

磁機械振盪器對阻尼及耦合振盪之研究

洪偉清* 陳元龍 蕭振揚 林偉杰

陸軍軍官學校物理學系

*通訊作者:hung.wc0602@msa.hinet.net

摘要

日常生活中常可觀察到物體因受外力作用而產生振盪，其行為多為阻尼振盪運動而非理想的簡諧運動（Simple Harmonic Motion, SHM）。當兩個振盪系統之間存在相互作用力，且其自然頻率接近時，即可觀察到耦合振盪現象。然而，由於耦合振盪所涉及的物理原理相對抽象，對學生而言難以直接理解，因此開發可視化且易於操作的教具以協助學習具有高度教育價值。本研究以 2023 年國際青年物理辯論賽（International Young Physicists' Tournament, IYPT）之題目「磁機械振盪器」為核心，設計並實作一款適用於阻尼與耦合振盪實驗探究之教學裝置。該裝置以鐵尺取代傳統彈性簧片，使磁鐵可直接吸附並靈活調整擺錘位置與擺長；固定架則採用可調式木板結構，能快速變換兩振盪元件間之距離，具備高度變因操控能力。為提升數據取得效率與準確性，系統整合 Arduino 數位感測元件與 LabVIEW 軟體平台，實現振盪頻率與動態行為之即時監測與分析。實驗結果顯示，教具操作穩定、振盪現象明確，並可在不同質量、擺長與耦合距離條件下呈現典型的阻尼與耦合振盪行為，所測得的頻率資料亦與理論預測高度吻合。本裝置具備低成本、組裝簡易與教學互動性高等優點，適合應用於高中物理探究實作課程及大學基礎力學實驗中，對於強化學生對阻尼與耦合振盪機制之理解與應用具有實質助益。

關鍵詞〈3-5 個〉：磁機械振盪器、阻尼振盪、耦合振盪、教學教具、IYPT 國際青年物理辯論賽

一、前言

本研究以 2023 年國際青年物理學家競賽（International Young Physicists' Tournament, IYPT）公布之探究題目「磁機械振盪器」為研究主題。題目中描述兩根相同的彈性金屬簧片（板簧）其下端固

定於非磁性基座，上端各自連接一顆磁鐵，使其因磁力互相排斥並能自由振動，進而探討彈性系統的運動行為與相關參數之間的關係[1]。

為有效進行此項議題之實驗探究，首先需設計一套結構簡便、可靈活調整多變

因的教學教具，用以觀察並分析阻尼振盪與耦合振盪的動態行為。其核心設計概念在於磁鐵產生的斥力作為耦合力來源，進而誘發兩簧片之間的耦合振盪現象[2-3]。

阻尼擺與耦合擺的理論與實驗研究可追溯至 17 世紀，歷經數百年的學術累積，許多學者投入相關實驗設計與教具開發，以利學生學習與理解振盪系統的物理特性[4-5]。近年更有諸多文獻從不同角度深入探討阻尼與耦合振盪行為[6-11]，也使得「磁機械振盪器」被選為 2023 年 IYPT 的官方題目之一，適合作為高中學生進行跨學科實驗與物理辯證的研究平台。

例如，Sitian Zhao 等人（2024）即以彈簧與磁鐵組成磁耦合擺裝置，分析磁位能、彈性模數與環境參數等變因對於振盪頻率與相位的影響[4]。耦合擺的研究不僅提供了理解振動系統交互作用的簡化模型，也可應用於能量轉移與收集技術，如無線感測器的微型能量供應[13-14]。

近年來，越來越多研究團隊投入耦合振盪器的相關設計與非線性動力學分析，如 Dumitru Baleanu（2019）探討底部連接的等長等質量雙擺系統[14]，S. Trocaru（2020）則應用牛頓力學解析其振動行為[13]。此外，Z. Hao（2022）提出由兩個平行葉片構成的新型磁耦合系統，並研究其非線性共振現象[15]；T. Wang（2023）更將耦合擺設計導入能量收集裝置中[16]，而 P.V. Malaji 則利用雙電磁收集器進行磁機械實驗應用研究[17-18]。

