

國立中山大學通識課程

物質科學

物理部份

三、熱力學的黑體輻射－古典力學的失敗

四、由電磁學到光學－近代物理的開端

機電系 楊台發



國立中山大學通識課程

基礎自然科學物理部份 contents

一、力學的轉變（古典的科學哲學）

伽利略、牛頓，由完美的數學哲學到實驗觀察的科學。古典科學發展史、相對運動、唯美的哲學和數學模型。

二、光的二元性－挑戰古典的科學哲學

惠更斯、牛頓的波動、粒子理論，真的只准黑或白嗎？宗教、政治的干擾、不全是牛頓的過錯。

三、熱力學的黑體輻射－古典力學的失敗

古典的熱力學模型無法解釋的黑體輻射光譜，蒲朗克的量子理論－量子力學的誕生。

四、由電磁學到光學－近代物理的開端

馬克斯威爾電磁波方程式－偉大的預測。

五、量子力學－近代科學

光的二元性－挑戰古典的科學哲學，波爾的互補原理。海森堡的測不準原理、量子力學是一種數學。

六、愛因斯坦的相對論

光速是絕對的、時間是相對的，畫時代的貢獻，來自不得已的妥協。

七、物理的統計學－由複雜再回到簡單

愛因斯坦、費米的玻子和費米子統計。世界不是如數學模型般的那麼簡單，但是亂中有序－複雜系統才是真實的世界。

八、微奈米的科技

生物、物理、化學大集合，微奈米的世界多麼不一樣。單電子電晶體、光子晶體、奈米粒子的光催化及量子效應。



溫度

德國人華倫海特(1686—1736)從羅默的工作得到啓發，也研究了溫度標準。1714年，他用水銀代替酒精作為測溫物質，



圖 26.4 華倫海特像

於是就有可能利用水的沸點。他做了許多實驗研究水的沸騰，認識到水的沸點在大氣壓一定的條件下是固定的，不同的大氣壓下，沸點會有所改變。他把結冰的鹽水混合物的溫度定為 0° ，以健康人的體溫為 96° ，中間的 32° 正好是冰點，後來又確定水的沸點為 212° ，這就叫華氏溫標，以下表示。

華倫海特的工作推動了精確溫度計的發展，在歐洲大陸，他的溫度計使用很普遍。

瑞典天文學家攝爾薩斯(1701—1744)1742年創製的溫度計是在水的冰點和沸點間分100等分。不過，他為了避免冰點以下出現負溫度，定冰點為 100° ，沸點為 0° ，和現行的攝氏溫標(以 $^{\circ}\text{C}$ 表示)正好相反。我們現在的攝氏溫標是1743年法國

Q: 華氏和攝氏溫度計如何定義溫度？



勇於思考 湯普森大膽懷疑熱質說 大炮鑽孔 倫福德實驗證明熱本質

——運動說的興起——

上回說到，熱質說在解釋量熱實驗方面取得了成功，~~十八世紀大多數物理學家都相信這一學說~~。然而這種學說畢竟是一種似是而非的看法。它也許可以成功地解釋熱傳導和量熱實驗，但只要聯繫到更多的現象，認真地加以思考，就會發現漏洞，甚至遇到無法解決的矛盾。

首先，關於熱質是否具有重量的問題，引起了人們的懷疑。

美國人湯普森（也叫倫福德，1753—1814）對熱的本質作過周密的考查。他爲了駁斥熱質說，在1799年公佈了他做過的一個實驗，這個實驗的目的是測量“熱質的重

熱

What is heat?



倣照軀體 電流如同血液循環 精益求精 焦耳測定熱功當量

—— 能量守恆定律的建立 ——

上回說到，邁爾正在為能量守恆定律的宣佈受到冷遇的時候，英吉利海峽的彼岸有一位業餘的科學家正日夜進行熱和機械功之間的當量實驗，並通過實驗探討熱和機械運動的關聯。



焦耳(1818—1889)

焦耳(1818—1889)是英國實驗物理學家，他以精確測定熱功當量而聞名於世。他從事熱功當量的實驗研究歷經三十多年，積累了大量數據，為能量轉化與守恆定律提供了重要實驗依據。

焦耳研究熱與功的相當性，起源於他對電機——當時叫磁電機的興趣。焦耳1818年出生在英國工業中心曼徹斯特市的近郊，父親是釀



熱和摩擦—動力損失的根源

效應時，焦耳發現了 i^2R 定律，也叫焦耳定律。這個定律是說：在一定時間內電流通過金屬導體產生的熱與電流 i 的平方及導體電阻 R 成正比。圖 30.3 是焦耳研究電流熱效應的實驗裝置，其中 A 為一支玻璃管，上面密纏金屬絲，插入盛水的玻璃筒 B 中，溫度計 T 也插入筒內，測量溫度。

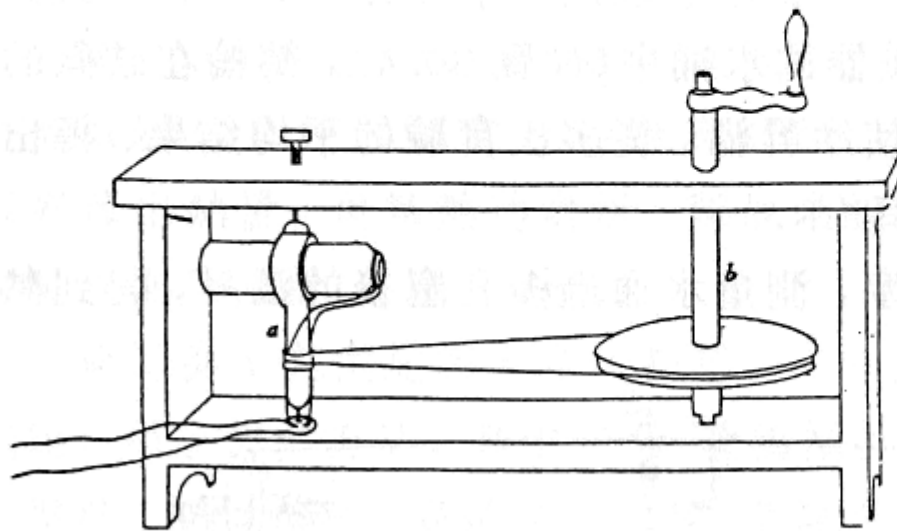


圖 30.2 焦耳研究磁電機發熱的實驗裝置



Q: 焦耳的熱電
效應是什麼？
說明了什麼事情？

圖 30.3 焦耳測通電後
的溫度變化



Joule and Thomson

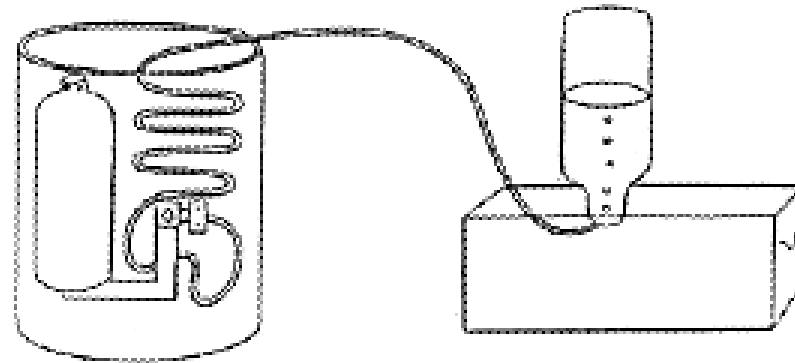


圖 30.6 焦耳經蛇形管釋放壓縮空氣

1847年，湯姆生第一次聽到焦耳宣讀熱功當量的論文，留下了深刻的印象，他們立即成了好朋友，相互約定兩週後在旅遊地點會面。當湯姆生按約來到切芒尼克斯山谷（那裡有一座瀑布）時，遠遠看見一個青年人沿山路迎面走來，手裡拿着一根像手杖一樣的東西。走近一看，原來他就是焦耳，此刻正在和夫人度蜜月。焦耳手裡拿着的是一支長溫度計，準備到山區來測量瀑布上下溫差的。（從瀑布的落差可以計算功，由此也可估計熱功當量）。在焦耳的後面跟着一輛遊覽車，他的新婚夫人正端坐在車上，可是焦耳怕車輛顛簸，折斷溫度計，寧可自己步行上山。湯姆生看此情景，仰慕之心油然而生。從此，他們成了終生的好友。



微粒的運動 — 動能、溫度

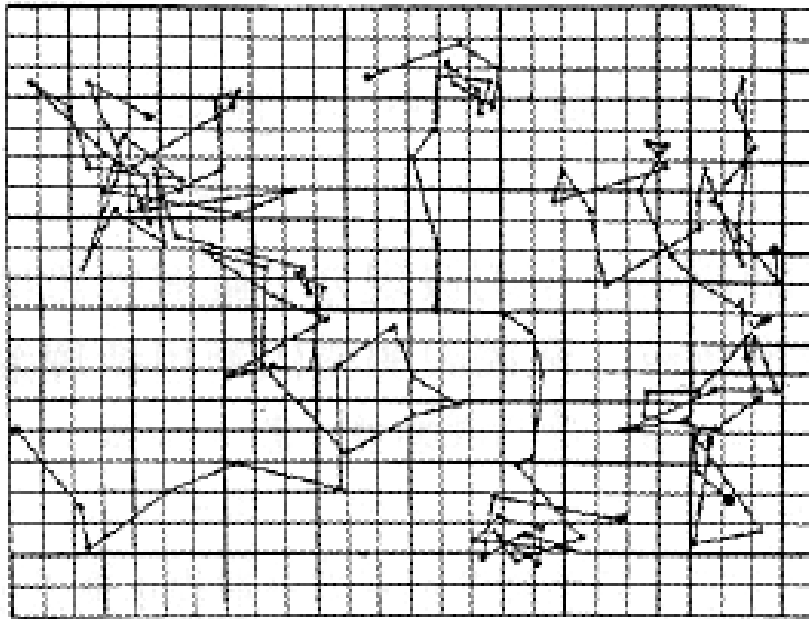


圖 31.1 布朗運動



圖 31.2 布朗像圖

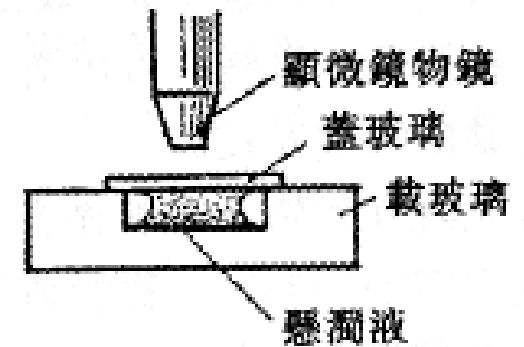
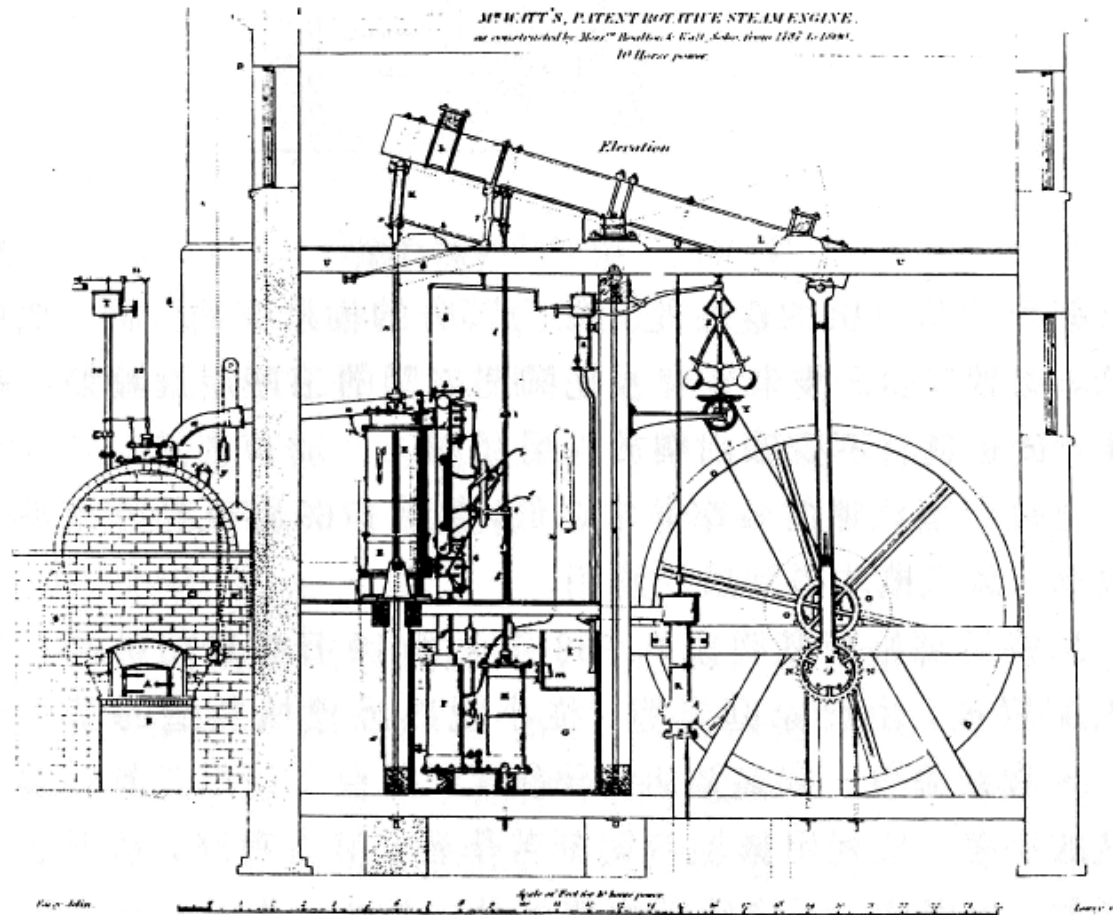


