

Wonderful Electricity

奇妙的電

by
Ir Dr FC Chan

16 July 2025

Wonderful Electricity

奇妙的電

電從何來，
電是何物，
電往何走，
電用何方。

「電」的古字

甲骨文



金文



戰國文字



篆文



說文古文



隸書



楷書

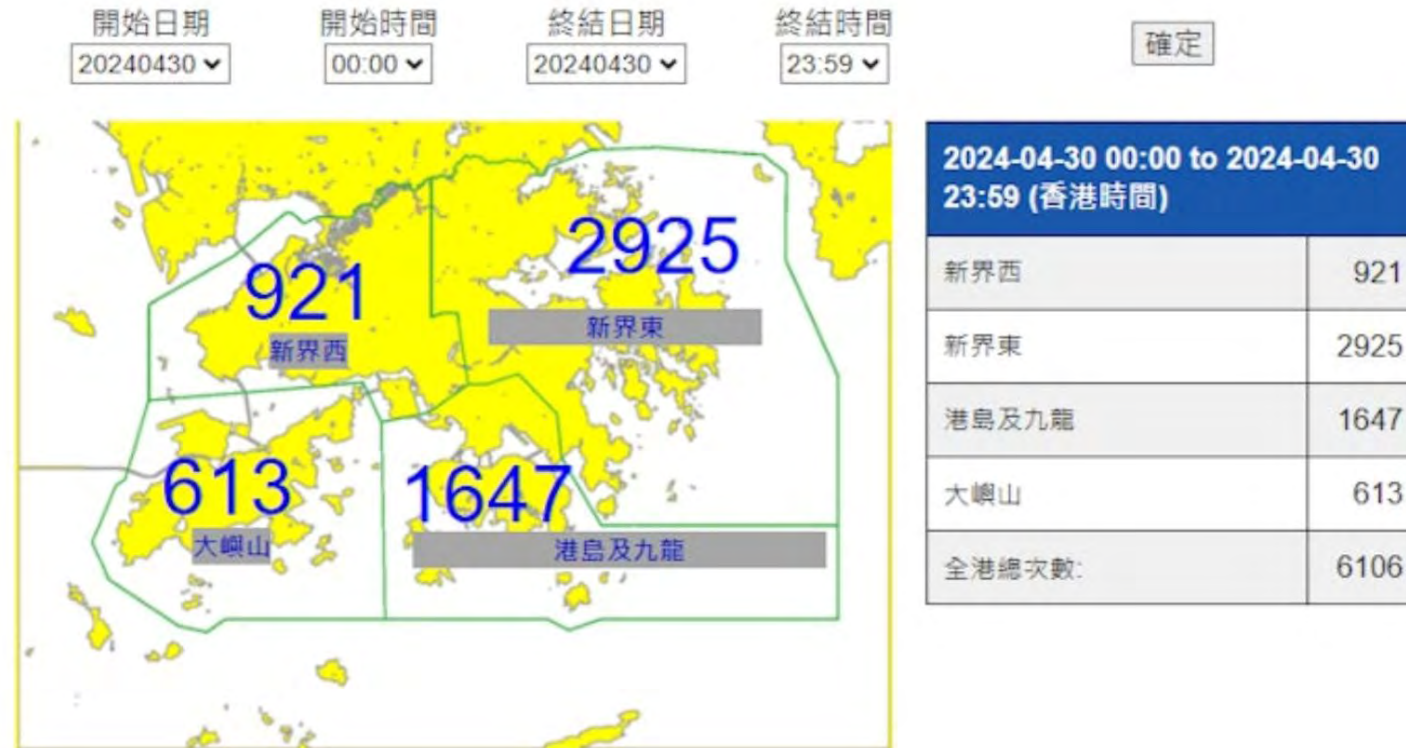


簡體



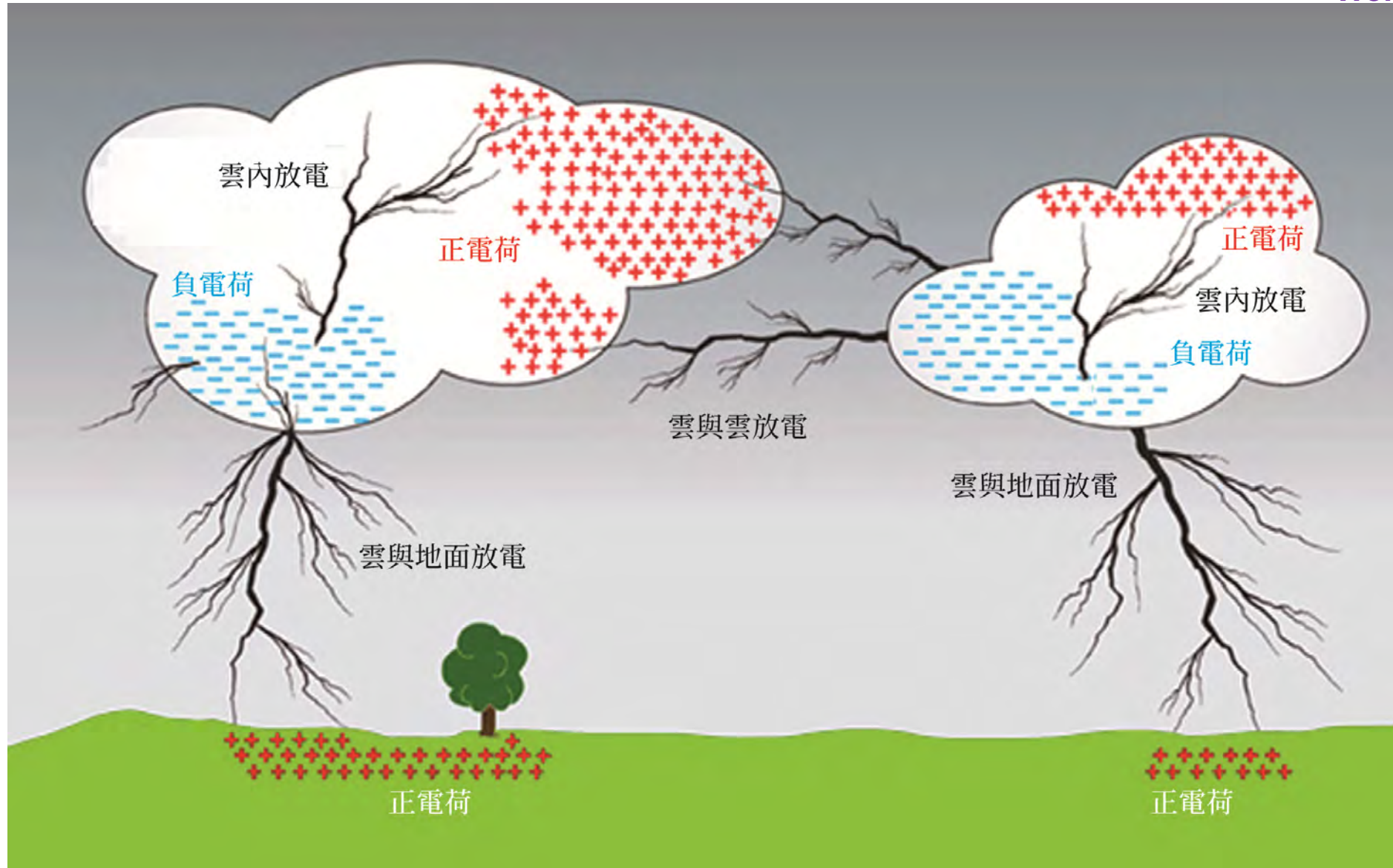
甲骨文「申」、「電」同字，本像閃電之形。在六書中屬於象形。後因假借用為乾支，轉為從「雨」從「申」的「電」字，保留其本義。金文、戰國文字、篆文、古文構形相同，皆從雨、從申。
《說文雨部》：「電，陰陽激耀也。從雨、從申。」從雨，表示閃電伴隨雷雨而至；從申，表示閃電。

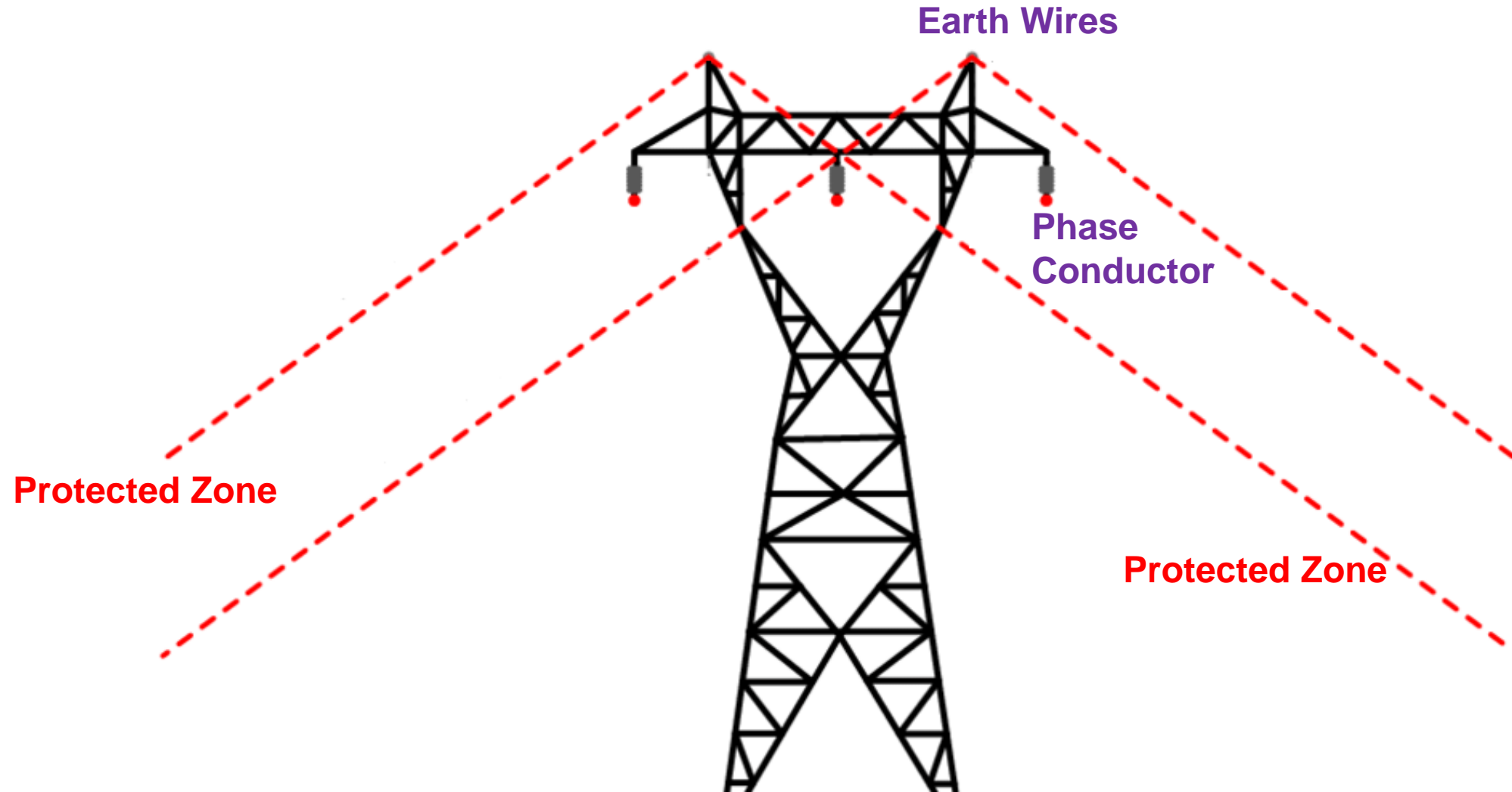
在2024年4月30日雲對地閃電分佈

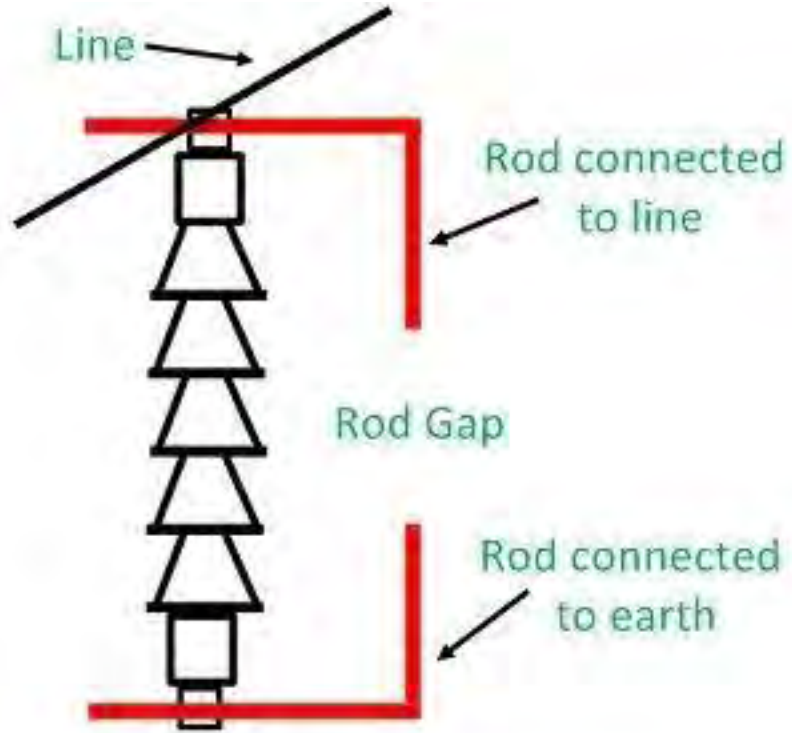


全日共錄得6,106次雲對地的閃電，而在晚上10時至11時之間，佔了5,914次。

閃電



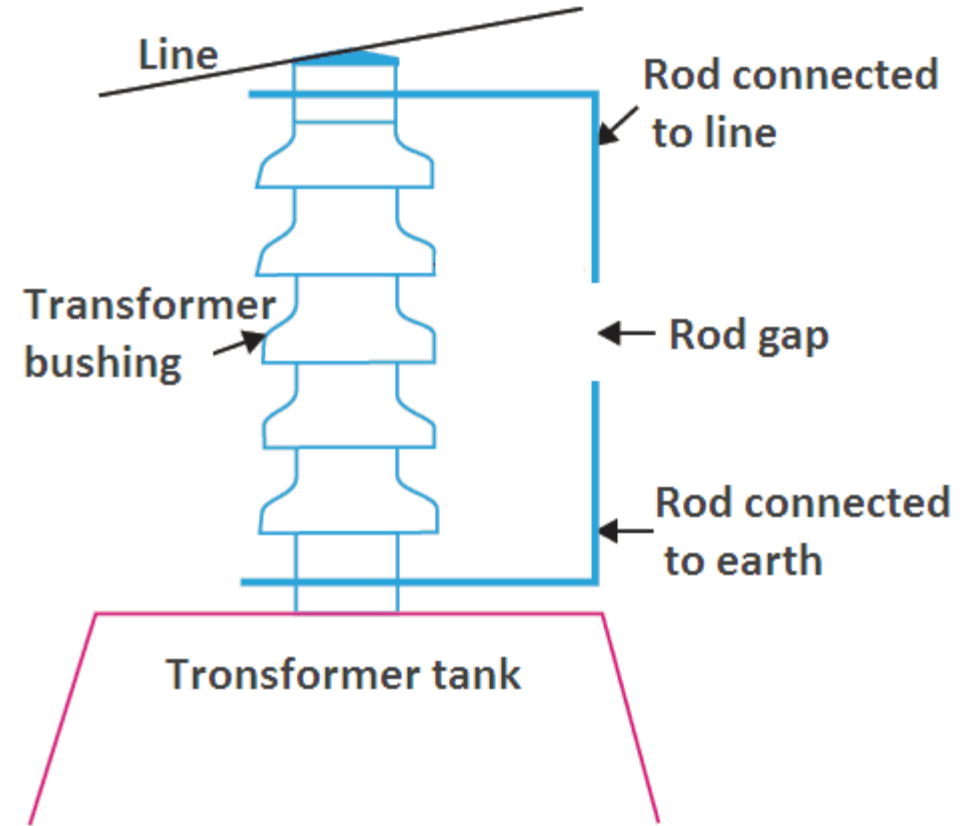




Rod gap on an insulator string

Rod Gap, Lightning Arrestors

避雷器

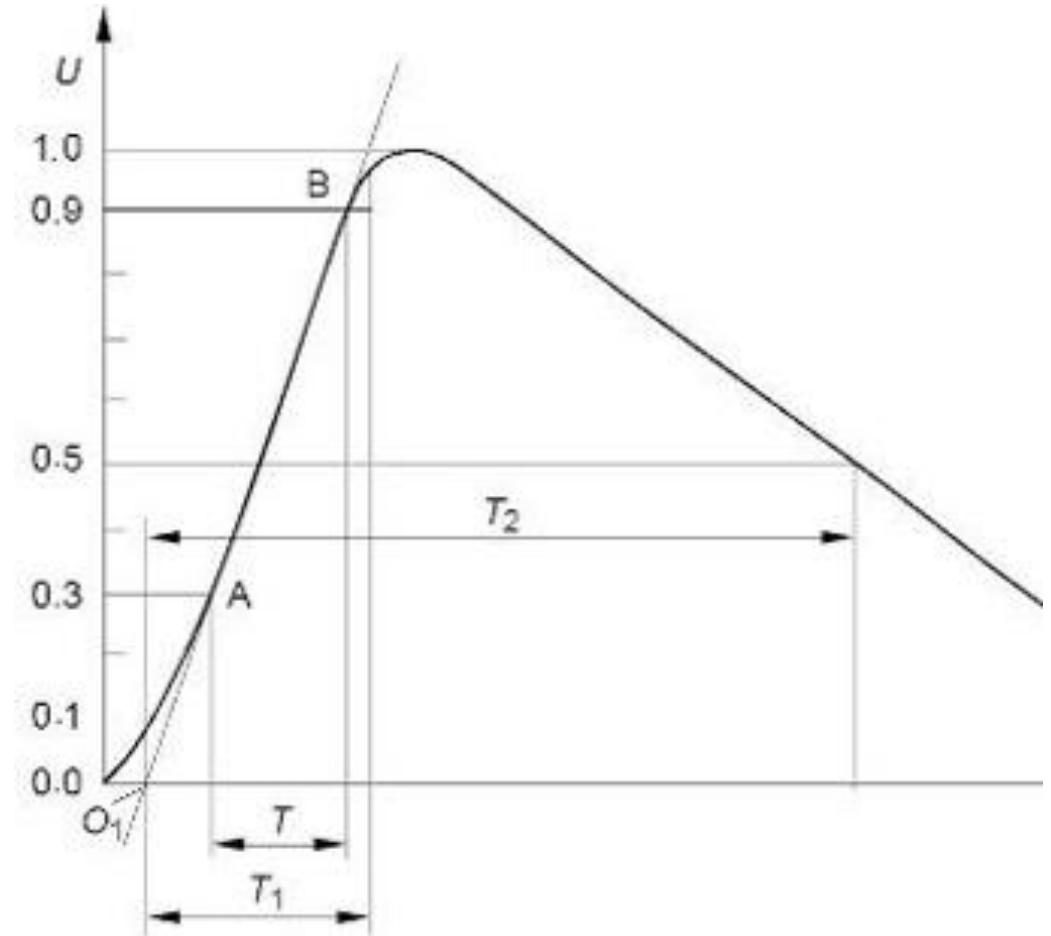


Insulation Coordination

A lightning strike consists of several shorter discharges, each lasting less than a millisecond, which together form a full discharge that lasts approximately 0.2 seconds.

This discharge can release **billions of joules** of energy, generate extremely high temperatures (up to **30,000°C**), produce plasma, and emit magnetic radiation and flashes of visible light due to the rapid movement of electrons.

Lightning Impulse Test **1.2/50 μ s**
550kV Impulse Test for 132 kV Switchgear



Front time: $T_1 = 1.67 \times T = 1.2 \mu\text{s} \pm 30\%$
Time to half-value: $T_2 = 50 \mu\text{s} \pm 20\%$

