

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

(鄉土)教材獎

080115

農夫的打豆農具—連枷

學校名稱：臺南市東區東光國民小學

作者： 小六 許淳恩 小五 林竑叡 小六 郭函鈞	指導老師： 王雅麗 謝溫仁
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：連枷、同步運動、圓周運動

摘要

老師說了一個用打豆的農具來敲打豆莢，取出豆子的故事，故事中最引起我們注意的是「打豆農具一連枷」。我們利用竹竿、木條設計小型的「連枷模型」器具，實際操作後，發現連枷的長、短竹桿是同步運動的，也知道自由落體的運動使連枷的短竹竿產生重力轉動。

我們利用小型的摹擬連枷工具，探索擺動桿和敲擊板間產生的撞擊力，發現當敲擊板和擺動桿之間的夾角越大，撞擊的力量越大；當敲擊板的重量越重，長度越長，敲擊的力量也越大；而且重物從越高的地方掉落，撞擊擺動桿，使敲擊板產生的力量也會越大。最後我們利用「小型摹擬連枷工具」來敲擊堅硬的食物，真的可以敲碎，幫助了全口假牙的爺爺，可以高興的吃到喜歡的食物。

壹、研究動機

開學時，老師講了一則「竹竿製作的打豆農具」的真實故事，其中最引起我們注意的是「打豆的農具」長什麼樣子。老師就製作一個簡易的模型，讓我們操作，也讓我們知道農夫的「打豆農具」，怎樣把大豆從豆莢中敲打掉落的情形。大家都很好奇，也很想研究其中的道理，最後決定這次的科展主題是：「農夫的打豆農具一連枷」的研究。

（教材相關性：自然與生活科技六下-巧妙的施力工具）

貳、研究目的

- 一、從觀察「打豆農具一連枷」的敲擊大豆活動中，察覺打豆農具長短竹竿的交互運動。
- 二、從親自操作「打豆農具一連枷」的活動中，體驗手持擺動桿的橢圓形運動，會帶動敲擊板的轉動。
- 三、從操作中，發現手持連枷擺動桿的運動和敲擊板的圓周轉動是同步運動。
- 四、從設計、操作小型「連枷模型」的運動，知道敲擊板產生的重力轉動，使在地面的物體產生裂痕。

參、研究設備及器材

一、製作模型的材料：

(一) 竹竿：長 200cm (1 支)、90cm (1 支)

(二) 木材：(3.0 × 2.5 × 150cm) 共 10 支、木板 (180 × 90 × 1.75cm) 1 塊、
圓木棒：2 支 (直徑 3cm、長 55cm)

(三) 敲擊泥塊：甘蔗園泥塊、陶土塊

(四) 被敲擊物品：花生 (有外殼)、龍眼乾 (帶殼)、什錦菓子、蠶豆、開心果、核桃、
葵瓜子、蜜麻花、酥脆片、麻糬、花生仁、煎餅。

(五) 其他：銅條 (4 條)、螺絲 (長 15.5cm × 5 支)、(長 9.5cm × 5 支)、螺帽 (30 個)、
落葉 (一堆)、大紙箱 (裝落葉)、珍珠板、三角板、尺、量角器、塑膠球 (實
心) 直徑：5cm，黑砂 (1400g)、沙布袋 (裝黑砂)、雙面膠、厚紙板。

二、設備：照相機、腳架、敲擊臺

肆、研究架構

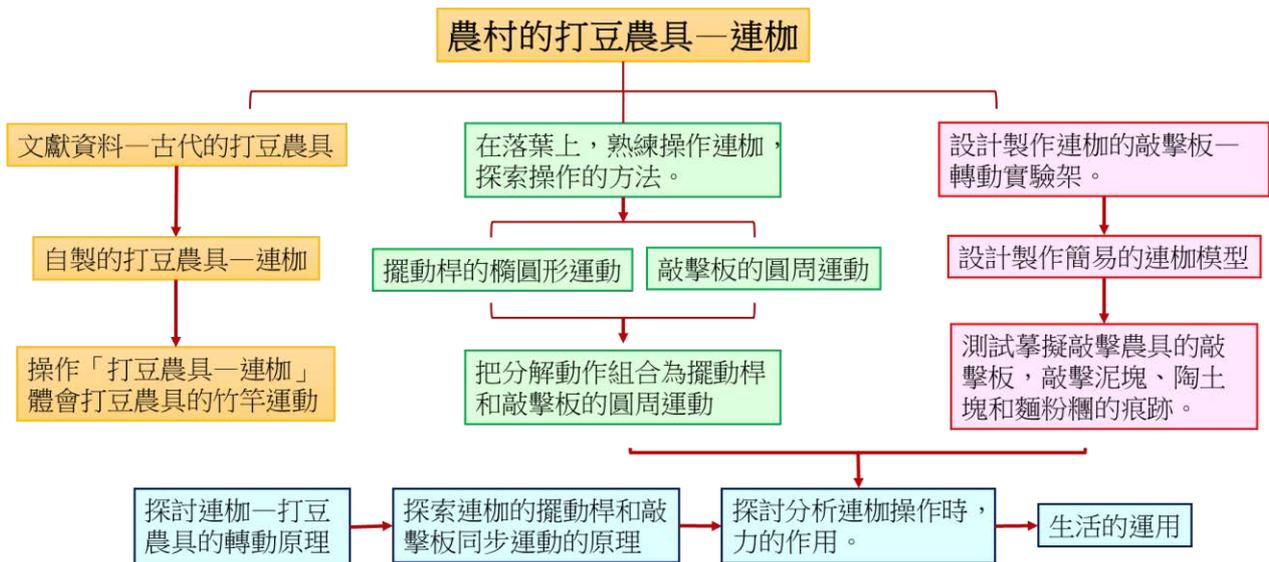


圖 1：研究流程圖

伍、研究方法與結果

一、活動一：爺爺家的打豆農具—連枷

(一) 爺爺住在屏東的鄉下，他說：「小時候村子裡的大豆成熟了，就用連枷把曬乾的大豆莢敲開，使大豆掉出來，在地面上就可以把大豆撿起來。」



圖 2：農人手握連枷敲擊動作

(二) 農村的打豆農具---連枷的構造

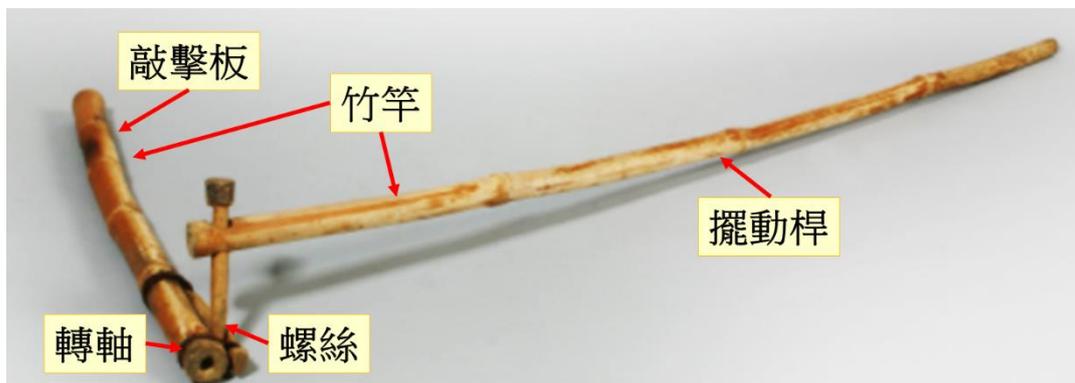


圖 3：連枷架構圖

(三) 討論

1. 打豆農具連枷是 50 年以前台灣農村用來敲打秋收成熟的大豆莢。
2. 現在的農業機械進步發達，都用機械代替手工，所以連枷都放在倉庫不用。
3. 大部分的連枷都壞了不容易找到。我們老師從網路找到連枷圖片；爺爺也介紹他年輕時，使用連枷打豆的情形。

二、活動二：農村的農民怎樣操作打豆農具—連枷

(一) 曬乾採回來的大豆莢

【操作方法】

1. 農人在天氣晴朗，太陽高照的日子曬採回來的大豆莢。
2. 把曬乾的大豆莢一隴一隴的排在晒穀場上。



圖 4：農人手持連枷兩兩相對操作

(二) 操作連枷的農人

1. 請來了十多位的農人，每人手持農具一連枷，而且每兩個相對交互操作連枷，打在地面的大豆莢上。
2. 操作時二腳向側面慢慢移動，把前面的大豆莢用力敲打。
3. 如此反覆 4~5 次就可以完成。
4. 把上層空的大豆莢剷到一邊，再把大豆掃成一堆，放入麻布袋裡，工作就完成了。

(三) 討論

1. 農人最高興的是秋天的收成，天氣不熱，南部地方又很少下雨，所以採收回來的大豆莢可以在晒穀場曬乾，再用連枷敲打大豆莢，使打豆脫殼得很完全。
2. 連枷敲打豆莢後，大豆用麻布袋收藏，農人會把豆莢和枝條折成一捆，做為柴火來燒飯、煮菜，不會浪費。

三、活動三：老師模仿製作農村的打豆農具一連枷；大家練習操作

(一) 製作農村的打豆農具一連枷：

1. 製作過程：

(1) 測量：成熟竹子 200cm，90cm 兩端有節（比較堅固）

(2) 用鋸子鋸成二段



(3) 鑽孔：分別在一端鑽孔



(4) 利用長的螺絲穿過孔洞，並用螺帽固定。

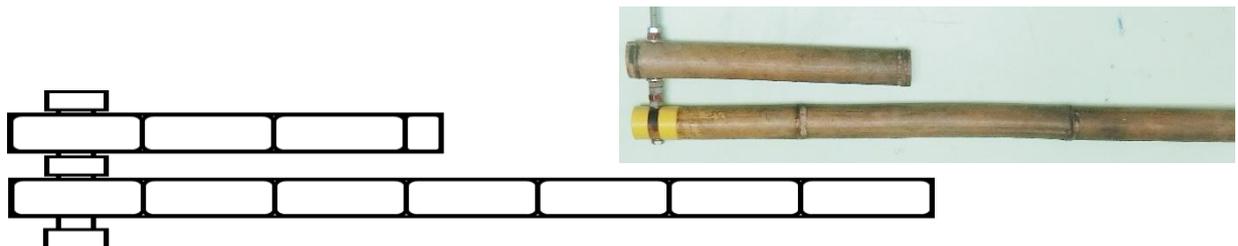


圖 5：製作連枷過程與成品

(二) 操作方法：操作時的注意事項（操作要領）

1. 二隻手臂彎曲，同時向後收縮，並抽拉連枷的擺動桿，使敲擊板向後拉動。



圖 6：操作開始，二隻手臂同時向後收縮。



圖 7：擺動桿往上提起，敲擊板會跟著抬高，同時向後拉動。

2. 這時二腳站穩，二手臂握住擺動桿往內縮並往上提，隨著由內向外繞，擺動桿的前端向上運動，敲擊板前端會隨著向上運動。敲擊板會從水平運動轉化為旋轉運動。



圖 8：擺動桿提高，敲擊板會以轉軸為中心向上轉動，敲擊板到達頭頂後用力向前撲下。

3. 接著前腿屈曲，雙臂向前揮動連枷，使敲擊板獲得向前的水平速度。



圖 9：敲擊板快速向下運動



圖 10：擺動桿向下撲敲擊板轉動快

4. 接著身體前傾，雙臂揮動連枷快速撲下。這時敲擊板的水平速度轉化為旋轉速度，最後達到水平位置，拍打穀物。



圖 11：擺動桿繞一圈，敲擊板繞轉軸一周，是同步運動。敲擊板轉動快一周了

5. 上面(1)~(4)是全身協調動作的連貫過程，不能分隔。如果多加練習，即可獲得節奏感。

(三) 討論

1. 我們老師年紀雖大，可是做起打豆農具---連枷，非常順手，所以用手工作了幾支連枷，有大的連枷是農人打豆用的；也有小型的提供我們實驗。
2. 我們的工作是用砂紙把竹子、木材粗糙的地方磨平比較安全，手持時不會受傷。