儘管振盪現象在生活中普遍存在，從高中、大學至研究所課程中皆有相應章節

討論[19-21]，但多數教材與課程仍以理論簡單的簡諧運動（SHM）為教學核心，忽略實際中普遍存在的能量耗散與阻尼效應。學生若無適切實驗輔助，常誤認所有振盪皆屬簡諧運動，且難以從數據中理解如阻尼係數、衰減常數等重要物理參數的實質意義。

為克服上述困境，本文設計並實作一套兼具阻尼與耦合振盪功能的實驗教具，結合 Arduino 數位元件與 LabVIEW 軟體系統，提供即時數據擷取與分析能力。此教具不僅可輔助學生進行定性觀察與定量分析，亦能促進理論與實驗的交互驗證，進而提升學生對振盪行為與背後物理原理的理解，促進其批判思維與科學探究能力。

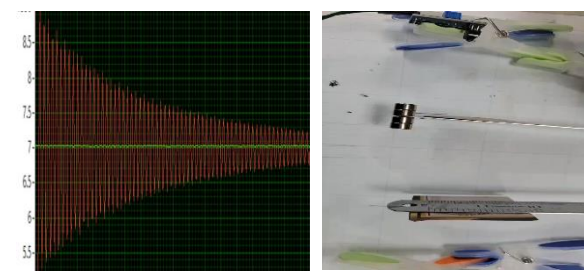


圖 1.左圖為利用 Arduino 紅外線感測器同時測量右圖兩個直尺的振盪數據，紅色線代表有吸附磁鐵直尺的振盪，綠色線則為未加磁鐵的直尺的振盪，可以發現有吸附磁鐵的直尺呈現阻尼振盪現象，未加磁鐵的直尺未受到影響。

二、實驗觀察與理論分析

2.1 初步現象觀察

(1) 質量效應:在直尺上增加吸附的磁鐵質量，會造成振盪頻率變小，即振盪

週期增大現象。

- (2) 擺長效應:改變直尺磁鐵吸附的位置,當擺長愈短則振盪頻率會變大,即振盪週期變小現象。
- (3) 兩支直尺距離很近時,若直尺上都沒有吸附磁鐵或只單一直尺有吸附磁鐵時,都無法形成耦合振盪,如圖 1 所示。
- (4) 當兩支直尺皆有吸附磁鐵時,耦合振盪即會產生,兩者間磁力愈強且頻率相近時,即可產生明顯的耦合震盪。

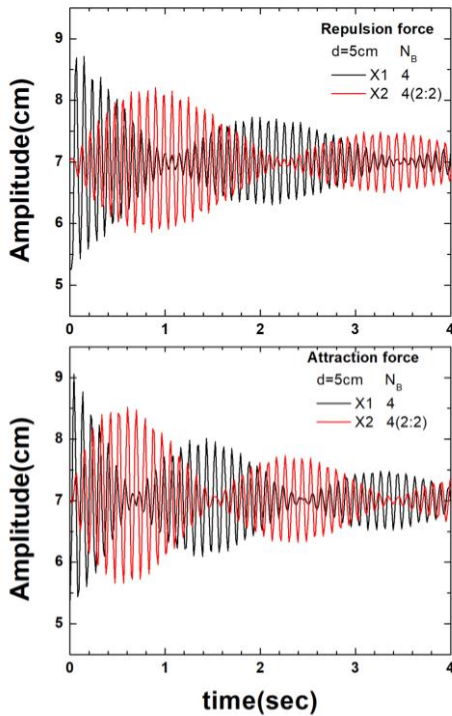


圖 2.為兩個直尺皆吸附有 4 顆磁鐵,且以尺的兩側各吸附 2 顆磁鐵方式,上圖為兩尺間的磁鐵為同名極,故為排斥力,下圖則為異名極,故吸引力,由數據排斥力條件下,其耦合的自然週期變長,即其耦合的自然頻率變小,但其耦合頻率並沒有改變。