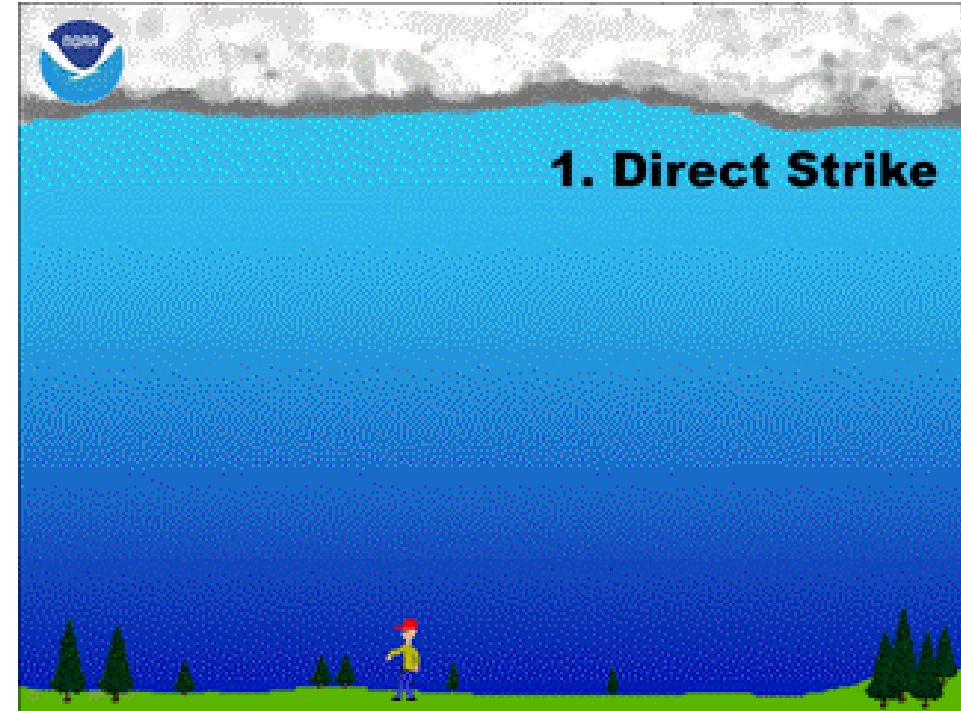
閃電與富蘭克林

在1752年，富蘭克林研究閃電，他進行了風箏實驗，在雷雨天氣下放風箏。經過實驗，證明了雷雨雲中的閃電與靜電放電的火花相同。

萊頓瓶 (Lydon Jar)
可儲存靜電

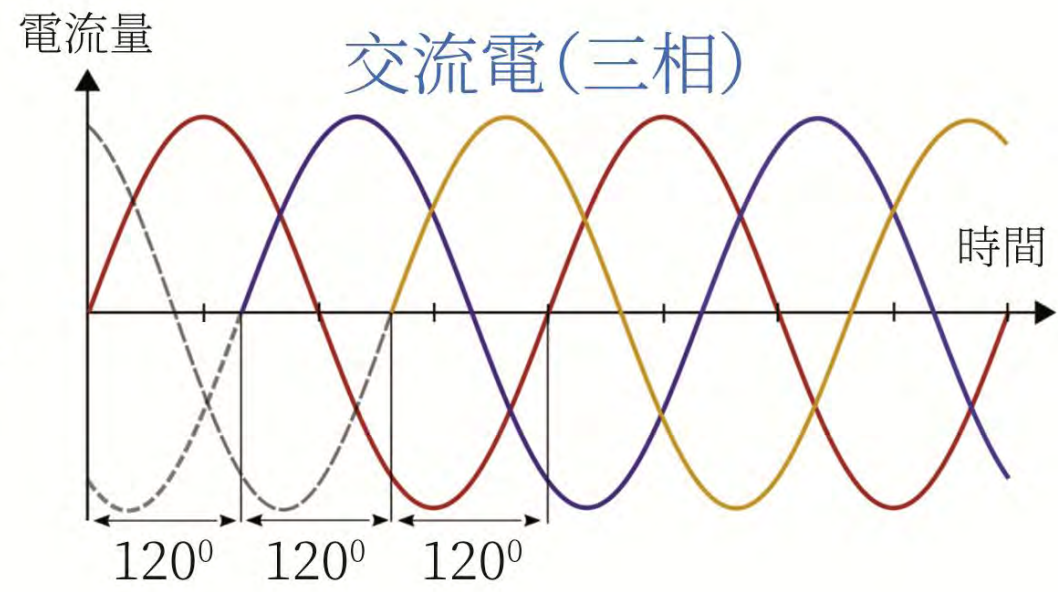
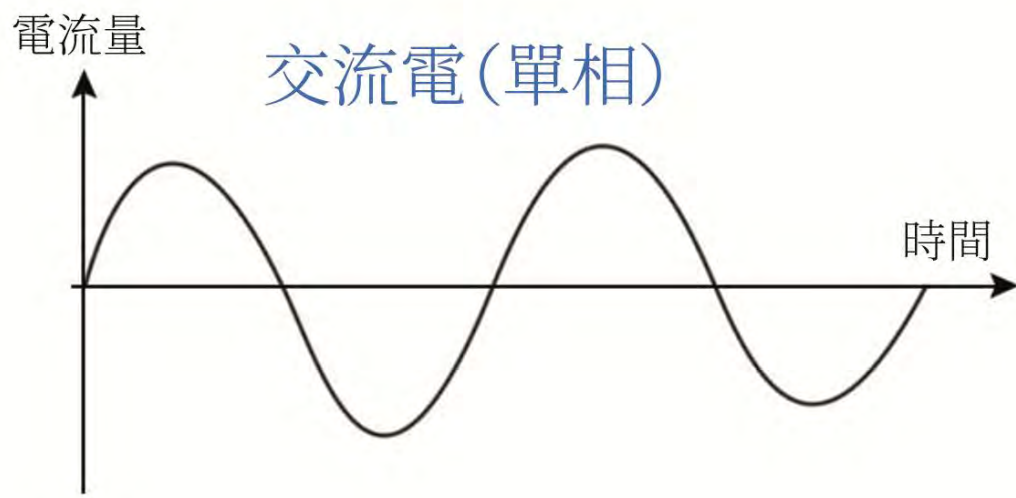
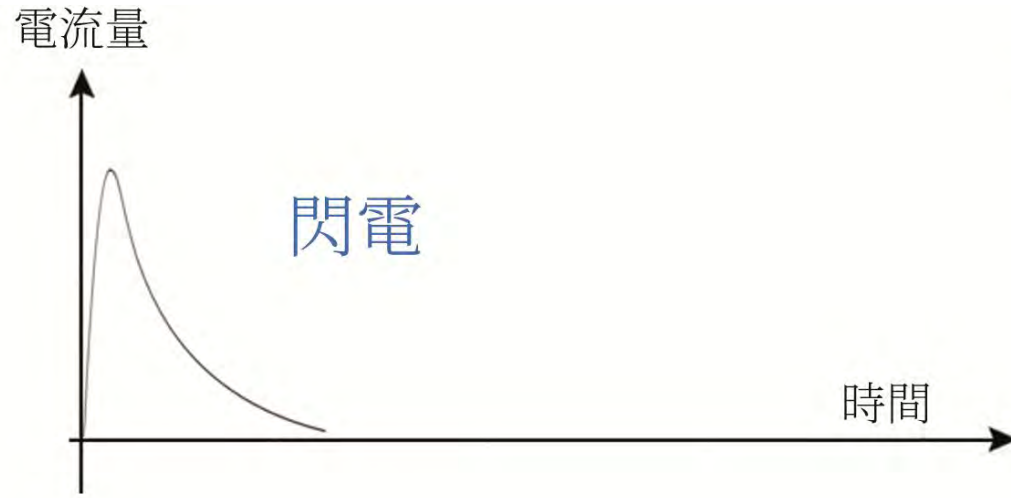


■ 雷擊



秘魯在2024年十一月三日的一場足球比賽，被集體雷擊，有8名球員同恃遭殃，同一時間僵直式跌在球賽草地上，其中一人傷重不治。死者手戴金屬手鐲，吸引電流到身上。

「電」的種類 (根據電流形式)



電流戰爭

法拉第在1831年發現的電磁感應展示了一種構造簡單發電的方法，回想在1880年代初期的發電機是有兩類型：直流（Direct Current）發電機及交流（Alternating Current）發電機。

事實上，直流發電機是在交流發電機加上換向器（commutator）便可產生直流電。有了發電機，電力供應商可以將電力照明帶入客戶的企業或家庭。

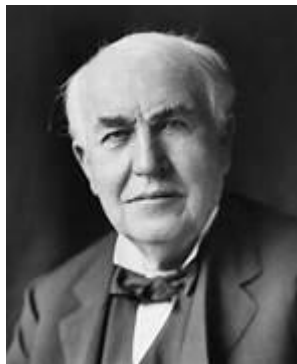


電流戰爭

Wonderful Electricity



1893 年芝加哥世界哥倫布博覽會



愛迪生 (Thomas Edison) 的愛迪生照明公司在1882年成立，它基於相對較低的 110 伏特直流電源，為其高電阻白熾燈供電。直流供電的有效傳輸範圍相對較短而發電廠必須靠近人口中心，為距離少於一英里的客戶提供供電服務。



在1884年，**威斯汀豪斯** (George Westinghouse) 的西屋公司亦進入電氣照明行業，他在1885年知道英國正在開發交流電系統。隨著變壓器的發展，變壓器能將電壓「升壓」到更高的傳輸電壓(此電壓是3,000伏特)，然後降至較低的最終用戶電壓供商業和住宅使用。

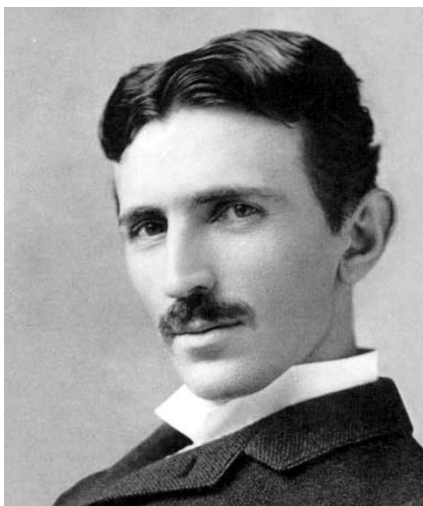
愛迪生的愛迪生照明公司在1882年成立，它基於相對較低的 110 伏特直流電源。直流發電機可以直接與蓄電池一起使用，從而在輕負載時使用較小的機器實現經濟化運作並提高可靠性。直流供電的有效傳輸範圍相對較短而發電廠必須靠近人口中心，為距離少於一英里的客戶提供供電服務。

在1884年，喬治·威斯汀豪斯的西屋電氣公司 (Westinghouse Electric) 亦進軍電氣照明行業，在1886年3月，安裝了第一個多電壓的交流電源系統為白熾燈供電。

到1887年底，湯姆森·休斯頓電力公司 (Thomson-Houston Electric Company) 亦建造了 22 個發電站，能提供直流及交流供電系統。

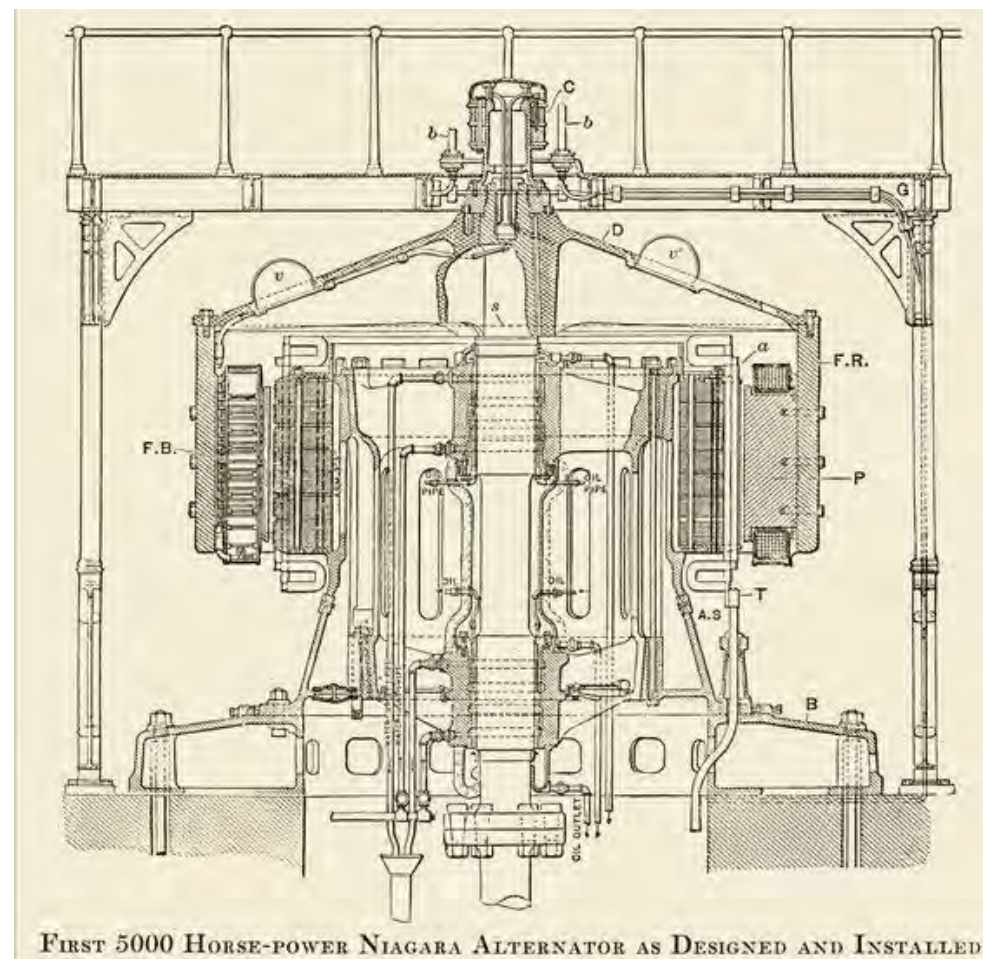
當時的愛迪生照明公司擁有 121 個直流電站，西屋電氣公司則擁有 68 個交流電站。

電流戰爭



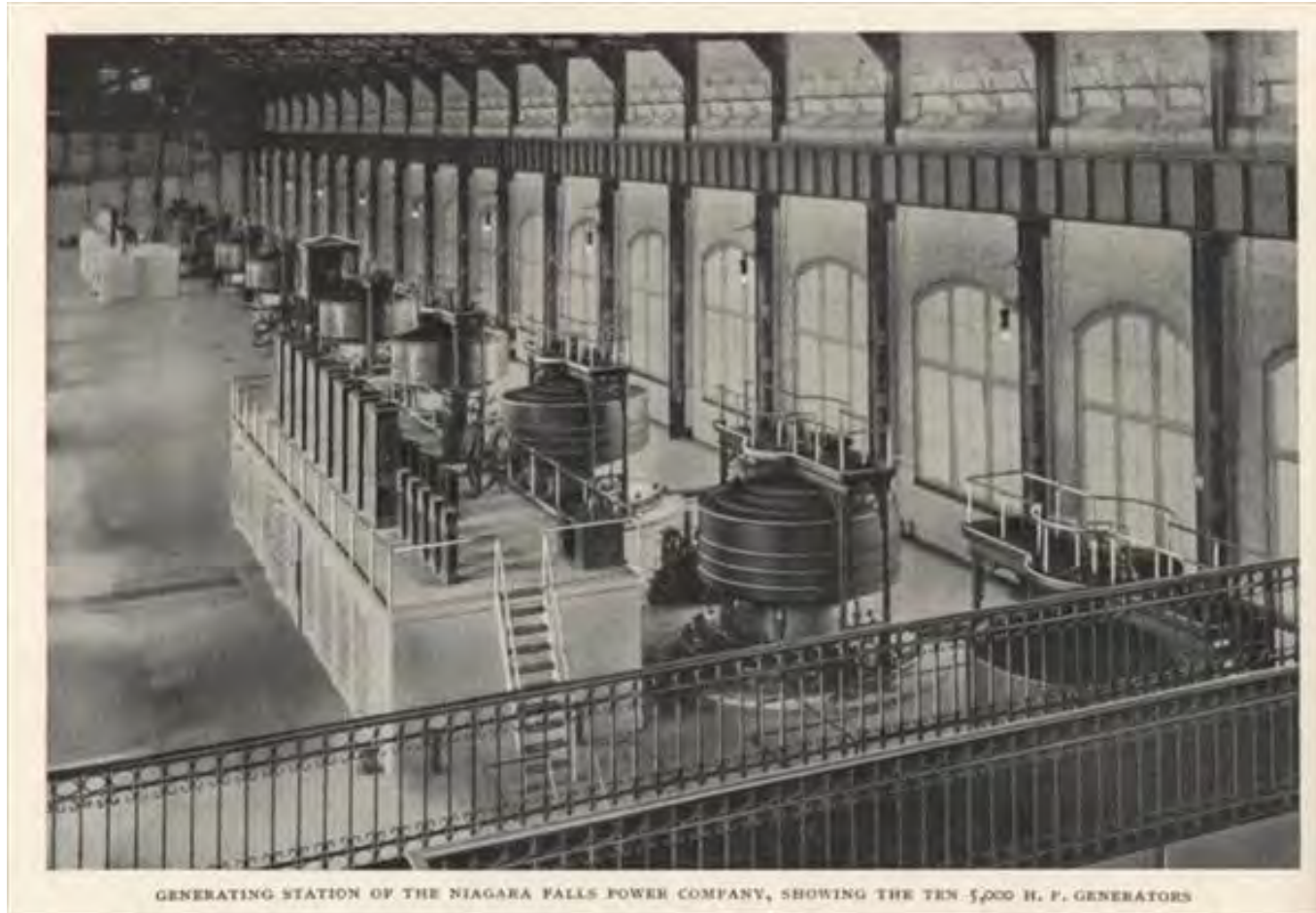
在電力行業中，**特斯拉**(Nikola Tesla)在交流電的研究於1887- 1888 年間，共獲得了 30 多項發明專利。特斯拉的基本專利發明將「兩相」發電機與電動馬達連接一起。並在該專利中，亦描繪了一種具有三個線圈的發電機，其末端連接到六個絕緣接觸環，形成三個獨立的電路（這是日後「三相」供電電網的雛型）。

特斯拉於1888 年5月受邀在美國電氣工程師學會發表演講，其講題是「交流馬達和變壓器的新系統」，引起威斯汀豪斯的注意。因為特斯拉的交流電機和相關電源系統，是符合西屋公司所需。特斯拉在西屋公司工作期間，他專注於頻率相對較高（125 Hz 和 133 Hz）的兩相和單相感應馬達，但他未能製造出可靠的感應電機。其後，在蘇聯的**多布羅沃爾斯基**(Dolivo-Dobrovolsky)觀看了特斯拉的兩相系統後亦成功製作了三相感應馬達。其後，三相六線更可以減少至三相三線供電，交流供電成為了供電的經濟模式，才結束了以上交流電與直流電之爭。



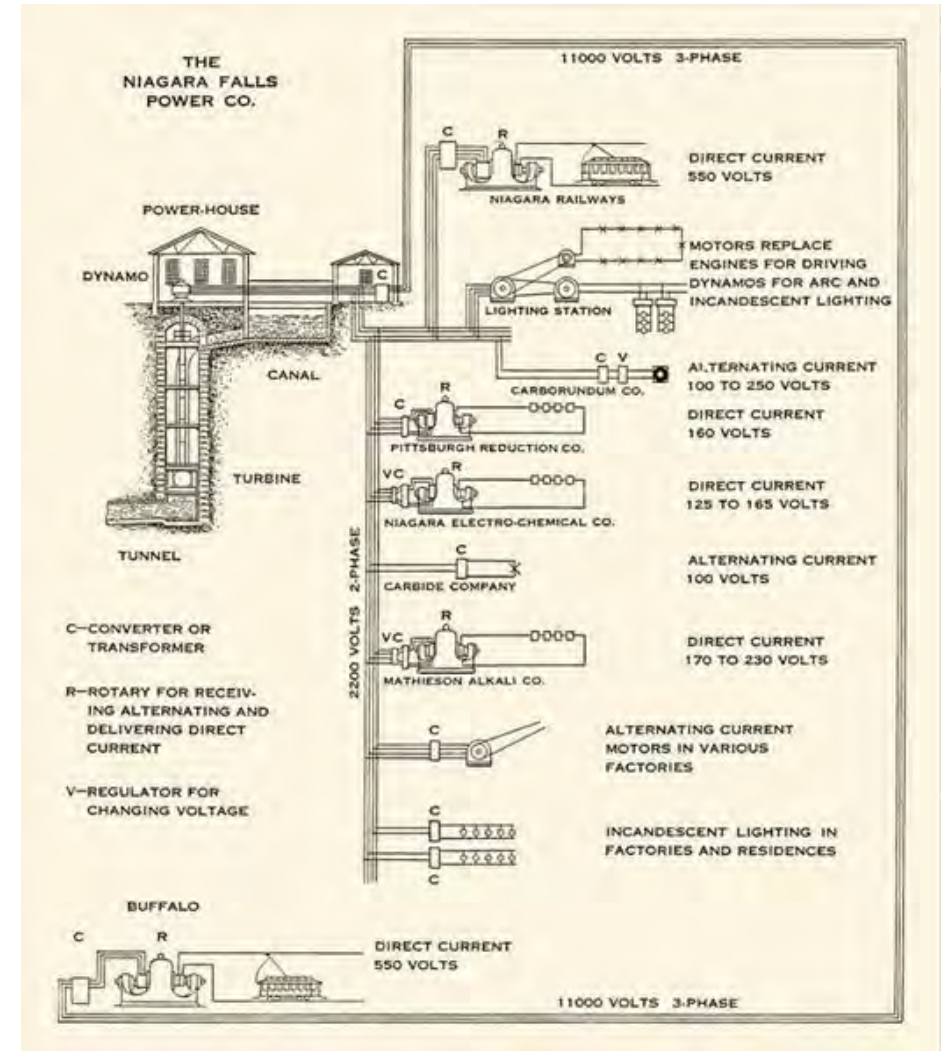
FIRST 5000 HORSE-POWER NIAGARA ALTERNATOR AS DESIGNED AND INSTALLED

三相供電

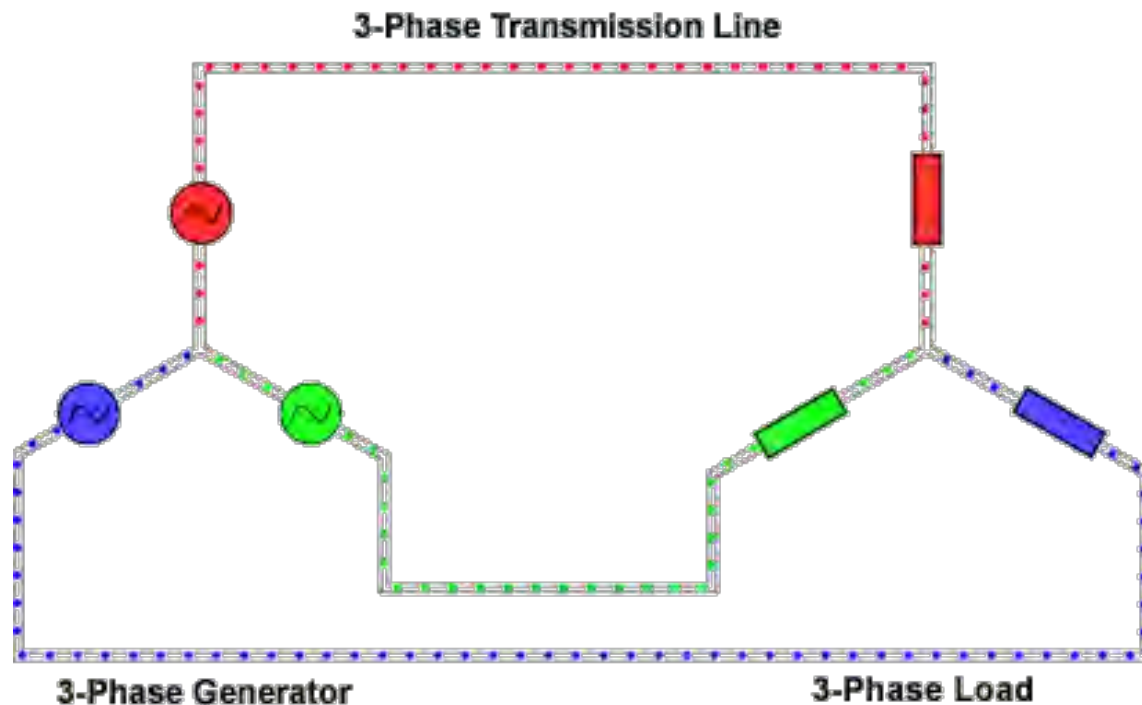


GENERATING STATION OF THE NIAGARA FALLS POWER COMPANY, SHOWING THE TEN 5,000 H. P. GENERATORS

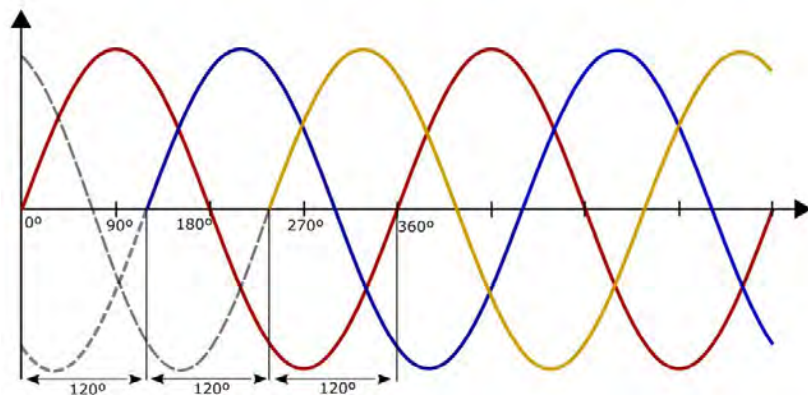
尼加拉瀑布電力公司
10 x 3.7MW Generator (2 phases)