四、活動四：在落葉堆上，熟練操作連枷的敲擊動作，領悟敲擊方法。

(一) 在學校的落葉存放區，做為熟練操作連枷的地點。

下面是我們操作的過程（敲擊落葉的感覺，比較像敲擊大豆莢）

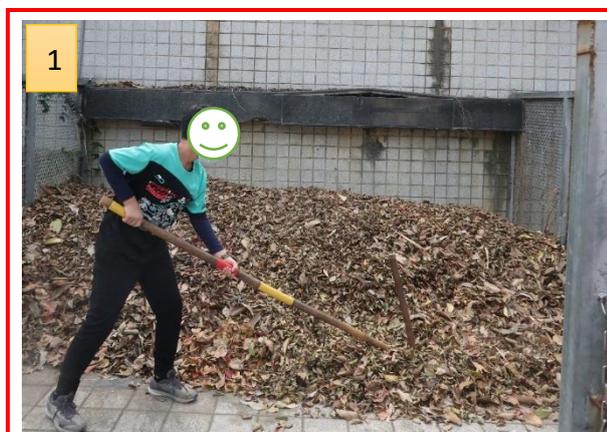


圖 12：雙手握住擺動桿的位置一前一後

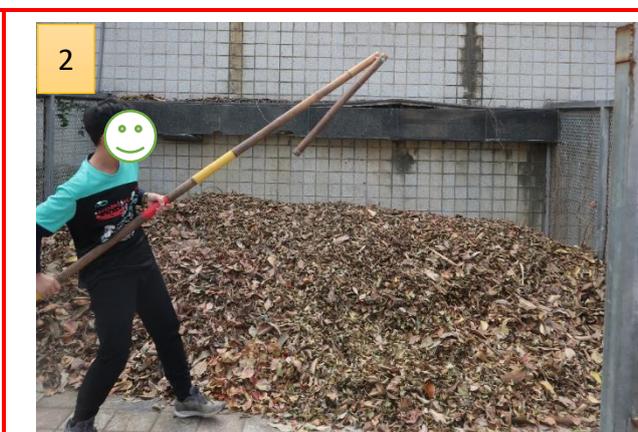


圖 13：雙手把擺動桿提起，觀察敲擊板位置變化。



圖 14：擺動桿向上提起，敲擊板由水平漸漸轉向天空。

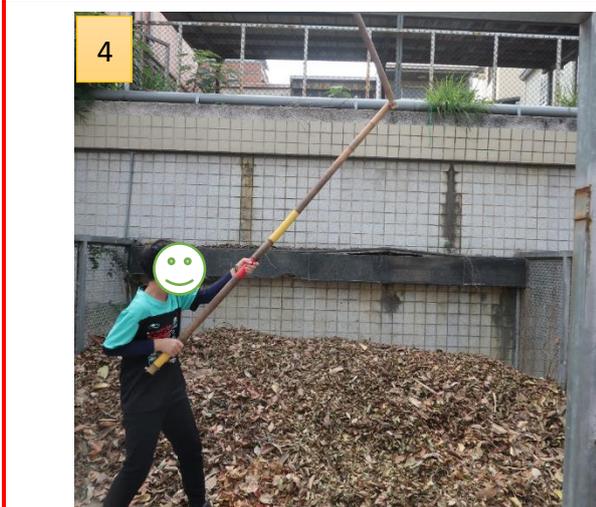


圖 15：擺動桿提到最高點，敲擊板的前端朝向天空。



圖 16：擺動桿由最高點向下移動時，敲擊板前端也朝向地面



圖 17：擺動桿漸漸水平，敲擊板也跟著水平敲打在地面上的落葉。

(二) 我們輪流操作，用連枷練習敲打落葉，並感受敲打時的連慣性。

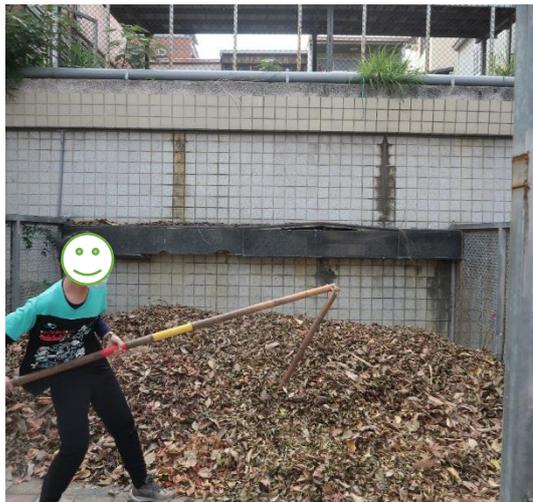


圖 18：熟練敲打落葉的感覺



圖 19：體會擺動桿向下向前撲下的使力方法

(三) 我們也從連枷敲打落葉時，使力的方式慢慢的提起擺動桿；當敲擊板在頂端時，用力向下撲，觀察並感受敲擊板的運動和水平落地的反應。



圖 19：打在落葉上雙手才不感受敲擊板敲打地面的振動力



圖 20：敲擊板水平的打在落葉上

(四) 討論

1. 操作時注意雙手由下而上，由內而外做橢圓形的運動（移動）。
2. 配合身體的微微後仰，使上半身再向前微微彎曲。
3. 當雙手把擺動桿提到最高點時，雙手要伸直，再向前往下用力一撲。
4. 連枷的敲擊板會水平的敲打在豆莢上，我們多次的練習，終於成功了，很順利的使用連枷來敲擊落葉了。

五、活動五：老師用相機拍照操作連枷的過程

（一）目的：

從照片中觀察到自己操作連枷的姿勢是否正確，並能改進缺點。瞭解操作擊連枷敲擊落葉的完整過程。

（二）操作連枷的過程



圖 21：利用落葉模仿大豆莢的敲打，敲打越多次會越熟練。



圖 22：我們學會了敲打的節奏感，也打出樂趣。

（三）從操作過程中，老師拍照，我們從觀察照片中，注意自己的動作。

1. 雙手的擺動方式是橢圓形、向上運動。
2. 身體隨著連枷的擺動而有節奏的運轉。
3. 雙手輕鬆的提起連枷的擺動桿，到最高點時身體和雙手用力順著擺動桿向前向下撲動。使敲擊板在落葉上水平的敲下去。
4. 我們可以從連續的照片中，發現動作是否正確，並能確實改進。