2.2 初步現象觀察的理論分析

由虎克定律得知,尺的彈力: $F = -\kappa X$,若直尺有受到阻力作用,阻力則應為

$$f = -\beta \frac{dx}{dt}, \text{ 故直尺所受的合力應為,}$$

$$\Sigma F = F + f$$

$$= -\kappa X - \beta \frac{dx}{dt}$$

$$= ma = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (1)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{\beta}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{\kappa}{m} x = 0 \quad (2)$$

式(2)求解,可得

$$X(t) = A_0 e^{-(\beta/2m)t} \cos(\omega t + \phi) \quad (3)$$

其中振幅: $A(t) = A_0 e^{-(\beta/2m)t} = A_0 e^{-t/\tau}$

可得衰減常數為 $\tau = \frac{2m}{\beta}$

將式(3)代入(2),可得角頻率 ω^2

$$\omega^2 = \frac{\kappa}{m} - \left(\frac{\beta}{2m}\right)^2 \quad (4)$$

故可得到角頻率 ω

$$\omega = \sqrt{\frac{\kappa}{m} - \left(\frac{\beta}{2m}\right)^2} = \frac{2\pi}{T} \quad (5)$$

根據以上理論分析可建立以下實驗步驟:

可由式(4)可得到擺長 L 與振盪常數 κ 的關係:因 L 與 κ 呈反比,即 $\kappa = \epsilon/L$,其中 ϵ 為一常數,將 κ 代入式(4),可得

$$\omega^2 = \frac{\kappa}{m} - \left(\frac{\beta}{2m}\right)^2 = \frac{\epsilon}{mL} - \left(\frac{\beta}{2m}\right)^2 \quad (6)$$

因此,若將取得 ω^2 隨 $1/L$ 變化圖, ω^2

與 $1/L$ 應呈線性關係,由其斜率即為 $\frac{\epsilon}{m}$,

截距即為 $-\left(\frac{\beta}{2m}\right)^2$ ，因此可由實驗數據分析獲得振盪 ε 常數與 β 常數。

2.2.1 有阻尼的耦合振盪原理：

若 $X_1(t)$ 與 $X_2(t)$ 分別為兩支直尺振盪的位移函數，其函數如下：

$$X_1(t) = A_0 e^{-(\beta/2m)t} \sin 2\pi f_1 t$$

$$X_2(t) = A_0 e^{-(\beta/2m)t} \sin 2\pi f_2 t$$

當兩者間產生耦合作用時，則每支直尺的振盪位移的為 $X(t)$ ，即為兩者振盪位移函數的疊加，即 $X(t) = X_1(t) + X_2(t)$ ，故可得，

$$\begin{aligned} X(t) &= A_0 e^{-(\beta/2m)t} \sin 2\pi f_1 t + A_0 e^{-(\beta/2m)t} \sin 2\pi f_2 t \\ &= 2A_0 e^{-(\beta/2m)t} \left[\sin 2\pi \left(\frac{f_1 + f_2}{2} \right) t + \cos 2\pi \left(\frac{f_1 - f_2}{2} \right) t \right] \end{aligned} \quad (7)$$

由(7)式中，即可得到耦合振盪的自然頻率

$$\text{為 } f_0 = \frac{f_1 + f_2}{2}, \text{ 及耦合頻率 } f_c = \frac{f_1 - f_2}{2}$$

當 $f_2 = f_1 - \Delta f$ 且 $f_1 \ll \Delta f$ ，則可將(7)式化簡為

$$X(t) = 2A_0 e^{-(\beta/2m)t} \left[\sin 2\pi f_1 t + \cos 2\pi \frac{\Delta f}{2} t \right] \quad (8)$$

故可由(8)式可預測當兩直尺振盪的頻率

很接近耦合振盪的自然頻率時，則

$$f_0 \cong f_1, \text{ 其耦合頻率即為 } \Delta f/2.$$

2.2.2 理論模擬：

為驗證理論所呈現的數據與實驗是否一致，我分別以給予固定的 $A_0 e^{-(\beta/2m)t}$ 及給

予兩個自然頻率相當接近的直，即 $f_1 \cong f_2$

$$X_1(t) = A_0 e^{-(\beta/2m)t} \sin 2\pi f_1 t$$

$$X_2(t) = A_0 e^{-(\beta/2m)t} \sin 2\pi f_2 t$$

再將 $X_1(t)$ 及 $X_2(t)$ 進行疊加，如(7)式所示，得可得到如圖 3 所示，因此在實驗上若能測量到耦合振盪，可藉由分析即可獲得直尺的振盪的振幅、阻尼常數及兩個自然頻率的大小，就可利用理論模型的模擬與實驗結果進行比較，而能對耦合振盪的行為能更清楚的瞭解。

