第 2 章

DI'ER ZHANG

原子结构



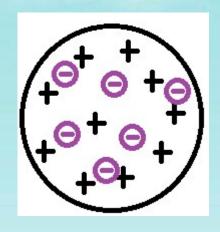
——量子化原子模型

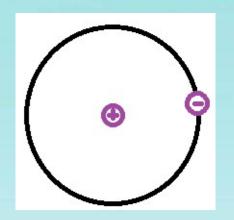
书本:第32页

1、汤姆孙葡萄干面包模型

2、卢瑟福原子核式结构模型

——行星模型





原子中,带正电部分均匀充 斥整个原子,电子象葡萄干嵌在 面包中那样镶嵌在球体上,电子 带的负电与原子内带正电的抵消, 整个原子呈电中性。

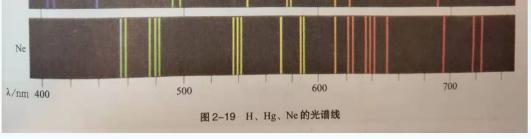
——可以解释一些现象,如整个原子呈电中性,但无法解释 a 粒子散射实验现象

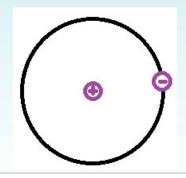
原子内部有一个很小的核,叫原子核,原子全部的正电荷以及几乎全部的质量都集中在原子核内,带负电的电子绕核高速旋转。——可以很好解释 α 粒子散射实验,但无法解释原子的稳定性与原子光谱的分立特征。

原子的稳定性与原子光谱的分立性

理解,不用记

但实际上,电子在某些特定轨道上圆周时,整个原子是稳定的,不会向外辐射能量,而且原子发光时,所形成的谱线是分立的,不是连续的。因此卢瑟福的原子模型不能解释原子的稳定性和原子发光时所形成的谱线是分立的,这是它的局限性。







一、经典电磁理论的困境

- (2)按照经典电磁理论,电子不断往外辐射电磁波,能量要不断 <u>减少</u>,使得电子绕核运动的轨道半径也要减小,电子应沿螺旋线轨道落入 <u>原子核</u>,而实际上原子是 <u>稳定的</u>。

因此卢瑟福的原子模型不能解释原子的稳定性和原子发光所形成的谱线是分立谱线。

丹麦的物理学家玻尔,曾师从卢瑟福,深知核式结构模型的客观性及局限性。他接受了普朗克和爱因斯坦的量子化思想,并将原子结构与光谱联系起来,提出了量子化原子模型。

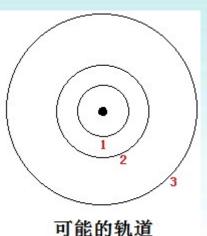


书本:第32页

二. 玻尔的量子化原子模型(圆周是变加速

- (1)原子只能处于一系列能量不连,对状态中。在这些状态中,原子是 稳定的,电子虽然做加速运动,但并不向外辐射能量,这些状态 叫做定态。电子只能处在一些分立的轨道上,绕核转动而不产 牛 电磁辐射 。——定态假设
- (2) 原子从一种定态跃迁到另一定态时,吸收(或辐射)一定 频率 的 光子能量hv,例如,原子从定态 E_2 跃迁到定态 E_1 ,辐射的光子能量

为 $hv = E_2 - E_1$ 。——跃迁假设 \bigwedge 从能级 $\mathbf{m} \rightarrow \mathbf{n}$



「低 →高: 吸收 hv= En-Em

L高→低:辐射 hv= Em-En

普朗克常量h=6.63×10-34J·S

1、定态假设理解:

- ①电子只能在某些特定的轨道上圆周
- ②电子在这些特定轨道上圆周时,整个原子的能量是稳定的
- ③原子只能处在一系列能量不连续状态中

(因电子在不同轨道圆周,原子所对应的能量是不同的,又因电子圆周的轨道是不连续的,因此原子所对应的能量也是不连续的) △



2、跃迁假设理解:

- ①电子在不同轨道上圆周,原子对应的能量不同,且能量稳定,叫定态。
- ②电子在离核最近轨道圆周,原子对应能量最低,叫基态,又叫1能级。电子在离核较远轨道圆周,原子对应能量较高,叫激发态,又叫2能级,3能级,……,n能级。电子离核越远,原子对应能量越高。
- ③ 电子从低 →高轨道跃迁: 吸收能量; 从高 →低轨道跃迁: 辐射能量原子从低 →高能级跃迁: 吸收能量; 从高 →低能级跃迁: 辐射能量

(注: 所辐射的能量以光子的形式放出)

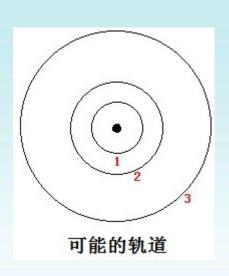
④公式: 从能级m→n

「低→高:吸收 hv= En-Em

高→低:辐射 hv= Em-En

普朗克常量h=6.63×10-34J·S

⑤光子能量(每份): *E=hv*



笔记

可能的轨道

(3)原子的不同能量状态对应于电子的不同运行轨道。原子的能

量状态是不确实电子不能在任意半径的轨道上运行。勃

道半径r跟电子动量mv的乘积满足下式的轨道才是

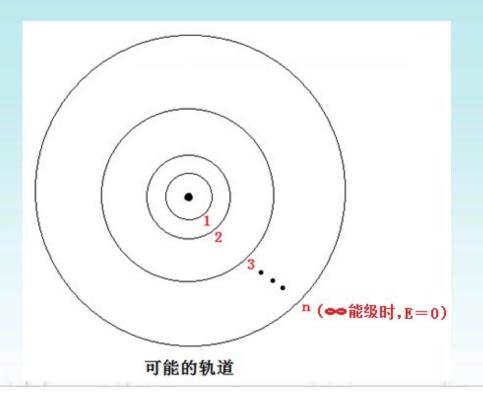
$$m_{\rm e}vr = n\frac{h}{2\pi}(n=1,2,3, \cdots)$$
-不重要

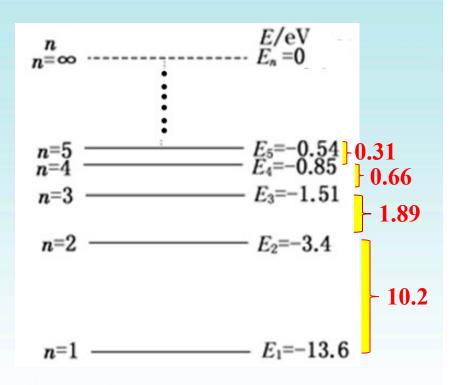


- 1、能级:在玻尔理论中,原子只能处于一系列<u>个连续</u>的能量状态, 电子吸收能量后,从基态跃迁到能量较高
 - 个确定的 的能级,这时原子的状态叫做激发态。
- 3、激发态:除基态之外的其它状态——n能级

- 4、原子不同的能量状态对应于电子的不同运行轨道,原子 的能量是不联系的,电子不能在任意半径的轨道上运行。
- 5、氢原子的各能级能量及轨道半径

$$E_1 = -13.6 \text{ eV}$$
 $E_n = -\frac{E_1}{n^2}$ $(n=1,2,3\cdots)$ $r_1 = 0.53 \times 10^{-10} \text{ m}$ $r_n = n^2 r_1$ $(n=1,2,3\cdots)$