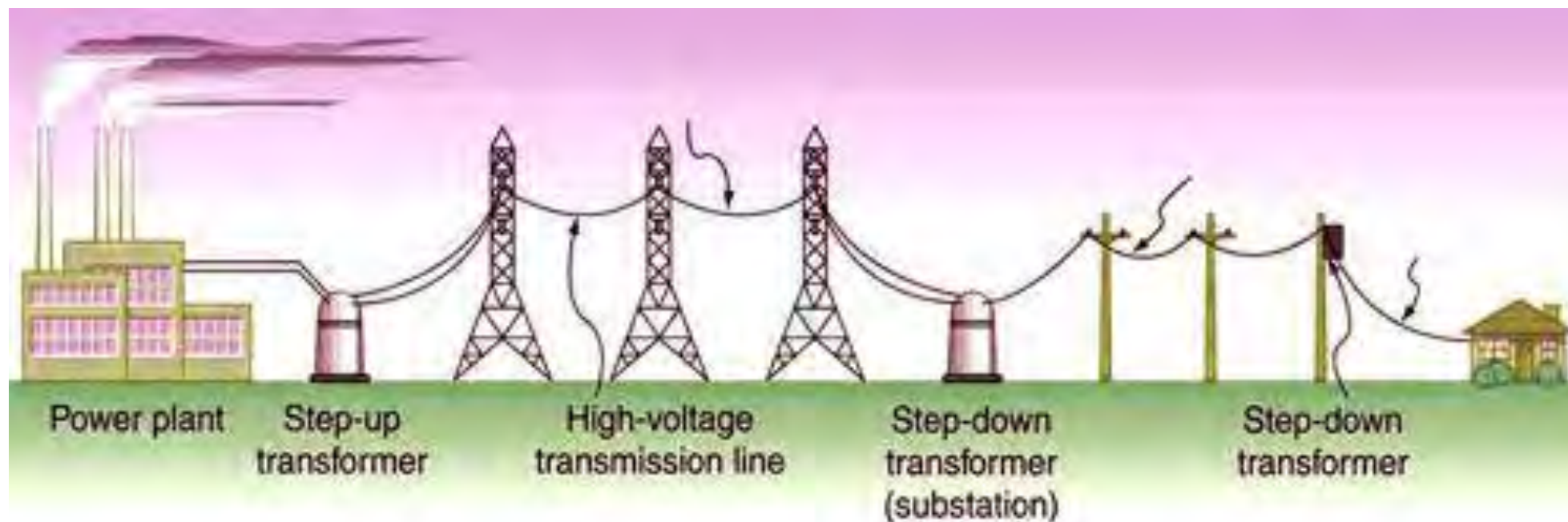
三相供電



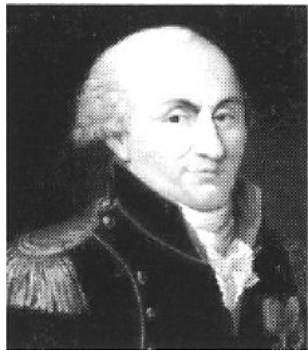
蘇聯的**多布羅沃爾斯基**(Dolivo-Dobrovolsky)觀看了特斯拉的兩相系統後亦成功製作了三相感應馬達。三相六線更可以減少至三相三線供電。當他申請專利時，才發覺**特斯拉**(Nikola Tesla)在交流電「兩相」發電機與電動馬達連接一起。並在該專利中，亦描繪了一種具有三個線圈的發電機，其末端連接到六個絕緣接觸環，形成三個獨立的電路。所以三相三線供電是由**特斯拉**發明的。



三相供電



電力系統的發電、輸電及配電，從1880年開始計起，已有140年的歷史了。但電力從發電機將能源轉化為電能再經三相供電電網傳送至用戶仍然是不變的。這些當然改變了以前依靠蠟燭和煤油燈照明的歲月，而電力更是日常都市家庭生活的必需品，以供電燈，電視機、雪櫃、冷氣機等各種家電之用。電力系統是包括發電、輸電及配電等主要部分，將電能從發電送至每一個用戶。



在1785至1791年間，**庫侖** (Charles Augustin de Coulomb) 發表了七篇有關電與磁的重要論文。電荷的單位因此以「庫侖」命名。



在1831年，**法拉第** (Michael Faraday) 提出他一生中最重要的發現「電磁感應現象」。電容的單位，是以「法拉第」命名。



在1831年，**亨利** (Joseph Henry) 創造了史上最早的電磁驅動機器之一。電感的單位是以「亨利」命名。



在1887年，**赫茲** (Heinrich Rudolph Hertz) 證明電磁波能在空氣傳播，其速度為光速，頻率的單位亦以「赫茲」命名。

在電學中常用的方程式是

$$\text{電壓} = \text{電流} \times \text{電阻} \quad V = I R$$

$$\text{損耗} = \text{電流}^2 \times \text{電阻} = I^2 R$$

電壓的單位是**伏特**，電流的單位是**安培**，而電阻的單位是**歐姆**。這些以電學名人的名字作為單位，是紀念他們對電學的貢獻。



在1800年，**伏特**
(Alessandro Volta)
發明了第一個電池。



在1826年，**安培**(André-
Marie Ampère) 提出安培
定律。



在1826年，**歐姆**
(Georg Simon Ohm)提出
歐姆定律



在2xxx年，**你的名字**發現某些現象及定律。電?的單位，是以「你的名字」命名。

Hong Kong Transmission System Voltages (AC)

Wonderful Electricity

S7

CLP Power		Hongkong Electric	
Year	Kowloon and NT area	Year	Island area
1982	400 kV	1982	275 kV
1966	132 kV	1971	132 kV
1961	66 kV	1964	66 kV
1953	33 kV	1958	33 kV
1948	11 kV	1949	11 kV

電力高壓傳送

輸電系統最高電壓是超高壓輸電

1100kV交流

±800kV直流

中國擁有最長的超高壓輸電網

電力高壓傳送

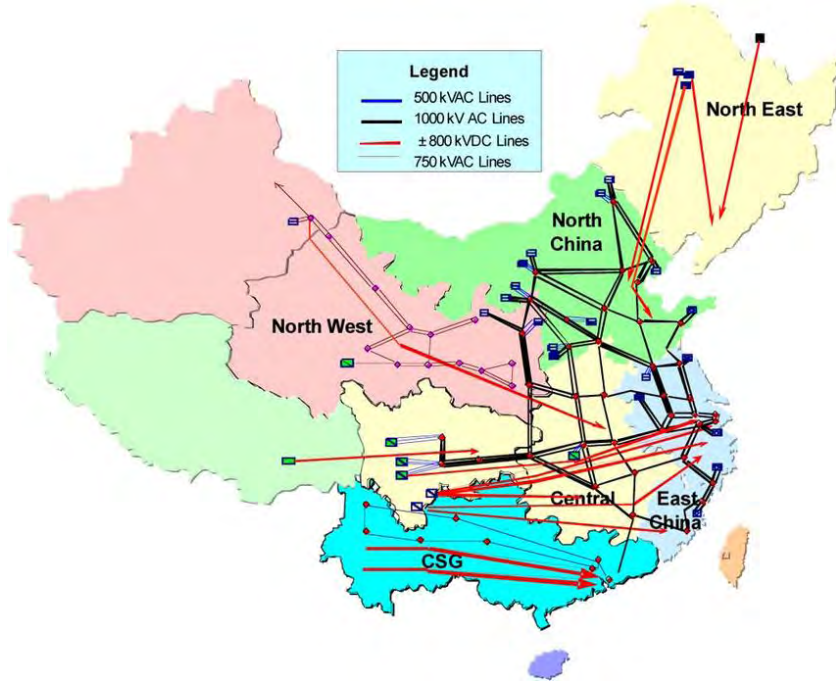
Wonderful Electricity



西電東輸

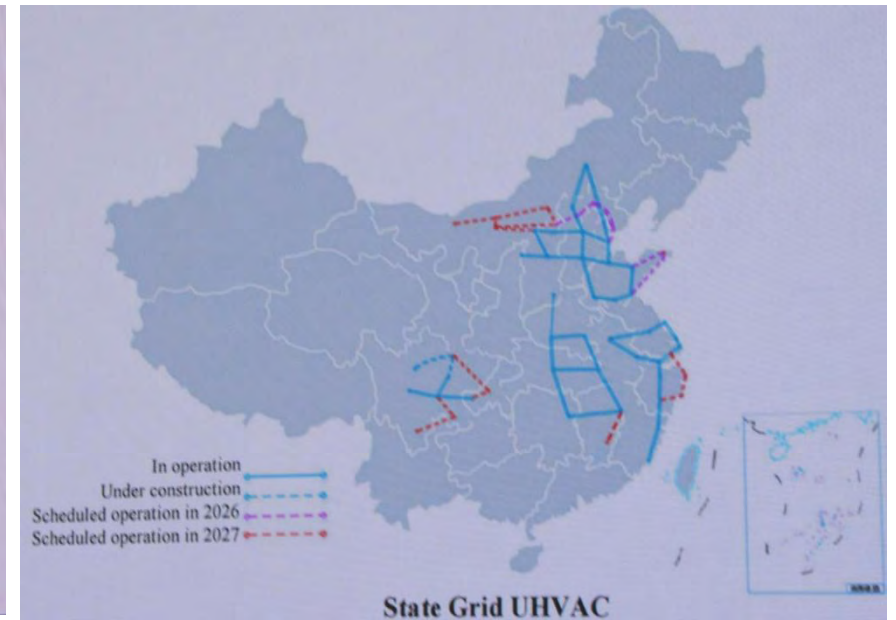
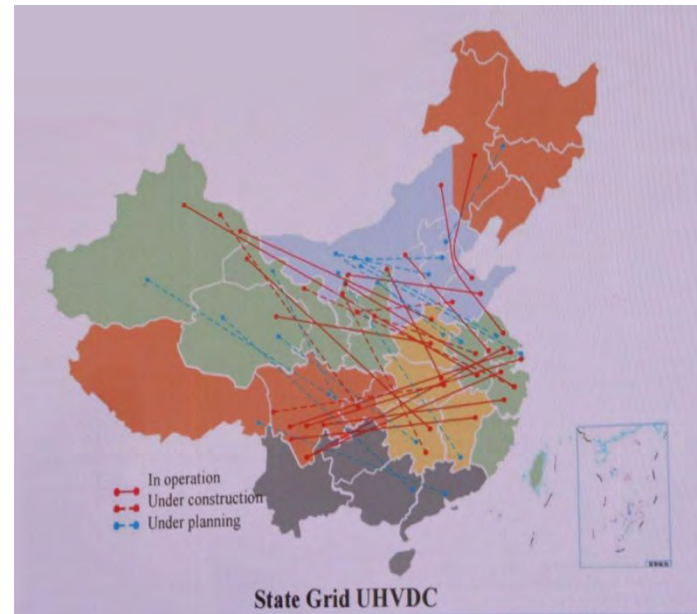
電力高壓傳送

Wonderful Electricity



30,000 km, 170GW

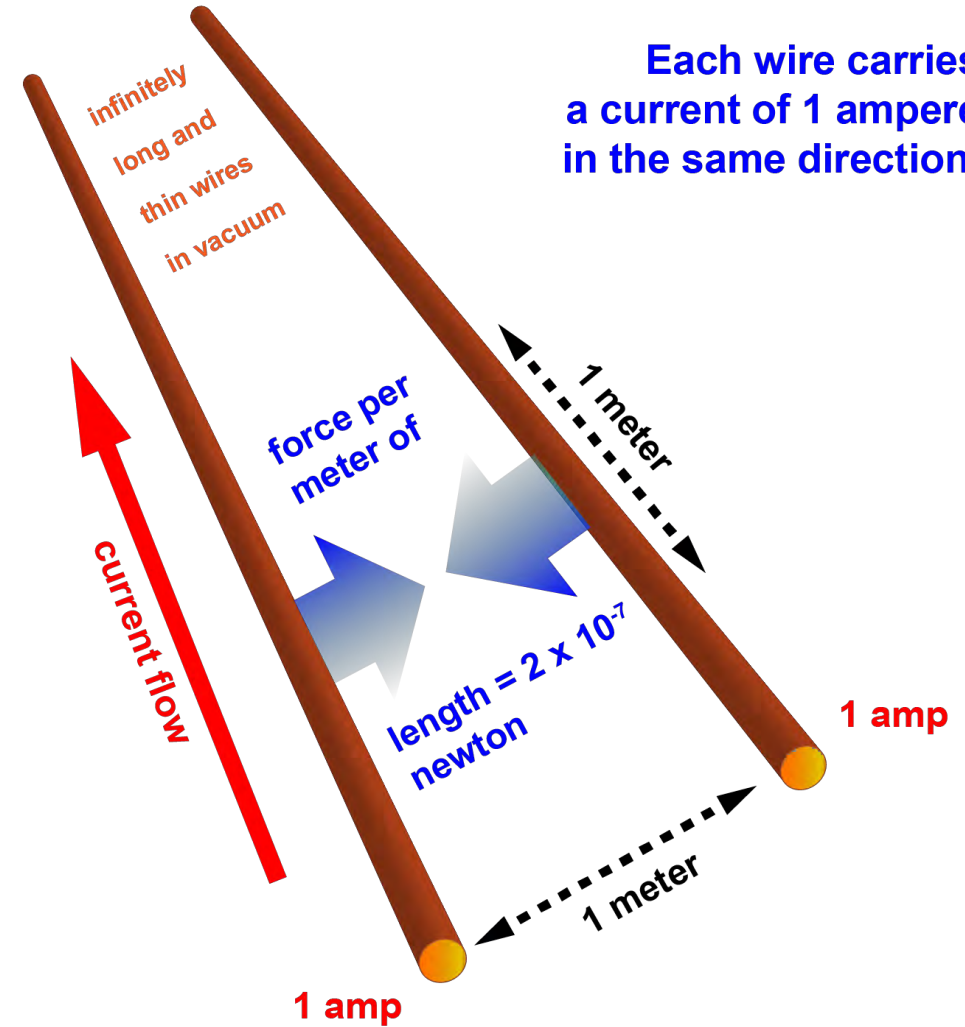
20,000 km, 234 GW



22 條交流線路
20 條直流線路

電流的定義

The ampere is that constant current which, if maintained in two straight parallel conductors of infinite length, of negligible circular cross-section, and placed one metre apart in vacuum, would produce between these conductors a force equal to 2×10^{-7} newtons per metre of length.

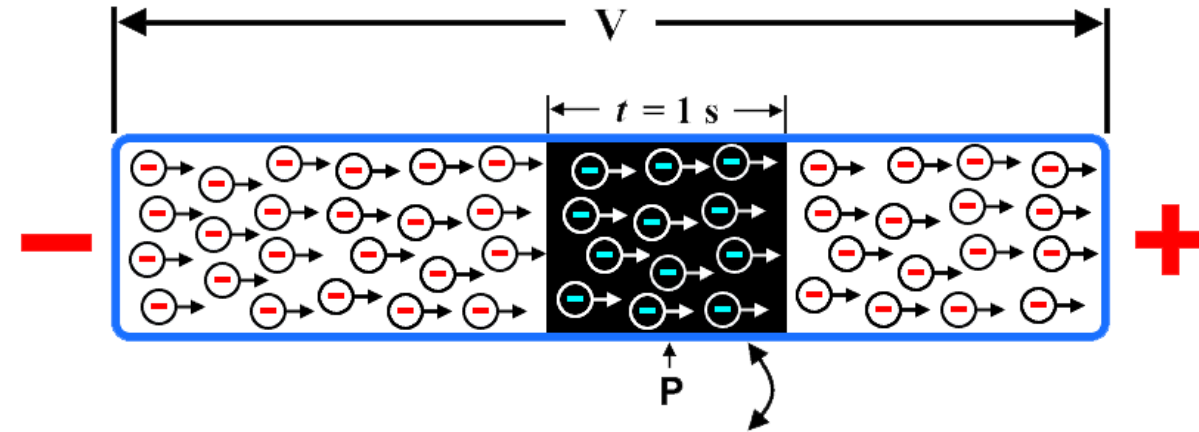


電流的定義

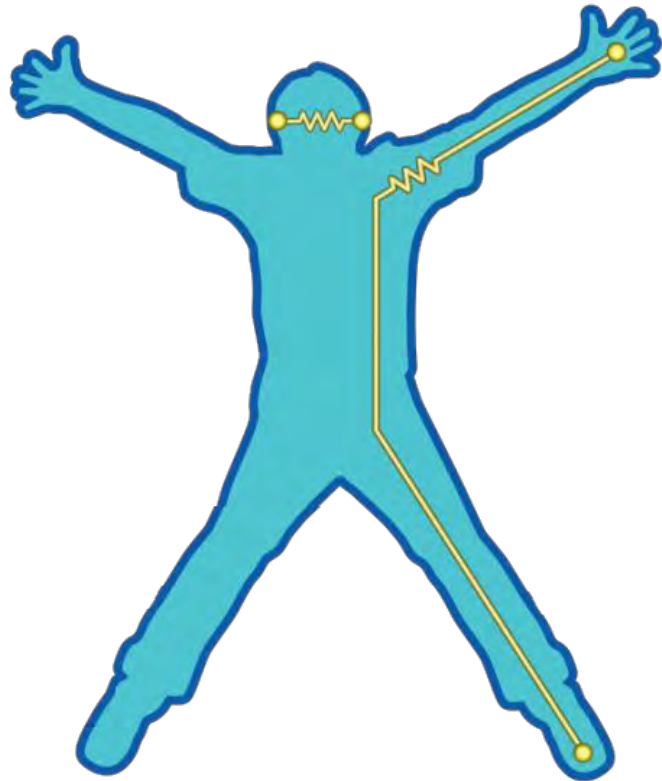
The ampere by taking the fixed numerical value of the elementary charge e to be $1.602176634 \times 10^{-19}$ when expressed in the unit Coulomb, which is equal to A·s, where the second is defined in terms of $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, (the unperturbed ground state hyperfine transition frequency of the caesium-133 atom 銻).

(adopted in 2019)

Amp = Coulomb ÷ Second



This group of electrons (6.25×10^{18}) has 1 coulomb of charge and flow past the point "P" in one second.



耳到耳電阻=100 歐姆

手到腳電阻=500 歐姆

電流(毫安培)