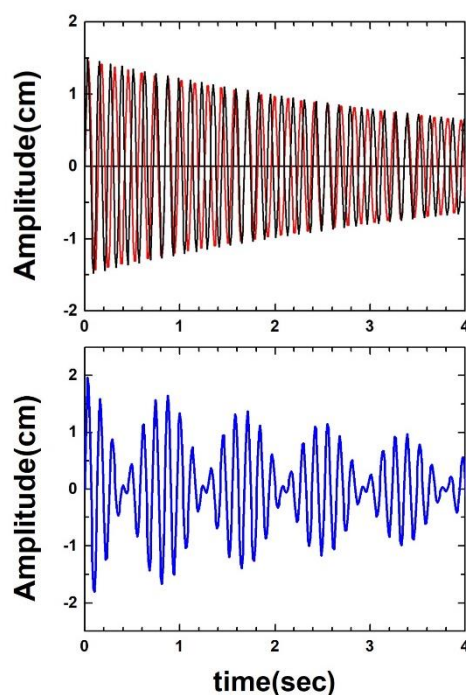


圖 3. 上圖給予相同的阻尼係數及振幅，但兩者的自然頻率不同但相當接近的條件下，兩個振盪位移的狀態。而下圖則由兩個位移函數進行疊加後的波型，可明顯產生耦合振盪現象。

三、實驗方法

3.1 實驗器材

實驗的架設如圖 4 所示，實驗器材包含兩支較薄的鐵尺、10 顆強力磁鐵、20 塊長條木塊、2 個 Arduino 紅外線感測器。其中鐵尺的選擇需具有彈性，故實驗設計上會擇選較薄的鐵尺，能展現如簧片的彈性，強力磁鐵的數量主要用以調控阻尼力，兩組木條支架主要固定直尺、調整擺長、改變兩尺間的距離使用，紅外線感測器主要是將電壓轉換成距離，藉此可將直尺隨時間的振盪行為直接紀錄下來。在程式的設計上，利用 Arduino 程式控制紅外線感測器，並將數據回傳電腦連接埠，在利用 LabVIEW 由連接埠擷取實驗數據，如圖 5 所示，擷取的數據時可使用繪圖軟體進行繪圖及分析。

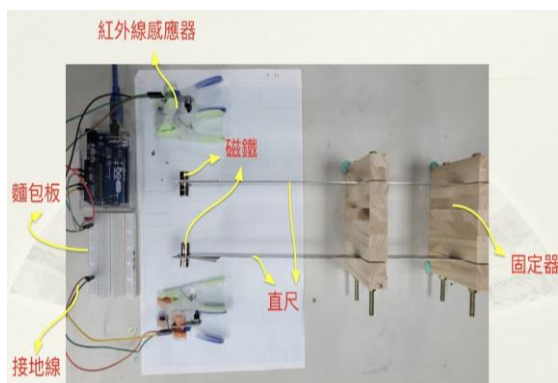


圖 4. 磁機械振盪器架設圖

3.2 紅外線距離校正

進行實驗前須先完成紅外線電壓值與距離的校正，讓所測得的電壓值能直接轉換成距離，由於紅外線感測器在 4cm 至 12cm

間其鑑別度較大。因此本文針對此範圍進行電壓隨距離的變化圖，並由實驗數據獲得兩者關係式，因此可由所測量到的電壓直接轉換成距離隨時間的變化圖，實際架設如圖 4 所示。

