近代物理簡介

本學期課程規劃

李湘楠

中研院物理所　政大應物所

hnli@phys.sinica.edu.tw

最常提起的問題

- 學物理(自然科學)有什麼用?
- “有用”的定義?
- 賺錢維生?
- 教書、科技新貴、去華爾街、拿諾貝爾獎
- 科技應用?
- 光電、半導體、奈米、材料、生醫
- 探索未知?
- 無限的可能性

我最常給的答案

- 試想一百年前物理學家研究量子力學時
- 粒子與波的雙重性?
- 決定性觀或機率觀?
- 測不準原理?
- 當時可否想像目前的科技幾乎皆奠基於此
- 與當時生活無關即不發展，今日的生活會如何?

我給自己的答案

因爲我想知道答案

近代物理
一百年前物理學家想知道的答案

參考

Why read popular-science books?

10/03 高涌泉(台大物理系)

十九世紀末的物理學

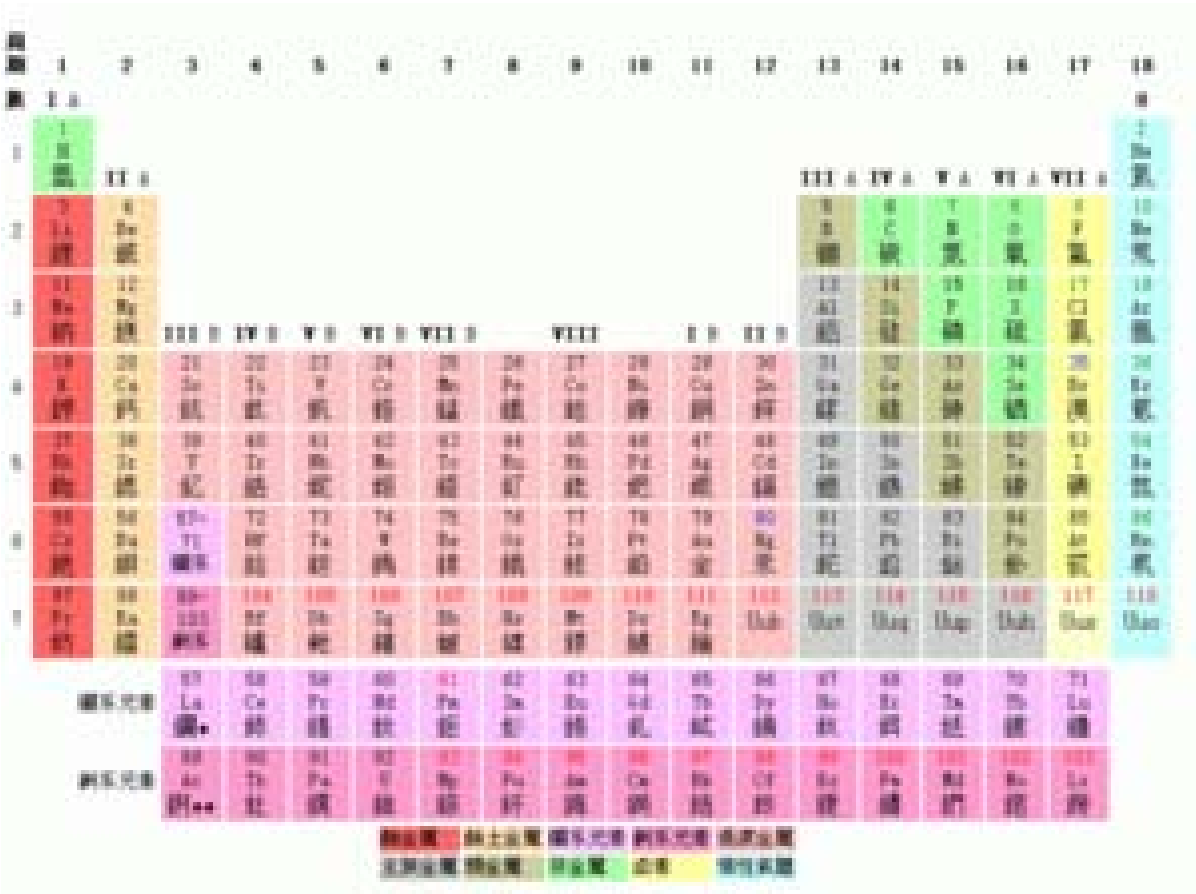
- 十九世紀末物理學家對大自然的構成已有清晰的畫面
- 牛頓力學描述所有物體的運動
- 電磁學描述所有靜電、磁場、電波的現象
- 光學描述光的傳播、反射、繞射、干涉、透鏡原理
- 熱力學描述溫度、熱功互換(引擎) 、亂度
- 所有分支都建立了嚴謹的數學形式

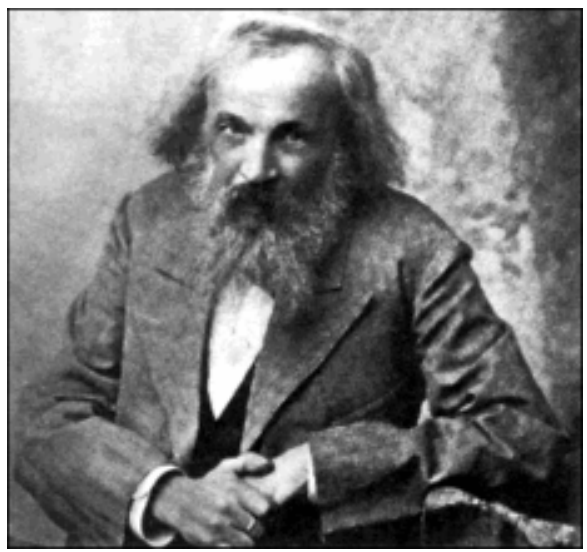
基本元素

- 五行「金、木、水、火、土」爲構成宇宙萬物的基本元素，曾是中國古代的物質觀，五行的運行和互動決定了自然界的變化。
- 古希臘哲人以爲宇宙是由空氣、火、水、泥土所組成，根本上不脫日常生活中接觸的事物。
- 十九世紀末，已知化學元素亦即「原子」爲構成宇宙萬物的基本物質。
- 原子不可分割，沒有結構。

元素周期表

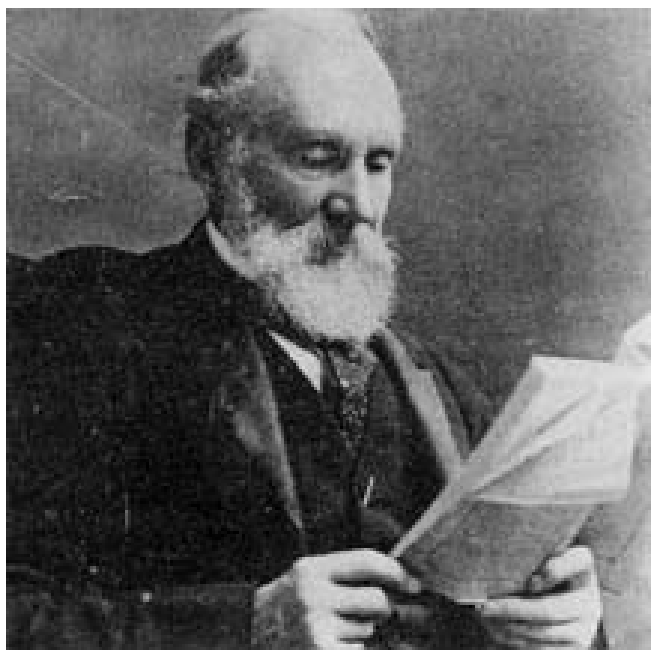
- 元素周期表由蘇俄化學家門得列夫(D. Mendeleev, 1834~1907) 於 1869 年提出





天邊的一朵烏雲?

