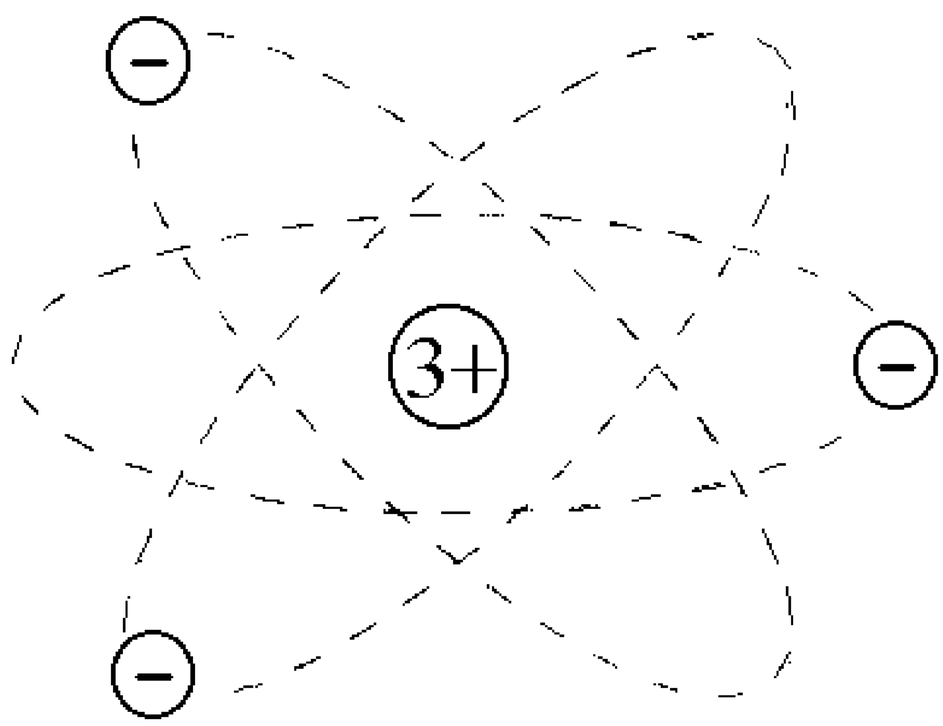
PHYSICS

第二十四章

原子結構



_____年 _____班 _____號

姓名：_____

吳錫玠老師 編授

24-1 拉塞福的原子模型

一、原子模型：

1.湯木生**(Thomsn)**原子模型：

(1)原子由帶正電及帶負電之兩種粒子構成，正負電荷恰相等。

(2)原子中之正電荷均勻散布於全部原子**(**半徑 **1** 埃之球**)**，而電子則於球上對其中心振動。

※缺點：無法解是為何正電荷能夠克服靜電排斥力而凝聚成一個穩定的球體。

2.拉塞福原子模型：

(1)原子中正電部份集中於一極小區域稱為原子核，具有原子**(**大約**)**全部之質量。

(2)帶負電之電子繞原子核作橢圓**(**或圓**)**軌道運行。

3.波耳**(Bohr)**原子模型：

(1)電子繞原子核運轉時軌道成不連續之量子化分布。

(2)原子所具有能量成不連續分布，能量有量子化存在。

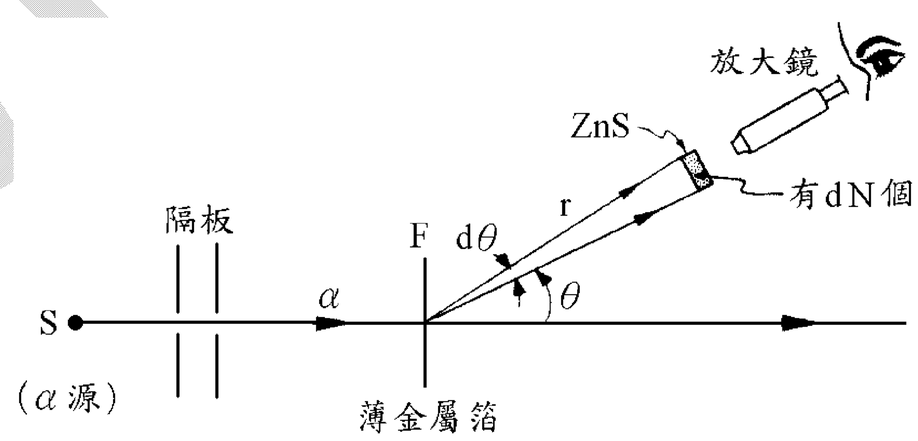
二、拉塞福～～粒子散射實驗：

1.探測原子工具：選質量輕**(**易於散射**)**、帶電**(**可藉以測被撞靶之電性**)**、高速**(**能量適中，足以深入原子內部**)**的 α 粒子**(**可自放射性物質逕行放出**)**。

2.被探測之原子，選質量大，較硬之金箔**(**金最富延展性，可展成金箔，因此被探測之靶以金為最適宜**)**。

3.實驗裝置～～如圖所示。

(1)S 為 α 源**(**放射 α 射線的元素**)**，α 射線經二小孔，成一線狀的束，射向在一極薄的金箔 **F**。α 粒子經箔的原子散射後，以各不同角 θ 射出。



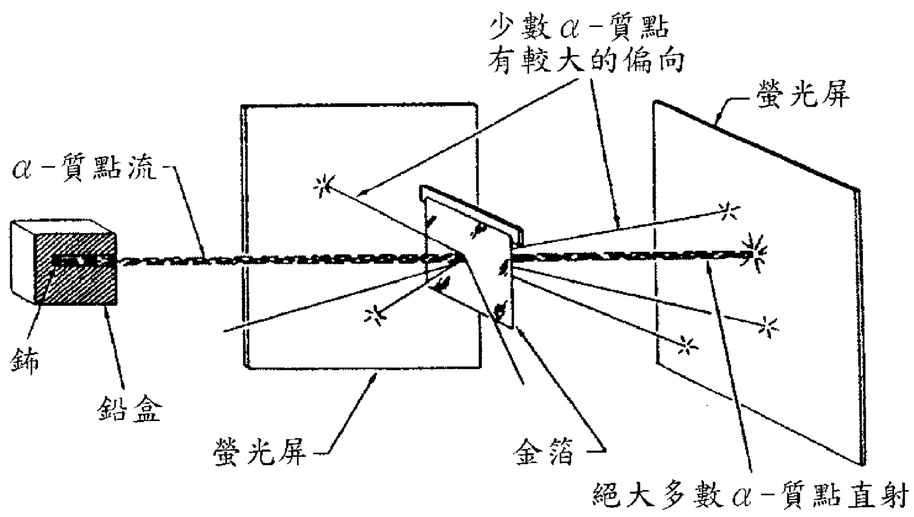
(2)ZnS 係硫化鋅螢光片，每一 α 粒子射至片上，使它發生一閃光，可藉高倍放大鏡觀察之。這些觀察皆在暗室中進行。

4.實驗結果及分析～～如圖所示。

(1)絕大多數的 α 質點均筆直貫穿原子 ⇒ 原子內部大部分空間必空無一物。

(2)在極多的 α 質點中偶爾可以有一兩個 α 質點被碰歪。

⇒原子內部某處至少有一堆東西，能與 α 質點發生強烈相互作用。



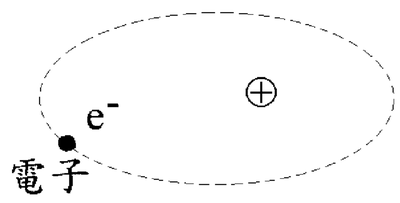
(3) α 質點通過原子時可將電子撞開，使原子電離而帶正電，但一般正常原子並不帶電。

⇒使我們對藏匿在原子內部的物質與正電荷發生聯想。

5.結論～～拉塞福原子模型：

(1)原子是縮小之太陽系，以原子核為焦點，電子繞核作橢圓軌道運動。

(2)原子為電中性，故原子核帶正電，其電荷數與電子數相等**(**此數目

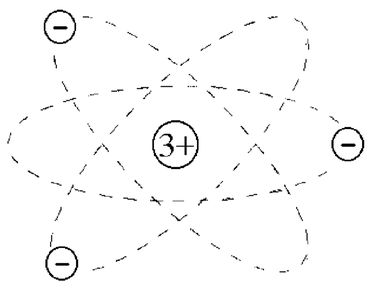


吳錫玠物理

為原子序)。

(3)原子核為質量集中之點，且其體積很小，故原子內部多為空間。

(4)原子核與軌道電子間形成一庫侖電場，故電場不跑出原子外。

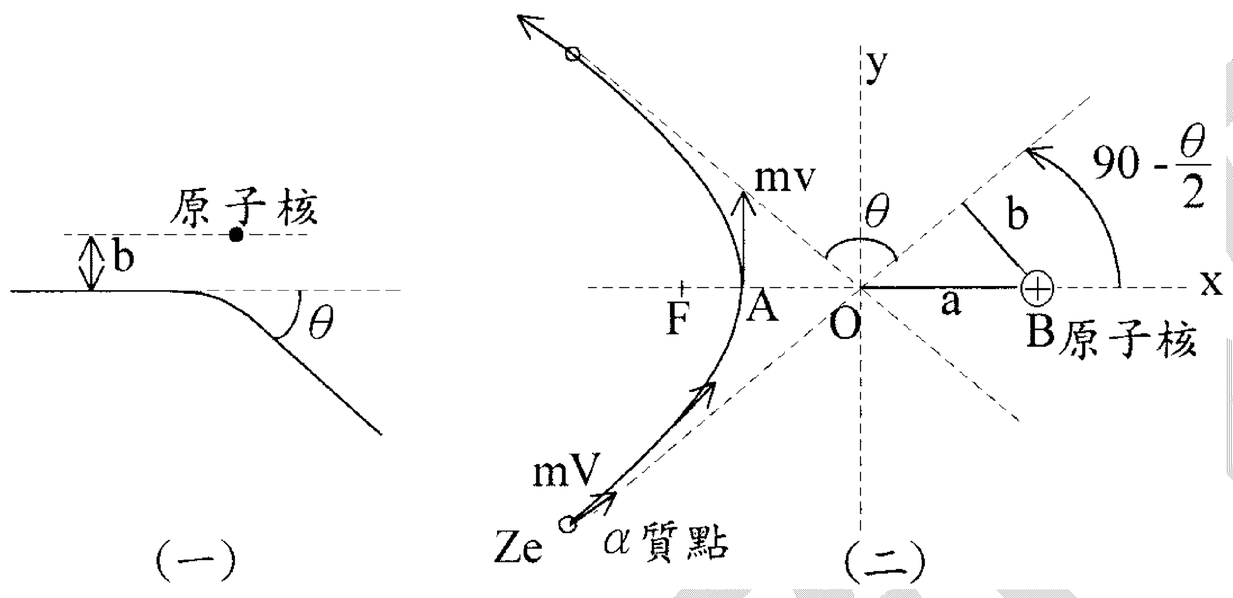


註：有人曾比喻說：若將原子的模型放大成一座可以容納 **67000** 名觀眾的棒球場那麼大的話，則核的大小祇像一隻跳蚤一樣。顯然原子中電子去有廣大的空間，而核的體積則極小。

三、散射定律

1. α **-**粒子在原子核電場中運動：

按照拉塞福原子模型，α 質點掠過原子核旁時，所受靜電斥力之大小與原子核距離之平方成反比。而庫侖力為斥力時，其總能量為正值，由力學知其運動軌跡必為雙曲線的一支，此雙曲線係以原子核為兩焦點之一，如圖**(一)**及**(二)**所示。



2. α 粒子的散射：**(**以下各證明過程自行閱讀**)**

(1)撞擊參數**(Impact parameter)～～**亦稱瞄準誤差**(Aiming error) b**：

α 質點入射時之原飛行方向線與原子核中心的**(**即力心**)**的垂直距離。

(2)散射角**(Scattering angle)** θ：最後運動方向與原有入射方向所夾之方向角。

(3)散射角 θ 與瞄準誤差 **b** 之關係：

$$\mathbf{b}=\frac{kZze^2}{mV^2}\tan\phi=\frac{kZze^2}{mV^2}\mathbf{cot}\frac{\theta}{2}\qquad(\mathbf{k}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_o})$$

◎導證：

a.如前頁圖**(一)**所示，**A** 為軌道距力心的最近點。設 $\overline{\mathrm{OB}}=\mathbf{a}$，則由雙曲線的幾何性質，即

得　$\overline{OA}=a\cos\phi$　且　$b=a\sin\phi$

$$\Rightarrow\overline{AB}=\overline{OA}+\overline{OB}=a\cos\phi+a=b\cdot\frac{1+\cos\phi}{\sin\phi}\cdots\cdots\cdots\mathbf{(a)}$$

b.設 α 粒子在無限遠時之速度為 **V**，則 α 粒子在無限遠時對 **B** 點的角動量為 **m V b**。又設 α 粒子在最接近 **B** 的 **A** 點處速度為 **v(**與垂直**)**，則 α 粒子在 **A** 點時的角動量為 **m v** • $\overline{\mathrm{AB}}$，因在球對稱的作用力下角動量守恆 $\Rightarrow mVb=mv\overline{AB}\cdots\cdots\cdots\mathbf{(b)}$

c. α **-**粒子在無限遠時的動能為 $\frac{1}{2}mV^2$，位能為零，在 **B** 點時，它的動能為 $\frac{1}{2}mv^2$，位能

$\dfrac{kZze^2}{\overline{AB}}$，則由力學能守恆 $\Rightarrow \dfrac{1}{2}mV^2 = \dfrac{1}{2}mv^2 + \dfrac{kZze^2}{\overline{AB}}$ ……**(c)**

d. 由 **(a)(b)(c)** 消去 $\overline{AB}$ 及 **v** $\Rightarrow b = \dfrac{kZze^2}{mV^2}\tan\phi$

又由圖知 $\phi = 90° - \dfrac{\theta}{2} \Rightarrow \tan\phi = \tan(90° - \dfrac{\theta}{2}) = \cot\dfrac{\theta}{2}$