圖 31.3 佩爾實驗圖





光譜學 — 黑體輻射

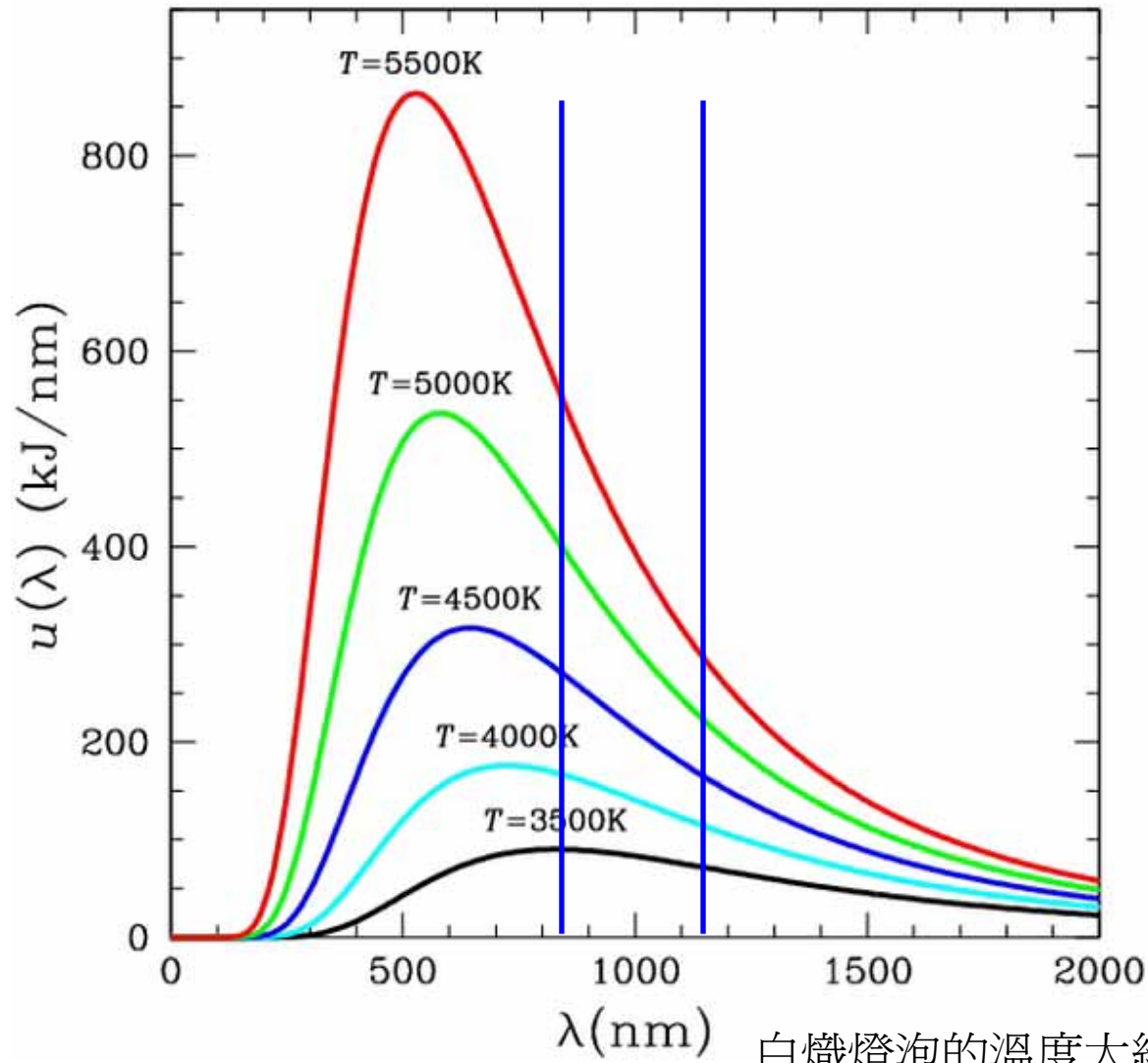
古典的熱力學 波茲曼統計



Q: 如何以一熱力學平衡的系統來描述非平衡的真實世界現象。

Hot metalwork from a blacksmith. The yellow-orange glow is the visible part of the thermal radiation emitted due to the high temperature. Everything else in the picture is glowing with thermal radiation, too, but less brightly and at longer wavelengths that our eyes cannot see. A far-infrared camera will show this radiation (See [Thermography](#)).





白熾燈泡的溫度大約在 1400°C 以下，為何說他是十分浪費能源的光源？



光譜學

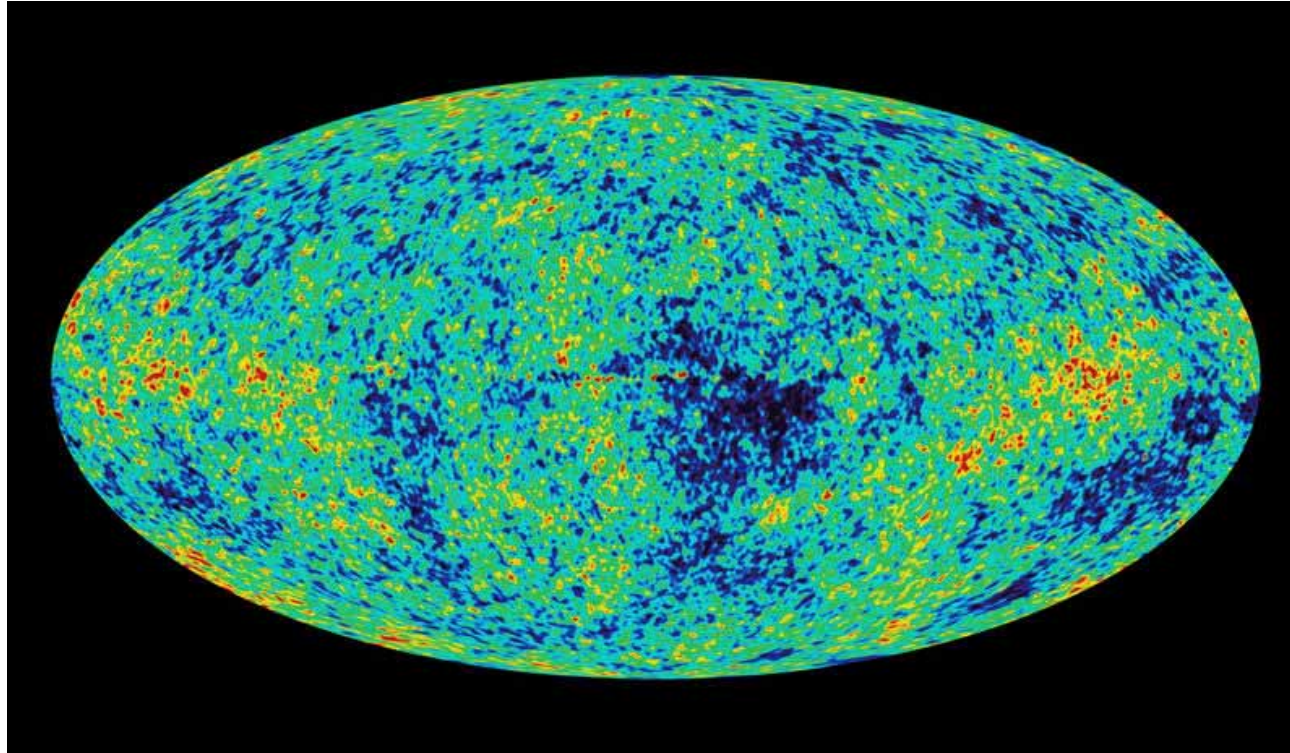
紅外光的輻射

頻率隨溫度成正比

Question:

我們看到的物體的顏色，
可見光的波長，是怎麼形成的？

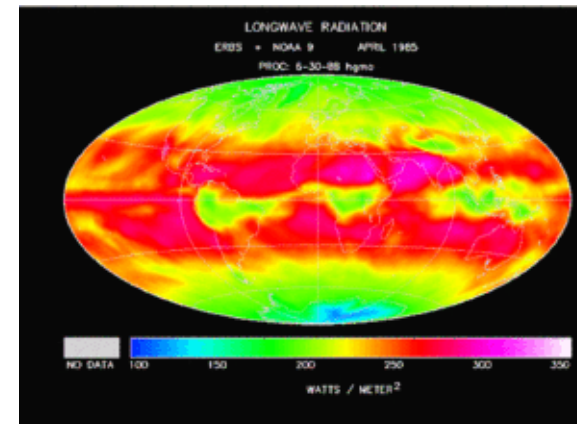




WMAP image of the cosmic microwave background radiation anisotropy. It has the most perfect thermal emission spectrum known and corresponds to a temperature of 2.725 kelvin (K) with an emission peak at 160.2 GHz.

熱輻射光譜

Earth's longwave thermal radiation intensity, from clouds, atmosphere and ground



黑體輻射

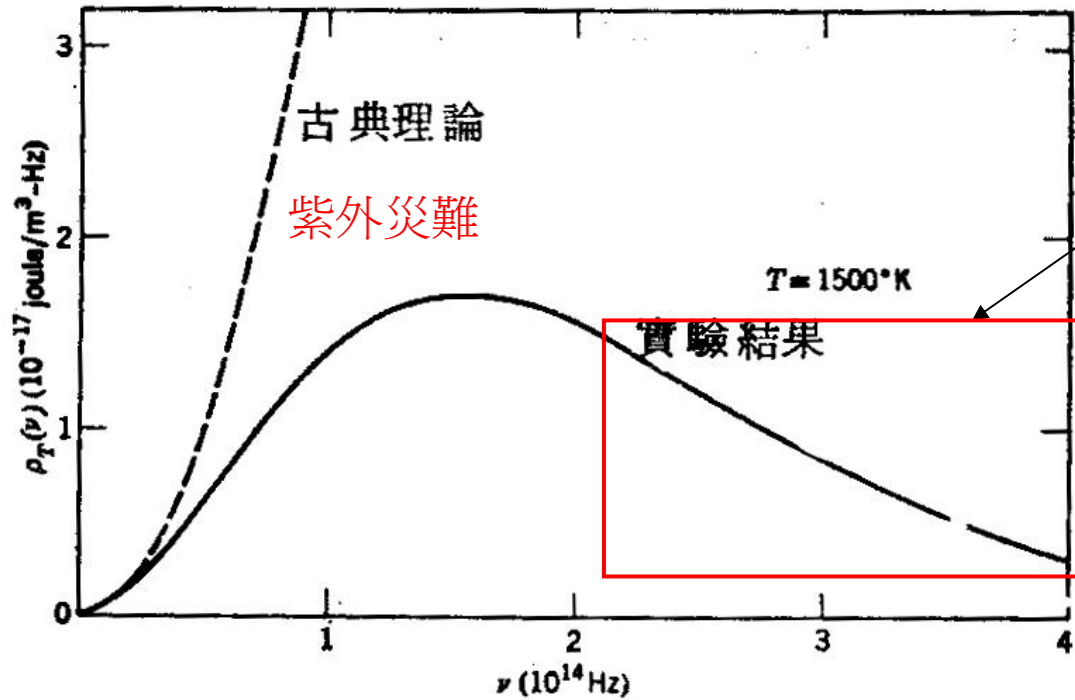
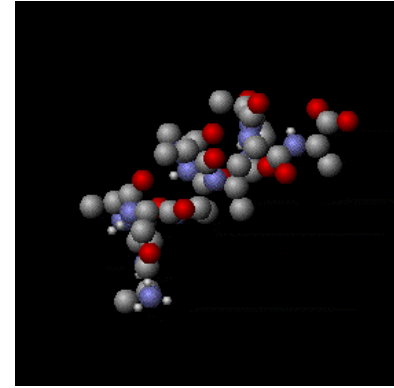
- 黑體，又稱绝对黑体
- 它能夠吸收外來的全部电磁辐射，並且不會有任何的反射與透射。換句話說，黑體對於任何波長的电磁波的吸收係數為1，透射係數為0。
- 但黑體不見得就是黑色的，即使它沒辦法反射任何的電磁波，它也可以放出電磁波來，而這些電磁波的波長和能量則全取決於黑體的溫度，不因其他因素而改變。
- 當然，黑體在700K以下時看起來是黑色的，但那也只是因為在700K之下的黑體所放出來的輻射能量很小且輻射波長在可見光範圍之外罷了！若黑體的溫度高過上述的溫度的話，黑體則不會再是黑色的了，它會開始變成紅色，並且隨著溫度的升高，而分別有橘色、黃色、白色等顏色出現。
- 黑體一詞是在1862年由柯西荷夫所命名並引入熱力學內，黑體所輻射出來的光線則稱做黑體輻射。

