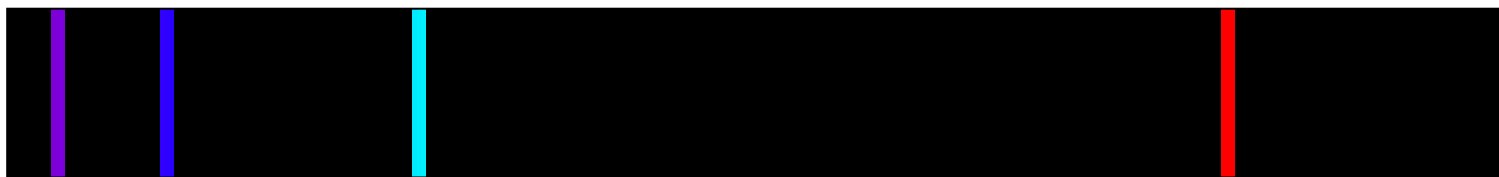


## 22.4 氢原子光谱(旧教材P281)

原子在热激发或电激发下，发射不同频率(波长)的电磁波，这些电磁波的排列构成了原子光谱。

### ► 氢原子光谱的实验规律

410.2   434.0   486.1                      656.3                      nm



$H_{\delta}$     $H_{\gamma}$

$H_{\beta}$

$H_{\alpha}$

□ 1885年巴尔末 (Balmer) 找到了一个经验公式:

$$\lambda = B \frac{n^2}{n^2 - 4} \quad (B=364.57\text{nm}, n=3, 4, 5\ldots)$$

可见光

如  $n=3$ :  $\lambda_{\alpha} = 656.2\text{nm}$        $n=4$ :  $\lambda_{\beta} = 486.1\text{nm}$



华南理工大学  
South China University of Technology

# 氢原子光谱

定义波数  $\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$  ( $k=1, 2, 3, \dots$   $n=2, 3, 4, \dots$ ,  $k < n$ )

$R = 4/B = 1.096776 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$  里德伯常数 ——里德伯公式

巴尔末公式  $\lambda = B \frac{n^2}{n^2 - 4} \rightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{4}{B} \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$

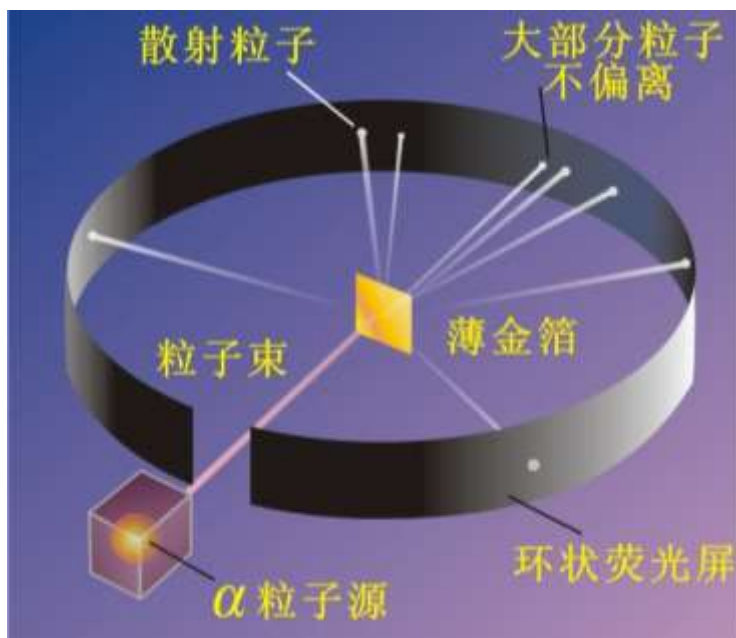
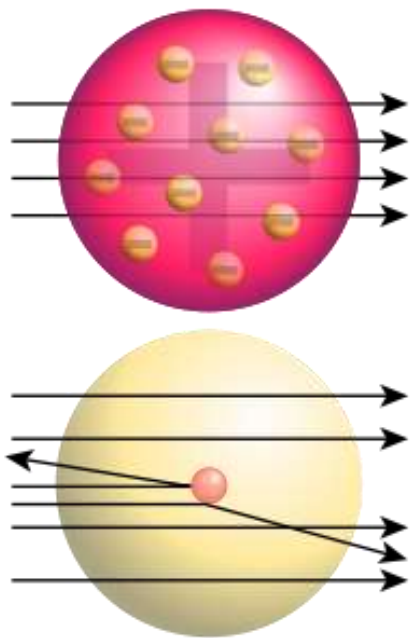
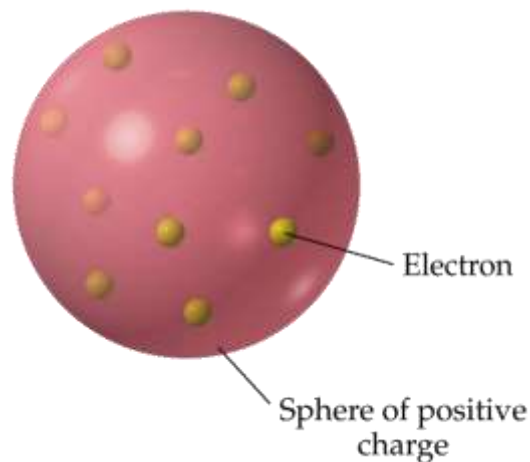
$k$	$n$	光谱系	区域	日期
1	$\geq 2$	赖曼 (Lyman) 系	紫外	1906年
2	$\geq 3$	巴尔末 (Balmer) 系	可见	1853年
3	$\geq 4$	帕邢 (Paschen) 系	近红外	1908年
4	$\geq 5$	布喇开 (Brackett) 系	红外	1922年
5	$\geq 6$	普芳德 (Pfund) 系	远红外	1924年