3.3 實驗數據分析方法

如圖 5 所獲的實驗數據，可藉由傅立葉轉換(Fourier transform，縮寫：FT)將振幅隨時間的變化圖，專換成振幅隨頻率的變化圖，由於耦合振盪是兩個頻率相近的波動互相疊加而成，因此透過傅立葉轉換後，即可得到兩支直尺的發生耦合時的自然頻率大小，如圖 7 所示。

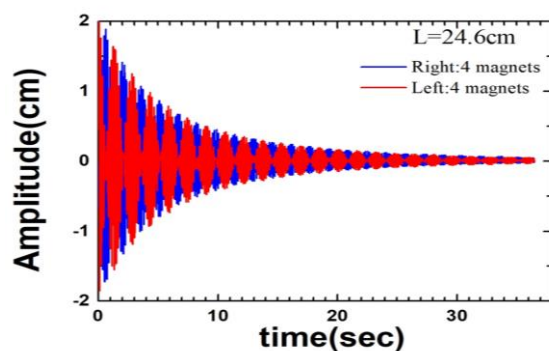
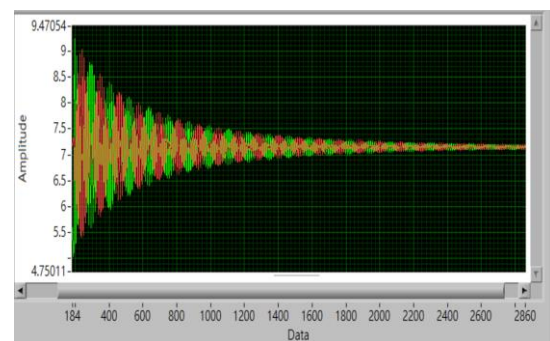


圖 5. 上圖為利用 LabVIEW 擷取數據圖，下圖則利用繪圖軟體重製數據圖。



圖 6.經過校正後，可為微調紅外線感應器的位置，使兩直尺與感測器間的距離一致，如圖上所示，分別為兩直尺與紅外線的距離皆為 7.13cm，如此即可進行實驗數據測量。

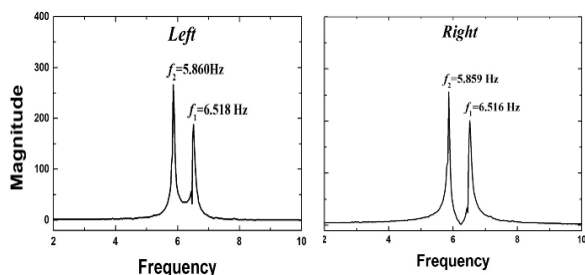


圖 7. 將耦合振幅隨時間變化圖透過傅立葉轉換後即可得到兩個直尺的發生耦合時的自然頻率大小。

四. 結果與討論

4.1 研究擺錘質量與擺長對振盪運動的影響為何？

本實驗分別控制擺長為 22.6cm 及 20.6cm，分別測量擺長對阻尼振盪影響。藉由改變直尺上吸附不同的磁鐵數目，以探討擺錘質量對阻尼振盪的影響。由表 1 的可發現如下結論：

- (1) 當擺長增長、頻率減小、角頻率減小、衰減常數增大。

- (2) 擺錘質量增加、頻率減小、角頻率減小、衰減常數增大。

此與理論預測，衰減常數為 $\tau = \frac{2m}{\beta}$ ，其中 β 為一常數，因此，質量愈大則衰減常數就愈大，如表式結果所式。由 (6) 式

$$\omega^2 = \frac{k}{m} - \left(\frac{\beta}{2m}\right)^2 = \frac{\epsilon}{m} \frac{1}{L} - \left(\frac{\beta}{2m}\right)^2$$

可預測擺長愈長其角頻率會愈小，由實驗結果顯示如理論預期，實驗上若能測量更多不同擺長的實驗數據，即可由 ω^2 與 $1/L$ 的線性關係圖，由斜率獲得 ϵ 常數，由截距獲得 β 常數。

表 1. 改變擺錘質量與擺長對振盪運動的物理參數影響的結果

	L	N_B	f_0	ω	τ
1	22.6	4	6.810	42.7668	4.7488
2	22.6	3	7.369	46.2773	4.3653
3	22.6	2	8.076	50.7172	3.68165
4	22.6	1	9.081	57.0286	2.92028
5	22.6	0	10.614	66.6559	2.317
6	20.6	0	12.529	78.6821	1.999