$\therefore b = \dfrac{kZze^2}{mV^2}\cot\dfrac{\theta}{2}$

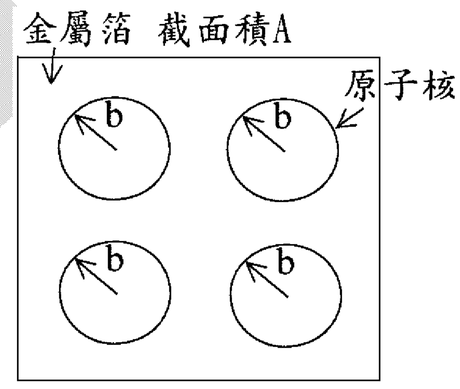
註：設 **b＝0** 時，α 粒子最接近金原子核之距離為 $\mathbf{r_o}$，則由力學能守恆得

$\dfrac{1}{2}mV^2 = \dfrac{kZze^2}{r_o} \Rightarrow \dfrac{kZze^2}{mV^2} = \dfrac{r_o}{2}$

而 $b = \dfrac{kZze^2}{mV^2}\cot\dfrac{\theta}{2} \Rightarrow 2\tan\dfrac{\theta}{2} = \dfrac{r_o}{b}$

(4) 散射質點之分佈：

a. 設 α 粒子的瞄準誤差為 **b** 時對應之散射角為 θ，若入射 α 粒子總數為 $\mathbf{N_o}$，而瞄準誤差小於 **b**，散射角大於 θ 之 α 粒子數為 $\mathbf{N}_\theta$，



則散射機率為 $P = \dfrac{N_\theta}{N_o} = nt\pi(\dfrac{kZze^2}{mV^2})^2\cot^2\dfrac{\theta}{2}$

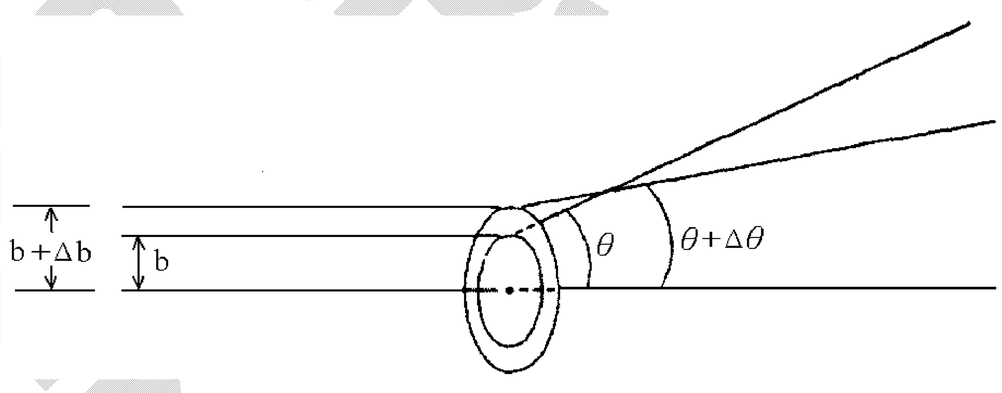
※**n**：金屬箔單位體積所含有的原子數；**t**：金屬箔的厚度

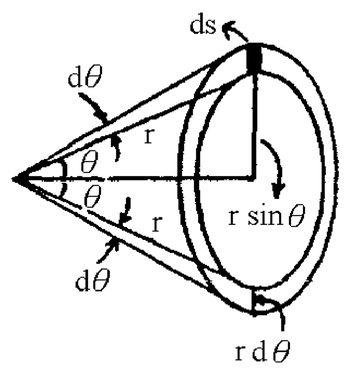
◎導證：設金屬箔的截面積為 **A**，則原子總數 **N＝nAt**

$\Rightarrow P = \dfrac{N_\theta}{N_o} = \dfrac{N\pi b^2}{A} = \dfrac{nAt}{A}\pi b^2 = nt\pi b^2$

則將 **b** 值代入得 $P = \dfrac{N_\theta}{N_o} = nt\pi(\dfrac{kZze^2}{mV^2})^2\cot^2\dfrac{\theta}{2}$

b. α 粒子散射至一錐形立體角 ΔΩ 的機率為 $P = nt(\dfrac{kZze^2}{2mV^2})^2\dfrac{1}{\sin^4(\dfrac{\theta}{2})}$





◎導證：

(a) 被散射到 θ 與 θ＋**d**θ 間的 α 粒子撞擊到的螢光幕面積為

ds＝2π**(r sin**θ**)(r d**θ**)＝2**π **r²sin**θ **d**θ

$\Rightarrow$ 立體角 **(Solid Angle)** $d\Omega = \dfrac{ds}{r^2} = \dfrac{2\pi r^2\sin\theta d\theta}{r^2} = 2\pi\sin\theta\cdot d\theta$

(b) 由知 $N_\theta = N_o nt\pi(\dfrac{kZze^2}{mV^2})^2\cot^2\dfrac{\theta}{2}$

故散射角在 θ 到 θ＋**d**θ 間的粒子數為

$$\mathbf{dN_\theta = N_o n\, t\, \pi \left(\frac{kZze^2}{mV^2}\right)^2 \left[2\cot\frac{\theta}{2}\left(-\csc^2\frac{\theta}{2}\right)\cdot\frac{1}{2}\cdot d\theta\right]}$$

※負號表示 $\mathbf{N}_\theta$ 隨 θ 增加而減少。

(c) 由 **(a)(b)** 得 α 粒子散射在立體角 $\mathbf{d}\Omega$ 內之機率為

$$P=\frac{|dN_\theta/N_o|}{d\Omega}=\frac{nt\pi\left(\frac{kZze^2}{mV^2}\right)^2\left(\cot\frac{\theta}{2}\csc^2\frac{\theta}{2}d\theta\right)}{2\pi\sin\theta d\theta}=nt\left(\frac{kZze^2}{2mV^2}\right)^2\frac{1}{\sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

※上述公式經過蓋革**(Geiger)**及馬士頓**(Marsden)**多次實驗結果發現實驗值和理論值十分符合，表示原子核和 α 粒子間確實是經由庫侖斥力作用而產生散射作用。

註：**(a)** 由實驗所得的結果，拉塞福發現當 **b** 值小至 $\mathbf{10^{-14}}$ 公尺時庫侖反平方定律仍有效即散射機率的理論 θ 分布，和觀察所得的 θ 分布，於 **b** 小至 $\mathbf{10^{-12}}$ 公分時仍相符，此乃顯示原子帶有正電荷及差不多原子的全部質量的部分，乃聚於一半徑小於 $\mathbf{10^{-14}}$ 公尺的體積。

(b) 由固態物質的密度(及其他多方面的資料)，我們知原子的大小，係約在 $\mathbf{10^{-10}}$ 公尺之譜。現拉塞福的 α-粒子散射實驗，顯示其質量及正電荷皆聚於一約為 $\mathbf{10^{-15}\sim10^{-14}}$ 公尺半徑的體積。故知原子是很空洞的！

(5) 從散射現象所得的進一步資料：

a. 由實驗求出放射性物質所發出的 α 質點在金箔中之散射情形與庫侖定律所推論者相符。此即表示 α 質點從未"碰觸"到原子核。

※因為，假如已經碰觸到原子核，則顯然除了庫侖力之外應還有其他的力，而所產生的散射現象必定與只根據平方反比定律所推論者完全不同。可見金原子核之半徑必較 α 質點所能達到的最近核心的距離還要小些。

b. 一個能量為已知的 α 質點，瞄準原子核中心發射**(b＝0)**時，可達到最近核心的位置。**(**此時質點沿直線前進，直至其全部動能均轉變為電位能時為止，然後循原路倒退而回。**)** 令 $\mathbf{r_o}$ 表示此種 α 質點與原子核中心的最近距離，則

(a) 因金原子核具有 $\mathbf{q_N=79}$ 個基本正電荷，而 α 質點具有 $\mathbf{q_\alpha=2}$ 個基本正電荷，故在距核心 $\mathbf{r_o}$ 處的電位能為：

$$U=\frac{kq_\alpha q_N}{r_o}=2.3\times10^{-28}\times\frac{2\times79}{r_o}=\frac{3.6\times10^{-26}}{r_o}\ \text{(焦耳)}$$

(b) 從釙射出的 α 質點，其速率經測定為 $\mathbf{1.6\times10^7\ m/s}$，質量為 $\mathbf{6.62\times10^{-27}}$ 公斤，故其動能為：

$$\mathbf{E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}(6.62\times10^{-27})(1.6\times10^7)^2=8.5\times10^{-13}}\text{(焦耳)}$$

(c) 由力學能守恆 $\mathbf{E_k=U\Rightarrow 8.5\times10^{-13}}=\dfrac{3.6\times10^{-26}}{r_o}$

$\therefore\mathbf{r_o=4.2\times10^{-14}}$**(**公尺**)**

※結論：**(a)** 金原子核的半徑必定小於 $\mathbf{4.2\times10^{-14}}$ 公尺，此即金原子核半徑的"上限"**(Upper limit)**。對其他元素的測法亦同。

(b) α 質點實驗結果，支持了拉塞福的原子模型～～原子核是一個小而重的質點。

(c)由各種實驗顯示：

原子核半徑**(R)**，與其原子質量數**(A)**的立方根成正比 $\mathbf{R=R_oA^{1/3}}$

式中 $\mathbf{R_o}$ 為比例常數，公認值為 $\mathbf{1.2\times10^{-15}}$ 公尺

註：氫原子核的半徑約為 $\mathbf{10^{-15}}$ 公尺，最重原子的核半徑可達 $\mathbf{7\times10^{-15}}$ 公尺，原子半徑約為 $\mathbf{1\times10^{-10}}$ 公尺至 $\mathbf{3\times10^{-10}}$ 公尺 ⇒原子大小約為其核大小的 $\mathbf{10^4\sim10^5}$ 倍。

四、拉塞福原子模型所遭遇的困難：

1.在探測原子核大小時，我們以質點射擊至原子內部，其能量愈大者，愈能深入，即距核心愈近。但當能量大至某一程度後，散射規律發生偏差。觀察所得與理論推導之結果不相符合。

※入射質點甚接近原子核時所生之散射情形，可用物質波之繞射現象說明。

2.原子核周圍的電子果如拉塞福所形容的，像行星繞日一樣地運轉著，此種迴轉運動顯然是加速度運動，按照馬克士威**(Maxwell)**電磁理論，必有電磁波的發射。而電磁輻射又是能量的一種，因此，電子之繞核迴轉，必不斷放失其能量，像人造衛星在大氣層中運動一樣，循螺旋形軌道跌入原子核面上。據計算，在橢圓軌道上以高速運轉的電子，逐漸喪失能量而沿螺旋軌道**(**軌道半徑逐漸縮小**)**落至核面，僅需約 2×10^{-11} 秒

⇒吾人所見之原子大小應與原子核大小約相等。事實上，我們觀察的原子不是這樣的。它通常是在穩定狀態，亦不見有電磁輻射能。

※原子之穩定性可用波耳模型及駐波觀念說明。

3.由原子放出的光的頻率，應與電子繞核的頻率有關，但電子繞核之頻率又與軌道半徑有關～～與行星繞日關係類同～～電子放出能量後，軌道半徑逐漸縮小，則頻率應逐漸增大，而其所發之光的頻率亦應逐漸增大。一個光源含有極多原子，其中有許多原子在同時放光，在放光的過程中有的電子快要落至核面上而有的電子才開始縮小其軌道，因此，一光源放出之光，應是各種頻率具備。光譜應是連續光譜但事實上原子的光譜是明亮的線條**(**明線光譜**)**，而非連續光譜。其頻率並不是連續的。

※原子光譜之不連續性，可用原子能階的觀念說明。

註：拉塞福原子模型所遭遇之困難，是因以牛頓力學為基礎而引起的，若代以量子力學，即可解決。

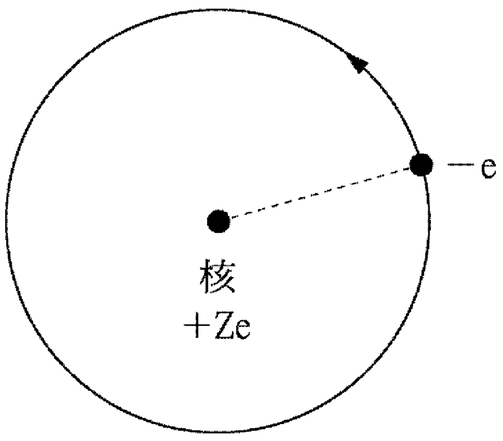
4.有兩個嗜酒如命的人。有一天，兩人相邀去喝酒，卻發現兩人身上加起來的錢只有２００餘元，其中一個人對另一人說：「沒關系，看我的。」

他們到了一家７１１買了兩條熱狗大亨，將熱狗大亨分別塞在自己的褲襠裡，然後進了酒店大喝特喝，喝到差不多的時後，他們就互相趴到對方的褲襠，吸吮起熱狗大亨，酒店酒保看到就生氣的對他們吼：「滾出去！不要在我店裡幹這種骯臟下流齷的事！！」

他們就用這種方法一連喝了八家。其中一人對另一人說：「今天喝的我好累！」

另一人說：「我才累呢！我的熱狗大亨在第二家的時後就掉了！」

※拉塞福原子模型



例 1.依拉塞福原子模型，當電子的軌道半徑增為原來 3 倍時，則下列敘述何者正確？ (A)電子的繞轉頻率變為原來的 $\frac{\sqrt{3}}{9}$ 倍 (B)電子的繞轉動能變為原來的 $\frac{1}{3}$ 倍 (C)電子的束縛能變為原來的 $\frac{1}{3}$ 倍 (D)電子的速率變為原來的 $\frac{\sqrt{3}}{9}$ 倍 (E)電子對原子核的角動量變為原來的 3 倍。答：(A)(B)(C)

類 1.下列有關原子構造的敘述，何者正確？甲：原子的質量均勻分布於整個原子之中，乙：原子的質量絕大部分集中在原子核，丙：電子和質子的數目一定相等，丁：質子和中子的數目一定相等： (A)甲丙 (B)甲丁 (C)乙丙 (D)乙丁 (E)甲丙丁。答：(C)

類 2.下列有關拉塞福原子模型的敘述，何者正確？ (A)原子有核 (B)核中包含帶正電的質子和不帶電的中子 (C)原子質量幾乎都集中在核內 (D)原子內大部分爲真空 (E)電子在核外環繞，類似太陽系的行星運動。答：(A)(C)(D)(E)

