

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

佳作

080121

別叫我魔術

—喜結良緣物理學轉動慣量原理的解碼

學校名稱：臺中市西區忠孝國民小學

作者：	指導老師：
小五 張名尚	俞昱晴
小六 蕭暉堇	黃志偉
小五 林軒誠	
小五 高崇澤	
小五 廖惇傑	
小四 廖敏翰	

關鍵詞：魔術、轉動慣量、鐵鍊栓環

別叫我魔術

喜結良緣物理學轉動慣量原理的解碼

壹、摘要

在老師的結婚喜宴上，有位來賓表演－「喜結良緣」，大家都看得目瞪口呆，認定它是魔術秀，但我們卻選它做為研究題材。老師說，對於這麼創新、奇幻、令人嘆為觀止的研究題材，我們不必急著了解最快、最直接的「魔術秘訣」，而應以循序漸進、旁敲側擊的研究態度，把研究重點放在：運用物理學理論，尋找成功率最高的表演道具及純熟的手法。

我們終於得到出乎意料的成果，原來，它是物理學「轉動慣量」的原理，我們也將以這次研究成果做為送給老師的結婚賀禮。

我們發揮下列五個創意，探索「喜結良緣」－鐵鍊控環的物理理論。

創意一、設計製作鐵鍊控環歷程間歇攝影裝置。

創意二、設計製作鐵鍊控環歷程全程顯示裝置。

創意三、設計製作左、右鍊手實驗架。

創意四、設計製作標準實驗環及實驗裝置。

創意五、設計鐵鍊控環道具優劣猜測遊戲。

貳、 研究動機

參加老師結婚喜宴，有位來賓表演魔術—**喜結良緣**，看到鐵鍊能自動的拴住圓環，引起全場歡呼，同學們都看傻了眼，覺得相當震撼神奇，很想研究它！便成立研究小組，進行探索。

參、 研究目的

應用**物理學**的理論，進行一系列的實驗，探討下列各項和鐵鍊拴住圓環有關的因素，以設計出成功率最高的表演道具。

- 一、 探討「鐵鍊的**粗細**、**長短**、**重量**（材質）、**構造**」與「鐵鍊拴環**成功率**」的關係。
- 二、 探討「圓環的**大小**、**寬度**、**厚度**、**重量**（材質）」與「鐵鍊拴環**成功率**」的關係。
- 三、 探討「鐵鍊和圓環兩者**接觸位置**」和「鐵鍊拴環**成功率**」的關係。
- 四、 設計製作創意的鐵鍊拴環「**解碼裝置**」。
- 五、 自創「**天馬行空玩物理**」。
- 六、 探討**物理原理**，以獲得**魔術原理**的**正確觀念**。

肆、 研究器材

- 一、 各種**粗細**、**長短**、**構造** 不同的鐵鍊與珠鍊。
- 二、 各種**大小**、**厚度**、**寬度**、**重量**（材質）不同的圓環。
- 三、 細棉線、橡膠手套、鋼砂(金鋼砂)



老師結婚喜宴有位來賓表演魔術**喜結良緣**

到處表演，學習誘導觀眾心理

伍、 研究方法

研究一	認識魔術以及探討魔術和本研究的關係。	揭開 魔術的面紗
研究二	對「喜結良緣」的認識。	
研究三	對「喜結良緣」表演的種種問題之探索。	
探索一	對魔咒的魔力、超能力的探索。	
探索二	表演「喜結良緣」的道具動力位移之探索。	喜結良緣 終極解碼 特別篇
探索三	鐵鍊栓住圓環的位置之探索。	
探索四	鐵鍊和圓環的種種關係之探究。 (一)鐵鍊與圓環接觸點和成功率關係。 (二)不同鐵鍊與圓環和成功率關係。	
探索五	鐵鍊栓住圓環整個歷程的呈現之探索。	
研究四	依物理學尋找成功率最高的表演工具。	
探索六	圓環的大小和成功率關係之探索。	喜結良緣 物理理論 見證
探索七	圓環的寬度和成功率關係之探索。	
探索八	圓環的厚度和成功率關係之探索。	
探索九	圓環的重量和成功率關係之探索。	
研究五	喜結良緣最佳表演道具之選擇知多少?	
探索十	鐵鍊長度與圓環大小最佳比例和成功率的關係之探索。	
探索十一	探索成功率較高的道具（鐵鍊、圓環）的選擇方法。 —— 道具優劣猜測遊戲 ——	喜結良緣 遊戲活動
探索十二	設計製作左、右鍊手實驗架。	

陸、研究過程

研究一 認識魔術以及探討魔術和本研究的關係。

(一) **方法**：蒐集有關書籍及網路資料，加以分析整理。

(二) **結果**：

1. 研究內容包括**魔術**的意義，**魔術**對人類的影響，表演**魔術**應有的觀念與態度。(詳細紀錄於附件)。
2. 從電視節目－「**魔術教室**」和「**魔術師之終極解碼**」，我們了解了：魔術之神奇，完全是靠特殊設計的道具；而本研究是依據**物理理論**，將**魔術**「解碼」，並設計製作創意的**解碼裝置**，所以，我們認為本研究中，「喜結良緣」的表演和魔術的關係，只是在於，利用它作障眼，來突顯表演的奇幻！

