

原子的結構

原子假說的印證

物質可以無限細分下去嗎？

原子論的復興

道耳吞學說－化合物的固定比例組合

氣體動力論

布朗運動的擴散係數

晶體結構與繞射

原子的模型

拉塞福－核桃而非西瓜

用 alpha 粒子打金箔，竟然有大角度反射，甚至 180 度。

拉塞福回憶說，那時的感覺，就像拿砲彈把一張紙，而看到砲彈被彈回那般令人驚訝。

一個操場的中間有一個顆棒球，這就是大致的原子與原子核比例大小。

卡文迪西實驗室的吉祥物－鱷魚，的典故

波爾模型與原子光譜

光譜儀分光

不目的物質燃燒會有不同的顏色，這就是煙火能有各式各樣不同之光色的原因

利用光柵分光可以把可見光範圍的電磁波作解析度很高的分光，

s, p, d, f 的命名

Sharp, principle, defuse, fundamental

Balmer 與氫原子光譜

光譜儀分解出 複雜的 氫原子光譜。

瑞典中學教師 Balmer 用藝術般的方式把 頻率擬合到精準的公式規則上

$$\nu = R' (1/2^2 - 1/n^2)$$

其中 R' 來自光譜本身。他甚至認為這是另一個更一般性公式

$$\nu = R' (1/n_1^2 - 1/n_2^2)$$

的特殊情況。

$$E = E_i - E_f = R_E \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

進個公式懸而未解 30 年。

原子是穩定的

從實際的經驗，原子是穩定存在的事實，電子沒有塌陷到原子核上

波爾模型 (1913)

系統有能階，電子在能階間跳躍。

$$E^3 = R\omega^2 \quad (\text{束縛能的古典公式})$$

$$E = n\alpha h \omega \quad (\text{電子必須遵從的額外指令})$$

$$E_1 - E_2 = h \nu$$

前兩式合併消除角頻率 ω ，得

$$E = R / (\alpha^2 h^2 n^2)$$

再將上式束縛能寫成 E_1 、 E_2 並相減，得

$$h\nu = R/(\alpha^2 h^2) (1/n_1^2 - 1/n_2^2)$$

最後得 (用了對應性論述，要求 α 必需是 $1/2$)

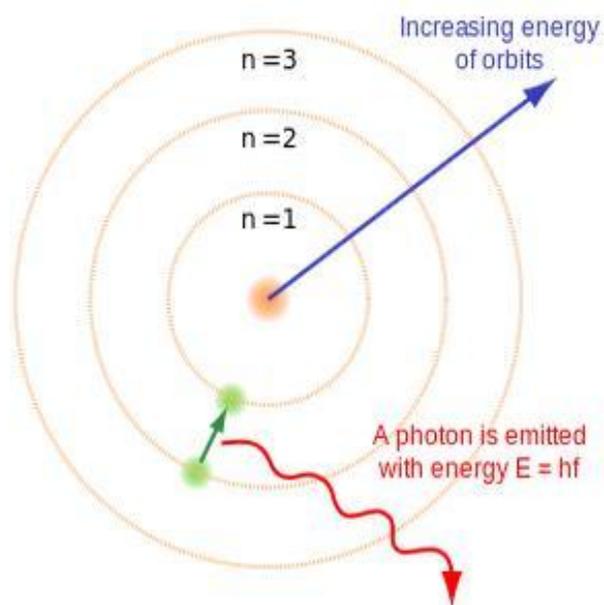
$$\nu = 4R/h^3 (1/n_1^2 - 1/n_2^2)$$

波爾之後經常使用同一個物理量的古典與量子定義來推的等同演公式，最終發展成 "對應性原理 (correspondence principle)"，並為海森堡的量子力學版本奠下基石。

註

後來的故事：要求電子軌道的角動量必須是量子化的，也可以想成是要求波的振幅繞了一圈要接回來。由於波振盪一週期要通過零兩次，因此只能有無節點、兩節點、四節點...的情況。

$$L = n \frac{h}{2\pi},$$



(Bohr not agree with matter wave concepts)

放射性

無意中發現的放射性

居禮從被感光的底片中它間發現放射性元素的存在，

波粒二元性

光的波粒二元性

牛頓

牛頓的雙三稜鏡實驗發現了的光譜、光與色的關係，他也因此提出光的微粒說。

牛頓的一生：<http://web2.nmns.edu.tw/PubLib/NewsLetter/91/180/11.htm>

惠更斯

指出波前上的每一個點都可以看成新的波源，如此可以解釋光的直進、反射與折射。這是光的波動說的成功。

波的重疊性原理

線性微分方程式

一個波可以在時空中存在，是因為它滿足了所該具有之（波動）方程式的那個定律，幾乎所有的物理定律都可以用物理量之間的方程式加以表達出來。兩個波之所以有疊加的行為，是因為線性數學問題的解，（乘係數）加在一起仍是解，這便是的疊加原理背後的數學基礎。