類 3.下列有關拉塞福原子模型的敘述，何者正確？ (A)提出類行星的原子模型 (B)電子在軌道上運行不會放射電磁波 (C)可以解釋氫原子光譜 (D)愈外層的電子所受的庫侖力愈小 (E)電子的軌道爲不連續的狀態。答：(A)(D)

類 4.(1)依拉塞福原子模型，求氫原子中電子的運轉頻率？（以 e，q 各表電子與質子電量，m 表電子質量，r 表電子軌道半徑）答：$f=\frac{1}{2\pi r}\sqrt{\frac{eqk}{rm}}$

(2)若以電子運轉頻率爲發光頻率，求發光頻率？（r＝0.529Å）。答：7×10^{15} Hz

類 5.拉塞福以 α-質點對原子做散射實驗後，所得的結論有： (A)原子中正負電荷相等，故原子呈中性 (B)全部正電荷及幾乎全部的質量，集中在數量級爲 10^{-10} 米爲半徑的區域內（稱爲原子核） (C)原子就像縮小的太陽系，電子與原子核之間以距離平方反比的萬有引力作用 (D) α-質點與原子核之間的作用力是庫侖斥力 (E)散射角大於 θ (某一定角)的 α 質點數與原子核電量的平方成正比。【72.日大甲】答：(D)(E)

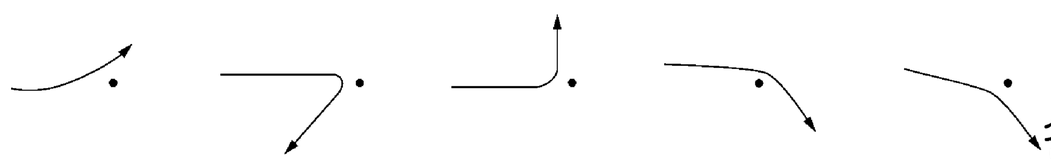
吳錫玠物理

※拉塞福粒子散射實驗

例 2.拉塞福當年所作 α 質點散射實驗所獲資料，不能： (A)推算原子中電子之軌跡 (B)測知原子核是否荷電 (C)推算原子核直徑之大小 (D)證實原子核周圍庫侖力場之存在 (E)推知原子中質量主要集中於一小區域內。【62 夜大】答：(A)

類 1.如附圖為 α 質點經過原子核附近被散射時的軌跡，哪一圖是錯的？

(A)　(B)　(C)　(D)　(E)



答：(D)

類 2. α 質點被靜止之重原子核散射時的軌跡是： (A)圓 (B)直線 (C)橢圓 (D)拋物線 (E)螺線 (F)雙曲線。答：(F)

類 3. α 粒子掠過金原子內的電子旁邊時，則： (A)可能被反向彈回 (B)作小角度的散射 (C)向各方向均勻散射 (D)幾乎不受影響。答：(D)

類 4.拉塞福的金箔散射實驗，其最大的成就是: (A)建立原子有核的觀念 (B)原子內有正電 (C)原子可以分割 (D)確定原子的半徑。答：(A)

類 5.以 α 粒子為探測原子的射彈，其理由是： (A) α 粒子帶正電 (B) α 粒子質量甚小 (C) α 粒子能量大，可以貫穿原子 (D) α 粒子的能量恰可深入原子內部。答：(D)

類 6.以 α 粒子射入金箔，使 α 粒子產生散射的主要作用力是： (A) α 粒子與原子核間的庫侖力 (B) α 粒子與電子間的庫侖力 (C) α 粒子與原子核間的萬有引力 (D) α 粒子與原子核間的庫侖力以及 α 粒子與電子間的庫侖力 (E) α 粒子與原子核間的萬有引力以及庫侖力，兩者都重要。答：(A)

類 7.對原子核作 α-粒子（阿爾法粒子）散射的拉塞福實驗時，直接可測出的量為： (A)瞄準誤差 b（或稱為撞擊參數）和散射角 θ (B)散射角大於或等於 θ 之 α-粒子數 N_θ 和散射角 θ (C) α-粒子與原子核間的最小距離 r_0 和 N_θ (D) θ、N_θ 和 r_0 (E) θ、N_θ 和 b。【72 夜大】答：(B)

吳錫玠物理

※拉塞福粒子散射實驗⇨最近距離 r_0

例 3.假定 α 粒子之速率 v，對金（原子序為 79）靶能接近之最近距離為 r_0，則同樣速率之氘核(原子質量 2，原子序數 1)撞擊銀(原子序為 47)靶，其能接近之最近距離約為：(A)$0.6r_0$ (B)$1.2r_0$ (C)$1.5r_0$ (D)$1.8r_0$ 。【68 日大】答：(A)

例 4.一質子（電量＋e）自遠處以動能 E_k 與原靜止之氦核（電量＋2e）作正向碰撞，則兩者所能接近的最短距離為多少？(k 為庫侖常數) (A)$\frac{2ke^2}{E_k}$ (B)$\frac{2ke^2}{3E_k}$ (C)$\frac{5ke^2}{2E_k}$ (D)$\frac{3ke^2}{2E_k}$。答：(C)

類 1.以相同速度，將 $({}^3_1H)$原子核與氦$({}^4_2He)$原子核射向金原子核時，可能最接近的距離之比爲：(A)2：3 (B)3：4 (C)1：2 (D)6：4。【75 夜大】(A)

類 2.一 α 質點之動能爲1.0×10^{-12} 焦耳，被一金原子核(原子序 79)所散射：
(1)試求兩者間之可能接近之最短距離？
(2)若 α 質點達到(1)間之距離，問其撞擊參數爲何值？
(3)問具有與此 α 質點相等動能之質子，所能達到之最短距離爲何？答：(1)3.6×10^{-14} m；(2)0；(3)1.8×10^{-14} m

類 3.一質子(電量＋e)自遠處以動能 E_k 與原靜止之氦核(電量＋2e)作正向碰撞，碰撞後相距甚遠時，質子損失動能的百分率爲多少？ (A)25％ (B)32％ (C)48％ (D)64％。答：(D)

類 4.設靜電力常數爲 k，則動能 E_k，帶電量 2e 的 α 粒子與氣體狀態的氦核作正面碰撞時，α 粒子能接近氦原子核最近距離爲 (A)$\frac{ke^2}{E_k}$ (B)$\frac{2ke^2}{E_k}$ (C)$\frac{4ke^2}{E_k}$ (D)$\frac{8ke^2}{E_k}$ (E)$\frac{16ke^2}{E_k}$。答:(D)

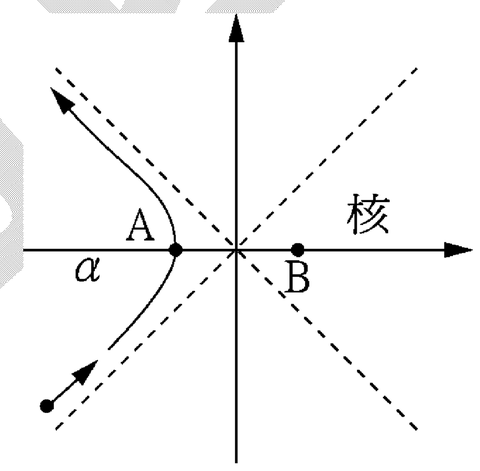
類 5.α 質點以動能 E_k 射擊靜止氦原子，如爲正向碰撞時，則 (A)兩者距離最近時貯存在電力場中的位能爲$\frac{E_k}{2}$ (B)兩者的最近距離爲$\frac{kq^2}{E_k}$（q 爲 α 點的帶電量） (C)碰撞完成後的動能和爲 E_k (D)碰撞完成後 α 質點的剩餘動能 E_k (E)碰撞完成後氦原子的動能爲 E_k。答：(A)(C)(E)

※拉塞福粒子散射實驗⇨瞄準誤差(撞擊參數)b&射角處 θ

【觀念&公式】
角動量守恆⇨ $bv_o = rv$

例 5.一 α 粒子被一靜止之金原子核(原子序＝79)散射。設 α 粒子在遠處的速率為 1.00×10^{7} 米/秒，又設 α 粒子掠過原子核近旁時，其接近原子核的最短距離為 1.65×10^{-13} 米，則
(1) α 粒子在此位置的速率為_____米/秒。答：5.74×10^{6}
(2)此 α 質點在最接近點時，其在朝向原子核方向上的速度分向量為_____。答：0

類 1.附圖，α 粒子自遠處以瞄準誤差 b 入射，入射速率 v，則當其最接近金原子核時（A 點），其瞬時速率等於_____。（A、B 兩點距離設為 l，將答案以 l、v、b 表之）答：$\frac{bv}{\ell}$



類 2.在拉塞福的 α 粒子散射實驗中，下列敘述何者為正確的？ (A) α 粒子的力學能恆為正 (B) α 粒子的角動量守恆 (C) α 粒子的散射角恆小於 90° (D) α 粒子的入射方向與力心的垂直距離越大，散射角越大 (E)由此一實驗之結果，證實了原子核的存在。【90 日大】答：(A)(B)(E)

類 3.下列有關拉塞福 α-粒子散射實驗之敘述有哪些是正確的？ (A)入射的 α-粒子其動能約為 10^{3} 電子伏特 (B)撞擊參數越大，α-粒子的偏折越大 (C)固定數目的入射 α-粒子其動能越高，所測得之被散射 α-粒子越多 (D)散射角大於 90° 之 α-粒子遠少於散射角小於 90° 之 α-粒子 (E)一種元素之各種同位素其拉塞福 α-粒子散射角分布是相同的。【75 日大】答：(D)(E)

類 4.在 α 質點對金屬箔片之拉塞福散射中，下列敘述何者為正確的？ (A)被散射之 α 質點其軌跡為雙曲線 (B)在固定散射角處散射質點的數目與 α 質點之入射速度平方成反比 (C)每一 α 質點對原子核之最近距離一定大於其撞擊參數 (D)金屬箔片的原子序越大，α 質點被散射的機會也越大 (E)散射角大於 60° 者占很小比例。【70 日大】答：(A)(C)(D)(E)

類 5.關於 α 質點的散射，下列敘述中，哪些是對的？ (A)入射能量及原子核為一定，則撞擊參數越小，散射角也越小 (B)入射能量及撞擊參數一定，則原子序越大的原子核，引起之散射角越大 (C)由散射數據，可求出原子核裡的質量分布 (D)若入射能量不大，則基於庫侖定律所預測之散射分布與實驗相符 (E)散射或然率與金屬箔片之原子序平方成正比。【67 夜大】答：(B)(D)(E)

※拉塞福粒子散射實驗⇨散射機率(參考教材)

【觀念&公式】

1.散射角＞θ 的機率：$P=\dfrac{N_\theta}{N_o}=nt\pi(\dfrac{kZze^2}{mV^2})^2\cot^2\dfrac{\theta}{2}$

2.散射角＝θ 的機率：$P=nt(\dfrac{kZze^2}{2mV^2})^2\dfrac{1}{\sin^4(\dfrac{\theta}{2})}$

3. $\tan\dfrac{\theta}{2}=\dfrac{r_o}{2b}$

例 6.以相同的 α 質點束和相同的計數器，對每單位面積有同樣原子數目的靶 A(原子核靜止，原子序為 12)及靶 B(原子核靜止，原子序未知)作散射實驗。在散射角 60° 的方向，對靶 A 測得散射數 360 個/秒，對靶 B 測得 2250 個/秒。在這實驗中，假設 α 質點和靶 A 原子核間的可能最短距離為 8×10^{-14} 米，則 α 質點和靶 B 原子間的可能最短距離為_____米。【61 日大】2×10^{-13}　【解析】$P=\propto r_o^2$

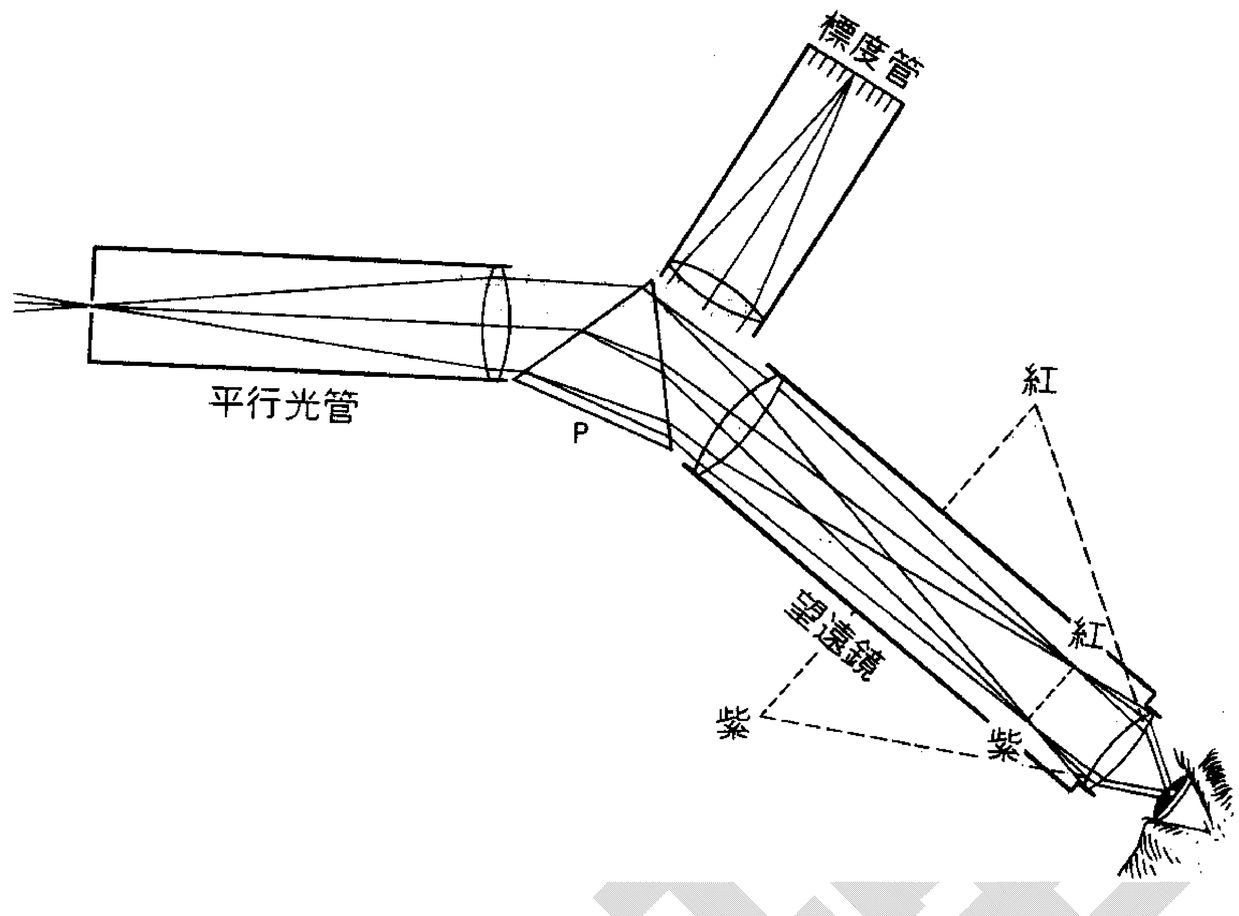
例 7.在拉塞福的 α 粒子散射實驗中，散射角大於 90° 的散射機率是散射角大於 60° 的多少倍？(A)2/3 (B)1/3 (C)1/2 (D)1/4。答：(B)

