

【2022 全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

高中（職）組 成果報告表單

題目名稱：探討電磁砲影響發射威力之因素

一、摘要：

探討不同單位長度之線圈匝數、電容值及電容儲存電壓值三個變因與電磁砲威力關係，並討論三個分析方法 Tracker 軌跡追蹤、碰撞與水平拋射的準確性。實驗可知單位長度之線圈匝數、電容值與電容儲存電壓值越高，電磁砲威力越大。而水平拋射分析法之不同變因相關係數皆大於 0.95，最適當用於此實驗。

二、探究題目與動機

有一次突然從網路影片及動畫情節中發現電磁砲有摧毀戰爭一切的能力，好奇如何充電與如何釋放巨大的能量，有足夠的威力去破壞東西，想透過實作來了解電磁砲的原理外，也試著找出提升威力的實驗方法，並觀察電磁砲的破壞程度，故選擇電磁砲此題目來作研究。

三、探究目的與假設

(一) 目的:如何讓電磁砲威力更強?

(二) 假設:

1. 改變不同電容儲存電壓會使鐵釘出口速度更快嗎?
2. 改變不同單位長度之線圈匝數會使鐵釘出口速度更快嗎?
3. 改變不同電容容量會使鐵釘出口速度更快嗎?
4. 比較不同物理方法分析鐵釘出口速度更快嗎?

四、探究方法與驗證步驟

(一)改變電容器充電電壓值，探討其與鐵釘出口速度之關係

表 1 各單位長度之匝數，52 匝/cm (300 匝、管長 6cm)、53 匝/cm (400 匝、管長 7.6cm)、75 匝/cm (500 匝、管長 6.7cm)、86 匝/cm (600 匝、管長 7cm)之鐵釘出口速度與電容儲存電壓值之實驗數據

單位長度之匝數(匝/cm)/鐵釘出口速度(cm/s)	電容儲存電壓值(V)						
	100	150	200	250	300	350	400
52匝/cm	8.8	13.6	18.2	27.3	37.5	46.2	54.5
53匝/cm	9.0	16.2	30.0	50.0	75.0	100.0	120.0
75匝/cm	17.6	25.0	35.3	66.7	100.0	120.0	150.0
86匝/cm	18.2	26.1	54.5	85.7	120.0	200.0	300.0

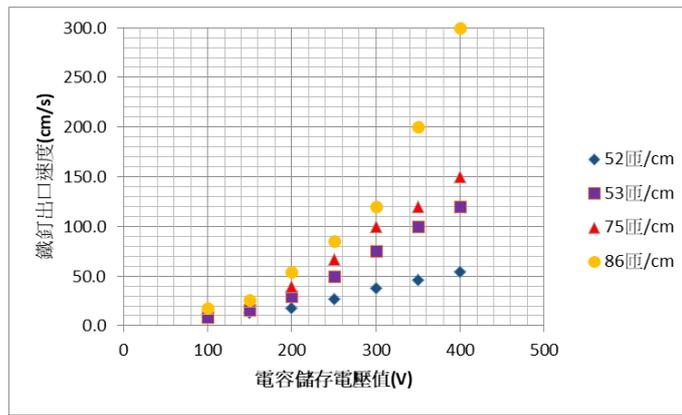


圖 5 各單位長度之線圈匝數，鐵釘出口速度與電容儲存電壓值關係圖

(二)改變單位長度之線圈匝數，探討其與鐵釘出口速度之關係

表 2 各電容儲存電壓值，鐵釘出口速度與單位長度之線圈匝數之實驗數據

電容儲存電壓值(V)/ 鐵釘出口速度(cm/s)	單位長度之線圈匝數(匝/cm)			
	52	53	75	86
100V	8.8	9	17.6	18.2
150V	13.6	16.2	25	26.1
200V	18.2	30	35.3	54.5
250V	27.3	50	66.7	85.7
300V	37.5	75	100	120
350V	46.2	100	120	200
400V	54.5	120	150	300