Q: 黑體輻射的溫度和頻率有什麼關係？

Q: 黑體輻射描述的是一個物體其溫度和輻射出的光頻率有什麼關係的現象？



Ultraviolet catastrophe



Boltzmann 統計描述之區域

Wien's displacement law

$$T\lambda_{\max} = 2.898... \times 10^6 \text{ nm K.}$$

Stefan-Boltzmann law

$$j^* = \sigma T^4.$$

圖 1—8 雷利 - 珍斯對黑體空穴能量密度的預測 (點線) 與實驗結果之比較顯示出在紫外部分的嚴重不合。



背景

19世紀，由於冶金以及照明設備製造等的需要，人們急需找到黑體輻射強度和輻射頻率的關係。1889年盧默與魯本斯通過研究空腔輻射得出了黑體輻射光譜的實驗數據。但是，單使用實驗數據找對應點的方法十分不便，於是，人們開始了尋找一般的公式。

形成

1900年，瑞利根據經典統計力學推出了一個公式，1905年，金斯修正了瑞利輻射公式中的一個數值錯誤，以後，此公式被稱為瑞利—金斯公式。

$$w(\nu, T) d\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT d\nu$$

瑞利—金斯公式：

其中， $w(\nu, T)$ 為輻射的能量密度， k 是波爾茲曼常數， c 為真空中的光速， T 是熱力學溫度。可以看出， w 在 ν 趨向於無窮大時趨向於無窮大，這於實驗數據相違背。1911年，奧地利物理學家埃倫費斯特用「紫外災難」來形容經典理論的困境。

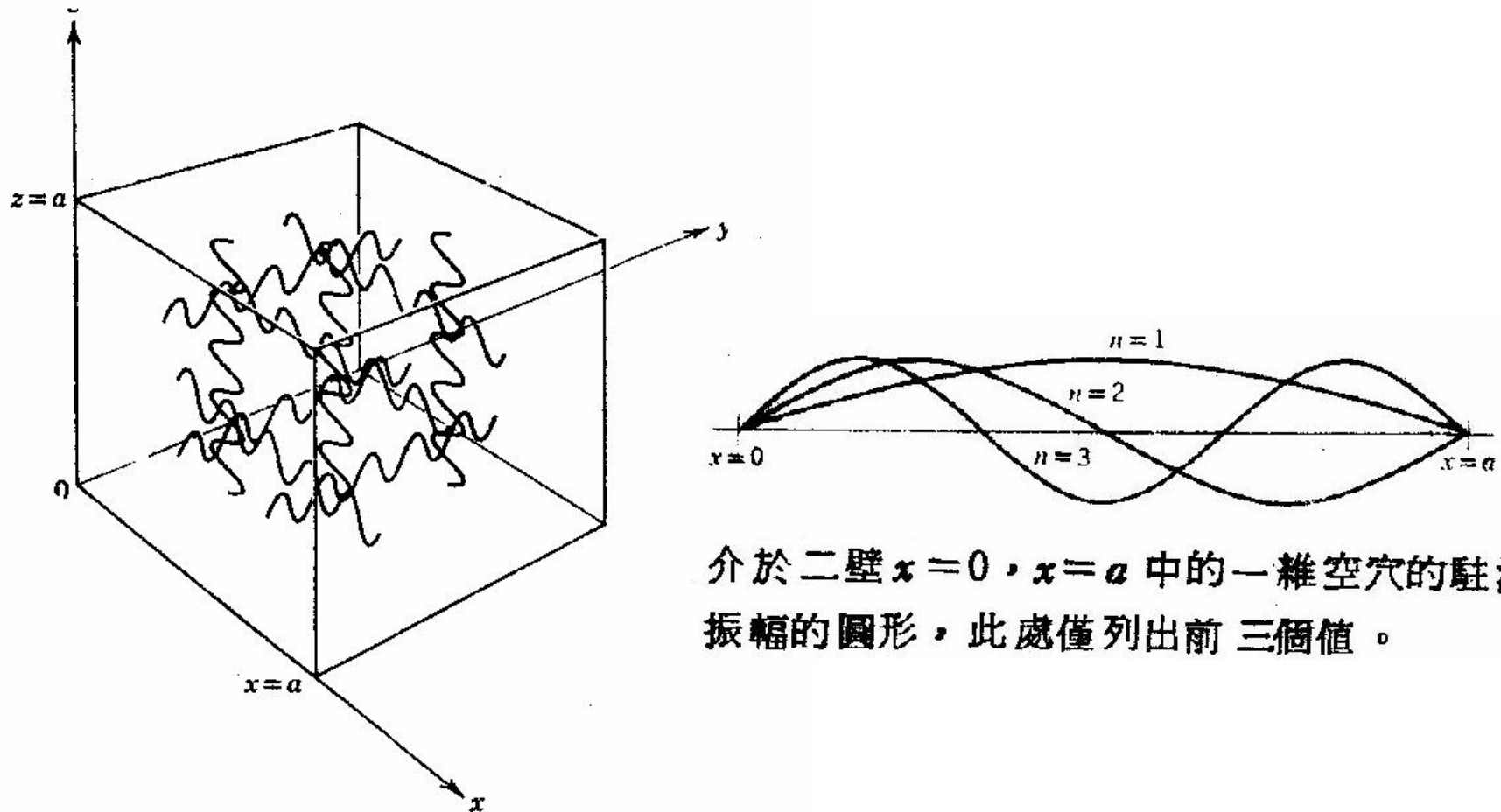
兩片烏雲？

影響

開爾文在一次演講中說道：「動力學理論斷言，熱和光都是運動的方式。但現在這一理論的優美性和明晰性卻被兩朵烏雲遮蔽，顯得黯然失色了……(The beauty and clearness of the dynamical theory, which asserts heat and light to be modes of motion, is at present obscured by two clouds)」其中的一朵「烏雲」便指的是黑體輻射問題。關於黑體輻射強度的計算有另外一條在短波中適用的維恩公式，普朗克使用插值法將兩個公式化成了一條公式也即普朗克公式，併為了解釋這個半經驗公式的準確性提出了能量量子化假設。



空穴振盪的能量



介於二壁 $x=0$ ， $x=a$ 中的一維空穴的駐波振幅的圖形，此處僅列出前三個值。

圖 1-3 一金屬製成之立方形空穴內充滿電磁波，示出此輻射在壁間來回振動時三個互不干涉的分量。



1900年 量子力學誕生

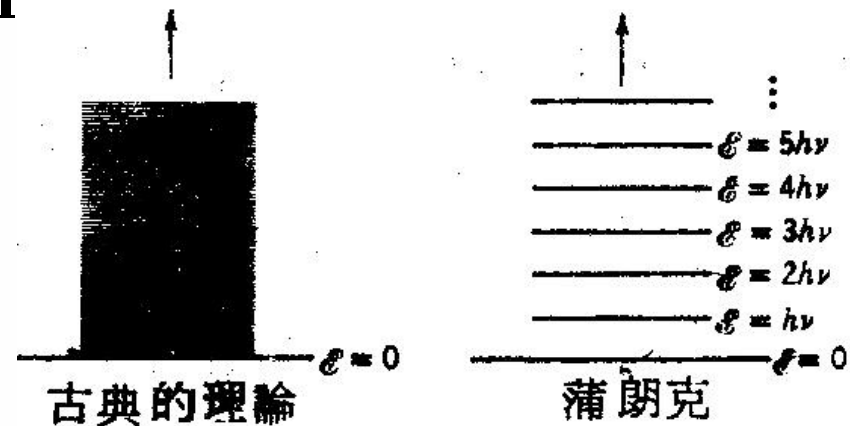
Planck's law of black-body radiation

Planck's law of black-body radiation

$$I(\nu) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

where

- $I(\nu)d\nu$ is the amount of energy per unit surface area: per unit time per unit solid angle emitted in the frequency range between ν and $\nu+d\nu$;
- T is the temperature of the black body;
- h is Planck's constant;
- c is the speed of light; and
- k is Boltzmann's constant.



Q: Planck的黑體輻射Quantum的觀念是甚麼？

和古典的牛頓力學的觀念有何差異？

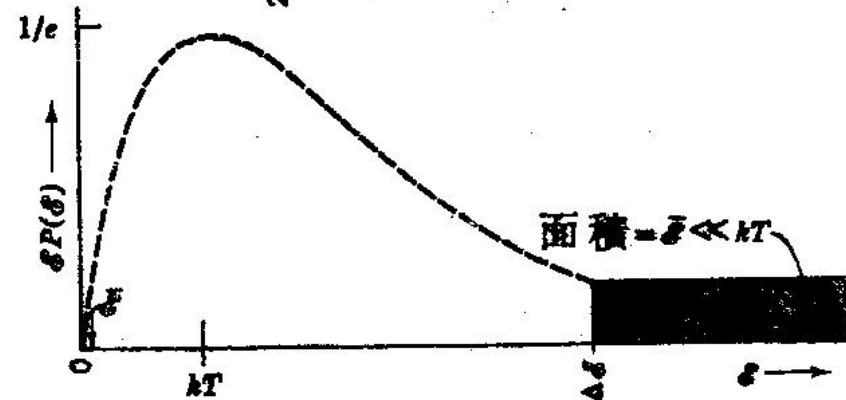
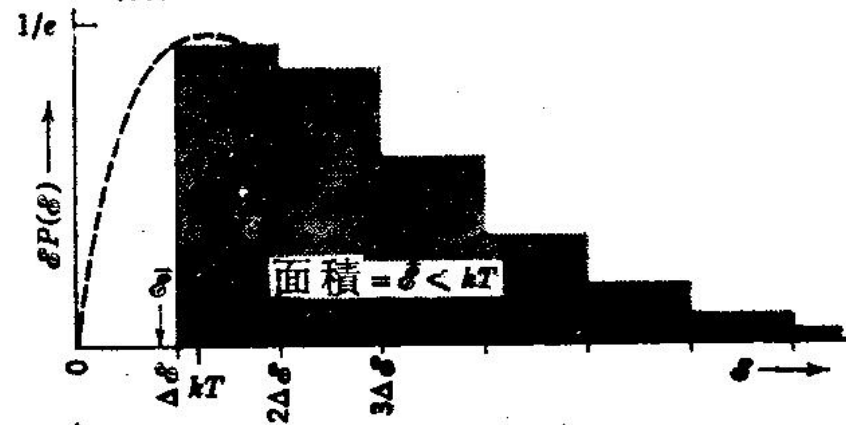
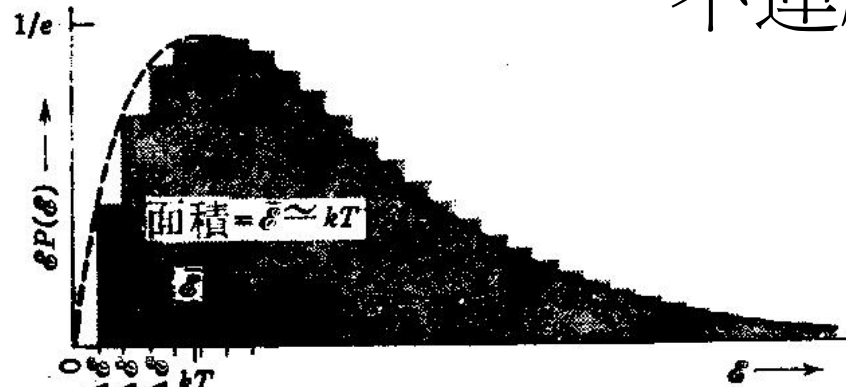
Q: 普朗克分析黑體之輻射得到什麼重要理論？



不連續的能量單位

空穴振盪的能量無法以一個連續的函數描述

$$\Delta \varepsilon = h \nu$$



四、由電磁學到光學—近代物理的開端

篤信電磁統一 法拉第發現電磁感應



圖 40.1 法拉第像

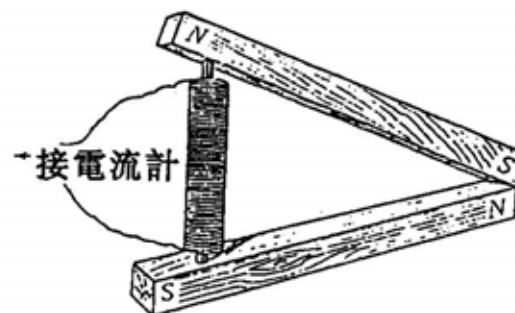
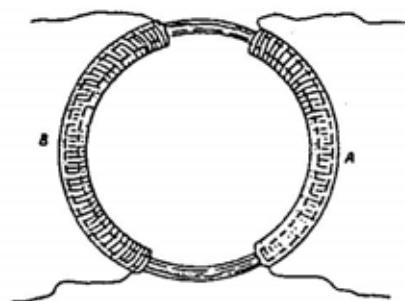


圖 40.5 法拉第發現電磁感應 圖 40.6 法拉第進一步研究電磁感應
上繞以線圈，再和電流計相接，鐵棒兩端各放一根磁棒，如圖
40.6. 當磁棒張合之際，電流計的磁針也不斷擺動。

法拉第想，這兩個實驗成功的關鍵在哪裡呢？如果沒有鐵



任何一位學過電磁感應定律的讀者都會判斷，這是一個典型的電磁感應實驗，只要細心做下去，總可以發現在線圈通電或斷電的瞬間，銅環裡有感應電流。可是歷史的事實却是，由於安培一心要證明他的分子電流學說，滿足於銅環不受力。他走到了電磁感應的邊緣，却没有深入研究這個問題，因而錯過了發現電磁感應的機