# 原子模型

## ➤ 汤姆逊的“枣糕”模型

整个原子呈胶冻状的球体，正电荷**均匀**分布于球体上，而电子**镶嵌**在原子球内，在各自的平衡位置附近做简谐振动，并发射同频率的电磁波。



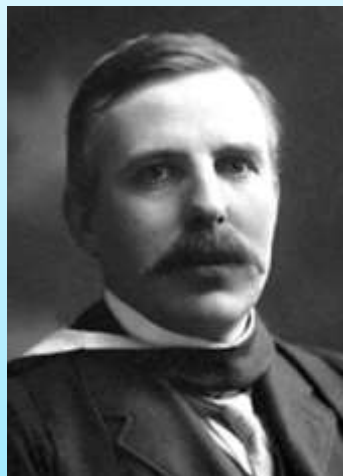
1909年,卢瑟福  
 $\alpha$ 粒子散射实验



华南理工大学  
South China University of Technology

# 卢瑟福原子模型

卢瑟福 (E.Rutherford, 1871—1937)

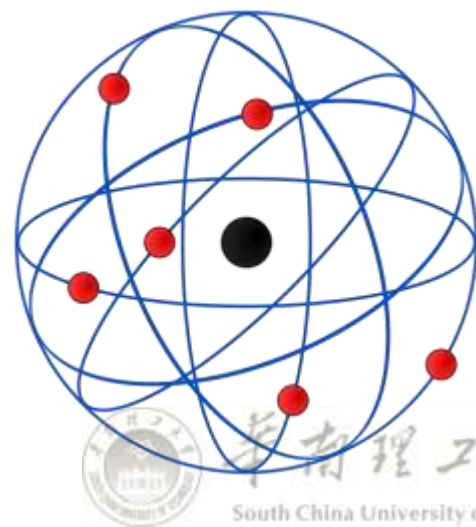


英国物理学家，1899年发现铀盐放射出 $\alpha$ 、 $\beta$ 射线，提出天然放射性元素的衰变理论和定律。

根据 $\alpha$ 粒子散射实验，提出了原子的有核模型，把原子结构的研究引上了正确的轨道，被誉为原子物理之父。

## ➤ 卢瑟福的核式结构模型

原子由原子核和核外电子构成，原子核带正电荷，占据整个原子的极小一部分空间，而电子带负电，绕着原子核转动，如同行星绕太阳转动一样。

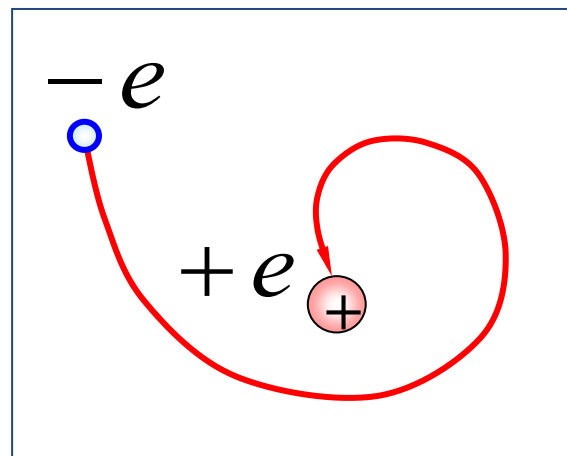


华南理工大学  
South China University of Technology

# 经典物理的困难

➤根据经典电磁理论，电子绕核作匀速圆周运动

- 不断向外**辐射**电磁波
- 发射光谱应是**连续**谱
- 原子**不**稳定



**玻尔** (Bohr Niels, 1885—1962)



丹麦物理学家，现代物理学的创始人之一，提出关于原子稳定性和量子跃迁理论的**三条假设**，成功地解释了**氢原子光谱**的规律。1922年获诺贝尔物理学奖。

# 玻尔的氢原子理论

## □定态假设

原子系统处于一系列不连续的能量状态 $E_n$ (量子数 $n=1,2,3\dots$ )，电子绕核做不同半径的匀速圆周运动，但不辐射电磁波，这些状态称为原子的稳定状态（定态）。

## □量子跃迁假设

当原子从一个定态 $E_n$ 跃迁到另一定态 $E_k$ ，才会发射或吸收电磁波，光子的频率：

$$\nu = |E_n - E_k|/h \quad \text{玻尔频率公式}$$

