

揭阳职业技术学院

Jieyang Polytechnic

教 案

系（部）： 化学工程系

讲授课程： 无机化学（与“人才培养方案”同）

任课教师： 余细红

专业班级： 分析检验技术 25 级（3+） 251 班

授课学期： 2025-2026 学年第一学期

揭阳职业技术学院化工系

2025 年 9 月

课程名称	无机化学	专业班级	分析检验技术(3+) 251班
教材名称	无机化学 华中科技大学出版社		
授课题目	第1章 无机化学简介		
授课学时	2节		
课 型	理论(√); 实验(); 见习(); 实训(); 其它()		
教学目的	1. 熟悉化学研究的对象。 2. 了解无机化学的发展趋势。 3. 掌握学习无机化学的方法。		
教学重点	掌握无机化学研究的基本内容。		
教学难点	有关无机化学的现代研究方法。		
教学方法	讲授(√); 讨论(); 指导(); 示教(); 其它()		
电子教案	有 (√)	Microsoft PowerPoint(√); Author ware(); 其它()	
教学资源	多媒体(√); 模型(); 标本(); 实物(); 音像(); 其它()		
教学过程 时间安排	1. 化学研究的对象		40'
	2. 无机化学发展趋势以及在社会中的作用		25'
	3. 学习无机化学的方法		15'
思考题	学生计划怎样学好这门课程?		
作 业	1. 详细阅读本书 p10 以前的所有内容。 2. 预习下章内容化学基础知识		
教学后记	讲课后评: 学生对化学的研究内容、化学的发展史、以及化学的分类各类化学所要解决的内容,都有了深刻了解。并且对接下来认真学习这门课程有了初步的计划。		

教学内容

1. 化学的研究对象

什么是化学？

- 化学是研究物质的组成、结构、性质与变化的一门自然科学。（太宽泛）
- 化学研究的是化学物质（chemicals）。
- 化学研究分子的组成、结构、性质与变化。
- 化学是研究分子层次以及以超分子为代表的分子以上层次的化学物质的组成、结构、性质和变化的科学。
- 化学是一门研究分子和超分子层次的化学物种的组成、结构、性质和变化的自然科学。
- 化学研究包括对化学物质的①分类；②合成；③反应；④分离；⑤表征；⑥设计；⑦性质；⑧结构；⑨应用以及⑩它们的相互关系。

2. 化学的主要分支

a. 经典化学的四大分支：

无机化学、有机化学、分析化学、物理化学。

无机化学的研究对象：研究除 C、H 化合物及其衍生物以外的所有元素和化合物的组成、结构、性质、变化规律及其应用的化学分支。**研究热点：材料、生命、能源、环境**

有机化学的研究对象：研究碳氢化合物及其衍生物的化学分支，也有人认为有机化学就是碳的化学。有机化学是化学研究中最庞大的领域，它与医药、农药、染料、日用化工等方面的关系特别密切。

分析化学的研究对象：研究获取物质化学组成和结构信息的分析方法及相关理论的科学，是化学学科的一个重要分支。

主要研究下列问题：①物质中有哪些元素、离子、官能团、或化合物组成（定性分析）；②每种成分的数量或物质纯度如何（定量分析）；③物质中原子彼此如何连结而成分子和在空间如何排列（结构和立体分析）；④各物质性质之间的关系。

物理化学的研究对象：化学反应的规律、化学物质的结构、结构的测定方法，化学物质和化学反应与电、声、光、磁、热的相互关系等等，是用物理的方法研究化学。

b. 新型学科分支或交叉学科：

元素化学、配位化学、合成化学、仪器分析、电化学、光化学、磁化学、化学热力学、

化学动力学、胶体化学、界面化学、结构化学、结晶化学、高分子化学、化学工程学、地球化学、环境化学、生物化学（生命化学）、农业化学、工业化学、天体化学、宇宙化学、固体化学、药物化学、核化学（放射化学、辐射化学）、化学信息学、化学商品学、化学教育学 ·····。