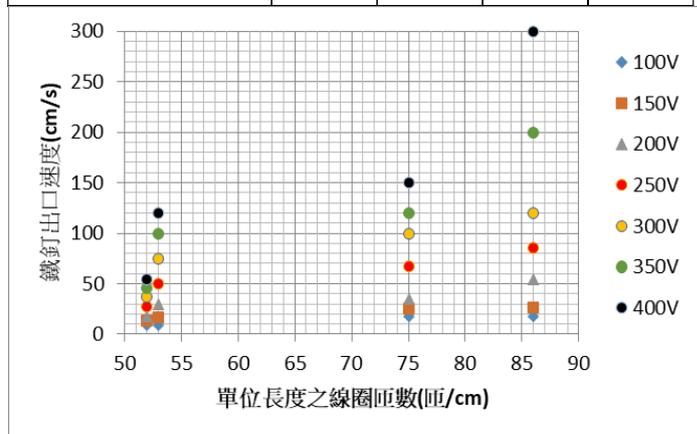


圖 6 各電容儲存電壓值，鐵釘出口速度與單位長度之線圈匝數關係圖

(三)改變電容容量值，探討其與鐵釘出口速度之關係

表 3 各電容容量值，車撞後移動距離與電容儲存電壓值之實驗數據

電容值(uF)/ 鐵釘出口速度(cm/s)	電容儲存電壓值(V)						
	100	150	200	250	300	350	400
220	16.22	25.13	29.02	34.03	36.64	39.74	45.02
68	0.00	0.00	12.57	16.06	18.36	21.40	27.82
47	0.00	0.00	0.00	7.26	14.51	17.77	21.40
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.26

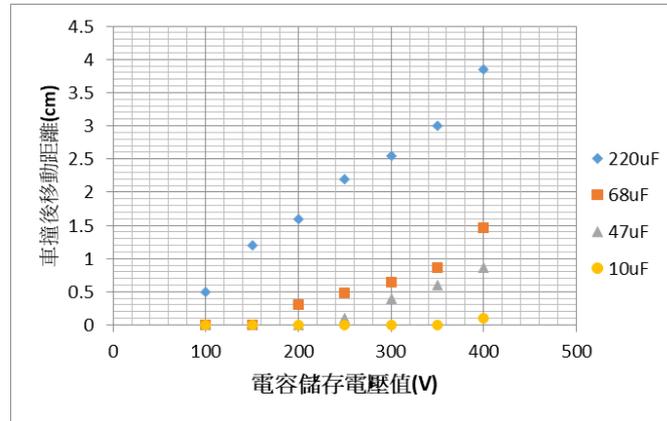


圖 7 各電容容量值，車撞後移動距離與電容儲存電壓值之實驗圖

(四) 探討不同物理方法找出鐵出口速度下之比較

表 4 方法一 鐵釘出口速度與電容儲存電壓之回歸曲線方程式及相關係數表

方法一	回歸線方程式	相關係數R ²
300匝 52匝/cm	$y=0.1582x-10.112$	0.9841
400匝 53匝/cm	$y=0.4622x-41.359$	0.9739
500匝 75匝/cm	$y=0.3898x-40.279$	0.9765
600匝 86匝/cm	$y=0.8991x-109.84$	0.8944