## □轨道角动量量子化假设

电子绕核作圆周运动的角动量 $L$ 等于 $h/2\pi$ 的整数倍。

$$L = n \frac{h}{2\pi} = n\hbar, n = 1, 2, 3, \dots$$





# 电子轨道半径



圆周运动  $F_{\text{向心}} = m \frac{v^2}{r} \rightarrow \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = m \frac{v^2}{r}$

量子化假设  $L = n \frac{h}{2\pi} \rightarrow mvr = n \frac{h}{2\pi}$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = m \frac{v^2}{r} \\ mvr = n \frac{h}{2\pi} \end{array} \right\} r_n = n^2 \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi m e^2} \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

电子绕核运动的轨道半径是**分立**的（**量子化**）。

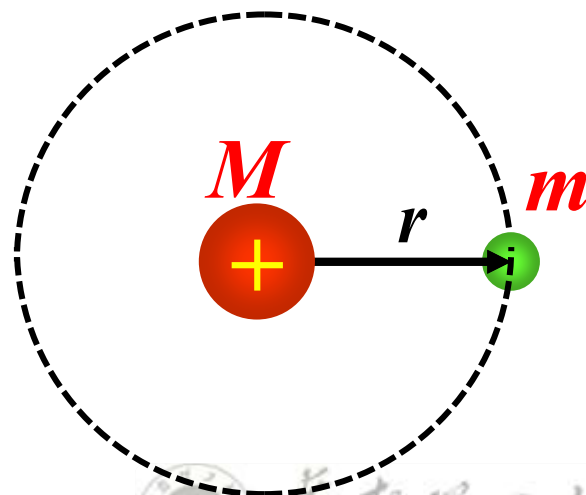
注意：

①  $n=1$  的轨道  $r_1$  称为**玻尔半径**。

$$r_1 = 5.29 \times 10^{-11} (m)$$

② 量子数为  $n$  的轨道半径

$$r_n = n^2 r_1$$



华南理工大学  
South China University of Technology

# 定态能量

当原子处在量子数为 $n$ 的状态，其能量：

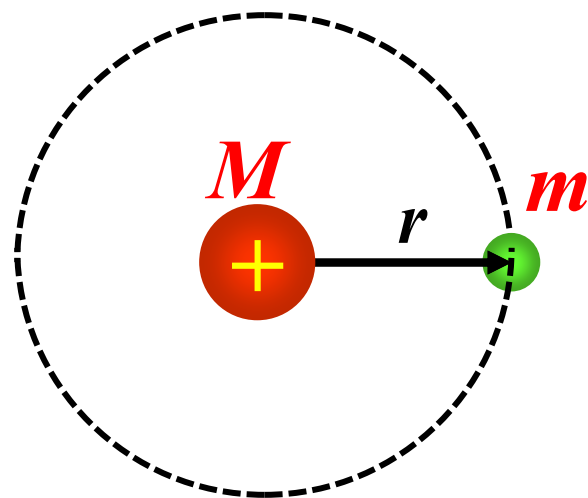
$$E_n = \frac{1}{2}mv^2 + \left(-\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n}\right)$$

