

投稿類別：物理類

篇名：空想科學中的超電磁砲（RAILGUN）探討

作者：

黃鼎翔。市立東山高中。高二5班

指導老師：陳俊清 老師

## 壹●前言

「看著吧！透過稜鏡在這個地球上搜索，只有我的超電磁砲能射穿一切，那確實的預感，正在身體裡以光速般在身體四處奔流。解放吧！深刻於心的夢想，連同未來一起放下，極限什麼的我不知道，因為那沒有意義！用這份能力，將光芒驅散，連同遙不可及的思念！」這是《科學超電磁砲》的動畫中的OP 1《Only my raulgun》中的一段歌詞；超電磁砲在這個世界是否真如小說當中強大呢？這值得我去探討研究。

### 一、研究動機

最近看了一本小說《魔法禁書目錄》和他的外傳《科學超電磁砲》，裡面的某個角色的招牌能力便是以三倍音速射出的超電磁砲！在許多戰鬥風格的作品裡，操縱電力，也就是電能力者並不是什麼稀有的設定，但是經由電流，產生磁場，並將物體投射出去的設定倒是頭一次見到；一般都只是產生超高電壓來攻擊敵人，但這部作品應用了電生磁、磁生電的概念，產生了諸如讓身體吸附在大樓的鋼骨、吸附周圍物體以形成防護罩……等等，其中最吸引我的便是「超電磁砲」了！

我想根據原作中所描述的狀況，試著能不能以這個世界，也就是地球這個三次元空間的物理現象來解釋原作中的情況。目前，超電磁砲還在實驗階段，若要應用在實戰中似乎還有點距離，我相信這研究能讓我更加了解超電磁砲；同時，我也想藉由這份論文來改變社會上大多數家長「看動畫漫畫就是幼稚的行為」這種極為錯誤的偏見，世間萬物不存在幼稚不幼稚，有心研究也能做深層的探討，就像這射穿一切的超電磁砲！

### 二、研究目的

本次研究的目的，主要是根據原作中所提供關於「超電磁砲」的相關數據，並以這個世界的物理量來探討是否在原作中提供的數據能得以在這個世界上表現出來，若不符合原作，那必須以什麼樣的條件下才能符合？此為主要目的，並希望同時能改變世人對動漫的偏見。

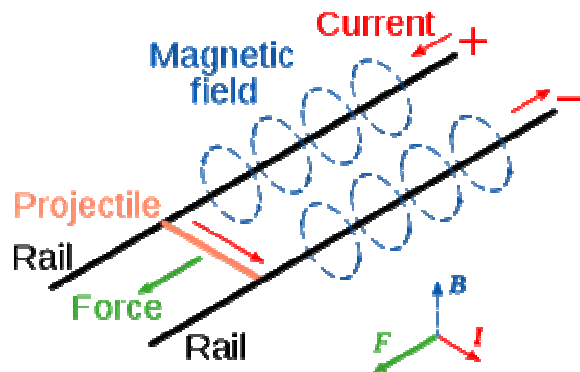
## 貳●正文

## 一、何為電磁砲？

這裡提到的 RAILGUN，一般稱為磁軌砲，是一種將電能轉換成投射物的動能的加速裝置，屬於電磁砲的一種，原作則直接稱之為電磁砲。

磁軌砲是利用磁力來投射物體，所以被投射的物體必須有一部份是導體。當電流通過軌道時在其中產生磁場。磁場穿過投射物並與電流形成  $90^\circ$  角。這會在兩個軌道邊緣產生排斥力並以高速推出投射物。

圖一：勞倫茲力圖示



(圖一資料來源：維基百科。2011 年 9 月 8 日，取自 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A3%81%E8%BB%8C%E7%A0%B2>)

原作的主角—御坂美琴，是能自由操縱電流的電能力者，藉由操縱電流的方向、位置以及大小，來達到上面圖片的情況。

## 二、原作條件

包括射程、射速、引發現象……等。

(一) 操縱電流的最大上限為十億伏特。

(二) 投射物為遊樂中心的代幣。

(三) 投射物速度為三倍音速

(四) 最大射程為 50m，達到 50m 硬幣就會熔化。

(五) 發射後會產生橘黃色的、一直線的焰尾。

(六) 通過路徑上路面翻起（柏油路）。

(七) 超強大的破壞力。

1、擊飛行駛中的車子。

2、擊穿數十根建築用鋼骨。

### 三、十億伏特所能產生的加速度

經由  $F = I B L \sin \theta = m a$ ，可以得知加速度為何。

動畫中美琴是先將硬幣彈上空中，在掉下來時經由能力製造出電流，再經由電流製造出磁場，在硬幣接觸到手指，也就是電流來源時，便會受到力而發射出去。由於是小說，電流方向都是能自由操縱的，就假定為在硬幣周圍將電流方向與位置操縱到能產生磁場的狀況即可。

