

嘉義市第 36 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理組

組 別：國中組

作品名稱：步行下坡-斜坡坡度對自走玩具的影響

關 鍵 詞：重心轉移、垂線法、單擺（最多三個）

編 號：

製作說明：

- 1.說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
- 2.編號由承辦單位統一編列。
- 3.封面編排由參展作者自行設計。

摘要

我們經常在網路上看到許多有趣的自走玩具，其中包含了下坡袋鼠、下坡行者、下坡杯子與下坡小雞。本研究是以下坡小雞作為研究對象，探討影響下坡小雞下坡速度的因素。透過改變下坡小雞的重量、改變下坡小雞兩端重量、腳和身體的高度差及自走玩具身體大小(身體張開的角度)等改變下坡小雞重心的變項後發現，下坡小雞本身的重量(重量均勻分布)的大小對於其下坡行走的速度沒有影響。而下坡小雞的重心越低，其下坡行走的速度越慢。其重心高度的平方根大小和行走速度有正相關的關係。

壹、研究動機

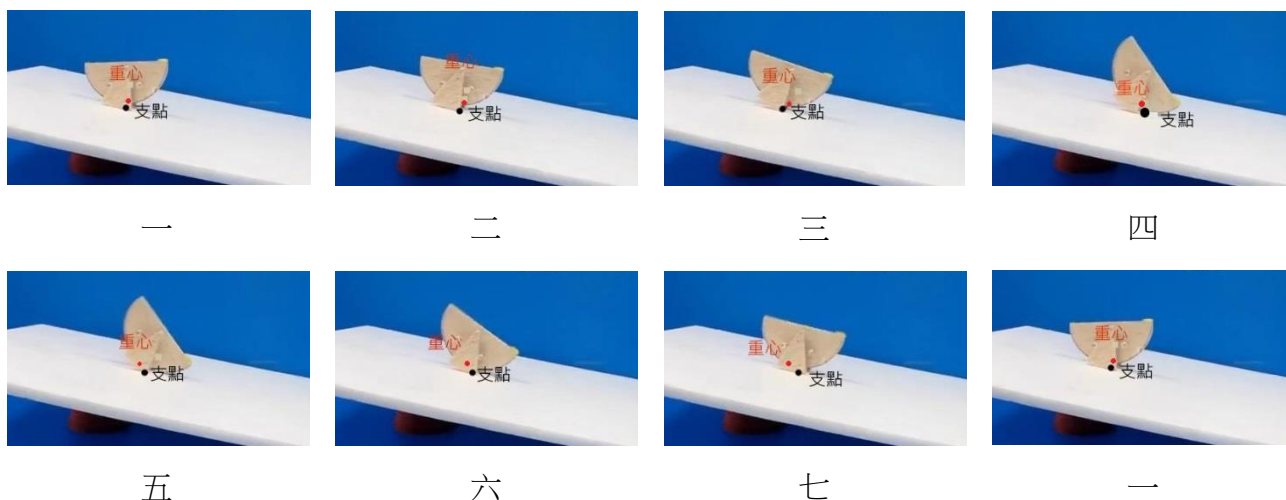
一、前言

在我們的生活中，時常運用到許多科學原理，就連小孩子的玩具也是。當我們在這種自走玩具時，產生了許多的疑問，它運用什麼原理走下坡。在網路上搜尋相關資料的時候，相關的自走玩具有許多類型，有下坡袋鼠、下坡行者、下坡杯子與下坡小雞。但下坡袋鼠、下坡行者與下坡杯子等三種下坡玩具在形狀上並不易進行研究，因此，我們以下坡小雞作為研究的對象。在查詢相關研究後發現，之前有人對於下坡玩具有進行過坡度、摩擦力等因素的討論，在我們觀察下坡玩具的運動方式後，我們認為下坡玩具的運動方式相當接近單擺的運動方式，只是他在運動時會藉著擺動板的擺動來轉換支點促使其運動。因此本研究的重點將著重於改變下坡小雞的重心位置，觀察其重心與下坡速度的關係。