圆周运动  $\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = m \frac{v^2}{r}$

$$E_n = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r_n}$$

电子轨道半径  $r_n = n^2 \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi m e^2}$

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{m e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2} \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

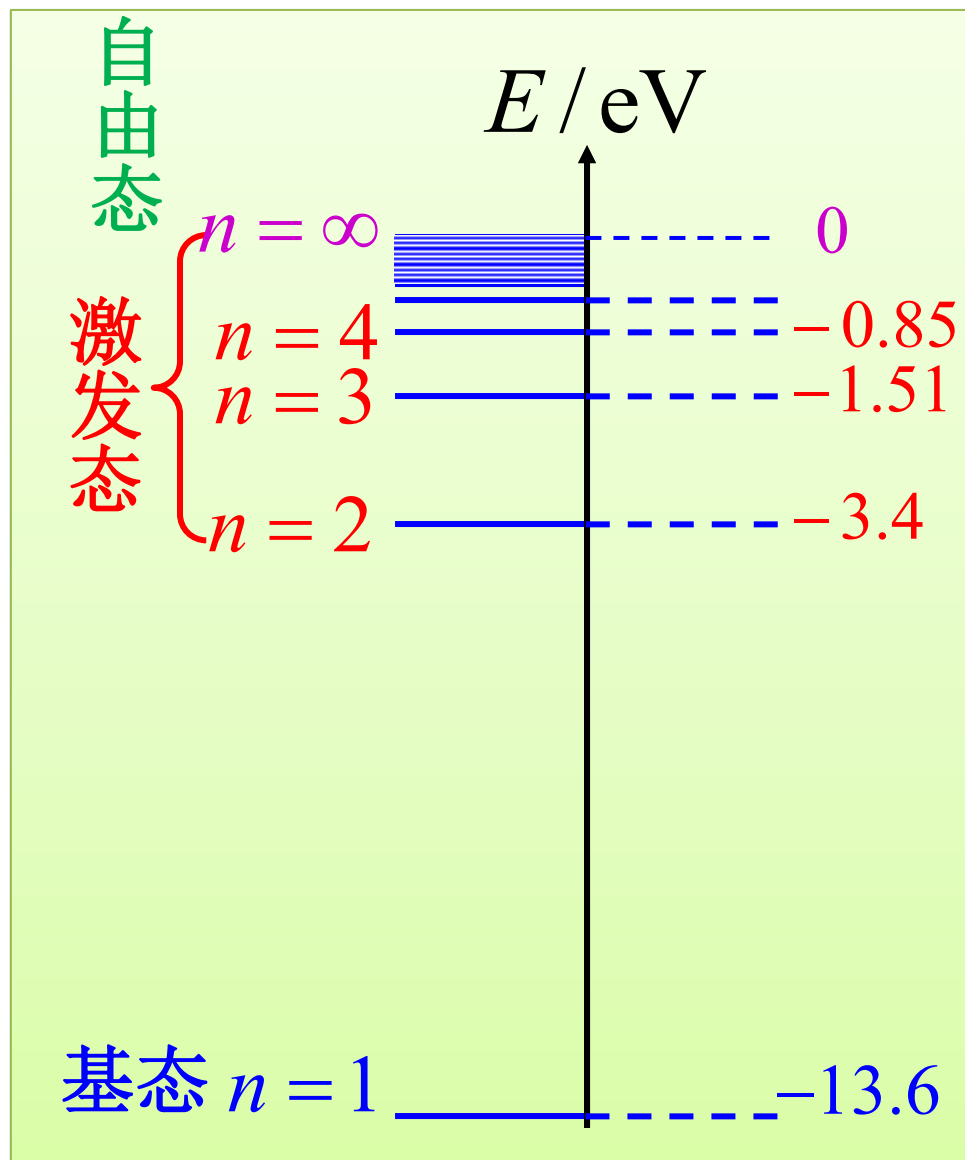


定态能量也是量子化的，这种量子化的能量称为能级





# 氢原子能级图



➤ 定态能量

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}$$

□ 基态 ( $n=1$ )

$$E_1 = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} = -13.6 \text{ eV}$$