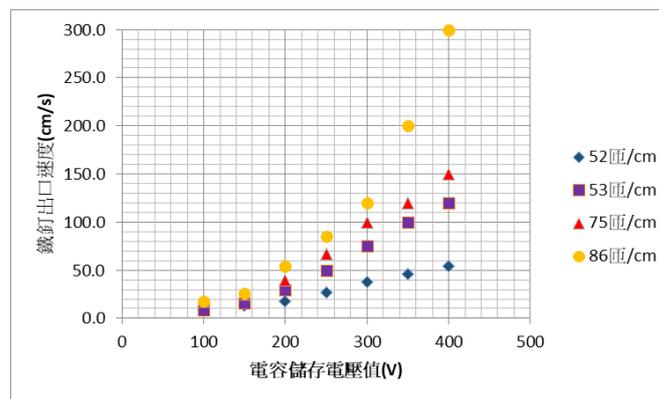


圖 8 方法一 tracker 定位放電瞬間與鐵釘出口瞬間找出平均速度

表 5 方法二 車被撞後移動距離開根號與電容儲存電壓之回歸曲線方程式及相關係數表

方法二	回歸線方程式	相關係數R ²
300匝 52匝/cm	$y=0.0028x+0.0613$	0.9408
400匝 53匝/cm	$y=0.0042x-0.0643$	0.9952
500匝 75匝/cm	$y=0.0039x+0.2968$	0.9935
600匝 86匝/cm	$y=0.0038x+0.447$	0.9691

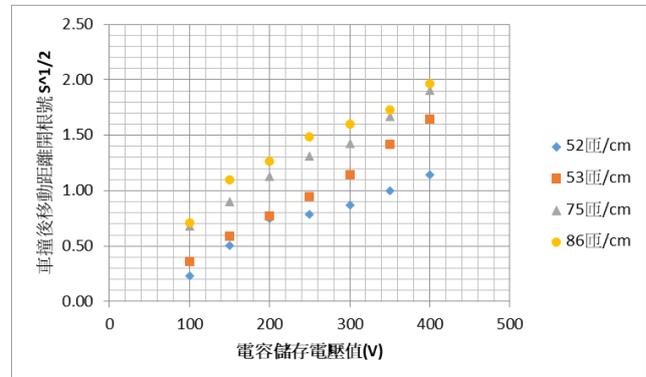
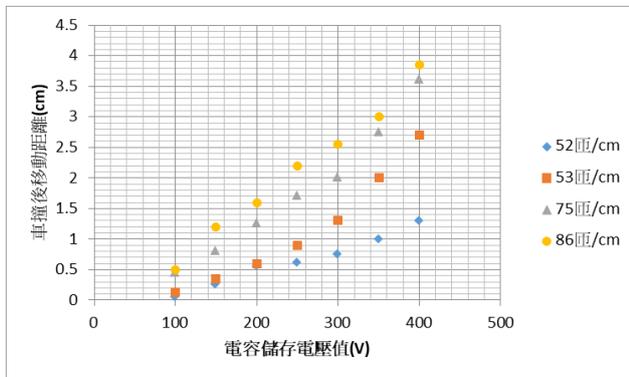


圖 9 方法二 樂高車被鐵釘撞後移動距離找出鐵釘出口速度關係

表 6 方法三 鐵釘水平發射速度與電容儲存之回歸曲線方程式及相關係數表

方法三	回歸線方程式	相關係數R ²
300匝 52匝/cm	$y=1.0721x-81.141$	0.993
400匝 53匝/cm	$y=1.0739x-40.46$	0.9674
500匝 75匝/cm	$y=1.0176x-17.754$	0.9503
600匝 86匝/cm	$y=1.6821x-84.556$	0.992