對人體可能產生的影響

1 mA

感知水平。輕微刺痛感。在某些條件下仍然很危險。

5 mA

感到輕微的震動；不痛苦但令人不安。一般人可以放手。然而，對此範圍內的衝擊產生強烈的無意識反應可能會導致受傷。

6 -16 mA

痛苦的休克，開始失去肌肉控制。通常稱為凍結電流或“釋放”範圍。

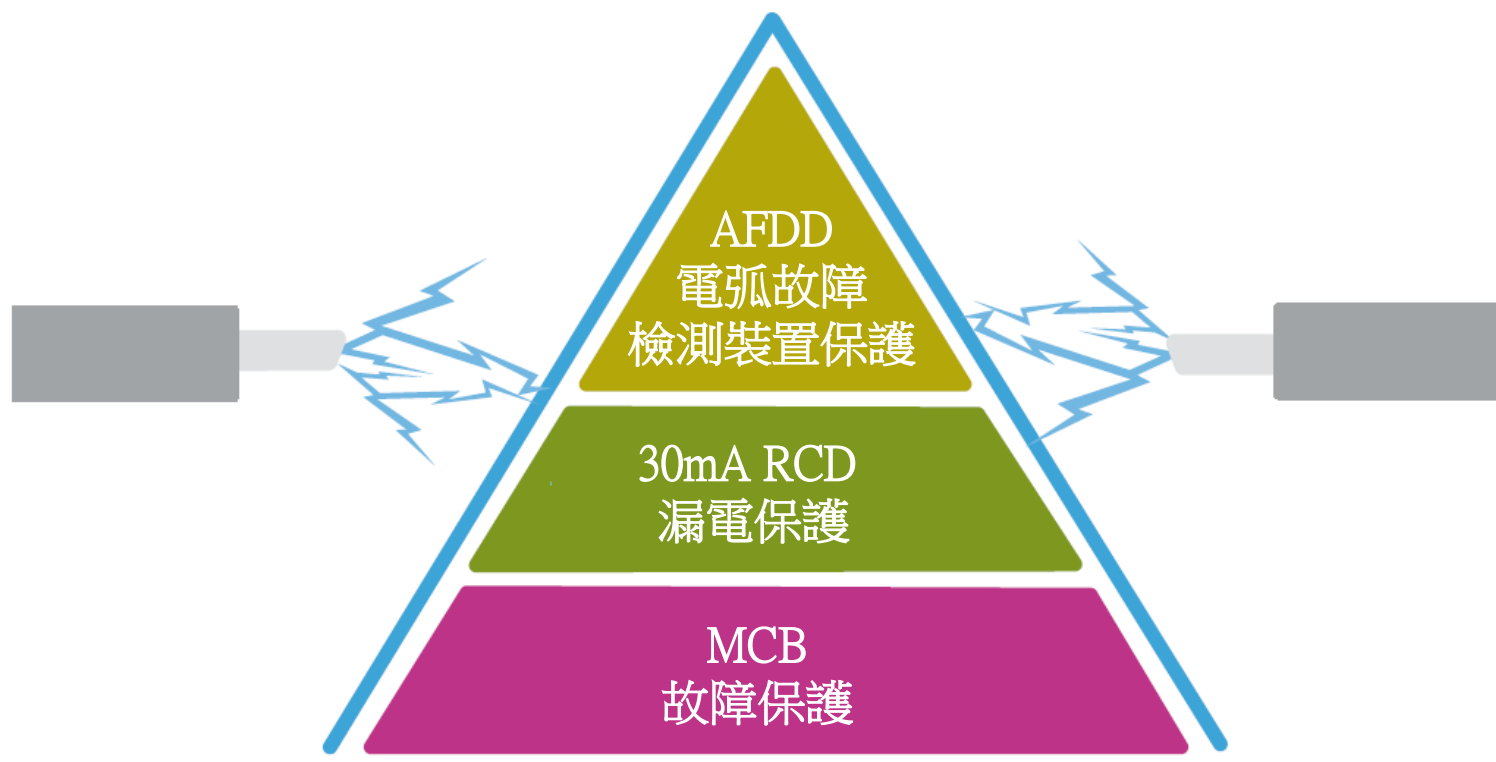
17- 99 mA

極度疼痛、呼吸停止、劇烈肌肉收縮。個人不能放手。死亡是可能的。

100 - 2000 mA

心室顫動（心臟跳動不均、不協調）。死亡是有可能的。

故障保護 MCB、漏電保護RCD、電弧故障檢測裝置保護AFDD
是家居電力安全的三寶

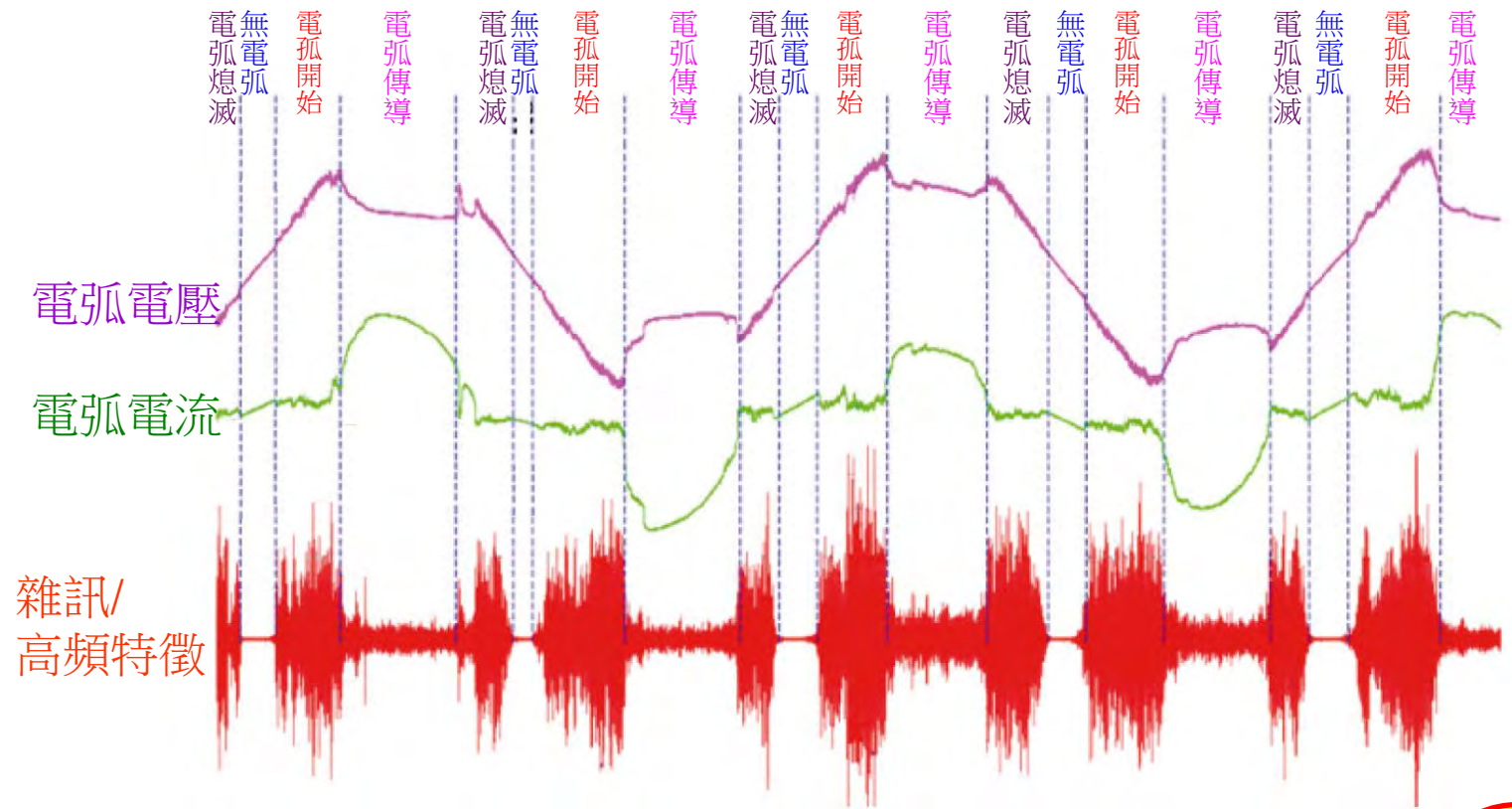


電弧故障檢測裝置

Wonderful Electricity



電弧故障檢測裝置原理

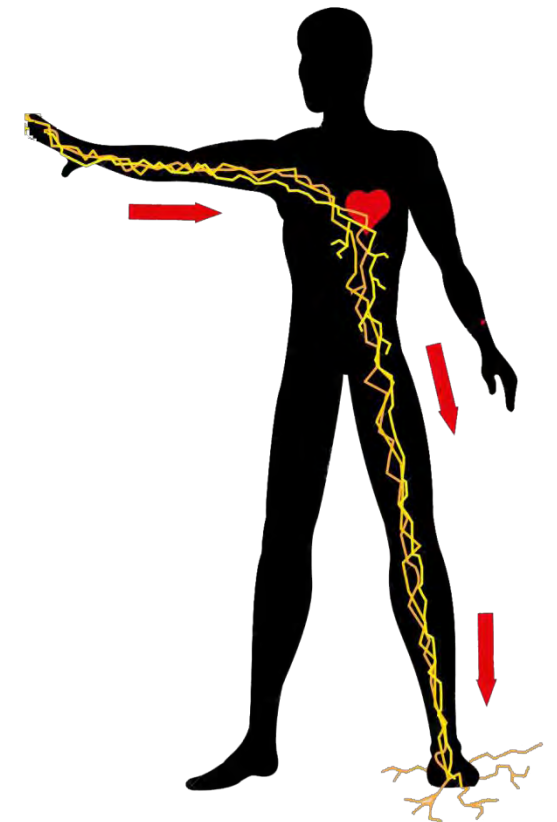


指

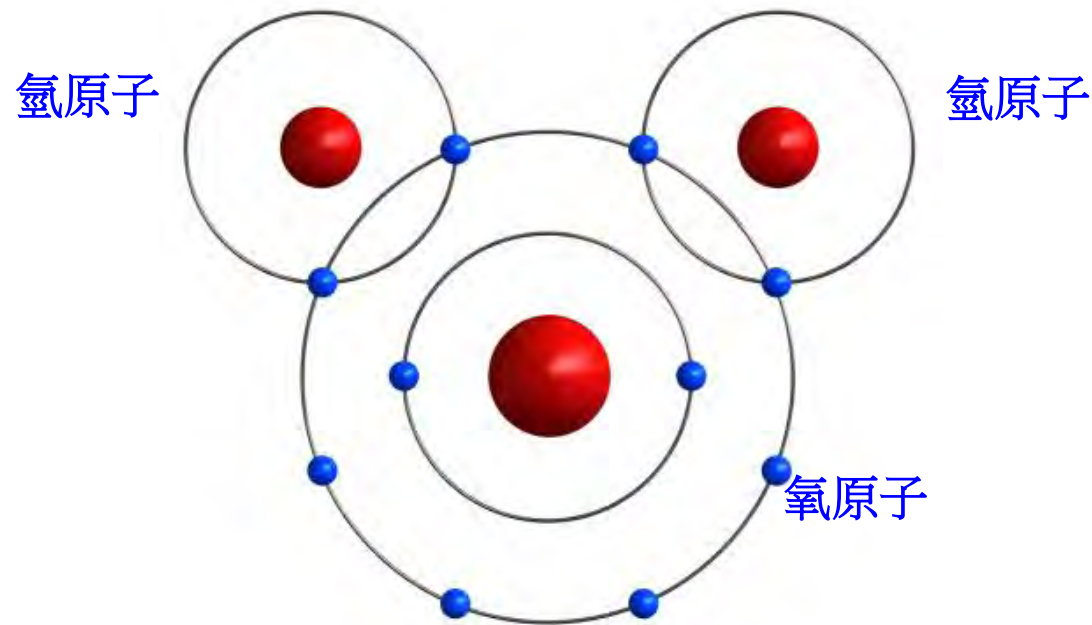
一陽指

Wonderful Electricity

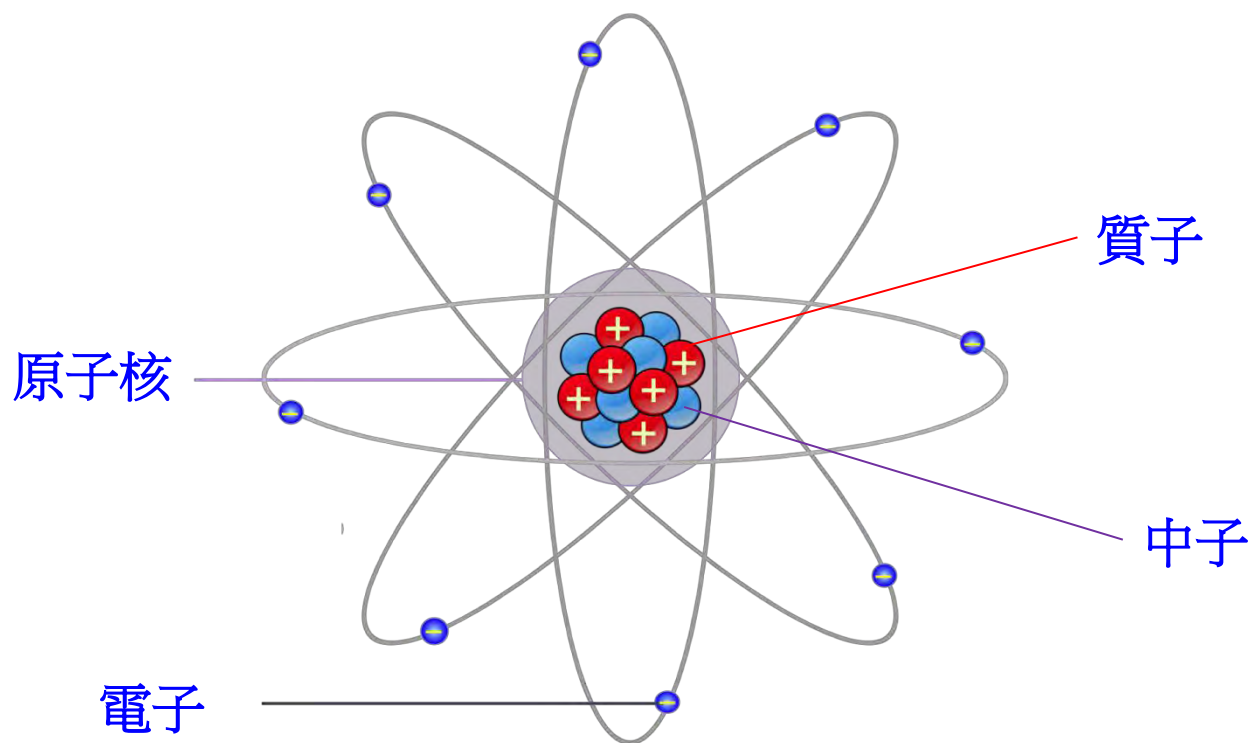
S 9

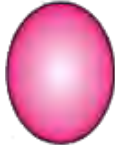




佔有空間的物質可分割之最小微粒，是為分子。組成分子的基本單元，稱為原子（atom）。例如水由水分子組成，水分子則由兩個氫原子及一個氧原子結合而成。

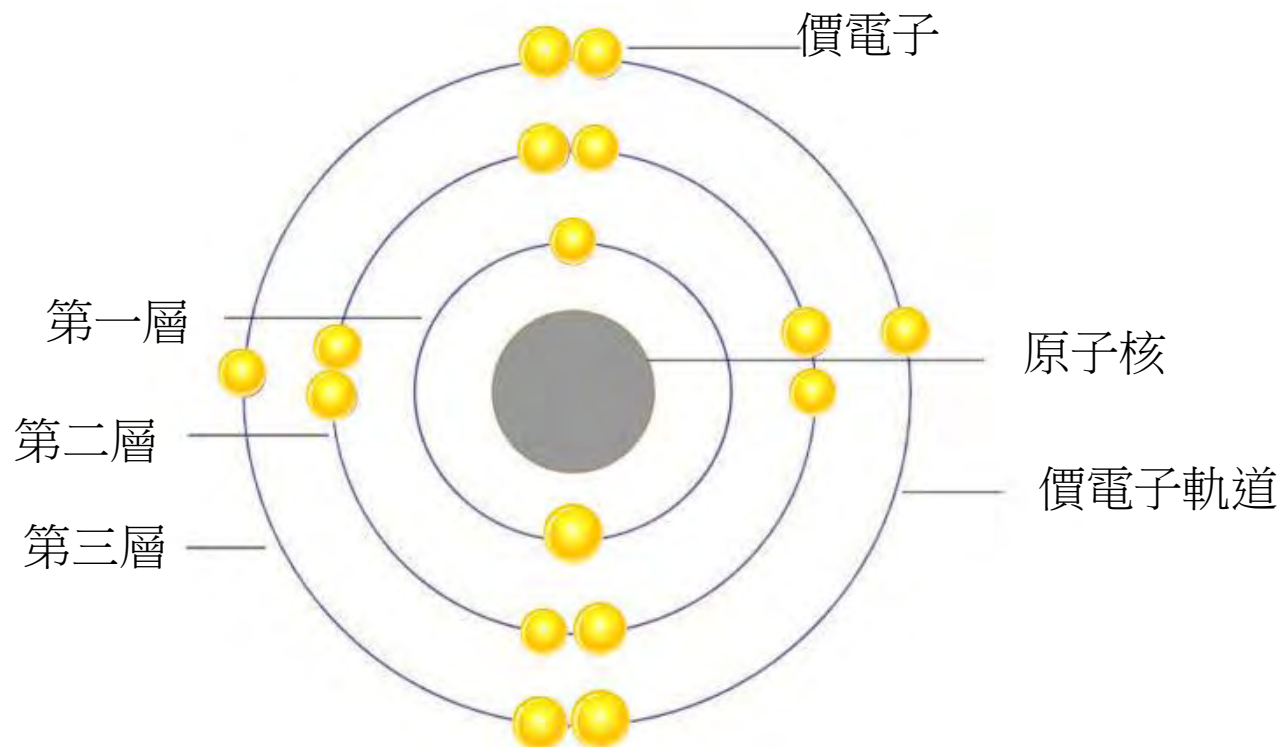


組成原子的基本構造包括原子核（nucleus）及圍繞在原子核外圍的電子（electron），而原子核內則由中子（neutron）及質子（proton）組成。



Relative size	Name	Mass (Kg)	Charge (C)
	Proton	1.67×10^{-27}	$+1.602 \times 10^{-19}$
	Neutron	1.67×10^{-27}	0
	Electron	9.11×10^{-31}	-1.602×10^{-19}

Electron is small in mass and weight



半導體是當價電子數目等於 4 個，此物質的導電性介於導體與絕緣體之間，受外界不同因素影響而有不同的電性，如矽、鍺等。例外：如碳雖為 4 價，但不是半導體。

物質可利用其構成原子的價電子數目來初步判斷其導電性能。當價電子數目少於 4 個，該物質的價電子容易受外來能量而游離成為自由電子，因此該物料容易導電成為**導體**，如銅及鋁等金屬。

當價電子數目多於 4 個，此物料的價電子是被緊密束縛在其原子周圍，其不易受外來影響成為自由電子而成為絕緣體，如玻璃及陶瓷等物料。**絕緣體**在電氣設備中的功用，是用作支撐或隔離各個不同的導體，不讓電流流過。

守門人

Wonderful Electricity

S11

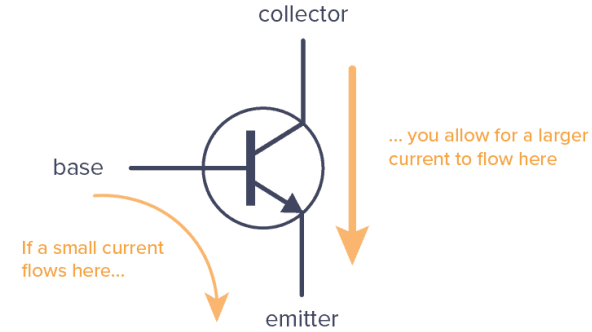


原子粒 Transistor

A transistor is a semiconductor device with at least three terminals for connection to an electric circuit.

The first transistor was successfully demonstrated on December 23, 1947, at Bell Laboratories in Murray Hill, New Jersey. Bell Labs was the research arm of American Telephone and Telegraph (AT&T).

The three individuals credited with the invention of the transistor were William Shockley, John Bardeen and Walter Brattain. They are Nobel prize winner in Physics in 1956.



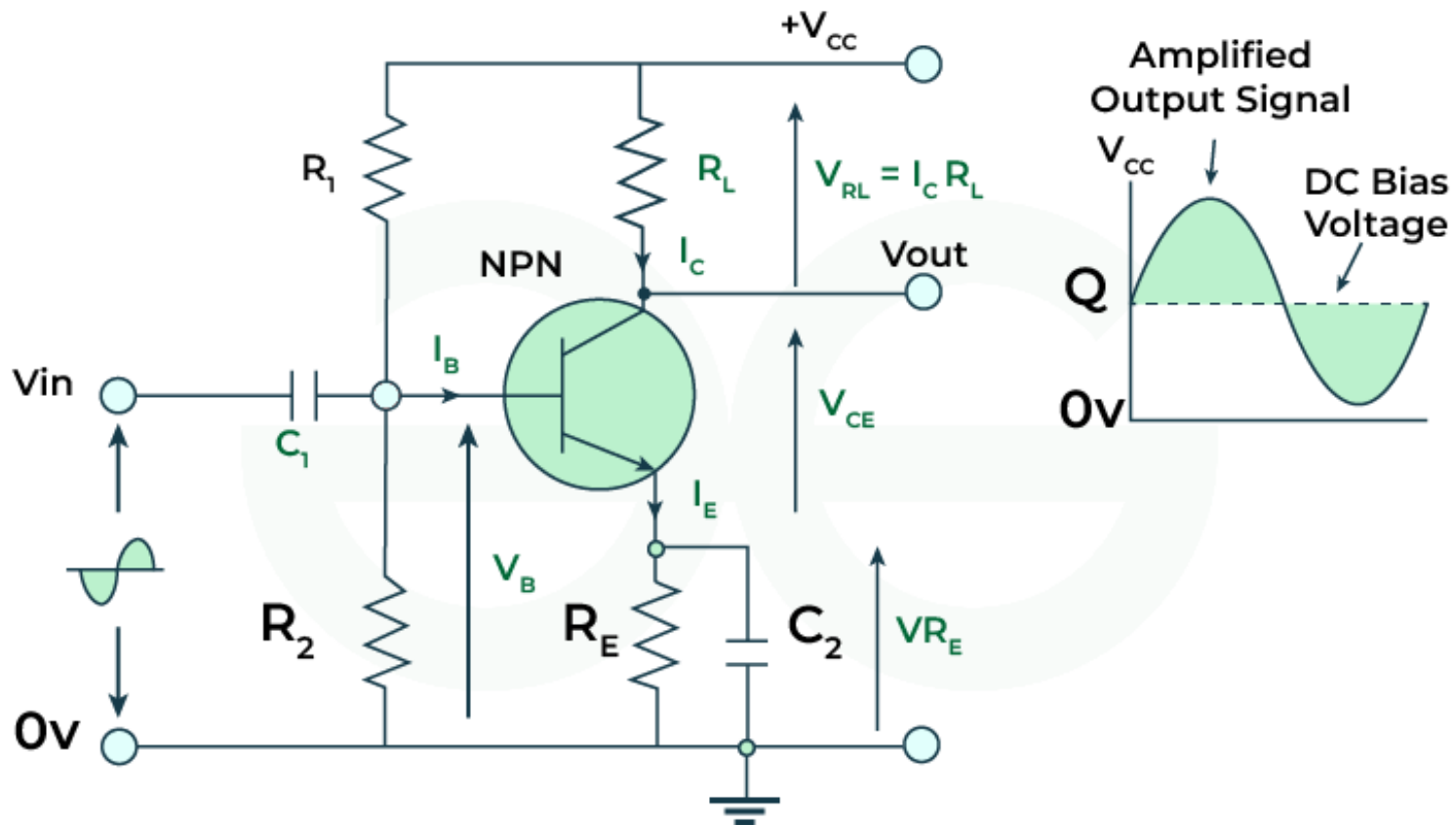
Wonderful Electricity

S11



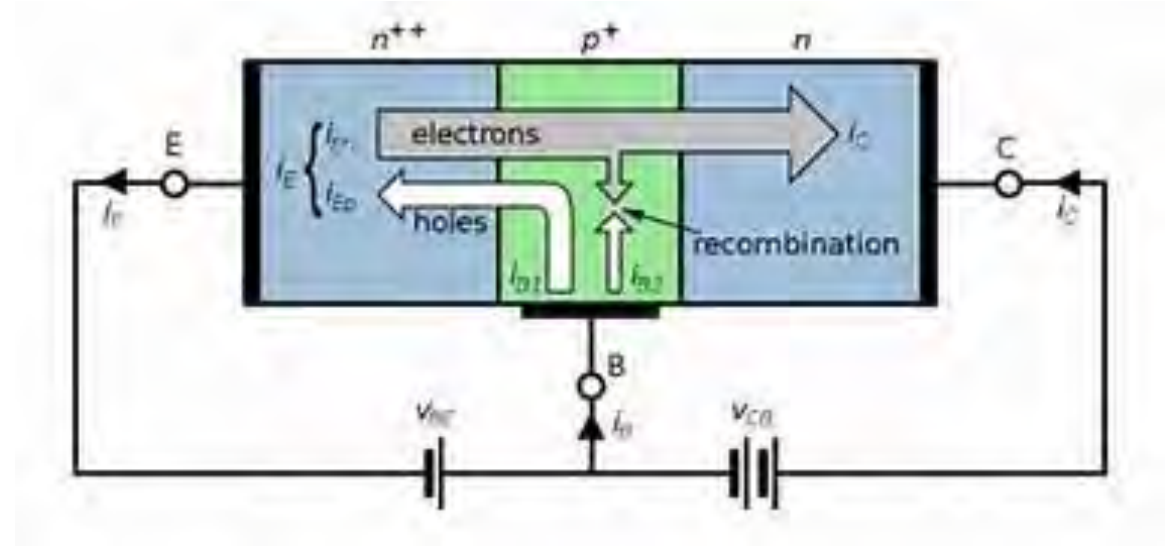
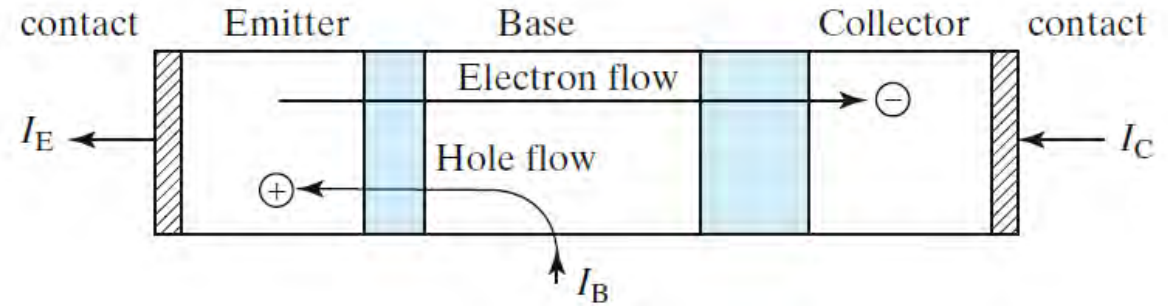
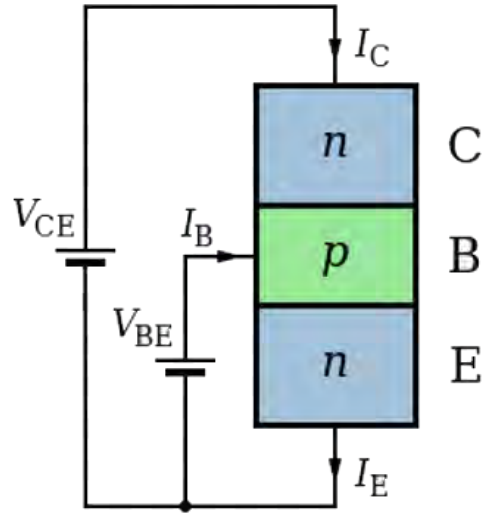
原子粒 Transistor

Wonderful Electricity

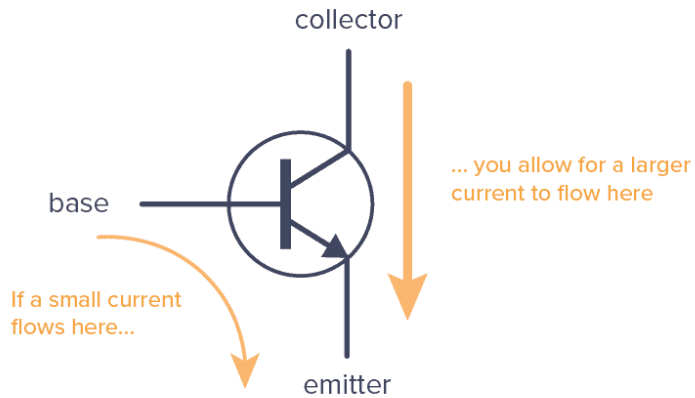


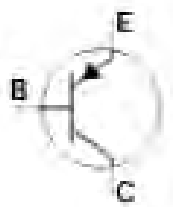
原子粒

Wonderful Electricity



Transfer Resistor = Transistor

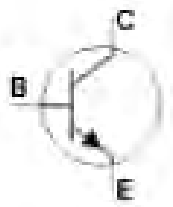




PNP



P-channel



NPN



N-channel

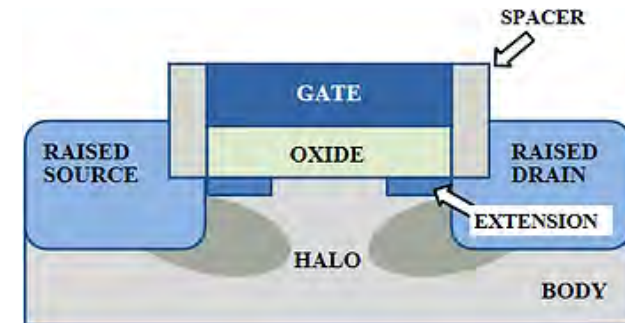
BJT

JFET

Transistors are broadly classified into two categories: bipolar junction transistor (BJT) and field-effect transistor (FET).