類 1.若 α 粒子在散射角 60° 的出現機率爲 P_1；在散射角 90° 的出現機率爲 P_2，則 $P_1/P_2=$？(A)2 (B)4 (C)8 (D)64。答：(B)

類 2.在拉塞福的散射實驗中若將 α 質點用同樣速度的質子取代，則散射角在 30°至 60°範圍內的質子數目 N_P 與原來同範圍內 α 質點數目 N_α 之比 N_P/N_α 爲： (A)1 (B)2 (C)4 (D)8。【74 日大】(C)　【解析】$P=\propto(\dfrac{z}{m})^2$

類 3.以相同之 α 質點束及相同之計數器，對在單位面積中具有相同數目原子之兩種金屬箔 A、B 做散射實驗，在散射角 90° 之方向測得散射數，對 A 爲 100 個/秒，對 B 爲 625 個/秒。設 A 的原子序爲 12，則 B 之原子序爲_____。答：30【解析】$P=\propto z^2$

24-2 氫原子光譜



一、光譜

1.發射光譜：一般本身可以發光的物體，經分光儀後見到明亮的線或帶。

A.連續光譜：高溫固體、高溫液體及高壓氣體，所生的光譜由紅而紫連續不斷。電燈泡所發的光便為此種。

B.明線光譜：又稱原子光譜，在低壓下氣體或蒸氣所發的光，只有一些特定的波長，成為固定位置的明線。各種不同元素各有其特殊的光譜線，由光譜線的位置及條數，即可斷定元素的種類。

C.明帶光譜：又稱分子光譜，有些化合物或元素的分子，在特殊情況下所發射的光譜，外形為若干不連續的明帶（由一些密集明線構成）。

2.吸收光譜：將光源發出連續光譜之光，經過某一透明物質後，在經分光儀，則可以看到在連續的光譜上出現一些暗紋（暗線光譜），或是出現一些暗帶（暗帶光譜）。

3.同一元素之明線光譜與暗線光譜，其位置（波長）相同。

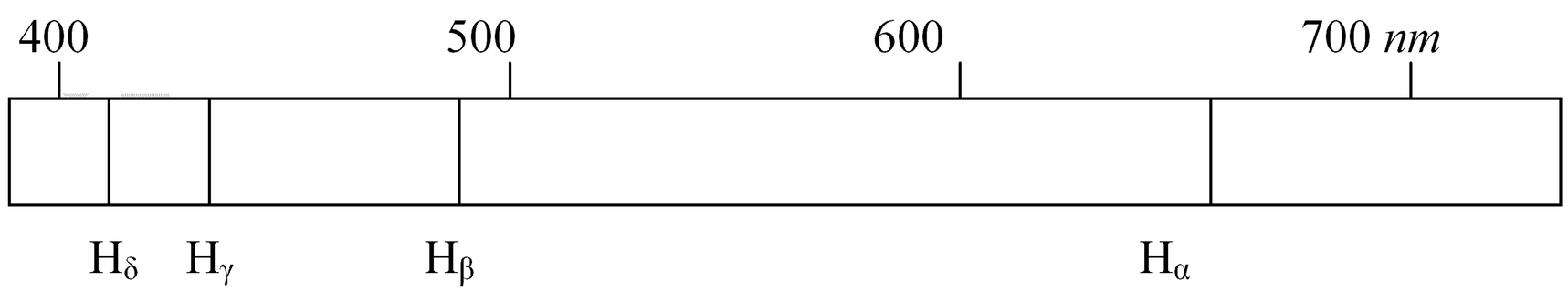
二、光譜學發展史

1.西元 **1666** 年，牛頓發現白光經三稜鏡的色散作用，可將各種色光分散開來，可說是光譜學的萌芽。

2.西元 **1814** 年，德國人夫朗和斐發現太陽光譜中存在有許多暗線（吸收光譜）利用這些暗線的位置，可以校定不同色光的折射率，他並且發明了光譜儀，用於分析和測量光譜線的波長。

3.西元 **1859** 年，德國人克希何夫和本生，發現氣態化學元素均有特定的明線光譜結構（發射光譜），利用光譜可精密分析物質的組成成分。

4.西元 **1868** 年，瑞典人埃司傳發表『標準太陽光譜圖表』，以 $\mathbf{10^{-8}cm}$ 為單位，記載太陽光譜暗線的波長。為紀念他的成就，將 $\mathbf{10^{-8}cm}$ 命名為埃**(Å)**。他並且發現氫元素的四條可見光譜線 $\mathbf{H_\alpha = 6562.10\ Å}$；$\mathbf{H_\beta = 4860.74\ Å}$；$\mathbf{H_\gamma = 4340.1\ Å}$；$\mathbf{H_\delta = 4101.2\ Å}$



5.西元 **1885** 年，瑞士數學教師巴耳麥發現可見光區前四條光譜線的經驗公式，光譜線波長 $\lambda = \dfrac{n^2}{n^2-4}\lambda_o$，$\lambda_o = \mathbf{3645.6\times10^{-10}}$ 公尺，$\boldsymbol{n} = \mathbf{3}$，**4**，**5**，……。

巴耳麥系的前四條光譜線

n	光譜線	依據巴耳麥公式計算的波長（Å）	埃司傳觀測的波長（Å）
3	H_α	$\frac{9}{5}\lambda_o=6562.08$	6562.10
4	H_β	$\frac{16}{12}\lambda_o=4860.8$	4860.74
5	H_γ	$\frac{25}{21}\lambda_o=4340.0$	4340.1
6	H_δ	$\frac{36}{32}\lambda_o=4101.3$	4101.2

6.西元 **1890** 年，瑞典人芮得柏將巴耳麥公式改寫成：$\frac{1}{\lambda}=\mathbf{R_H}\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right)$，$\boldsymbol{n}=\mathbf{3}$，$\mathbf{4}$，$\mathbf{5}$，……。

$\mathbf{R_H=1.09677\times10^7}$ 公尺$^{-1}$，稱為氫原子的芮得柏常數。

7.西元 **1908** 年，里茲提出下面的公式：$\frac{1}{\lambda}=R_H\left(\frac{1}{m^2}-\frac{1}{n^2}\right)$，$\boldsymbol{n>m}$，均為整數。

8.西元 **1908** 年，德國人帕申觀測到紅外光區有一系列光譜線符合上式中 $\boldsymbol{m}=\mathbf{3}$ 的波長系列，命名為帕申系，即：$\frac{1}{\lambda}=R_H\left(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{n^2}\right)$，$\boldsymbol{n}=\mathbf{4}$，$\mathbf{5}$，$\mathbf{6}$，……。

※氫原子光譜

例 8.氫原子光譜是： (A)連續光譜 (B)全頻率光譜 (C)吸收光譜 (D)明線光譜 (E)帶狀光譜。
答：(D)

類 1.通常在照片上見到的原子光譜都是一條一條的細長直線，而非其他形狀，其原因是： (A)由於光是從直線型的狹縫穿出來的 (B)由於原子能階是一條一條的平行線而非其他形狀 (C)由於光有直進性 (D)此光為線性偏極化光 (E)當光從原子輻射出來時，所有光子都是平行發射出來的。答：(A)

類 2.有關氫原子光譜下列何者錯誤？ (A)氫原子光譜最高能階在紫外光區 (B)氫原子光譜可見光區有光線 (C)氫原子光譜紅外光區亦有光線 (D)氫原子發射光譜亦有高於紫外光區之光線 (E)氫原子發生能量遷移而有特定頻率之發生。答：(D)

類 3.下列有關於氫原子光譜與原子能階之問題指出正確之項 (A)氫原子所發出之光譜為一系列光 (B)各線相當於氫原子所發出之某一特殊頻率 (C)氫原子由 n=3，4，5……降至 n=2 時產生可見光譜區 (D)氫原子光譜各線群中，各相繼線條之間隔隨頻率之增加而減少 (E)氫原子光譜為連續光譜。答：(A)(B)(C)(D)

24-3 波耳的氫原子模型

一、波耳的氫原子模型：

1.提出者：**1913** 年由波耳**(Niels Bohr 1885～1962** 丹麥**)**所提出。

2.兩個基本假設：

(1)第一假設～～穩定態的假定：

電子軌道不是任意的，只在電子的角動量**(m v r)**為 $\frac{h}{2\pi}$ 的整數倍時，電子才可以穩定的在軌道上，即原子中電子軌道的角動量應量子化 $\Rightarrow$ $L = rmv = n \cdot \frac{h}{2\pi}$

式中 **L** 為電子軌道的角動量，**n(**＝整數**)**為量子數，**h** 為蒲朗克常數

(2)第二假設～～光譜線的頻率假定：

當原子由穩定態 **j** 躍遷至另一穩定態 **n**，原子將吸收或放出電磁波，其頻率 ν 由下式定之：$h\nu = E_j - E_n$

$\mathbf{E_j}$：電子原先所在軌道的能量；$\mathbf{E_n}$：電子跳躍後所在軌道的能量

※此式顯係不遵守古典電磁學定律，而係採納了量子論的量子 **h**ν 觀念。

二、氫原子的量子化：

1.電子的動能：

設氫原子核帶 **Ze** 正電荷**(**原子序 **Z**＝原子核內的質子數**)**，而質量 **m** 的電子在半徑為 **r** 的圓軌道上，以原子核為圓心作等速率 **V** 運動，則原子核和電子的庫侖反平方吸引力提供了圓周運動所需的向心力，即 $\frac{kZe \cdot e}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ ……**(1)**

2.速率量子化：

由**(1)**式及 $L = rmv = n \cdot \frac{h}{2\pi} \Rightarrow v_n = \frac{2\pi kZe^2}{nh}$ ；**n**＝**1**，**2**，**3**，……**(2)**

3.動量量子化：$P_n = mv_n = \frac{2\pi mkZe^2}{nh}$ ……**(3)**

4.軌道半徑量子化：

由角動量量子化 $\Rightarrow r_n = \frac{nh}{2\pi mv_n}$ ，將**(2)**代入得 $r_n = \frac{n^2h^2}{4\pi^2 mkZe^2}$ ……**(4)**

5.能量量子化：

電子的動能 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{kZze^2}{2r}$

電子-質子系統的位能為 $U = \int_{\infty}^{r} \frac{kZze^2}{r^2} \cdot dr = -\frac{kZze^2}{r}$

得系統全部的能量**(**動能＋位能**)**為 $E = E_k + U \frac{kZze^2}{2r} + (-\frac{kZze^2}{r}) = -\frac{kZze^2}{2r}$

將**(4)**式代入$\Rightarrow E_n=-\dfrac{2\pi^2 m(kZze^2)^2}{h^2n^2}$，**n＝1，2，3，……**

※令 **n＝1**，得基態時電子的速率 $\mathbf{v_1}$ 為 $\mathbf{v_1=2.19\times10^6}$**(m/sec)**

而軌道半徑 $\mathbf{r_1}$ 為 $\mathbf{r_1=0.529}$ **Å**

其他各能階的～～速率 $\mathbf{v_n}$ 為 $v_n=\dfrac{v_1}{n}=\dfrac{2.19\times10^6}{n}$ **(m/sec)**

～～軌道半徑 $\mathbf{r_n}$ 為 $\mathbf{r_n=n^2\times0.529}$ **(Å)**

※此式謂穩定態係不連續的，而係整數 **n＝1，2，3，……**的反平方的函數，這個不連續的穩定態，乃嶄新的觀念，為古典物理所無的。

註：**(a)**電子態在 **n＝1** 稱為基態，**n＝2** 稱為第一激發態，以此類推。

(b)將 $\mathbf{m=9.11\times10^{-31}}$ 公斤，**Z＝1**，$\mathbf{e=1.6\times10^{-19}}$ 庫侖

$\mathbf{k=9\times10^9}$ 牛頓-公尺^2/庫侖^2，$\mathbf{h=6.62\times10^{-34}}$ 焦耳-秒代入上式，

並將 $\mathbf{E_n}$ 之單位化為電子伏特**(1** 電子伏特＝$\mathbf{1.6\times10^{-19}}$ 焦耳**)**

則得　$E_n=-\dfrac{13.6}{n^2}$ **(**電子伏特**)**定游離態的能量為零

三、氫原子光譜系列

由 $E_n=-\dfrac{2\pi^2 m(kZze^2)^2}{h^2n^2}$ 知當原子由穩定態 **j** 躍遷至另一穩定態 **n** 時，其吸收或放出電磁波之

頻率為：$\nu_{jn}=\dfrac{E_j-E_i}{h}=\dfrac{2\pi^2 m(kZze^2)^2}{h^2}(\dfrac{1}{n^2}-\dfrac{1}{j^2})$