(四) 拍出連續動作的照片共 14 張。

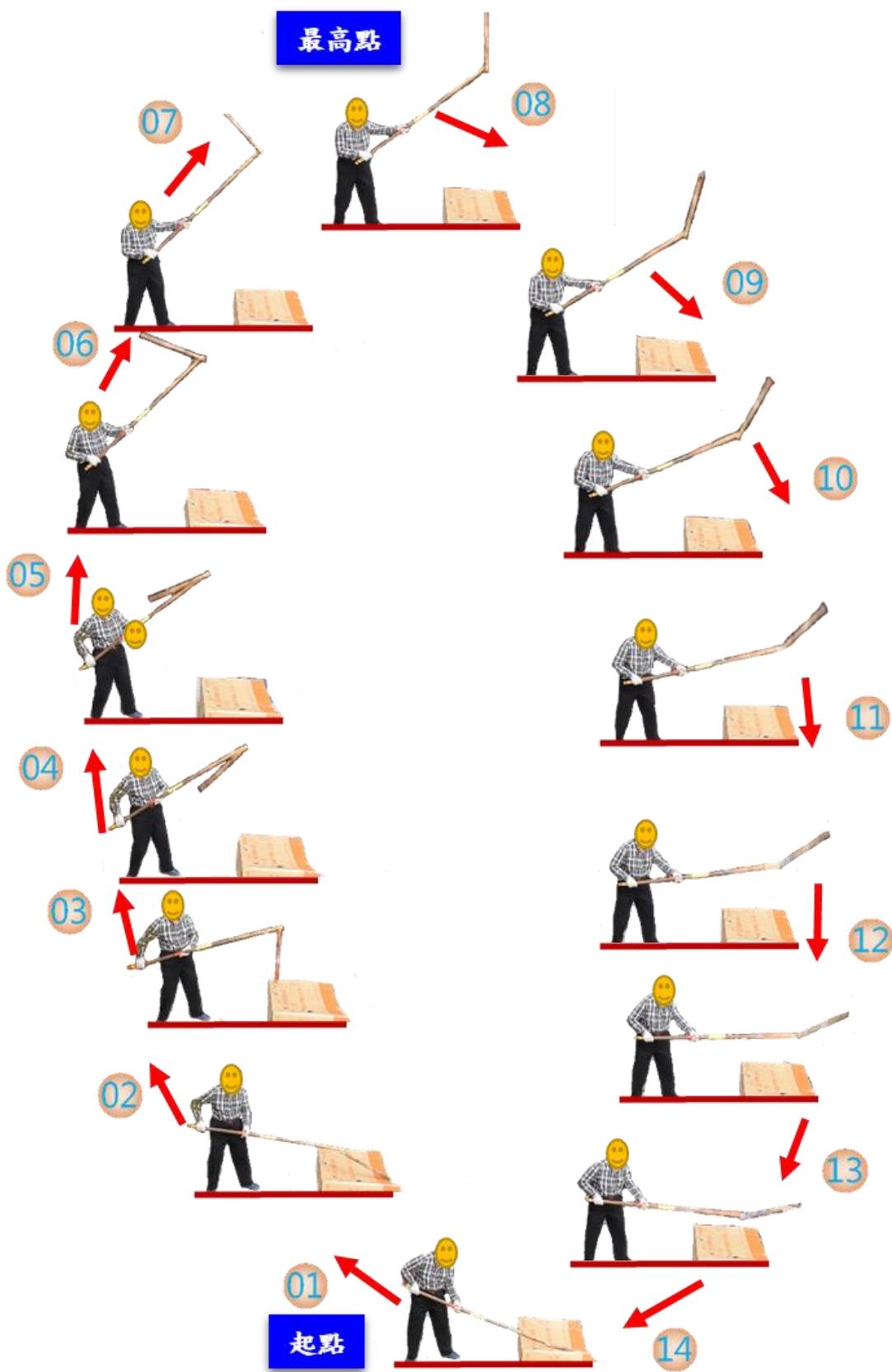


圖 23：擺動桿的橢圓形運動

(五) 從擺動桿的連續運動中，知道敲擊板的圓周運動。

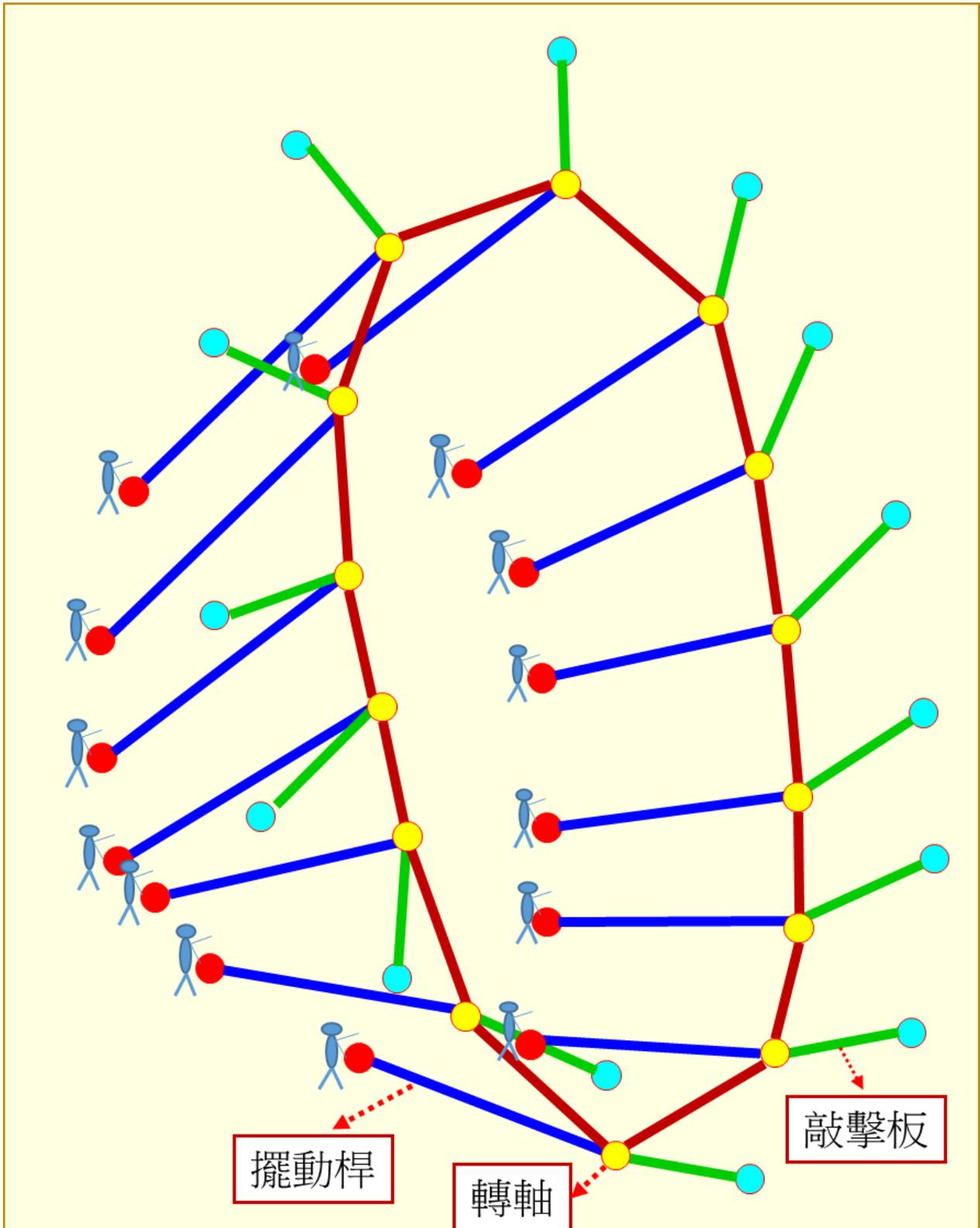


圖 24：敲擊板的轉軸為中心做圓周運動

(六) 連枷照片的連續動作

表 1：擺動桿的變化（運動）角度

編號	角度	編號	角度
7	45°上	8	37°上
6	44°上	9	35°上
5	38°上	10	26°上
4	31°上	11	13°上
3	11°上	12	10°上
2	9°下	13	0°上
1	22°下	14	4°下

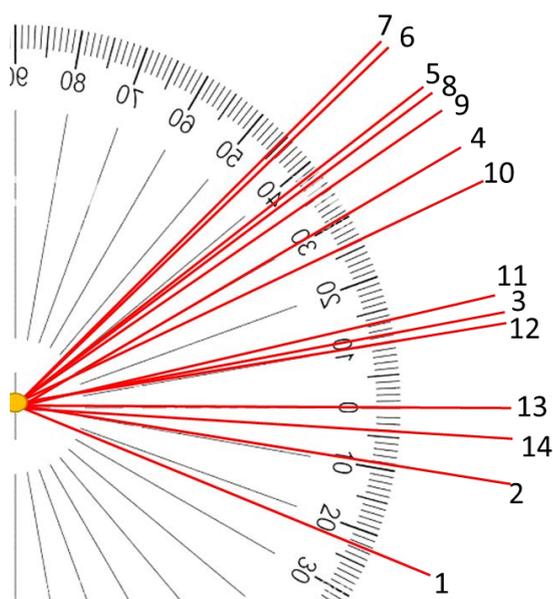


圖 25-1：擺動桿的變化圖示

表 2：敲擊板的變化角度

編號	角度	編號	角度
7	92°	8	125°
6	62°	9	141°
5	16°	10	149°
4	15°	11	150°
3	70°	12	156°
2	159°	13	162°
1	164°	14	165°

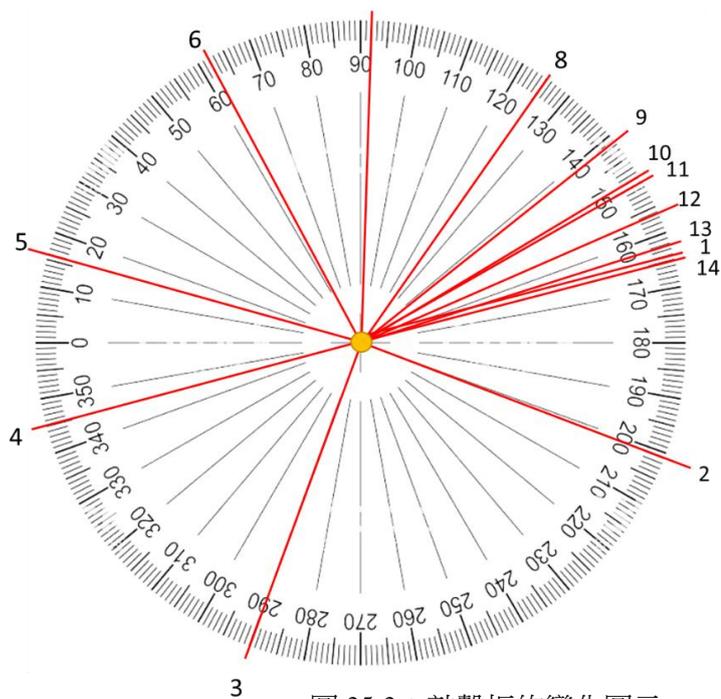


圖 25-2：敲擊板的變化圖示

(七) 討論

1. 從連枷操作的連續動作照片中，可以清楚的看見擺動桿指向地板時，敲擊板從水平的地面上開始，隨著擺動桿的提起，使敲擊板的前端向下彎曲。
2. 當擺動桿提高到 31 度時，敲擊板受地心引力也就是重力，繞著轉軸由內向上擺動。
3. 當擺動桿指向頭頂前端時，敲擊板正繞到頭頂上，接著擺動桿撲向前方，又用力向下，敲擊板很快的以水平方向敲擊地面，這樣的連續動作反覆進行著。

六、活動六：把分解動作組合為擺動桿和敲擊板的圓周運動

(一) 擺動桿的橢圓運動

1. 分別探究雙手操作擺動桿的運動及雙手移動的軌跡
2. 當雙手繞著橢圓運動時，擺動桿頂端的轉軸運動的軌跡，並且與敲擊板繞著轉軸所做的圓周運動的關係。
3. 雙手握住擺動桿，繞著橢圓運動一周正好是敲擊板繞著轉軸一圈，而正好敲打在水平的地面。
4. 在雙手握住擺動桿做橢圓形操作（運動）且從頂端向下操作時，力量的大小會加速敲擊板旋轉運動，使敲擊板敲打在豆莢上的力量會變大。
5. 探討分析連枷操作時，力的作用。

(二) 敲擊板的圓周運動：

1. 從活動五的連續動作照片中，明顯的看出當擺動桿由內向外的繞著橢圓形運動時，敲擊板也跟著以轉軸為圓心做圓周運動。
2. 這個運動一開始是：敲擊板在地面平躺著，當提起擺動桿時，敲擊板就開始由地心引力的作用繞著轉軸運動。
3. 擺動桿的圓周運動越快時，敲擊板繞著轉軸的圓周運動就越快，而且當擺動桿敲到地面時，敲擊板正好繞著轉軸一圈。
4. 敲擊板的圓周運動和擺動桿的橢圓運動是同步的運動。

(三) 討論：觀察擺動桿和敲擊板的圓周運動可以發現：

1. 當雙手握住擺動桿做橢圓形的運動時，擺動桿頂端的轉軸，也跟著做圓周運動；使在轉軸上的敲擊板會以轉軸為圓心做圓周運動，而且和擺動桿的橢圓運動是同步進行。
2. 當擺動桿從地面提起時，敲擊板受地心引力末端會朝著地面下垂；當擺動桿漸漸向上舉起時，敲擊板會漸漸向擺動桿靠近。
3. 當擺動桿舉到最高點時，敲擊板的前端會擺到最高點；當擺動桿向地面方向轉動時，敲擊板也會向下運動，如果擺動桿用力撲向地面時，敲擊板也會快速用力向下敲打。
4. 當擺動桿的前端碰到地面時，敲擊板也剛好水平的打在地面上，這時我們發現擺動桿橢圓運動一周，正好敲擊板也以轉軸為圓心旋轉一周，這就是我們看見的同步運動。

七、活動七：設計製作簡易的連枷模型並探索連枷的擺動桿和敲擊板同步運動的原理

(一) 模擬連枷農具，設計製作相關的小型模型連枷。

1. 器材：各種材質的連枷、操作台

2. 模型與裝置

(1) 自製的連枷農具

(2) 木板製作的小型連枷

(3) 操作台：做為練習操作的工具台面。

(4) 準備物品供作連枷的操作。



圖 26：練習連枷操作的實驗臺

圓木棒連枷	木板連枷	竹子連枷	塑膠管連枷	練習操作的工作檯
				

圖 27：不同材質的連枷與操作

(二) 小型模型連枷的操作



圖 28：不同材質的連枷操作

(三) 操作小型連枷模型時，敲擊板的水平力量和垂直力量的關係。(參考圖 28)

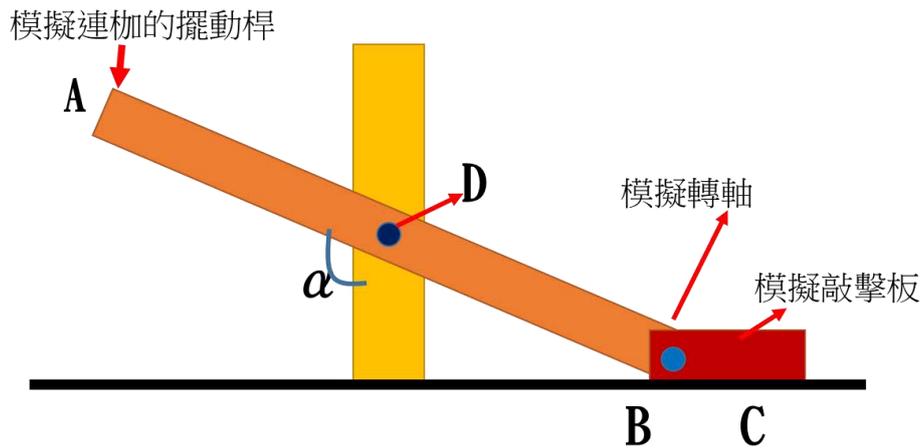


圖 28：連枷模型說明

1. 當在擺動桿的 A 處輕輕向下壓時， α 的角度會漸漸變小，擺動桿會以 D 為中心，A 端會向下轉動。而敲擊板的 B 點也就轉軸會向上移動，並以 B 的轉軸為中心，敲擊板的前端（在轉軸地方），會慢慢抬高。

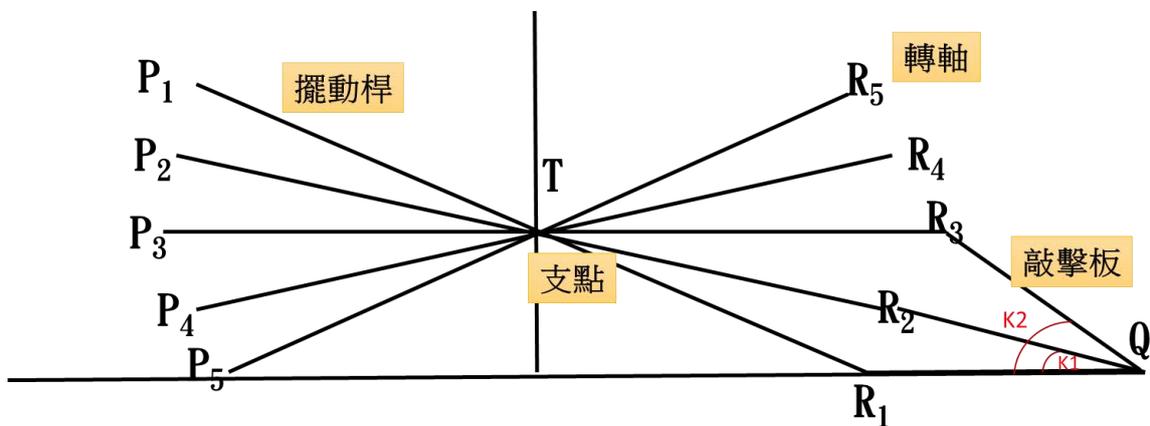


圖 29：敲擊板的水平力量和垂直力量的關係

2. 參考圖 29 的操作：P1 瞬間變大時，轉軸 R1 也會瞬間提高，使敲擊板在水平的運動很快的變成垂直運動，這是受到 P1 慣性的作用，也就是自由落體的加速運動，是圓周運動。
3. 當 P 點受到外力向下壓時，擺動桿的一端（末端）會以 T 點為支點，向上提起，轉軸 R1 會向上提高 Q 點會慢慢往內移，而且沿著水平的台面移動，與桌面形成夾角 K，而且敲擊板壓在水平面的 Q 點力會從小而變大。