首先，要先確定硬幣的基本設定，為了方便計算，設定硬幣直徑 3cm，厚 2mm，總重 5g。假設硬幣材質為銅，銅的電阻率為  $1/59.6 \times 10^6$ ，根據電阻  $R = \rho \frac{l}{A}$ ，可得知銅的  $R = \frac{1}{59.6 \times 10^6} \times \frac{3 \times 10^{-2}}{3 \times 10^{-2} \times 2 \times 10^{-3}} \times \frac{1}{1} = \frac{1}{59600}$ 。將數值帶入

公式裡，原作設定是 10 億伏特，帶入  $V = I R$ ， $I = \frac{V}{R} = \frac{10^9}{\frac{1}{59600}} = 5.96 \times 10^{13}$ 。

再來計算電場 B，我取磁場最小的地方來計算，位於  $r = l/2$  處；使用公式  $B = \frac{\mu I}{2\pi r} = \frac{4 \times 10^{-7} \times 1.192 \times 10^{14}}{2\pi \times 1.5 \times 10^{-2}} \cong 505900512.4$ 。

再將數值帶入勞倫茲力的公式當中，可得知受力  $F = 5.96 \times 10^{13} \times 3 \times 10^{-2} \times 505900512.4 \times \sin 90^\circ \cong 9 \times 10^{20}$ ；再將此數值在入  $F = m a$  當中，可得知 a 大約等於  $1.8 \times 10^{23}$ ；拿個現實生活中的東西來比較，一台法拉利跑

車從 0 加速到 100km/hr，加速度才  $25/9 \text{ m/s}^2$ 。相比之下，這是個相當可怕的數值。

#### 四、三倍音速下的硬幣—50m 限制

首先，要先確定硬幣的基本設定，為了方便計算，設定硬幣直徑 3cm，厚 2mm，總重 5g。

再來，假設這是一個均勻溫度的場所，設環境溫度為  $20^\circ\text{C}$ ，經計算後在此環境下音速為 343m/s，三倍音速為 1029m/s。

如果要讓硬幣熔化，首先必須要達到硬幣材質熔化所需的溫度，這部分的能量來自硬幣所產生的動能，但是在飛行過程中會受到空氣阻力而減少能量，所以還必須加上空氣阻力所產生的能量，才是要讓硬幣熔化所需要的能量。至於位能的變化，因為硬幣是在極快速度下射出且時間極短，這部分忽略不計。

首先是空氣阻力： $F = 0.5C\rho AV^2$ ，設  $C=1$ =阻力係數， $20^\circ\text{C}$  下，空氣密度  $\rho = 1.204$ ， $A$ =接觸面積， $V$ =速度；這裡計算的是平均空氣阻力，因此：

一開始要先計算出平均速度，設固定減速為  $d$ ，則共  $\frac{1029}{d}$  項；

$$\begin{aligned}\overline{v^2} &= \frac{1}{\frac{1029}{d}} \sum_{i=0}^{\frac{1029}{d}} (1029 - di)^2 = \frac{1}{1029} \sum (1029^2 - 2.1029di + (di)^2) \\ &= \frac{1}{1029} \left( 1029 \times \frac{1029}{d} - 2.1029d \sum i + d^2 \sum i^2 \right) \\ &= \frac{1029}{d} - 2d \times \frac{\frac{1029}{d} \left( \frac{1029}{d} + 1 \right)}{2} + d^2 \times \frac{\frac{1029}{d} \left( \frac{1029}{d} + 1 \right) \left( 2 \frac{1029}{d} + 1 \right)}{6}.\end{aligned}$$

$d=3$  時， $\overline{v^2} = 351.405 \cong 351$ 。

$\overline{F} = 0.5 \times (1) \times (1.204) \times (2.25 \times 10^{-4} \times \pi) \times 351 \cong 0.05 \text{ (N)}$ ；再來根據  $W = F \times S$ ，空氣阻力做功約 2.5(J)

假設硬幣材質為銅，銅的比熱為  $0.38\text{J(g/J)}$ ，熔點為  $1084^\circ\text{C}$ ，熔化熱為  $13.05\text{kJ/mol}$ ，原子量約 63。

$H = m \times s \times \Delta T$ ，要讓銅從  $20^\circ\text{C}$  升高到  $1084^\circ\text{C}$ ，需要  $5.0 \times 0.38 \times (1084 - 20)$

=20216(cal)，換算成焦耳約為  $20216 \times 4.2 = 84907.2$  (J)(1cal=4.2J)。

還有，要讓銅從固體變為液體，還需要加上讓物體相變的熱量，公式為  $H = m \times \text{熔化熱}$ ；但是要先將熔化熱的單位換算成 J/g，整體計算式為  $5(\text{g}) \times (13.05 \times 1000/63) = 1035.7(\text{J})$ 。

