

程式人



用十分鐘瞭解

《電的歷史》

陳鍾誠

2016 年 1 月 12 日

# 話說、我中學的時候

- 總是在《歷史、地理、物理、化學、數學、國文、英文》這些課程上死念書。
- 我和大家一樣，就是每天《考試、考試、考試》。

# 雖然我物理念得不錯

- 但其實很心虛

# 我只會算算算

- 這樣真的代表我學會物理了嗎？
- 我連實驗都沒做過，三用電錶也沒用過，更別說示波器了。

# 上了大學之後

- 大一要修物理課

# 我念交通大學資訊科學系

- 物理課程

是電子物理系老師教的

# 奇怪的是

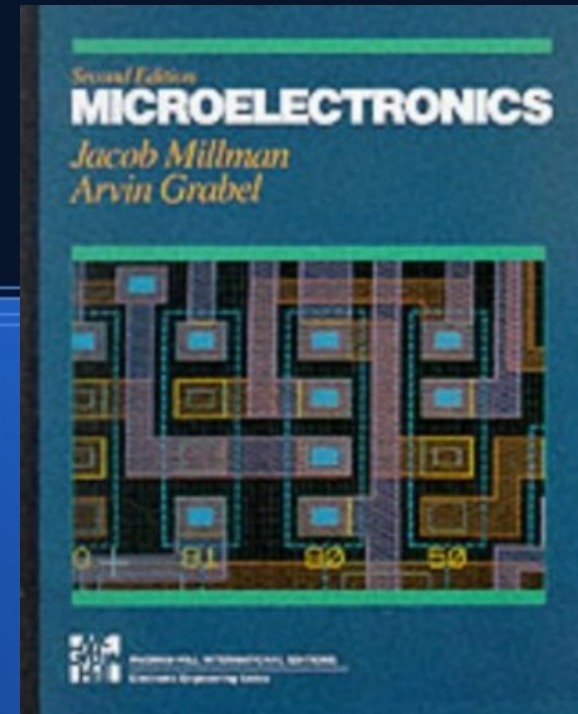
- 既然是電子物理系老師教的
- 那為何教到力學就沒了

那電學呢？



# 更糟的是

- 我唸交大資訊科學系
- 大一有門電子學
- 用的應該是這本



# 我覺得好難

- 有看沒有懂！

# 最近我自己重學

- 才發現不能從電子學開始
- 應該從基本電學念起
- 然後才能學電子學

# 雖然高中物理課有教電的部分

- 但都是理論
- 沒什麼真實感

# 而我卻是那種

- 非常需要真實感的學習者
- 所以對電子電路總是感到很困惑

# 我從圖書館借了一些電子電路的書

- 發現寫給大學看的都偏理論
- 而寫給高職看的都比較比較實務易懂

# 所以

- 雖然我已經在大學教書了
- 但是我看的課本卻是高職用的



# 我買的課本如下





# 對於我來說

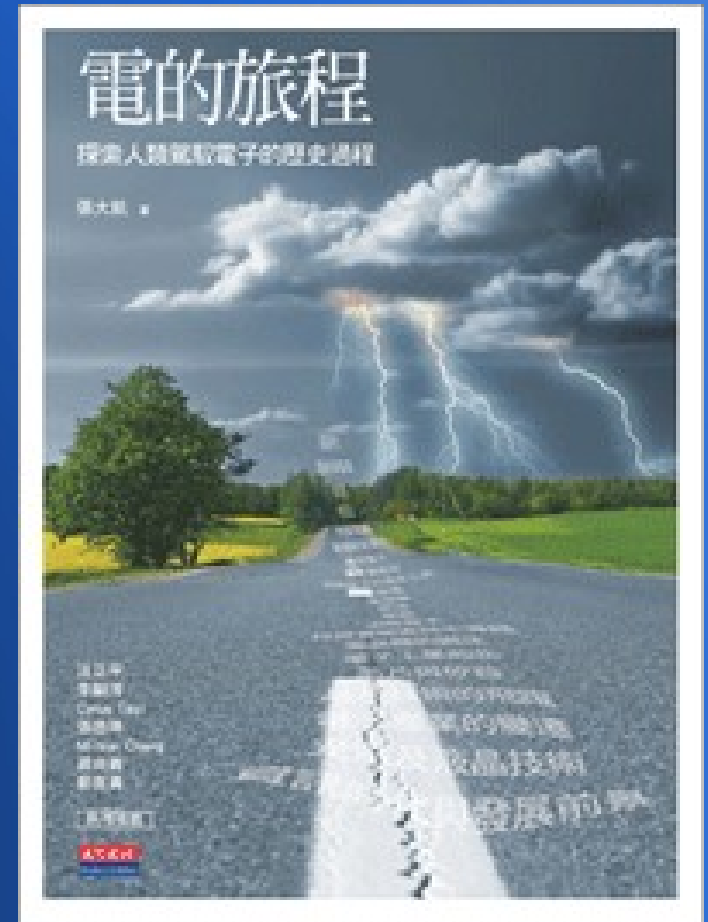
- 一本書有沒有學術價值不重要
- 重要的是我能看懂，然後學會

# 接著

- 我又買了麵包板、三用電錶和一堆線，還有強力磁鐵等等東西
- 還買了 Arduino 板子來做些實驗
- 重新學習當初沒學好的那些電子電路

# 然後、我還買的一本有趣的書

- 根據好書都絕版定律，這本在博客來果然已經沒賣了。



# 我超愛這本書的

- 因為它讓我對電的理解活了起來。

# 然後、我根據書上的線索

- 查了維基百科，企圖串起這些故事。

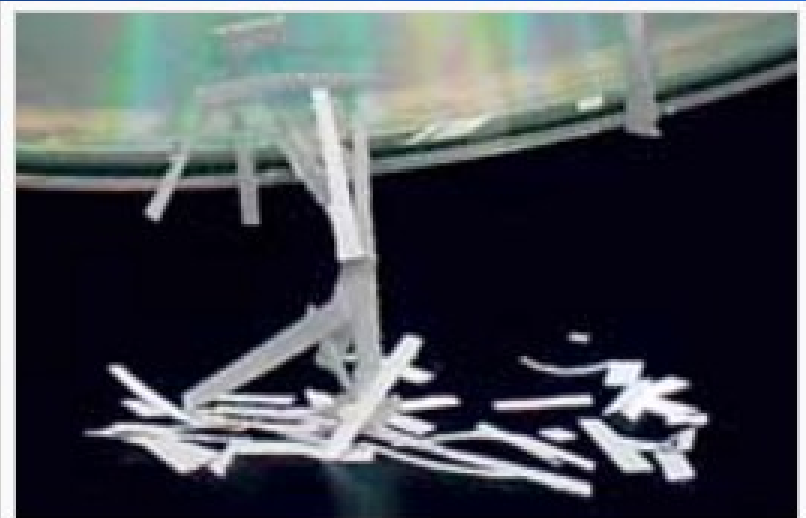
# 這就是

- 我接下來所要講的故事了！

# 在公元前六世紀

- 希臘人就發現琥珀摩擦後，能夠吸引輕小物體的「靜電現象」。

琥珀	
	
琥珀與昆蟲化石	
基本資料	
類別	有機化合物
化學式	$\sim C_{10}H_{16}O \cdot (H_2S)$
性質	
顏色	黃、褐、紅褐、乳黃色紋路



因為電荷感應，紙屑被帶電的光碟吸引。

# 二千五百年前

- 希臘、印度及中國都紀載了磁石與磁力現象



由鋁鎳鈷永磁合金製成的馬蹄磁鐵。  
這形狀試圖拉近兩個磁極之間的距離，藉以產生能夠吸引沉重鐵磁體的強烈磁場。





# 公元前 220 年的戰國時代

- 有匠人用琢玉的技巧將磁石做成湯匙形狀，然後造出了這個