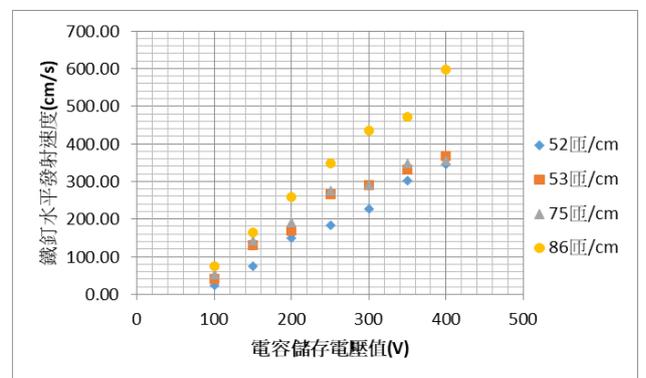
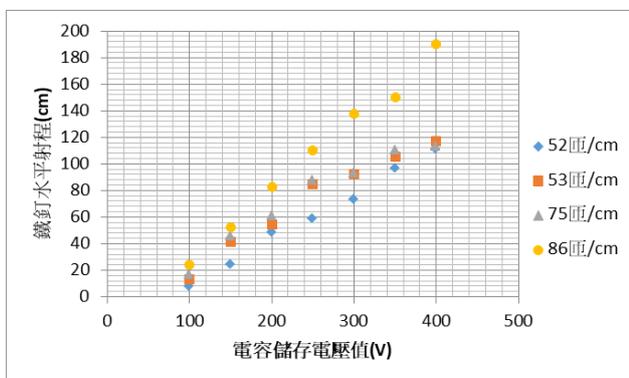


圖 10 方法三 鐵釘水平射程與發射高度找出鐵釘出口速度

(五)實驗結果分析

1. 各單位長度之線圈匝數實驗圖，可發現電容儲存電壓值越大，鐵釘出口速度越大(圖 8)。電容器儲存電壓值越高，電阻固定下，電容放電產生電流越大，使線圈產生磁場與鐵釘感受磁場變化越強，導致磁吸引力越強，鐵釘加速飛出速度越快。而相關係數值可發現單位長度之線圈匝數小者，電壓值與出口速度呈正相關(圖 9-圖 11)，其大者正相關性降低(圖 12)。

2. 各電容儲存電壓值實驗圖，可發現單位長度之線圈匝數越大，鐵釘出口速度越大(圖 13)。單位長度之線圈匝數越大，使線圈產生磁場與鐵釘感受磁場變化越強，導致磁吸引力越強，鐵釘加速飛出速度越快。而各電容儲存電壓圖無法看出單位長度之匝數與出口速度有正相關性(圖 14-20)。
3. 各電容容量值實驗圖，可發現電容容量值且其儲存電壓越大，車撞後移動至停止距離越大(圖 21)。電磁砲從電能轉成磁能再轉成鐵釘動能，透過直線彈性碰撞、功能定理及電容儲存電能之下式(1)(2)(3)可知鐵釘出口速度與車移動距離 s 開根號成正比，且電容儲存電能與電容容量值、電容儲存電壓值有關，故增加電容容量值與儲存電壓能使鐵釘獲得更大動能，其出口速度越大，車被撞擊後移動距離也越大。從車移動距離與儲存電壓平方圖可驗證能量轉換的觀點(圖 22-24)。

$$\text{直線彈性碰撞: } V_{\text{車}} = \frac{2m_{\text{釘}}}{m_{\text{車}}+m_{\text{釘}}} V_{\text{釘}} \rightarrow V_{\text{釘}} = \frac{m_{\text{車}}+m_{\text{釘}}}{2m_{\text{釘}}} V_{\text{車}} \text{---(1)}$$

$$\text{功能定理: } -fs = 0 - \frac{1}{2} m_{\text{車}} V_{\text{車}}^2 \rightarrow V_{\text{車}} = \sqrt{\frac{2fs}{m_{\text{車}}}} \rightarrow V_{\text{釘}} = \frac{m_{\text{車}}+m_{\text{釘}}}{2m_{\text{釘}}} \sqrt{\frac{2fs}{m_{\text{車}}}} \propto \sqrt{s} \text{---(2)}$$

$$U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} m_{\text{釘}} V_{\text{釘}}^2 = \frac{1}{2} m_{\text{釘}} \left(\frac{m_{\text{車}}+m_{\text{釘}}}{2m_{\text{釘}}} \right)^2 \left(\frac{2fs}{m_{\text{車}}} \right) \rightarrow V^2 \propto s \text{---(3)}$$