二、自走玩具——下坡小雞的原理

在開始研究自走玩具之前，我們必須先了解自走玩具的下坡原理。自走玩具下坡的原理主要是在於玩具身體的兩端在擺動時進行支點的轉換。當雙腳(擺動板)接觸斜坡時，雙腳的支點在雙腳與斜坡的接觸面上；自走玩具前端的重心單擺在找到平衡時，自走玩具前端會受到自身身體重量的影響而擺動，造成自走玩具整體的重心移動，接而帶動前端向下，這就是玩具在走一步路的前半步驟。接著，由於前端向下做一個向下擺動的動作，造成玩具前端接觸斜坡坡面。同一時間，因為玩具雙腳懸於空中，所以也做了一個向下擺動的動作。此時，玩具整體的支點在前端與斜坡坡面的交點，玩具後端的重心單擺在尋找平衡時，玩具後端會受到自身身體重量的影響而擺動，直到玩具雙腳再度接觸到斜坡坡面。這就是玩具在走一步路的後半步驟。當自走玩具不斷地做出這個運動，那自走玩具就是在下坡。下圖一為下坡小雞的下坡運動原

理示意圖。



圖說：下坡小雞的運動是由一至七的連續且反覆的動作，讓下坡小雞可以不須外界動力而持續往下運動

圖一：下坡小雞下坡運動原理示意圖

貳、研究目的

- 一、探討不同坡度對自走玩具下坡速度快慢的影響。
- 二、探討自走玩具兩端重心不同對自走玩具下坡速度快慢的影響。
- 三、探討不同重量的自走玩具對自走玩具下坡速度快慢的影響。
- 四、探討腳與身體的高度差對自走玩具下坡速度快慢的影響。
- 五、探討自走玩具身體大小(身體張開的角度)對速度快慢的影響。

參、研究設備及器材

<p>玩具針筒</p> 	<p>透明水管</p> 	<p>木板</p> 
<p>熱熔膠</p> 	<p>熱熔膠條</p> 	<p>碼表</p> 



圖二：實驗斜坡示意圖

肆、研究過程或方法

一、定義

在實驗過程中，要有一定的標準，才能判斷自走玩具的下坡運動是否正常，因此我們定義【滑動】及【走動】。

【滑動】：玩具在運動過程中，若有在下坡時發生斜直線下坡的運動，或重心由後腳轉移到前腳時，發生明顯的位置移動現象，我們稱為滑動。

【走動】：在沒有滑動和停止的情況下，自走玩具用腳由斜坡上往下移動，我們稱為走動。

二、研究方法

(一)探討不同坡度對自走玩具下坡速度快慢的影響。

1. 一開始，我們不知道自走玩具可以行走下坡的角度，因此我們分別以 5 度、10 度、15 度、20 度、25 度來試著讓自走玩具下坡，實驗後發現，自走玩具在 0 度至 10 度時，無法下坡行走。在 15 度至 20 度能夠正常下坡行走，而從 25 度開始，會發生滑動現象。我們在縮小範圍進行實驗後，發現自走玩具能夠下坡行走的坡度為 14~20 度之間。針對這個發現，我們決定以坡度 14~20 度作為我們測量坡度對於自走玩具行走速度影響的坡度範圍。實驗步驟如下：

- (1)調整斜坡角度至 14 度。
- (2)將自走玩具放至起跑線。
- (3)以馬錶計時自走玩具在 50 公分的路程進行下坡運動。
- (4)將時間記錄下來。
- (5)調整斜坡角度至 15、16、17、18、19、20 度，並重複 2、3、4。

2. 因為此變因對自走玩具沒有任何改變，所以自走玩具身體的重心沒有發生位置上的

改變。因此，對於這個變因，我們不討論重心的變化。

(二)探討自走玩具兩端重心不同對自走玩具下坡速度快慢的影響。

1. 為了解自走玩具兩端重心不同對於自走玩具下坡速度的影響。我們在自走玩具的前後兩端加上不同重量的長尾夾，改變自走玩具前後兩端的重心，觀察自走玩具下坡速度是否產生變化，如圖二。



圖三：長尾夾位置示意圖

實驗步驟如下：

- (1)將斜坡坡度調整至 17 度，在自走玩具前端夾上小的長尾夾。
 - (2)將自走玩具放至起跑線。
 - (3)以馬錶計時自走玩具在 50 公分的路程進行下坡運動。
 - (4)記錄自走玩具走完 50 公分的路程時間。
 - (5)將自走玩具前端的小長尾夾移置自走玩具後端，重複步驟 2~4。
 - (6)將夾在自走玩具的小長尾夾更改為中長尾夾、大長尾夾，重複步驟 1~5。
2. 測量不同重心的自走玩具之重心位置。我們為了瞭解不同變因造成自走玩具下坡速度不同的原因，我們必須測量出自走玩具的重心位置，並討論重心位置的關係，才能確實知道不同重心的自走玩具及重心位置的關係。以下我們一律採用垂線法來尋找自走玩具的重心位置。實驗步驟如下：
 - (1)將棉線穿過小長尾夾的兩個環。
 - (2)抓取棉線兩端，將兩端棉線調整至相同高度。
 - (3)將小長尾夾夾住兩端各夾一個小夾子的自走玩具身體部分的任一點，並將棉線拉高以致自走玩具懸掛於空中。
 - (4)使用一矩形木板垂直固定於水平面，將棉線對齊矩形木板之其中一邊並使用大長尾夾將自走玩具及木板夾住。
 - (5)用筆將自走玩具對齊矩形木板的直線畫於自走玩具之身體部分。

