

2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 普高組 技高組 成果報告格式

題目名稱：最慢的馬，最穩的步——從外型到摩擦的深入探討

一、摘要

本研究主要探討「斜坡步行馬」的運作原理，以及各項操縱變因對其行進速度的影響。首先進行外觀設計，包含材質選擇、頭尾比例腳尖比例的調整；接著測量不同斜坡面（如紙板、80 號砂紙、240 號砂紙、PP 板與白紙）的摩擦係數，並分析其對步行速度的影響。之後探討斜坡角度變化對速度的影響。最終歸納實驗結果並說明背後物理原理。研究結果顯示，斜坡角度為影響速度的主要因素，而摩擦係數為次要因素；當斜坡角度較小且摩擦係數較大時，斜坡步行馬的速度明顯變慢。

二、探究題目與動機

在選修課時曾競賽誰能做出走的最慢的「斜坡步行馬」，使用簡易的材料，就能做出不需外力，僅靠重力便能自行沿著斜坡行走的小巧玩具，這神奇的現象很吸引我們，想讓我們了解背後的原理，看著斜坡步行馬慢慢一步一步走下斜坡也讓人覺得很療癒，讓我們想深入探究哪些因素會讓他走得更慢？除此之外，這類自走裝置在教具設計與輔具研發上也具有潛力，因此我們決定透過實作與觀察，深入探究其背後的原理及使其速度更慢的因素。

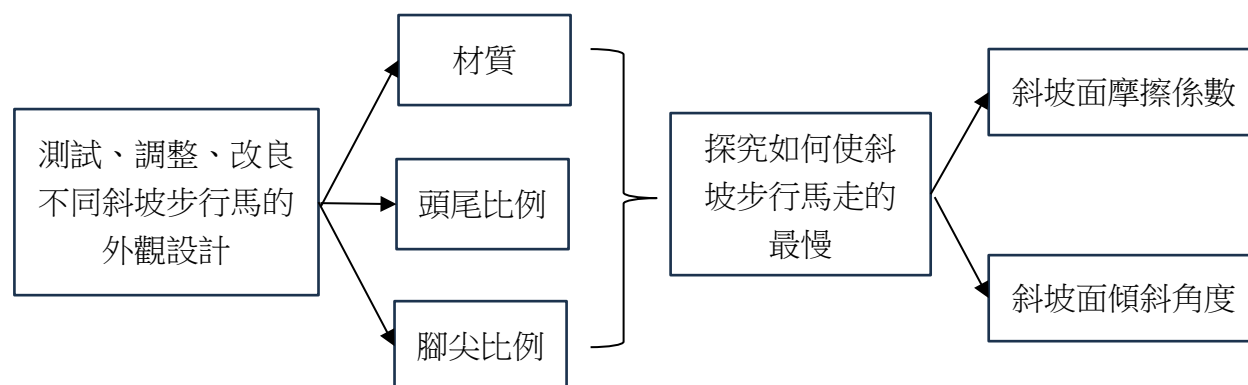
三、探究目的與假設

探究目的：改變材質與身長比例找出最穩定且持久的斜坡步行馬模型，透過改變斜坡面的摩擦係數與斜坡角度，找出如何讓斜坡步行馬走的最慢，並進行以下假設：

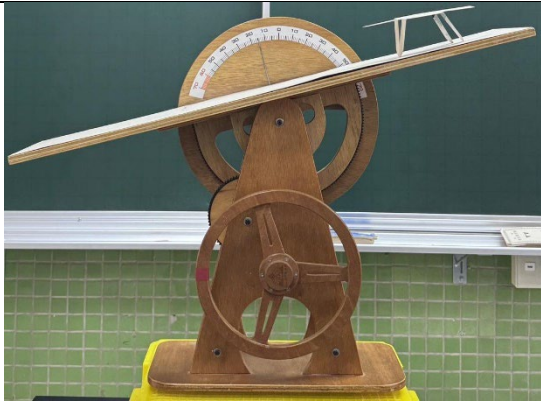
- 一、假設斜坡面的摩擦係數越大，斜坡步行馬走的越慢。
- 二、假設斜坡角度越小，斜坡步行馬走的最慢。

