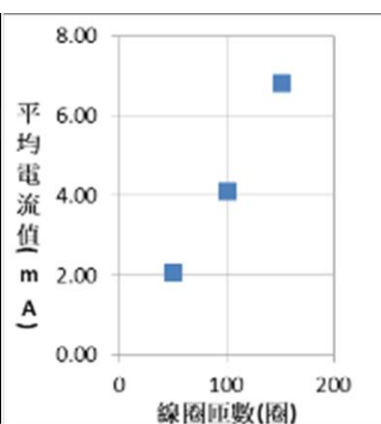
$$\text{磁通量 } \phi = B(\text{磁場}) \times A(\text{線圈投影面積})$$

而圓形線圈產生的感應電流大小公式為

$$\text{感應電流 } I = \frac{N\Delta BA}{\Delta t R}$$

因此若將磁鐵掉落至線圈時的速度大小視為定值，當線圈截面積不變，其每秒鐘的磁場變化應固定，因此感應電流應與匝數 N 成正比、電阻 R 成反比。而當匝數變多時，線圈的電阻值亦會變大，但應該還會受與三用電表分壓的影響，不會是反比。表二是我們的實驗數據：

組別	A	B	C	
磁鐵自由落下高度(cm)	30	30	30	
導線截面直徑(mm)	1.15	1.15	1.15	
導線截面積(mm ²)	1.04	1.04	1.04	
線圈匝數(圈)	50	100	150	
線圈半徑(cm)	4.5	4.5	4.5	
感應電流(mA)	第一次	2.53	4.64	6.76
	第二次	2.83	4.22	6.77
	第三次	1.63	4.81	6.84
	第四次	1.78	3.92	7.73
	第五次	1.83	3.77	7.76
	第六次	1.82	3.42	5.13
	平均	2.07	4.13	6.83



表二 纏繞不同匝數對產生的感應電流大小的數據與圖表

由以上數據可知，當匝數愈多時，感應電流的大小亦愈大。

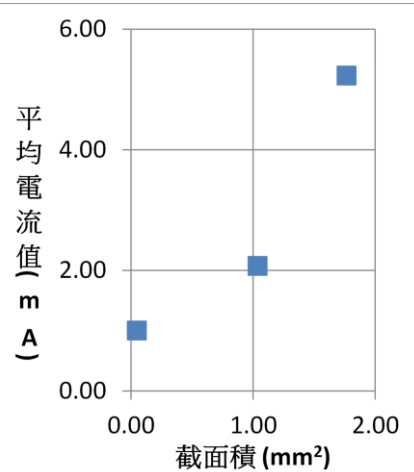
實驗二：線材粗細程度對產生的感應電流大小之影響

在前面實驗一個公式推導中可發現感應電流的影響會與導線電阻有關，而導線電阻的大小公式為

$$\text{導線電阻 } R = \rho(\text{電阻率}) \times \frac{L(\text{長度})}{A(\text{截面積})}$$

因此本次實驗在探討若長度不變的情況下，改變導線的截面積，則感應電流是否會有正比的關係。表三是我們的實驗數據：

組別		A	B	C
磁鐵自由落下高度(cm)		30	30	30
導線截面直徑(mm)		0.25	1.15	1.5
導線截面積(mm ²)		0.05	1.04	1.77
線圈匝數(圈)		50	50	50
線圈半徑(cm)		4.5	4.5	4.5
感應電流(mA)	第一次	0.32	2.53	4.37
	第二次	1.07	2.83	6.42
	第三次	0.26	1.63	6.19
	第四次	1.83	1.78	4.11
	第五次	1.33	1.83	5.68
	第六次	1.21	1.82	4.58
	平均	1.00	2.07	5.23



表三 線材粗細程度對產生的感應電流大小的數據與圖表

從以上數據可發現，當截面積愈大時，感應電流亦愈大，但似乎非正比關係，推測應該與分壓影響有關！

第三部分：製作裝置藝術成品—「拳力出擊、用按發電」

由第二部分的探討可知，當導線截面積愈大、匝數愈多時，感應電流愈強，則測到的感應電動勢亦愈強，因此我們想說可以與生科課教的 Arduino 設計，可以將測得的感應電動勢藉由螢幕顯示出來，最終討論，可以讓一般民眾以「按壓按鈕」的方式讓磁鐵產生與線圈的相對速度，因此我們與生科老師討論後開始製「拳力出擊、用愛發電」裝置。以下是我們使用的器材：