研究二 對喜結良緣的認識

(一) **已知**：「**喜結良緣**」就是鐵鍊拴住圓環的表演。圓環代表新娘，鐵鍊代表新郎。

(二) **步驟**：

1. 提鍊手（提著鐵鍊的手）以拇指和食指撐起鐵鍊，其餘三指內彎，放於拇指與食指正下方（中間）緊靠手心。
2. 提環手（提著鐵環的手）將圓環由鐵鍊下方，將鐵鍊套在圓環內，再往上提至提鍊手中指上方，將圓環一端平放於中指上方，將圓環另一端提住，使圓環保持水平。
3. 口中唸咒語—**○○我愛您**，同時放開圓環，圓環往下掉，即被鐵鍊拴住。
(表示「**喜結良緣**」表演成功)

研究三 對喜結良緣表演的種種問題之探究。

探索一 對魔咒的魔力、超能力的探索。

(一) **理論**

1. **已知**：魔力（超能力）並沒有獲得現代科學的證實，因為它缺少科學依據。
2. **推導**：
 - (1) 魔術就是「美化錯覺的一種藝術」。
 - (2) 口念魔咒，是魔術師藉著巧妙的道具表演時，為了分散觀眾的注意力，所做的障眼，使表演順利，並顯得神秘。

(二) **實驗**

1. **步驟**：分別做唸魔咒與不唸魔咒成功與失敗關係實驗十次。
2. **結果**：魔咒與成功率關係的實驗紀錄表

為了研究
喜結良緣，老師特地
帶我們到**國立自然科學博物館**
做校外教學。
同時提供我們六套
智慧環遊戲玩具
要大家努力探索

口唸魔咒						口不唸魔咒					
次別	成功	失敗	次別	成功	失敗	次別	成功	失敗	次別	成功	失敗
1	○		6	○		1	○		6	○	
2	○		7	○		2	○		7	○	
3		X	8	○		3	○		8		X
4	○		9	○		4		X	9	○	
5	○		10	○		5	○		10	○	
%	成功率 90%					成功率 80%					
備註	○代表成功 X 代表失敗 道具：①號鐵鍊 ②號圓環										

(三) 檢討

咒語和成功率無關，不唸咒語成功率也高達 80%

探索二 表演喜結良緣的道具動力位移之探索。（喜結良緣的終極解碼特別篇：探索二、三、四、五）(p.3 ~ p.9)

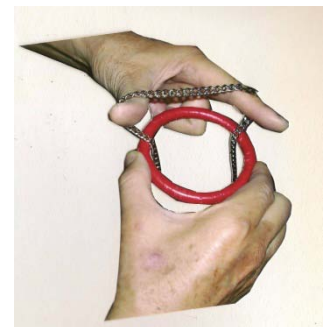
(一) 理論

1. **已知**：物體不需要碰觸就可以位移的力量，只有**重力**和**電磁力**。
2. **推導**：名詞說明
 - (1) **鍊手**—用拇指和食指撐住鐵鍊的手。
 - (2) **環手**—提取圓環的手。
 - (3) **圓環內半段**：圓環靠鍊手中指的半圈段部分。
 - (4) **圓環外半段**：圓環靠環手內的半圈段部分。
 - (5) **鐵鍊內方**：靠鍊手手心之邊。
 - (6) **鐵鍊外方**：靠環手手心之邊。

(二) 實驗

1. 步驟：

- (1) 擺好實驗架，將鐵鍊撐在鍊手拇指、食指上，使鐵鍊往下垂。
- (2) 由鐵鍊下方，將鐵鍊套在圓環內，再往上提至提鍊手中指上方，將圓環一端平放於中指上方，將圓環另一端提住，使圓環保持水平。
- (3) 放開環手，使圓環往下掉，圓環即被鐵鍊拴住。
- (4) 圓環被鐵鍊拴住，表示成功，沒拴住而掉在地上，表示失敗。



2. 結果：實驗結果分別由六個人各自分別紀錄（詳細請看附件）。

(三) 檢討：

「喜結良緣」圓環**位移**，是靠自身重力瞬間往下墜，其速度之快，需用**精密高速攝影機**才能捕捉，我們決定靠我們的腦力激盪，尋求解決之道，於是著手研究。

探索三 鐵鍊拴住圓環的位置之探索

(一) 理論

1. **已知**：將提住圓環的手放開，圓環立即下墜，便被鐵鍊拴住。
2. **推導**：因為圓環往下墜，使鐵鍊從接觸圓環的兩點(處)，由寬向窄收。



中間點
圓環內半段

中間點
圓環外半段

(二) 實驗

1. **步驟**：如 **探索一** 的實驗步驟，進行實驗。
2. **結果**：

鐵鍊拴住圓環位置實驗紀錄表

	圓環內半段			圓環外半段			備註
	右邊	中間	左邊	右邊	中間	左邊	
1	☉ _{1cm}						一、 本記錄表 成績是十 次成功的 紀錄。 二、 ☉表示鐵 鍊拴住圓 環位置。 三、道具 ①號鐵鍊 ①號鐵環
2		☉					
3	☉ _{2cm}						
4		☉					
5		☉					
6			☉ _{1cm}				
7		☉					
8		☉					
9		☉					
10			☉ _{2cm}				
計	2	6	2				
%	20%	60%	20%				
名次	2	1	2				