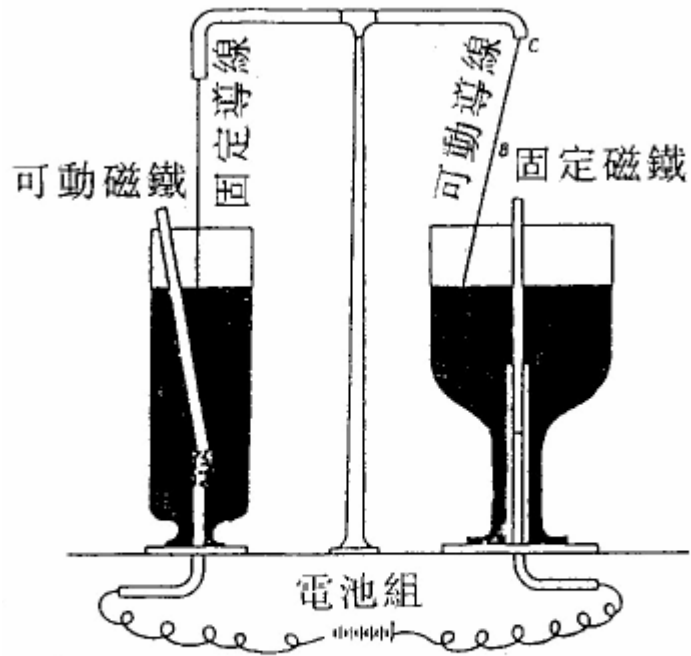


圖 3-3 法拉第的電磁

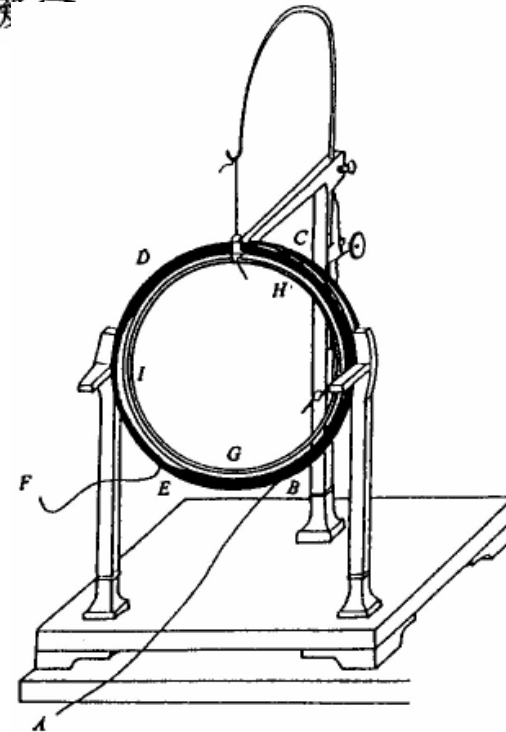


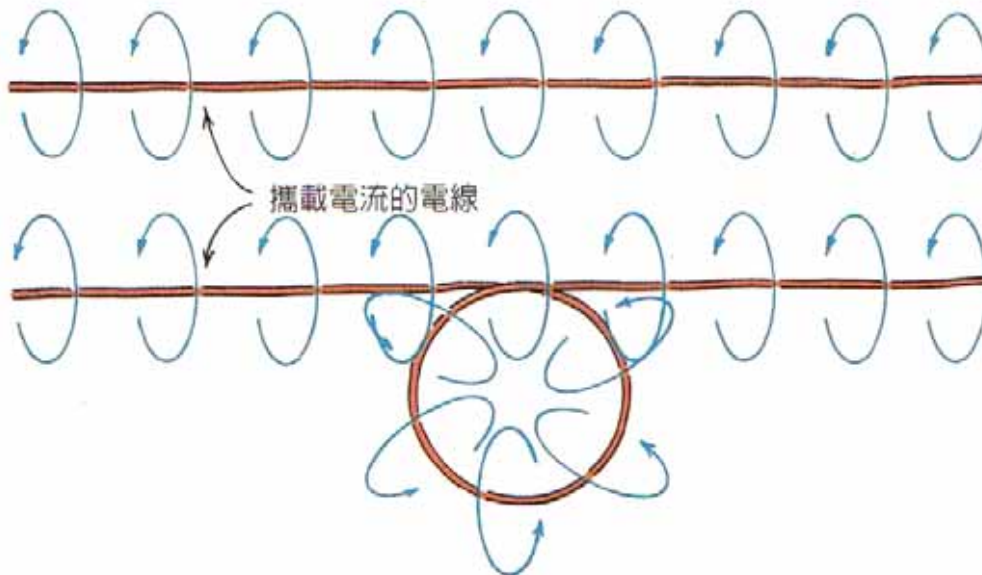
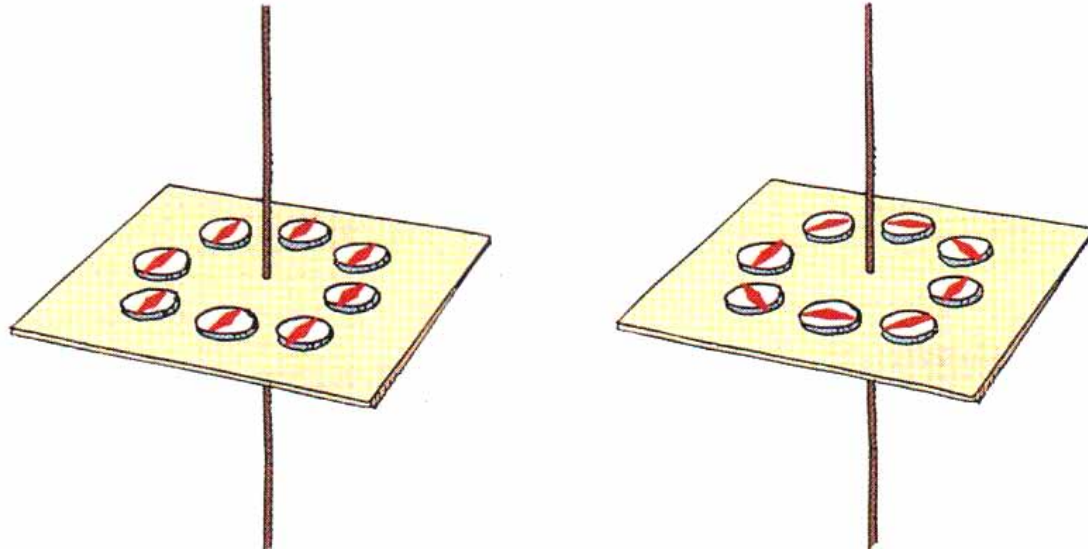
圖 3-5 安培的銅環實驗

據文獻記載^[1]，法拉第不久就知道安培公開對他的質疑作了答辯，立即重複上述實驗。可惜他所依據的資料把安培的圓



圖 36.9 ▶

(左) 電線沒有電流通過時，指南針跟隨地球的磁場，有一致的指向。(右) 當電流通過電線時，指南針的指向就按照電線附近比地磁還強的磁場來排列。這磁場形狀是圍繞電線的同心圓。



◀ 圖 36.10

當攜載電流的電線繞成環圈時，電線周圍的磁場線會聚集起來。



- (1) 變化中的電流；(2) 變化中的磁場；(3) 運動的穩恒電流；
- (4) 運動中的磁鐵；(5) 運動中的導線。

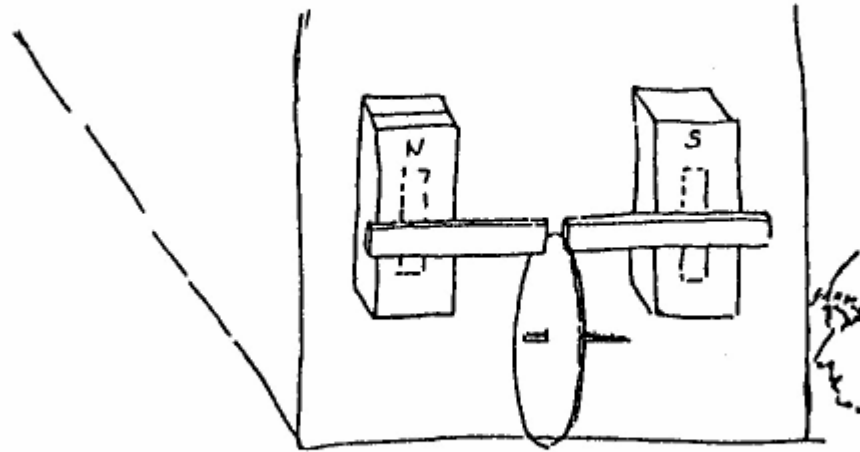


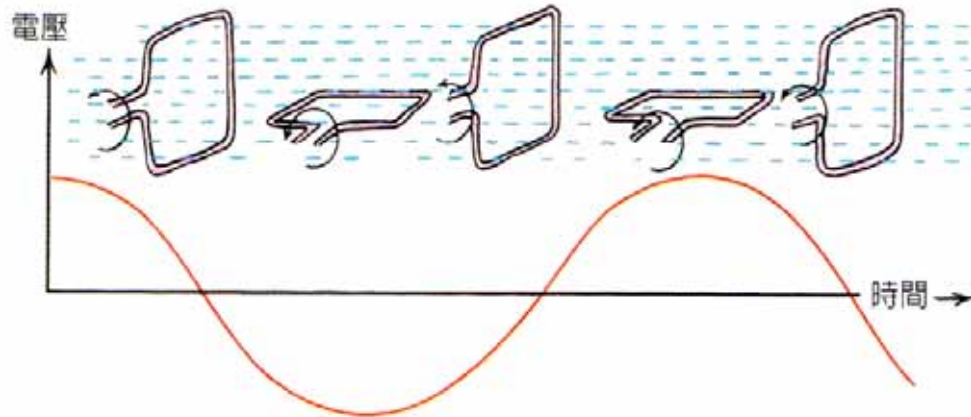
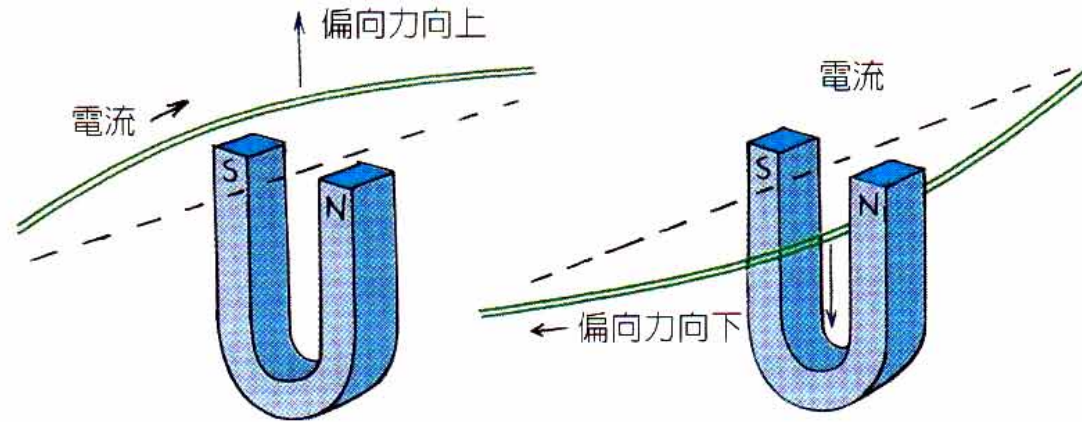
圖 3-10 法拉第用旋轉銅盤獲得了持續電流

Q: 電磁感應的原理為何?



圖 36.14 ▶

攜帶電流的電線在磁場中感受到的偏向力。(你看得出來本圖只是圖 36.13 的延伸嗎?)