四、探究方法與驗證步驟

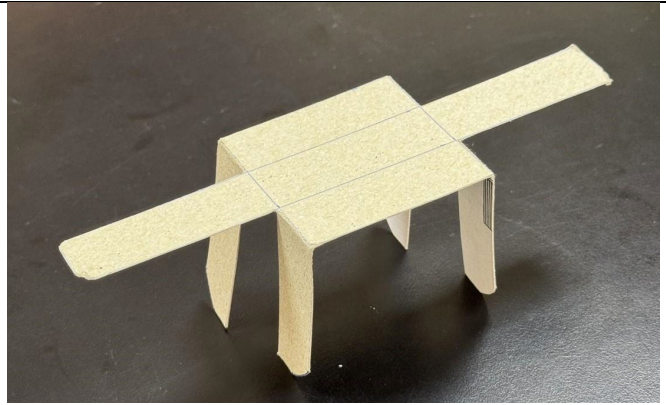
- 一、實驗設備與器材：直尺、剪刀、美工刀、雙面膠、秒錶、切割墊、奇異筆。
- 二、探究流程圖：



- 三、實驗裝置：如下圖一、二。



圖一 摩擦係數測量儀器



圖二 斜坡步行馬

四、斜坡步行馬的外觀設計與改進流程

(一) 斜坡步行馬材質改進流程

1. 原始斜坡步行馬材質: 紙箱, 如下圖三。

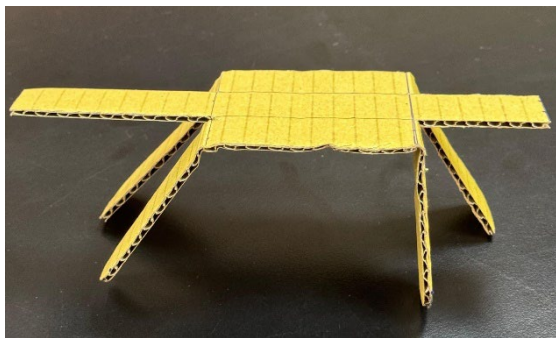
(1)問題探討

- A. 紙箱之材質較厚, 不易有確切摺痕, 腳無法在行走時與身體保持垂直, 四肢與身體之夾腳亦容易在行走的過程中逐漸增加, 使實驗缺乏穩定性。
- B. 紙箱為瓦楞紙製成之波浪狀的空心結構, 當受力過大或受潮時容易軟塌, 因此在經過數次使用後, 遂無法垂直站立, 實驗無法持續進行。

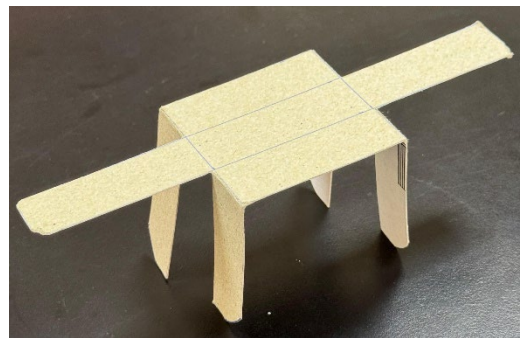
(2)解決方法

- A. 改使用厚紙板, 並確保利用美工刀刀背加強折痕, 使其在行走過程中保持垂直。
- B. 厚紙板為實心結構, 密度高且較硬, 不容易因受壓而變形, 能夠執行多次實驗, 提高數據的可信度與實驗的穩定性, 減少不必要的實驗誤差與人為不可控之變因。