(三) 檢討

圓環自然靠著鐵鍊往下墜，鐵鍊和圓環接觸點逐漸往上(圓環內半段)收，當圓環由外方穿過鐵鍊到內方後，兩邊鐵鍊也已集中到圓環內半段中間，而拴住圓環內半段中間。

(此詳細狀況，是利用**創意二「鐵鍊拴環」**歷程全程顯示裝置，觀察的結果)

探索四 鐵鍊和圓環的種種關係之探究一

- 一、鐵鍊與圓環接觸點和成功率關係。
- 二、不同鐵鍊與圓環和成功率關係。

表演道具」是指表演「喜結良緣」(鐵鍊控環)的鐵鍊與圓環；「成功率最高的」是指表演「喜結良緣」成功的百分比最高的；鐵鍊和成功率有關的因素：鐵鍊本身的粗細、長短、結構(外型)材質；圓環和成功率有關的因素：圓環寬度、厚度、大小、重量(含材質和重量)。

(一) 理論

1. 已知：

- (1) 由探索一、二、三，知道鐵鍊和圓環兩者一定要有互動，才會成功控住，也就是，兩者一定要互相接觸。
- (2) 鐵鍊本身長短、粗細會影響鐵鍊控環的成功率。
- (3) 圓環的大小、粗細、厚度、寬度、重量(材質)都會影響鐵鍊控環的成功率。

2. 推導：

- (1) 由以上探索、實驗結果得知，兩者互動的動力，是靠圓環自身重量下墜發生的動力，鐵鍊靠圓環穿梭而將它控住。因此兩者需緊靠(相接觸)才能發生互動而成功控住。
- (2) 根據我們所蒐集的資訊，魔術師表演「鐵鍊控環」，都以細鐵鍊和細圓鐵環為道具。可證明細鐵鍊和細圓鐵環的成功較高。
- (3) 由於圓環需穿梭鐵鍊，而圓環的大小、厚度、寬度、重量(材質)會影響穿梭難易度，所以會影響控住的成功率。

(二) 實驗(鐵鍊和圓環接觸點和成功率的關係)

1. 步驟：將圓環、鐵鍊兩者接觸點，如下圖區分為ㄅ、ㄆ、ㄇ、ㄏ四個點。依ㄅ、ㄆ、ㄇ、ㄏ順序，如探索一的實驗步驟，進行實驗。



2. 結果： 鐵鍊與圓環接觸點和成功率關係的實驗記錄表

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合計	成功率 %	名次
內半段	ㄅ	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	9	90	1
	ㄆ	×	○	○	×	○	○	○	○	○	○	8	80	2
外半段	ㄇ	×	×	○	○	×	○	○	×	○	○	6	60	3
	ㄏ	×	×	○	×	○	×	×	○	×	×	3	30	4
備註		○代表成功 x代表失敗 ※道具:利用研究四 A 實驗環												

(三) 檢討

(1) 鐵鍊從圓環大的部位往小的部位滑，較順暢。

(2) 鐵鍊兩邊的距離寬度大，有利於圓環穿過鐵鍊。



(3) 圓環內半段ㄅ點符合以上兩個條件，成功率最高。

(四) 實驗 (不同鐵鍊與圓環和成功率的關係)

1. 步驟：

- (1) 蒐集長、短、粗、細 不同的鐵鍊及大小、粗細、寬度、厚度、重量、材質 不同的圓環。(利用研究四 A、B、C、D、E 實驗環)
- (2) 首先做鐵鍊與圓環接觸與否和成功率關係的實驗。
- (3) 以不同的圓環，如 **探索二** 的實驗步驟，進行實驗。
- (4) 以不同的鐵鍊，如 **探索二** 的實驗步驟，進行實驗。
- (5) 將每個人所做的實驗成功次數詳加記錄比較。

2. 結果：

- (1) 鐵鍊與圓環如果沒有相接觸，鐵鍊就無法拴住圓環，成功率就是 0。
- (2) 由於每人所準備的道具不同，變因很難相同，因此只能由個人各自紀錄。
- (3) 各種圓環和喜結良緣的成功率實驗記錄表

結果項目 人別	大小		寬度		高度		重量(材質)	
	大	小	寬	窄	高	低	輕	重
甲	○			○		○		○
乙		○		○		○		○
丙		○		○	○			○
丁	○			○		○		○
戊	○		○			○		○
己		○		○	○			○
備註	1.本表僅供參考，正確性較薄弱。2.成功率高用○表示。							