- 著名英國物理學家開爾文(W.T. Kelvin 1824~1907)對當時的科學現況做了註解：
- 人類的知識已經大致完備，日後的科學家所能做的僅是讓知識變的更精確，唯一令人有些困惑的是X射線，但那只是天邊的一朵烏雲，不久就會散去。

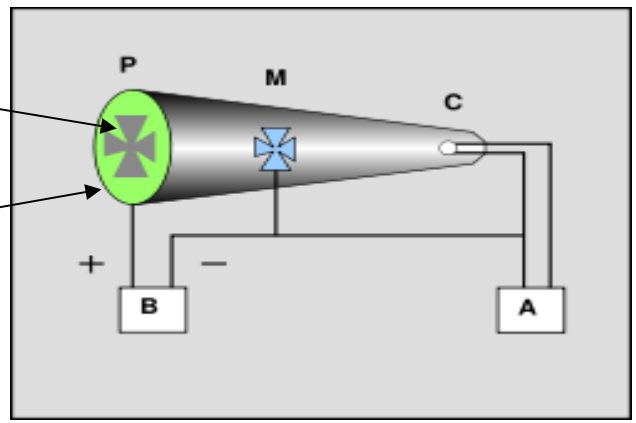


陰極射線

- 1858年德國的物理學家普立卡(J. Plucker, 1801~1868)利用高電壓游離稀薄空氣，觀察到被正電極吸引的陰極射線。

螢光

靶材



X射線

- X射線是一種短波長(或高頻率)的光。
- 德國物理學家侖琴(W. Roentgen,1845~1923)於1895年11月8日傍晚進行陰極射線實驗發現。
- 來自靶材，可穿透木頭、橡皮甚至人類身體 。
- 侖琴因此榮獲1901年第一屆物理諾貝爾獎。

第一張醫學X光照片

- 1895年12月22日侖琴用X光拍了一張他太太的手的照片，轟動了全世界。
- X射線如何產生?
- 當時的物理知識無法解釋。
- 參考”生物成像技術”09/26董成淵(台大物理系)

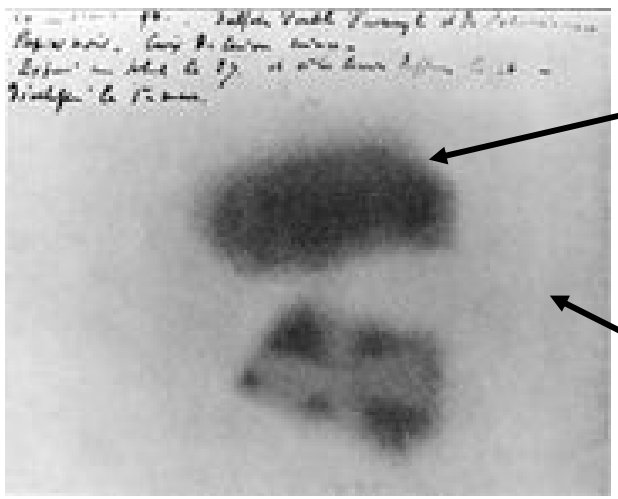
電子

- 1899年英國卡文迪西實驗室的教授湯姆森(J.J. Thomson, 1856~1940)証實陰極射線爲帶負電粒子流，稱爲「次原子粒子」。
- 後來由G.J. Stoney (1826~1911) 正式命名爲「電子」。
- 原子包含電子，有結構，所以不是基本元素。

湯姆森

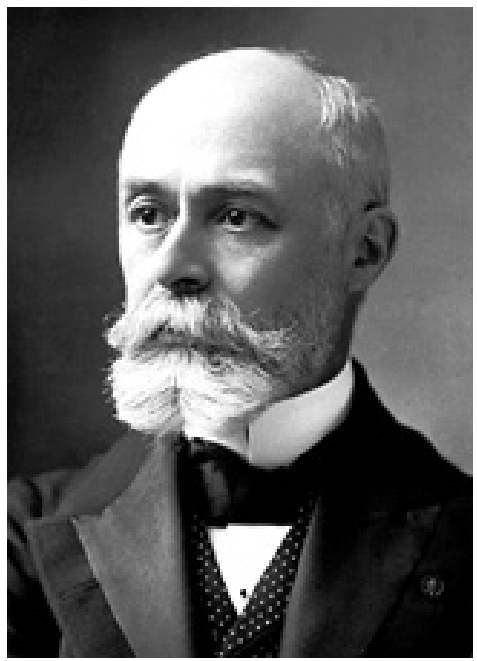
天然放射線

- Henri Becquerel (1852~1908) 於1896年很偶然的情況下發現天然放射線。
- 本想研究磷光和X射線的關係。
- 研究磷光的鈾鹽在實驗前已將底片感光。
- 放射線如何產生?



金屬造成的遮蔽影像

過度感光

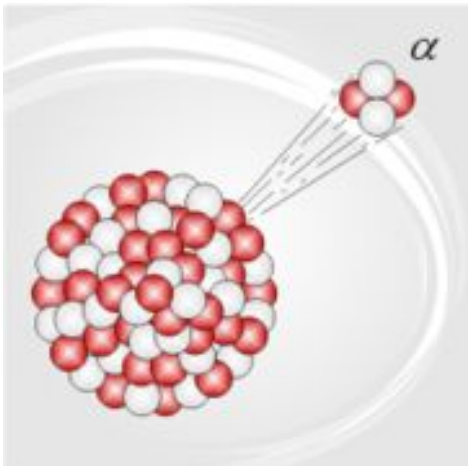


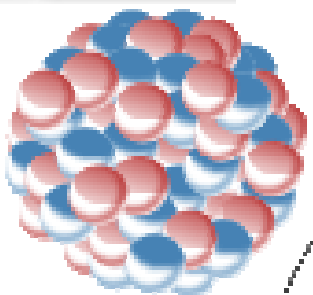
Alpha, beta, gamma射線

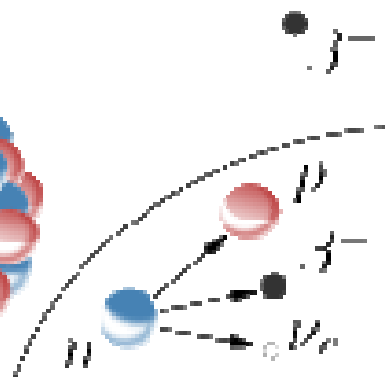
- 居里夫人(1867~1934)提煉鐳。
- 放射線來自原子內部。
- 倡議放射線治療癌症的研究。
- 英國物理學家拉塞福將放射性物質鐳放在強力磁鐵之間，觀察底片感光的結果，發現三種放射線。
- 已知帶電粒子的運動受磁鐵影響，也知影響的法則: 向右彎曲的帶正電，向左彎曲的帶負電，直線前進的不帶電，個別用希臘文字α（阿伐）、β（貝他）、γ（加馬）來稱呼，具不同穿透性。