In the BJT transistor, the current from base to emitter decides how much current can flow from collector to emitter.

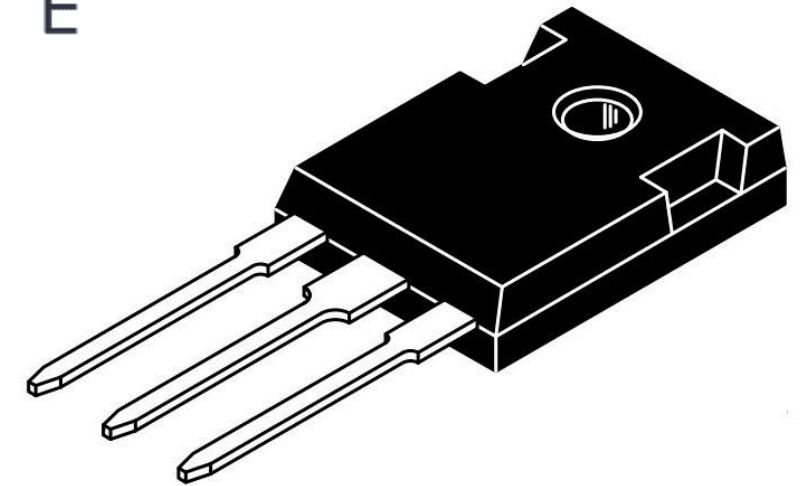
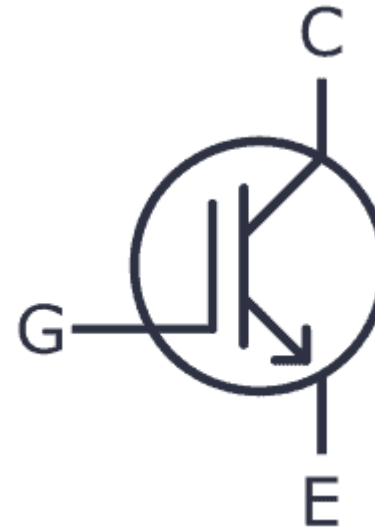
In the MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) transistor, the voltage between gate and source decides how much current can flow from drain to source.



絕緣柵雙極電晶體 ITBG

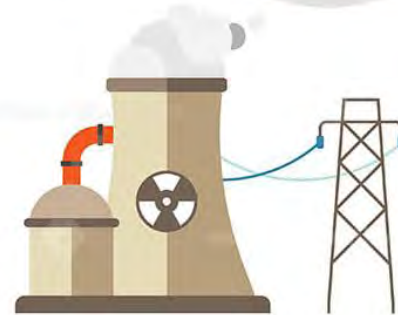
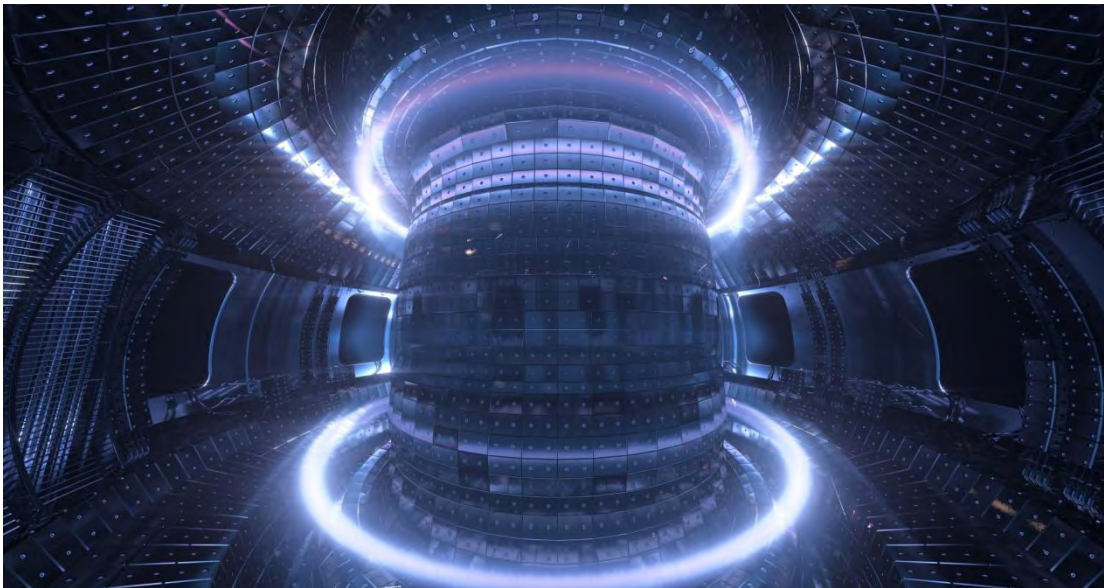
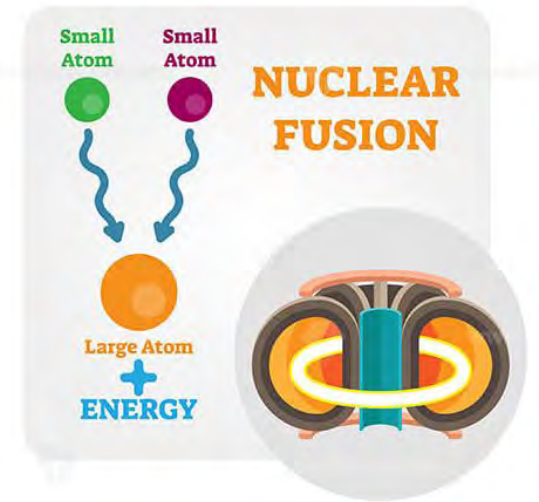
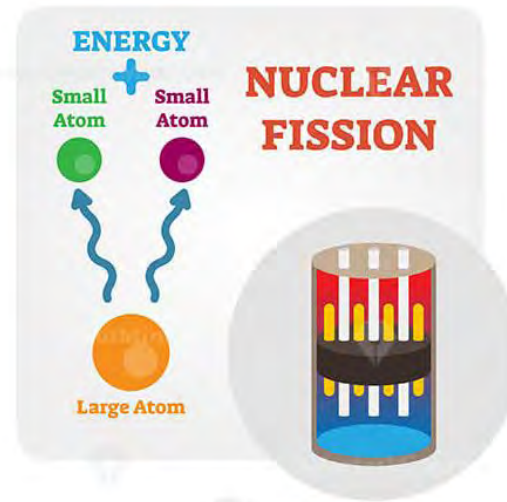
An Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) is a special type of transistor that can be useful in circuits where there is a lot of current that needs to be switched on and off. It's a mix between a MOSFET and a BJT transistor.

It has three pins – Collector, Emitter, and Gate. The gate terminal is insulated from the rest, so no current flows into the gate, just like the MOSFET. When you turn it on, current flows between the collector and emitter pins.



Wonderful Electricity

S11



電燈

電燈泡

Wonderful Electricity

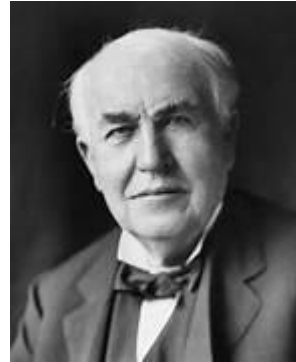
S13



誰發明電燈泡？

愛迪生 (Thomas Edison)

斯旺 (Joseph Swan)



Light bulbs with a carbon filament were first demonstrated by Thomas Edison in October 1879 (after testing some 6000 types of material). These carbon filament bulbs, the first electric light bulbs, became available commercially that same year and lasted for 1200 hours.



In 1850, Swan began working on a light bulb using carbonised paper filaments in an evacuated glass bulb. By 1860, he was able to demonstrate a working device, but the lack of a good vacuum, resulted in an inefficient light bulb with a short life.

Edison & Swan United Electric Light Company in 1883





發光二極管 LED

Wonderful Electricity

S14



Comparison of Lumens

EFFICIENCY	Least		Most	
BULB TYPE				
LUMENS	STANDARD	HALOGEN	CFL	LED
450	40 W	29 W	9 W	8 W
800	60 W	43 W	14 W	13 W
1100	75 W	53 W	19 W	17 W
1600	100 W	72 W	23 W	20 W
RATED LIFE	1 year	1-3 years	6-10 years	15-25 years
SAVINGS	×	up to 30%	up to 75%	up to 80%

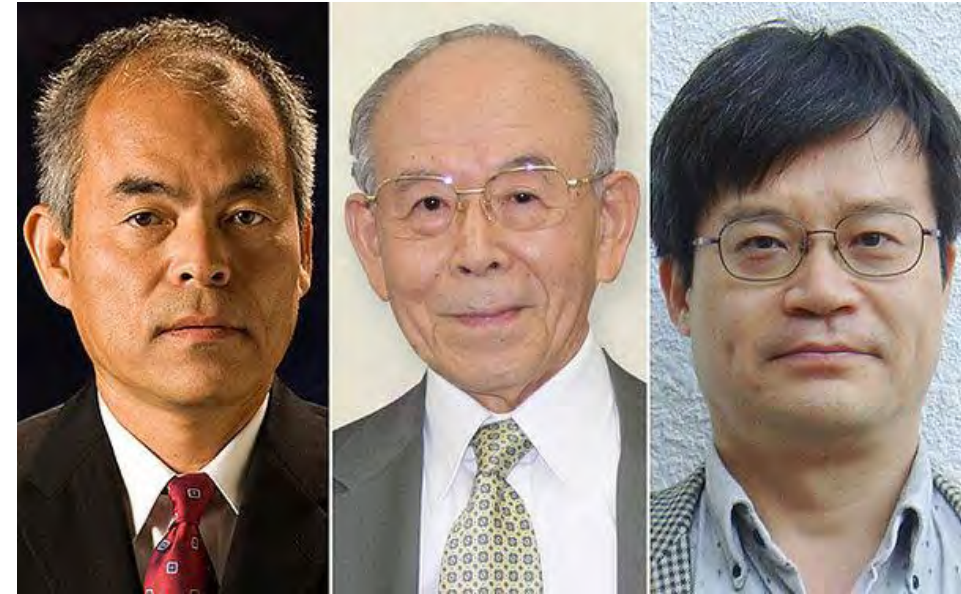
發光二極管 LED

Wonderful Electricity



The first Light-Emitting Diode (LED) was created in 1927 by Russian inventor Oleg Losev.

in 1993, **high-brightness blue LEDs** were demonstrated by Shuji Nakamura of Nichia Corporation using a gallium nitride (GaN) growth process.



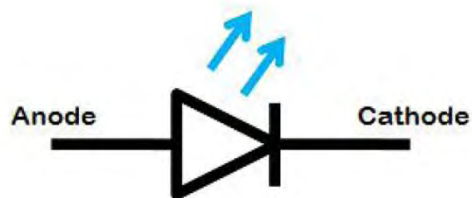
Shuji
Nakamura
中村 修二

Isamu
Akasaki

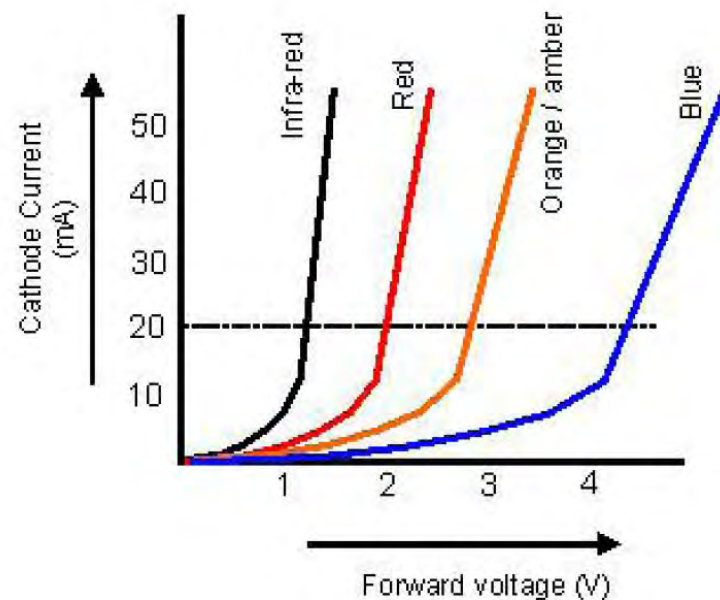
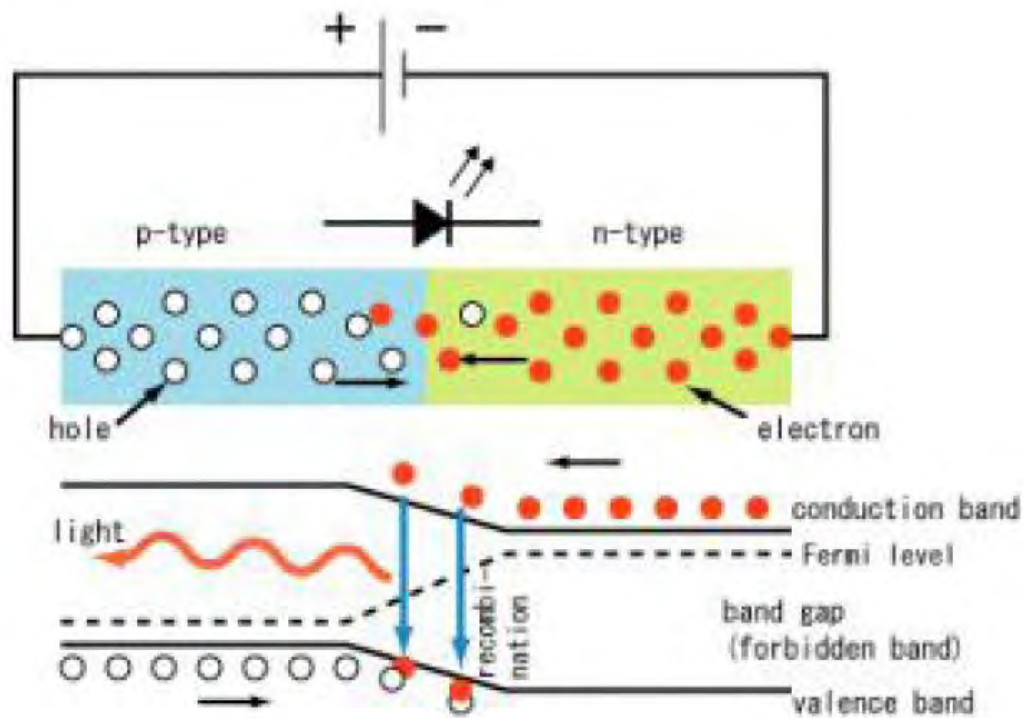
Hiroshi
Amano

They are Nobel prize winner in Physics in 2014.

發光二極管 LED



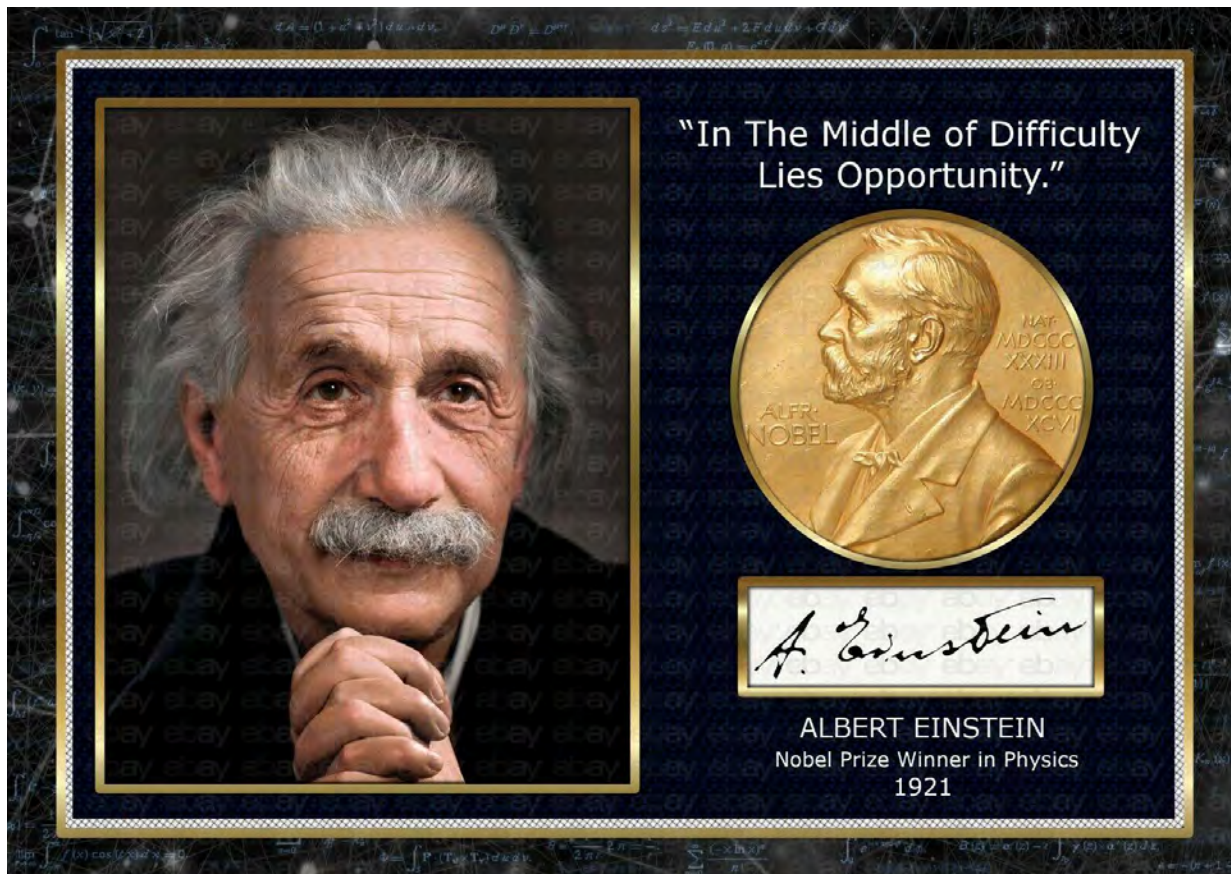
LED可以直接把電轉化為光。LED 中的五價元素（n 型半導體）電子較多，這些多餘的電子會流向擁有電洞的三價元素（p 型半導體）。電子和電洞結合後即會釋出「光子」。



「電」與五行

電與五行有密切關係





愛因斯坦 1905 年關於物質能量關係的論文提出了方程式 $E=MC^2$ ：物體的能源 (E) 等於該物體的質量 (M) 乘以光速的平方 (C^2)。

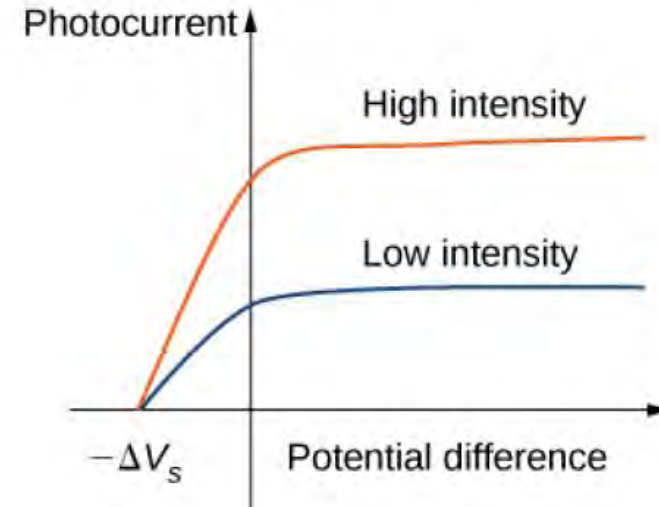
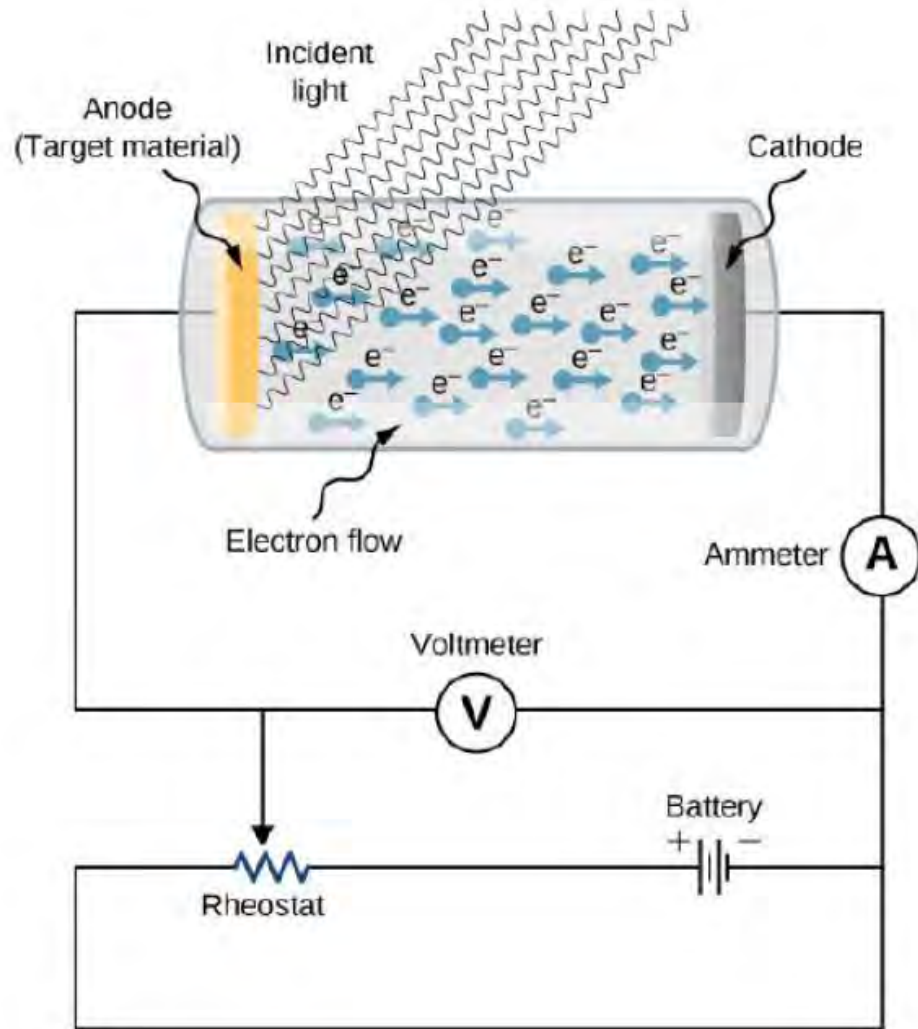
「光電效應」(Photoelectric Effect) 是愛因斯坦 (Albert Einstein) 在 1905 年提出的，他亦憑此發現在 1921 年獲得諾貝爾物理學獎！