3.根據 6 人的實驗紀錄，成功率之比較，歸納如下：

成功率綜合分析比較結果記錄表

道具	結果	結果
鐵鍊	結構	鈎連式 > 串珠式
	型體	細 > 粗
圓環	型體	一、圓體型 > 有角度型 二、體細 > 體粗 三、體低 > 體高 四、體窄 > 體寬
	材質 (重量)	1. 金屬 > 木材、塑膠、布料 2. 重量重 > 重量輕
備註	> 表示優於	

(五) 檢討

- 1.圓體型，體細的鍊較優。
- 2.金屬優於其他材質。
- 3.重量重的優於輕的。
- 4.鐵鍊構造以鈎連式優於串珠式。



探索五 鐵鍊拴住圓環整個歷程的呈現之探索一

環手放開圓環，使圓環立即往下墜，速度之快，肉眼是無法看清，需藉 **高速攝影機** 拍攝；我們無法借到**高速攝影機**，老師要我們自己設計製作 **簡單的間歇攝影裝置**。

一、「鐵鍊拴環」歷程間歇攝影裝置（創意一）

(一) 理論

1. 已知：

- (1) 將不同長度**細線**的一端，分別綁在圓環內半段中點。(細線長度分別以「預定使圓環停留處」和「框架上方掛細線處」的距離長度為準)。
- (2) 利用圓環上的細線可使圓環停留住。

2. 推導：

- (1) 如何使圓環能**間歇停住**是最優先要考慮的。
- (2) 圓環下墜時，可分別用不同長度的細線控制而**停留住**。

(二) 實驗

1. 步驟：

- (1) 設計製作實驗架（先用厚紙板設計製作後，再請專家製作）：用寬 6 cm，厚 0.6 cm 的透明塑膠板製作「高 50 cm 寬 30 cm」的長方形框架。(如下圖)

- (2) 框內上方設鍊手設備，以便撐鐵鍊，並在框架上方中間點設能掛細線的裝置。
- (3) 分別以細線最短的圓環，依探索二的實驗步驟，進行實驗，再依細線長短順序，重複操作進行實驗，每次實驗成功時，立即拍照（鐵鍊、鐵環都用①號鐵鍊和①號圓環）。

2. 結果：(1)將實驗成功的歷程中，三次間歇點呈現如下：



(三) 檢討：

本實驗裝置，可以將整個歷程間歇點明顯的顯示出來，但無法一次連貫的呈現「鐵鍊拴環」過程。

二、 「鐵鍊拴環」歷程全程顯示裝置（創意二）

(一) 理論

1. 已知：

實驗架本來是上下直立，圓環是靠自身重量往下墜。如果將實驗架改以水平放置，改用手拉動使圓環位移，就可以自由控制它的速度。

2. 推導：

圓環上下動向，改為水平前後動向，則圓環位移的速度就由無法控制的快速，變成可以控制自如的慢速度。

(二) 實驗

1. 步驟：

- (1) 利用木板製成 43cm× 15cm× 3cm 的木框，再用黑色布封底，做成圓環移動路線板，加上實驗裝置，便成「鐵鍊拴環歷程全程顯示裝置」。
- (2) 將比鐵鍊長的細線一端鉤在圓環外半段中間點(棉線需放在鐵鍊內邊)。

(3) 拉動棉線即變成圓環內半段在後，外半段在前緩慢拉動棉線，便清楚的看到鐵鍊拴住圓環的整個歷程。(用 ① 號鐵鍊 ① 號鐵環)

2. 結果:



(三) 檢討

可以清楚的看到圓環位移歷程及被鐵鍊拴住的詳細過程。

研究四 依物理學尋找成功率最高的表演道具一

- 一、本研究實驗用的圓環，都是根據物理學理論設計，至少含有四個變因：製作各種大小、寬度、厚度、重量的 A、B、C、D、E 實驗環(詳如附件)(創意四)。
- 二、我們設計的圓環尺寸太小，專家無法製作，只好改用專家所能製作的最小尺寸。
- 三、由於大圓環無法用左右鍊手做實驗，所以，另外設計製作60cm x 20cm的大實驗裝置。
- 四、標準實驗內容: 1. A vs B 2. A vs C 3. A vs D 4. A vs E
- 五、本研究係「四大基本因素對成功率的影響力」之「比較特別篇」。

註①單元實驗：同一時段，以 A 實驗環做實驗 10 次，其他任何一種實驗環也做 10 次。

(每一單元實驗定要同一個人操作)

②系列實驗：完成 A vs B, A vs C, A vs D, A vs E, 四個單元實驗稱之。(每人至少完成一大系列實驗)

探索六 圓環的大小和成功率關係之探索 (A vs B)

(一) 理論

1. 已知：

圓環大小不同，其**寬度**、**厚度**、**重量**都相同。

2. 推導：

(1) A 環：

- ① 內環直徑不能大於鍊手撐開鐵鍊的寬度，圓環直徑不能小於鐵鍊二分之一。
- ② 重量以 D 環重量為依據，注入**鋼砂** 成為**基準環**。(附件一)