2.新版斜坡步行馬材質:厚紙板, 如下圖四。



圖三 紙箱製成之斜坡步行馬



圖四 厚紙板製成之斜坡步行馬

(二) 斜坡步行馬頭尾比例改進流程

1.原始斜坡步行馬頭尾比例: 3:2, 如下圖五。

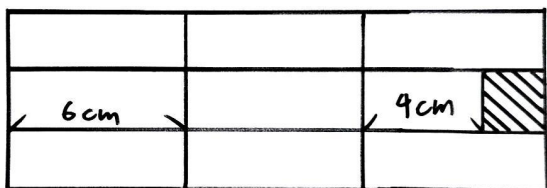
(1)問題探討

- A. 因為頭部較重, 重心偏向前, 容易向前翻倒。

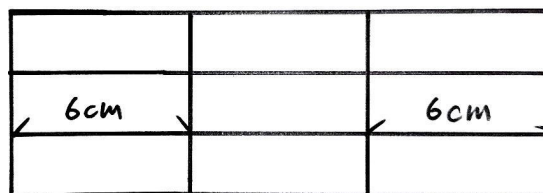
(2)解決方法

A.將頭尾改成等長，使斜坡步行馬不易因重心偏向前而翻倒。

2.新版斜坡步行馬頭尾比例: 1:1，如下圖六。



圖五 頭尾比例 3:2



圖六 頭尾比例 1:1

(三)斜坡步行馬之腳尖比例改進流程

1.原始斜坡步行馬腳尖比例：腳長與腳寬比例為 2:1，如下圖七。

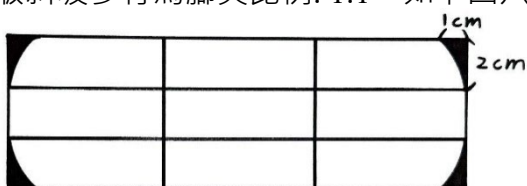
(1) 問題探討

- A. 腳部寬度為兩公分，底部未預留平面支撐空間，而是直接剪成圓弧狀，導致接觸面過小。
- B. 在行走過程中，接觸面積過小，而斜坡步行馬依靠左右搖晃的重心轉移前行，因此失去平衡跌倒。

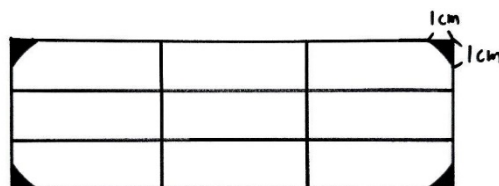
(2) 解決方法

- A. 重新設計腳尖形狀，於底部預留平坦接觸面，以增加穩定性。
- B. 調整腳尖比例與形狀，使步行馬能夠平穩行走，減少翻倒的機率。

2.新版斜坡步行馬腳尖比例: 1:1，如下圖八。



圖七 原始斜坡步行馬腳尖比例 2:1

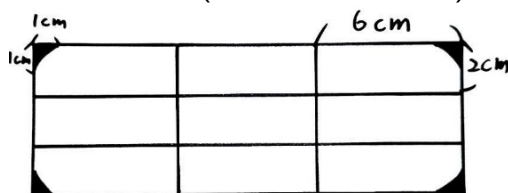


圖八 新版斜坡步行馬腳尖比例 1:1

(四)斜坡步行馬外型最終定案

1. 構造:如下圖九。

- (1)斜坡步行馬材質:紙板
- (2)斜坡步行馬身長頭尾比例：1:1 (長度均為 6 公分)。
- (3)斜坡步行馬之腳尖比例： 1:1，且四肢之曲面相同。
- (4)前腳、身體和後腳長度比例： 1:1:1 (長度均為 6 公分)。
- (5)左側、中段和右側寬度比例：1:1:1 (寬度均為 2 公分)。



圖九 斜坡步行馬外型最終定案

2.功能:

- (1)前腳: 在放上斜坡前, 其角度必須略大於 90 度, 始有辦法「步行」。
- (2)後腳: 主要功能為支持, 提供斜坡步行馬穩定性。

五、摩擦係數的測定

(一) 測量方式: 將摩擦係數測量裝置固定於初始傾角 10 度, 並將斜坡步行馬置於斜面上。以每秒增加 1 度的速度緩慢傾斜斜面, 紀錄斜坡步行馬開始滑動時的角度。將該角度代入靜摩擦係數公式 $\mu = \tan(\theta)$, 經多次測試後取平均值, 即為斜坡步行馬的靜摩擦係數。

(二)測量結果與數據: 如下表一。

坡面材質	白紙	紙板	PP 版	240p 砂紙	80p 砂紙
摩擦係數 μ	0.37	0.42	0.49	0.63	0.78

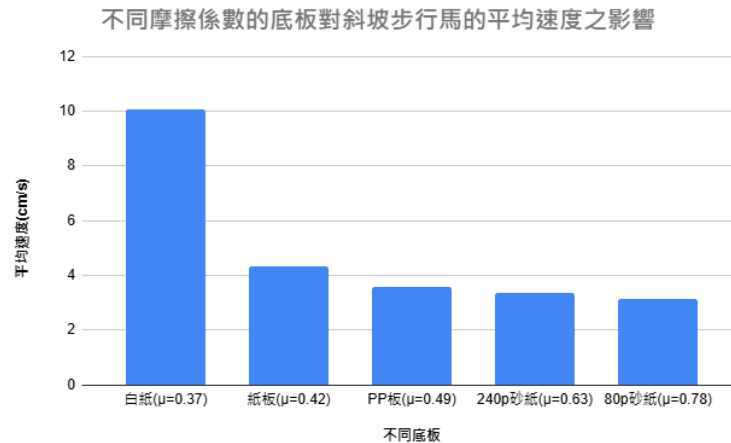
表一 各坡面材質之摩擦係數

六、摩擦係數與斜坡步行馬速度的探討

(一)實驗變因分析

- 1.操縱變因: 不同摩擦係數的斜坡坡面
- 2.應變變因: 斜坡步行馬之速度
- 3.控制變因: 斜坡角度為 15 度、無負重、爬坡玩具材質為厚紙板

(二)實驗數據:如下圖十。



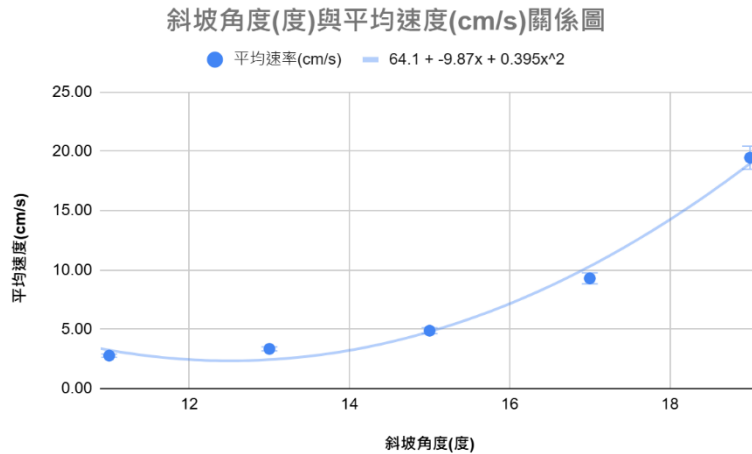
圖十 不同摩擦係數的底板對斜坡步行馬的平均速度之影響

七、角度與斜坡步行馬速度的探討

(一)實驗變因分析

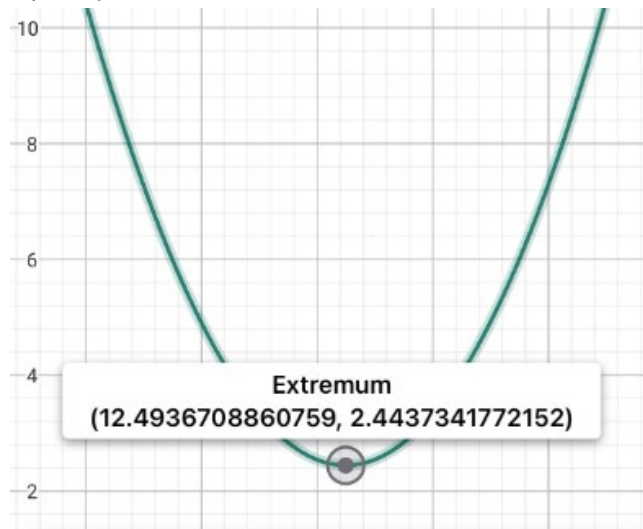
- 1.操縱變因:斜坡坡面之角度變化
- 2.應變變因:斜坡步行馬之速度
- 3.控制變因:斜坡步行馬材質為厚紙板、無負重、斜坡材質為厚紙板

(二) 實驗數據: 如下圖十一。



圖十一 斜坡角度與平均速度關係圖

(三) 實驗數據分析: 如下圖十二。



圖十二 將圖十一以方程式作圖

1. 將方程式 $f(x) = 0.395x^2 - 9.87x + 64.1$ 代入 GeoGebra 作圖, 可觀察到當角度約為 12.5 度時, 平均速度會有最小值。

八、原理說明

(一) 步行機制：

1. 斜坡步行馬傾斜至一側, 給予另一側壓力, 另一腳始可以向前移動一些, 重心改變, 轉移至移動的一腳, 斜坡步行馬向另一側傾斜, 持續循環達成步行。