□ 激发态 ( $n>1$ )

$$E_n = E_1 / n^2$$

□ 电离能：从定态到自由态所需最小能量

13.6 eV (第一电离能)



# 玻尔理论对氢原子光谱的解释

电子从高能级 $E_n$ 向低能级 $E_k$ 跃迁时放出光子的波数:

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} = \frac{E_n - E_k}{hc}$$

$$= \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c} \left( \frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

里德伯  
公式

$$\tilde{\nu} = R \left( \frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

实验值  $R = 4 / B = 1.096776 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$

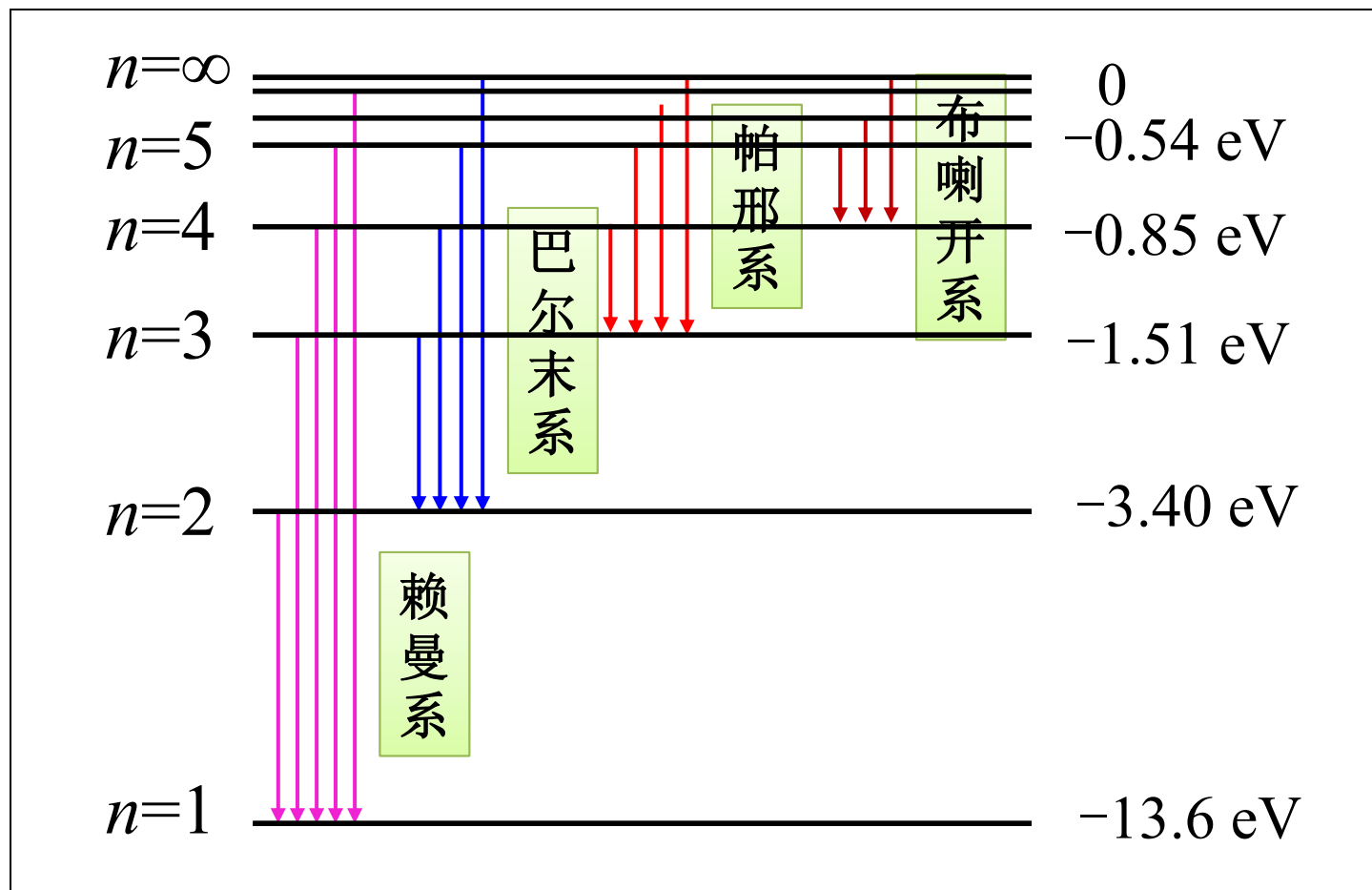
$$\nu = \frac{|E_n - E_k|}{h}$$

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}$$

理论值与实验值符合得非常好!