愛因斯坦的研究預測，單一被彈射電子的能量會隨著光的頻率線性增加。當時尚未檢驗其確切關係。到 1905 年，人們知道光電子的能量隨著入射光頻率的增加而增加，並且與光的強度無關。然而，直到 1914 年才證明愛因斯坦的預測是正確的，透過實驗確定了這種增加的方式。

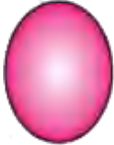
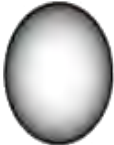
光電效應推動了當時新興的光的波粒二象性概念的發展。光同時具有波和粒子的特性，每種特性根據情況而表現出來。

光電效應

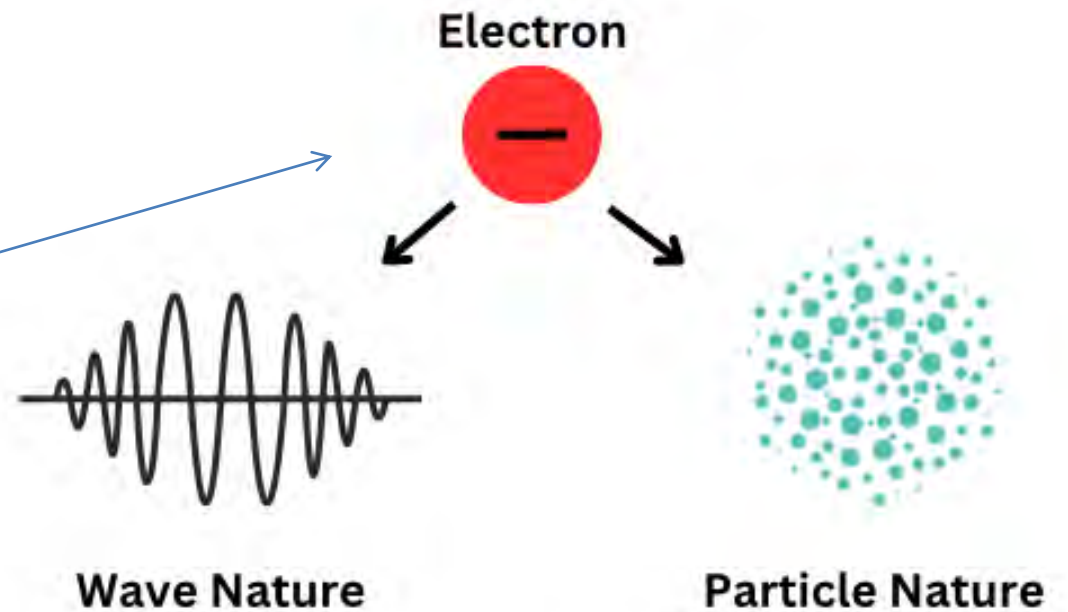
Wonderful Electricity



電子的粒波二象性

Relative size	Name	Mass (Kg)	Charge (C)
	Proton	1.67×10^{-27}	$+1.602 \times 10^{-19}$
	Neutron	1.67×10^{-27}	0
	Electron	9.11×10^{-31}	-1.602×10^{-19}

Electron as Particle or Wave?



電子的粒波二象性

Wave-Particle Duality

JJ Thomson won the Nobel prize for describing the electron as a particle.

His son, George Thomson won the Nobel prize for describing the wave-like nature of the electron.



The electron is a particle!

The electron is an energy wave!



電是透過與原子相關的微小粒子傳輸的想法最早在 19 世紀 30 年代提出。19 世紀 90 年代，J.J.湯姆森透過對氣體中的帶電粒子進行實驗，成功估算了它的大小。1897 年，他證明陰極射線（在充滿低壓氣體的玻璃管內，兩塊金屬板之間施加電壓時發射的輻射）是由導電的粒子——電子——組成的。湯姆森也得出結論，電子是原子的一部分。他在 1906 年獲得諾貝爾物理學獎。

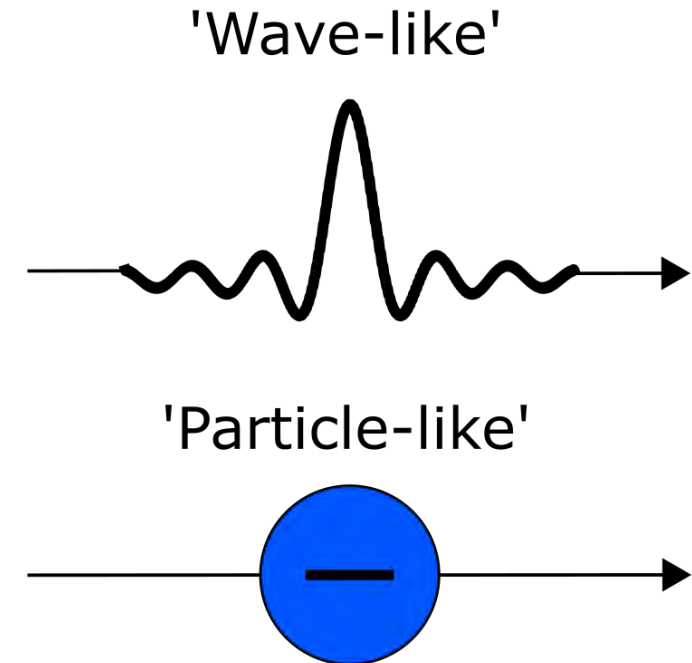
19 世紀初，量子物理學從能量只能以固定的量傳遞的想法發展而來。早期的研究顯示光既可以被視為波，又可以被視為粒子。後來有人提出，物質，例如電子，也可以被描述為波和粒子。1927 年，G.P.湯姆森證明電子可以被描述為波。當電子束穿過鎳晶體時，就會出現繞射圖案。他在 1937 年獲得諾貝爾物理學獎。

電子的粒波二象性



Louis de Broglie

20 世紀初，量子物理學從能量只能以固定的量傳遞的想法發展而來。早期的研究顯示光既可以被視為波，又可以被視為粒子。
1924 年，路易·德布羅意提出這樣的觀點：電子等粒子不僅可以被描述為粒子，還可以被描述為波。電子流在晶體中反射並通過薄金屬箔傳播的方式證實了這一點。這個想法對於量子力學的持續發展具有重要意義。他在 1929 年獲得諾貝爾物理學獎。



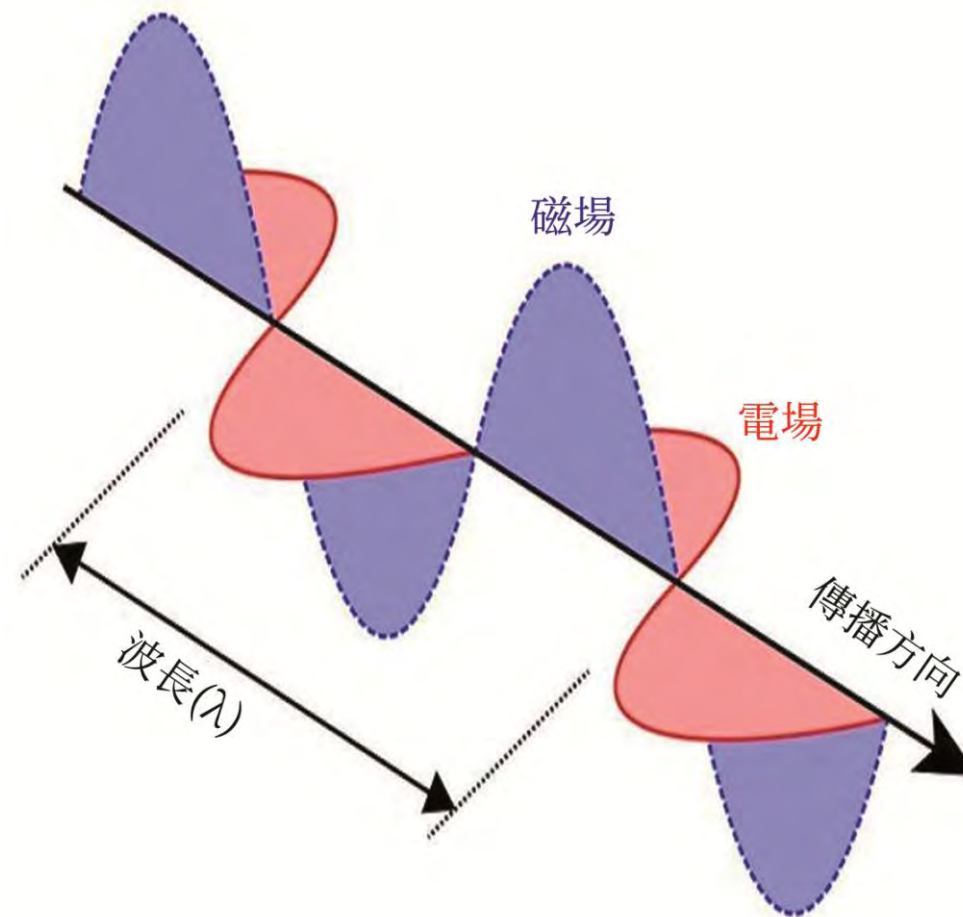
電磁波

其實電磁波存在的研究，早在1820年開始。1831年法拉第提出電磁感應現象時，已預言了電磁波的存在！電磁波是一橫波，電場方向與磁場方向相互垂直於傳播方向。



James Maxwell

1865年，麥克斯韋發表了《電磁場的動力學理論》，證明電場和磁場以波的形式在空間中傳播，其速度為光速。



電磁波

在電磁學上最重要的定律應是麥克斯韋方程式 (Maxwell Equations)，這是他在1864年將數學分析方法引進電磁學的研究領域。他首先提出光的電磁理論，其後發展成電磁波的一般方程式，他整合了庫侖定律、高斯定律、法拉第定律、安培定律等而成為有名的電磁波方程式。

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{in}}{\epsilon_0} \text{ (Gauss's law)}$$

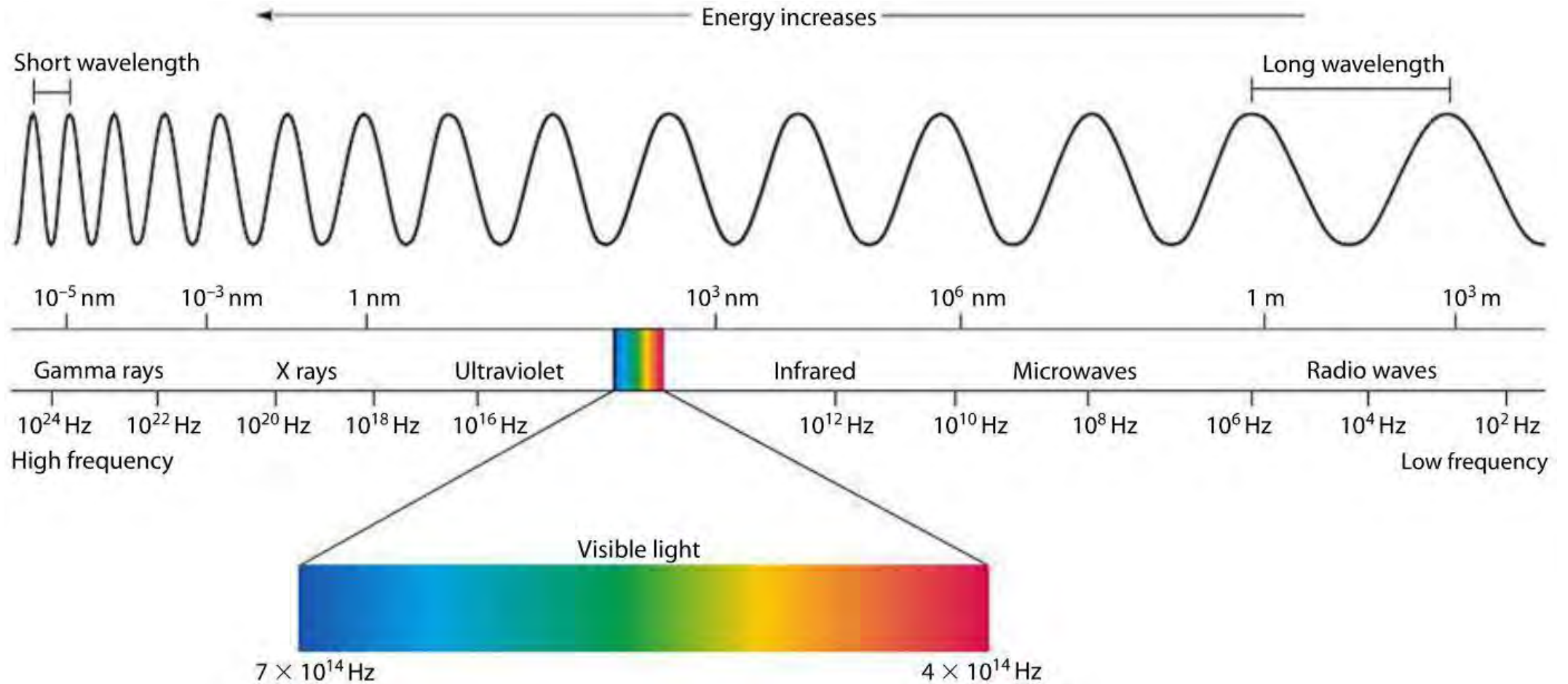
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \text{ (Gauss's law for magnetism)}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_m}{dt} \text{ (Faraday's law)}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I + \epsilon_0 \mu_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \text{ (Ampere-Maxwell law)}$$

電磁波	頻率
γ射線	$>3 \times 10^{19} \text{ Hz}$
X射線	$3 \times 10^{16} - 3 \times 10^{19} \text{ Hz}$
紫外光	$3 \times 10^{15} - 3 \times 10^{16} \text{ Hz}$
光譜	$3 \times 10^{14} - 3 \times 10^{15} \text{ Hz}$
紅外線	$3 \times 10^{11} - 3 \times 10^{14} \text{ Hz}$
無線電	$3 \times 10^3 - 3 \times 10^{11} \text{ Hz}$

電磁波



人類早在古代已有需要作即時遠距離溝通。如煙霧訊號是其中一種，並且要在良好的能見度才能傳送。而利用電線作訊息的傳送演示是在**1837**年由摩斯（**Samuel Morse**）開發的電報機。而電話要到**1870**年才被發明。



Guglielmo Marconi

在**1864**年，麥克斯韋的電磁波理論亦啓發了不少的專家以無線電作通訊的實驗或示範。在**1895**年，古列爾莫·馬可尼（**Guglielmo Marconi**）在當時已啓用的簡單無線電裝置進行了改進，在接收機和發射機上都加裝了天線，成功地進行了無線電波傳輸信號的實驗。翌年，他在英國進行了**14.4**公里的通訊試驗成功，並取得專利。

在**1897**年，他在倫敦成立馬可尼無線電報公司（**The Marconi Company**）。**1901**年**12**月，馬可尼的研究小組，在美國紐芬蘭（**Newfoundland**）（現在則是加拿大的一個省）接收到從英國發送出來的第一個橫跨大西洋的無線電信號。

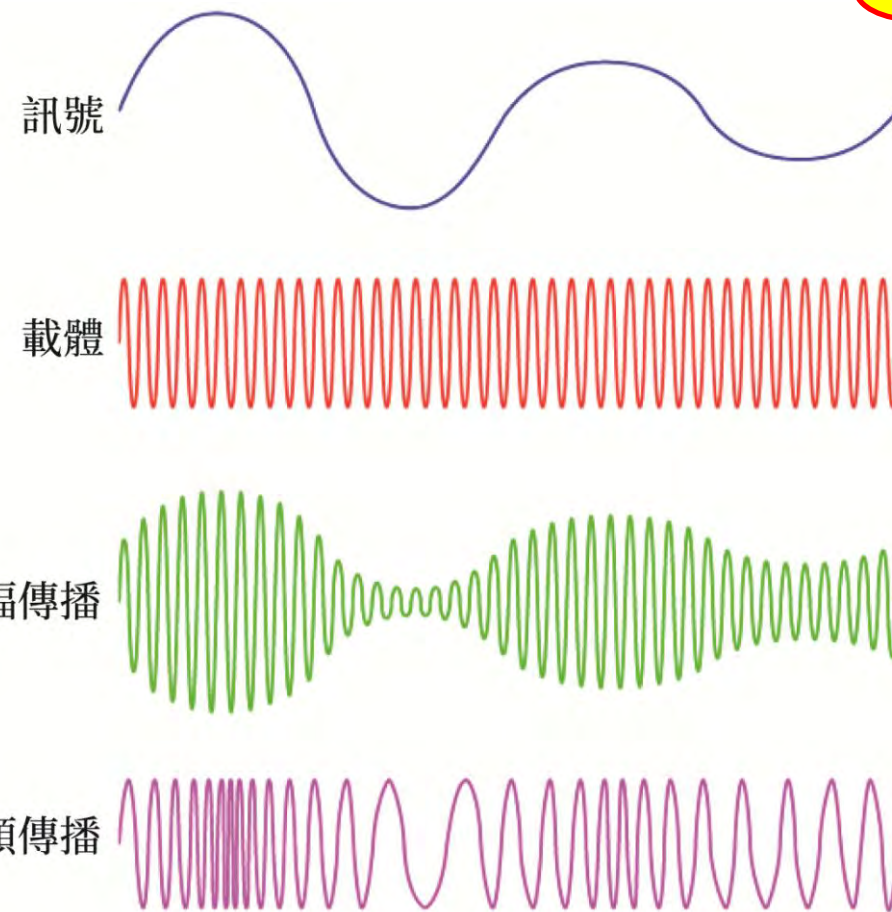
當時，很多人都不明白為甚麼無線電可以不受地球表面彎曲的影響，傳播那麼遠的距離？後來，人們才知道是因為電離層「反射」了無線信號！人類的通訊方式，亦開始發生了鉅變。在**1909**年，馬可尼榮獲諾貝爾物理學獎，以表彰他們對無線電報發展的貢獻。他亦被後世尊稱為「**無線電之父**」。

無線電廣播



范信達(Reginald Fessenden)是無線電技術發展的先驅，包括調幅（AM）無線電的基礎。他的成就包括首次透過無線電傳輸語音（1900年）在1.6公里的距離發出「聲音」和首次跨越大西洋的雙向無線電報通訊（1906年）。

調幅（Amplitude Modulation, AM）和調頻（Frequency Modulation, FM）是廣播訊號的兩種方式，現在還在應用。調幅是頻率保持恆定，用載波的幅度改變來傳輸訊息，其頻率由535至1705千赫茲。而調頻是振幅保持恆定，用載波的頻率改變來傳輸訊息，其頻率由88至108兆赫茲。如圖所示，簡單說明調幅與調頻傳播的分別。





**Philo Taylor
Farnsworth**

電視廣播的雛型要算是在1909年可傳送8×8解像度的影像作開始。至1928年時可以用每秒20幀的速度傳送24條直線。其後的發展是應用了陰極射線管（Cathode Ray Tubes）來作顯像。電視的發明家是法恩軒沃斯（Philo Taylor Farnsworth）。彩色電視機到1954年才研發。



**Guillermo
González
Camarena**

卡馬雷納最重要的發明是電視設備色鏡適配器，又稱“三色系統”，他於1940年在墨西哥和1942年在美国獲得專利。該系統是最早的彩色電視傳輸系統之一，可同時播放彩色影像和黑白影像。他的發明是彩色電視發展的一大步，為隨後幾十年廣泛採用的彩色電視系統鋪平了道路。



通訊人造衛星是一種中繼器，用來傳遞和放大無線電通訊訊號的衛星，它需要在地面上設有發射站與接收站以作通訊渠道。通訊衛星可用於電視、電話、廣播、網路等領域。現時在地球軌道上有10,000多顆通訊衛星，使用電磁波來作直線傳遞訊號，其目的是不受地球地形限制，從而作遠距離的通訊。通訊衛星的理論早在1945年提出，而第一顆人造衛星是在1957年由蘇聯發射，其通訊的頻率為20.005兆赫茲和40.002兆赫茲。這也許是人類邁向太空探索的第一步。

北斗衛星導航系統（BDS）、美國全球定位系統（GPS）、俄羅斯全球導航衛星系統（GLONASS）和歐盟伽利略定位系統（Galileo）為聯合國衛星導航委員會認定的全球衛星導航系統四大核心供應商[9]。

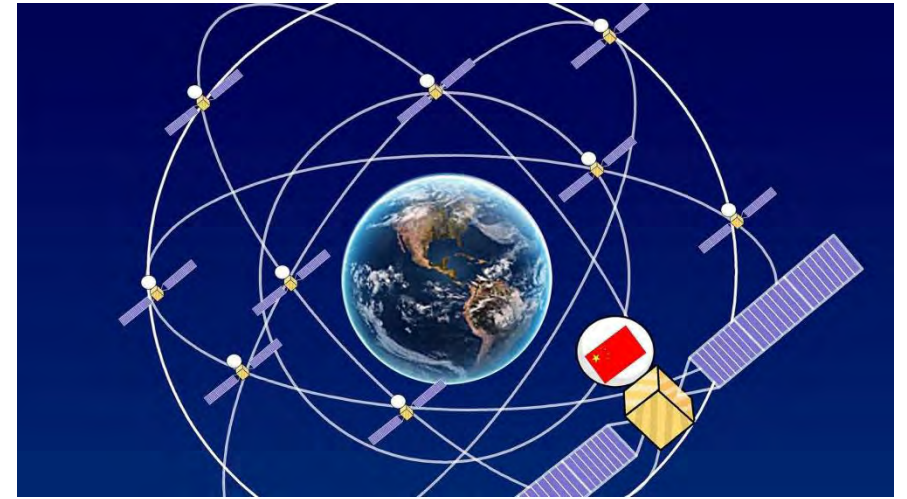
北斗(Beidou)衛星導航系統

北斗一號系統（第一代北斗系統）由三顆衛星提供區域定位服務。從2000年開始，該系統主要在中國境內提供導航服務。2012年12月，北斗一號的最後一顆衛星壽命到期，北斗衛星導航測試系統停止運作。

北斗二號系統（第二代北斗系統）為包含**16**顆衛星的全球衛星導航系統，分別為**6**顆靜止軌道衛星、**6**顆傾斜地球同步軌道衛星、**4**顆中地球軌道衛星。2012年11月，第二代北斗系統開始在亞太地區提供使用者區域定位服務。