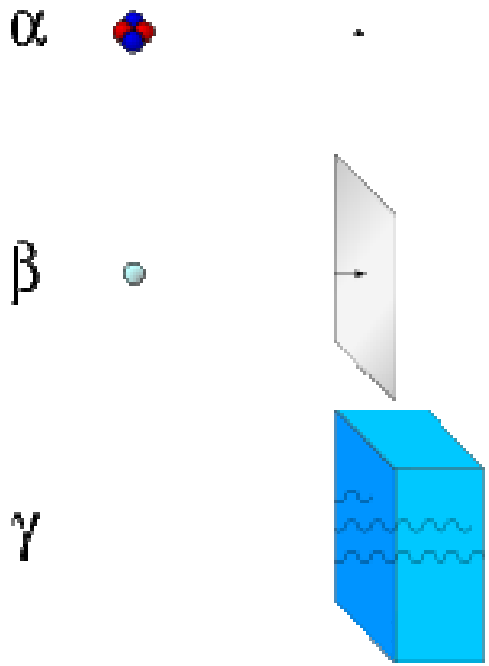
放射線的本尊

- alpha射線爲帶正電的氦原子核。
- beta射線爲帶負電的電子。
- gamma射線爲比X光更高頻率的光線。









紙

鋁箔

鉛塊

第一個物理的黃金時代

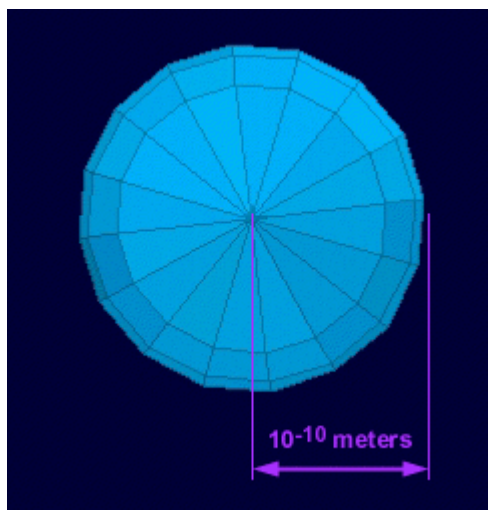
- X射線、次原子粒子(電子) 、天然放射線...
- 科學的進展常如浪潮，一波接著一波襲來，但在高峰之前卻常是千頭萬緒，如瞎子摸象，拼湊不出完整的圖像。
- 這幾朵烏雲，非但沒散去，反而顛覆了當時的物理觀與哲學觀，導致二十世紀初量子力學的蓬勃發展，也徹底改變了人類日後的生活。

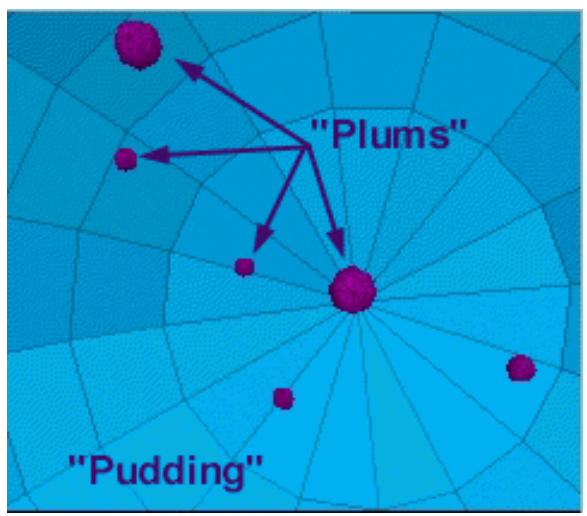
原子結構

- 因爲電子帶負電而原子是電中性的，原子必定也包含某種帶正電的物質(即今日所稱的「質子」) 。
- 原子至少是由兩種以上的物質構成，也就不再是最基本的元素。
- 帶正電的物質是什麼？它在原子內部如何分佈？當時眾說紛紜，莫衷一是。

布丁模型

- 因爲發現電子而聲名大噪的湯姆森於1904年提出所謂的布丁模型，亦即電子像葡萄乾一般分佈在帶正電的均勻物質中。
- 現在看來，這個模型當然是錯的離譜，但不能怪湯姆森，因爲那時還不知道質子的存在。



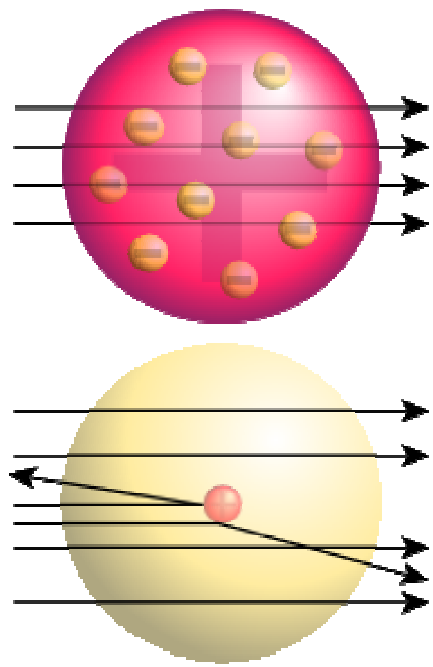


拉塞福實驗

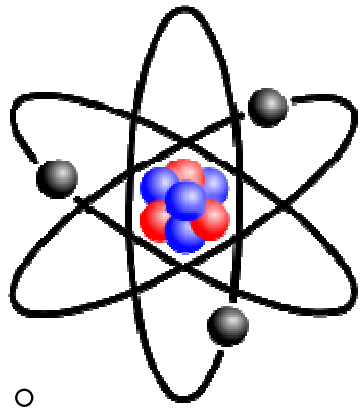
- 簡單的理論分析顯示，湯姆森的布丁模型不可能產生像X射線這樣短波長的光，那麼原子如何放出X射線？這問題困擾了所有的物理學家。
- 來自紐西蘭的拉塞福(E. Rutherford, 1871~1937)於1909年以alpha粒子撞擊金箔，觀測到反彈的alpha粒子。

拉塞福模型

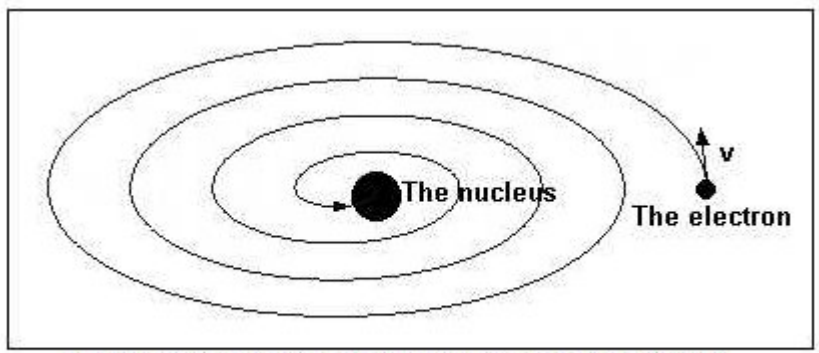
- 布丁模型也無法解釋拉塞福實驗。
- 根據拉塞福的說法，這結果就如同以大砲轟擊紙張，砲彈竟然反彈般得不可思議。
- 唯一的可能性是金原子內帶正電的物質並非均勻分布，而是集中在很小的空間範圍內，形成非常重的原子核，反彈的現象即是alpha粒子擊中原子核之故，原子核的概念於1911年誕生。