4.2 研究擺長對耦合振盪的影響為何？

由圖 8 顯示耦合振盪的自然頻率隨擺長增加而愈大，由理論可得知產生耦合振盪的必要條件就是兩支直尺的產生耦合時的其頻率約相同。由實驗 4.1 的實驗結果得知擺長愈長其振盪週期會愈大，因此振盪頻率就會愈小。當耦合振盪產生時，兩支直尺的自然頻率將決定耦合振盪的自然

頻率，可由(8)式可預測當兩直尺振盪的頻率很接近耦合振盪的自然頻率時，則耦合振盪的自然頻率 f_0 會接近其中每支尺的自然頻率 f_1 或 f_2 ，即 $f_0 \cong f_1 \cong f_2$ 。故其實驗結果與理論預測一致。

4.3 研究擺錘質量耦合振盪的影響為何？

由圖 9 顯示耦合振盪的自然頻率隨擺垂質量增加而愈小。由實驗 4.1 的實驗結果得知質量愈大則衰減常數就愈大，由 (6) 式

$$\omega^2 = \frac{k}{m} - \left(\frac{\beta}{2m}\right)^2 = \frac{\varepsilon}{m} \frac{1}{L} - \left(\frac{\beta}{2m}\right)^2$$

可預期當擺長不變的條件下，質量愈大其角頻率會愈小，實驗結果與理論預期一致。

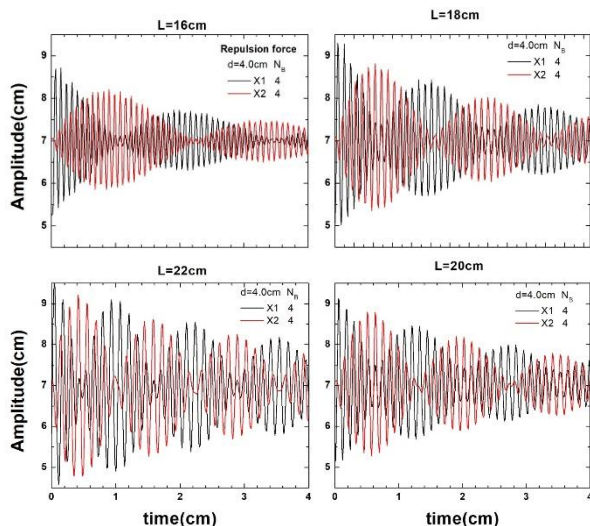


圖 8. 控制擺錘質量相同條件下，分別測量擺為 16cm、18cm、20cm 及 22cm 的耦合振盪振幅隨時間的變化圖。

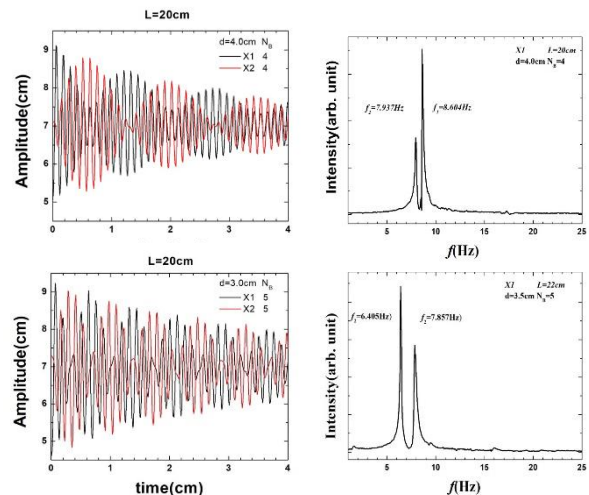


圖 9. 控制擺長相同條件下，分別測量擺垂為吸附 4 顆及吸附 5 顆磁鐵的耦合振盪振幅隨時間的變化圖，其中吸附 4 顆及 5 顆的耦合頻率自然頻率，分別為 8.604Hz 及 7.857Hz，其耦合頻率則分別為 7.937Hz 及 6.405Hz。