您應該知道那是甚麼！

# 1453 年東羅馬帝國滅亡後

- 文藝復興開始了

# 說起了文藝復興

- 或許您還記得本系列中的那篇
  - 用十分鐘看懂《近代科學發展史》
- 投影片裏談到他們家~~馬桶不通水~~抽不上來，結果導致發展出真空抽水機的故事。還有柯博文把能源火種藏在他們家，導致近代科學大爆發的故事。

# 如果您看了那份投影片

- 應該還記得文藝復興的關鍵影響人物，梅蒂奇家族。



佛羅倫斯的「豪華者羅倫佐」，  
是文藝復興高峰期的偉大領袖



# 但是、不只梅蒂奇家族

- 還有一些貴族也對文藝復興貢獻頗大



死後獲稱「世界第一夫人」的伊莎貝拉·埃斯特（1474-1539年），雖然只是小國曼圖亞的侯爵夫人兼攝政，但是她對藝術的贊助、政治技術的妙用、科學知識的興趣，使她成為羅倫佐之後，文藝復興的典範人物

# 關於貴族的貢獻

- 那當然是和錢有關

# 而平民們的貢獻

- 那當然就和錢無關了！



# 1600 年英國女王的御醫

- 威廉·吉爾伯特 (William Gilbert) 出版六大巨冊《論磁石》(De Magnete)

威廉·吉爾伯特 (William Gilbert, 1544年5月24日－1603年12月10日)，英國伊莉莎白女王的御醫、英國皇家科學院物理學家。主要在電學和磁學方面有很大貢獻。

威廉·吉爾伯特1540年5月24日生於英國科爾切斯特 (Colchester)，1569年獲得劍橋大學醫學博士學位。吉爾伯特起先研究化學，1580年前後開始對磁學和電學發生興趣。1600年出版了《論磁石》是物理學史上第一部系統闡述磁學的科學專著。伽利略稱它「偉大到令人妒忌的程度」。1601年擔任御醫。1603年在倫敦逝世。

吉爾伯特按照皮埃·德馬立克 (Pierre de Maricourt) 的辦法，製成球狀磁石，取名為「小地球」，在球面上用羅盤針和粉筆劃出了磁子午線。他證明諾曼所發現的下傾現象也在這種球狀磁石上表現出來，在球面上羅盤磁針也會下傾。他還證明表面不規則的磁石球，其磁子午線也是不規則的，由此認為羅盤針在地球上和正北方的偏離是由陸地所致。他發現兩極裝上鐵帽的磁石，磁力大大增加，他還研究了某一給定的鐵塊同磁石的大小和它的吸引力的關係，發現這是一種正比關係。

吉爾伯特根據他所發現的這些磁力現象，建立了一個理論體系。他設想整個地球是一塊巨大的磁石，上面為一層水、岩石和泥土覆蓋著。他認為磁石的磁力會產生運動和變化。他認為地球的磁力一直伸到天上並使宇宙合為一體。在吉爾伯特看來，重力無非就是磁力。

吉爾伯特關於磁學的研究為電磁學的產生和發展創造了條件。在電磁學中，磁動勢的單位吉伯 (gilbert) 就是以他的名字命名，以紀念他的貢獻。

威廉·吉爾伯特  
William Gilbert



威廉·吉爾伯特

出生	1544年5月24日 英國科爾切斯特 (Colchester)
逝世	1603年11月30日 (59歲) 英國倫敦
職業	物理學家
知名於	磁學研究。《論磁石》