不穩定的拉塞福模型



- 拉塞福的實驗奠定了現代電子繞著原子核運轉的原子模型的基礎。
- 如同太陽系，只是重力換成電磁力。
- 根據電磁學，拉塞福模型不穩定，電子因輻射喪失能量，最終落入原子核中。

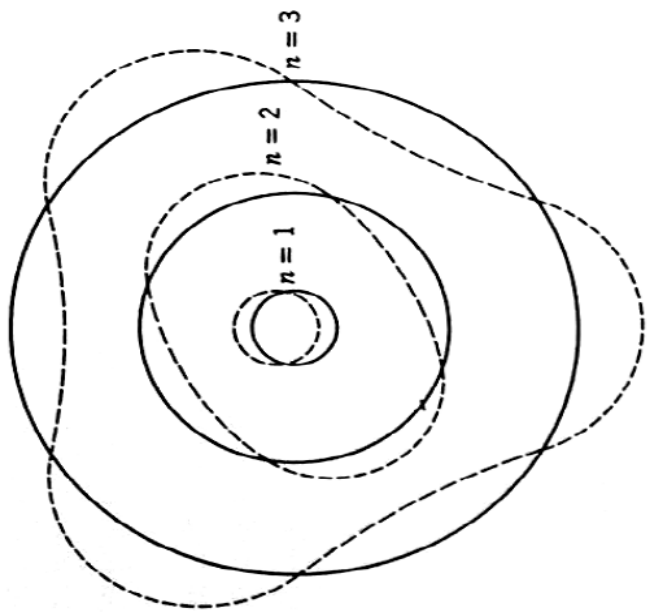


In the planetary model of atom, the electron should emit energy and spirally fall on the nucleus.

- 參考”同步輻射及其應用”，11/07 胡宇光(中研院物理所)

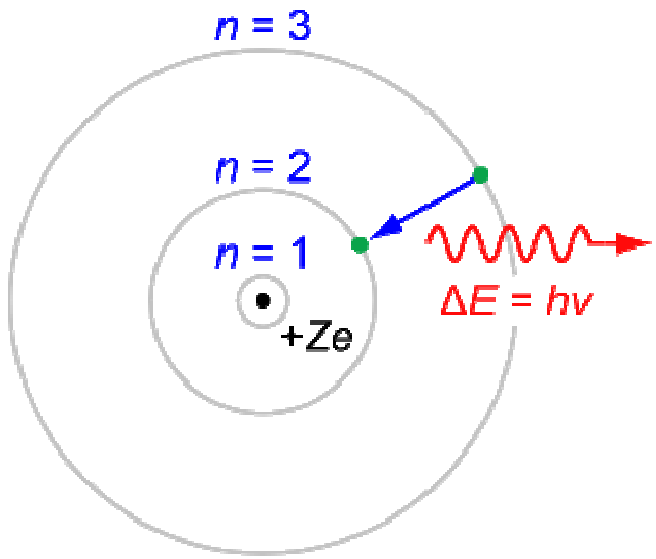
玻爾模型

- 丹麥物理學家玻爾(Bohr, 1885~1962)根據拉塞福的模型，加上駐波原理，於1913年提出他的原子模型。
- 將電子的運動視爲具某個波長的波動
- 軌道長度須恰好才能形成穩定的駐波，否則波動因干涉而消失。
- 電子只能在某些特定的軌道上運動。



原子光譜

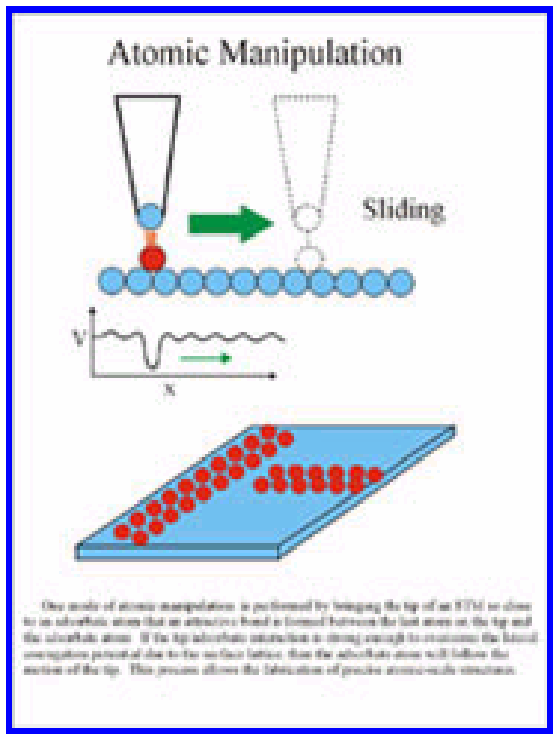
- 不同軌道的運動具有不同的能量。
- 能階的概念出現，這是量子力學的肇始。
- 電子從高能階躍遷至低能階時可釋放出某頻率的光。
- 侖琴的X射線即是從極高的能階躍遷至低能階時發生的。
- 參考”核磁共振與磁振造影”10/31薛雅薇(中大物理系)



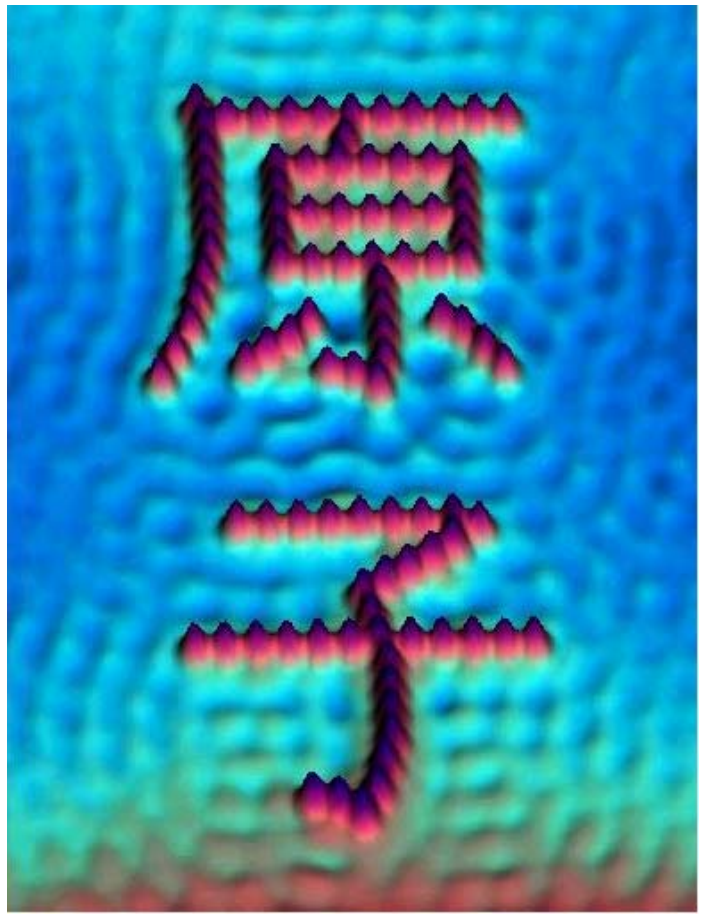
基本粒子

- 拉塞福實驗所證實的質子，陰極射線管中發現的電子，加上後來找到的中子，取代原子(化學元素)的地位，成爲二十世紀初的三個基本粒子，是構成原子的要素，亦即電子繞著滿佈質子和中子的原子核運動，形成中性的原子，不同數目的質子便對應不同的原子。