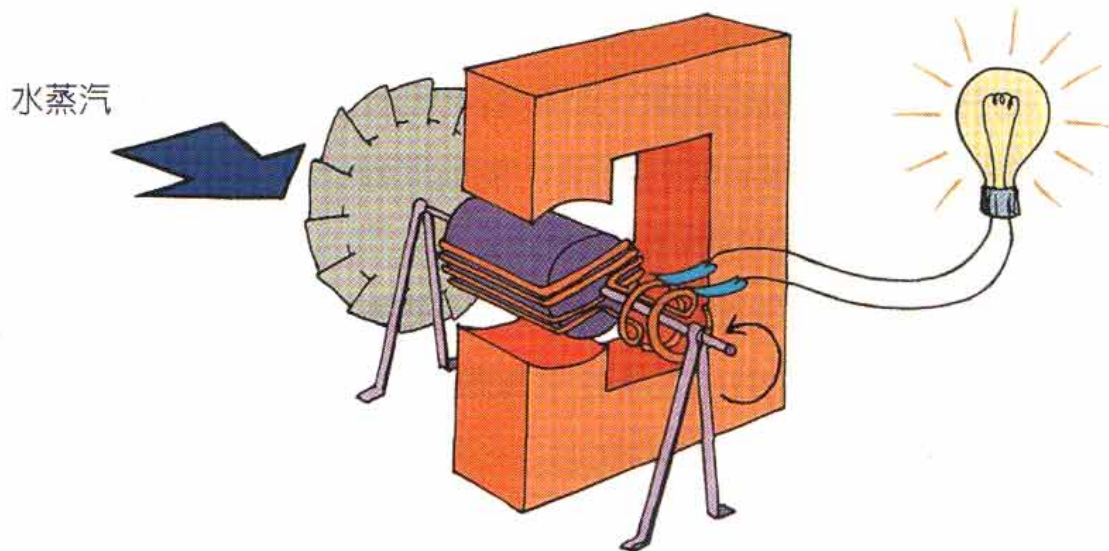


◀ 圖 37.7

線圈轉動的時候，感生電壓（及電流）的大小與方向都會發生改變。線圈每完整旋轉一次，就產生完整一週的電壓（及電流）。

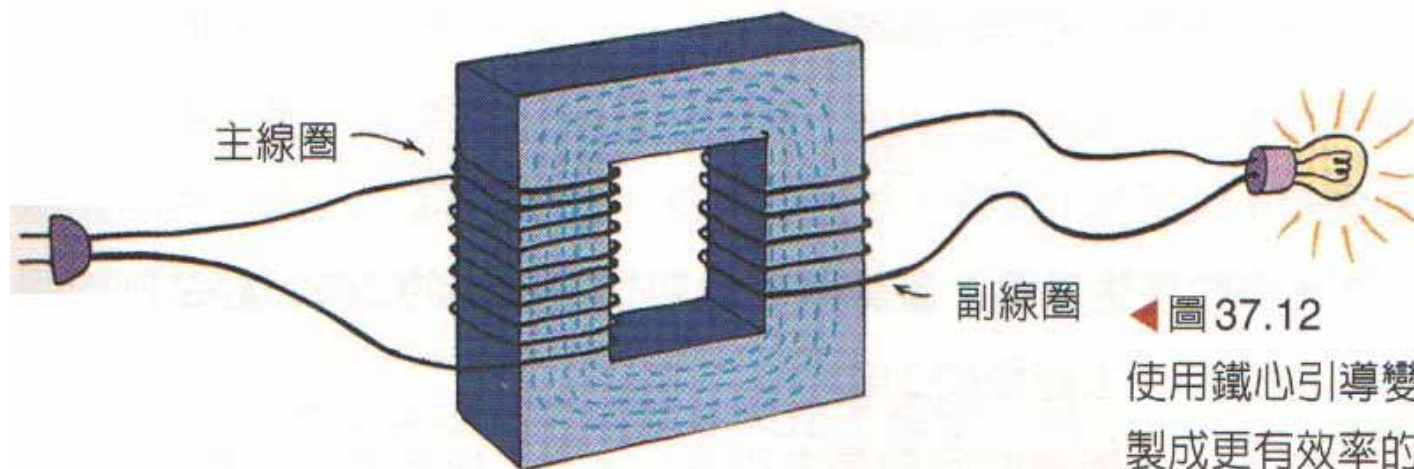
發電機的感生電壓與轉軸的角速度，所產生的電流即成爲交流





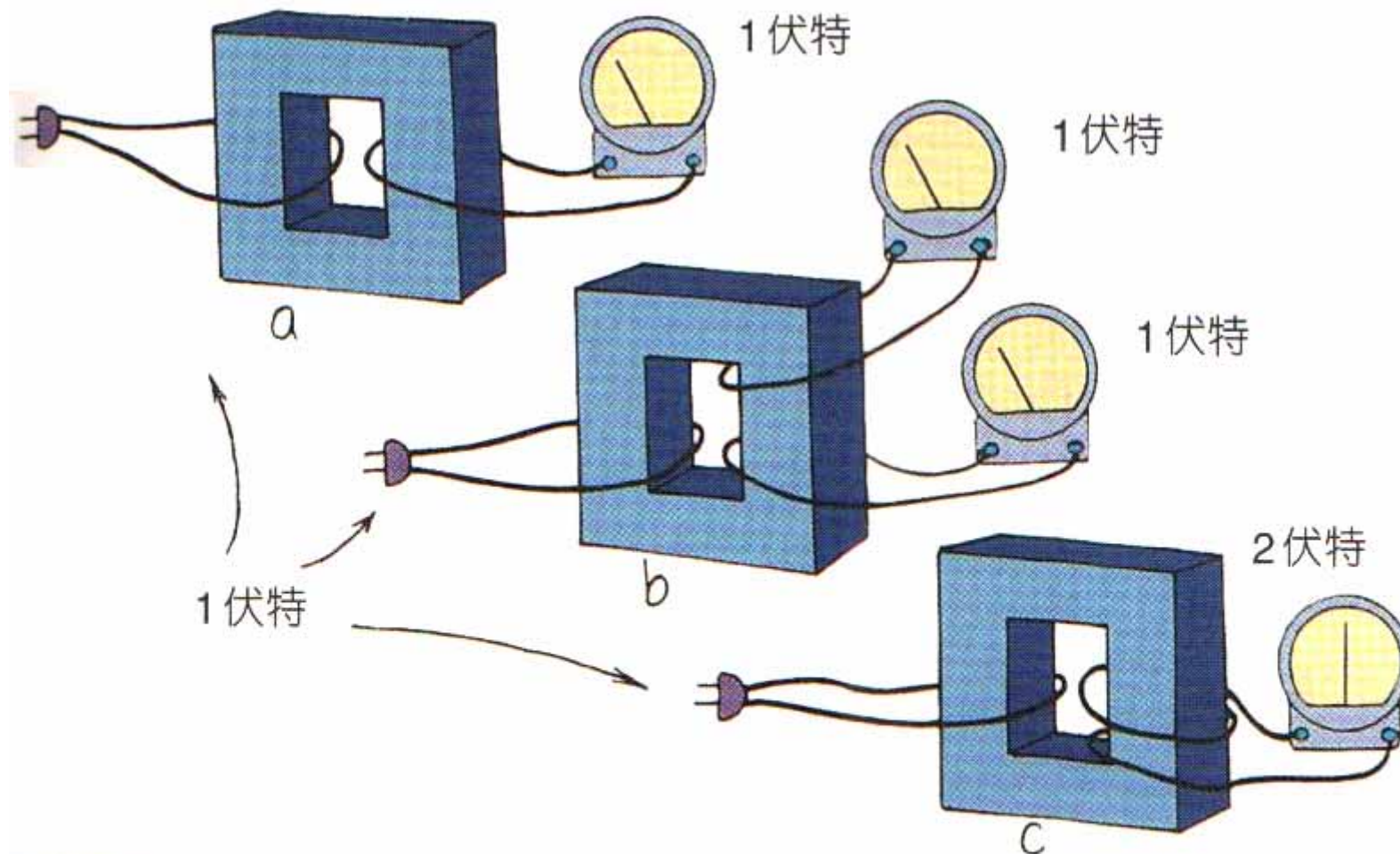
◀ 圖 37.8

水蒸汽推動渦輪機，渦輪機則帶動發電機的電樞。



◀ 圖 37.12

使用鐵心引導變化的磁場線，可製成更有效率的變壓器。



▲ 圖 37.13

- (a) 副線圈的感生電壓是 1 伏特，等於主線圈的電壓。
- (b) 新加的副線圈，感生電壓也是 1 伏特，因為它也截取了相同的變化磁場。
- (c) 兩個一匝的副線圈的感生電壓之和，等於一個 2 匝的副線圈的感生電壓。



和牛頓齊名的偉大理論家Maxwell

Maxwell equations

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 ,$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} , \quad \text{where } \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}, \mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E},$$

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A} ,$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = 0 ,$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} , \quad \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} ,$$

vector potential $\mathbf{A}(\mathbf{r}, t)$ satisfies the wave equation

$$\nabla^2 \mathbf{A}(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{A}(\mathbf{r}, t)}{\partial t^2}$$



馬克斯威爾電磁波方程式—偉大的預測 (1856-1865)
赫茲實驗證實電磁波的傳播 (1876)。



圖 41.1 赫茲像

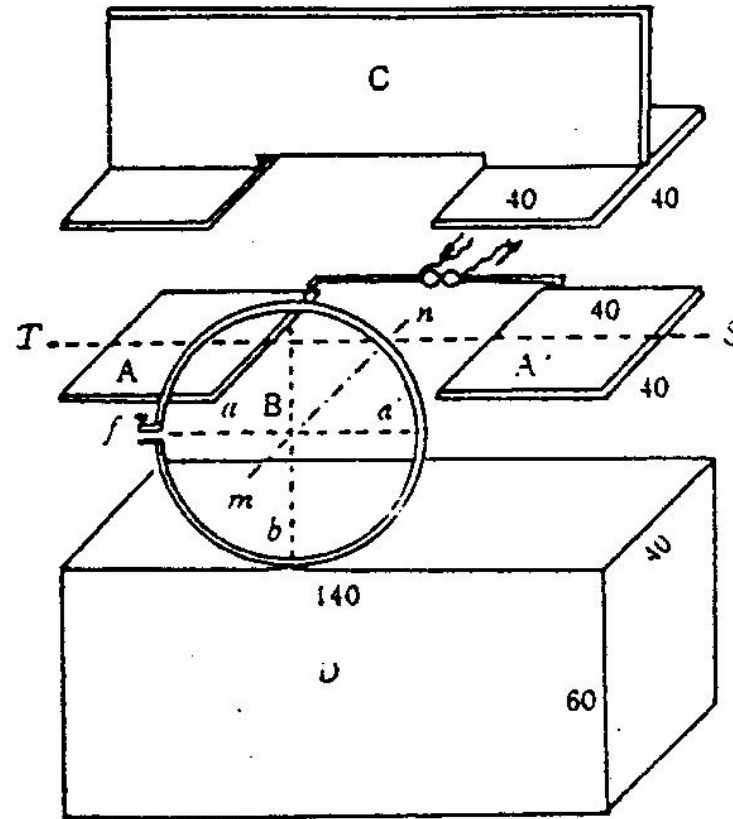
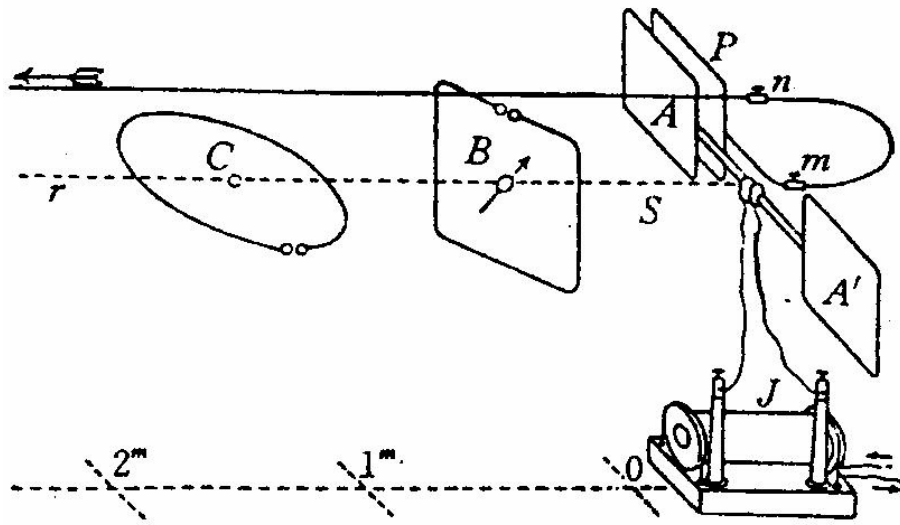


圖 41.2 赫茲的實驗裝置





赫茲測電磁波的速度

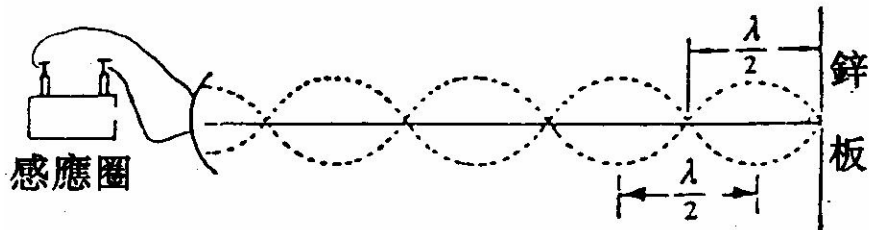
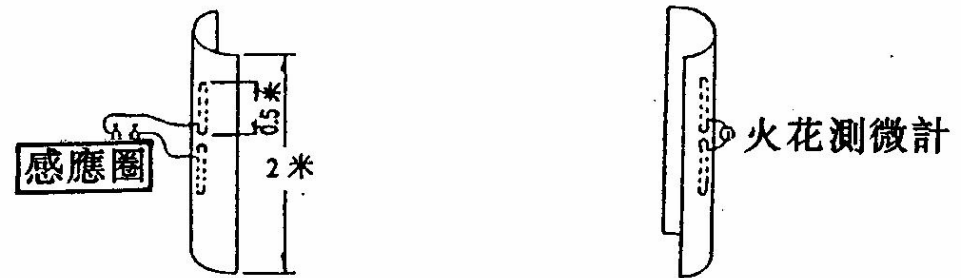
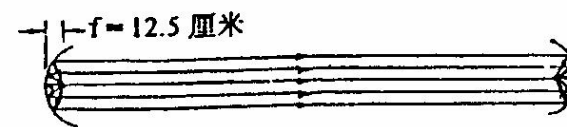