6. 对氢原子能级图的理解

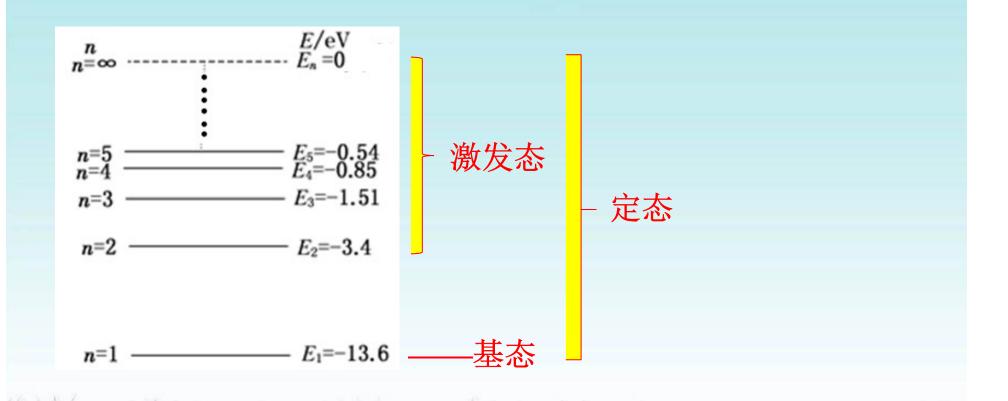


横线: 表氢原子在某一轨道的能量状态——定态

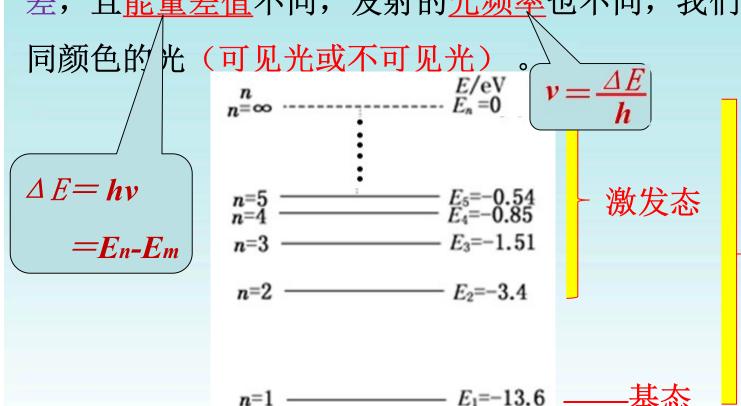
左边数字:表量子数(n,表n轨道或n能级)

右边数字: 表氢原子的能级(eV)

相邻横线间距: 表相邻能级差(离核越远,能级差越小,能级线越密)



7、能级跃迁: 当电子从低能级跃迁到高能级时,原子会<u>吸</u>收能量,当电子从高能级跃迁到低能级时,原子要<u>辐射</u>能量。由于电子的能级是不连续的,所以原子在跃迁时吸收或辐射的能量都不是任意的,这个能量等于电子跃迁时始末两个能级间的能量差,且能量差值不同,发射的光频率也不同,我们就能观察到不



定态



8. 原子能级跃迁时需注意几个问题:

(1) 一个原子和一群原子区别:

辐射光频率: 一个: n-1种

(可见光或不可见光)

一群: C_n 种

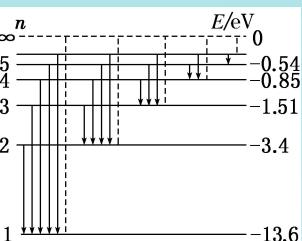
氢原子核外只有一个电子,这个电子在某个时刻只能处在某

		·	·		, _ , , , , , , ,
一个	4	在某段时	4 ———	轨道跃迁到	另一轨道
时,	3 ———	i一种。{	3	中盛有大量日	的氢原子
,这	2 ———	」子跃迁时	2 ———	况出现。一种	群氢原子
处于		发态时,		光谱线条数	为 $N=C_n$
种。	1		1		

(2) 注意直接跃迁与间接跃迁:



原子从一种能量状态跃迁到另一种能量状态时,有时可能是直接跃迁,有时可能是间接跃迁,两种情况辐射(或吸收)光子的频率不同。



(3)光子的辐射与吸收

由于原子的能级是一系列不连续的值,任意两个能级差也是不连续的,故原子只能辐射或吸收一些特定频率的光子。原子辐射或吸收光子的能量满足 $hv = E_m - E_n(m > n)$,能级差越大,辐射或吸收光子的频率就越高。

(4) 实物粒子与原子碰撞

实物粒子和原子碰撞时,由于实物粒子的动能可全部或部分地被原子吸收,所以只要入射粒子的动能大于或等于原子某两定态能量之差,就可使原子受激发而向较高能级跃迁。

●通方法

[例 2] [多选]关于氢原子能级的跃迁,下列叙述中正确的是 ()