※式中 **n** 為末狀態的量子數，而 **j** 為初狀態的量子數

※氫原子之光譜主要有五大系：

由 $E_n=-\dfrac{13.6}{n^2}$ **(**電子伏特**)** 知當原子由穩定態 **j** 躍遷至另一穩定態 **n** 時，放出電磁波

(即光子**)**之能量 $\Delta E=h\nu_{jn}=13.6(\dfrac{1}{n^2}-\dfrac{1}{j^2})$ 電子伏特

1.來曼系**(Lyman series)～～1914** 年發現：

(1)能量～～令 **n＝1** 且 **j＝2，3，4，……**

由 $\Delta E=13.6(\dfrac{1}{1^2}-\dfrac{1}{j^2})$ **eV**

$\Rightarrow$ 當 **j＝2** 得最小值：$\mathbf{E_{min}=10.2}$ **eV**

當 **j＝∞** 得最大值：$\mathbf{E_{max}=13.6}$ **eV**

(2)波長～～介於紫外線區內：

由 λ**(**埃**)**$=\dfrac{c}{\nu}=\dfrac{hc}{h\nu}=\dfrac{hc}{\Delta E}=\dfrac{1.24\times10^4(eV\cdot Å)}{\Delta E(eV)}$

$\Rightarrow$ 最短波長 $\lambda_{\mathbf{min}}=\dfrac{1.24\times10^4}{\Delta E_{max}}=\dfrac{1.24\times10^4}{13.6}=$**912 Å**

最長波長 $\lambda_{\mathbf{max}}=\dfrac{1.24\times10^4}{\Delta E_{min}}=\dfrac{1.24\times10^4}{10.2}=$**1216 Å**

⇒來曼系波長之範圍：**912 Å≦ λ ≦1216 Å**

(3)由 **n＝2** 到 **n＝1**，稱為 **L**$_\alpha$；由 **n＝3** 到 **n＝1**，稱為 **L**$_\beta$；由 **n＝4** 到 **n＝1**，稱為 **L**$_\gamma$

2.巴耳摩系**(Balmer series)～～1885** 年發現：

(1)能量～～令 **n＝2** 且 **j＝3**，**4**，**5**，……

由 $\Delta \mathbf{E} = 13.6(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{j^2})$ **eV**

⇒當 **j＝3** 得最小值：$\mathbf{E_{min}}$**＝1.89 eV**

當 **j＝∞**得最大值：$\mathbf{E_{max}}$**＝3.4 eV**

(2)波長～～介於紫外線及可見光之間：

最短波長 $\lambda_{\mathbf{min}} = \frac{1.24\times10^4}{\Delta E_{\max}} = \frac{1.24\times10^4}{3.4} =$ **3647Å**

最長波長 $\lambda_{\mathbf{max}} = \frac{1.24\times10^4}{\Delta E_{\min}} = \frac{1.24\times10^4}{1.89} =$ **6561 Å**

⇒巴耳摩系波長之範圍：**3647 Å≦ λ ≦6561 Å**

(3)由 **n＝3** 到 **n＝2**，稱為 **H**$_\alpha$；由 **n＝4** 到 **n＝2**，稱為 **H**$_\beta$；

由 **n＝5** 到 **n＝2**，稱為 **H**$_\gamma$；由 **n＝6** 到 **n＝2**，稱為 **H**$_\delta$；此四條為可見光。

3.其他系

(1)帕申系**(Paschen series)～～**紅外線區**～～1908** 年發現

$$\mathbf{1.5\ eV} \geqq \Delta \mathbf{E} = \mathbf{13.6\ eV}(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{j^2}) \geqq \mathbf{0.66\ eV} \quad (\mathbf{j} \geqq \mathbf{4})$$

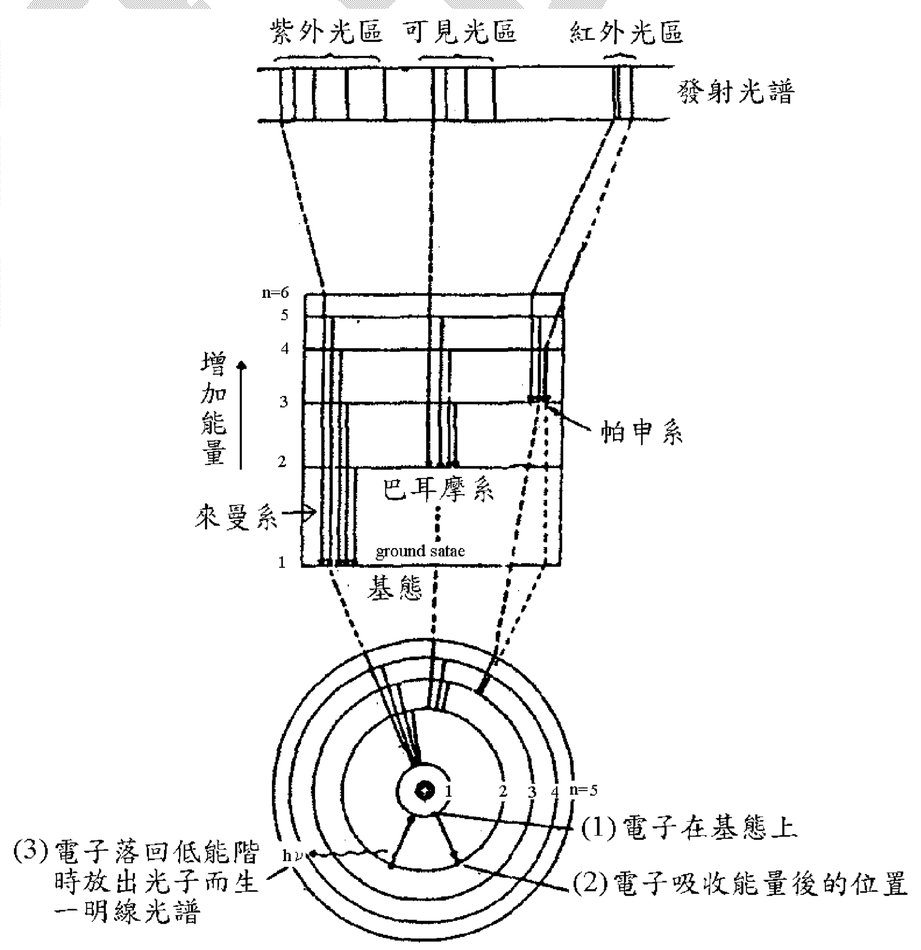
(2)布拉克系**(Brackett series)～～**紅外線區**～～1922** 年發現

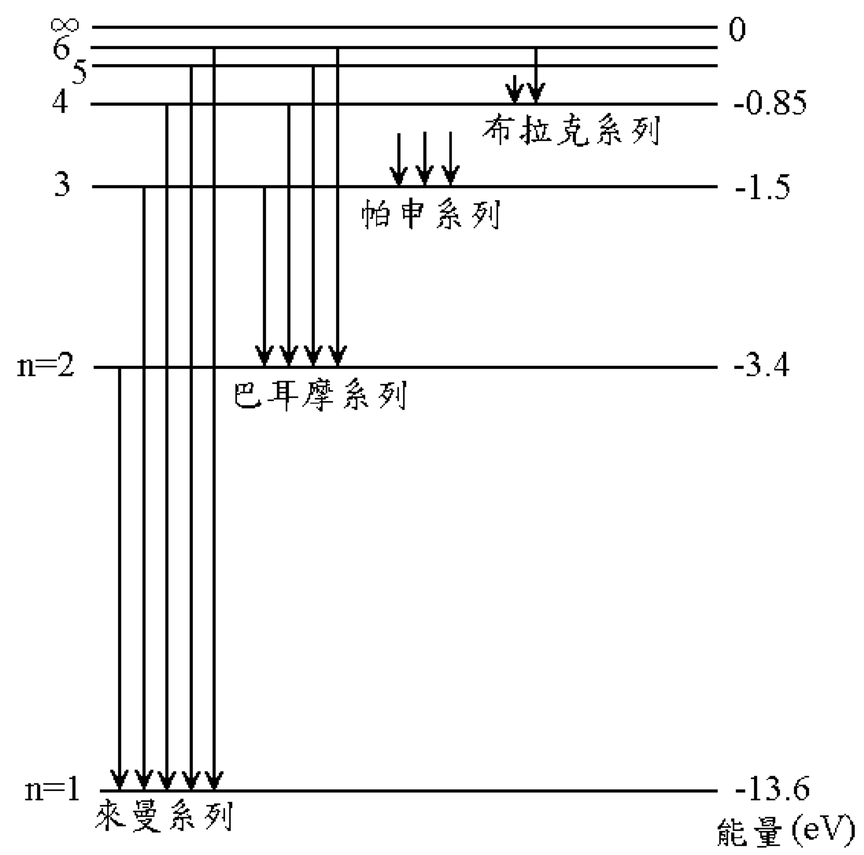
$$\mathbf{0.85\ eV} \geqq \Delta \mathbf{E} = \mathbf{13.6\ eV}(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{j^2}) \geqq \mathbf{0.31\ eV} \quad (\mathbf{j} \geqq \mathbf{5})$$

(3)蒲恩得系**(Pfvnd series)～～**紅外線區**～～1924** 年發現

$$\mathbf{0.54\ eV} \geqq \Delta \mathbf{E} = \mathbf{13.6\ eV}(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{j^2}) \geqq \mathbf{0.02\ eV} \quad (\mathbf{j} \geqq \mathbf{6})$$

※氫原子發射線光譜各線系與波耳能階圖的關係綜合如圖所示。





四、似氫原子的能階(hydrogenlike atoms)：

波耳同時也導出單電子原子[即僅含一個電子的原子(如 **H**)或離子(如 He^+)]的電子能階。

1. 由 $E_n = -\dfrac{2\pi^2 mk^2 Z^2 e^4}{h^2 n^2}$

$\Rightarrow$ 原子總內能 $\mathbf{E_n}$ 與原子核所帶電量(**Q＝Ze** 或原子序 **Z**)平方成正比。

$$\Rightarrow \frac{\text{單軌單電子原子或離子之能階}E_n'}{\text{氫原子能階}E_n} = \left(\frac{\text{似氫原子核電量}Z'e}{\text{氫核電量}Ze = e}\right)^2$$

$$= \left(\frac{\text{似氫原子之原子序}Z'}{\text{氫原子之原子序}Z = 1}\right)^2$$

註：任何原子假如核外只有 **1** 個電子，則其能階與氫的能階相似，此原子稱為似氫原子。

2. 此等似氫原子各能階之能量 **(eV)** $\Rightarrow E_n = -\dfrac{2\pi^2 mk^2 Z^2 e^4}{h^2 n^2} = -\dfrac{13.6Z^2}{n^2}$ **(eV)**

例：$\mathbf{He^+}$**(Z＝2)**的能階 $\Rightarrow E_n = -\dfrac{54.4}{n^2}$ **(eV)**

例：$\mathbf{Li^{+2}}$ **(Z＝3)**的能階 $\Rightarrow E_n = -\dfrac{122.4}{n^2}$ **(eV)**

五、波耳原子模型的缺點：

1. 只能解釋單電子原子或離子(如 **H**，$\mathbf{He^+}$，$\mathbf{Li^{+2}}$……)之光譜，對於多電子之光譜則無完滿的解釋。

2. 海增白在 **1927** 年提出的測不準原理證實電子在原子核周圍繞固定軌道運行之行星模型並不正確，應改以電子雲式(即電子在空間出現完全是機率問題)來描述較合理。

六、原子的受激與光子的放射：

1. 原子的受激：

(1) 以高能量的電子激發原子：

當電子能量大於原子的某一受激能時，電子即與原子作非彈性碰撞，以激發所需的能量傳遞給原子，使原子變成受激熊，剩餘能量由入射電子攜走。

(2) 加熱激發原子：

當氣體的溫度增高時，原子間的碰撞加劇，當溫度昇達某一程度時，有些原子的碰撞可能變為非彈悾碰撞～～碰撞時，能量的一部分轉變為兩原子(或其中一原子)的內能，而使原子自基態升至某一能階。

(3) 以光子激發原子：

光子的能量必須恰好等於原子的某一受激能，光子方可完全被吸收，而使原子升至某一受激態。若光子能量大於該原子之游離能，則產生光電效應。

2. 光子的放射：

(1) 當電子能量增高時，各原子可被激至第二或第三等的受激態。這種高能的原子，當其回復至基態時，可能是發射一個高能量的光子，也可能是發射數個能量等於各受激態能量差額的光子。

(2)在原子發射光子時，能量守恆定律仍然有效，即放出光子的能量 $h\nu$ 等於原子自較高能階降至較低能階所放出的能量，即　$E_{光子}=E_{初}-E_{末}$

(3)由於原子在較低能階間之跳躍機會較大，故較低受激態躍至基態時所發射之光子數較多，故此類明線較亮，尤其是原子由第一受激態遷移至基態時所發射的明線為元素的最亮明線。

註：各元素之原子在較高受激態時的能量差額較小，此時所發射的光子能量較小，波長較長。因此欲產生長波長的光譜線時，反而須用能量較大的電子撞擊元素之原子。

七、波耳原子結構理論的發展

在 **1913** 至 **1925** 年間波耳的理論，先由若干推展**(**如量子化條件的推廣；「空間量子化」；應用相對論解釋能態的精細結構；元素週期表的解釋等**)**而獲得更多極強力的證驗支持，繼則由於更多的研究結果**(**如所謂異常的則曼**(Zeemm)**效應；氫原子的能態和光譜等**)**所顯出的若干嚴重缺點，為更大的基本的改革舖路，卒於引致 **1925～6** 年量子力學的創建。

一位中年男子向醫師求救：**“**我老婆一直抱怨我的性能力日趨減退。**”**

醫生說**:“**別担心，這瓶药可以重振你的雄風。**”**

数天後，這名男子回來複診，他對醫生說：**“**太棒了！吃了你的药，現在我一天可以做好幾次！**”**

醫生說**:“**想來你老婆一定很滿意了。**”**

中年男子说**:“**不知道！從那時起我一直没空回家。**”**

女版：

有個太太向醫生訴苦，說她丈夫老了不能行房，醫生就给她一些药丸讓她帶回去给丈夫服用，看看效果如何。

一個星期後，這位太太又來了，說道：**“**大夫，药丸棒透了，一連六天他早、晚都和我　存**”**

“效果不壞嘛！**”**醫生高興的說

她答道：**“**對啊！簡直棒透了！就在他死前還和我玩了四次**”**

※波耳的氫原子模型

例 9.在波耳的氫原子模型中，由電子維持圓軌道運動的條件 $m\frac{v^2}{r}=\frac{ke^2}{r^2}$ 和圓軌道上的駐波條件 $rmv=n\frac{h}{2\pi}$，可以導出圓軌道半徑 r 和電荷 e 之間的關係。假設一個新的宇宙生成時，所有基本電荷的值為目前的 2 倍。那麼新宇宙中，氫原子的半徑為目前的值的：(A)1/2 (B)1/4 (C)1/8 (D)2 (E)4 倍。【72 日大甲】 (B)