# 威廉·吉爾伯特提出下列理論與觀察

- 電和磁是不同現象
- 正負磁極不能完全分開
- 電的吸力在水中消失，磁力在水中仍然存在
- 磁力在高溫時消失
- 認為地球是一塊大磁鐵

# 接著、故事又接到了

- 上次 用十分鐘看懂《近代科學發展史》 那篇中發明能源火種的那個 《奧托·馮·居里克》(Ott von Guericke)。
- 他除了接續《托里拆利》的氣壓計在1650年發明了《真空幫浦》之外，並在1657年展示《馬德堡半球實驗》給皇帝看之外，還在1660年發明了一部《摩擦起電機》

( 然後他還在1646年至1676年間任馬德堡市市長，換句話說，這些實驗都是在市長任內做的 )

# 接著在 1729 年的英國

- 斯蒂芬·格雷 (Stephen Gray) 發現有些物質可以導電，有些不行。並進行導電實驗，還曾經把帶靜電男童吊在半空中，然後撒一堆花瓣到他身邊，花瓣會因靜電感應繞著小男童飛舞。



## 斯蒂芬·格雷

天文學家

出生：1666 年 12 月，英國坎特伯雷

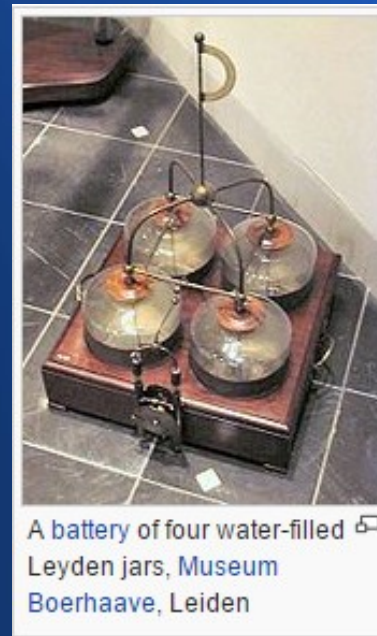
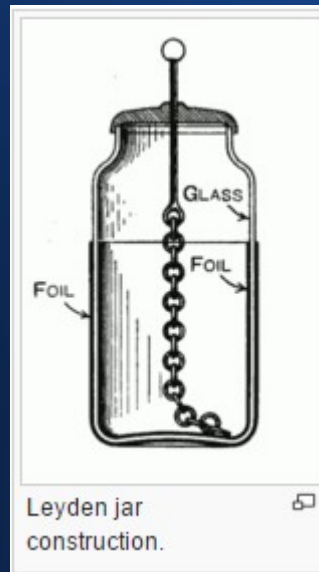
逝世：1736 年 2 月 7 日，英國倫敦

獲獎紀錄：科普利獎章



# 1745 年荷蘭的萊頓大學

- Pieter van Musschenbroek  
發明了萊頓瓶，  
可以用來把  
電儲存起來



Pieter van Musschenbroek



1741 portrait of Pieter van Musschenbroek

Born	14 March 1692 Leiden, Dutch Republic
Died	19 September 1761 (aged 69) Leiden, Dutch Republic
Nationality	Dutch
Fields	Physics, mathematics, philosophy, medicine, astrology
Alma mater	Leiden University
Doctoral advisor	Wolferd Senguerd Herman Boerhaave
Notable students	Andreas Cunaeus
Known for	Leyden jar, Tribometer, Atmometer

# 後來

- 很多人會帶著萊頓瓶去把妹，玩玩《來電遊戲》 ... XD

# 但是、把妹只是小事

- 以下這件比較刺激

# 1746 年，法國神父 Jean Nollet

- 弄了一個特大號的萊頓瓶
- 然後找來兩百名修道士，每人拿一隻銅棍圍成一大圈，最後接上那只特大號萊頓瓶
- 於是、您應該可以想像那個結果...





# 後來、神父還想做實驗

- 然後就被圍毆沒人要做，神父只好去求法皇路易十五。
- 皇帝命令 180 名御林軍配合，接下來的事情你應該就知道了。

筆者註：現在你應該知道 40 年後為何會發生法國大革命了吧！

路易十五

法國和納瓦爾國王



路易十五

在位	1715年9月1日—1774年5月10日
加冕	1722年10月25日，蘭斯
全名	Louis le Bien-Aimé
頭銜	安茹公爵（1710年—1712年） 法國王太子（1712年—1715年）
出生	1710年2月15日 凡爾賽宮
去世	1774年5月10日（64歲） 凡爾賽宮
葬於	法國聖德尼聖殿
前任	路易十四
繼任	路易十六

# 1752 年美國的富蘭克林

- 放銅線風箏把電引到萊頓瓶，  
因此發明了避雷針
- 後來一位丹麥人學他，結果被  
電死了

筆者註：這個故事告訴我們，電的實驗不要亂做，很危險的 ...