- A. 用波长为 60 nm 的 X 射线照射,可使处于基态的氢原子电离出自由电子
- B. 用能量为 10.2 eV 的光子照射,可使处于基态的氢原子跃迁到激发态
- C. 用能量为 11.0 eV 的光子照射,可使处于基态的氢原子跃迁到激发态
- D. 用动能为 12.5 eV 的电子撞击氢原子,可使处于基态的氢原子跃迁到激发态



[解析] 波长为 60 nm 的 X 射线,光子能量 $E=h_2^c=6.63\times$

 $10^{-34} \times \frac{3 \times 10^8}{60 \times 10^{-9}}$ J=3.32×10⁻¹⁸ J=20.75 eV。氢原子电离能: ΔE =0-(-13.6)eV=13.6 eV<E=20.75 eV,所以可使氢原子电离, A 项正确。据 $hv = E_m - E_n$ 得, $E_{m1} = hv + E_1 = 10.2 \text{ eV} + (-13.6) \text{eV}$ =-3.4 eV, $E_{m2}=11.0$ eV+(-13.6)eV=-2.6 eV。只有 $E_{m1}=$ -3.4 eV 对应 n=2 的状态,因电子绕核运动时,只能吸收能量恰 好为两能级差的光子,所以只有能量为 10.2 eV 的光子可使氢原子 从基态跃迁到激发态, B 项正确; 电子的动能大于 10.2 eV, 因此 与处于基态的氢原子撞击时,可以使氢原子吸收 10.2 eV 的能量跃 迁到第二能级态, 故 D 正确。

「答案」 ABD



2. 合作探究——议一议

(1)请详细阐述原子核式结构模型与经典电磁理论的矛盾。

提示:电子绕核做圆周运动是加速运动,按照经典理论,加速运动的电荷要不断地向周围发射电磁波,电子的能量就要不断减少,最后电子要落到原子核上,这与原子通常是稳定的事实相矛盾。

(2)玻尔理论是如何解释氢原子光谱特征的?

提示: 当电子从高能级跃迁到低能级时,原子会辐射能量; 当电子从低能级跃迁到高能级时,原子要吸收能量。因为电子的能级是不连续的,所以原子在跃迁时吸收或辐射的能量都不是任意的,这个能量等于电子跃迁时始末两个能级间的能量差。能量差值不同,发射光的频率也不同,我们就能观察到不同颜色的光。

学用结合・析考点

课堂讲练设计,举一能通类题

考点一

对玻尔原子模型的理解

●通知识

1. 玻尔原子理论体现出的思想

(1)轨道量子化思想:玻尔原子模型中保留了卢瑟福的核式结构,但他认为核外电子的轨道是不连续的,它们只能在某些可能的、分立的轨道上运动,而不是像行星或卫星那样,轨量半径大小可以是任意的值。这样的轨道形式称为轨道量子化。

- (2)电子跃迁思想:电子如果从一个轨道到另一个轨道,不是以螺旋线的形式改变半径大小的,而是从一个轨道上"跳跃"到另一个轨道上。玻尔将这种现象叫做电子的跃迁。
- (3)能量量子化思想:由于原子的可能状态(定态)是不连续的, 具有的能量也是不连续的。这样的能量形式称为能量量子化。

2. 原子能量的变化

当轨道半径减小时,库仑引力做正功,原子的电势能减小,电子动能增大,原子向外辐射光子,原子总能量减小;反之,轨道半径增大时,原子电势能增大,电子动能减小,原子吸收光子,原子总能量增大。

●通方法

[例 1] 根据玻尔理论,氢原子放出一个光子后,氢原子的 ()

- A. 核外电子的电势能增大
- B. 核外电子的动能增大
- C. 核外电子的转动周期变大
- D. 氢原子的能量增大

[思路点拨] 明确各能级的能量关系,利用圆周运动的特点及能量守恒定律进行分析。

[解析] 放出光子后,总能量减少,半径减小,库仑力做 正功,电势能减小,A 错误;由库仑定律和牛顿第二定律有 $\frac{ke^2}{k^2}$ = $\frac{mv^2}{r}$,则 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{ke^2}{2r}$, r 減小, E_k 变大, B 正确, 转动周期 T $=\frac{2\pi r}{r}$, r减小, v增大, T减小, C错误; 氢原子放出光子, 即 释放能量,原子能量减少,D错误。