(2) B 環：設計大小兩種實驗環，尺寸為比 A 環大及比 A 環小兩種，再注入**鋼砂**，做成和 A 環同重量的實驗環。

1. 步驟：

(1) 利用 A、B 兩個實驗環，分別在實驗架上，用同一鐵鍊作 10 次「**鐵鍊拴環**」實驗。
(A VS B)

(2) 以兩個實驗環成功率的差距做比較。(差距愈大表示成功率愈差)

2. 結果： 大小實驗環的鐵鍊拴環結果總統計表 (A vs B)

	基準環 (A 環)		大小環 (B 環)		成功率差距	備註
甲	大	80 %	30 %		50 %	大：表示比 A 環大 小：表示比 A 環小 大、小指會成功的範圍內 成功率差距愈大表示成功率愈差
	小	80	40		40	
乙	大	90	30		60	
	小	90	40		50	
丙	大	90	30		60	
	小	90	40		50	
丁	大	80	30		50	
	小	90	50		40	
戊	大	90	30		60	
	小	80	40		40	
己	大	80	30		50	
	小	90	40		50	
平均	大	85	30		55	
	小	86.6	41.6		45	

(二) 檢討

1. 每次實驗，手提實驗環時，手握圓環的**握法**、**位置**、**高度**均要一樣。
2. 無法製造較小的實驗環是最大遺憾。

探索七 圓環的寬度和成功率關係之探索 (A vs C)

(一) 理論

1. **已知**：實驗環的寬度，是指鐵環本身寬度，需注入**鋼砂**，使它和 A 環**同重量**。
2. **推導**：圓環寬度大，圓環內周就小，造成撐鐵鍊的寬度變小，而使得圓環較難穿過鐵鍊。

(二) 實驗

1. **步驟**：利用 A、C 兩個實驗環，依**探索六**的步驟進行實驗。
2. **結果**： 不同寬度的實驗環**鐵鍊拴環**實驗結果總統計表 (A vs C)

	基準環 (A 環)	寬的環 (C 環)	成功率差距	備註
甲	80 %	70 %	10 %	%指成功率 寬度 指會成功範圍內 成功率差距越 大表示成功率愈 差。
乙	80	70	10	
丙	80	70	10	
丁	80	60	20	
戊	90	70	20	
己	80	60	20	
平均	82	67	15	

(三) 檢討

1. **寬度**=大外圓直徑減小內圓直徑 (實驗環鐵管寬度)。
2. 寬度越大, 表示大外圓直徑和小內圓直徑的差距越大, 內圓直徑變小, 也表示鐵環要穿過鐵鍊難度越高, 因此成功率越低。

探索八 圓環的厚度和成功率關係之探索 (A vs D)

(一) 理論

1. **已知**: **厚度**是指圓環本身上下高度, 厚度會影響圓環穿過鐵鍊的動作。
2. **推導**: **D** 環為五個實驗環未調節重量前, 最重的實驗環, 因此 **D** 環重量可當**基本重量**。

(二) 實驗

1. **步驟**: 利用 **A**、**D** 兩個實驗環, 依 **探索六** 的步驟進行實驗。
2. **結果**: 不同寬度的實驗環鐵鍊栓環實驗結果總統計表 (A vs D)

	基準環 (A 環)	厚的環 (D 環)	成功率差距	備註
甲	90 %	80 %	10 %	%指成功率 厚度 指會成功範圍內 成功率差距越 大表示成功率愈 差。
乙	90	70	20	
丙	100	80	20	
丁	80	80	0	
戊	80	70	10	
己	90	70	20	
平均	88	75	13	

(三) 檢討

圓環厚度 越大, 下列不利因素就越大。

1. 圓環穿過鐵鍊的動作難度。
2. 和圓環接觸點互動難度。

探索九 圓環的重量和成功率關係之探索 (A vs E)

(一) 理論

1. 已知
 - (1) 研究四的全部實驗因素為**大小**、**寬度**、**厚度**、**重量**四種因素。

- (2) 探索九以實驗環的**重量**為變因，實驗環的**大小、寬度、厚度、材質**均相同。
 (3) 不經過碰觸可以移動物體的力量，只有**重力**和**電磁力**，而圓環位移是靠**重力**。

2. 推導:

- (1) A 環和 E 環是材質、**大小、寬度、厚度**均相同的兩個圓環，將 A 環注入**鋼砂**，而 E 環沒有注入**鋼砂**，形成 2 個重量不同的實驗環。
 (2) 圓環的重量和圓環的位移(下墜)速度成**正比**(重量大，位移速度快)。

(二) 實驗

1. 步驟:

- (1) E 環的製作:利用和 A 環同材質的小鐵管，製成和 A 環**大小、寬度、厚度**均相同，且沒加**鋼砂**的實驗環。
 (2) 利用 A、E 兩個實驗環，依 **探索六** 的步驟進行實驗。