班傑明·富蘭克林  
Benjamin Franklin



班傑明·富蘭克林

第六任賓夕法尼亞州州長

任期

1785年10月18日—1788年11月5日

副總統 查爾斯·比德爾  
托馬斯·米福林

前任 約翰·迪金森

繼任 托馬斯·米福林

美國駐法國大使

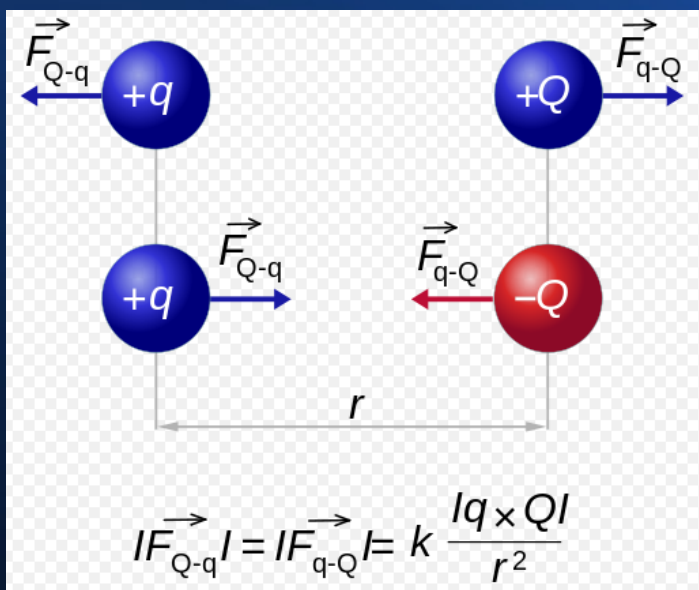
# 以上看來很精采

- 但是接下來，真正《研究電的科學家》才剛要出現而已！
- 閃開、讓專業的來 …

# 1777 年、庫倫出場了

- 就是那位提出庫倫定律的傢伙

他並不是閒閒沒事幹去發明庫倫定律的



查爾斯·庫倫的肖像

- 他之所以發明庫倫定律，是因為軍事任務

# 法國的皇家科學院

- 要求軍事工程院的庫倫，負責改善指南針的精確度，幫助航海者精確識別方位
- 為了減少摩擦力，庫倫用頭髮把磁針吊起，果然靈敏度大有改進，但是 ...
- 髮絲的扭力會影響指南針的方向，於是庫倫才會投入全部的心力去研究扭力。
- 結果磁力研究沒有進展，卻在電力的理論上開花結果了 ...

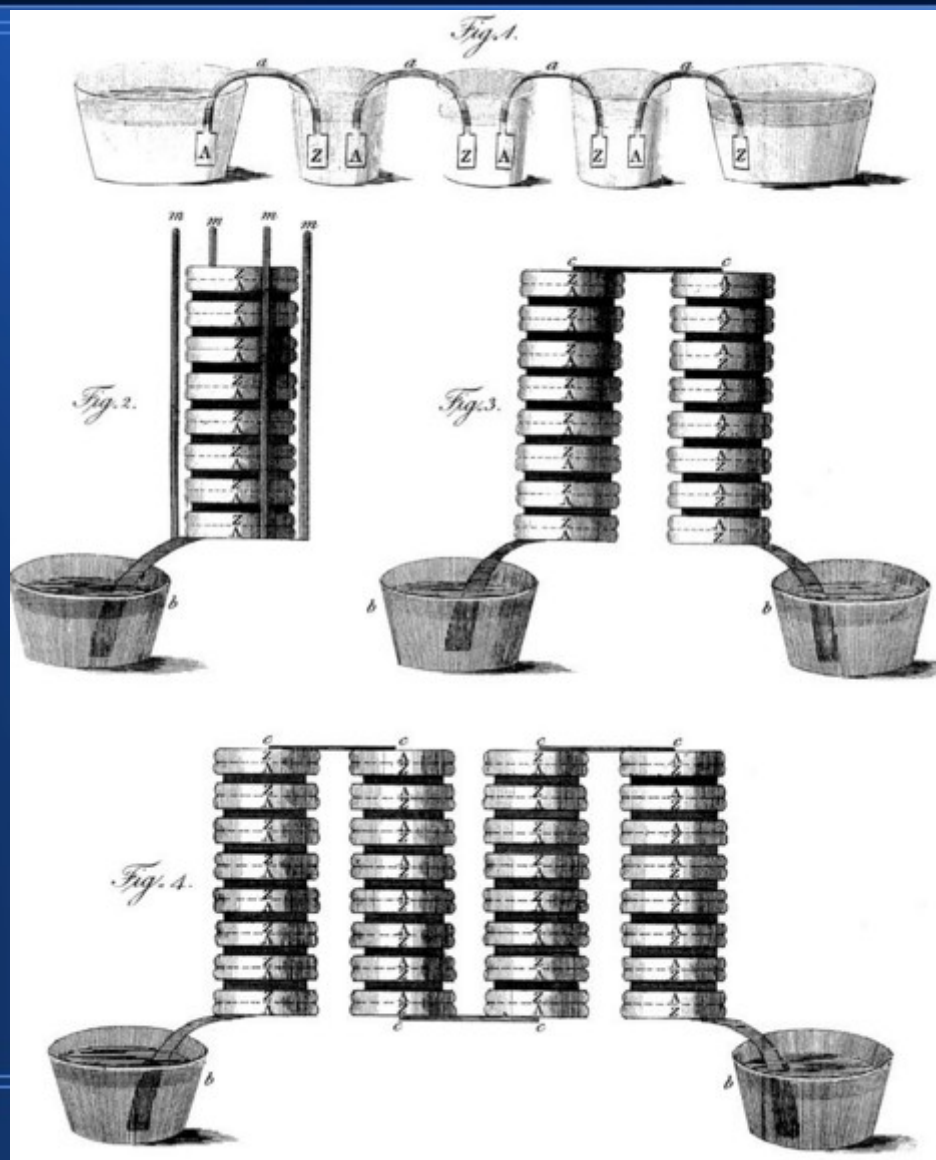
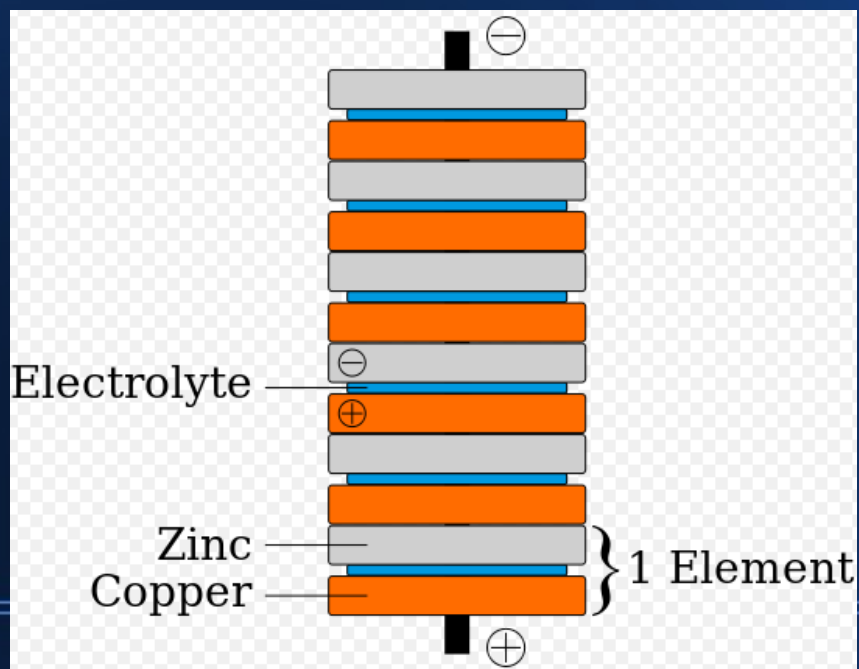