類 1.在波耳的氫原子模型中，若電子的動能是 E，質量是 m，則 (A)電子的位能等於－E (B)電子的位能等於－2E (C)電子的總能量等於－E (D)電子的總能量等於－2E (E)電子的動能等於 $\sqrt{2mE}$ 。答：(B)(C)(E)

類 2.與波耳原子結構理論有關的下列敘述中，那些是正確的？ (A)電子繞原子核運行 (B)穩定態的能量值是不連續的 (C)在能量爲 E 的穩定態中，所發出的電磁波頻率 ν=E/h，h 爲蒲朗克常數 (D)穩定態軌道中的電子角動量 $L=\frac{h}{2n\pi}$ ，n 爲一整數，π 爲圓周率。【78 夜大】(A)(B)

類 3.下列哪些敘述是波耳在氫原子模型中提出的假設？ (A)原子核所帶正電量的量值等於原子內所有電子電量總和的量值 (B)電子所被允許存在的軌道是不連續的 (C)電子在穩定態時，其角動量等於 h／2π 的整數倍 (D)電子由一個穩定態躍遷至另一個穩定態時才會釋放電磁輻射 (E)電子繞原子核運行，類似行星繞太陽運行。答：(B)(C)(D)

類 4.波耳氫原子模型與拉塞福的行星模型，其最大的差異是： (A)電子的運動方式 (B)核的位置　(C)量子化的觀念 (D)核的電量。答：(C)

類 5.在波耳的氫原子模型中，氦離子（He^+）中的電子以圓形軌道繞行原子核。設此電子自基態躍遷至某一受激態，則下列電子的物理量中，躍遷後大於躍遷前的是 (A)位能 (B)動能 (C)物質波波長 (D)軌道運動之週期 (E)所受向心力之量值。【88 日大】(A)(C)(D)

類 6.在氫原子的能階公式 $E_n=-13.6/n^2$(電子伏特)中，係數 13.6 是從 $2\pi^2mk^2e^4/h^2$ 而得來的。假設有一種粒子，其質量爲電子質量的 200 倍，其帶電量與電子相同。若以此種粒子取代氫原子中的電子，則在基態時其能量爲：(A)-5.44×10^3 (B)-1.36×10^3 (C)-2.72×10^3 (D)-13.6 (E)-6.80×10^2 電子伏特。【72.夜大】(C)

※波耳的氫原子模型⇨r、v、T、E 的量子化

例 10.氫原子處於基態與第二受激態時，電子之 (A)速率比 1：3 (B)動能比 9：1 (C)軌道半徑比 1：9 (D)所需束縛能之比 1：3 (E)在核心處形成的磁場大小比 9：1。答：(B)(C)

類 1.氫原子核在基態時，其電子的(1)軌道半徑；(2)所受原子核的電力量值；(3)動能；(4)電子繞核的週期及電子繞核的週期及(5)在原子核形成的磁場量值各為何？（設氫核帶電量為 Q，電子的帶電量及質量各為 q 及 m，庫侖靜電力常數為 k）答：(1) $\frac{h^2}{4\pi^2 mkQq}$；(2) $\frac{16\pi^4 m^2 k^3 Q^3 g^3}{h^2}$；(3) $\frac{2\pi^2 mk^2 Q^2 g^2}{h^2}$；(4) $\frac{h^3}{4\pi^2 mk^2 Q^2 g^3}$；(5) $\frac{4\pi^2 mk^2 Q^2 g^3}{h^3}$

類 2.若卜朗克常數以 h 表示，當氫原子中之電子由基態躍至第一受激態時，其角動量值增加_____。答：h/2π

類 3.波耳在氫原子結構的理論中，引入了量子數 n。在此理論中，下列各物理量與 n 的關係何者正確？ (A)電子的軌道半徑與量子數 n 的平方成正比 (B)電子在軌道中的運動速率與量子數 n 成反比 (C)電子在軌道中的角動量與量子數 n 成反比 (D)電子的位能與量子數 n 的平方成正比 (E)當 n≫1 時，電子在相鄰兩能階間的能量差約與 n 的立方成反比。【81 日大】答：(A)(B)(E)

類 4.波耳在氫原子結構的理論中，引入了量子數 n。在此理論中，下列關係何者正確？(A)電子的位能與 n 成反比 (B)電子在軌道中的運動速率與 n^2 成反比 (C)電子軌道半徑與 n 成正比 (D)電子能階能量與 n^2 成正比 (E)電子在軌道中的角動量與 n 成正比。【79 日大】(E)

類 5.氫原子的電子繞原子核做圓周運動，經過由 n＝1 到 n＝3 的軌道躍遷之後，下列敘述何者為正確？ (A)電子的電位能增加 (B)電子的動能增加 (C)電子的總能量增加 (D)電子的角動量增加為原來的 9 倍 (E)電子繞原子核運動的週期增長為原來的 27 倍。【85 日大】答：(A)(C)(E)

類 6.在波耳的氫原子結構理論中，下列那個物理量與量子數 n 的三次方(n^3)成正比？ (A)電子能量　(B)電子角動量 (C)電子速率 (D)電子軌道半徑 (E)電子軌道運動的週期。【87 日大】(E)

※氫原子能階

【觀念&公式】

$$\Delta E=-13.6(\frac{1}{n^2}-\frac{1}{m^2})$$

例 11.一基態氫原子吸收光子後，其軌道半徑增大為原先的四倍，則所吸收的光子之能量為_____電子伏特。【80 日大】答：10.2

類 1.一基態氫原子(其能階值為$-\frac{mZ^2e^4}{8\varepsilon_0^2h^2}=-13.6$ 電子伏特)吸收一個 12.1 電子伏特之光子，成為受激態。此時其電子軌道半徑為原先之幾倍？ (A)1 (B)2 (C)3 (D)4 (E)9。【77 日大】答：(E)

類 2.波耳在氫原子結構的理論中，量子數為 n，當 n>>1 時，電子在相鄰兩能階的躍遷頻率 ν 與量子數 n 的關係為： (A) $\nu\propto n^{-3}$ (B) $\nu\propto n^{-2}$ (C) $\nu\propto n^{-3/2}$ (D) $\nu\propto n^{2}$。答：(A)

類 3.波耳氫原子模型中，電子在基態時的總能為 X，則在第一激發態時，

(1)電子與原子核之間的電位能為何？ (A)$\frac{1}{2}$X (B)$\frac{1}{4}$ 1/4X (C)2X (D)4X。答：(A)

(2)電子的總能為何？ (A)$\frac{1}{2}$X (B)$\frac{1}{4}$X (C)2X (D)4X。答：(B)

(3)電子的動能為何？ (A)$-\frac{1}{2}$X (B)$-\frac{1}{4}$X (C)$-$2X (D)$-$4X。答：(B)

類 4.氫原子中自 n=4 的能階移去電子，至少須能量_____eV。答：0.85

類 5.波耳在他的原子結構理論中，引進了量子數 n。如果一個氫原子從 n=1 態(能階值為-13.6 電子伏特)激發到 n=2 態，其電子的位能改變量(即 n=2 態的位能減去 n=1 態的位能)為：(A)-3.4 電子伏特 (B)-10.2 電子伏特 (C)+10.2 電子伏特 (D)-20.4 電子伏特 (E)+20.4 電子伏特。 【82 日大】(E)

類 6.在波耳之氫原子模型中，電子之位能 U，動能 T 與總能量 E 之間有下列關係(A)U=-T (B)E=-T (C)E=T+U (D)U=2T (E)E=T-U。【71.夜大】(B)(C)

※氫原子光譜

例 12.氫原子在基態時所能吸收的光線中，其波長最大值約為：(A)910 埃 (B)1200 埃 (C)2400 埃 (D)6600 埃 (E)12400 埃。【86 日大】答：(B)

類 1.一氫原子之電子在量子數 n＝4 之受激態，它可能放射出之電磁波最高頻率約爲_____赫。【89 日大】答：3.08×10^{15}

類 2.氫原子之游離能爲 2.17×10^{-18} 焦耳，試求：
(1)當氫原子之電子從第一受激態，跳回基態時，應放出多少焦耳的能量？
(2)此時所發出之特性光波之頻率爲若干？【60 夜大】答：(1)1.63×10^{-18} 焦耳；(2)2.45×10^{15} 赫

類 3.恰能使氫原子由基態升至第一受激態之電磁波是： (A)γ 射線 (B)紫外線 (C)綠光 (D)紅外線 (E)無線電波。【68 日大】(B)

類 4.氫原子由高能階($n=n_2$)躍遷至低能階($n=n_1$)時會放出光線，如果放出的光線在可見光範圍時，則 n_1 之值必須爲多少？(A)1 (B)2 (C)3 (D)4 (E)5 。【69.日大】(B)

類 5.一個氫原子由 n＝1 的狀態被激發到 n＝4 的狀態。當原子回到 n＝1 的狀態過程中，可能放出 (A)一個光子 (B)二個光子 (C)三個光子 (D)四個光子 (E)六個光子。答：(A)(B)(C)

類 6.波耳在氫原子結構理論中，引入了量子數，在此理論中，電子在軌道角動量與量子數之關係式爲_____，當電子由 n＝3 躍遷至 n＝2 時，原子將放出電磁波頻率爲_____。答：$mvr=n\cdot\dfrac{h}{2\pi}$，$4.5\times10^{14}$ 赫茲

類 7.當氫原子進行 n＝3 到 n＝1 的遷移時，所放射的光子的(1)動量量值及(2)最高頻率各爲多少？答：(1)6.43×10^{-27}(kg・m/s)；(2)2.91×10^{15}(Hz)

類 8.某靜止氫原子從 n＝4 的狀態降至 n＝1 狀態時放出一光子，此時，氫反跳的速率約爲_____m/s。答：4.1

※氫原子光譜⇨來曼系、巴耳麥系、帕申系…

例 13.氫原子光譜中來曼 α，來曼 β 及巴耳摩 H_α 之波長分別為 λ_1、λ_2 及 λ_3，則 λ_1＝_____。（用 λ_2 及 λ_3 表示）答：$\dfrac{\lambda_2\lambda_3}{\lambda_3-\lambda_2}$

類 1.若來曼系的最短波長為 x，則最長波長為多少？ (A)3/2x (B)4/3x (C)5/4x (D)6/5x。答：(B)

類 2.已知要將氫原子基態的電子游離時，可用的最長波長的光為 913 埃的紫外光。那麼從各受激態的來曼系光譜，其波長可用下列何式表示之？ (A) $\lambda=913\dfrac{n-1}{n+1}$ 埃 (B) $\lambda=913\dfrac{n+1}{n-1}$ 埃 (C) $\lambda=913\dfrac{n^2+1}{n^2-1}$ 埃 (D) $\lambda=913\dfrac{n^2}{n^2-1}$ 埃 (E) $\lambda=913\dfrac{n^2+1}{n^2}$ 埃。答：(D)

類 3.欲獲得巴耳麥系最小能量的光子，則用來激發氫原子的電子，其最小能量為多少？(A)1.9eV (B)10.2eV (C)12.1eV (D)3.4eV。答：(C)

類 4.下列有關氫原子光譜的敘述，何者正確？ (A)氫原子光譜是屬於吸收光譜 (B)氫原子光譜線皆屬於可見光區域的光 (C)巴耳麥系的光譜線有 4 條 (D)帕申系的光譜線落在紅外光區 (E)巴耳麥系的最短波長與帕申系的最短波長之比為 4：9。答：(D)(E)

類 5.在氫原子光譜巴耳麥系中，最短波與最長波長之比為多少？ (A)1：3 (B)3：5 (C)5：9 (D)9：11。答：(C)

類 6.下列粒子中，哪些可以激發基態氫原子，產生巴耳麥系的 H_β 光譜線？(A)2.55 eV 的光子 (B)12.75 eV 的光子 (C)13eV 的光子 (D)12.75eV 的電子 (E)13eV 的電子。答：(B)(D)(E)

類 7.在氫原子光譜帕申系中，最短波長與最長波長之比為多少？ (A)3：5 (B)7：16 (C)5：7 (D)5：16。答：(B)

類 8.關於氫原子的構造與特性，下列敘述何者正確？ (A)萊曼線系為紫外線 (B)巴耳麥線系部分為可見光，且波長最大的一條為 6563Å (C)令氫原子游離所需光之最大波長為 912Å (D)氫原子基態半徑為 0.53Å (E)氫原子能量由波耳假設可推導為 $E=-\dfrac{13.6}{n^2}$ e.V.。答：(A)(B)(C)(D)(E)

※類氫原子

例 14.以某固定頻率之電磁波照射氫原子，恰可使處於基態之氫原子的電子游離，今以相同頻率之電磁波照射激發態之鋰離子（Li^{2+}），發現亦可將其電子游離，但較低頻率之電磁波卻無法將之游離，則該鋰離子所處狀態的量子數 n 為多少？ (A)2 (B)3 (C)4 (D)6 (E)9。【84 日大】答：(B)

例 15.已知將氦原子中的兩個電子完全除去所需之總能量為 79 電子伏特，則僅除去第一個電子時，所需之能量為若干？ (A)20.4 電子伏特 (B)24.6 電子伏特 (C)39.5 電子伏特 (D)65.4 電子伏特。【70 日大】答：(B)

類 1.若一氫原子(H)的電子從 n=2 的穩定態躍遷至 n=1 的穩定態時，所放出的光子能量爲 E。則一氦離子(He^+)的電子從 n=3 的穩定態躍遷至 n=2 的穩定態時，所放出光子的能量約爲：(A)0.37E (B)0.42E (C)0.53E (D)0.74E (E)0.84E。【83.日大】(D)