非線性波的範例：孤立子（孤粒子）

干涉與繞射

德布洛利的物質波 (1926)

希望與恐懼

迪拉克回憶在二十世紀前面的二十年，理論學家陷於希望與恐懼的雙重感受中。主要就是波與粒是觀念上不相容的兩樣東西。

光電效應是它無法避免的起點

愛因斯坦是第一個必須面對這個之題的人，它的光電效應公式

$$E = h \nu$$

E 是粒子屬性的量、 ν 是波屬性的量

德布洛利的想法

$$E = mc^2$$

$$E = mc^2 = h\nu$$

$$mc = h\nu / c$$

光子的速度是 c ，因此 光子動量 $p = h\nu/c$

利用 $c = \lambda\nu$ ，則

$$p = h / \lambda$$

到此為止都還在光子的層次上討論，但德布洛利主張這個 "動量與波長" 的關係對於所有的物質也是對的。

粒子與波的統合與機率解釋

如果粒子也有波，那麼我們馬上面臨一個問題，即該波的振幅是什麼意義？

粒子的能量是正比於粒子的顆數，而波的能量則是振幅平方（Bohm 所提出，有人說它應該也是諾貝爾獎級的成就）。兩種觀點同樣表現能量，這樣的共通點暗示了一個物質波之重要的物理意義上的解釋。

也就是說，振幅大粒子多，更精確地講是振幅的平方與粒子數目多少成正比。另一個重要的點是，由於只能談數目多少，而無更進一步關於個別粒子位置或運動方向等的資訊，因此就必須引入統計機率的觀念。（波恩提出的）這一點，在薛丁格提出他的波方程式而建立了量子力學之後，協助了對方程式解出來的波是什麼的詮釋，量子力學在有了波的機率振幅解釋後，更加完備。

波粒二元性與測不準原理

利用德布洛利物質波的觀念，再加上一些波的基本通性，就可以推論出測不準原理所陳述的結論。而測不準原理的結論在物理上是具有重要的位階。

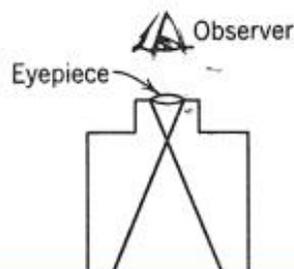
（我們常講有沒有物理意義，“物理意義”是什麼？把一個過程用一個符合事實的簡單物理律或物理量描述。）