# 接著時間來到 1800 年，兩個人吵架

- 因為銅盤上青蛙王子的腿用鋅夾碰的時候會抖動
- 伏打和伽伐尼爭吵到底是動物電還是化學電，兩位好友因而翻臉，然後伽伐尼就死了
- 後來伏打做出秘密武器如右圖



於是、證實了化學方法就能產生電



# 接著幾年

- 英國皇家研究院的戴維做了很多電化學實驗
- 1807 年《戴維》把兩根碳棒磨尖後通電，結果靠近時會產生放電現象，射出電弧 ...
- 但是、這並不是《戴維》最大的貢獻 ...

漢弗里·戴維爵士



Thomas Phillips 畫

出生	1778年12月17日 英國 英格蘭康沃爾郡彭贊斯
逝世	1829年5月29日 (50歲) 瑞士 日內瓦
國籍	英國
研究領域	化學
任職於	英國皇家學會、Royal Institution
著名成就	電解、鈉、鉀、鈣、鎂、鋇、硼
施影響於	法拉第、威廉·湯姆森
獲獎	科普利獎章 (1805年)



# 《戴維》最大的貢獻是

- 收法拉第當徒弟



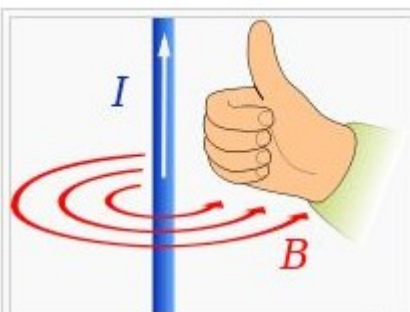
筆者註：這點讓我想起《葉問》，他最大的貢獻不是一個打十個，或者一個打百個。他最大的貢獻是收了李小龍當徒弟，培養出了青蜂俠的助手，否則、美國就毀滅了…

但是、現在還沒輪到法拉第登場

- 我們還得等待一個人

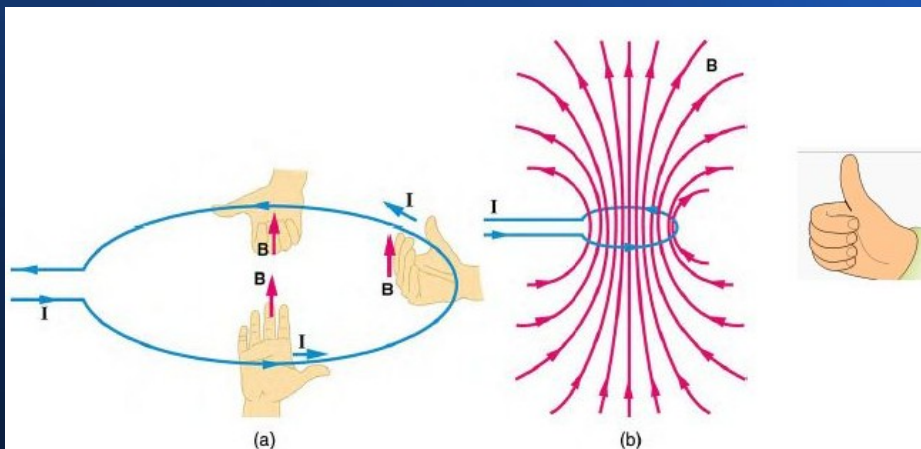
# 那就是

## • 安培



安培右手定則：將右手的大拇指指向電流  $I$  方向，再將其它四根手指握緊電線，則彎曲的方向決定磁場  $B$  的方向。

圖、安培右手定則



圖、環形電流的安培定則

安德烈·馬里·安培



安德烈·馬里·安培 (1775-1836)

**出生** 1775年1月20日  
法國里昂

**逝世** 1836年6月10日 (61歲)  
法國馬賽

**居住地** 法國

**國籍**  法國

**研究領域** 化學物理學數學

**任職於** Bourg-en-Bresse  
École Polytechnique

**著名成就** 安培定律

積分形式

微分形式

「馬克士威-安培方程式」的微分形式

安培定律

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

# 1820 年、丹麥物理學教授 Hans Oersted

- 上課示範電流現象，結果卻發現通電的一瞬間旁邊的指南針會偏轉





# 後來法國的《安培》知道後

- 集中精力研究，幾周內就提出了安培定則即右手螺旋定則
- 隨後很快在幾個月之內連續發表了 3 篇論文，並設計了 9 個著名的實驗，總結了載流迴路中電流元在電磁場中的運動規律，即安培定律。
- 1821 年安培提出了電動力學這一說法