3. 化学的发展史

- a. 17 世纪中叶以后，积累了有关物质变化的知识。同时，数学、物理学、天文学等相关学科的发展促进了化学的发展。
- b. 18 世纪末，化学实验室开始有了较精密的天平，使化学科学从对物质变化的简单定性研究进入到精密的定量研究。随后相继发现了质量守恒定律、倍比定律等定律，为化学新理论的诞生打下了基础。
- c. 19 世纪初，为了说明这些定律的内在联系，道尔顿和阿佛加德罗分别创立了原子论和原子论-分子论。从此进入了近代化学的发展时期。
- d. 19 世纪下半叶，热力学理论引入化学，从宏观角度解决了化学平衡的问题。随工业化进程，出现了生产酸、碱、合成氨、染料以及其它有机化合物的大工厂。化工的发展更促使学科深入发展，开始形成无机化学、分析化学、有机化学和物理化学四大基础学科。
- e. 20 世纪是化学取得巨大成就的世纪，化学的研究对象从微观世界到宏观世界，从人类社会到宇宙空间不断地发展。生命化学的崛起给古老的生物学注入了新的活力。

4. 化学在人类社会史中的作用

- [引入] A. 房屋装修后，装修材料会释放出甲醛、苯等有毒气体，可在室内放一些活性炭进行吸收，这是利用活性炭的吸附性。
- B. 若要除去热水瓶中的水垢，可选用厨房中的醋。
- C. 若要用大粒盐配制盐水，为使大粒盐尽快溶解，可采取的两种方法是：方法一：搅拌；方法二：研碎。

[结论] 化学在人类的生产、生活和科技领域中起着十分重要的作用，几乎每一个部门领域都离不开它。当今人类社会面临的能源、粮食、环境、人口、资源等五大全球性问题中，天然能源的有效利用、新能源的开发、肥料、农药、环境保护、人口的控制、资源的合理开采与利用、人们的衣食住行都离不开化学。

一个洁净的世界、一个可持续发展的社会在很大程度上依赖于化学的进步。

5. 怎样学好化学

(1) 要有动力：做任何事情都需要有动力，学习化学同样要有动力，只有明确了为什么要学化学，自己想学化学，才有可能学好化学。

(2) 要重视实践的指导作用：要做好实验，要认真完成作业，要善于思考，要做研究，要学会自学。

(3) 要讲究方法：要选找出最适合自己的学习方法。在学习的过程中，应努力学习前人是如何进行观察和实验的，是如何形成分类法、归纳成概念、原理、理论的，并不断体会、理解创造的过程，形成创新的思想，努力去尝试创新。在学习的过程中，应努力把握学科发展的最新进展，努力将所学的知识、概念、原理和理论理解新的事实，思索其中可能存在的矛盾和问题，设计并参与新的探索。

课程名称	无机化学	专业班级	分析检验技术(3+) 251 班
教材名称	无机化学 华中科技大学出版社		
授课题目	2.1 化学基本概念 2.2 物质的聚集状态		
授课学时	2 节 (√); 3 节 (); 其它 ()		
课 型	理论 (√); 实验 (); 见习 (); 实训 (); 其它 ()		
教学目的	1. 了解几个化学基本概念。 2. 掌握气体定律的内容, 并能运用这些知识进行基本计算。		
教学重点	物质的量和气体定律		
教学难点	运用分压定律和分体积定律进行简单计算。		
教学方法	讲授 (√); 讨论 (); 指导 (); 示教 (); 其它 ()		
电子教案	有 (√)	Microsoft PowerPoint (√); Author ware (); 其它 ()	
教学资源	多媒体 (√); 模型 (); 标本 (); 实物 (); 音像 (); 其它 ()		
教学过程 时间安排	2.1.1 分子、原子 10' 2.1.2 元素、核素及同位素 15' 2.1.3 物质的量及其单位、摩尔质量 15' 2.1.4 相对原子质量和相对分子质量 5' 2.2.1 气体 25' 2.2.2 液体 5' 2.2.3 固体 5'		
思考题	教案中[思考题]1、2、3、4		
作 业	P35 2.28		
教学后记	讲课后评: 学生对原子分子、同位素、元素和核素的概念可以很好的掌握, 并且对它们之间的区别和联系深刻理解。但是学生在分压定律和分体积定律方面的运用还不够熟练, 需要课后复习慢慢消化习题, 通过作业进一步加深理解。		