北斗三號系統（第三代北斗系統）由三種不同軌道的衛星組成，包括**24**顆地球中圓軌道衛星（覆蓋全球），**3**顆傾斜地球同步軌道衛星（覆蓋亞太大部分地區）和**3**顆地球靜止軌道衛星（覆蓋中國）。北斗三號於2018年提前開放了北斗系統的全球定位功能。北斗三號系統於2020年7月31日完整開通。

目前中國正在醞釀下一代**北斗四號系統**建設，向PNT（導航定位授時）方向發展，或於2035年初步建成中國泛在國家時空系統。



隨着時代進步，人類對於長距離通訊的需求日益增加，在1941年的同軸電纜（coaxial cable）可作480條電話線路。在1960年代，微波通訊是以頻率在0.3 千兆赫茲至300 千兆赫茲的微波為載體，在視線無阻擋的自由空間作直線傳播傳輸，亦開始廣泛應用。使用光來傳遞資訊要到1960年代，激光（laser）的發明才有同調性高的發光源（coherent light source）。



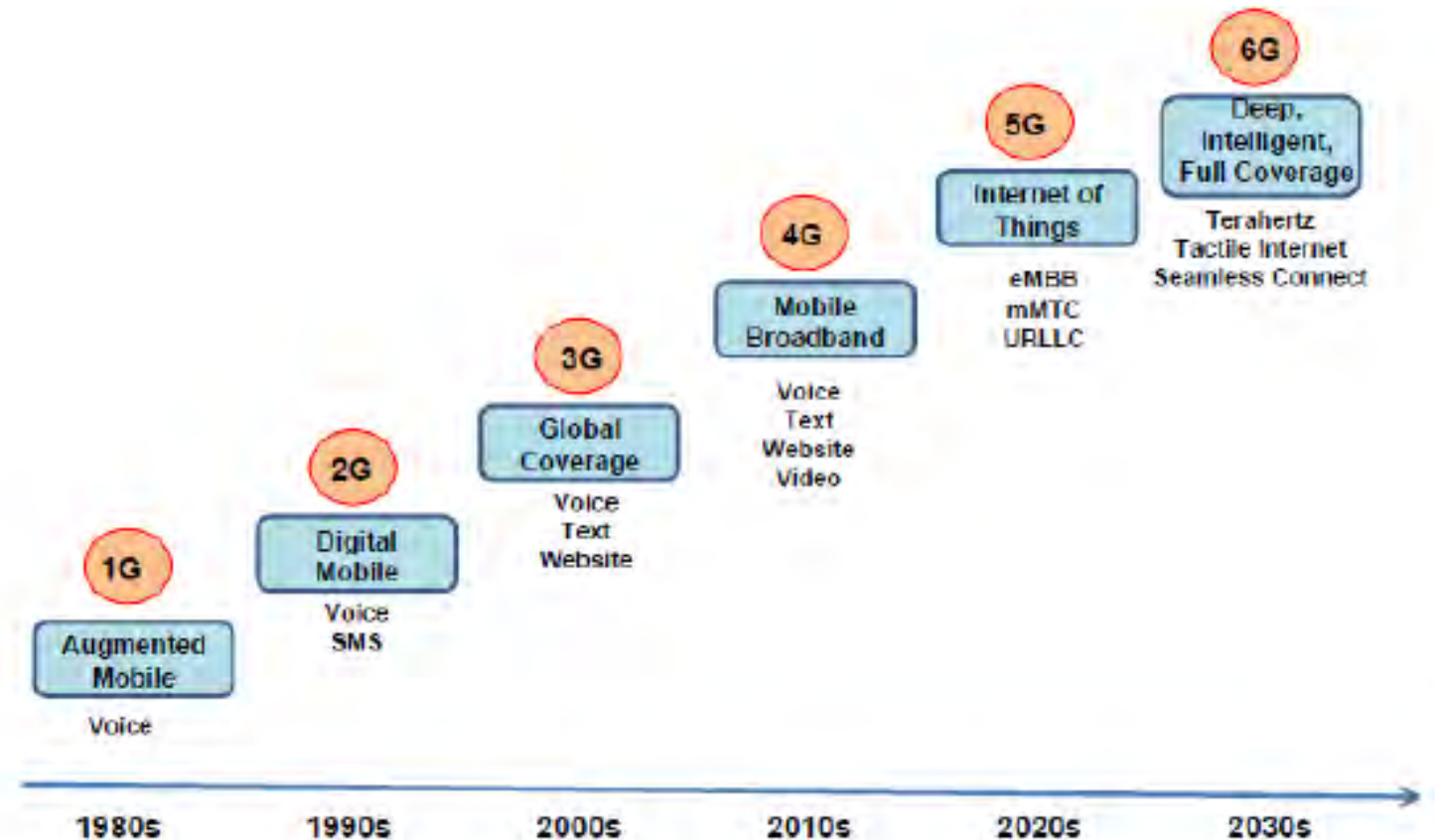
Charles Kao

在1965年，高錕（1933-2018）研發光纖通訊技術使用玻璃纖維的結構特徵，提出使用玻璃纖維來實現光通訊，這是當今光纖通訊的基礎。他所提出玻璃纖維約每公里衰減20分貝（20dB/km），證明光纖作為通訊媒介的可能性。時至今日，光纖通訊的進步已經是數字通訊（如數據中心）重要的設備。一條標準的單模單芯光纖的傳送速度可達至每秒10千兆位元（同軸電纜每秒300兆位元，通訊衛星每秒25兆位元）。高錕在2009年獲得諾貝爾物理學獎。他亦被尊稱為「光纖之父」。



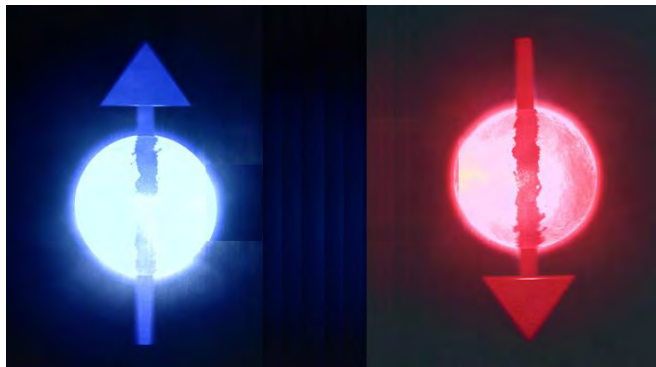
無線手提電話

無線手提電話的發展，差不多每十年便有新一代的突破。第一代1G是於1979年研發。第二代2G是於1991年引進，可以有文字信息。第三代3G是於2000年引進，數據信息可以增至每秒2兆位元。第四代4G是於2010年引進，其數據信息可以增至高於每秒100兆位元。第五代5G是於2020年引進，數據信息可以增至高於每秒1千兆位元。現在已經進入了6G的準備及計劃年代！





中國在2016年成功發射世界首顆量子科學實驗衛星“墨子號”。



糾纏粒子對（如光子）的狀態是強烈關聯的，例如一對糾纏光子的偏振方向始終相反。
阿秒(Attosecond)

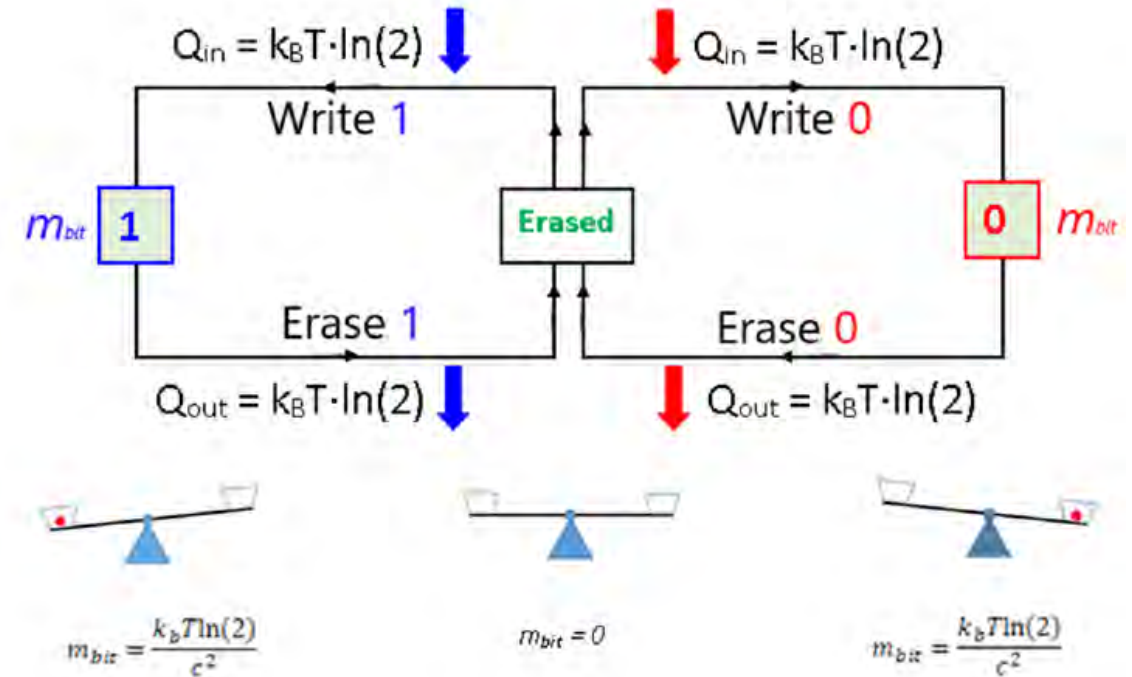
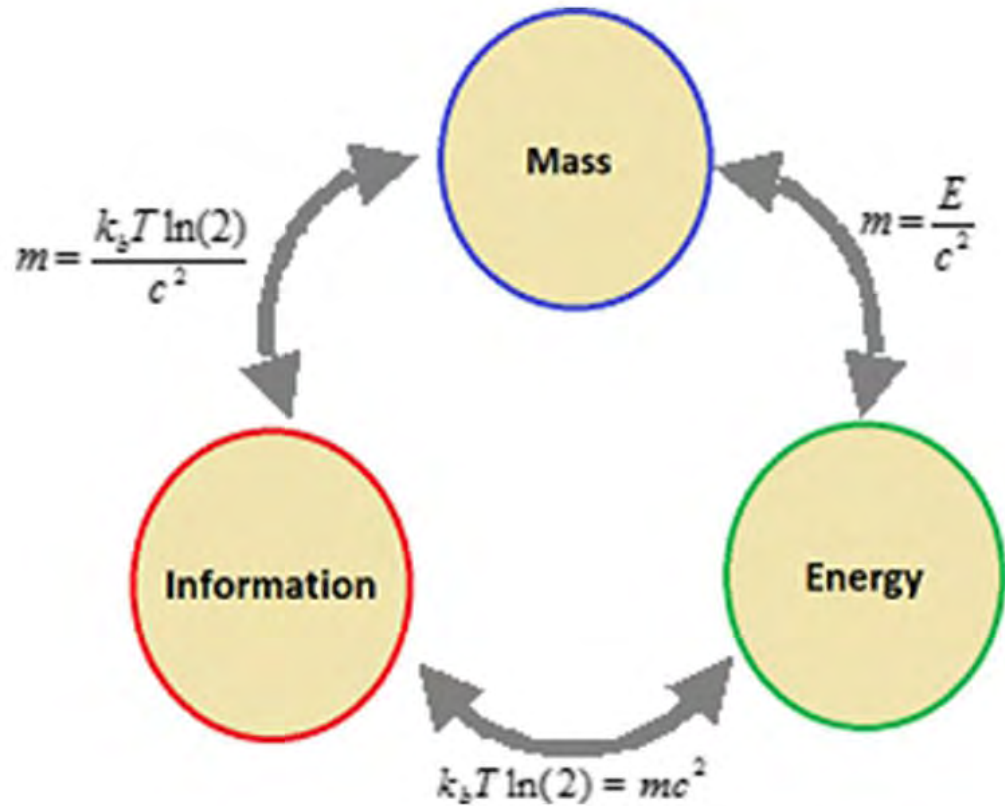
在2017年亦建成連接北京至上海的2,000公里級量子保密通信骨幹網“京滬幹線”。2022年，中國科研團隊實現了1,200公里距離的量子糾纏(Quantum entanglement)分發，刷新了世界紀錄，為全球量子通信網絡奠定了技術基礎。



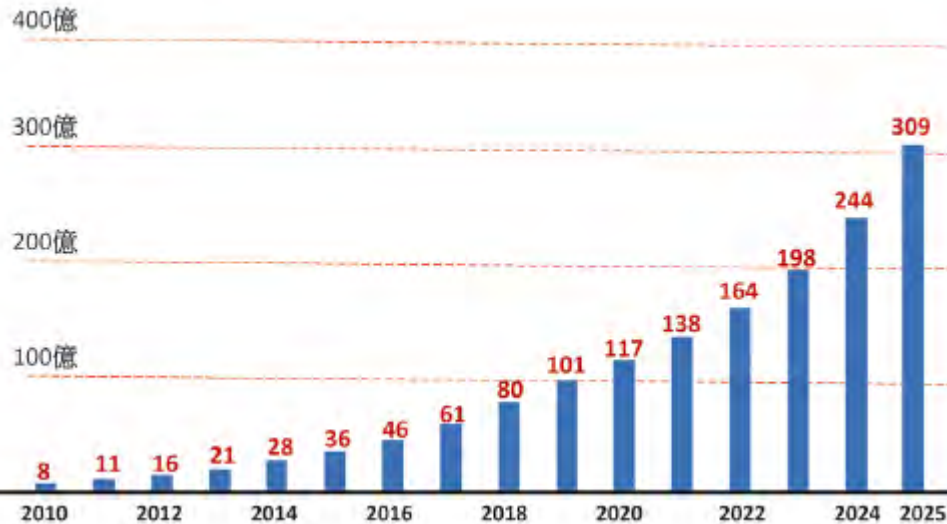
量子通訊的核心是產生穩定的量子態（如單光子或糾纏光子），並在特定環境中克服傳輸損耗與雜訊。光纖需低損耗與噪音抑制，衛星通訊依賴大氣窗口與精密跟踪，而極端低溫與真空環境則是探測器與記憶體的關鍵。

資訊、能量和質量

能量、資訊和質量之間的關係是物理學、資訊理論和哲學中一個深刻而不斷發展的話題。



The estimated mass of a bit of information at $T=2.73K$ is 2.91×10^{-40} kg



The Computer for the 21st Century

Specialized elements of hardware and software, connected by wires, radio waves and infrared, will be so ubiquitous that no one will notice their presence

by Mark Weiser

The most profound technologies are those that disappear. They move themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it.

Consider writing, perhaps the first information technology. The ability to represent spoken language symbolically for long-term storage freed information from the limits of individual memory. Today this technology is ubiquitous in industrialized countries. Not only do books, magazines and newspapers contain written information, but so do street signs, billboards, shop signs and even graffiti. Candy wrappers are covered in writing. The constant background presence of these products of "literacy technology" does not require active attention, but the information to be transmitted is ready for use at a glance. It is difficult to imagine modern life without it.

Site-based information technology, in contrast, is far from having become part of the environment. More than 50 million personal computers have been sold, and the computer marketplace remains largely in a world of its own. It is appreciable only through complex jargon that has nothing to do with the tasks for which people use computers. The story of the art is perhaps analogous to the period when artists had to know as much about making salt or baking clay as they did about writing.

The ancient ways that surround personal computers is not just a "how-to" problem. My colleagues and I at the Xerox Palo Alto Research Center think that the idea of a "personal computer" is misguided and that the vision of laptop machines, crystal balls and "knowledge navigators" is only a transitional step toward achieving the real potential of information technology. Such machines cannot truly make computing an integral, invisible part of people's lives. We are therefore trying to conceive a new way of thinking about computers, one that takes into account the human world and allows the computers themselves to vanish into the background.

Such a disappearance is a fundamental consequence not of technology but of human psychology. Whenever people learn something sufficiently well, they cease to be aware of it. When you look at a street sign, for example, you absorb its information without consciously performing the act of reading. Computer scientist, economist and Nobel laureate Herbert A. Simon calls this phenomenon "coupling"; philosopher Michael Polanyi calls it the "tacit dimension"; psychologist J. J. Gibson calls it "visual invariants"; philosophers Hans Georg Gnomer and Martin Heidegger call it the "haziness" and the "ready-to-hand"; John Selye Brown at PARC calls it the "background." All say, in essence, that only when things disappear in this way are we freed to use them without thinking and so to focus beyond them on new goals.

91 SEPTEMBER 1984/AMERICAN September 1991

1991 Mark Weiser



傳輸距離

電站內的監測配件

1. 智慧電站進門控制
2. 網路攝影機
3. 人數統計感測器
4. 嚙齒動物感測器
5. 灰塵感應器
6. 空氣品質、溫度、濕度感測器
7. 漏水探測器



低壓配電系統配件

噪音感應器

電能品質能源
管理系統儀表

智慧斷路器

振動感測器

射頻識別感應器

觸覺互聯網

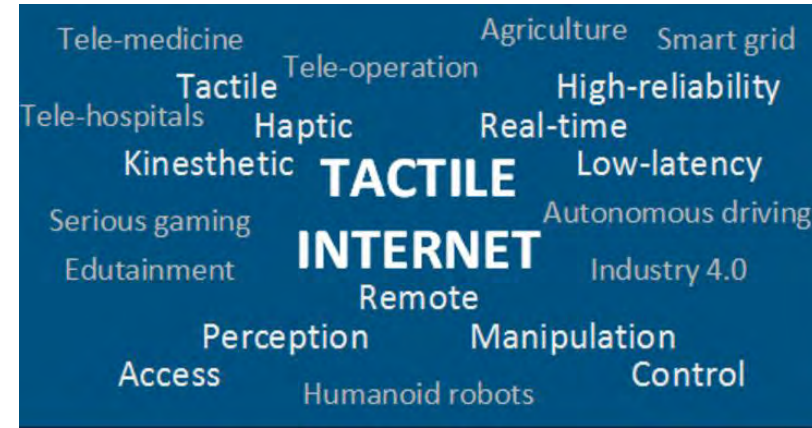
流動互聯網

物聯網

觸覺互聯網



先進的觸覺回饋系統、穿戴式裝置和感測器技術的研究也不斷推進，旨在提升真實感和互動品質。機器學習正在被探索，以創建更複雜的觸覺應用。這對於遠端手術、工業自動化和沈浸式虛擬實境體驗等應用至關重要。整體而言，觸覺互聯網有望徹底改變遠端物理交互，實現融合實體和虛擬實境的新型通訊、遠端操作和沈浸式體驗。





隨着可再生能源的興起，傳統電網有必要與其整合，因此傳統電網加入了智能電錶及AMI (Advanced Metering Infrastructure) 設備，使用電數據能雙向收集。為應對可再生能源間歇性供電的問題，傳統電網亦加入電池儲能系統。有了這些功能，便意味着開始升級踏進智慧電網(Smart Grid)的範圍了。

在所採集的大量數據支持下，智慧電網進一步利用自動化技術和人工智能來優化電力資源調度和管理，從而實現「自我修復的能力」(Self-healing Capability)，將故障點隔離及將電網復原

大停電

全世界大停電事件 (影響人數超過 3,000 萬人)

日期	地區	受影響人數 (Million)
9 Nov 1965	Northeastern US, Eastern Canada	30
11 Mar 1999	South and Southeastern Brazil	97
14-15 Aug 2003	Northeastern US, Eastern Canada	55
28 Sep 2003	Italy	55
10-11 Nov 2009	Central, South and Southeastern Brazil and all Paraguay	87
28 Apr 2025	Spain and Portugal	55

大停電



全世界大停電事件 (影響人數超過 3,000 萬人)

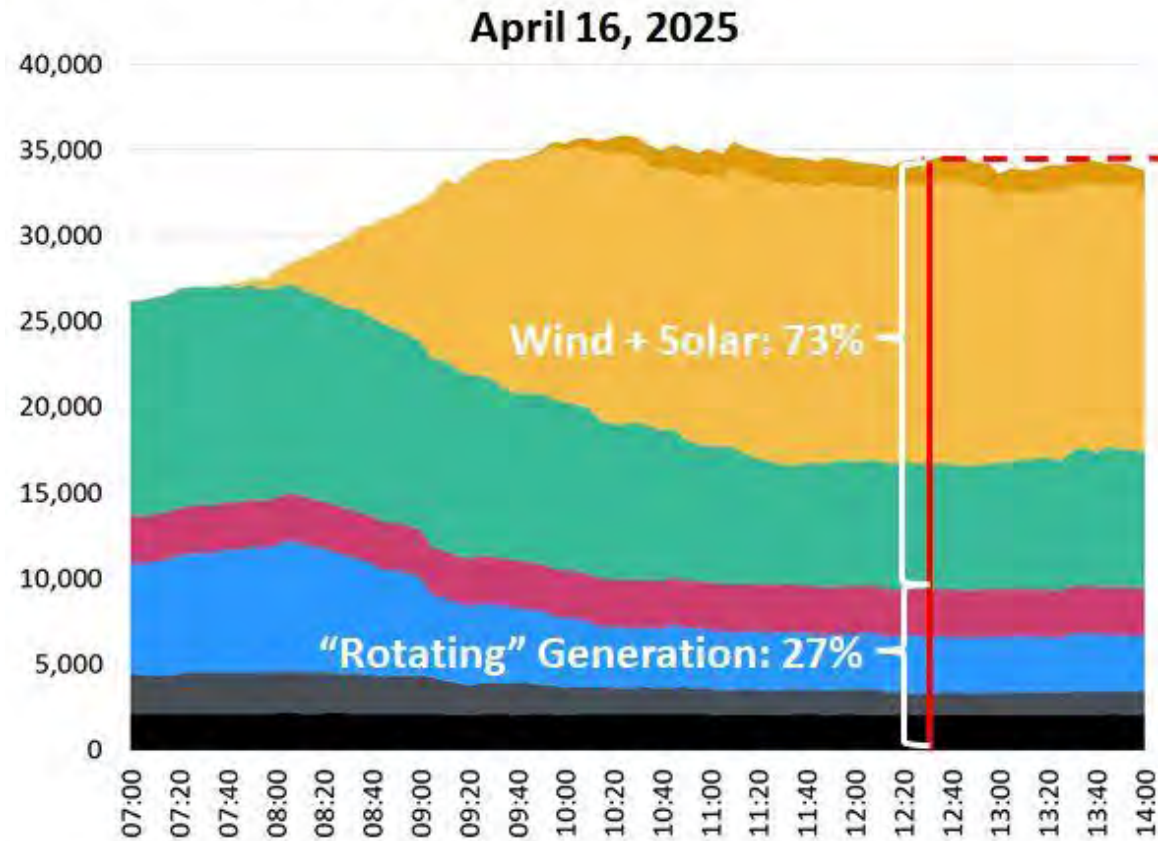
Wonderful Electricity

日期	地區	受影響人數 (Million)
2 Jan 2001	India	230
18 Aug 2005	Indonesia	100
30-31 July 2012	India	670
1 Nov 2014	Bangladesh	150
26 Jan 2015	Pakistan	140
4-5 Aug 2019	Java Blackout (Indonesia)	120
9 Jan 2021	Pakistan	200
4 Oct 2022	Bangladesh	140
23 Jan 2023	Pakistan	244

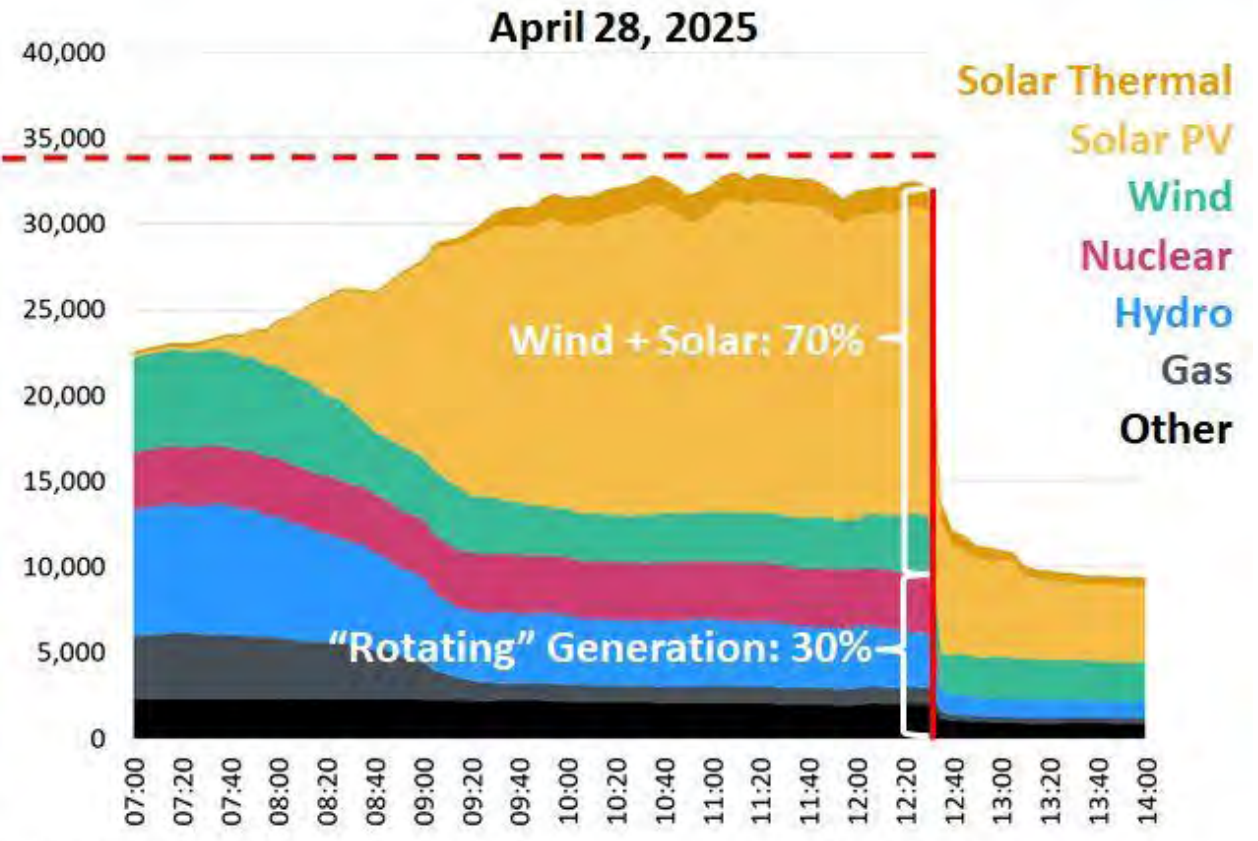
兩牙大停電

Solar Energy on 28 Apr 2025

Spain Peninsular System Generation



Source: Red Electrica España.