# 接著終於輪到法拉第登場了

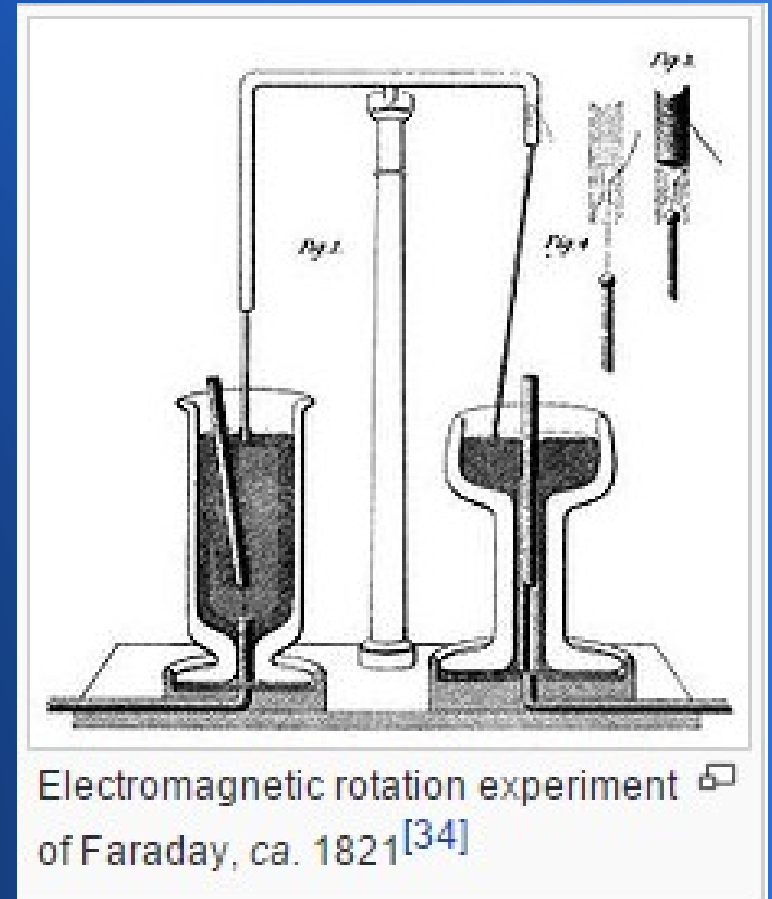
- 法拉第當戴維助手，旅行時還被他老婆當傭人使喚
- 然後在 1821 年做出了一個單極電動機

台灣慣老闆：  
這不是應該的嗎？

現代版的單極電動機



DIY simple homopolar motor made with a drywall screw, a battery cell, a wire, and a disk magnet. The magnet is on top of the screw head. The screw and magnet make contact with the bottom of the battery cell and are held together by the magnet's attraction. The screw and magnet spin, with the screw tip acting as a bearing.



法拉第的單極電動機

# 我也有重做了一次單極電動機的實驗

- 影片網址如下：

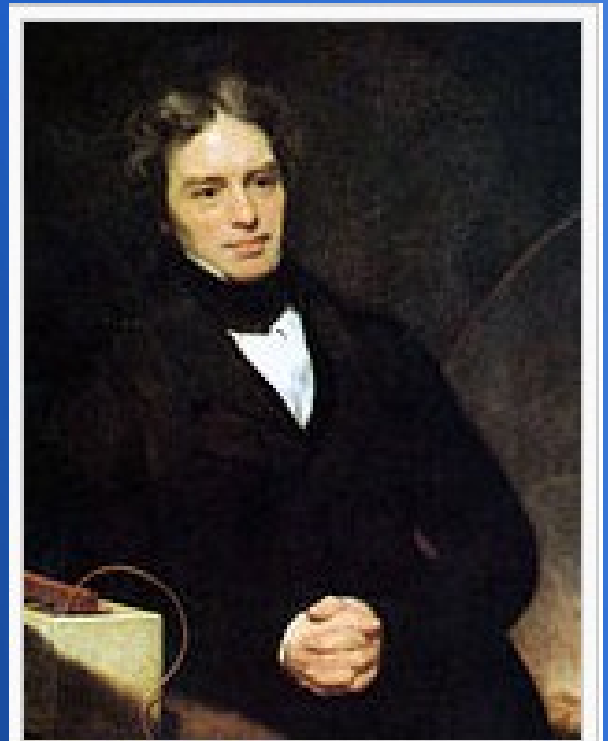
<https://www.facebook.com/ccckmit/videos/vb.814251892/10153140124986893/>

# 然後

- 法拉第卻做了一件不智之舉，在沒有通知戴維跟渥拉斯頓情況下，擅自發表了此項研究成果。此舉招來諸多爭議，也迫使他離開電磁學研究數年之久（因為戴維改叫他去做光學）。

（念碩博士班的同學們，切記切記，小心謹慎）

（千萬不要犯同樣的錯誤 … ）



麥可·法拉第肖像畫





# 1829 年，戴維去世

- 法拉第停止了光學工作並開始他想做的實驗。
- 在 1831 年，他開始一連串重大的實驗
- 他將兩條獨立的電線環繞在一個大鐵環，固定在椅子上，並在其中一條導線通以電流時，另外一條導線竟也產生電流。
- 他因此進行了另外一項實驗，並發現若移動一塊磁鐵通過導線線圈，則線圈中將有電流產生。同樣的現象也發生在移動線圈通過靜止的磁鐵上方時。

# 於是、法拉第定律出現了

- 他的展示向世人建立起「磁場的改變產生電場」的觀念。此關係由法拉第電磁感應定律建立起數學模型，並成為四條馬克士威方程組之一。
- 法拉第並依照此定理，發明了早期的發電機，此為現代發電機的始祖。

本定律可用以下的公式表達：[2]