教学内容

1. 分子、原子

分子和原子是真实存在的。

● **定义：**分子是保持物质化学性质的最小微粒。

● 分子只保持物质的化学性质，而不保持物质的物理性质。

物理性质如：熔点、沸点、密度、硬度等，许多分子聚集才能表现出来的。

● **定义：**原子是物质进行化学反应的基本微粒。

在电解水的过程中，只是发生了H原子和O原子间的不同组合过程，而原子本身没有发生变化。

2. 元素、核素及同位素

● **元素：**原子核内质子数（即核电荷数）相同的一类原子的总称。

	元 素	原 子
定义	具有相同核电荷数的同一类原子的总称	化学变化中的最小微粒
区分	1、只讲种类，不讲个数 2、组成物质	1、既讲种类，又讲个数 2、构成分子，也可直接构成物质
使用范围	描述物质的宏观组成	描述物质的微观结构
联系	元素的概念是建立在原子的基础上，即具有相同核电荷数的同一类原子的总称为一种元素。	

● **核素：**具有一定数目质子和一定数目中子的原子成为一种核素。 $N=A-Z$

● **同位素：**质子数相同而中子数不同的同一种元素的不同原子。

	元 素	核 素	同 位 素
“量”和“种类”	只可以论种类不可论个数，如O、H、C表示三种元素，没有两个O元素之类的说法	核素既可以论种类也可以论个数，如氕、氘、氚是不同的三种核素，2D、2T也可分别表示两个氘核素（2个重氢原子）和两个氚核素（2个超重氢原）	三种核素均是氢的同位素，三者之间互称为同位素。
决定因素	质子数	质子数和中子数	中子数
举例	H、D、T、H ⁺ 、H ⁻ 等都称为	H、D、T各为一种核素	H、D、T互称为氢的同

	氢元素		位素
联系	<p>一种元素可能有几种核素，如果有多种核素，核素之间互称同位素，并且核素均是该元素的同位素。在任何核素中存在六种量——质子、中子、核电荷数、核外电子数、原子序数、质量数，它们之间有下列关系：</p> <p>质子数=核电荷数=原子序数=核外电子数；质量数=质子数+中子数</p>		

[小结] 元素：宏观概念，如： 1H （氕） 2H （氘） 3H （氚）都是氢元素，说元素时三者没区别。

核素：微观概念，如： 1H （氕） 2H （氘） 3H （氚）分别是三种不同的核素。它们是氢元素的三种核素。

同位素：是同一元素不同核素之间的互称。如： 1H （氕） 2H （氘） 3H （氚）都是氢的同位素

3. 物质的量及其单位、摩尔质量

物质的量：表示物质中含组成物质的基本单元数的物理量。规定单位为摩尔（mol）

以水分子为基本单元，一滴水（0.05ml）中约含 1.7×10^{21} 个水分子。

每摩尔物质所含的基本单元数 $0.012 \text{ kg}^{12}\text{C}$ 的原子数目相等。

某物质中所含的基本单元数是阿伏伽德罗常数的多少倍，物质的量就是多少摩尔

摩尔质量：单位物质的量（1mol）的物质所具有的质量，M表示单位： $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，但常用 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