五、結論

本研究所設計之磁機械振盪器，證實其在展示與探究阻尼運動及耦合振盪現象方面具備高度實用性與教育價值。該裝置組裝簡便、操作直觀，且實驗數據具有良好再現性。透過整合 Arduino 數位元件與 LabVIEW 程式，本教具能快速擷取高可信度的振盪數據，極適合作為高中與大學階段物理課程中的實驗教具。

本系統的設計不僅能協助學生直觀觀察振盪現象，也利於教師進行現象導向教學，進一步促進跨領域學習，並可延伸應用於感測器設計與被動式振動控制等相關工程領域。其元件簡單、變因控制彈性大，使學生能透過親手操作深入理解耦合與阻尼振盪的物理原理。

在耦合振盪方面，本研究獲得以下重要發現：

- (1) 耦合效果的產生須建立在兩個振盪器自然頻率接近的條件下。
- (2) 若振盪頻率過低，將不利於能量的有效傳遞與耦合現象的產生。
- (3) 足夠的擺長可延長能量傳遞的時間，有助於耦合效果的呈現。
- (4) 必要的磁場強度則可增進能量交換的效率，進一步強化耦合振盪現象。

綜上所述，本研究所發展之磁機械振盪器不僅成功驗證理論與實驗結果的一致性，亦可用於探討耦合強度的非線性行為、阻尼機制以及能量轉移的動力學。該教具提供師生一個結合理論、實驗與數據分析的完整學習平台，有效提升學生對耦合振盪與能量守恆概念的理解與應用能力，為振盪類物理教學與實作研究提供了創新且實用的工具。

致謝

感謝國科會科普活動計畫經費補助：
NSTC 112-2515-S-145-001 –

六. 參考文獻

- [1] Problems for the 36th IYPT 2023, <https://www.iypt.org/problems/problems-for-the-36th-iypt-2023/>
- [2] Wilberforce, Lionel Robert (1896). On the vibrations of a loaded spiral spring". *Philosophical Magazine*. 38: 386–392. doi:10.1080/14786449408620648. Retrieved 2008-01-09.
- [3] Berg, Richard E.; Marshall, Todd S. (1990). Wilberforce pendulum oscillations and normal modes. *American Journal of Physics*. 59 (1): 32–37. doi:10.1119/1.16702. Retrieved 2008-05-03.
- [4] Sitian Zhao, Jiawei Wan, Lu Wang (2024). Motion analysis of and experimental research on a magneto-mechanical oscillator. *Heliyon*, 10*(3), Article e2406731. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024106731>
- [5] 許翊聖, 邱郁惠, 黃聖祐, 盧政良, 高執貴 (2023)。磁力耦合振盪器的理論建構與實驗設計。第 63 屆中小學科學展覽會作品。國立台灣科學教育館館。file:///C:/Users/user/Downloads/19994_NPHSF2023-051806.pdf
- [6] Mewes, Matthew (2014). The Slinky Wilberforce pendulum: A simple coupled oscillator. *American Journal of Physics*. 82 (3): 254–256. doi:10.1119/1.4832196. ISSN 0002-9505.
- [7] G. Donoso, C. L. Ladera, P. Martín (2010). Magnetically coupled magnet-spring oscillators. *Eur. J. Phys.* 31, 433–452.
- [8] Piotr M. Przybyłowicz, Tomasz Szmidt (2009). Electromagnetic Damping of a Mechanical Harmonic Oscillator with the Effect of Magnetic Hysteresis. *J. Theor. Appl. Mech.*, Vol. 47(2), 2009, pp. 259 – 273.
- [8] Gilles Dolfo and Jacques Vigué (2018). Damping of coupled harmonic oscillators. *Eur. J. Phys.* 39 025005