器材	數量
Uno R3 Arduino 控制版	1 組
1602 LCD 液晶模塊	1 組
麵包版	一塊
麵包版跳線	若干
珍珠板	若干
廣告顏料	若干
強力磁鐵	若干
車用清潔海綿	12 塊



圖六 簡易電路圖，其中⊙為感應電流源、 r_0 為導線電阻、 R 為 Arduino 控制版內電阻。

首先我們先將簡易的電路圖畫出，如圖六所示，其中⊙為感應電流源、 r_0 為導線電阻、 R 為 Arduino 控制版內電阻。然後開始思考我

們裝置藝術的主題，在考慮了目標族群為國高中生後，決定以寶可夢的皮卡丘作為我們的包裝設計，並且將電路以保麗龍膠黏在珍珠板內，再以廣告顏料設計，在設計的過程中，遇到了幾個問題如下：

甲、 打擊板的背部連接彈簧，使其打擊後可以自動回彈，但因為打擊板過大、打擊力道過強，經常會使打擊板無法垂直板面回彈，使得數據有誤差！

解決辦法：以洗車海綿替換彈簧，可以增加穩定性與接觸面積，並在打擊板四周固定邊界，限制打擊板回彈的路徑，減少損壞的可能！

乙、 雖然已經使用我們最粗的漆包線(直徑 1.5mm)纏繞，但導線產生的感應電流依舊太小！

解決辦法：與同學、家人討論後，直接拿五金行的 2.5mm^2 銅芯導線替換(如圖七所示)！



圖七 原本使用漆包線纏繞，但感應電流太小，因此改為 2.5mm^2 銅芯導線替換。

最終我們將成品設計完成如圖八所示，其中打擊版的背面即為強力磁鐵，當參與的民眾用力打向打擊板時，LCD 液晶面板就會出現當時出現的感應電動勢最大值！



圖八「拳力出擊、用愛發電」裝置。左圖為正面，右圖為背面電路圖。

而我們主要的目的是為了喚起大家對於能源議題的重視，因此我們會在看板旁邊附上台灣現行發電的現況，期許大家看完後會更加了解節能的重要性！

五、結論與生活應用：

- 從第一部分的嘗試實驗可以知道做實際動手做的重要，如果沒有操作過，有些問題是沒有辦法發現的！
- 從第二部分的實驗可發現，匝數愈高、截面積愈大的線路，感應電流會愈大，但截面積影響的數據較為明顯，推測應與三用電表的分壓有關！
- 從第三部分的實際製作成品中，可以發現學習的理論要能夠變成一個成品有多少東西需要探討，很多的問題都是在做的過程中遇到，才會開始想怎麼解決、問別人怎麼解決並且嘗試開始解決！也許不一定是最好的解決辦法，但至少是我們努力獲得的！
- 實驗的想法一開始是希望在按壓鍵盤按鍵時，按鍵底部會發亮。但實際操作後，發現因為相對速度過小造成感應電流亦小，而亮度不明顯。同時也剛好適逢台灣大跳電，因此我們想要製作一項關於能源議題的研究，喚起一般民眾對於能源議題的重視！

六、參考資料：

1. 2022/03/22 TVBS 網路新聞
<https://news.tvbs.com.tw/life/1747182>
2. 2021 全國科學探究競賽作品－還以顏色
<https://sciexplore2021.colife.org.tw/work.php?t=B0002>
3. 天花板隨記-Arduino 筆記(85):電壓感測器(Voltage Sensor)
<https://atceiling.blogspot.com/2020/10/arduino85voltage-sensor.html>
4. 2020 全國科學探究競賽作品－草堂記事
https://sciexplore2020.colife.org.tw/vote_content.aspx?guid=fadce3c7-9174-4ae3-adc9-c8bdee32beff&type=pop&group=2
5. MIT's experiments on Laws of induction
<https://ocw.mit.edu/courses/8-02t-electricity-and-magnetism-spring-2005/pages/labs/>