(6)重覆步驟(3)、(4)、(5)。

(7)兩線交點即為自走玩具之重心。

(8)依據上述步驟，重複測量兩端各夾一個大夾子、一個小夾子加一個大夾子、兩個大夾子之自走玩具之重心。

(三)探討不同重量的自走玩具對自走玩具下坡速度快慢的影響。

1. 為了解自走玩具的重量對於自走玩具下坡速度的影響。我們使用不同厚度的瓦楞紙製作自走玩具。改變自走玩具的重量，觀察自走玩具下坡速度是否產生變化。

實驗步驟如下：

(1)將斜坡坡度調整至 17 度，使用本體由 3mm 的瓦楞紙製作的自走玩具。

(2)將自走玩具放至起跑線。

(3)以馬錶計時自走玩具在 50 公分的路程進行下坡運動。

(4)記錄自走玩具走完 50 公分的路程時間。

(5)將本體由 3mm 的瓦楞紙製作的自走玩具更換成本體由 5mm、8mm 的瓦楞紙製作的自走玩具，重複步驟 1~4。

2. 測量不同重量的自走玩具之重心位置。我們為了瞭解不同變因造成自走玩具下坡速度不同的原因，我們必須測量出自走玩具的重心位置，並討論重心位置的關係，才能確實知道不同重量的自走玩具及重心位置的關係。以下我們一律採用垂線法來尋找自走玩具的重心位置。實驗步驟如下：