(二) 底板摩擦係數對於斜坡步行馬速度的影響：

1. 坡面摩擦係數過大: 斜坡步行馬的運動依靠前腳在地面上交替擺動配合重心的轉移得以前進。當斜坡的摩擦係數過大, 腳部與地面之間的靜摩擦力較大, 使得前腳難以移動, 導致擺動受限, 進而影響斜坡步行馬行走的速度。

2. 坡面摩擦係數過小: 當斜坡的摩擦係數過小時, 斜坡步行馬的腳容易產生滑動, 無法如預期那樣穩定地向後擺動來帶動馬身向前。由於腳部滑動過多, 馬身的重心也無法順利左右搖

擺，整體擺動幅度不足，導致步行動作變得無力、前進緩慢，甚至直接滑到底部而非真正「走下去」。

五、結論與生活應用

一、結論:

根據實驗結果，我們可以發現：

- (1) 當斜坡底板的摩擦係數越大，斜坡步行馬的平均速率越小，由實驗數據可知，斜坡步行馬在摩擦係數為 0.37 的白紙上之平均速率為 10.06cm/s，而在摩擦係數為 0.78 的 80p 砂紙上則加快許多，平均速率為 3.14cm/s。
- (2) 我們發現平均速度與斜坡角度之間呈現二次函數的關係，與我們的假設有所出入，此外我們發現，當斜坡角度約等於 12.5 度時，平均速度會有最小值。
- (3) 綜合以上結果，我們再進行一次驗證實驗，以摩擦係數為 0.78 的砂紙為底板的接觸面，12.5 度為斜坡角度，發現平均速度只有 2.64cm/s，的確會讓斜坡步行馬有最慢的速度。總而言之，當斜坡底板的摩擦係數越大，並且斜坡角度約等於 12.5 度時，斜坡步行馬會有最慢的速度。

二、生活應用:

- 1.教育教學：斜坡步行馬可用於學校的物理實驗之中，讓學生透過實驗了解摩擦係數的測定及摩擦係數對速度之影響，從實驗中學習物理觀念，是個很棒的教學輔具。
- 2.仿生義肢：斜坡步行馬的應用原理可以應用於仿生義肢的開發，設計出更高效且穩定的義肢，幫助患者在面對不同地形時保持穩定性和行走效率。

參考資料

- 1.【SUPER】選修物理 II(全)力學二與熱學-教學講義 P7
- 2.INYPT Grand Finale - Pranav Thiyagarajan
<https://prezi.com/p/hftvn6wluc0y/inyp-t-grand-finale-pranav-thiyagarajan/>