2. 結果: 不同重量的實驗環鐵鍊栓環實驗結果總統計表 (A vs E)

	基準環 (A 環)	重量環 (E 環)	成功率差距	備註
甲	100 %	90 %	10 %	%指成功率 重量 指會成功範圍內 成功率差距越 大表示成功率愈 差。
乙	90	80	10	
丙	90	80	10	
丁	80	70	10	
戊	90	80	10	
己	90	80	10	
平均	90	80	10	

(三) 檢討

1. **重量**和**速度**息息相關，但如**重量**在可能成功範圍內，**影響力**比其他三因素稍小。
 2. 四大因素和 A 環實驗差距統計表

因素別	基準環 (A 環)	重量環 (E 環)	成功率差距
A vs B	大	85 %	30 %
	小	86.6	41.6
A vs C	82	67	15
A vs D	88	75	13
A vs E	90	80	10
備註	成功率差距比: B > C > D > E		

所以四大因素**成功率** 排行榜 E > D > C > B

影響力 排行榜 B > C > D > E

研究五 「喜結良緣」 「最佳表演道具之選擇」 知多少

探索十 鐵鍊長度和圓環大小最佳比例和成功率的關係之探索

(一) 理論

1. **已知:**經由以上九個探索，了解鐵鍊型體、構造及圓環的大小、寬度、厚度、重量對成功率的影响。
2. **推導:**
 - (1) 分別選出成功率較高的大小鐵鍊及圓環，實地操作實驗，求出兩者最佳比例。
 - (2) 鐵鍊長度是指從**鍊手中指**鐵環開始下墜起點)到**鐵鍊末端**的長度(此長度 X 2 +中指以上部分 = 實際長度)
 - (3) 圓環大小以直徑長度為準。

(二) 實驗

1. 步驟:

- (1) 利用探索五和探索六、七、八、九 的實驗裝置。
- (2) 鐵鍊以 **1 號鐵鍊**和 **10 號鐵鍊**為對象，圓環以 **1 號鐵環**和探索六的 **A、C、D 實驗鐵環**為對象，依探索六(七、八、九)步驟，進行實驗。

2. 結果: 鐵鍊、圓環最佳比例實驗記錄表

鐵鍊長度	圓環直徑長度	成功率	最佳比例
1 號鐵鍊長 28cm (探索五實驗裝置)	1 號鐵環直徑 5.5cm	95%	約 5 倍
	2 號鐵環直徑 3.8cm	70%	約 7.3 倍
10 號鐵鍊長 50cm (探索六、七、八、九實驗裝置)	A 號鐵環直徑 12.5cm	90%	約 4 倍
	C 號鐵環直徑 12.5cm	85%	約 4 倍
	D 號鐵環直徑 12.5cm	85%	約 4 倍
備註	本表成功率均是做 20 次的結果(附件實驗記錄簿)		

(三) 檢討

1. 鐵鍊以 **1 號鈎連式** 最佳，但如果鐵環較粗大，則須用 **10 號鐵鍊**，應看圓環的大小而改變。
2. 鐵鍊和鐵環的比例，以鐵鍊長為圓環**直徑的 4~5 倍**最佳，但也應看圓環的**重量**有所改變(圓環重鐵鍊稍長一些，圓環輕鐵鍊稍短些)。

探索十一 探索成功率較高的道具(鐵鍊與圓環)的選擇方法(創意五：道具優劣猜測遊戲)

(一) 理論

1. 已知:

- (1) 從探索六、七、八、九、十的學習中，了解各種鐵鍊、圓環和成功率的關係。
- (2) **道具優劣猜測遊戲** 的遊戲目標，遊戲規則詳細條文。(附件)
- (3) **道具優劣猜測遊戲**的 實驗，無法兼顧四大變因，僅根據實驗的一個或兩個變因進行實驗，是美中不足之處。

2. 推導:

---- ⊙鐵鍊 ----

- (1) 把鐵鍊依**粗細、構造、材質**分別整理成兩條一套，當一**小單元**，並各有代號。

- (2) **鐵鍊優劣猜測遊戲**，須固定的**圓環**為實驗對象(1 號圓環為對象)。
- (3) 因每條鐵鍊長短不一，為使「圓環和鍊手中指碰觸點」到鍊尾的長度同長，過長的在鍊手上調整。

—— ⊙圓環 ——

- (1) 把圓環分別整理成兩個或三個為一套，當一**小單元**並各有代號。
- (2) **圓環優劣猜測遊戲**，需以固定的**鐵鍊**為實驗的對象(1號鐵鍊)。



