

第五章 結論與未來的展望

由於微晶片的蓬勃發展為世界帶來了更多的便利，在各種研究上均可以利用不同效能的微晶片，應用在自己所屬的專業領域上，在示範教學的儀器製作上也是可以運用的。本論文研究主要是在利用科技的前端產品微晶片，搭配電腦週邊的軟硬體設備，在研究與示範教學實驗領域建立一套實驗模組。也就是說這套模組不僅可以運用在研究上，也可以運用在教學實驗上，能夠使教師的教學能夠更生動，進而吸引學生的學習科學。本章主要是根據第三章的「ADC 軟硬體設計與應用」與第四章的「多米諾骨牌實驗」的設計與測量分析結果，提出研究的結論與未來的發展建議。本章主要分成兩節，第一節為研究結論，主要是為前面幾章的討論做出一個總結；第二節為未來展望，提出這套實驗模組還有哪些法展的空間與改進。

第一節 研究結論

本論文研究以多米諾骨牌(Dominoes) 運動為主題，由起初的測量單塊骨牌的傾倒運動，到後來的測量多塊骨牌的傾倒運動一脈相承，並藉由分析單塊骨牌的運動狀態與多塊骨牌的能量變化，進一步地探討骨牌傳播時的效應。因此以下將針對實驗單塊骨牌部分與多塊骨牌部分做出實驗結果歸納。

5-1-1 單塊骨牌

在測量單塊骨牌傾倒的運動軌跡中，我們僅用一個簡單的單擺運動方程式來模擬骨牌的運動軌跡，發現其 EJS 模擬骨牌運動軌跡圖形只需要加上一個初角速度參數，如此便能夠達到 EJS 理論模擬與實驗數據的運動軌跡完全相同。

在 EJS 理論模擬加入初角速度這個參數，主要是骨牌實驗時必須把骨牌的質心緩慢地抬高到支點的上放偏右一點，使骨牌自然地受到重力影響加速傾倒，但因為推動時必須克服摩擦力的效應，所以自然會給予骨牌一個微小的初角速度，因此再加入這個初角速度的參數條件下，能夠完整的模擬出骨牌傾倒的運動軌跡。

至此我們已把實驗數據配合 EJS 理論模擬做出分析比對，使得觀察物體運動軌跡於分析模擬物理上，得到科學性的完整紀錄與及便利的分析。

5-1-2 多塊骨牌

在多塊骨牌連續傾倒的過程中，我們藉由測量每塊骨牌角度對時間的變化情形，在我們所設計的實驗設計下有以下幾點發現：

(1)由多塊骨牌角度對時間變化圖形看來，骨牌運動到第三塊骨牌後開始出現規律性的變化，即表示骨牌進入到穩定的傳播狀態。

(2)由多塊骨牌角速度對時間變化圖形看來，每塊骨牌有三個主要的峰值，這三個峰值分別代表著三次的碰撞，即表示每塊骨牌從開始傾倒到最後倒下，其運動狀態攸關後兩塊骨牌的碰撞與傾倒速度，也就是我們可以把三塊骨牌當作是一個波，當骨牌一塊塊向前碰撞時，可以當成一個孤立子波向前傳遞能量。

(3)由每塊骨牌碰撞的時間點與骨牌的間距，我們可以計算出骨牌傳播的傳播速度，而實驗所測出骨牌的傳播速度為 1.30 ± 0.05 m/s。

(4)由多塊骨牌中單一塊骨牌動能與位能變化圖看來，位能曲線有四個不連續段，這與動能變化的三個峰值分別相互對應，這表示多骨牌運動之所以能夠向前運動，主要依賴著動能與位能交替週期性的轉換，致使骨牌運動能夠一直穩定的進行下去。

(5)由單塊骨牌運動與多塊骨牌運動的比較圖看來，當骨牌受到相互間碰撞的影響後與原本的運動軌跡原全不同，且多塊骨牌的角速度與原本單塊骨牌的角速度比較下呈現先快後慢的現象。

第二節 未來展望

依據本論文的研究結論，整理提出以下建議提供進一步研究或示範教學的參考：

5-2-1 實驗設計方面

(a)不同的材質

本實驗骨牌的材質為金屬黃銅(Cu)，是屬於密度較高且質地均勻的材質，但價格上較昂貴，所以可以更換密度較低且質地均勻的材質，如壓克力等材質，可以節省製作上的成本。

(b)不同比例條件的骨牌

本實驗的骨牌條件製作完成後就不能改變，所以可以設計不同比例的骨牌規格進行實驗，可以做進一步的探討與研究。

(c)不同的測量裝置

本實驗的設計以可變電阻裝置在骨牌轉軸上當作測量裝置，它是屬於侵入式的測量裝置，如果已經擁有高速攝影機的狀況下，也可以改用攝影法來記錄骨牌運動的狀態，應該可以得到更理想的實驗結果。

至此骨牌實驗仍然有很多可以改良的地方，在此只舉出一些本實驗未能達到的目標，作為將來繼續努力研究的方向，期望能得到更好的實驗結果。

5-2-2 硬體裝置方面

(a)製做不同的實驗裝置

由於本研究著重於「測量介面軟硬體的製作」，並建立出一套實驗模組應用在測量多諾米骨牌上，但其實這個實驗模組可以應用在不同的研究上，因此只需更改後段的測量偵測器，搭配本論文中所製作的高解析度 ADC 接器與軟體控制介面，例如：今天是液體壓力的實驗，只需要把電阻裝置更改成適合的壓力感應器，便可以進行實驗的測量。因此本論文中所製作實驗模組適用性是非常地廣泛。

(b)行動研究實驗

本研究整個裝置都是自己設計組合完成，花費了很多人力與物力在設計製作實驗模組，如果將此模組應用在「行動研究」的實驗教學上，進行長時間的研究，應能進一步了解學校老師在運用此實驗模組在示範教學上對學生學習成效的實際影響。

(c)控制軟體的加強

本實驗的軟體控制介面屬於基礎的版本，只有儲存數據與圖形顯示的基本功能，對於想要直接在本軟體控制介面上分析數據的使用者，必須還要加入本軟體分析數據的程式，所以未來在控制軟體的介面上還有很多可以加入的功能。

(d)示範教學實施之推廣應用

在製作硬體的過程中發現坊間已經有類似的 ADC 訊號接收器，但價格上相對比較昂貴，而且在偵測器的上的使用被迫使用他們所供應的配件，對於想做不同的示範教學實驗者在此方面受到限制，因此本論文製作的這套硬體接收器在這方面就非常的自由，可以根據使用者的需求搭配不同的測量器材，進行所需要的測量。另一方面在價格上的考量，我們製作這麼一套硬體所花費約 \$ 2000 NT 內。再加上我們的開發目的是屬於教學推廣，所以在控制軟體的部份是屬於免費開放使用的(open source)，可以給其他有興趣的研究者下載並且使用，設計出更好的實驗，並且做出更進一步的研究。