類 2.氫原子和氦離子(He^+)所發射的光譜都有巴耳摩系光譜。設兩者的最長光譜波長分別爲 λ_1 及 λ_2，則 (A) $\lambda_2=\frac{1}{2}\lambda_1$ (B) $\lambda_2=2\lambda_1$ (C) $\lambda_2=\frac{1}{4}\lambda_1$ (D) $\lambda_2=4\lambda_1$ (E) $\lambda_2=16\lambda_1$。【64 日大】(C)

類 3. H 原子及 He^+離子所發出的光譜有互相對應的能階。兩者能量的比 $\frac{E_H}{E_{He^+}}$ 約爲 (A)$\frac{1}{6}$ (B)$\frac{1}{4}$ (C)$\frac{1}{2}$ (D)2 (E)4。【68.夜大】(B)

類 4. Li^{2+} 離子各能階的能量是氫原子對應能階能量的: (A)3 倍 (B)9 倍 (C)4 倍 (D)1/3 倍 (E)1/9 倍。【70.夜大】(B)

類 5.溫度夠高時，兩個氦原子會因非彈性碰撞而激發其中一原子，至第一激發態。氦的第一激發態比基態高出 19.8eV。所以此高溫約爲_____K。（用數量級表示即可）答：10^5

類 6.單電子繞氦原子核的最小軌道半徑與單電子繞鋰原子核的最小軌道半徑之比爲_____。答：3：2

24-4 物質波在波耳氫原子模型的應用

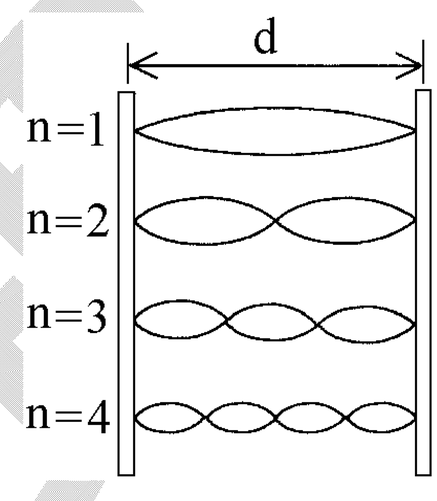
一、形成駐波之條件：

1.一度空間之能階：

一質量 **m** 之質點，欲在相距 **d** 之兩固定壁間穩定存在，即沒有能量之損失，則必須形成駐波。

(1)直線上之駐波兩固定端之距離 **d** 必須為半波長之整數倍～～下頁圖所示。

$\Rightarrow \mathbf{d}=\dfrac{n\lambda}{2}$　　$\mathbf{n=1，2，3，\cdots\cdots}$



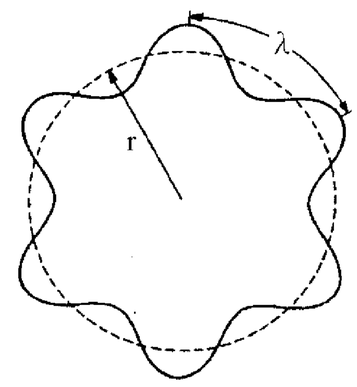
(2)駐波之條件 $\lambda=\dfrac{2d}{n}$

(3)質點之雙重性 $\lambda=\dfrac{h}{p}=\dfrac{h}{mv}$

(4)質點之動能 $\mathbf{E_k}=\dfrac{1}{2}\mathbf{mv^2}\ \Rightarrow\ \mathbf{E_k}=\dfrac{n^2h^2}{8md^2}$　　$\mathbf{n=1，2，3，\cdots\cdots}$

$\Rightarrow$故此種運動具有能階，與原子相似。而最低之能量為 $\mathbf{n=1}\ \Rightarrow\ \mathbf{E_k}=\dfrac{h^2}{8md^2}$

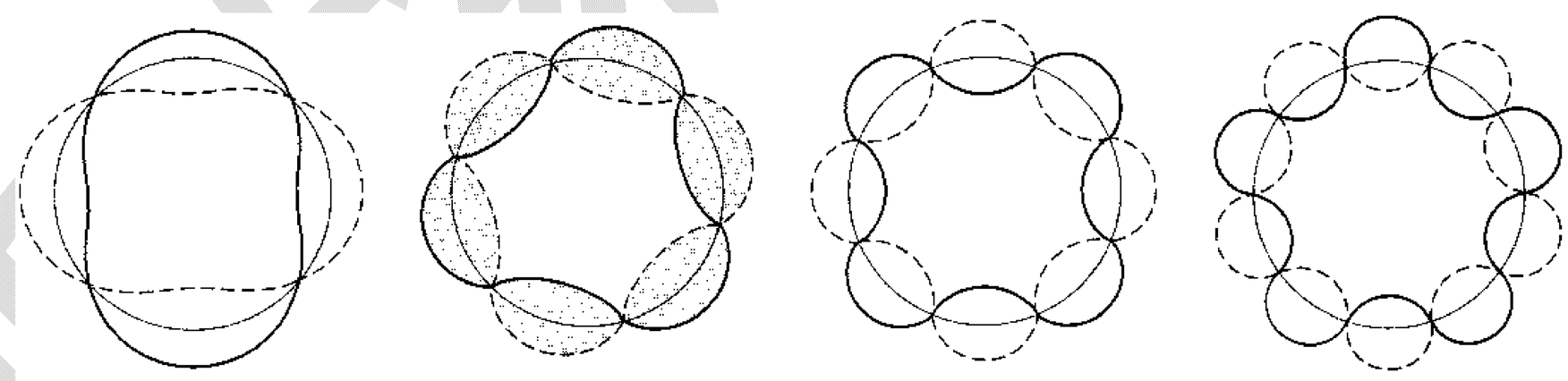
2.沿圓周之駐波～～如圖所示。



(1)繞波道運行之波，回到出發點，因此波峰與波峰、波谷與波谷重疊。波道長即為波長之整數倍。

(2)若波道不為波長之整數倍，則波不一同回至出發點，因此波只能互相抵消，而不產生固定之式樣。

(3)圓周長必須為波長之整數倍。$\Rightarrow \mathbf{2\pi r=n\lambda}=\dfrac{nh}{mv}$　　$\mathbf{n=1，2，3，\cdots\cdots}$



$n=2$　　$n=3$　　$n=4$　　$n=5$

電子的物質波在穩定軌道上所形成的駐波形狀，電子軌道的圓周長度恰為物質波波長的整數倍。

二、原子能階之形成觀念：

1.原子只有在基態時穩定，處於激發態時不穩定，故很迅速又放出能量而回至基態。

2.穩定態時之原子，其電子在軌道上運動所產生之物質波，若欲其不發射而損失能量，則須在軌道上形成駐波。

3.電子在軌道上形成駐波，則原子有能階。

a.粒子性：假定電子是以原子核為中心，作半徑為 **r** 的圓周運動

由 $\dfrac{kq_eq_N}{r^2}=\dfrac{mv^2}{r}$

得　動能 $\mathbf{E_k}=\dfrac{1}{2}\mathbf{mv^2}=\dfrac{kq_eq_N}{2r}$　　位能 $\mathbf{U_e}=\dfrac{kq_eq_N}{r}$　　總能 $\mathbf{E}=\mathbf{E_k}+\mathbf{U_e}=-\dfrac{kq_eq_N}{2r}$

式中 **v** 表電子速率，**m** 為電子質量，$\mathbf{q_e}$ 及 $\mathbf{q_N}$ 則分別表電子及原子核電量

b.駐波的條件 $\Rightarrow \mathbf{n}\lambda=\mathbf{2}\pi\mathbf{r}$　　λ：電子的物質波波長

c.波與粒子的二象性 $\Rightarrow$ 德布羅衣波長：$\lambda=\dfrac{h}{mv}$

則綜合 **a.b.c.** $\Rightarrow \mathbf{E}=-\dfrac{2\pi^2k^2mq_e^2q_N^2}{n^2h^2}$

註：若為氫原子則將 $\mathbf{m}=\mathbf{9.11\times10^{-31}}$ 公斤；$\mathbf{h}=\mathbf{6.62\times10^{-34}}$ 焦耳-秒

$\mathbf{q_e}=\mathbf{q_N}=\mathbf{1}$ 基本電荷；$\mathbf{k}=\mathbf{2.306\times10^{-28}}$ 牛頓-公尺 ^{2}/(基本電荷)^2

代入上式，並將 **E** 之單位化為電子伏特，則得

$\mathbf{E}=-\dfrac{13.6}{n^2}$ **(eV)**　(以游離時的能量為零(式中 $\mathbf{n}\to\infty$ 時 $\mathbf{E}\to\mathbf{0}$))

※由 $\mathbf{2}\pi\mathbf{r}=\mathbf{n}\lambda$　；$\dfrac{kq_eq_N}{r^2}=\dfrac{mv^2}{r}=\dfrac{(mv)^2}{mr}=\dfrac{(h/\lambda)^2}{mr}\underset{\text{消去r}}{\Rightarrow}\lambda=\dfrac{nh^2}{2\pi mq_eq_N}$

三、物質波的應用～～解決拉塞福原子模型的困難

當應用 α 質點做探測原子的散射實驗時，若 α 質點動能過大，而使其過於接近原子核，則散射後的 α 質點的分佈型態就完全不同，在各角度內的散射質點數與用庫侖力場理論所得的結果完全不合。根據物質波理論，這是因為 α 質點在此種能量此種波長下，明顯的呈現了它的波動性，它可以在原子核處發生繞射，不能遵守庫侖力作用的法則。因此物質波理論可解決拉塞福原子模型所遭遇的困難問題之一。

※氫原子軌道的物質波

例 16.若 a 為波耳模型中量子數 n=1 圓形軌道之半徑，則在 n=3 圓形軌道上電子之物質波波長為：(A)6π a (B)12π a (C)18π a (D)3a (E)9a。【71 日大】(A)

類 1.若 m，E，k，h 各表示電子的質量，電子的總能量（其位能以無窮遠處爲零）庫侖定律中的常數，及卜朗克常數，則原子中電軌道半徑 r 和代表電子的駐波波長 λ 之比爲 r/λ，試回答下列問題:(1) r/λ＝_____。(2)若 r/λ＜1，則波動性和粒子性中，較顯著的是_____性。答：(1)n/2π；(2)波動

類 2.波耳氫原子模型中，第一激發態與第二激發態的物質波長比爲多少？ (A)2：3 (B)4：9 (C)3：2 (D)9：4。答：(A)

※其他的物質波

例 17.一電子質量為 m，被限制於一長度為 ℓ 的線段內往復自由運動。在穩定態時，此電子的物質波在此線段內形成駐波(線段兩端點為節點)，則此電子的第一激態能量為？(以 m，ℓ 及蒲朗克常數 h 表示之)【81 日大】答：$\dfrac{h^2}{2m\ell^2}$

類 1.假設原子核為一邊長 R 的方形盒，所有中子和質子都被關在盒子中，則原子核內中子的最小動能 E 和 R 之關係為:(A) $E\propto\sqrt{R}$ (B) $E\propto R$ (C) $E\propto R^2$ (D) $E\propto\dfrac{1}{R}$ (E) $E\propto\dfrac{1}{R^2}$。【64 日大】答：(E)

類 2.質量為 m 的帶電粒子，在相隔 d 的兩個固定壁間運動，因而產生輻射。此粒子由第一激發態回至基態時的輻射頻率為：(A) $\dfrac{h}{2md^2}$ (B) $\dfrac{h}{4md^2}$ (C) $\dfrac{h}{8md^2}$ (D) $\dfrac{3h}{8md^2}$ (E) $\dfrac{2h}{md^2}$。【70. 夜大】答：(D)

類 3.一電子以 v 的速度在均勻且不隨時間變化的磁場 B 內，垂直於磁場而運動。

(a)設電子質量為 m，證明此電子的角動量為 $L=\dfrac{(mv)^2}{eB}$，其中 e 為電子電量的絕對值。

(b)假設電子的運動也遵守波耳對氫原子結構所作的一個假設，即電子的角動量 $L=n\dfrac{h}{2\pi}$，n 為正整數，h 為卜朗克常數，則此電子由第一激發態（n=2）躍遷至基態（n=1）時，若發射出電磁波，則其頻率為多少？答：(a) $\dfrac{(mv)^2}{eB}$；(b) $\nu=\dfrac{eB}{4\pi m}$

類 4.一電子質量為 m，被限制於一長度為 ℓ 的線段內往復自由運動。在穩定態時，此電子的物質波在此線段內形成駐波（線段兩端點為節點），則(1)此電子的第一激態能量為_____（以 m、ℓ 及卜朗克常數 h 表示之）。(2)電子由第二激態回到第一激態放出電磁波的頻率為_____。答：(1) $\dfrac{h^2}{2m\ell^2}$；(2) $\dfrac{5h}{8m\ell^2}$

吳錫玠物理

24-5 夫然克-赫茲實驗

一、電子&光子對原子的激發

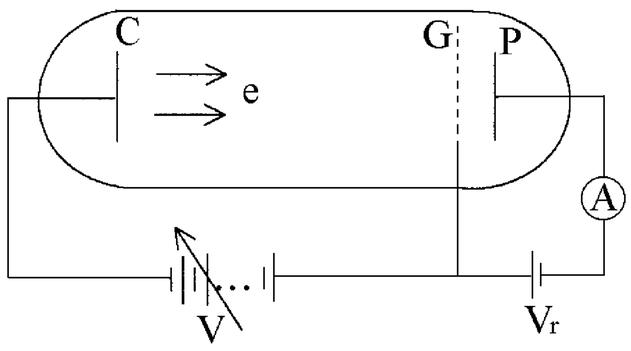
電　子　激　發		光　子　激　發	
入射電子之能量未達原子之第一受激能	電子作彈性散射	入射光子之能量未達原子之第一受激能	光子作彈性散射
入射電子之能量恰等於原子之某一受激能	電子可作彈性散射，或原子可接受能階之能量差，提升至某一受激能，剩餘能量由入射電子帶走。	入射光子之能量恰等於原子之某一受激能	光子可作彈性散射，或原子可接受能階之能量差，提升至某一受激能，入射光子消失。
入射電子之能量超過原子之某一受激能，而非恰等於原子之某一受激能	同上。	入射光子之能量超過原子之某一受激能，而非恰等於原子之某一受激能	光子作彈性散射，原子不接受其能量。
入射電子之能量超過原子之游離能	原子可接受其能量而游離，入射電子與游離電子，共享多餘之動能。	入射光子之能量超過原子之游離能	原子可接受其能量而游離，入射光子消失，多餘能量成為游離電子之動能。