$$\Delta p_x \Delta x \geq \hbar/2$$

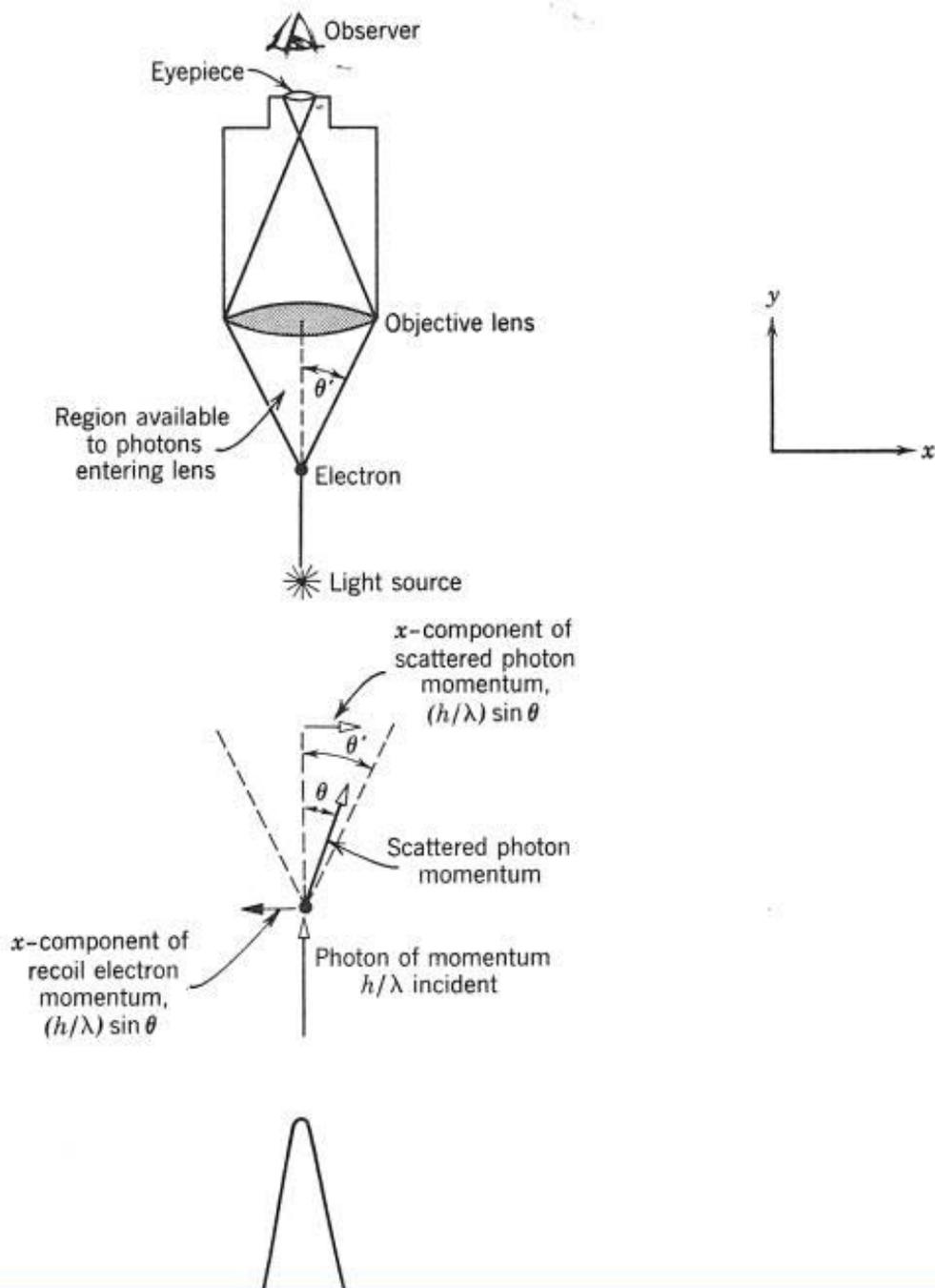
$$\Delta E \Delta t \geq \hbar/2$$

假如 \hbar 很小，就沒有測不準的限制了。

波爾的電子顯微鏡思考實驗



波爾的電子顯微鏡思考實驗



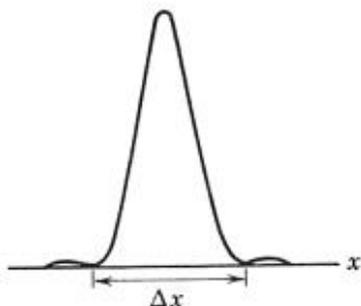


Figure 3-6 Bohr's microscope thought experiment. *Top:* The apparatus. *Middle:* The scattering of an illuminating photon by the electron. *Bottom:* The diffraction pattern image of the electron seen by the observer.

動量誤差從 $+p \sin \theta$ 到 $-p \sin \theta$

$$\Delta p_x = 2 p \sin \theta = (2h / \lambda) \sin \theta$$

而顯微鏡的鑑別率可看成是單狹縫繞射的主峰寬度

$$\Delta x = \lambda \sin \theta$$

兩個乘在一起

$$\Delta p_x \Delta x = 2h$$

請注意這個從 "觀測" 的角度出發的論證。

認識波動

(一般的) 波動方程式及其解

對空間微分兩次、對時間微分也兩次

薛丁格方程式

如果物質也有波，那這個波滿足什麼樣的方程式？

薛丁格是興趣及能力都很廣博的科學家。漢密頓力學能同的處理光線的問題與力學的向，他結合了幾個的要素來建立新的波動力學，其中包含了物質波、光子能量公式、漢密頓力學等。

$$p = \frac{h}{\lambda} = \hbar k$$

經過一番嘗試之後，他得到流傳後世的方程式 (1926)：

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(x, t) = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi(x, t) + V(x) \Psi(x, t).$$

http://en.wikipedia.org/wiki/Schr%C3%B6dinger_equation

在此之後一切大不相同 (驚人的預測精確度)

薛丁格方程式的一種合理化的推導 (虛數的出現)

四個要滿足的基本要素

- (1) 符合德布洛利的 $\lambda = h/p$ 以及愛因斯坦的 $\nu = E/h$
- (2) 滿足 $E = p^2/2m + V$
- (3) 線性方程式 (疊加原理)
- (4) 位能為常數 (即外力為零) 時，假設物質波是具有固定波長與頻率的正弦行進波