(1)將棉線穿過小長尾夾的兩個環。

(2)抓取棉線兩端，將兩端棉線調整至相同高度。

(3)將小長尾夾夾住重量為 3mm 的自走玩具身體部分的任一點，並將棉線拉高以致自走玩具懸掛於空中。

(4)使用一矩形木板垂直固定於水平面，將棉線對齊矩形木板之其中一邊並使用大長尾夾將自走玩具及木板夾住。

(5)用筆將自走玩具對齊矩形木板的直線畫於自走玩具之身體部分。

(6)重覆步驟(3)、(4)、(5)。

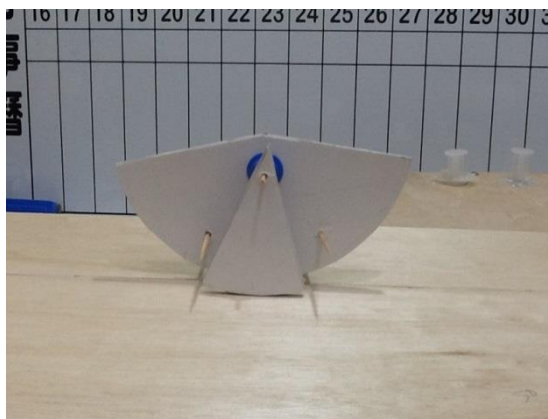
(7)兩線交點即為自走玩具之重心。

(8)依據上述步驟，重複測量重量為 5mm、8mm 之自走玩具重心。

(四)探討腳與身體的高度差對自走玩具下坡速度快慢的影響。

1. 為了解自走玩具的腳與身體的高度差對於自走玩具下坡速度的影響。我們改變自走玩具的腳與身體的高度差觀察自走玩具下坡速度是否產生變化。實驗步驟如下：

- (1)將斜坡坡度調整至 17 度，使用腳與身體高度差為 3mm 的自走玩具。
 - (2)將自走玩具放至起跑線。
 - (3)以馬錶計時自走玩具在 50 公分的路程進行下坡運動。
 - (4)記錄自走玩具走完 50 公分的路程時間。
 - (5)將腳與身體高度差為 3mm 自走玩具更換成腳與身體高度差分別為 5mm、7 mm、9 mm、11 mm 的自走玩具，重複步驟 1~4。
2. 測量不同高度差的自走玩具之重心位置。我們為了瞭解不同變因造成自走玩具下坡速度不同的原因，我們必須測量出自走玩具的重心位置，並討論重心位置的關係，才能確實知道不同高度差的自走玩具及重心位置的關係。以下我們一律採用垂線法來尋找自走玩具的重心位置。實驗步驟如下：
- (1)將棉線穿過小長尾夾的兩個環。
 - (2)抓取棉線兩端，將兩端棉線調整至相同高度。
 - (3)將小長尾夾夾住高度差為 3mm 的自走玩具身體部分的任一點，並將棉線拉高以致自走玩具懸掛於空中。
 - (4)使用一矩形木板垂直固定於水平面，將棉線對齊矩形木板之其中一邊並使用大長尾夾將自走玩具及木板夾住。
 - (5)用筆將自走玩具對齊矩形木板的直線畫於自走玩具之身體部分。
 - (6)重覆步驟(3)、(4)、(5)。
 - (7)兩線交點即為自走玩具之重心。
 - (8)依據上述步驟，重複測量高度差為 5mm、7mm 之自走玩具重心。
- (五)探討自走玩具身體大小(身體張開的角度)對速度快的影響。
1. 為了解自走玩具身體大小對於自走玩具下坡速度的影響。我們改變自走玩具身體大小(如圖三)觀察自走玩具下坡速度是否產生變化。



圖四：自走玩具身體張開角度示意圖

實驗步驟如下：

- (1)將斜坡坡度調整至 17 度，自走玩具身體張開角度為 180 度的自走玩具。
 - (2)將自走玩具放至起跑線。
 - (3)以馬錶計時自走玩具在 50 公分的路程進行下坡運動。
 - (4)記錄自走玩具走完 50 公分的路程時間。
 - (5)將身體張開角度為 180 度的自走玩具更換成身體張開角度分別為 170 度、160 度、150 度、140 度的自走玩具，重複步驟 1~4。
2. 測量不同身體角度的自走玩具之重心位置。我們為了瞭解不同變因造成自走玩具下坡速度不同的原因，我們必須測量出自走玩具的重心位置，並討論重心位置的關係，才能確實知道不同身體角度的自走玩具及重心位置的關係。以下我們一律採用垂線法來尋找自走玩具的重心位置。實驗步驟如下：
- (1)將棉線穿過小長尾夾的兩個環。
 - (2)抓取棉線兩端，將兩端棉線調整至相同高度。
 - (3)將小長尾夾夾住身體角度為 3mm 的自走玩具身體部分的任一點，並將棉線拉高以致自走玩具懸掛於空中。
 - (4)使用一矩形木板垂直固定於水平面，將棉線對齊矩形木板之其中一邊並使用大長尾夾將自走玩具及木板夾住。
 - (5)用筆將自走玩具對齊矩形木板的直線畫於自走玩具之身體部分。
 - (6)重覆步驟(3)、(4)、(5)。
 - (7)兩線交點即為自走玩具之重心。
 - (8)依據上述步驟，重複測量身體角度為 5mm、7mm 之自走玩具重心。

伍、研究結果與討論

一、不同坡度對自走玩具速度快慢的影響。

(一)實驗數據：

表一：不同坡度，自走玩具的下坡時間表

坡度(度)	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0
行走時間(秒)	9.58	8.22	7.76	7.07	5.47