[答案] B

探规寻律

(1)利用
$$\frac{ke^2}{r_n^2} = \frac{mv^2}{r_n}$$
,可得 $E_{kn} = \frac{ke^2}{2r_n} = \frac{ke^2}{2n^2r_1}$,可判断量子数变

化时(轨道半径变化时)动能变化。

(2)利用库仑力做功与电势能的变化关系判断电势能的变化情况,也可以从总能量的变化入手,由 $E_n = E_{kn} + E_{pn}$,综合动能的变化判断电势能的变化情况。

(3)周期可利用
$$T = \frac{2\pi r}{v}$$
或 $\frac{ke^2}{r_n^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r_n$ 判断式求出。

●通题组

- 1. 关于玻尔的原子模型理论,下面说法正确的是()
 - A. 原子可以处于连续的能量状态中
 - B. 原子的能量状态是不连续的
 - C. 原子中的核外电子绕核做加速运动一定向外辐射能量
 - D. 原子中的电子绕核运转的轨道半径是连续的

解析:根据玻尔原子理论:电子轨道和原子能量都是量子化的,不连续的,处于定态的原子并不向外辐射能量,可判定 B 选项是正确的。

答案: B

- 2. 根据玻尔理论,氢原子的电子由外层轨道跃迁到内层轨道后
 - ()
 - A. 原子的能量增加, 电子的动能减少
 - B. 原子的能量增加, 电子的动能增加
 - C. 原子的能量减少, 电子的动能减少
 - D. 原子的能量减少, 电子的动能增加

解析: 电子由高能级跃迁到低能级,库仑力对电子做正功,

核外电子的动能增加。氢原子由高能级跃迁到低能级,原子 向外辐射能量,原子的总能量减少,**D**正确。

答案: D

探规寻律

- (1)原子若是吸收光子的能量而被激发,其光子的能量必须等于两能级的能量差,否则不被吸收,不存在激发到n能级时能量有余,而激发到n+1能级时能量不足,则可激发到n能级的问题。
- (2)原子还可吸收外来实物粒子(例如,自由电子)的能量而被激发,由于实物粒子的动能可部分地被原子吸收,所以只要入射粒子的能量大于两能级的能量差值,就可使原子发生能级跃迁。

●通题组

- 1. 一个氢原子从 n=3 能级跃迁到 n=2 能级,该氢原子(

 - A. 放出光子,能量增加 B. 放出光子,能量减少
 - C. 吸收光子,能量增加 \mathbf{D} . 吸收光子,能量减少

解析: 氢原子从高能级向低能级跃迁时,将以辐射光子的形 式向外放出能量,故选项 B 正确。

答案:B

2.根据玻尔原子结构理论, 氦离子(He⁺)的能级图如 图所示。电子处在 n=3 轨道上比处在 n=5 轨道 上离氦核的距离____(选填"近"或 "远")。当大量 He^+ 处在 n=4 的激发态时,由于跃迁所发 射的谱线有 条。 解析: 由玻尔理论知,能级越低,电子的轨道半径越小,电 子离核越近; 当大量的氦离子处在 n=4 的激发态时,由于跃 迁所发射的谱线条数为 $C_4^2=6$ 。

答案: 近 6

第3节



玻尔的原子模型



1.玻尔原子理论的内容:

(1)原子只能处于一系列能量不连续的状态中。在这些状态中的原子是稳定的,不向外辐射能量。

(2)原子从一种定态跃迁到另一定态时,辐射或吸收一定频率的光子能量 hv。

(3)原子的不同能量状态对应于电子的不同运行轨道。

2. 氢原子不同能级时电子的轨道半径: $r_n = n^2 r_1 (n = 1,2,3, \dots)$ 。

氢原子在不同能级上的能量: $E_n = \frac{1}{n^2} E_1 (n = 1, 2, 3, \cdots)$ 。