Source: Red Electrica España.

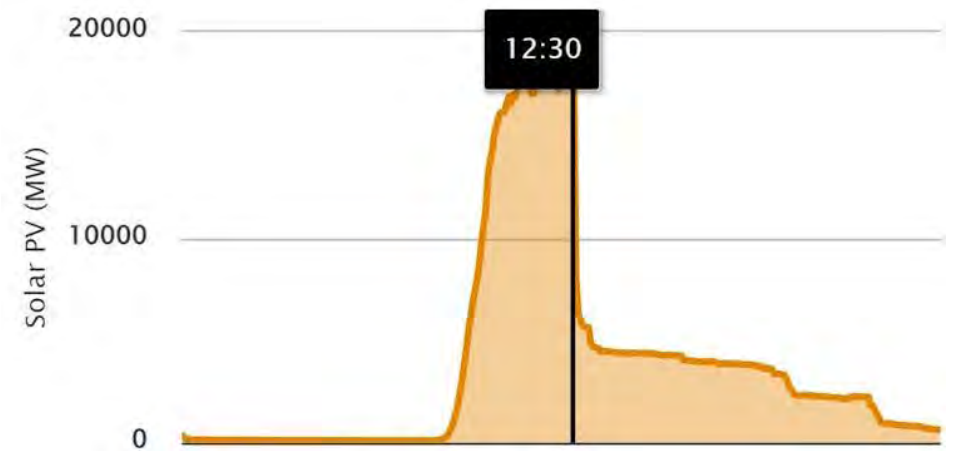
兩牙大停電

Wonderful Electricity

Source	Megawatt	Participation
Wind	3643	10.76%
Solar PV	18068	53.34%
Solar thermal	1499	4.43%
Hydro	3171	9.36%
Thermal renewable	377	1.11%
Nuclear	3388	10%
Coal and diesel	491	1.45%
Combined cycle	1633	4.82%
Cogeneration, steam and waste	1494	4.70%
Pumping consumption	-3028	
Exportation France	-868	
Exportation Portugal	-2652	
Exportation Morocco	-782	
Total Solar+Wind	23210	68.53%

Electric Energy Spain Peninsular generation at 12:30 on 28 April 2025. REE

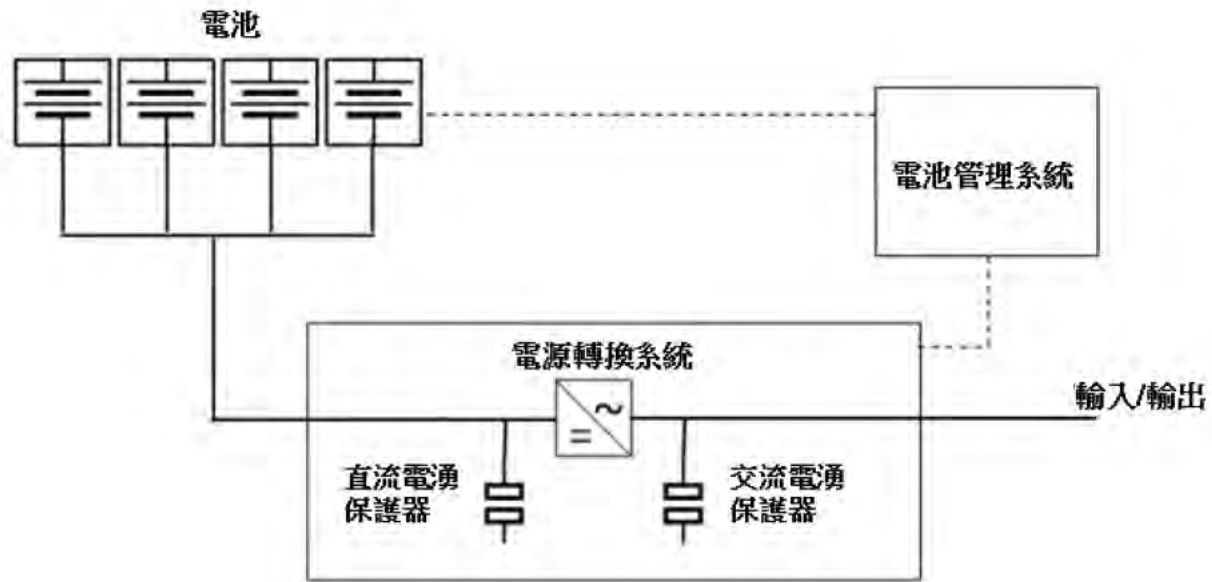
Solar Energy on 28 Apr 2025



隻手遮天

電池儲能系統

Battery Energy Storage System





我們每分鐘在全世界有
多少個 WhatsApp 收發 ?
多少個 Email 收發 ?



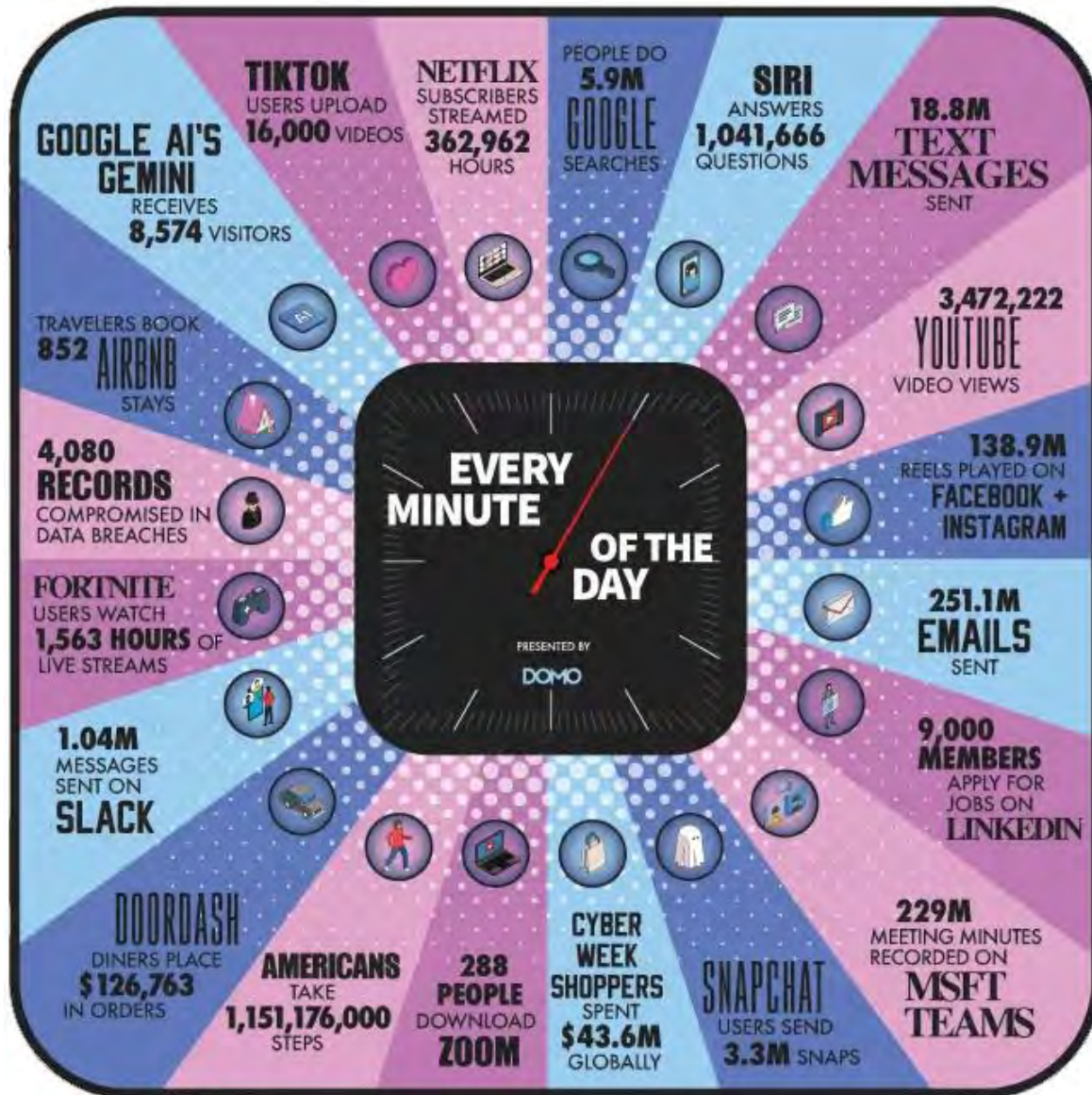
每分鐘在全世界有
41.6 Million
WhatsApp 收發



每分鐘在全世界有
241 Million
Email 收發

數據中心

Wonderful Electricity



Data Never Sleep 12.0

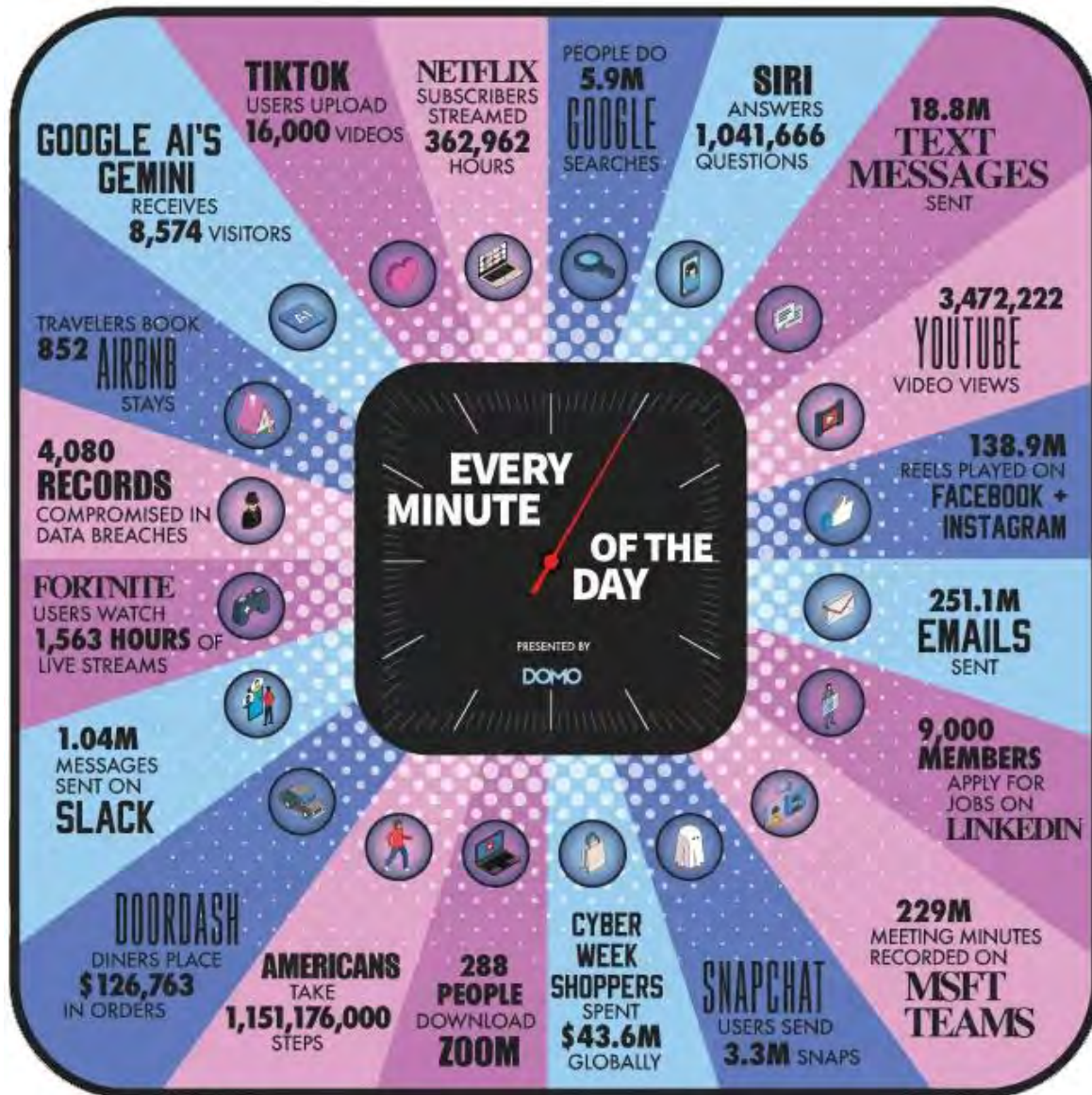
我們每分鐘在全世界有
多少個 Email 收發？



每分鐘在全世界有
251 Million
Email 收發

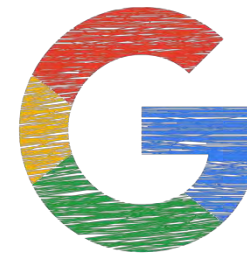
數據中心

Wonderful Electricity



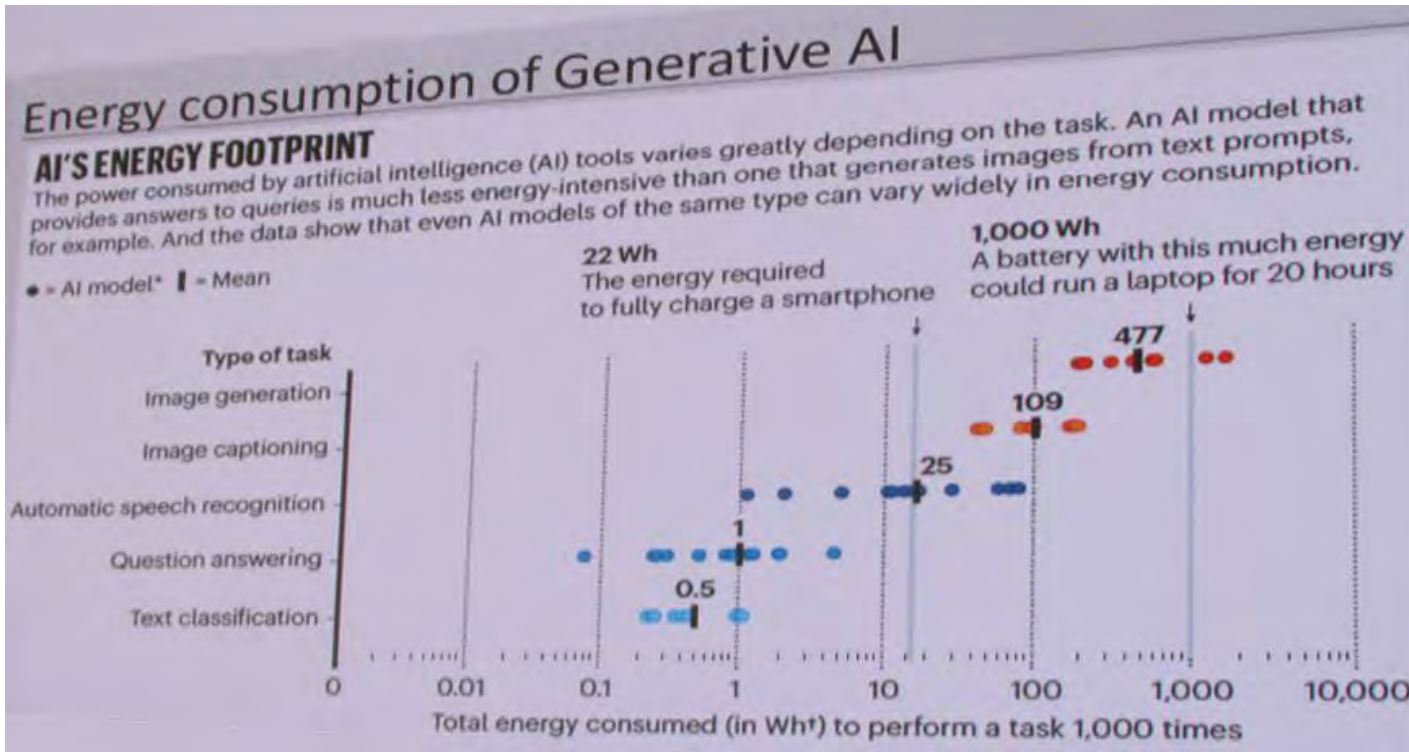
Data Never Sleep 12.0

我們每分鐘在全世界有
多少個 Google Searches ?
多少個 AI Queries ?



每分鐘在全世界有
5.9 Million
Google Searches

每分鐘在全世界有
8574 Queries



每一個 Google Searches
的用電量為 0.0001 kWh

每一個 AI Queries的用電量為
0.001 kWh

每一個 AI Image Generation的用
電量為0.477 kWh

「一度電」就是1,000(W)瓦耗電的用電器具，使用一小時所消耗的電量，單位是「千瓦·小時」。例：8瓦的LED燈，每日用電5小時，每日的用電量是40Wh，亦即 **0.04 kWh**。

每一個 Google Search的用電量為 **0.0001 kWh**，每分鐘在全世界有5.9 Million Google Searches，每日的用電量是 0.85 MWh.

每一個 AI Text Queries的用電量為 **0.001 kWh**，每分鐘在全世界有8574 AI Text Queries，每日的用電量是 0.012 MWh.

每一個 AI Image Generation的用電量為 **0.477 kWh**，每分鐘在全世界有500 AI Image Generation，每日的用電量是 0.34 MWh.



到1873年，英國人羅伯特·戴維森(Robert Davidsson)用一次性電池作動力，成為世界上第一輛可供使用的電動車，該電動汽車是一輛載貨車，長4米，寬1.8米，使用鐵、鋅、汞合金與硫酸進行反應的一次性電池。

電動汽車開展了逐步淘汰柴油驅動車的歷程。由於內燃機汽車的排放污染物，再加上石油能源燃燒後排放二氧化碳，所以多個國家或地區(如歐盟、日本、美國加州)已宣佈在2035年起，禁止銷售新的內燃機引擎汽車。汽車公司如平治、寶馬到2030年、福斯到2035年、本田到2040年，亦將全面停售燃油車。

V2G for Smart Grid



電動車 自動駕駛汽車



自動駕駛汽車(Autonomous driving)又稱「無人駕駛」，是一種能夠自動駕駛的汽車，能靠感測其環境及作出導航，不需要人手操作。自動駕駛汽車能以雷達(Radio Detection and Ranging, 簡稱RaDAR)、光學雷達(Light Detection and Ranging, 簡稱LiDAR)、感測器、衛星導航及電腦視覺等技術感測其環境。先進的控制系統能將感測資料進行處理分析，例如有路障，行人，或者危險標誌等，能迅速作有效的規避並且規劃出適當的行駛路線，使得汽車能安全地自動駕駛。

電動車之父



陳清泉教授(被譽為「亞洲電動車之父」)在1980年代中研發電動車，亦曾成功在美國加州政府取得製作100部電動車的合約。在當時設計的電動車，是在福特(Ford)汽車的車身上放置電動馬達。

紀錄片《誰扼殺了電動車？》可在互聯網上找到
(如網站<https://archive.org/details/who-killed-the-electric-car>)

The talk covers nearly everything related and about electricity(電) covering power systems, smart grid, blackouts, data centre, electronics, communications, electrical safety etc. 電從何來，電是何物，電往何走，電用何方。

Nobel laureates related to electricity:

JJ Thomson: 1906 Nobel Prize on electron in atom (particle)

Guglielmo Marconi: 1909 Nobel Prize on wireless telegraph

Albert Einstein: 1921 Nobel Prize winner on photoelectric effect

Louis de Broglie: 1929 Nobel Prize winner on duality for quantum mechanics

George Thomson: 1937 Nobel Prize winner on electron as energy wave

William Shockley, John Bardeen and Walter Brattain: 1956 Nobel Prize winners on Transistor

Charles Kao: 2009 Nobel Prize winner on fibre optice for telecommunications

Shuji Nakamura, Isamu Akasaki and Hiroshi Amano: 2014 Nobel Prize winners on high-brightness blue LEDs

總結

電是何物
電從何來
電往何走
電用何方

無形有相粒波飛，
越嶺穿雲送力時。
萬戶千門隨指亮，
衣食住行盡成詩。

感謝您的出席。