(二) 實驗

—— ⊙鐵鍊 ——

1. **步驟**:如附件，遊戲規則及方法(略)。
2. **結果**: 將猜測結果詳細記錄，並均附在每小單元道具背後(略)。

—— ⊙圓環 ——

1. **步驟**:詳細過程如附件遊戲規則及方法。
2. **結果**: 將猜測結果詳細記錄，並均附在每小單元道具背後。



(三) 檢討

由於收集的道具都是在實驗條件不完備的情況下，僅依據探索的學習經驗及表演技巧的熟練進行實驗，求出的答案並非十分完整，但也得到令人出乎意料的成果。

探索十二 設計製作左、右鍊手實驗架

(一) 理論

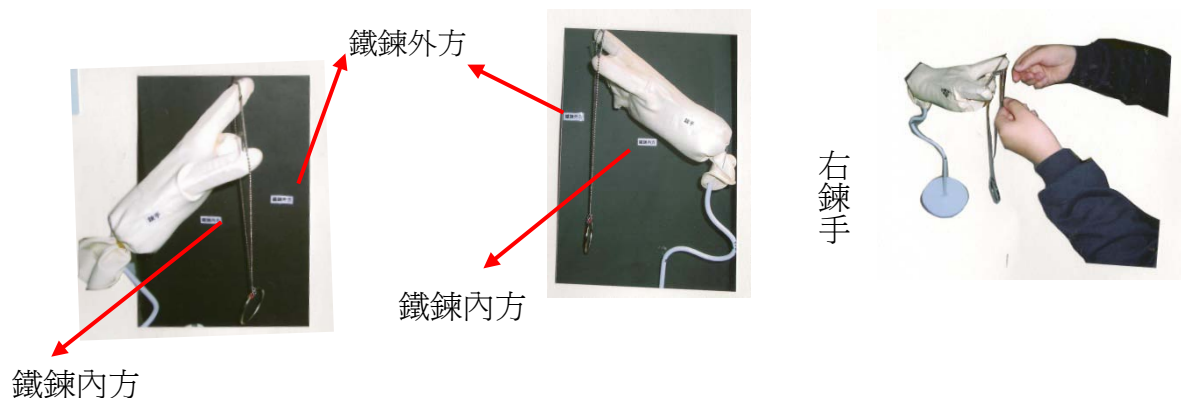
1. **已知**: 由於在探索十一的過程中，每個人實驗操作手法有相當程度的差異，**恐對準確度有影響，同時又較費時間**。
2. **推導**:為了求得較準確結果，特利用**手套、細砂、鐵架**設計製作**左、右鍊手實驗架**，以改善人為的不確定性缺點，**提高準確度**。

(二) 實驗

1. **步驟**: 依據探索十一的道具，改用**左、右鍊手實驗架**進行實驗操作。(創意三)
2. **結果**:呈現較穩定客觀的實驗結果，並較省時。

(三) 檢討

由於鍊手固定不變，並可隨時調整作為較大道具的實驗用裝置，可以**改善人為操作因素的缺點，同時較省時**。



我們在研究五過程中，不斷的操作實驗，在「鐵鍊拴環」表演手法純熟度增進不少，對選擇成功率較佳的道具的能力更提升不少。

柒、 討論

一、 「喜結良緣」表演成功的四大因素的影響力解析:

- (一) 方法:大家依據十二個探索，實地操作，經分析、歸納討論後，再加以整理。
 (二) 結果:

1. 四大變因對成功率影響力解析記錄表

項目	四大因素影響力認定	內容說明
1	大小 > 重量 (影響力大於)	圓環太大或太小都無法表演「鐵鍊拴環」活動。
2	寬度 > 重量	圓環寬度大，則鐵鍊和圓環接觸的寬度(表演空間)相對變小，使圓環本身要穿越鐵鍊的難度增加。
3	厚度 > 重量	厚度影響鍊環接觸的滑度，同時圓環要穿越鐵鍊的難度增加。
4	大小 > 寬度	環大於鐵鍊的寬度，則兩者不會接觸，太小則鐵鍊移動不靈活，同時重量輕，速度較慢，兩者互動就
5	寬度 > 厚度	厚度、寬度都直接影響到「鐵鍊拴環」的表演成功率。
6	大小 > 厚度	大小和厚度都直接影響到「鐵鍊拴環」表演的成功率。

2. 四大變因影響力排行榜

大小 > 寬度 > 厚度 > 重量

二、 標準的圓環實驗器至少應該含有哪些變因?

- (一) 標準的實驗環至少應具備四個變因: (1) 大小 (2)寬度 (3)厚度 (4)重量等變因。
- (二) 要設計製作含有四個變因的實驗圓環難度很高。經我們努力利用小塑膠管設計製成模型後，再請專家製作，終於完成這些實驗裝置。(創意四) (詳細請看實物及附件說明)。