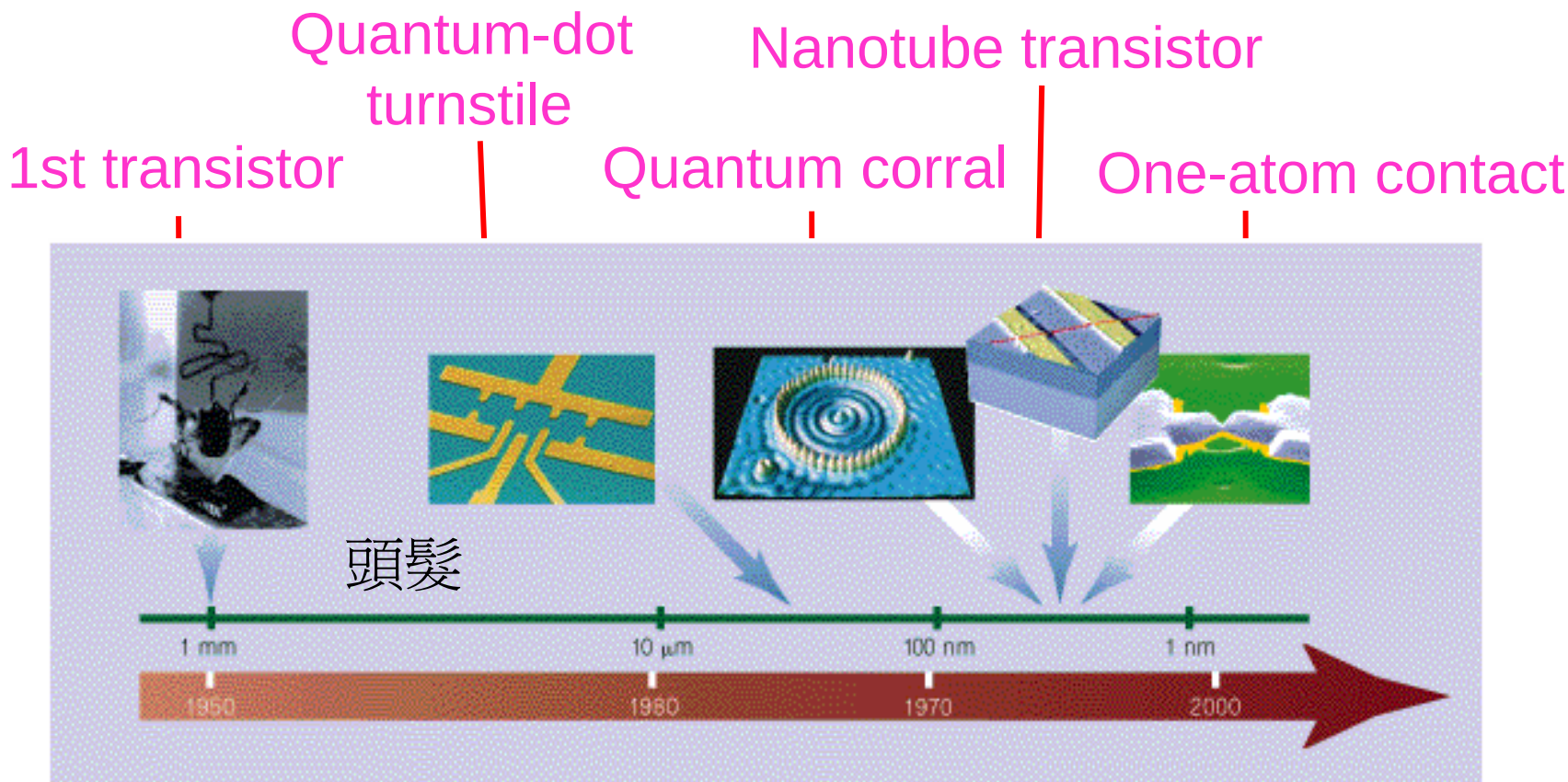
原子操縱術---奈米科技



- D.M. Eigler
- IBM, Amaden



電子元件的尺寸



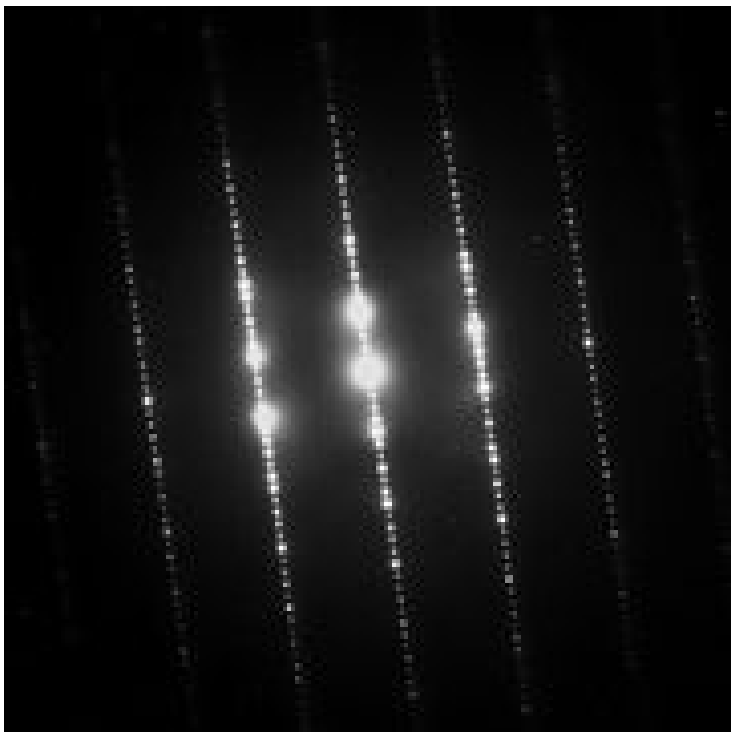
“超高密度光碟”,10/17蔡定平(台大物理系)
“奈米科學簡介及奈米材料”, 11/14陳啓東(中研院物理所)
“奈米生技”, 12/19周家復(中研院物理所)

波－粒子雙重性

- 玻爾模型缺乏理論基礎。
- 法國物理學家L. de Broglie (1892~1987)於1924年發表的博士論文中提出波粒子雙重性的假設。
- 光波具有粒子性，粒子具有波動性。
- 科學哲學由決定性觀轉爲機率觀。

電子繞射

- 美國物理學家C.J. Davisson (1881~1958)與L. Germer (1896~1971)於1927年完成電子繞射實驗，證實de Broglie 的假設。