圖 41.4 駐波的形成



(a) 立體圖



(b) 俯視圖

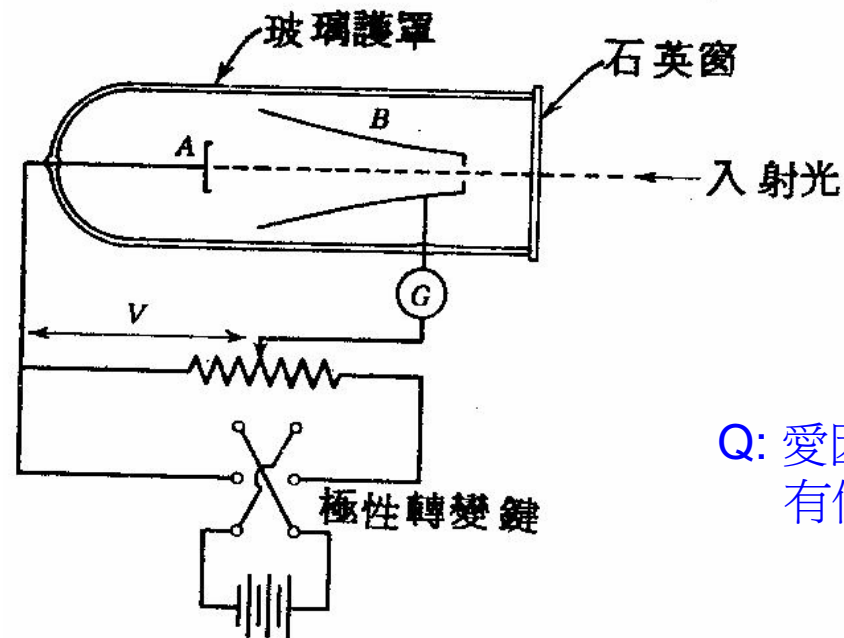
圖 41.5 電磁波的聚焦和直進性



第六十六回

全面驗證 愛因斯坦理論得肯定
獲獎會上 密立根坦率承認錯誤

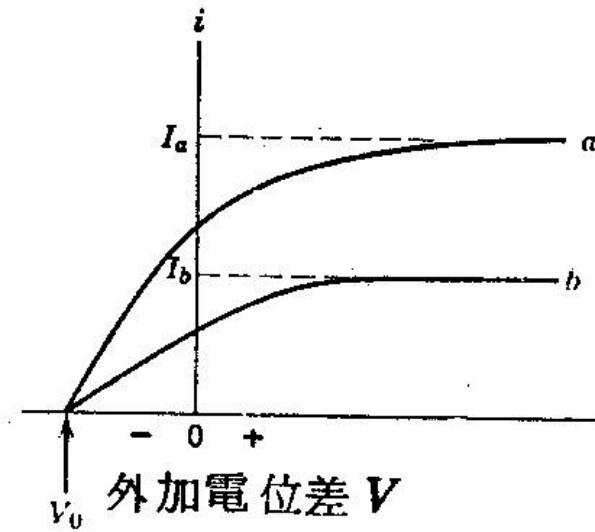
——愛因斯坦和密立根的光電效應研究——



Q: 愛因斯坦的光電效應研究有何重要結論？

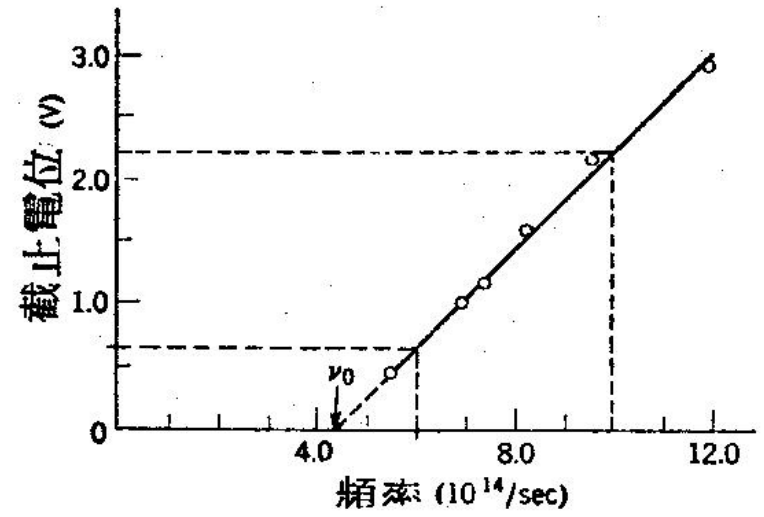
圖 2-1：研究光電效應的實驗儀器。電位差 V 可以連續地改變，且可由交換開關可改變符號。