# 氢原子能级跃迁与光谱图



紫外 可见 近红外 红外



# 玻尔理论的意义和局限性



□正确地指出原子能级的存在（原子能量量子化）

□正确地指出定态和角动量量子化的概念

□正确的解释了氢原子及类氢离子光谱

□无法解释比氢原子更复杂的原子

□把微观粒子的运动视为有确定的轨道是不正确的

□是半经典半量子理论



# 例1

根据玻尔理论，氢原子中的电子在 $n=4$ 的轨道上运动的动能与在基态的轨道上运动的动能之比为（ ）。

A.  $\frac{1}{4}$  ;

由 $L = n \frac{h}{2\pi} = n\hbar$ 得  $mvr = n\hbar$

B.  $\frac{1}{8}$  ;

$$v = \frac{n\hbar}{mr} = \frac{n\hbar}{mn^2 r_1} = \frac{\hbar}{mnr_1} \quad v \propto \frac{1}{n}$$

C.  $\frac{1}{16}$  ;

$$\frac{E_{k4}}{E_{k1}} = \frac{v_4^2}{v_1^2} = \left(\frac{1}{4}\right)^2 = \frac{1}{16}, \text{选C}$$

D.  $\frac{1}{32}$  。



## 例2

如果用能量为12.6eV的电子轰击基态氢原子，将可能产生那些谱线？

**解：** 碰撞后氢原子的能量：

$$E \leq -13.6\text{eV} + 12.6\text{eV} = -1\text{eV}$$

氢原子能级：

$$E_n = -\frac{13.6\text{eV}}{n^2}$$

$$E_1 = -13.6\text{eV} \quad E_2 = -3.4\text{eV} \quad E_3 = -1.51\text{eV} \quad E_4 = -0.85\text{eV}$$

$n$ 只能取2或3 ➡ 可能的轨道跃迁？





## 例2

可能的轨道跃迁：  $3 \rightarrow 1$  ,  $3 \rightarrow 2$  ,  $2 \rightarrow 1$

$$h\nu = h \frac{c}{\lambda} = E_n - E_k \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E_n - E_k}$$

$$\square 3 \rightarrow 1: \quad \lambda_1 = \frac{hc}{E_3 - E_1} = 1.025 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\square 3 \rightarrow 2: \quad \lambda_2 = \frac{hc}{E_3 - E_2} = 6.579 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\square 2 \rightarrow 1: \quad \lambda_3 = \frac{hc}{E_2 - E_1} = 1.216 \times 10^{-7} \text{ m}$$

普朗克常数

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$= 4.14 \times 10^{-25} \text{ eV} \cdot \text{s}$$



## 例2

方法2:  $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right)$   $R = 1.096776 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$  里德伯常数

$$\frac{1}{\lambda_1} = 1.097 \times 10^7 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right) \text{ m}^{-1} = 0.975 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

$$\lambda_1 = 1.025 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\frac{1}{\lambda_2} = 1.097 \times 10^7 \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) \text{ m}^{-1} = 0.152 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

$$\lambda_2 = 6.579 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\frac{1}{\lambda_3} = 1.097 \times 10^7 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) \text{ m}^{-1} = 0.823 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

$$\lambda_3 = 1.216 \times 10^{-7} \text{ m}$$





# 本章作业

课本241页:

**2, 4, 6, 8, 10, 11, 15, 19** (共8题)

第19题 “ $\lambda=0.5\ \mu\text{m}$ ” 改成 “ $\lambda=0.5\ \text{nm}$ ”

注意

□ 下周一(12.12)交作业

□ 作业用A4纸, 不抄题, 有题号

□ 选择&填空题要有解题过程