(四) 操作小型連枷模型時，擺動桿與敲擊板的圓周運動

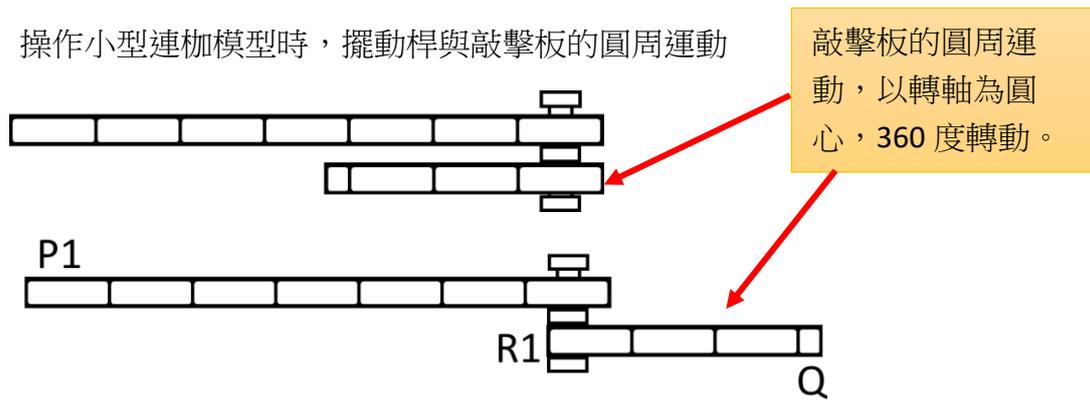


圖 30：擺動桿與敲擊板的圓周運動

1. 當打豆農具~連枷（模型），擺成一直線時，手握 P1 的位置，如果手慢慢的提起擺動桿，使 R1 往上提高，則敲擊板會以轉軸 R 點為中心向下做圓周運動，而且轉速也會慢慢的，如果擺動桿提高到垂直時，敲擊板也會和擺動桿平行，而不會再向上運動。
2. 在打豆農具連枷的敲打活動中，是雙手分開握住擺動桿的底端，沿著橢圓的途徑由下向上方向，自然的轉動，使擺動桿一直上上下下的循環運動，並且有節奏感，好像在韻律體操，忘記疲憊。我想如果加上兒童歌曲，會更有活力、快樂。

(五) 討論：擺動桿連接敲擊板的圓周運動

1. 當模擬打豆農具~連枷的實驗器，A 端受到重物的瞬間撞擊時，擺動桿會先向下彈動，當擺動桿敲到操作台的平面時，重物會立即滑下去；使擺動桿瞬間往上彈起；而且連接擺動桿前端轉軸上敲擊板會繞著轉軸旋轉一周，水平的敲打在操作台的平面上。
2. 當重物撞擊擺動桿的瞬間，擺動桿會帶動連接轉軸上的敲擊板，使它由水平運動轉變成旋轉運動，而且是自由落體的重力加速度，使敲擊板從水平變成快速圓周運動，使敲擊板水平的敲打在平臺上；當重物從更高的地方掉落時，從上方掉落的瞬間，撞擊力會愈大，而使敲擊板繞過圓周時的瞬間彈力會越大。

八、活動八：摹擬連枷製作的簡易實驗器，探索擺動桿和敲擊板間的交互作用，產生的撞擊力。

(一) 試驗 1：擺動桿和敲擊板的夾角，在旋轉時敲擊板撞擊力的比較。

1. 目的：從敲擊板繞著擺動桿的旋轉運動，知道當旋轉角度不同，所測得的敲擊板撞擊力，也就是撞擊圓木棒軌道上的塑膠球滾動的距離。

2. 裝置與操作：



圖 31：敲擊板的旋轉角度不同撞擊力的操作

3. 變因方面

(1) 操縱變因：敲擊板的旋轉角度不同，分別為：15、30、45、60、75、90 度

(2) 控制變因：同一組連枷模型器、同一個塑膠球、同一個固定軌道、同一位觀察者

(3) 應變變因：塑膠球滾動距離

4. 操作方法：

(1) 操作時，先用左手的拇指和食指輕輕握住敲擊板的末端，使敲擊板的中心線對準量角器的操作角度。

(2) 當穩定時，輕輕的放開手指，使敲擊板向下轉動。

(3) 敲擊板向下轉動，底部的木板會撞擊軌道上的塑膠球，使塑膠球向傾斜面滾動，到一定點會短暫停頓，瞬間滾回原點。

(4) 要仔細觀察塑膠球停頓的點，記錄在軌道的距離。

(5) 分別做完十次，夾角為：15、30、45、60、75、90 度，敲擊板撞擊塑膠球滾動的距離。

5. 結果： 表 3：敲擊板的旋轉角度不同，塑膠球滾動的距離

單位：cm

次數 轉動角度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合計	平均
15 度	2.1	2.0	2.1	2.2	2.3	2.0	2.5	2.4	2.3	2.4	22.3	2.2
30 度	5.0	5.0	5.3	5.2	5.0	5.3	5.3	5.2	5.3	5.3	51.9	5.2
45 度	10.0	10.3	10.1	10.2	10.3	10.3	10.1	10.3	10.4	10.3	102.3	10.2
60 度	15.9	15.5	15.3	15.0	15.2	15.5	15.3	15.3	15.8	15.5	154.3	15.4
75 度	21.0	20.9	20.5	21.1	20.9	20.5	21.1	21.0	20.5	21.1	208.6	20.9
90 度	28.5	27.0	27.5	27.5	27.5	27.6	28.0	27.5	28.0	27.5	276.6	27.7

6. 比較：



圖 32：敲擊板的旋轉角度不同，塑膠球滾動距離比較

(二) 試驗 2：敲擊板的重量不同，在旋轉時敲擊板撞擊力的比較。

1. 目的：想知道當敲擊板的重量不同，在擺動桿的轉軸上旋轉時，撞擊力是不是有差別。也可以從敲擊板的旋轉運動，撞擊塑膠球在軌道上的滾動距離。

2. 裝置與操作：

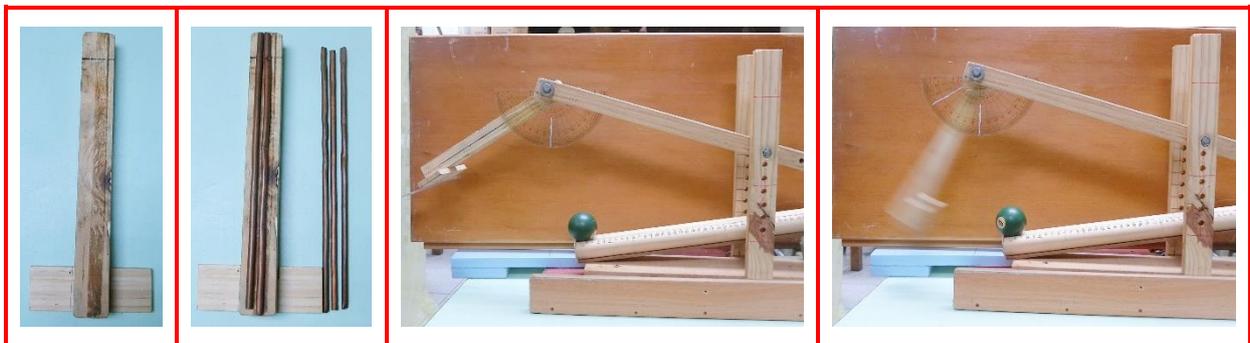


圖 33：敲擊板的重量不同，旋轉轉動的敲擊力愈大，打到塑膠球的滾動變化也不同。

3. 變因方面：

(1) 操縱變因：敲擊板的重量不同，分別加上 0、1、2、3、4、5 支銅條（每支銅條 30g，分別為 156g、186g、216g、246g、276g、306g）

(2) 控制變因：參考（試驗 1）的控制變因。敲擊的轉動角度：60 度

(3) 應變變因：塑膠球滾動的距離

4. 操作方法：參考試驗 1 操作方法，敲擊的轉動角度：60 度。

5. 結果： 表 4：敲擊板的重量不同實驗結果

單位：cm

次數 敲擊板重量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合計	平均
156g	15.9	15.5	15.0	15.2	15.5	15.3	15.8	15.0	15.2	15.3	153.7	15.4
186g	18.8	18.4	19.0	18.5	19.2	18.9	19.0	19.5	19.0	19.5	189.8	19.0
216g	22.0	22.5	23.0	22.5	21.6	22.7	22.9	22.5	23.0	22.0	224.7	22.5
246g	25.5	26.9	27.0	26.8	25.0	26.0	25.8	26.3	26.0	26.0	261.3	26.1
276g	28.9	29.0	29.5	30.0	29.6	30.5	30.9	29.8	29.5	28.9	296.6	29.7
306g	31.9	31.5	32.5	32.4	32.3	32.5	32.5	32.8	32.5	32.8	323.7	32.4