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

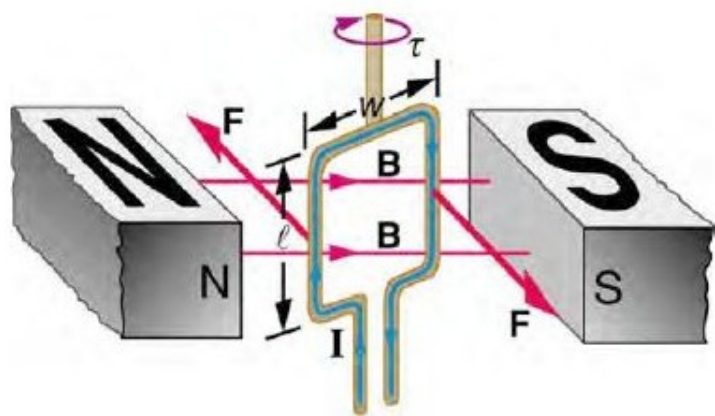
其中：

$\mathcal{E}$  是電動勢，單位為伏特。

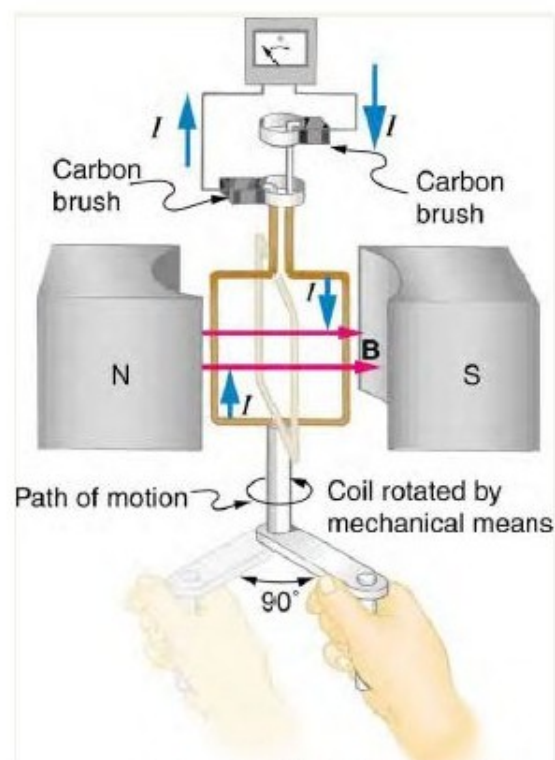
$\Phi_B$  是通過電路的磁通量，單位為韋伯。

# 電力領域最重要的兩個裝置終於出現了

- 那就是、馬達（電動機）和發電機



(a) 馬達的構造示意圖



(b) 發電機的構造示意圖

# 1839 年

- 法拉第使用「靜電」、電池以及「生物生電」以產生靜電相吸、電解、磁力等現象。
- 經由這些實驗，他做出與當時主流想法相悖的結論，認為雖然來源不同，產生出的電都是一樣的，另外若改變大小及密度（電壓及電荷），則可產生不同的現象。

# 在法拉第生涯的晚年

- 他提出電磁力不僅存在於導體中，更延伸入導體附近的空間裡。這個想法被他的同儕排斥，法拉第也終究沒有活著看到這個想法被世人所接受。
- 法拉第也提出電磁線的概念：這些流線由帶電體或者是磁鐵的其中一極中放射出，射向另一電性的帶電體或是磁性異極的物體。這個概念幫助世人能夠將抽象的電磁場具象化，對於電力機械裝置在十九世紀的發展有重大的影響。而這些裝置在之後的十九世紀中主宰了整個工程與工業

# 除此之外、法拉第也是電化學大師

- 他發現在物質電解過程中，參與電極反應的質量與通過電極的電量成正比。換句話說，不同物質電解的質量則正比於該物質的化學當量，這個發現可以寫成以下定律。

$$m = \frac{MQ}{Fn}$$

- 這就是法拉第電解定律

# 法拉第非常會做實驗

- 但是數學不好，不擅長理論
- 可以說是《劍宗高手》
  - 劍術很強，但內功不行



# 不過沒關係

- 接下來有位《氣宗高手》出場了
- 那就是《馬克士威》

# 馬克士威出生於 1831 年

- 正是法拉第提出電磁感應定理的那年
- 後來、馬克士威注意到法拉第的研究，閱讀了  
Experimental Researches in Electricity 這本書，  
於是深深的著迷了。

# 1855 年

- 馬克士威 25 歲時發表了一篇論文，名稱為《論法拉第力線》，並將這篇論文寄給法拉第看。
- 隔年、64 歲的法拉第回了一封信給 24 歲的馬克士威，說到下列這段話。

I was at first almost frightened when I saw such mathematical force made to bear upon the subject, and then wondered to see that the subject stood it so well

翻譯成中文就是：「當我看到你論文中的那些數學，我幾乎是被嚇到了。但是很好奇你為何會將這個主題做得這麼好 ... 」

# 那個年代

- 電磁學可以形容為眾多實驗結果和數學分析的大雜燴，急需整合成一套內外一致，有條有理的學術理論。
- 法拉地的數學背景不夠強，無法完成這件任務，結果馬克士威漂亮的完成的這個任務，成為電磁學領域的大師。

# 馬克士威的論文：論法拉第力線

馬克士威將法拉第想出的力線延伸為裝滿了不可壓縮流體的「力管」。這力管的方向代表力場（電場或磁場）的方向，力管的截面面積與力管內的流體速度成反比，而這流體速度可以比擬為電場或磁場。

然後、透過借用「威廉·湯姆森」等人在流體力學的一些數學框架，馬克士威推導出一系列初成形的電磁學難論。

像是在「傅立葉熱傳導定律」裏有下列的公式：

$$\Gamma = -k \frac{dT}{dx}$$

其中， $\Gamma$  是熱通量（heat flux）， $k$  是物質的熱導率， $T$  是溫度。

如果將這樣個概念套用到電磁學領域中，電場和電勢之間的關係式可表達為

$$E = -\frac{d\phi}{dx}$$

其中， $E$  是電場， $\phi$  是電勢。

很明顯地，設定熱導率  $k=1$ ，則電勢可以比擬為溫度，而電場可以比擬為熱通量。

法拉第的電力線變為了熱流線，等勢線（equipotential）變為了等溫線。所以，解析熱傳導問題的方法，可以用來解析靜電學問題。

馬克士威又注意到一個問題：熱傳導依賴的是物質的緊鄰的兩個粒子之間互相接觸而產生的「鄰接作用」（contiguous action）；

思考兩個相距很遠的電荷，不經過任何媒介，互相直接施加於對方的作用力，假若電場力是這種作用力，則電場力是一種超距作用（action at a distance）。兩種完全不同的物理現象，居然可以用同樣形式的數學方式來描述，這給予馬克士威很大的遐想空間。