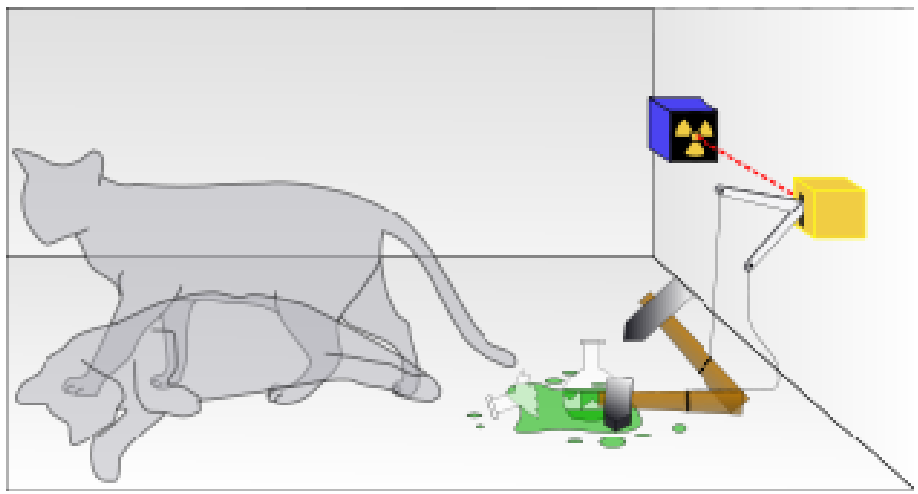
Davisson　Germer

量子力學

- 奧地利物理學家薛丁格(E. Schrodinger 1887~1961)於1926年提出薛丁格方程式。
- 量子力學誕生，粒子的運動由波動方程式描述。
- 電子通過狹縫時產生繞射現象。
- 電子在屏幕上的落點不確定。
- 半導體和光電產業、奈米科技、生醫技術，都是以量子力學爲基礎。

薛丁格的貓

- 未開箱前貓的狀態是活與死的疊加，如同電子波在繞射過程中的疊加。
- 開箱後才知貓是活是死，如同電子在屏幕上的落點。
- 數次實驗後可得貓是活是死的機率，如同電子在屏幕上的條紋。

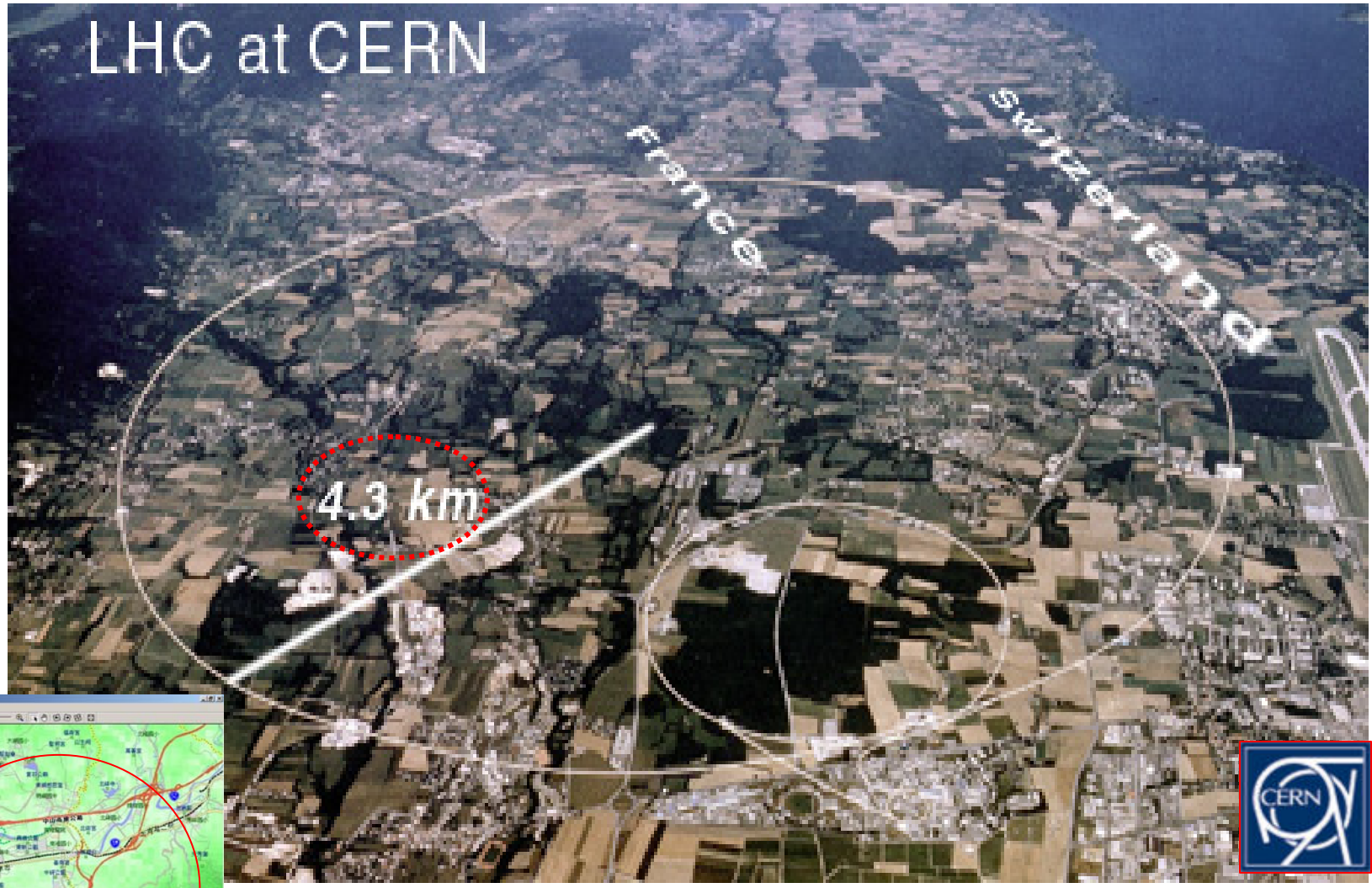


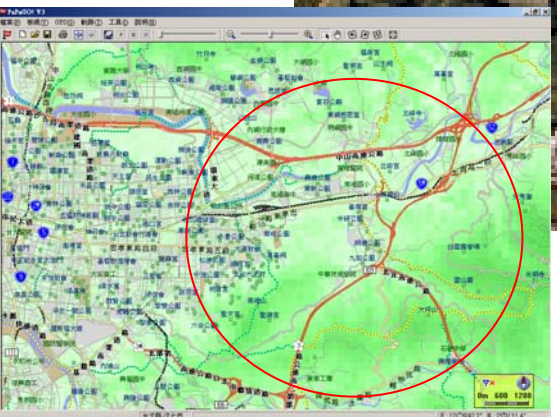
- 參考”量子資訊與量子電腦”, 12/12管希聖(台大物理系)

第二個黃金時代

- 二十世紀中葉，另一朵烏雲出現了：先進的粒子偵測器讓科學家從宇宙射線中搜尋到許多類似質子的基本粒子。
- 60年代末，史丹佛線性加速中心進行深度非彈性散射的實驗，以高速電子撞擊質子，發現質子內部的確有結構存在，證實質子不再是基本粒子---第二個黃金時代。
- 這更基本的物質稱爲「夸克」。
- 爲了研究夸克建了許多加速器。