6. 比較：

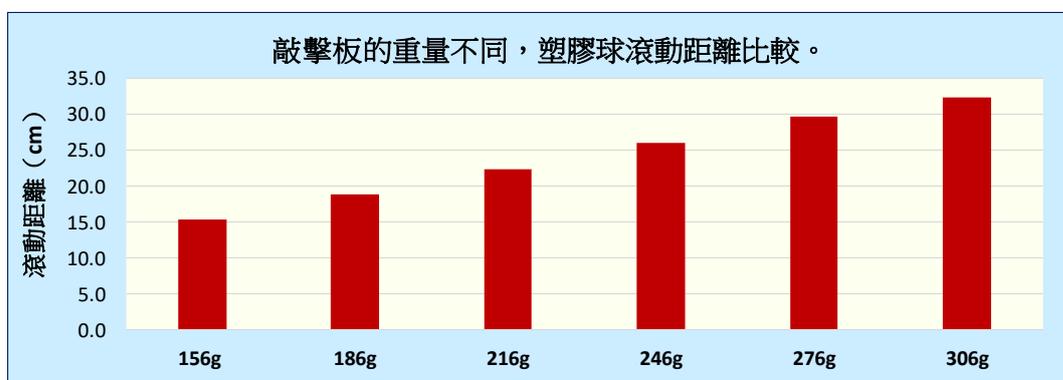


圖 34：敲擊板的重量不同，塑膠球滾動的距離比較。

(三) 試驗 3：敲擊板的長短，在旋轉時撞擊力的比較

1. 目的：想知道敲擊板的長短不同，當敲擊板旋轉時，撞擊軌道上塑膠球滾動的距離。

2. 裝置與操作：

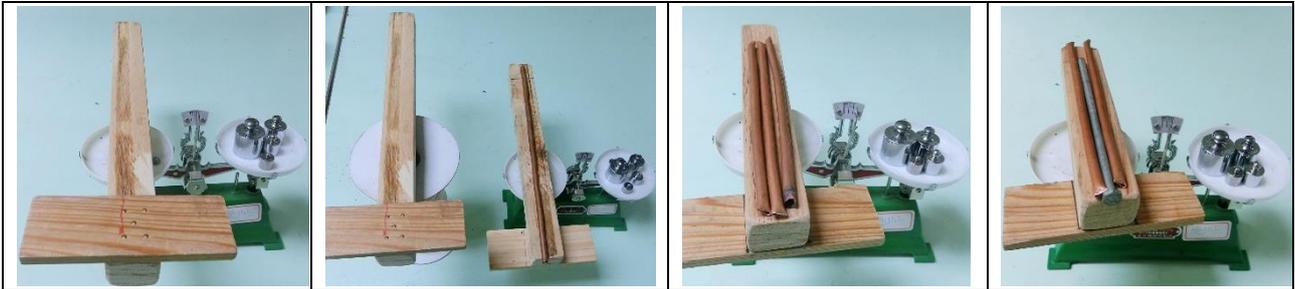


圖 35：不同長短的敲擊板，利用銅條調整重量都為 180 公克。

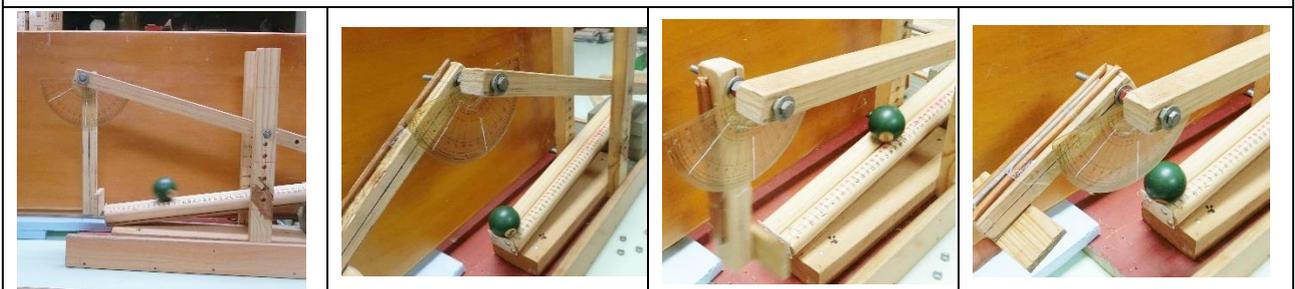


圖 36：敲擊板長度不同，重量相同的撞擊實驗。

3. 變因方面

(1) 操縱變因：敲擊板的長度不同，分別為 33、28、23、18cm。

(2) 控制變因：參考（試驗 1）的控制變因

(3) 應變變因：軌道上的塑膠球滾動的距離

4. 操作方法：參考試驗 1 操作方法，敲擊的轉動角度：60 度。

5. 結果： 表 5：敲擊板長度不同的實驗結果 單位：cm

次數 敲擊板長度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合計	平均
33cm	23.0	23.5	24.0	22.9	23.0	24.5	23.5	24.5	23.8	23.8	236.5	23.7
28cm	16.5	16.4	16.4	16.5	16.9	16.0	16.8	16.0	16.0	16.5	164.0	16.4
23cm	14.0	14.0	13.9	14.0	14.3	14.0	14.0	13.8	14.1	14.3	140.4	14.0
18cm	10.5	10.0	10.0	10.5	10.5	10.0	10.5	10.5	10.5	10.5	103.5	10.4

6. 比較

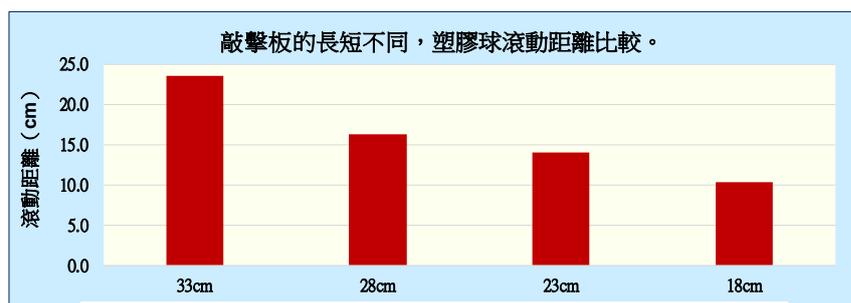


圖 37：敲擊板長度不同，塑膠滾球距離的長條圖。

(四) 試驗 4：擺動桿受不同重力撞擊時，敲擊板從水平運動到旋轉運動產生撞擊力的比較

1. 目的：利用連枷的轉動原理，使敲擊板水平的敲擊在泥塊上產生的凹陷痕跡，知道敲擊力的大小。

2. 裝置與操作：

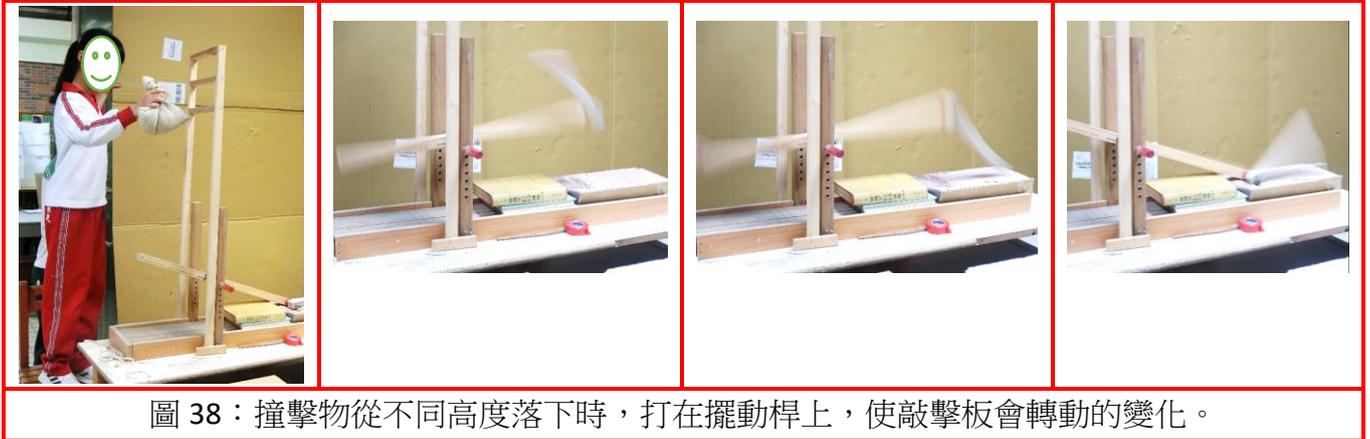


圖 38：撞擊物從不同高度落下時，打在擺動桿上，使敲擊板會轉動的變化。

3. 操作方法

- (1) 把重物（黑砂）秤重 1400g，裝入布袋裡，做為撞擊重物。
- (2) 撞擊重物在擺動桿旁邊設計的支架上，從不同的高度落下來，撞到擺動桿的後端，使擺動桿往下轉動，到達底部，同時重物會掉落地面，擺動桿也瞬間回到原來的位置。
- (3) 重物從不同的高度落下，高度 76cm 為力道一，高度 86cm 為力道二，高度 96cm 為力道三，高度 106cm 為力道四。
- (4) 這時敲擊板會旋轉而敲擊在泥塊上，使泥塊形成凹陷。
- (5) 利用珍珠板測量凹陷的深度，做成模型來做比較。

4. 變因方面：

- (1) 操縱變因：撞擊重物（1400g）從不同的高度掉下來（76,86,96,106cm），撞擊擺動桿。
- (2) 控制變因：相同連枷實驗架、相同的敲擊板、相同重物（1400g）、泥土塊的體積相同（30x18x5cm）、泥塊放置的位置一定
- (3) 應變變因：泥塊被敲擊後的痕跡深度變化

5. 利用模型連枷敲擊產生的痕跡，所表示的意義。



圖 39：模型連枷的敲擊板打在泥塊上，會形成凹陷的痕跡，而痕跡的模型是敲擊板前端打在泥塊上的，痕跡深表示旋轉力大。

(1) 敲擊板敲打在泥塊(圖 40)

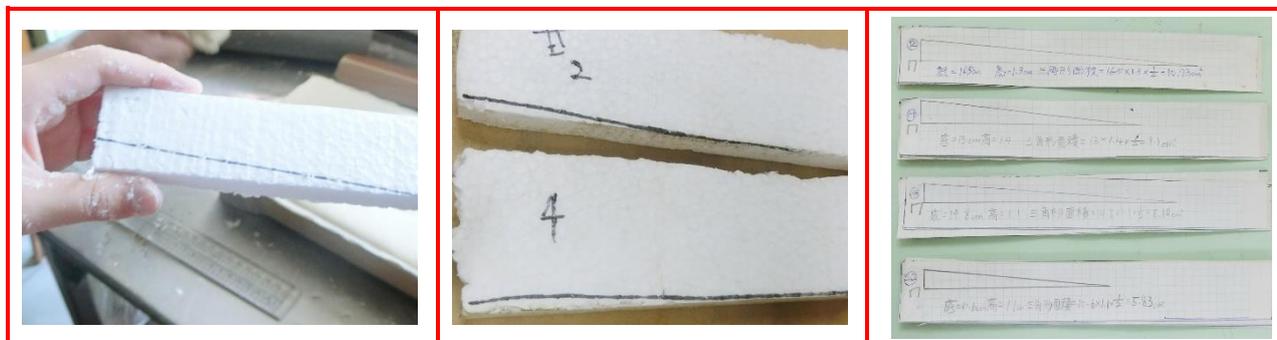


敲擊板前端打在泥塊上的痕跡深，表示力量大。

利用珍珠板拓印出痕跡的深度模型

把珍珠板切成泥塊痕跡的大小，來拓印。

(2) 珍珠板拓印的痕跡(圖 41)



利用長條型的珍珠板，測出每個痕跡的拓印大小。

(3) 珍珠板拓印痕跡圖形(側面)如圖 41。

(4) 用尺實測出三角型的形狀、大小表示側面面積

(5) 求出三角形和梯形的面積：底 \times 高 \div 2=三角形面積，(上底+下底) \times 高 \div 2=梯形面積

(6) 也就是敲擊板敲打在泥塊、陶土塊和麵糰上的深度側面面積

(7) 底：表示敲擊板長度，

(8) 高度：表示敲擊板前端敲擊的深度

(9) 厚度：敲擊板前端底的長度 2cm。



圖 41：珍珠板拓印痕跡圖形

(10) 三角形側面積 \times 厚度=三角柱的體積，表示敲擊板打在泥塊上力的總和。

6. 結果： 表 6：撞擊物力道不同的實驗結果（甘蔗園泥塊、陶土塊）

結果 1：連枷—實驗器在甘蔗園泥塊上的敲擊痕跡的側面面積×厚度（2cm）=三角柱體積

力道	次數	1	2	3	4	合計	平均
	力道一	底	16.2	16.0	17.0	12.4	61.6
高		0.5	0.5	0.4	0.5	1.9	0.5
面積		4.05	4.00	3.40	3.10	14.55	3.64
厚度		2.0	2.0	2.0	2.0	8.0	2.0
體積		8.1	8	6.8	6.2	29.1	7.28
力道二		底	18.2	19.5	15.5	19.4	72.6
	高	0.7	0.6	0.7	0.5	2.5	0.6
	面積	6.37	5.85	5.43	4.85	22.50	5.62
	厚度	2.0	2.0	2.0	2.0	8.0	2.0
	體積	12.74	11.7	10.86	9.7	46	11.5
力道三	底	14.3	15.5	14.5	11.3	55.6	13.9
	高	1.2	1.0	1.0	1.2	4.4	1.1
	面積	8.58	7.75	7.25	6.78	30.36	7.59
	厚度	2.0	2.0	2.0	2.0	8.0	2.0
	體積	17.16	15.5	14.5	13.56	60.72	15.18
力道四	底	17.9	17.4	15.2	18.0	68.5	17.1
	高	1.3	1.3	1.2	1.0	4.8	1.2
	面積	11.64	11.31	9.12	9.00	41.07	10.27
	厚度	2.0	2.0	2.0	2.0	8.0	2.0
	體積	23.28	22.62	18.24	18	82.14	20.54