捌、結論

- 一、 **喜結良緣**表演，鐵鍊能自動拴住圓環，是瞬間發生的結果，其歷程用肉眼無法觀察清楚看出來，我們的創意設計製作的「**鐵鍊拴環歷程間歇攝影裝置**」(創意一)與「**鐵鍊拴環歷程全程顯示裝置**」(創意二)，實驗成果非常好，堪稱是「**小兵立大功**」的攝影裝置。
- 二、 由十二個探索得知：表演用的鐵鍊採用凹凸較小的**鈎連式**比**串珠式**好，同時**細**比**粗**好。
- 三、 成功表演**喜結良緣**的直接解決方法(秘訣)是：
圓環**碰觸鍊手中指**，使圓環外半段朝下方，順著鐵鍊往下墜，由於**鐵鍊的引導**及**圓環的慣性**，使圓環由**鍊外邊往內邊穿過鍊而被拴住**，絕非靠咒語魔力。
- 四、 選擇成功率最高的圓環變因有**大小、寬度、厚度、重量**四個基本條件，首先淘汰**太大**或**太小**，再去除**寬度、厚度大的**，最後選擇**重量大的**。
- 五、 「**喜結良緣**」表演成功四大變因的影響力解析：
大小 > 重量 ， 寬度 > 重量 ， 厚度 > 重量
大小 > 寬度 ， 寬度 > 厚度 ， 大小 > 厚度
所以四大變因影響力大小排行榜： 大小 > 寬度 > 厚度 > 重量
- 六、 **喜結良緣**表演成功的要件：
 - (一) 必須有**純熟的手法** — 表演者的**手**要比**眼睛**快。
 - (二) 要能**誘導觀眾心理** — 要了解大眾對「**喜結良緣**」的看法(了解觀眾的心理)。
 - (三) 要有**良好的表演心態** — 為觀眾帶來娛樂，讓大家看得如痴如醉。
- 七、 **喜結良緣**表演道具**鐵鍊**以**1號鈎連式**最佳，**圓環**以**1號鐵環**最佳。鐵鍊的長度以**圓環直徑的4倍~5倍**最佳。
- 八、 本作品並非只是神奇的魔術表演而已，而是透過表演技巧，來達成看似神奇的**物理學轉動慣量的呈現**，是一項**慣性的原理**。因此可稱爲是**物理原理的解碼**，絕非**魔術的魔力**。

玖、心得

- 一、 我們將探索二、三、四、五認定爲**喜結良緣**的解碼特別篇。
- 二、 **轉動慣量**，又稱**慣性矩**(慣性法則)，可說是一個物體對於旋轉運動的**慣性**。也是一項類似慣性的道理。
- 三、 在學理上，鐵鍊自動拴環，便是利用**物理學轉動慣量的慣性原理**所造成的。
- 四、 其實**喜結良緣**(鐵鍊拴環)並不是每次都會成功，這和表演用的鐵鍊、圓環、表演技巧都

有關係，因此我們就把研究重點放在：用**物理學理論**去探索**成功率最高的表演道具及純熟的手法**。

五、所謂「最快、最直接的解決方法」，也就是達成「**鐵鍊拴環**」的秘訣為：要讓圓環碰到鍊手的中指；其原理是圓環碰到中指後，因它的旋轉運動的慣性，穿過鐵鍊而被拴住。

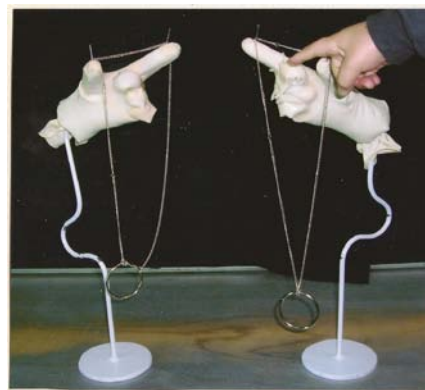
六、我們在進行研究的過程中，最大心願是：

發揮我們的創意，以縝密的思維，透過人人喜愛的魔術表演技巧，把**奇幻魔術轉變為**「天馬行空玩物理」，並在探討**物理理論**的實驗過程中，以物理學「**轉動慣量**」的理論，破除了大家對魔術不正確的認知。

壹拾、 參考文獻

1. 劉謙（民94）。**啊！敗給魔術**。臺北市：高寶。
2. 林慶旺（民82）。**趣味的科學魔術**。臺北市：大展。

附件



左、右鍊手實驗架
取代我們的手



同學表演喜結良緣情形



實驗環正確握法

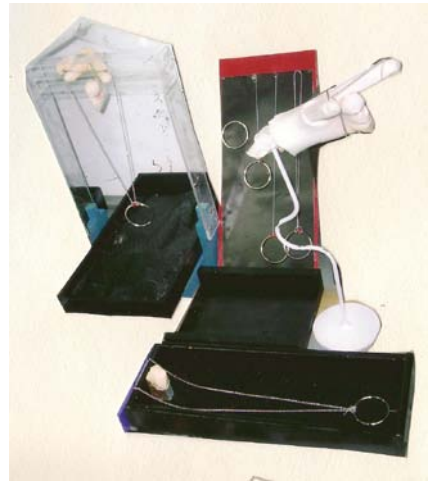
標準實驗環實驗裝置(大實驗架)



操作標準實驗環實驗情形



我們所蒐集的圓環



我們所蒐集的鐵鍊

【評語】 080121

探討魔術背後的物理原理是不錯切入角度，表現相當活潑有趣。