物质的量、质量、摩尔质量三者的关系为： $n_i = m_i / M_i$

4 . 相对原子质量和相对分子质量

相对原子质量：a. 相对原子质量是一个纯数

b. 单核元素的相对原子质量等于该元素的相对原子质量

c. 多核元素的相对原子质量等于该元素的天然同位素相对原子质量的加权平均值

$n(\text{O}_2) = 0.180\text{mol}$, $n(\text{N}_2) = 0.700\text{mol}$, 混合气体总压 $p = 133.0\text{kPa}$ 。

试计算各组分气体的分压。

4. 体积为 10.0L 含 N_2 、 O_2 、 CO_2 的混合气体, $T=30^\circ\text{C}$ 、 $p=93.3\text{kPa}$, 其中: $p(\text{O}_2)=26.7\text{kPa}$, CO_2 含量为 5.00g , 试计算 N_2 、 CO_2 分压。

6 . 液体

A. 液体的蒸气压

在恒定温度下, 与液体平衡的蒸气称为饱和蒸气, 饱和蒸气的压力就是该温度下的饱和蒸气压, 简称蒸气压。

液体的蒸气压只是温度的函数, 且随温度的升高而增大。一定温度下, 蒸气压大的物质为易挥发物质, 蒸气压小的为难挥发物质。

B. 液体的蒸气压随温度的升高而增大, 当温度升到使液体蒸气压与外界大气压力相等时, 液体内部会有大量气泡不断产生并逸出, 这种现象称为沸腾, 此时的温度称为该液体的沸点。

习惯上将外界压力为 101.325 kPa 时液体的沸点称为**正常沸点**。

7 . 固体

晶体与非晶体

(1) 概念

(2) 晶体与非晶体的不同点

- (a) 可压性和扩散性均不同
- (b) 晶体有固定的外形, 非晶体没有
- (c) 晶体有固定的熔点, 非晶体没有
- (d) 晶体有各向异性, 非晶体则是各向同性的

课程名称	无机化学	专业班级	分析检验技术(3+) 251班
教材名称	无机化学 华中科技大学出版社		
授课题目	2.3 溶液		
授课学时	2节(√); 3节(); 其它()		
课 型	理论(√); 实验(); 见习(); 实训(); 其它()		
教学目的	1. 掌握几种溶液浓度的表示及计算方法。 2. 了解难挥发非电解质稀溶液的依数性。		
教学重点	掌握物质的量浓度和难挥发非电解质依数性的表现。		
教学难点	难挥发非电解质溶液依数性的理解。		
教学方法	讲授(√); 讨论(); 指导(); 示教(); 其它()		
电子教案	有(√)	Microsoft PowerPoint(√); Author ware(); 其它()	
	无()		
教学资源	多媒体(√); 模型(); 标本(); 实物(); 音像(); 其它()		
教学过程 时间安排	2.3.1 溶液浓度的表示方法		25'
	2.3.2 稀溶液的依数性		40'
	课堂总结及练习		15'
思考题	见教学内容中[思考题]		
作 业	巩固这节知识内容并预习下一节内容“化学反应中的能量关系”		
教学后记	<p>讲课后评:</p> <p>学生对溶液浓度的表示方法很好地掌握, 并可以进行简单的计算。</p> <p>但少部分学生对难挥发非电解质稀溶液依数性的表现未能从根本上进行理解。</p>		