- DOI 10.1088/1361-6404/aa9ec6
- [9] S.K. Joshi, S. Sen, I.N. Kar (2016). Synchronization of coupled oscillator dynamics. *IFAC-PapersOnLine*, 49 (1) (2016), pp. 320-325.
- [10] S.H. Strogatz (2000). From Kuramoto to Crawford: exploring the onset of synchronization in populations of coupled oscillators. *Phys. Nonlinear Phenom.*, 143 (1-4), pp. 1-20.
- [11] J. D. Crawford, K. T. R (1999). Davies Synchronization of globally coupled phase oscillators: singularities and scaling for general couplings. *Phys. Nonlinear Phenom.*, 125 (1-2), pp. 1-46.
- [12] A.Y. Pogromsky, V.N. Belykh, H. Nijmeijer (2003). Controlled synchronization of pendula[C]//42nd IEEE international conference on decision and control (IEEE cat. No. 03CH37475), IEEE, 5, pp. 4381-4386
- [13] S. Trocaru, C. Berlic, C. Miron, et al. (2020). Using tracker as video analysis and augmented reality tool for investigation of the oscillations for coupled pendula. *Rom. Rep. Phys.*, 72 (1), p. 16.
- [14] D. Baleanu, A. Jajarmi, J.H. Asad (2019). Classical and Fractional Aspects of Two Coupled pendulums[J]
- [15] Z. Hao, D. Wang, M. Wiercigroch (2022). Nonlinear dynamics of new magneto-mechanical oscillator. *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.*, 105, Article 106092.
- [16] T. Wang (2023). Pendulum-based vibration energy harvesting: mechanisms, transducer integration, and applications *Energy Convers. Manag.*, 276, Article 116469.
- [17] P.V. Malaji, S.F. Ali (2018). Analysis and experiment of magneto-mechanically coupled harvesters. *Mech. Syst. Signal Process.*, 108, pp. 304-316.
- [18] P.V. Malaji, S.F. Ali (2015). Analysis of energy harvesting from multiple pendulums with and without mechanical coupling. *Eur. Phys. J. Spec. Top.*, 224 (14), pp. 2823-2838.
- [19] Goldstein, H., Poole, C. P., & Safko, J. L. (2002). *Classical mechanics* (3rd ed.). Addison-Wesley.
- [20] Taylor, J. R. (2005). *Classical mechanics*. University Science Books.
- [21] Morin, D. (2008). *Introduction to classical mechanics: With problems and solutions*. Cambridge University Press.

Research on damping and coupling oscillators by magnetomechanical oscillators

Wei-Chin Hung* Yuan-Long Chen Zhen-Yang Xiao Wei-Jie Lin

Department of physics, R.O.C military Academy

***corresponding author:hung.wc0602@msa.hinet.net**

ABSTRACT

Oscillatory motion induced by external forces is a common phenomenon observed in daily life. Most such motions are characterized as damped oscillations, rather than ideal simple harmonic motion (SHM). When two oscillating systems are coupled and exhibit similar natural frequencies, the phenomenon of coupled oscillations can be observed. However, the underlying physical principles of such interactions are often abstract and difficult for students to comprehend through theory alone, highlighting the importance of developing educational apparatuses to support experiential learning. This study presents the design and implementation of a magneto-mechanical oscillator apparatus, inspired by the 2023 International Young Physicists' Tournament (IYPT) problem on magnetic oscillators. The device replaces traditional spring elements with steel rulers, enabling magnetic pendulums to be directly attached and freely repositioned along the ruler, with pendulum length clearly displayed. The supporting structure consists of layered wooden plates, allowing for easy adjustment of pendulum length and inter-ruler distance by modifying plate thickness and spacing. The apparatus supports multi-variable control, is simple to assemble, and exhibits stable and observable oscillatory behavior. It integrates Arduino digital components and LabVIEW software for data acquisition, enabling rapid measurement of oscillation frequencies under various conditions, such as different pendulum masses and lengths. Experimental results align well with theoretical predictions, confirming the device's capability to effectively demonstrate both damped and coupled oscillations. Given its versatility, clarity of demonstration, and low cost, this magneto-mechanical oscillator is well-suited for use in high school inquiry-based science education and undergraduate-level mechanics laboratories, enhancing students' conceptual understanding of key dynamic systems in physics.

Keywords: Magneto-mechanical oscillator, Damped oscillation, Coupled oscillation, Educational apparatus, International Young Physicists' Tournament (IYPT)