因此，要讓銅熔化所需要的熱量為  $84907.2 + 1035.7 + 85942.9$  (J)。

接下來計算硬幣在飛行時所產生的動能，假設動能全部轉換成熱能，根據  $K = 1/2 \times m \times v^2$ ， $0.5 \times 0.005(\text{g}) \times 1029^2 = 2647.1025(\text{J})$ 。

照這樣看來，硬幣產生的動能是小於熔化所需要的熱能的，不過因為受到阻力影響，飛行距離應該無法飛太遠，只是硬幣並不會融化。

## 五、橘黃色的直線焰尾

由發射原理可以得知，RAILGUN 主要是由電流與磁場來進行發射的，所以形成焰尾顏色與軌跡的成因有二：電漿煙幕，以及摩擦生熱。

### (一) 電漿煙幕

導體在通以高電流時，會因電流中的自由電子與導體的原子或分子碰撞，使一個電子脫離原本的束縛，使原子或分子離子化而產生更多電子，並持續與其他原子或分子碰撞產生電子或離子。

且因高速與空氣摩擦而產生的高溫也會使氣體分子分解為原子並電離，並形成了由離子、電子與中性粒子所組成的氣體。而這種充滿離子、電子與中性粒子的狀態就稱為「電漿」，其所形成的煙幕即為「電漿煙幕」。

因為不同的原子或電子有不同的軌道和能階，且發光頻率也不同，所以不同的氣體在電漿中所呈現出的顏色也會不同。大氣中主要是由氮氣與氧氣這兩種氣體組成，氮氣占 78%，氧氣則占 21%；而氮氣主要是紅色偏粉紅，氧氣則是紅偏黃，整體來看相當接近橘黃色。

## (二) 摩擦生熱

電磁砲發射後因為跟空氣摩擦，尾端會拖著橘黃色的尾焰，尾焰最前端因溫度最高而呈現藍色。

超音速移動的物體會使空氣高速流動，產生錐形震波對周圍做功且轉成熱能；隨溫度高低而造成顏色不同，藍色部分因較短不易觀察，因此肉眼看到的部分應該是橘黃色。

另外，雖然原作中是設定投射物為體積小的硬幣，產生出的錐形震波並不大，但焰尾形狀仍應是錐形。

## 六、破壞力

$E = 1/2 \times m \times v^2$ ，將數值帶入此公式，可得知  $E = 0.5 \times 0.005(\text{g}) \times 1029^2 \cong 2647(\text{J}) = 2.647 \times 10^3$

拿個三次元的東西來比較，美國陸軍制式配槍 M9 手槍，使用彈頭重約 8g 的 9mm 子彈，其槍口動能約為 450~500 J，則大約是硬幣砲的 1/4~1/5 倍左右。

知名的 M82 狙擊步槍，使用重約 110g 的 .50BMG 子彈，其槍口動能約為  $4.5 \times 10^3 \sim 4.6 \times 10^3 \text{J}$ ，則大約是硬幣砲的 2 倍左右。

這樣的威力在理論上要打穿人體或是打穿牆壁是可能的，但是硬幣運動的過程中會因空氣阻力而造成減速，原作動畫中表示硬幣砲發射出去的硬幣是以直立面射出，再加上硬幣是超音速運動的物體，這將使得硬幣所受的空氣阻力更為巨大。

因此在飛行 50m 之後速度將遠小於發射初速度的「3 倍音速」，也就是說其命中目標時的動能將會比 2647 焦耳還要小，所以原作中「在路面留下燒焦的痕跡」以及「擊飛高速行駛的對向來車」和「擊穿數十根鋼骨」應該是不太可能的。

## 參●結論

- (一) 飛行距離非 50m 且硬幣不會融化。
- (二) 焰尾是橘紅色沒錯，但軌跡應是錐狀而不是一直線。
- (三) 破壞力沒有原作中那麼誇張。

#### 肆●引註資料

鎌池和馬 (2004)。魔法禁書目錄 1。台北市。台灣國際角川書店股份有限公司。

鎌池和馬 (2006)。魔法禁書目錄 8。台北市。台灣國際角川書店股份有限公司。

維基百科 (2011)。磁軌砲。100 年 9 月 8 日，取自  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A3%81%E8%BB%8C%E7%A0%B2>。

維基百科(2011)。銅。100 年 9 月 8 日，取自 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%8A%85>。

歡迎光臨—微積分經典範例。100 年 9 月 10 日，取自  
<http://scicomp.math.ntu.edu.tw/calculus/>

近代物理。100 年 9 月 12 日，取自 <http://tea513.myweb.hinet.net/285.htm>

高涌泉 (主編)。基礎物理 (二) B 上。台北市。龍騰文化事業股份有限公司。