然後、透過這樣的比擬（將源電荷  $q$  比擬為力管源，將電場比擬為流速），馬克士威越推論越深遠，結果得到了「庫倫定律」與「高斯定律」等電學的基本公式。

$$E = \frac{q}{4\pi r^2}$$

$$V = \frac{q}{4\pi r}$$

$$E = -\frac{dV}{dr}$$

# 但是、上述論文並不出色

- 只是馬克士威借用熱力學來解釋電磁學的一個初步嘗試
- 接下來在 1861 年的《論物理力線》才是重要之作

# 《論物理力線》提出的馬克士威方程組

在《論物理力線》這篇論文裏，馬克士威提出了力線（或稱場線）這樣的概念，這種力線可以描述「電力、磁力、重力」所形成的力場，並且透過微積分的數學原理，計算這些力場的強度。

然後，馬克士威透過這種改良的分子渦流想法，推論出一些數學公式，以下是幾個範例：

$$dF_c = \rho r^2 \omega^2 dr d\theta dz$$

其中， $\rho$  是流體的密度，是一個常數。

$$p_{cR} = \int_0^r \rho r \omega^2 dr = \rho R^2 \omega^2 / 2 = \rho v^2 / 2$$

其中， $R$  是渦胞的半徑， $v = R\omega$  是流體位於周邊的周邊速度。

從這模型，經過一番複雜的運算，馬克士威能夠推導出安培定律、法拉第感應定律等，這也就是後來被稱為「馬克士威方程組」的那些公式。

## (1) 安培定律

$$\begin{aligned} p_x &= \frac{1}{4\pi} \left( \frac{\partial \gamma}{\partial y} - \frac{\partial \beta}{\partial z} \right), \\ p_y &= \frac{1}{4\pi} \left( -\frac{\partial \gamma}{\partial x} + \frac{\partial \alpha}{\partial z} \right), \\ p_z &= \frac{1}{4\pi} \left( \frac{\partial \beta}{\partial x} - \frac{\partial \alpha}{\partial y} \right). \end{aligned}$$

原安培定律的方程式

$$\begin{aligned} p_x &= \frac{1}{4\pi} \left( \frac{\partial \gamma}{\partial y} - \frac{\partial \beta}{\partial z} - \frac{1}{E^2} \frac{\partial Q_x}{\partial t} \right), \\ p_y &= \frac{1}{4\pi} \left( \frac{\partial \alpha}{\partial z} - \frac{\partial \gamma}{\partial x} - \frac{1}{E^2} \frac{\partial Q_y}{\partial t} \right), \\ p_z &= \frac{1}{4\pi} \left( \frac{\partial \beta}{\partial x} - \frac{\partial \alpha}{\partial y} - \frac{1}{E^2} \frac{\partial Q_z}{\partial t} \right). \end{aligned}$$

修正後的馬克士威 - 安培方程式

## (2) 法拉第電磁感應定律

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_z}{\partial y} - \frac{\partial Q_y}{\partial z} &= -\mu \frac{\partial \alpha}{\partial t}, \\ -\frac{\partial Q_z}{\partial x} + \frac{\partial Q_x}{\partial z} &= -\mu \frac{\partial \beta}{\partial t}, \\ \frac{\partial Q_y}{\partial x} - \frac{\partial Q_x}{\partial y} &= -\mu \frac{\partial \gamma}{\partial t}. \end{aligned}$$

## (3) 高斯定律

$$e = \frac{1}{4\pi E^2} \left( \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + \frac{\partial Q_z}{\partial z} \right).$$

## (4) 高斯磁場定律（自然定律）

$$\frac{\partial \mu \alpha}{\partial x} + \frac{\partial \mu \beta}{\partial y} + \frac{\partial \mu \gamma}{\partial z} = q_m.$$

圖、馬克士威論物理力線中的四大群方程式



# 接著是 1864 年的 《電磁場的動力學理論》

- 馬克士威提出了電磁波的波動方程式。

並推論出波動的速度非常接近光速。於是寫下

這些殊途一致的結果，似乎意味著光波與電磁波都是同樣物質的屬性，並且，光波是按照著電磁定律傳播於電磁場的電磁擾動。


- 這個推論預示了光是一種電磁波，只要能發送與偵測電磁波，就能以光速傳遞訊息。

# 於是、電磁學的理论架構已然完整

- 但問題是、電磁波是否存在，該如何使用，仍然沒有被實驗證實
- 而這些問題，還得等待另外幾個領域的真英雄，還有假英雄。

# 通訊領域的英雄分別是

- 電報領域：摩斯
- 電話領域：格雷、貝爾、費爾
- 無線通訊：赫茲、馬可尼、還有鐵達尼號



不用懷疑、這是一艘船  
就是電影中沉掉的那一艘

# 另外、還有

- 電氣領域：愛迪生、特斯拉、西門子
- 原子核：請看用十分鐘看懂《近代科學發展史》
- 收音機：費生登、沙諾夫、阿姆斯壯、
- 電視：尼卜可、貝爾德、法斯沃、曹利金...
- 雷達：華生瓦特、樂道、布特、二次大戰...
- 電腦領域：這又是一大堆故事了 ...

# 至於這些故事

- 就請各位自己  
去看這本書了