(二)、結果與討論

- 1.為斜坡角度 14 度太小，玩具在做重心轉移的力道不夠，因此沒有足夠的力讓玩具下坡；相反的，斜坡角度 20 度太大，玩具作重心轉移的力道大於自行下坡運

動的力道，造成滑動現象。因此，當角度小於 14 及大於 20 度，我們不討論。

2.上方表格可知，坡度越大，所行走時間會跟著縮短，自走玩具下坡的速度越快。

二、探討自走玩具兩端重心不同對自走玩具下坡速度快慢的影響。

(一)實驗數據：

表二：重心位置不同時，自走玩具下坡時間表

夾子數	小夾子	大夾子	小夾子加大夾子	兩個大夾子
時間(秒)	13.27	14.29	16.06	18.35

表三：重心位置不同時，自走玩具重心高度表

夾子數	小夾子	大夾子	小夾子加大夾子	兩個大夾子
h(mm)	14.1	15.4	17.2	19.6

(二)結果與討論

上方表格可知，自走玩具兩端重量越重，所行走時間會跟著拉長，自走玩具下坡的速度越慢。

三、探討不同重量的自走玩具對自走玩具下坡速度快慢的影響。

(一)實驗數據

表四：重量不同時，自走玩具下坡時間表

厚度(mm)	3.0	5.0	8.0
時間(秒)	7.60	7.76	7.77

表五：重量不同時，自走玩具重心高度表

高度差(mm)	3.0	5.0	7.0
h(mm)	21.4	23.9	26.2

(二)結果與討論

上方表格可知，無論自走玩具身體的重量多重，所行走時間會沒有相差許多，對自走玩具下坡的速度並不會有太多的影響。

四、探討腳與身體的高度差對自走玩具下坡速度快慢的影響。

(一)實驗數據

表六：腳與身體的不同高度差，自走玩具下坡時間表

高度差(mm)	3.0	5.0	7.0
時間(秒)	7.76	12.17	16.88

表七：腳與身體的不同高度差，自走玩具重心高度表

高度差(mm)	3.0	5.0	7.0
h(mm)	21.4	23.9	26.2

(二)結果與討論

1.因為高度差差距太大，導致高度差為 9mm 及 11mm 的自走玩具在斜坡坡度 17 度及 17 度以下的狀況下停留於原地，無法移動；斜坡坡度 19 度及 19 度以上的狀況下則會產生滑動的現象，甚至滾落斜坡。因此，我們不討論高度差為 9mm 及 11mm 的變因。