4. 方法一 Tracker 分析且由式(3)可推得鐵釘出口速度與電容儲存電壓成正比，透過相關係數值可知 86 匝/cm(正相關性較小，因鐵釘出口速度越快，Tracker 調至最慢速分析，仍無法精準追蹤鐵釘。方法二量測車碰撞後移動距離且由(3)可推得鐵釘出口速度正比於電容儲存電壓且正比於車撞後移動距離開根號，可透過儲存電壓與距離根號圖找相關性來驗證上述，52 匝/cm(正相關性較小，因鐵釘出口速度較小，撞擊樂高車效果較不明顯，無法精準找到移動距離。方法三量測水平射程與發射高度且由(3)(4)可推得鐵釘水平發射速度且正比於電容儲存電壓，相關係數皆大於 0.95，正相關性明顯。

$$R = V_x \cdot t = V_x \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}} \rightarrow V_x = R \sqrt{\frac{g}{2h}} \text{---(4)}$$

五、結論與生活應用

(一)結論:

1. 增加單位長度之線圈匝數、電容容量與電容儲存電壓值會使電磁砲威力增強，且使被撞樂高車移動距離越大，故破壞程度越大。
2. 從相關係數值判斷分析方法中選擇水平拋射最適當，因相關係數皆大於 0.95，可避免方法一 86 匝/cm 條件下鐵釘速度快無法用 tracker 追蹤及方法三 52 匝/cm 條件下鐵釘速度慢無法用碰撞觀察。

(二)生活應用:

1. 利用電磁砲沿著導軌發射砲彈作為戰爭武器
2. 利用電磁砲當槍作為射靶遊戲來射氣球
3. 利用電磁砲加速器作為車輛的推進器，給車輛一個極大的初始速度，節省燃料成本

參考資料

1. 【Fun 科學】超·電磁砲(噴飛的硬幣)，佑來了頻道，2019 年 8 月 22 日上映，取自：<https://www.youtube.com/watch?v=sKcblMlayts>。
2. DIY 電磁砲！原來這種科學射擊裝置是這麼容易製作的嗎！？【胡思亂搞】，胡子 Huzi 頻道，2020 年 5 月 23 日上映，取自：<https://www.youtube.com/watch?v=5NWkYHwPCII>。
3. 真·電磁槍！胡子終於做出會被關切的電磁射擊裝置了嗎？【胡思亂搞】，胡子 Huzi 頻道，2020 年 6 月 27 日上映，取自：https://www.youtube.com/watch?v=h_5YEyR9aP0。
4. 曾學謙，電蚊拍電路的研究，小論文工程技術類，國立台灣師範大學附屬高級中學，指導教師陳忠城。取自：<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2015/11/2015110722244196.pdf>。
5. 潘楷彥、曾祥智、侯正皓，電磁炮!真的還假的?，小論文物理類，永平高中，指導教師黃春盛，取自：<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2017/04/2017040509210070.pdf>。
6. 黃英凱、李資怡，電磁炮線圈炮發射速度之探討，小論文物理類，中和高中，指導教師林輝皓，取自：<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2015/03/2015033018185046.pdf>。
7. 張書誠老師，高中基本電學電容，桃園農工電子科，DeltaMOOCx 台達磨課師是高中/高工及大學的免費公益磨課師 (MOOCs) 平臺，取自: 5-1 電容器_5-1.1 電容器的構造與原理 <https://www.youtube.com/watch?v=33C-NaLeRr0>，5-1 電容器_5-1.2 電容器的種類規格與標示 <https://www.youtube.com/watch?v=iXoLslxtvzQ>。
8. 清華大學物理林秀豪教授，108 課綱選修物理 I(龍騰版)，第三章平面運動 3-3 水平拋射 p.74-76。
9. 清華大學物理林秀豪教授，108 課綱選修物理II(龍騰版)，第三章牛頓運動定律的應用 3-3 碰撞 p.130-141。