結果 2：連枷—實驗器在陶土塊上的敲痕跡的側面面積及體積

力道	次數	1	2	3	4	合計	平均
	力道一	底	15.0	12.5	16.8	15.0	59.3
高		0.3	0.3	0.2	0.2	1.0	0.3
面積		2.25	1.88	1.68	1.50	7.31	1.83
厚度		2.0	2.0	2.0	2.0	8.0	2.0
體積		4.5	3.76	3.36	3	14.62	3.66
力道二	上底	0.1	0.2	0.3	0.0	0.6	0.2
	下底	0.3	0.3	0.1	0.5	1.2	0.3
	高	19.5	15.5	17.5	13.7	66.2	16.6
	面積	3.90	3.88	3.50	3.43	14.70	3.68
	厚度	2.0	2.0	2.0	2.0	8.0	2.0
	體積	7.8	7.76	7	6.86	29.42	7.36
力道三	上底	0.4	0.5	0.5	0.0	1.4	0.4
	下底	0.1	0.1	0.1	0.6	0.9	0.2
	高	17.8	14.5	14.1	14.0	60.4	15.1
	面積	4.45	4.35	4.23	4.20	17.23	4.31
	厚度	2.0	2.0	2.0	2.0	8.0	2.0
	體積	8.9	8.7	8.46	8.4	34.46	8.62

力道四	上底	0.2	0.4	0.2	0.2	1.0	0.3
	下底	0.5	0.4	0.5	0.5	1.9	0.5
	高	16.0	13.8	14.0	14.0	57.8	14.5
	面積	5.60	5.52	4.90	4.90	20.92	5.23
	厚度	2.0	2.0	2.0	2.0	8.0	2.0
	體積	11.2	11.04	9.8	9.8	41.84	10.46

7. 比較

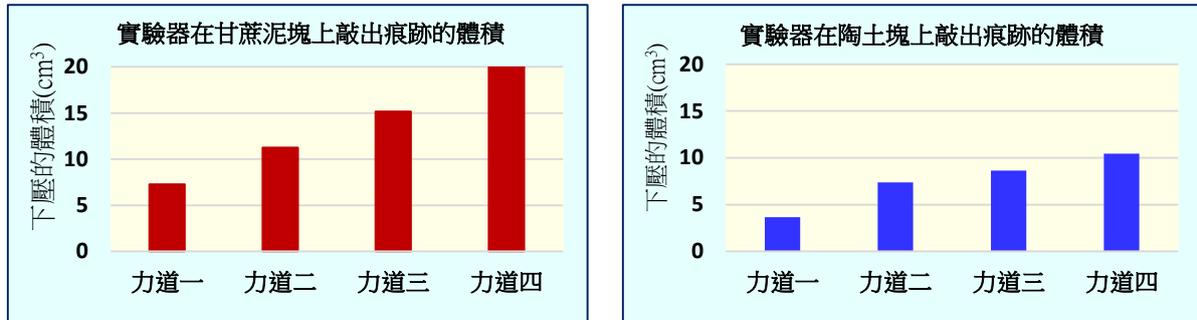


圖 42：實驗器在泥塊和陶土塊上敲出的體積長條圖

8. 討論：

- (1) 摹擬連枷的小型試驗器，以轉軸為中心的敲擊板做圓周運動。在（實驗 1）的操作活動是把代表敲擊板木塊提高不同的角度，讓它受地心引力，也就是重力撞擊在軌道的塑膠球，在斜坡上滾動，再由滾動的距離來轉換為力的大小。從比較的長條圖中，知道木塊旋轉角度越大，撞擊塑膠球越遠，也就是產生的力量越大。
- (2) （試驗 2）是摹擬敲擊板的木塊重量不同，從一定的角度 60 度轉下來，結果發現越重的敲擊板撞擊軌道上的塑膠球，滾動得越遠，表示越重的木塊從 60 度的地方轉動下來，打在塑膠球的力量越大。木塊轉動下來的力量是受地心引力，也就是重力越大。
- (3) （試驗 3）不同長度而重量相同的敲擊木塊，從一定的角度（60 度）放下，結果越長的木塊施力臂越長，產生力矩也越大，撞到塑膠球在斜坡的軌道上會滾得越遠。
- (4) （試驗 4）是摹擬連枷的小型試驗器，當擺動桿被不同重力撞擊時，摹擬敲擊板從水平運動到旋轉運動產生的撞擊力會不同；因為不容易直接測量。我們利用泥塊、陶土塊被撞擊產生的痕跡深度的體積來間接轉換為力的大小。
- (5) 從比較的二個長條圖中，發現不同的泥塊算出的長條圖體積是不同，因為二種泥塊、陶土塊的硬度、柔度不同，所以痕跡、深度不同；但是長條圖比較中，長度都和力道是一致的。所以可以證明泥砂的重物從不同高度撞擊的力量是不同，也使敲擊板產生的力量不同。砂包從越高的地方放下來，撞擊力越大，在泥塊上產生的痕跡越深，算出的體積就越大。

九、活動九：小型的摹擬連枷敲擊豆莢果殼等的敲裂實驗

1. 目的：利用自製的摹擬連枷敲擊器，以手工的方法敲擊載物臺上包紮的物品，各敲擊 20 次，觀察物品裂開的數量及裂開的規律性。
2. 裝置與操作：



- (1) 把敲擊物品放入夾鏈袋內。
- (2) 把夾鏈袋放在敲擊臺上，並把夾鏈內的物品推平。
- (3) 利用模擬連枷敲擊器，以重物從一定的高度（96cm）放下，就可以用敲擊板敲擊物品一次。
- (4) 連續敲擊 20 次，再打開夾鏈袋取出物品。
- (5) 計算被敲擊的物品破裂的數量，並觀察破損的情形。



3. 結果

表 7：敲擊豆莢果殼裂開的實驗結果

敲擊物品	敲擊前（顆）	敲擊裂開後（顆）	裂開百分率
開心果	126	90	71%
龍眼乾	40	40	100%
葵瓜子	200	178	89%
核桃	20	9	45%
蠶豆	70	69	99%
什錦菓子	70	70	100%
甘栗	30	10	34%
花生殼	55	54	98%



4. 實驗比較

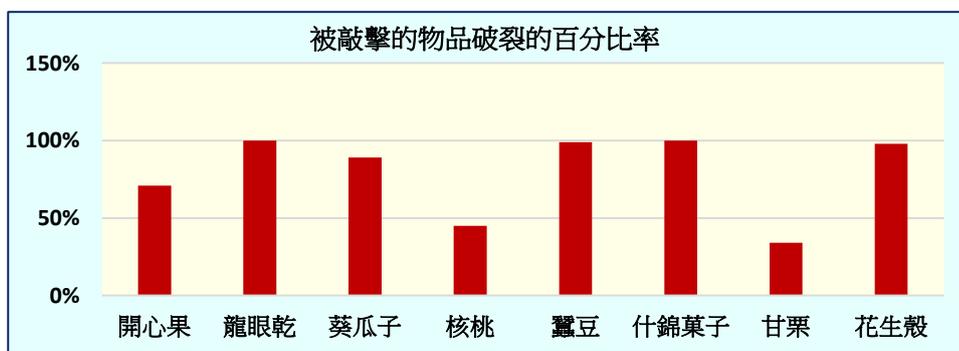


圖 46：實驗器敲擊豆莢果殼裂開百分率長條圖

5. 討論

- (1) 利用小型的摹擬連枷，來做敲碎堅硬物品的實驗，改良生活的品質是可行的。
- (2) 年老的爺爺滿口是假牙，利用小型的摹擬連枷來敲碎開心果和葵瓜子，以及其他的堅果。
- (3) 我們的美勞課，正好要做泥土的人頭模型，我們就利用小型連枷來操作，把泥塊放在夾鏈袋，再用連枷敲打，真是好用，效果很好。

十、活動十：生活中的應用

幫助年老的人牙齒咬不動堅硬的食物，可以用小型的連枷來敲打物品，使物品變碎、變細，容易下口。

(一) 目的：利用小型木製連枷敲擊硬的食物，使它變碎，就容易咬細了。

(二) 操作方法：

1. 把堅硬的食物放進乾淨的塑膠袋中，並關緊開口，再放在操作台或桌面上。
2. 利用木製連枷在上面敲打 10 下，使堅硬物品變碎。

(三) 結果：

名稱	食品原貌	連枷敲擊 10 次後的形狀破碎結果	
蜜麻花			
酥脆片			
麻糬			
花生仁			



圖 47：堅硬食品用木製小型連枷模型敲擊 10 次後的成果

(四) 討論：

1. 許多黏在一塊的食品，使用人工假牙是不能撕裂開來，利用小型連枷敲擊就可以敲碎，老年人可方便食用。
2. 像煎餅這樣堅硬的餅乾，經過連枷敲擊很快粉碎，變得容易用假牙咬碎，方便食用。
3. 花生仁是很香的種子，可是太硬了，咬不碎，可以用連枷敲擊就粉碎了。
4. 爆米香很堅硬，可是很香又大塊不適合老人食用，但是用連枷敲打很快變成小碎塊，也就容易咬碎了。

陸、結論

- 一、我們從老師利用打豆農具—連枷敲打大豆莢的活動中，觀察到當老師的雙手一前一後的握住擺動桿，由內向外、由下到上進行橢圓形的運動時；轉軸前端的敲擊板也會隨著擺動桿的提高，繞著轉軸旋轉一圈最後當擺動桿碰到地面時，敲擊板也會跟著水平的敲打到地面上的穀物，而且具有規律性的運動。
- 二、我們在落葉堆上自己利用連枷練習敲打落葉，感覺到：當雙手把擺動桿往上提起時，會帶動身體一起向上，接著雙手達到頂端時，會用力把擺動桿向前撲下。這時，如果你用的力量越大，敲擊板打擊落葉的力量就越大。
- 三、觀察擺動桿與敲擊板圓周運動時，當擺動桿舉到最高點，敲擊板的前端也會擺到最高點；當擺動桿向地面方向運動時，敲擊板也會向下運動。如果擺動桿用力撲向地面時，敲擊板也會快速用力向下敲打。這時我們發現擺動桿繞著橢圓運動一周，正好敲擊板也以轉軸為圓心旋轉一周，這就是我們看見的擺動桿和敲擊板的同步運動。
- 四、在摹擬連枷製作簡易實驗器的實驗中，發現擺動桿和敲擊板之間的交互作用：擺動桿與敲擊板之間的夾角、敲擊板的重量、敲擊板的長度有密切關係。當敲擊板和擺動桿之間的夾角越大，撞擊的力量越大；當敲擊板的重量越重，長度越長，敲擊的力量也越大；而且重物從越高的地方掉落，撞擊擺動桿，使敲擊板產生的力量也會越大。

柒、參考文獻資料

南一書局(2020)。自然與生活科技六下-巧妙的施力工具。臺南市：南一。

陳文明譯(2000)。力學。臺北市：麥格羅希爾出版。

賴庭筠譯(2010)。漫畫結構力學入門。臺北市：積木文化。

尤明慶（2014年7月6日）打連枷的動作說明·取自 <https://blog.sciencenet.cn/blog-275648-809473.html>

維基百科·連枷·取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%BF%9E%E6%9E%B7>

【評語】 080115

本作品探討打豆農具「連枷」長短竹竿交互運動的工作原理，並且利用小型的摹擬連枷來做敲擊豆莢果殼的實驗，屬於生活周遭的題材，很符合同學參與科展就地取材的理想，做出的成果也能順利解釋連枷的功用。唯本作品的控制變因的結果大多可以預測，且局限於現象的觀察，若能更進一步分析長短竹竿間的長短比對連枷的影響或其它可量化的變量，可能更符合科展的精神也讓本作品更理想。