2.上方表格可知，自走玩具身體與腳的高度差越大，所行走時間會跟著拉長，自走玩具下坡的速度越慢。

五、探討自走玩具身體大小(身體張開的角度)對速度快慢的影響。

(一)實驗數據

表八：自走玩具身體張開不同角度，自走玩具下坡時間表

角度(度)	180.0	170.0	160.0	150.0	140.0
時間(秒)	7.76	7.14	6.69	6.02	5.57

表九：自走玩具身體張開不同角度，自走玩具重心高度表

角度(度)	180.0	170.0	160.0	150.0	140.0
h(mm)	21.5	18.3	15.7	12.1	9.2

(二)結果與討論

1.上方表格可知，自走玩具身體的角度越小，所行走時間會跟著拉長，自走玩具下坡的速度越慢。

2.上方表格可知，自走玩具身體的角度越小，自走玩具的重心位置離自走玩具頂端越短。

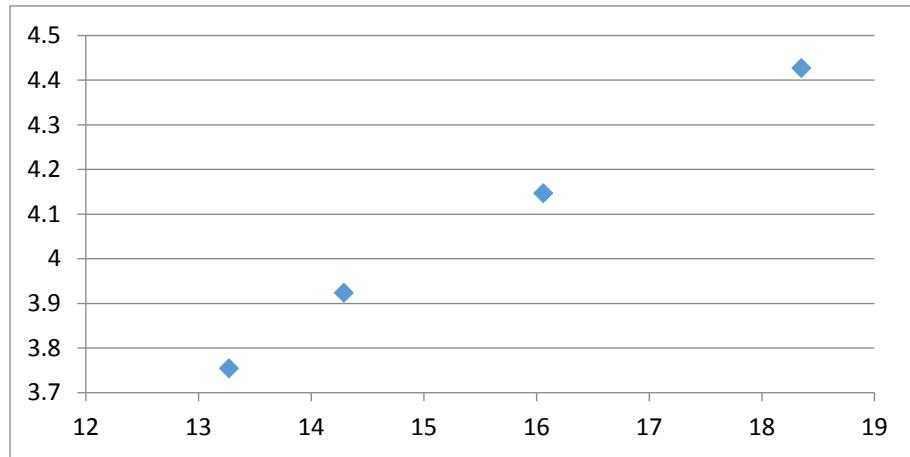
六、綜合討論

我們認為自走玩具下坡的擺動方式是由兩個不同單擺運動所組成，因此，下坡玩具的運動可以以單擺的週期跟擺長的關係來解釋。

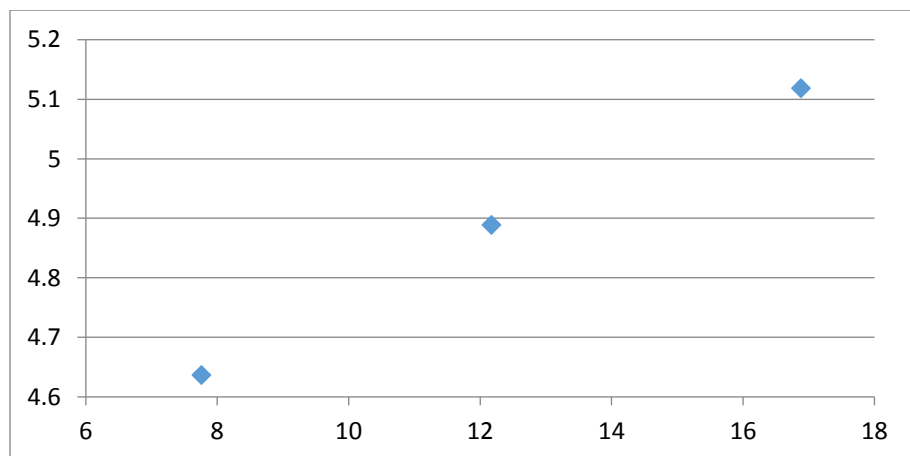
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}} \approx 2\sqrt{\ell}$$

式中，L 為單擺的擺長，所以我們將 L 視為自走玩具中點至重心距離 h；而自走玩具每次擺動所走的距離相同，因此，我們測量自走玩具走過相同距離，其下坡所走的步數相同，因此下坡時間可以視為和單擺周期成正比。因此，我們認為自走玩具下坡時間會與自走玩具中點至重心距離 h 有接近正比的關係。

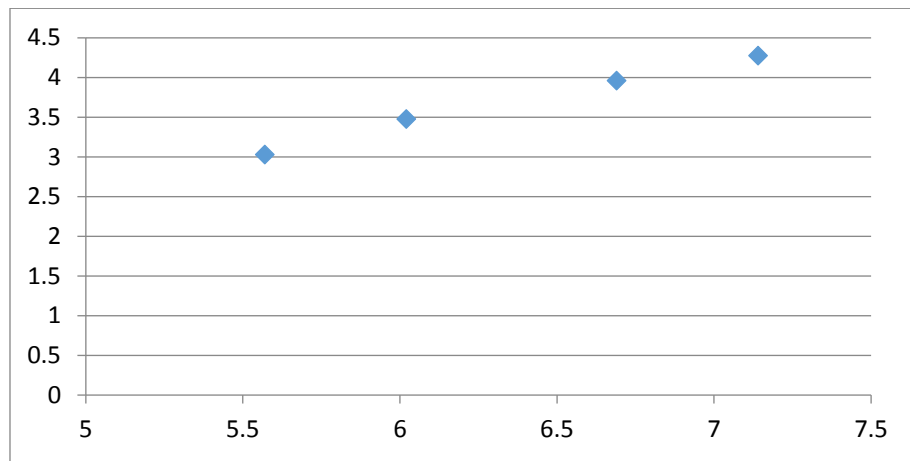
我們由自走玩具兩端重心不同、腳與身體的高度差以及自走玩具身體張開不同角度對自走玩具下坡速度快慢的三組實驗數據，做出 t 與 \sqrt{h} 的關係圖，如下圖五、六、七，可以發現 t 與 \sqrt{h} 出現正相關的關係。



圖五：自走玩具兩端重心不同時，t 與 \sqrt{h} 的關係圖



圖六：自走玩具腳與身體的高度差不同時，t 與 \sqrt{h} 的關係圖



圖七：自走玩具身體張開不同角度時， t 與 \sqrt{h} 的關係圖

陸、結論

根據本研究的結果可知，下坡小雞在坡度 14 度至 20 度之間，坡度越陡的時候，下坡速度越快。坡度高於 20 度時，會產生滑動的狀況。而在設計下坡小雞時，可以透過重心的調配，使重心的高度越低，下坡小雞的下坡速度越慢。當下坡小雞的重量均勻分布時，下坡小雞的重量不影響其下坡速度大小。

柒、參考資料

一、自走玩具動態模擬(2017/10/13 查詢)<https://www.youtube.com/watch?v=3EEYbH0g-6g>

二、selina 的生活科技部落格 (2017/10/15 查詢)

<http://blog.xuite.net/selina.chiahui/LivingTechnology/213315004-Grade%E8%87%AA%E8%B5%B0%E7%8E%A9%E5%85%B7>

三、國立台中教育大學 NTCU 科學遊戲實驗室教育網 (2017/10/15 查詢)

<http://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-049.html>

四、JIBAO 教育知識網 (2017/10/15 查詢)

<https://jibaoviewer.com/project/58b695a226a1171e2b6b3fec>