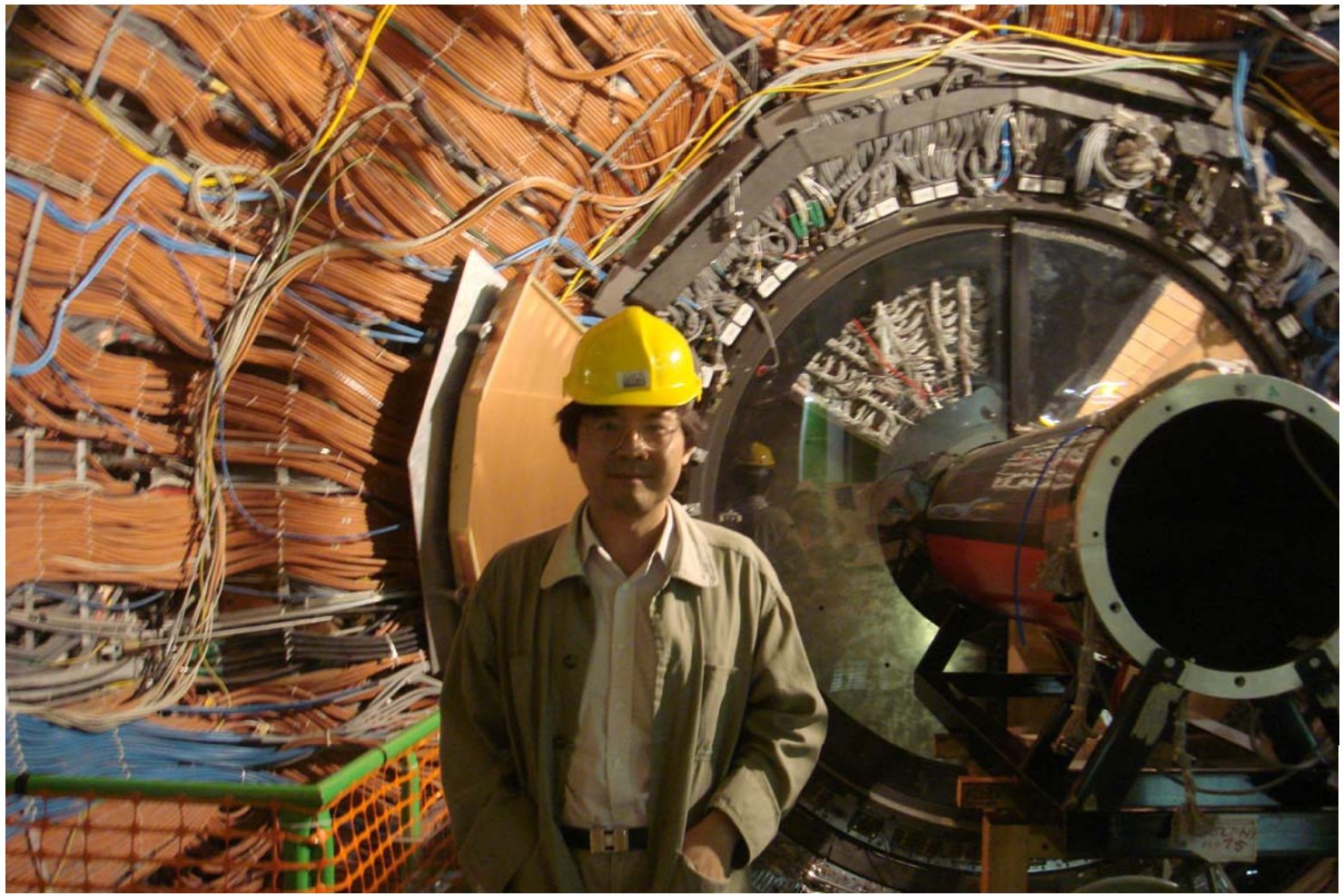
歐洲粒子物理研究中心(CERN)





2008年9月10日成功試俥

大型強子對撞機的偵測器之一 LHCb

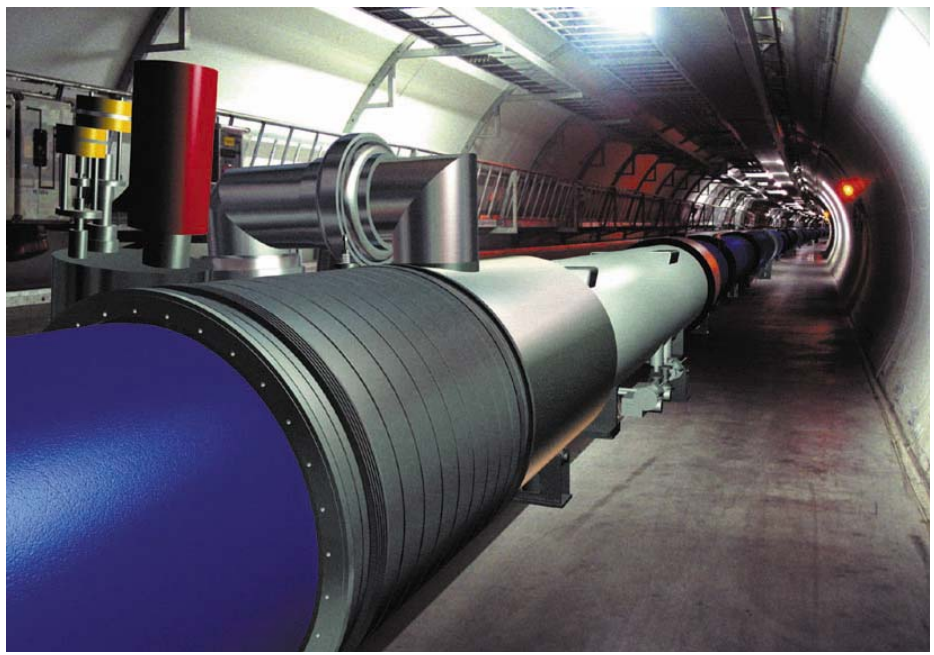


對照侖琴的感光底片…

科技的提升

- 加速器偵測器的研發與建造大大提升了電子、材料、通訊、電腦等科技。
- “電腦叢與平行計算--計算方法的突破”，10/24 陳彥龍(中研院物理所)