由圖 2-1 的實驗所量得 i 對 V 的函數。

圖 2-3：密立根實驗鈉中不同頻率所對應的截止電位。截止頻率 ν_0 為 4.39×10^{14} 赫茲。



原子分子光譜學 → 量子力學

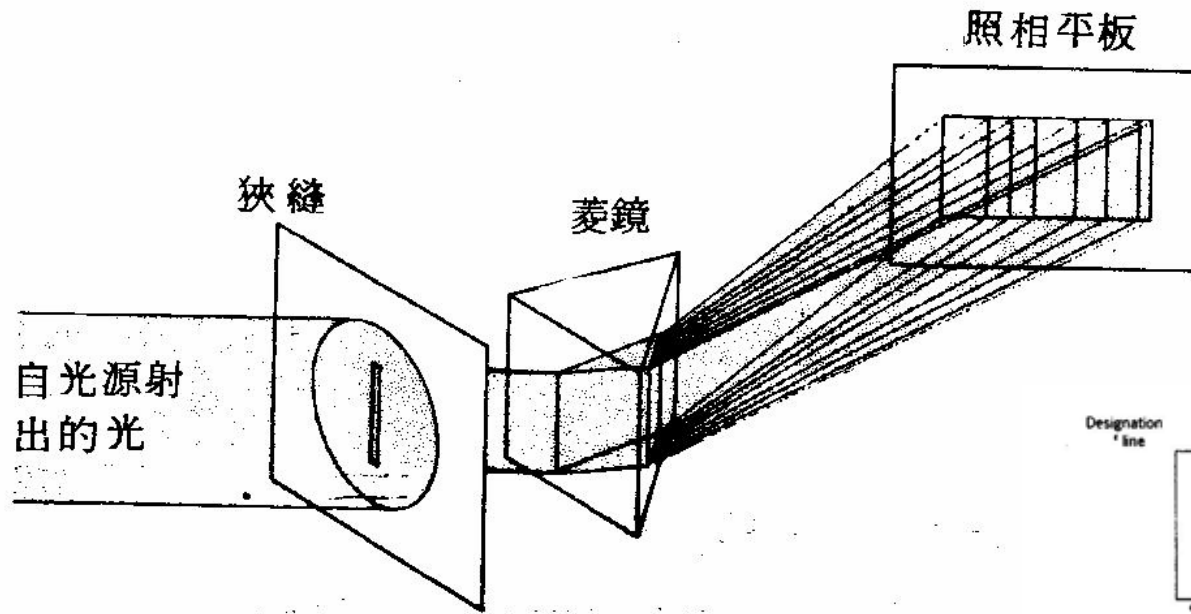


圖 4 - 9 測量原子光譜之儀器的圖示。

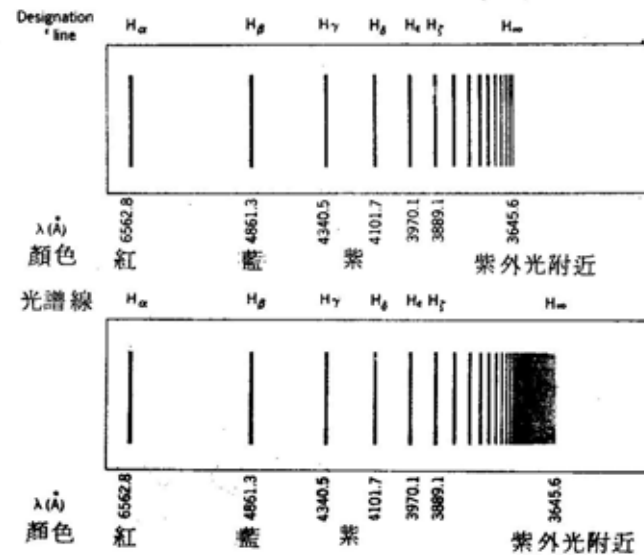


圖 4 - 10 上：氫原子光譜的可見光部分的照片。
下：與上圖相同，但各線已加標誌。

Q: 由原子或分子的發光光譜中可得知什麼資訊？



Discovery of electron, α , β , and γ ray

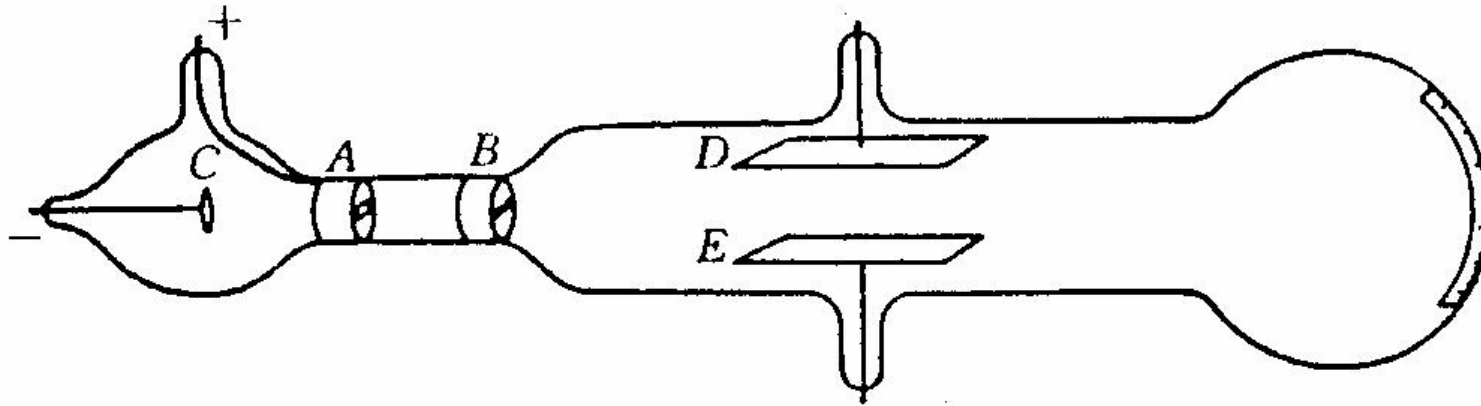


圖 62.6 湯姆生管

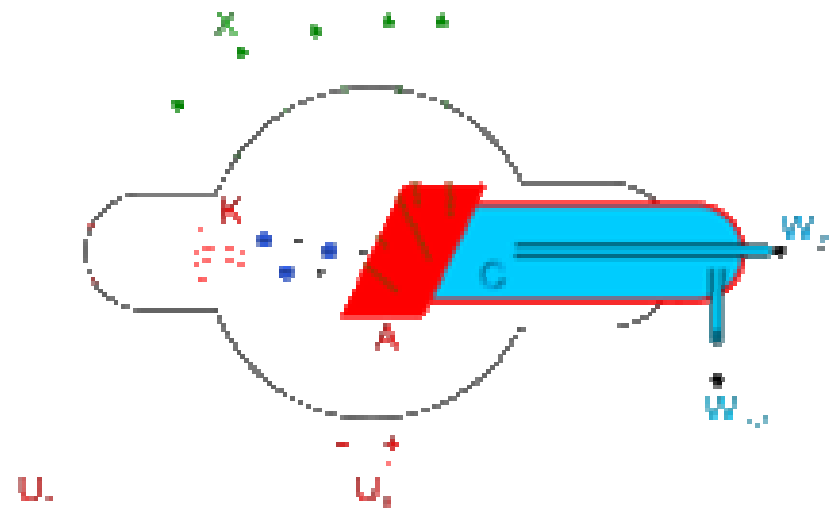
Electron帶負電荷基本粒子
受電場影響而偏向



X-ray



圖 58.1 倫琴像



X-ray 開始了近代科學發展

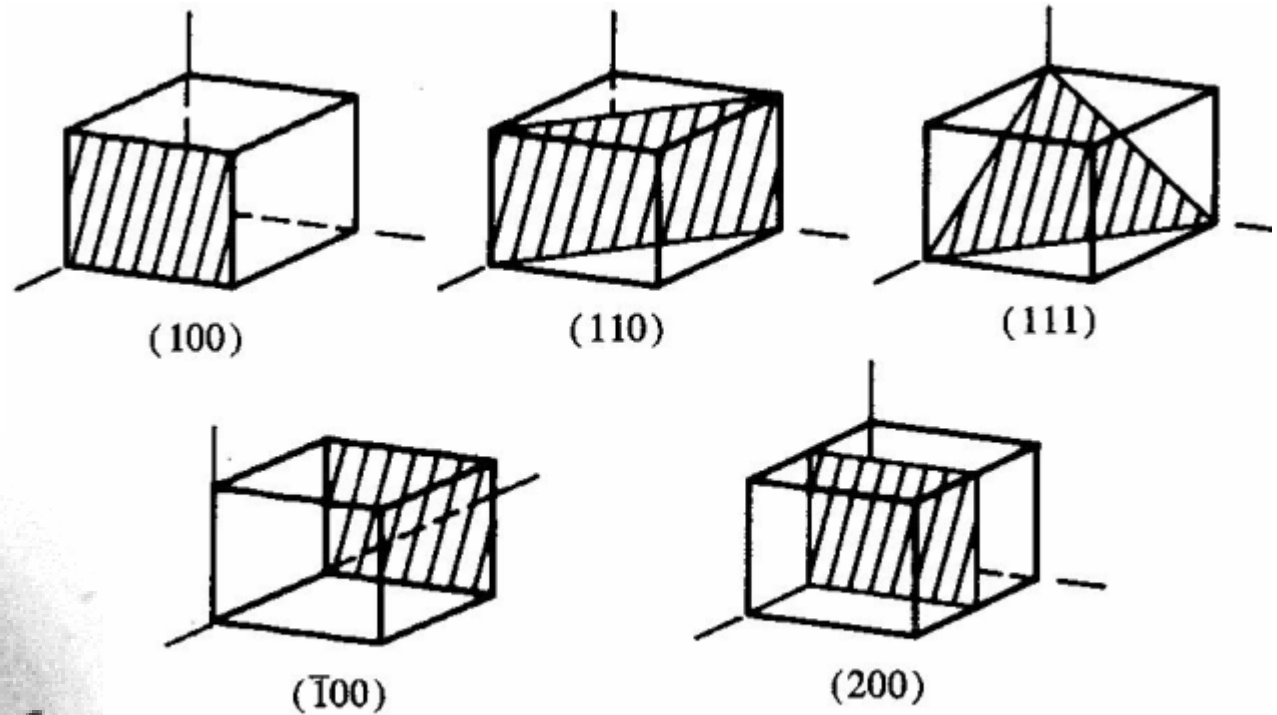
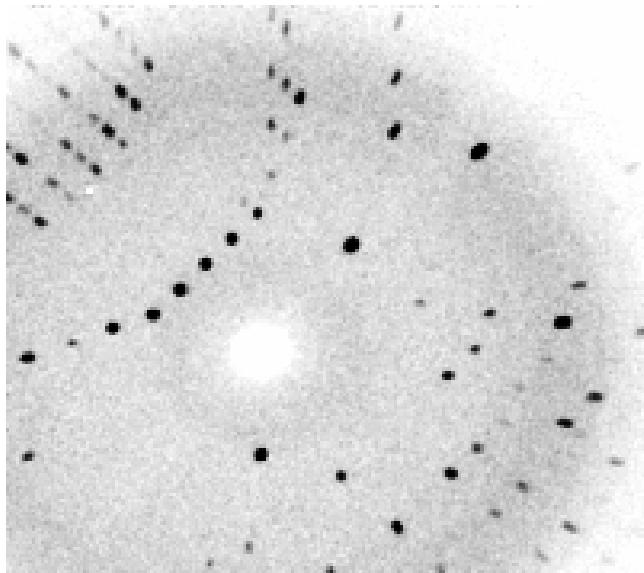
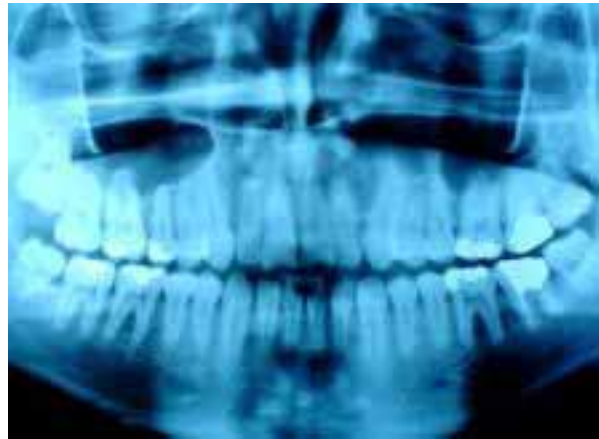


圖1.5 立方晶體中的一些代表性晶面



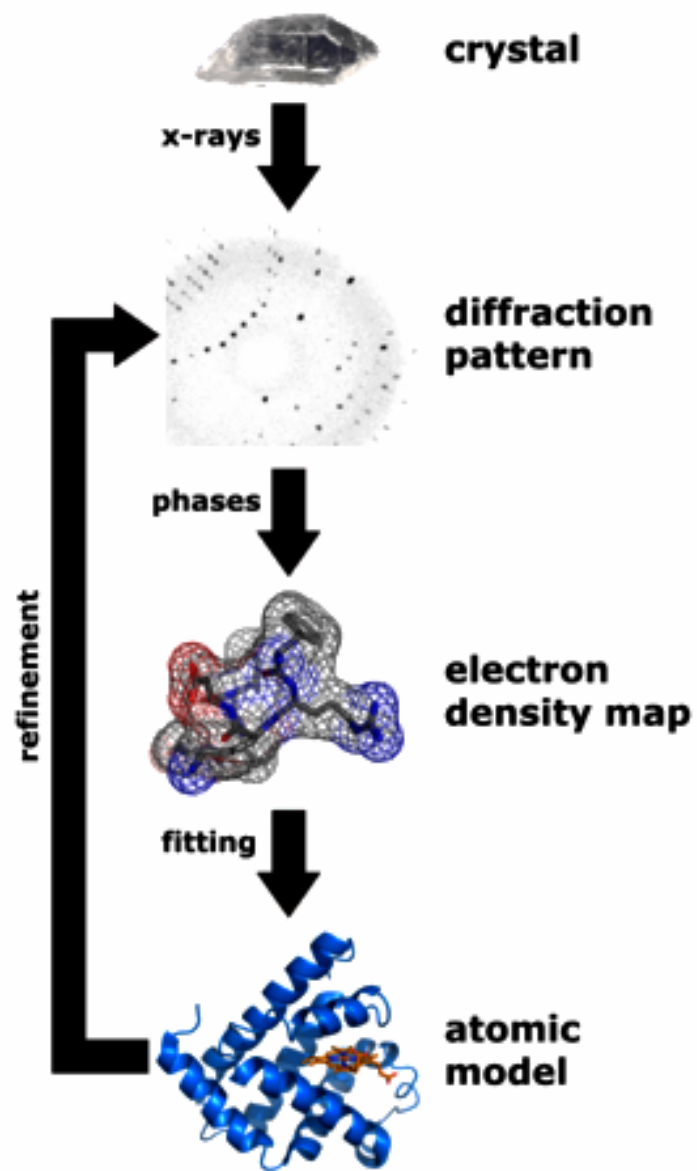


核磁共振成像



X ray 攝影





第六十一回

認定目標 居里夫婦煉礦渣
艱苦奮鬥 英雄獻身為人類

——鐳的發現——

居里夫人，原名瑪麗·斯可羅多夫斯卡(1867—1934)，
蘭人，生於華沙，1891年到法國巴黎求學。她的生活簡樸貧窮，由於刻苦學習，成績優良，獲獎學金才得以繼續完成學業。1892年取得物理學碩士學位。在巴黎認識了皮埃爾·居里(1859—1906)。為科學獻身的理想，把他們聯繫在一起。1895年他們結成了夫妻。

皮埃爾·居里是巴黎大學教授，1880年曾與其兄長雅克斯·居里(1855—1941)一起，發現了壓電效應，圖 61.2 是他們在論文中用的插圖。這是一塊按一定晶軸方向研磨的石英晶體，當沿晶軸施加壓力或拉力時，鍍在晶體兩側表面上的銀箔就會帶上等量異號的電荷。這是一項很重要的



圖 61.1 居里夫人像

第八十回

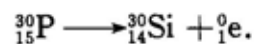
認真觀測 第二代居里夫婦得碩果
科學構想 約里奧預見原子能利用

——人工放射性的發現——

為兩個階段，寫成反應式



磷 30 不穩定，繼續轉變為矽 30



人工放射性的發現，受到了世界各國科學家的重視，1935年，約里奧-居里夫婦雙雙獲得諾貝爾化學獎。

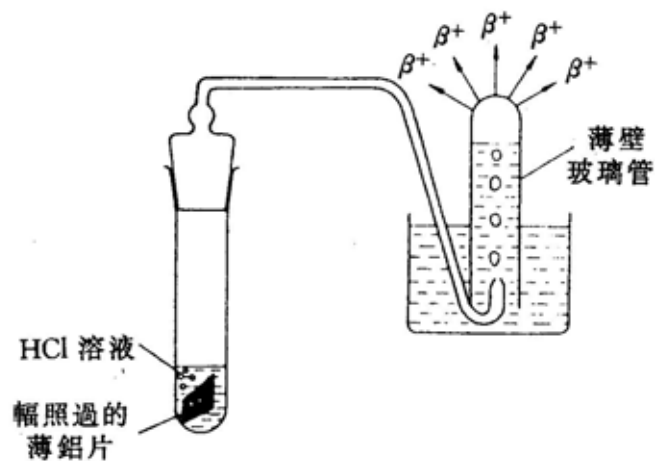
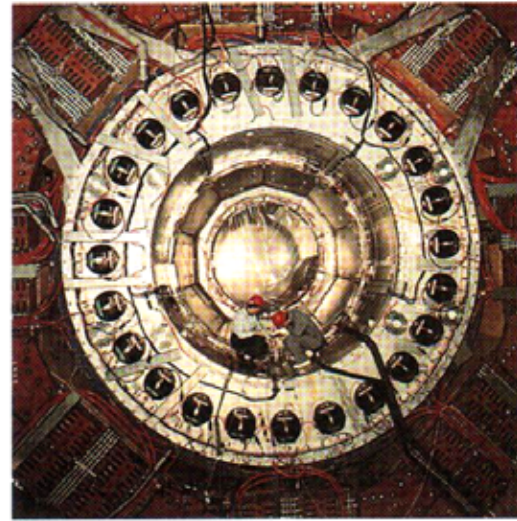
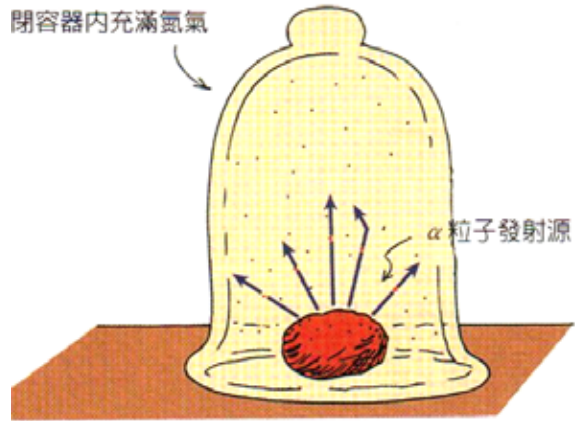


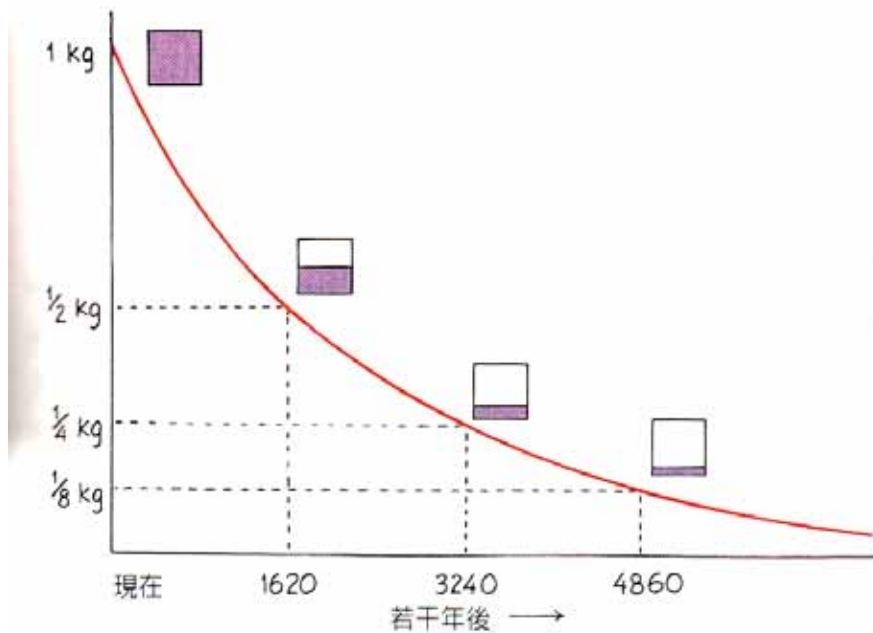
圖 80.1 約里奧-居里檢驗放射性的實驗裝置圖





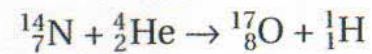
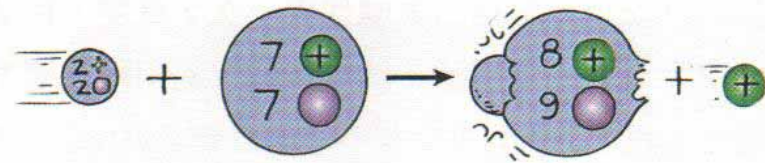
▲ 圖 39.15

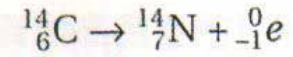
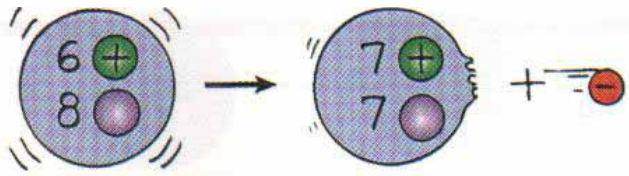
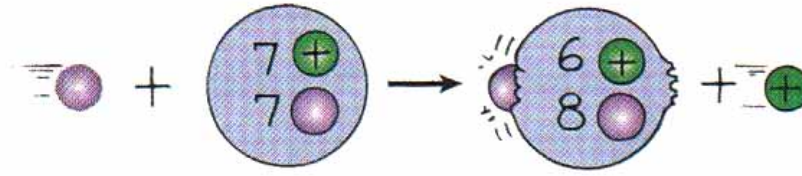
人為變態可以用簡單的方法達成（左），也可以極費功夫、利用加速器（右）來完成。