教学内容

1. 溶液

●定义：物质以分子、原子或离子状态分散于另一种物质中所形成的均匀而稳定的分散体系。

气态溶液：空气

固态溶液：黄铜、钢等合金及掺杂的半导体材料

液态溶液：普遍存在

溶液浓度的表示法	定义	公式
溶质 B 的质量分数 (w_B)	溶质 B 的质量与溶液的质量之比	$w_B = m_B / m(\text{溶液})$
摩尔分数或物质的量分数 (x)	溶液中溶质 (或溶剂) 的物质的量与溶液的物质的量之比	$x_B = n_B / (n_B + n_A)$ $x_A = n_A / (n_B + n_A)$ $x_B + x_A = 1$
溶质的量浓度 (c_B)	溶液中所含溶质 B 的物质的量与溶液的体积之比, 即 1L 溶液中所含的溶质的物质的量	$c_B = n_B / V$ 物质的量浓度和质量分数的换算
质量摩尔浓度 (m_B)	物质 B 的质量摩尔浓度是指溶质 B 的物质的量除以溶剂的质量, 即 1kg 溶剂中所溶解的物质 B 的物质的量	$m_B = n_B / m(\text{溶剂})$
溶质 B 的质量浓度 (ρ_B)	溶质 B 的质量 m_B 除以混合物的体积 V	$\rho_B = m_B / V$

2. 稀溶液的依数性

物质	蒸气压 p	沸点 T_b	凝固点 T_f
($b/\text{mol} \cdot \text{Kg}^{-1}$)	(mmHg, 20°C)	(20°C)	(20°C)
纯水	17.50	100	0
0.5 <i>b</i> 蔗糖水	17.31	100.27	-0.93
0.5 <i>b</i> 尿素溶液	17.31	100.24	-0.94

0.5*b* 甘油溶液 17.31

[结论] ① 与纯溶剂相比, 溶液的 $p \downarrow$, $T_b \uparrow$, $T_f \downarrow$

② 变化与溶质的本性无关

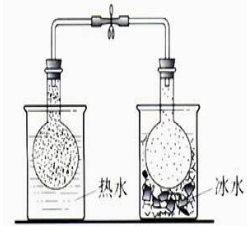
溶液 ($b/\text{mol} \cdot \text{Kg}^{-1}$)	蒸气压 p (mmHg, 20°C)
0.198 <i>b</i> 蔗糖水	17.50 - 0.061
0.396 <i>b</i> 蔗糖水	17.50 - 0.123
0.594 <i>b</i> 蔗糖水	17.50 - 0.185
0.792 <i>b</i> 蔗糖水	17.50 - 0.248

[结论] ③ p 降低值与溶液的浓度成正相关

A. 溶液的蒸气压下降

溶剂(纯液体)的蒸气压, p/Pa 或 kPa

定义: 一定 T , $V_{\text{蒸发}} = V_{\text{凝聚}}$ 时, 溶剂蒸气压强恒定



溶液蒸气压下降的原因: 当溶剂中加入一种难挥发的非电解质将占据一部分溶剂的表面。

溶液蒸气压下降的 Raoult 定律: 一定温度下, 难挥发非电解质稀溶液的蒸气压与溶剂的摩尔分数成正比, 而与溶质的本性无关。

稀溶液的 Δp 与溶质的质点浓度成正比

K - 氧合血红蛋白	_____
H - 氧合血红蛋白	_____

Raoult 定律适用范围:

a. 非电解质: 0.1mol 葡萄糖含有 6.02×10^{22} 个分子, 0.1mol NaCl 含有约 $2 \times 6.02 \times 10^{22}$ 个离子

b. 难挥发: 否则必须考虑溶质的蒸气压

c. 稀溶液: 不须考虑溶质分子对溶剂分子的作用力

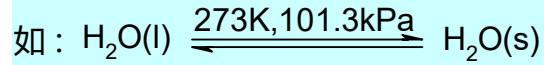
B. 溶液的沸点升高

a. 溶剂(纯液体)的沸点: 液体沸腾($p_{\text{液}} = p_{\text{大气}}$)时的温度, 正常沸点: $p_{\text{大气}} = 101.3\text{kPa}$ 时的沸点。