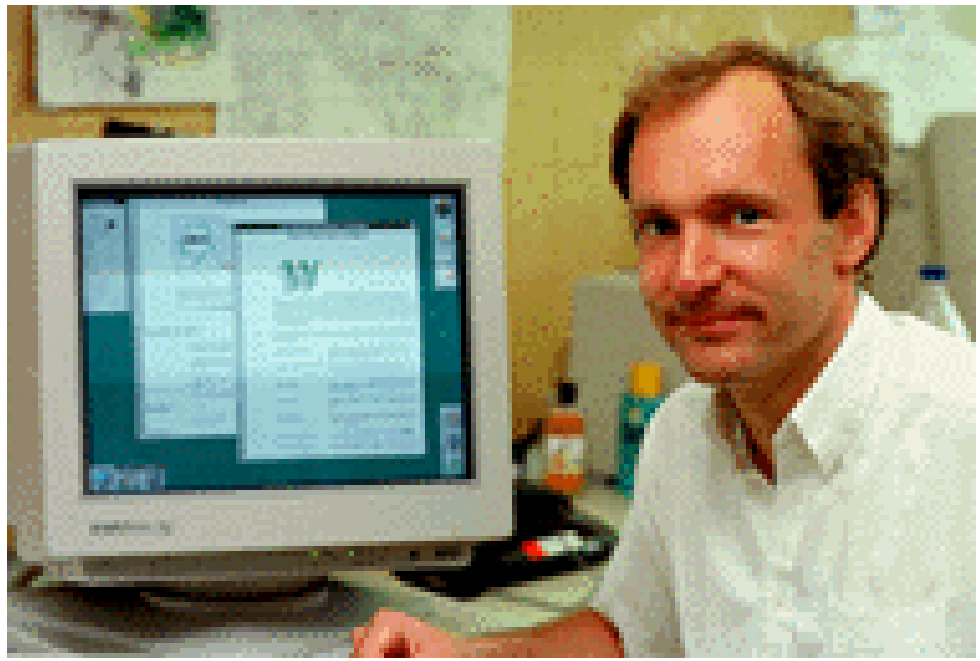
大型強子對撞機的加速器



網際網路 / World Wide Web

Tim Berners-Lee

英國人， 牛津大學物理系畢業，1990年於歐洲粒子物理中心工作時因粒子物理實驗需要而發明 WWW 。



下一代技術：全球網格 / World Wide GRID

從資訊分享到電腦資源分享

CERN因LHC實驗需要而開展

粒子物理界帶領把技術轉移國內

參考”網路與網格”

01/02 林誠謙

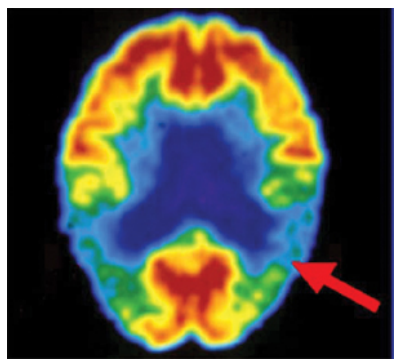
(中研院物理所)

癌症治療

- 使用仔細調整過焦點的輻射線(經由直線加速器)來殺死癌細胞並可避免對鄰近的健康細胞造成太大傷害。
- 放射線對所有細胞都有殺傷力，一定量的照射可殺死細胞，但癌細胞較易被放射線殺死，正常細胞對放射線的耐受性較強，且較易恢復。
- 參考“Proton therapy and accelerators in medicine” 12/05 洪志宏(長庚林口醫院癌症中心)

核子醫學

- 經由靜脈注射、口服或吸入微量放射性藥物，藥物分佈到特定器官後放射出來的輻射線（加馬射線），利用核醫攝影儀器予以顯像（掃描），根據底片上不同的影像，來判讀研定是否有病變。

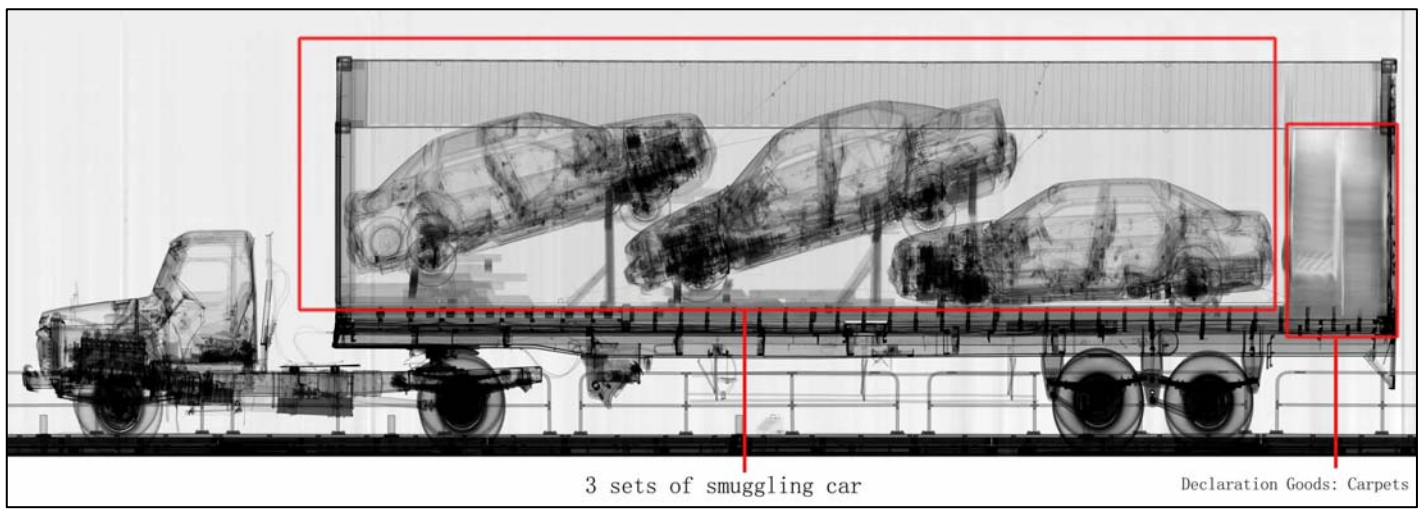


閃爍晶體探測器
應用至醫療掃描

放射照相術

- 放射照相術在工業上的應用就如同醫師利用Ｘ光射線一樣地廣泛，此種技術可用於檢視金屬鑄件或焊接部位的隙及缺陷（通常這些隙縫或缺陷是很難使用其他方法偵測出來的），亦可用於檢視建築物或雕像的結構缺陷。

應用至海關偵察



其他用途

- 使用X光射線於內科和牙科方面來診斷骨折和蛀牙已有超過五十年的歷史。
- 輻射可應用在醫學器材消毒，例如針筒消毒，一般高溫消毒會把藥膏和繃帶的品質破壞，而輻射本身不具高熱。
- 考古學家亦可利用碳—14的放射衰變計算出史前時期古物的正確時間。

水能載舟亦能覆舟

- 在1896年，已知X光會引起皮膚發炎及毛髮脫落的現象，可是毛髮脫落後的皮膚看來還很正常，故人們也不太在意，反而被商人做爲脫毛之利用。
- 到了1902年，始有人提出慢性X光皮膚炎會演變成皮膚癌之報告，放射線對人體的影響，於是逐漸被瞭解受到重視。

輻射傷害

- 當放射線通過生物體時，先使沿途上的原子產生游離或激發的作用（稱爲物理過程），如此產生的原子損傷傳播至分子，引起化學變化（所謂化學過程），再經過細胞層次的反應（即生化過程）至最終的器官、組織乃至發展爲身體整個的傷害（生物過程）。
- 加馬射線可引起DNA傷害 。

二十一世紀的物理
~ 生物+物理

參考

“生物物理簡介”

12/26 黎璧賢(中大物理系)

結語

- 從X射線、天然放射線、電子的發現，原子模型的建立，到量子力學的誕生，約三十年內科學與哲學歷經革命性的變化。
- 無法想像的觀念可能成真，不要讓任何事物侷限你的創意。
- 想想一百年前物理學家探索未知的熱忱
- 想想今天我們擁有的生活
- 你可能影響一百年後的世界。