◀ 圖 39.13

每過 1,620 年，鐳的總量就減一半。





▲圖 39.16

動物骨骸中的放射性碳同位素，每過 5730 年就失去一半。



第四十四回

人間奇跡 聾子做出留聲機
發明大王 一生創新兩千餘
——愛迪生發明留聲機和電燈——

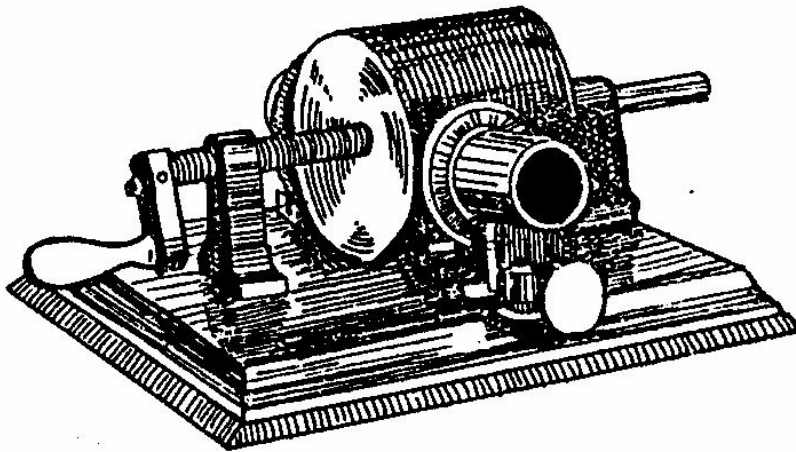


圖 44.1 愛迪生發明的錫箔圓筒留聲機

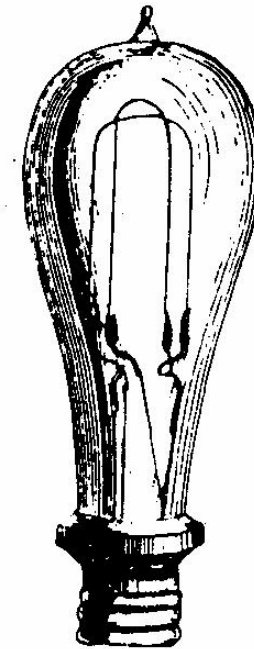
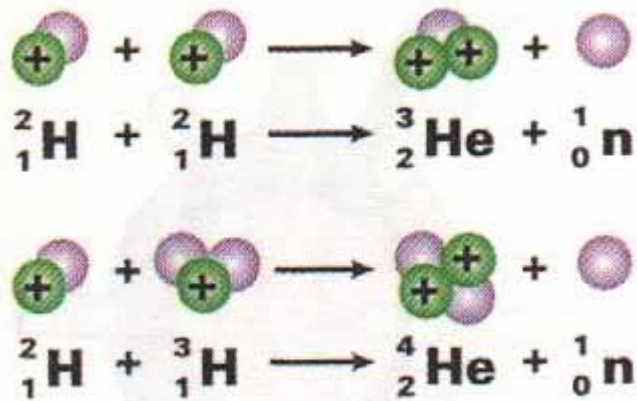
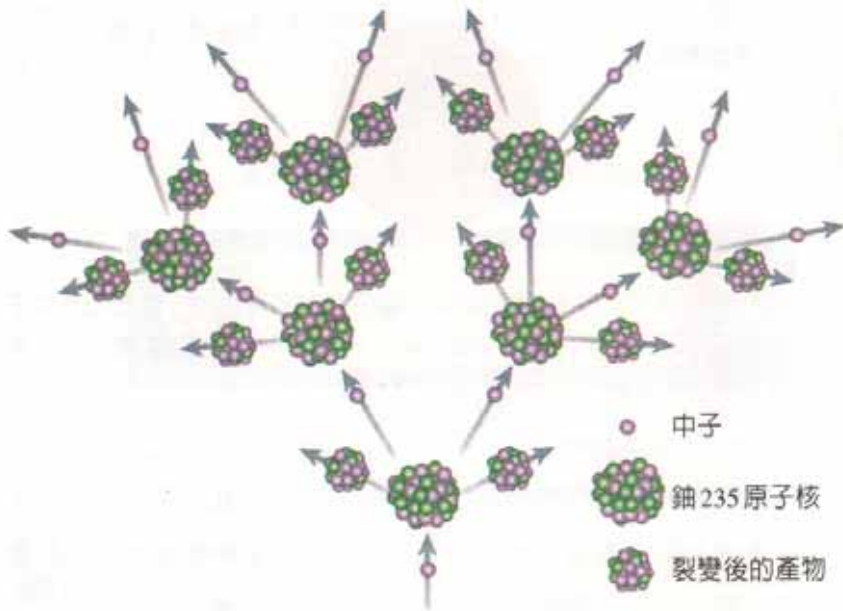


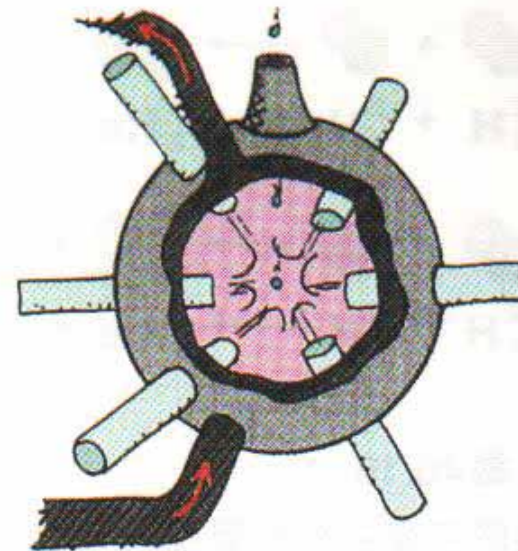
圖 44.4 愛迪生發明
改進的碳絲電燈

20世紀科技發展突飛猛進





◀ 圖 40.2
 鏈式反應（每次反應後，只畫了兩個中子射出。）



▲ 圖 40.17
 使用多道雷射光束造成核聚變的研究。冷凝的氬小球有節奏地降落到雷射光束的聚焦點上。根據這個計畫，得到的熱再由熔化的鋰攜帶出來，去製造水蒸汽。



高中生車庫DIY核融爐

網路自學 收購廢零件 2年拼製成功

【劉怡女／綜合外電報導】美國密西根州17歲高中生歐森，最近向世人證明，類似高科技且危險的核子反應爐，其實也可在家DIY。歐森花兩年時間鑽研，同時收購廢零件製造出迷你核融合反應爐，成全球第18個造出核融合反應爐的業餘人士。

現 居奧克蘭鎮的歐森從網路取得製造核融合反應爐的知識，在拍賣網站eBay購買製造反應爐的零件，還說服製造商看在他年紀小的份上，給他優惠價格，另外從舊的乳房X光掃描器等廢物堆中，找出有用零件。

「如物理界的聖杯」

在與科學同好網友討論及父親偶爾的協助下，歐森靠著自己的思考與毅力，經過1千多個小時的研究實驗後，終於在家中車庫造出核融合反應爐。他稱核融合反應科學「猶如物理界的聖杯」。

歐森解釋，要啟動他的核融合反應爐，首先須抽出鋼爐內的空氣，在真空的反應爐中注入氫的同位素氘氣（deuterium）。接著他接上4萬伏特的電源，讓爐內形成球狀的氘離子體，產生核融合反應。實驗過程可算安全，因為只要拔掉電源，反應會立刻終止，僅散發低量輻射，不至於造成危害。

其實歐森在今年9月便成功製造出核融合反應，但他仍持續在車庫裡進行改良，直到最近才真正完

成他心目中完美的反應爐。除了自製反應爐，今年歐森也參加西門子基金會全國科學研究大賽，進入半準決賽。此外他有意申請參加明年3月的底特律大都會科學及工程大展，希望獲選進入明年5月新墨西哥州舉辦的英特爾國際科學及工程大展。

歐森的母親塔塔莉絲表示，歐森從5歲起迷上化學玩具，9歲時學會為哥哥換汽車電池，將自家地下室布置成科學實驗室。一開始她不贊成歐森實驗危險的核反應，後來卻為他的成就頗感欣慰：「我覺得他相當勇敢，因為他相信自己有能力創造出了不起的事物。」

友稱「癡狂科學家」

歐森在校成績傑出，被朋友戲稱為癡狂科學家。他對物理研究懷抱熱情，對自己成功製造反應爐態度謙虛，說他希望將來能和祖父一樣為美國政府工作，他的祖父曾經在第二次世界大戰後為美國國防部設計過坦克車。但母親塔塔莉絲笑稱：「我還以為他會成為廚子，因為他喜歡把東西攪和在一起。」

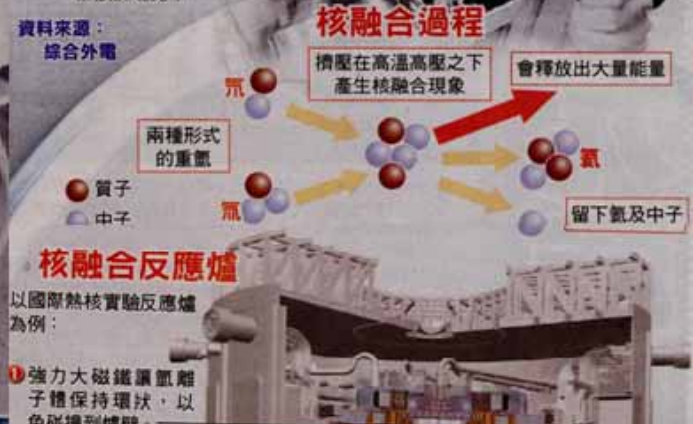


美國密西根州17歲高中生歐森，最近向世人證明，類似高科技且危險的核子反應爐，其實也可在家DIY。歐森花兩年時間鑽研，同時收購廢零件製造出迷你核融合反應爐，成全球第18個造出核融合反應爐的業餘人士。

歐森 (Thiago Olson) 小檔案

- 現年** 17歲
- 現籍** 美國密西根州奧克蘭鎮
- 學歷** 高中
- 經歷** 西門子基金會全國科學研究大賽準決賽選手、在家自製核融合反應爐
- 背景** 祖父曾為美國國防部設計坦克車

資料來源：綜合外電





■來自美、俄、中、印度、日本、南韓和歐盟代表，前天在巴黎簽訂協議，在法國南部興建核融合反應爐。美聯社

國際核融合計劃小檔案

資料來源：綜合外電

- 名稱** 國際熱核實驗反應爐計劃 **人員** 400名科學家
- 目的**
 - 推廣乾淨及幾乎無限的核融合能源，不會排放溫室氣體，且輻射廢料少。
 - 2040年設立示範發電廠，提供核融合能源商用化。
- 費用** 100億歐元（約台幣4,200億元）
- 地點** 法國南部普羅旺斯地區的卡達拉希
- 參與國家** 歐盟（25國）、美、俄、中、印度、日本及南韓
- 興建時程** 預計2008年動工，2016年完成。

歐盟將蓋實驗性核融爐

★ 乾淨核能

歐洲聯盟和美、俄等六國前天在法國巴黎簽訂國際契約，將花費100億歐元（約台幣4200億元），在法國南部興建一座實驗性核融合反應爐，以製造更乾淨、安全、無限制的能源，取代污染的化石燃料，對抗全球暖化。

歐盟與6國聯合參與

國際熱核實驗反應爐（International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER）計劃，由有25個會員國的歐盟，加上美國、俄羅斯、中國、印度、日本及南韓等國參與。法總統希拉克說：「我

們有義務開始研究，為後代準備能源方案。」ITER成員潘迪拉說：「核融合能源將在百年內成為地球電力主要來源，我們須努力取得。」

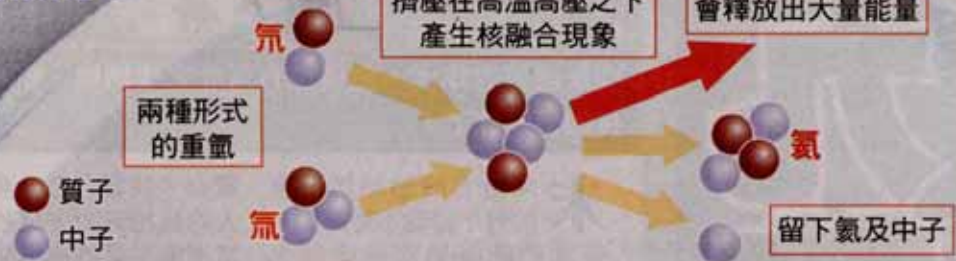
核融合是太陽及恆星產生能源的方式，不像預計將在本世紀末嚴重短缺的石化燃料，核融合反應爐產生的氫燃料將可無限量提供，且核反應釋放的能源，據稱是燃燒石化燃料等傳統化學物反應的千萬倍。

此計劃將運轉35年，反應爐的工期預計8年，可望在2040年設立示範性商用發電廠。官員稱，本世紀末前核融合能源將佔全球10%至20%能源。

■編譯張翠蘭

資料來源：綜合外電

核融合過程



核融合反應爐

以國際熱核實驗反應爐為例：

- 強力大磁鐵讓氫離子體保持環狀，以免碰撞到爐壁。
- 通電線圈將氫離子體加溫到攝氏1億度，約太陽溫度的10倍。
- 氫開始燃燒，氫核被融合成氦，同時釋放出能量。
- 反應爐內高熱流出導管，用以發電。



資料來源：美國能源部

核分裂與核融合比較

資料來源：國際熱核實驗反應爐、美國能源部

核分裂	現況	核融合
<ul style="list-style-type: none"> 31國超過400座核分裂反應爐 分裂鈾核 等同原子彈 重鈾 放射性物質、氣體 	<ul style="list-style-type: none"> 程序 能量 燃料 廢棄物 	<ul style="list-style-type: none"> 試驗中 融合氫核 等同太陽或行星燃燒 取自海水的氫 中子、氬氣



To next chapter