作品簡報

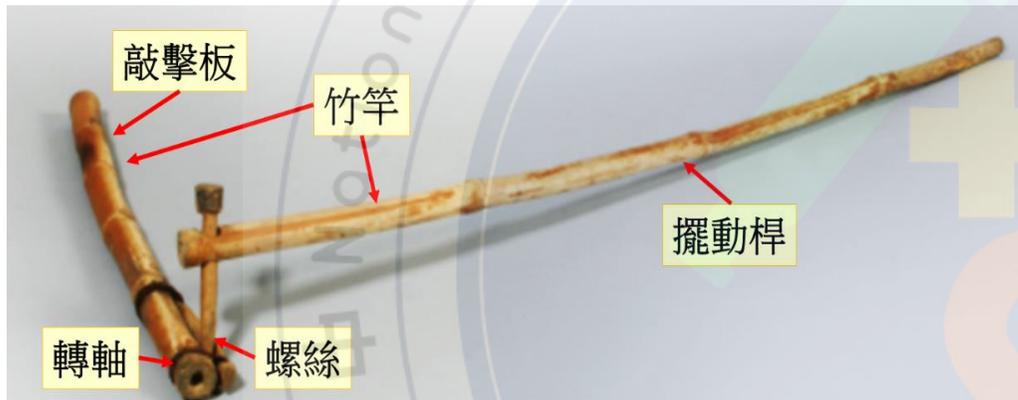
農夫的打豆農具——連枷

科 別：物理科

組 別：國小組

● 研究動機

★ 農村的打豆農具—連枷



1. 請來了6~8位的農人，每人手持農具—連枷，而且每兩個相對交互操作連枷，打在地面的大豆莢上。
2. 操作時二腳向側面慢慢移動，把前面的大豆莢用力敲打。
3. 如此反覆4~5次就可以完成。
4. 把上層空的大豆莢剷到一邊，再把大豆掃成一堆，放入麻布袋裡就完成了。

● 研究架構

農村的打豆農具—連枷

文獻資料—古代的打豆農具

自製的打豆農具—連枷

操作「打豆農具—連枷」
體會打豆農具的竹竿運動

在落葉上，熟練操作連枷，
探索操作的方法。

擺動桿的橢圓形運動

敲擊板的圓周運動

把分解動作組合為擺動桿
和敲擊板的圓周運動

設計製作連枷的敲擊板—
轉動實驗架。

設計製作簡易的連枷模型

測試摹擬敲擊農具的敲
擊板，敲擊泥塊、陶土
塊的痕跡。

探討連枷—打豆
農具的轉動原理

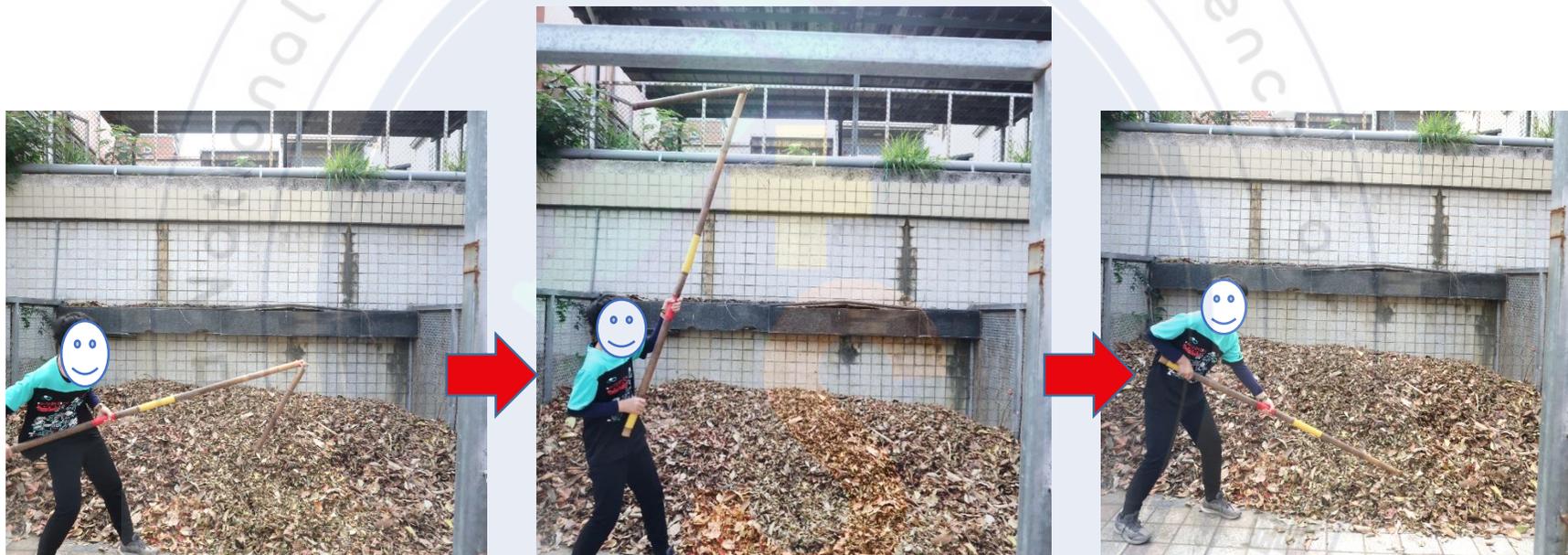
探索連枷的擺動桿和敲
擊板同步運動的原理

探討分析連枷操作時，
力的作用。

生活的運用

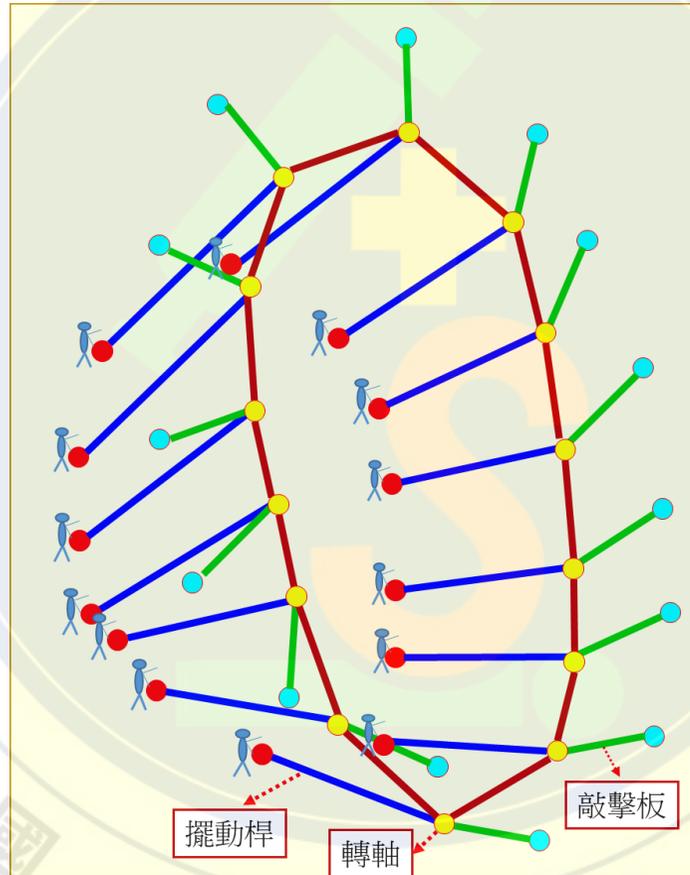
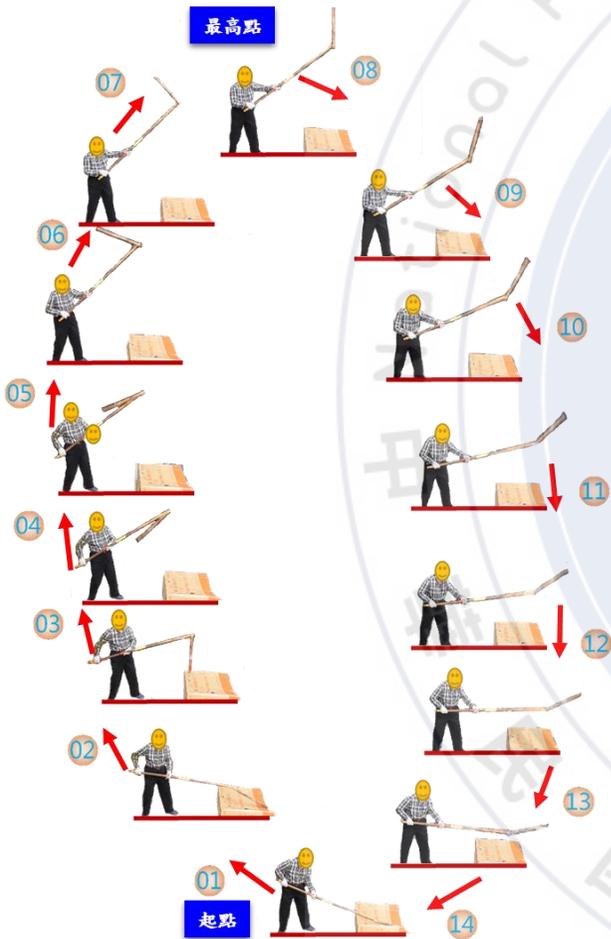
● 研究過程與結果

★練習連枷敲打落葉的活動，領悟操作的方法。



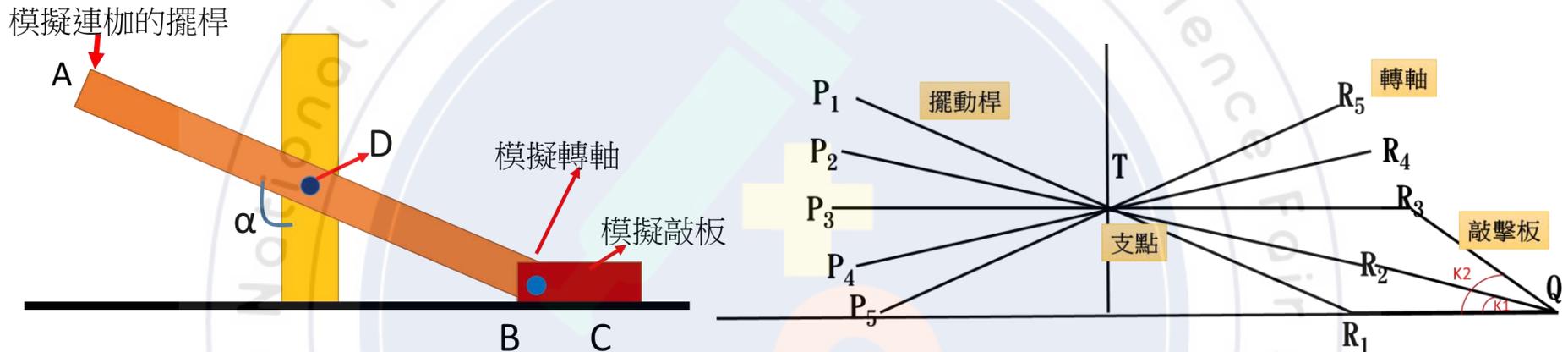
1. 操作時注意雙手由下而上，由內而外做橢圓形的運動（移動）。
2. 配合身體的微微後仰，使上半身再向前微微彎曲。
3. 當雙手把擺動桿提到最高點時，雙手要伸直，再向前往下用力一撲。

★從操作連枷連續照片中， 發現擺動桿和敲擊板的同步運動。



1. 當雙手握住擺動桿做橢圓形的運動時，擺動桿頂端的轉軸，也跟著做圓周運動；轉軸上的敲擊板會以轉軸為圓心做圓周運動。
2. 當擺動桿從地面提起時，敲擊板受地心引力末端會朝著地面下垂。
3. 當擺動桿的前端碰到地面時，敲擊板也剛好水平的打在地面上，這時我們發現擺動桿橢圓運動一周，正好敲擊板也以轉軸為圓心旋轉一周，這就是我們看見的同步運動。