二、原子穩定能態之存在～夫然克和赫茲(Franck-Hertz)實驗～1914 年完成：

1. 實驗的目的：

不用光譜而用電子碰撞法，直接的證實穩定態的真實性。

2. 實驗裝置及原理～～如圖所示。



(1) 圖中 **C** 為負極，電子 **e** 由 **C** 放出，經一電場，加速奔向柵狀的正極 **G**，改變 **G** 和 **C** 間的電壓 **V**，可使電子抵達 **G** 柵時獲得不同的動能 $\frac{1}{2}mv^2 = eV$

(2)P 為收集電子的屏極，**P** 與 **G** 間有一小電位差 V_r，其方向係使電子在 **GP** 間返回 **G**。由 **C** 至 **P** 的電子電流，以電流計測定之。

(3)C，**G**，**P** 皆在低氣壓的管中，管內有汞蒸氣。

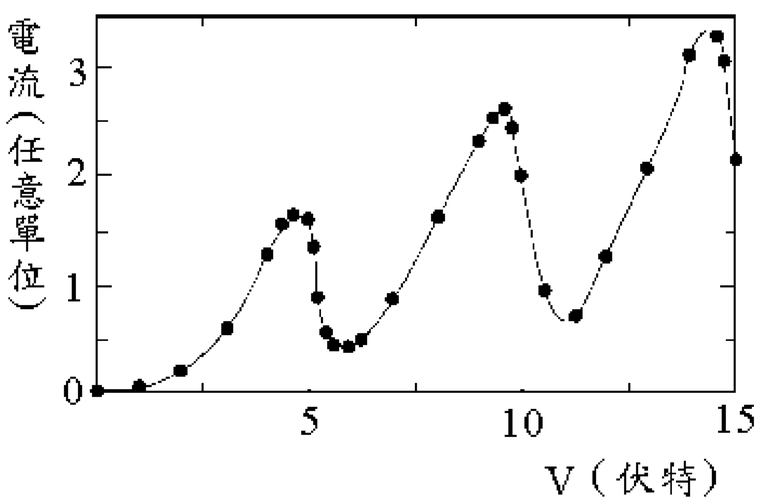
(4) 實驗乃係漸增加電壓 **V** 值，量 **CP** 間的電流。

3. 實驗結果～～如圖所示：

(1) 圖中曲線當 **V** 增至 **4.90** 伏特時，電流突然減低。

◎原因：

當電子由 **C** 至 **G** 的電場獲得 **4.9eV** 的動能時，電子將汞原子由最低的能態(稱為基態)激發至第一個受激態，電子失掉了 **4.9 eV** 的動能，不能抵抗 **GP** 間的電壓 **V**，而抵達 **P**，故電流突降。

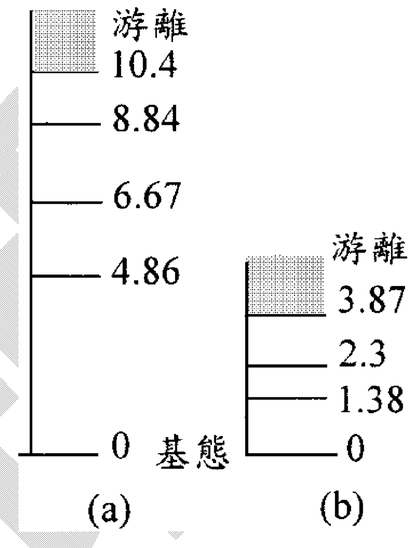


(2)圖中曲線在 **V＝9.8** 伏特處復突下降。

◎原因：電子在 **CG** 途中第一次獲足 **4.9eV** 的動能時，激發汞原子如上述，至第二次的獲得 **4.9eV** 的動能時，又可激發其他汞原子，曲線又下降如前。

註：**(a)Franck-Hertz** 的實驗，可推廣至汞之外的其它原子及分子。由類似前頁圖示的結果，可直接得知該原子或分子的能態**(**穩定態**)**。

(b)以準確性言，光譜分析自然遠高於電子碰撞的方法。但法朗克-赫茲的實驗，提供了光譜分析之外的一個直接方法，明示穩定態的存在，實有基本的重要意義。



三、結論：

1.原子之內能無法作連續性的改變，僅能作階梯式的增減。

2.各種原子各有其一組接受能量的數值，此為各該原子的特性之一。

3.原子能階～～穩定態：

(1)汞原子之能階**(**右圖**(a))**

(2)　原子之能階**(**右圖**(b))**

※夫然克-赫茲實驗

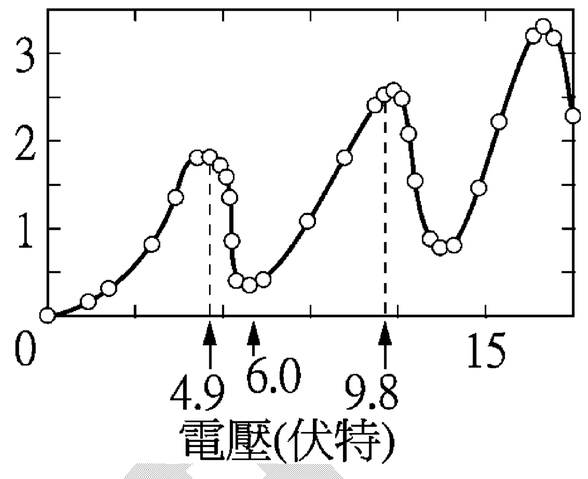
例 18.有關法朗克－赫茲的汞原子之電子激發實驗結果，直接證實了： (A)粒子的波動性 (B)波動的粒子性 (C)原子之穩定態的存在 (D)拉塞福原子模型的正確性。答：(C)

類 1.下列有關近代物理實驗的敘述中，何者為正確？ (A)在光電效應實驗中，只要照射光的頻率大於低限頻率ν_o，就可立即產生光電子 (B)在光電效應實驗中，若照射光的頻率小於低限頻率ν_o，則需照射一段時間後，才能產生光電子 (C)在夫然克－赫茲的實驗中，以電子與管中的汞原子發生碰撞；從電流的變化形態，證實了汞原子穩定態的存在 (D)在康卜吞的實驗中，電子束穿過石墨時，因石墨中原子的排列有規則性，而產生繞射 (E)湯木生用以測定電子荷質比（e/m）的實驗原理與方法，也曾被用以證實同位素的存在。【87 日大】答：(A)(C)(E)

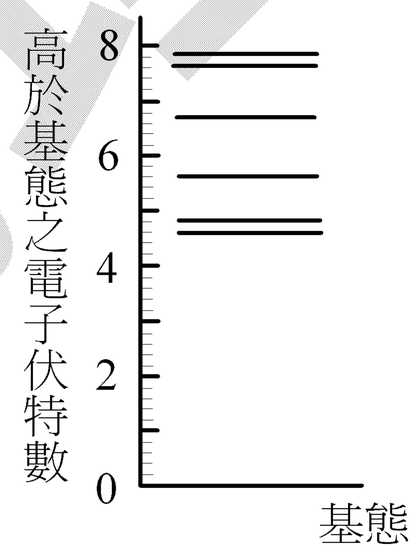
類 2.下列幾個有關近代物理實驗的敘述，何者為正確？ (A)康普頓效應實驗中，散射 X 射線波長的改變值與入射 X 射線的波長成正比關係 (B)原子核衰變時，每放出一個α粒子，原子核的原子序減少 2；但每放出一個β粒子，原子序則增加 1 (C)拉塞福散射實驗中，α粒子受一極薄的金箔散射後，有些α粒子以大於 90° 散射角射出。 (D)光電效應的實驗中，改變照射光的波長會改變光電流的截止電壓 (E)在法朗克與赫茲的實驗中，電子在穿過汞蒸氣時，其動能的損失是某特定能量的整數倍。【88 日大】(B)(C)(D)(E)

※夫然克-赫茲實驗⇨汞原子能階

例 19.如附圖描寫汞原子的夫然克－赫茲實驗中，電壓由 0 開始漸增時，電流變化的情形。下列敘述何者為正確？ (A)原子基態能量約為－4.9 電子伏特 (B)原子的第一激發態能量比基態能量高約 4.9 電子伏特 (C)原子的基態能量約為－6.0 電子伏特 (D)原子的基態能量比第一激發態能量低約 6.0 電子伏特 (E)被加速的電子從負極到柵狀正極途中，共激發了兩個汞原子。【85 日大】答：(B)



類 1.汞原子的主要能階如右圖所示，則下列敘述中何者爲正確？(A)以動能爲 6.0 電子伏特之電子撞擊處於基態之汞原子，如電子之動能變爲 1.1 電子伏特，則其動能的損失大部分變爲汞原子的動能 (B)以動能爲 3.0 電子伏特之電子撞擊處於基態之汞原子，撞擊後電子之動能幾乎不變 (C)以動能爲 6.0 電子伏特之電子撞擊處於基態之汞原子，汞原子必定會躍升至受激態 (D)以能量爲 7.2 電子伏特之光子撞擊處於基態之汞原子，汞原子必定會躍升至受激態。【75 日大】(B)



類 2.汞原子的第一激發能階是 4.86eV，以能量爲 3.86eV 的電子射向處於基態的汞原子，則: (A)可激發汞原子，且電子獲得 1.00eV 的能量 (B)不能激發汞原子 (C)汞原子被激發的機率約爲 $\frac{4}{5}$ (D)汞原子被激發而電子消失成爲能量 (E)可以激發汞原子，而電子留在汞原子軌道上。【66 夜大】(B)

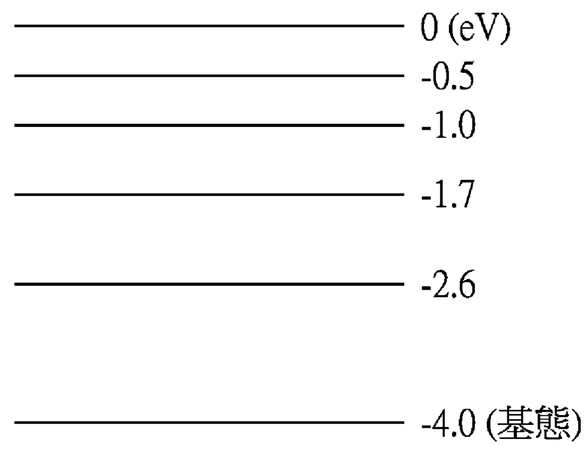
類 3.汞原子之第一受激能階高於其基態之能量爲 4.86eV，設動能爲 6.4×10^{-12} 爾格之電子與汞原子碰撞，則碰撞後電子的動能約爲若干？

類 4.(1)汞原子之激發能爲 4.9、6.7、8.8 電子伏特。今以電子打擊汞原子時，發現所測光譜中有能量爲 1.8 電子伏特之光子。則入射電子之能量可能爲： (A)3.9 電子伏特 (B)4.9 電子伏特 (C)6.7 電子伏特 (D)8.8 電子伏特 (E)10 電子伏特。
(2)同上題，若改以光子照射汞原子則答案又如何？ (A)3.9 電子伏特 (B)4.9 電子伏特 (C)6.7 電子伏特 (D)8.8 電子伏特 (E)10 電子伏特。答：(1)(C)(D)(E)；(2)(C)(D)

類 5.汞原子之能階中第一受激態比基態高出 4.9 電子伏特，第二受激態比基態高出 6.7 電子伏特。若以動能爲 6.2 電子伏特之電子束射入處於基態之汞原子區域，則穿過此區域之電子其能量可能爲：(A)0.5 電子伏特 (B)1.3 電子伏特 (C)4.9 電子伏特 (D)6.2 電子伏特。【70 日大】(B)(D)

※電子對原子的激發

例 20.某原子的能階能量如附圖所示，為－4.0eV、－2.6eV、－1.7eV、－1.0eV 及－0.5eV。若以能量為 2.5eV 的電子激發在基態的原子，當此原子躍遷回至基態時，可能放出的光之波長為 (A)8860 埃 (B)5390 埃 (C)4310 埃 (D)3100 埃 (E)2800 埃。【83 夜大】答：(A)(B)



類 1.設有一原子的基態能階爲 0 電子伏特，而其具有兩激發能階 2 電子伏特和 5 電子伏特。今有一動能爲 6 電子伏特的電子與此原子碰撞。碰撞後的電子動能可能爲: (A)1 電子伏特 (B)2 電子伏特 (c)4 電子伏特 (D)5 電子伏特 (E)6 電子伏特。【65.日大】(A)(C)(E)

類 2.氫原子的能階公式爲 $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ 電子伏特。茲以動能爲 12.5 電子伏特的電子束射入處於基態的氫氣中。氫氣可能發射出的光的能量爲:(A)4.9 e.V. (B)10.2 e.V. (C)12.1 e.V. (D)15.1 e.V. (E)1.9 e.V.。【72 夜大】(B)(C)(E)

類 3.若以 m→n 代表氫原子從能階 E_m 躍遷至能階 E_n，並以 n=1 代表基態、n=2 代表第一受激態……，則以能量 13.00 e.V.之電子撞擊處於基態之氫原子後，受激發之氫原子可能發生之躍遷有那些？(A)2→1 (B)3→2 (C)4→1 (D)4→3 (E)6→4。【73 日大】(A)(B)(C)(D)

類 4.使用動能爲 12.9 電子伏特的電子激發氫原子，則：(A)激發後，電子仍可保持的能量爲 0.2、0.8、2.7 電子伏特等三種 (B)氫原子可被激發至第四激發態 (C)被激發的氫原子可輻射出六種不同能量的光子 (D)若以 12.9 電子伏特的光子代替電子，則氫原子無法被激發 (E)若以 12.1 電子伏特的光子激發氫原子，則可激發至第一、第二的兩個激發態。【73 夜大】(C)(D)(E)

類 5.有一個獵人要射一個紅鬼和二個青鬼,一個紅鬼要二顆子彈,一個青鬼要一顆子彈,加起來要四顆子彈,可是獵人只有三顆子彈他要怎麼辦才能射到紅鬼和青鬼???

答案很甘單：就是先把二個青鬼射死,到時候紅鬼就會臉色發青,那就可以用一發子彈把紅鬼射死力!

吳錫玠物理