★從簡易的連枷模型，
探索擺動桿和敲擊板為同步運動的原理。



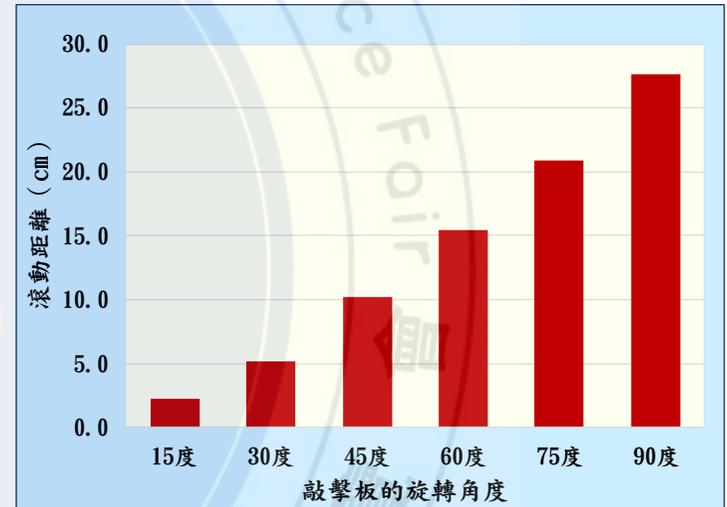
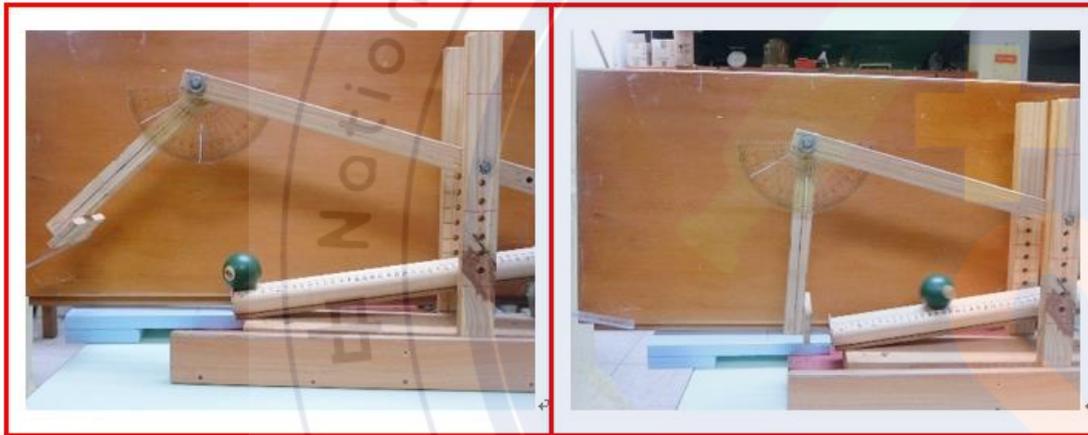
當在擺動桿的A處輕輕向下壓時， α 的角度會漸漸變小，A端會向下轉動。而敲擊板的B點也會向上移動，並以B的轉軸為中心，敲擊板的前端，會慢慢抬高。

當P點受到外力向下壓時，擺動桿的末端會以T點為支點，向上提起；轉軸R₁會向上提高，Q點會慢慢往內移，而且沿著水平的台面移動，與桌面形成夾角K。

★設計製作簡易連枷實驗器：

探索擺動桿和敲擊板間的交互作用

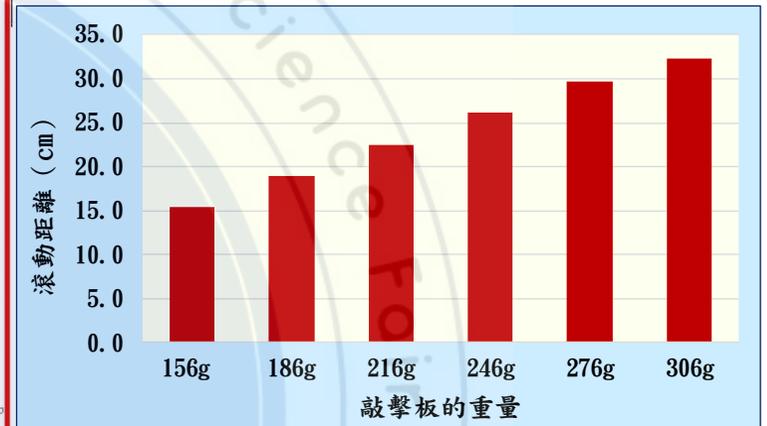
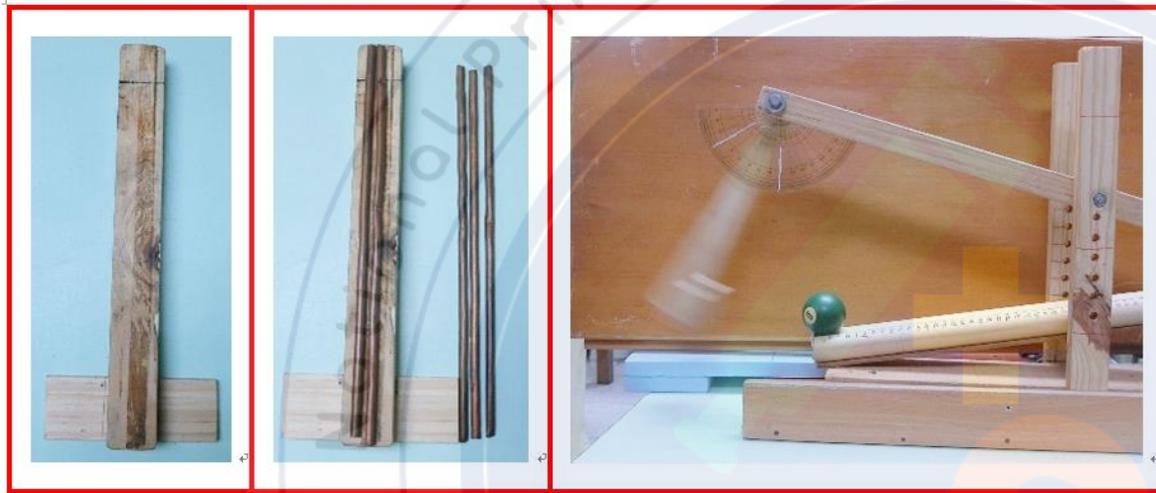
試驗1：擺動桿和敲擊板的角度不同時，撞擊力的比較。



1. 當敲擊板木塊提高到不同的角度，撞擊到軌道的塑膠球，使球在斜坡上滾動，再由滾動的距離來轉換為力的大小。
2. 從比較的長條圖中，知道木塊旋轉角度越大，撞擊塑膠球越遠，也就是產生的力量越大。

圖：敲擊板的旋轉角度不同，塑膠球滾動距離比較。

試驗2：敲擊板的重量不同，撞擊力的比較。



1. 摹擬敲擊板的木塊重量不同，從一定的角度60度轉下來，結果發現越重的敲擊板撞擊軌道上的塑膠球，滾動得越遠。
2. 表示越重的木塊從60度的地方轉動下來，打在塑膠球的力量越大；木塊轉動下來的力量是受地心引力，也就是重力越大。

試驗3：敲擊板的長短不同，撞擊力的比較。

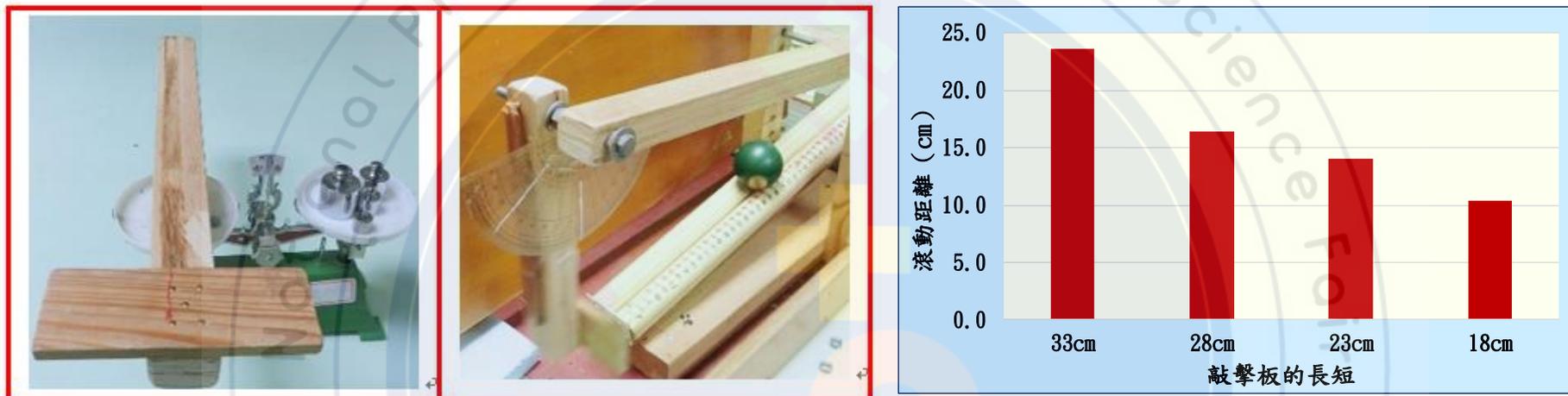


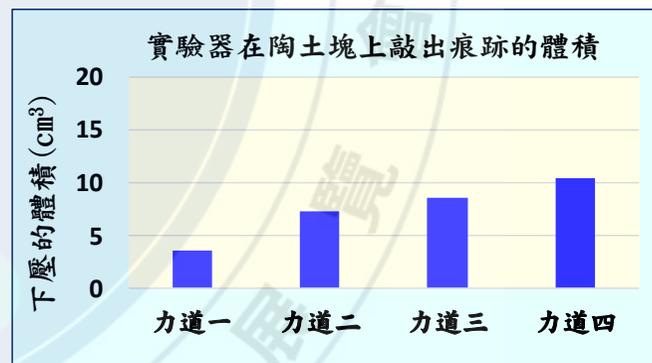
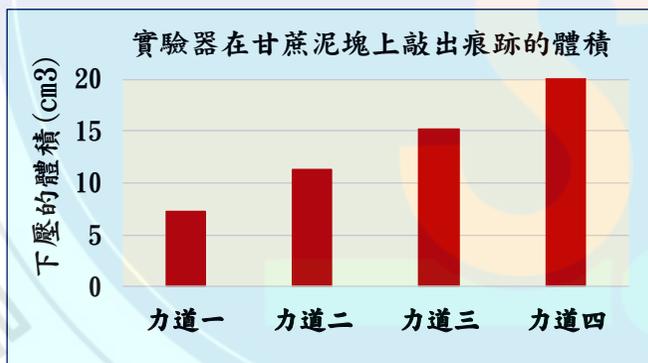
圖37：敲擊板長度不同，塑膠滾球距離的長條圖。

不同長度而重量相同的敲擊木塊，
從一定的角度（60度）放下，結果越長的木塊施力臂越長，
產生力矩也越大，撞到塑膠球在斜坡的軌道上會滾得越遠。

試驗4：擺動桿受不同重力撞擊時，撞擊力的比較。



敲擊板前端打在泥塊上的痕跡，利用珍珠板拓印出痕跡的深度模型。



摹擬敲擊板從水平運動到旋轉運動產生的撞擊力會不同。我們利用泥塊、陶土塊被撞擊產生痕跡深度的體積，來間接轉換為力的大小。

★小型的摹擬連枷敲擊豆莢果殼等，應用在生活中。



1. 許多黏在一塊的食品，使用人工假牙是不能撕裂開來，利用小型連枷敲擊就可以敲碎，老年人可方便食用。
2. 像煎餅這樣堅硬的餅乾，經過連枷敲擊很快粉碎，變得容易用假牙咬碎。
3. 花生仁是很香的種子，可是太硬了，咬不碎，可以用連枷敲擊就粉碎了。
4. 爆米香很堅硬，太大塊不適合老人食用，用連枷敲打很快變成小碎塊，也就容易咬碎了。

● 結 論

- 一從連枷敲打大豆莢的活動中，**體驗到**擺動桿橢圓形運動；帶動敲擊板的圓周運動，而且具有規律性。
- 二從自己利用連枷練習敲打落葉的活動，**感覺到**擺動桿向前撲下的力量越大時，敲擊板打擊落葉的力量也越大。
- 三從觀察擺動桿與敲擊板的圓周運動時，**發現到**它們是同步運動。