b. 溶液的沸点升高: 是溶液蒸气压下降的直接结果。

c. 溶液的凝固点降低

a. 纯溶剂的凝固点：在一定外压下，物质固、液两相平衡共存(两相 p 相等)时的温度，又称为熔点。



$$p_{\text{H}_2\text{O(l)}} = p_{\text{H}_2\text{O(s)}} = 610.5\text{Pa}$$

[思考题] 为什么只有当物质固、液两相 p 相等时，它们才能平衡共存？

∴ 否则 p 大者必向 p 小者转化。

b. 定义：一定外压下，溶液中溶剂与固态纯溶剂平衡共存时的温度。

$$p_{\text{溶液中溶剂(l)}} = p_{\text{溶剂(s)}}$$

[结论] 溶液凝固点降低也是溶液蒸汽压下降的直接结果

[例题] 取 0.749g 谷氨酸溶于 50.0g 水中，测得其凝固点为 -0.188°C ，已知水的 $K_f = 1.86$ ，计算谷氨酸的 M_B 。

$$\text{解：} \because \Delta T_f = K_f b_B = K_f \frac{n_B}{m_A} = K_f \frac{m_B}{M_B \cdot m_A}$$

$$\therefore M_B = \frac{K_f \cdot m_B}{m_A \cdot \Delta T_f} \quad \begin{array}{cccc} -2 & 0 & +4 & +6 \\ \text{H}_2\text{S} & \text{S} & \text{SO}_2 & \text{H}_2\text{SO}_4 \end{array}$$

d. 稀溶液的渗透压

a. 渗透作用：通过半透膜发生表面上单方面扩散的现象。

产生条件：半透膜，浓度差

b. 渗透现象产生原因：恰能阻止纯溶剂通过半透膜向溶液渗透必须施加于溶液液面上的额外压强。

c. 实验证明 Π 在数值上符合理想气体方程

$$\Pi V = nRT \quad \Pi = cRT$$

d. 渗透浓度 单位： $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

混合溶液中能产生渗透效应的溶质微粒（分子或离子）的浓度总和。

[例题] 试计算 37°C 生理盐水的渗透压和渗透浓度。

生理盐水的质量浓度 ρ_B 为 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, $T = 37 + 273 = 310\text{K}$

$$c_B = \frac{\rho_B}{M_B} = \frac{9.0}{58.5} = 0.154 (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}) \quad \Pi \approx i c_B RT = 2 \times 0.154 \times 8.314 \times 310 = 7.94 \times 10^2 (\text{kPa})$$

$$c_{B,os} = 2 \times 0.154 \times 1000 = 308 (\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$$

课程名称	无机化学	专业班级	分析检验技术(3+) 251班
教材名称	无机化学 华中科技大学出版社		
授课题目	2.4 化学反应中的能量关系		
授课学时	2节(√); 3节(); 其它()		
课 型	理论(√); 实验(); 见习(); 实训(); 其它()		
教学目的	理解化学反应中的能量关系, 掌握热化学定律。		
教学重点	热化学方程式的书写; 热化学定律-盖斯定律		
教学难点	化学反应焓变的计算		
教学方法	讲授(√); 讨论(); 指导(); 示教(); 其它()		
电子教案	有(√)	Microsoft PowerPoint(√); Author ware(); 其它()	
教学资源	多媒体(√); 模型(); 标本(); 实物(); 音像(); 其它()		
教学过程 时间安排	2.4.1 基本概念和术语		10'
	2.4.2 反应热效应、焓变		15'
	2.4.3 热化学方程式		15'
	2.4.4 热化学定律-盖斯定律		25'
	2.4.5 生成焓以及反应焓变的计算		15'
思考题	见教学内容中例题		
作 业	总结这节课内容并预习下一章		
教学后记	<p>讲课后评:</p> <p>学生对体系与环境、状态和状态函数、过程与途径这几组概念掌握的很好, 但是对于焓和焓变的计算掌握的不是很好, 需要课后多加练习计算。</p>		

教学要点

[引入] 生活中化学能量变化的实例

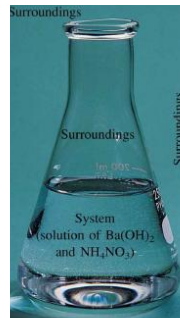
- 如：煤燃烧时放热；
- 碳酸钙分解要吸热；
- 原电池反应可产生电能；
- 电解食盐水要消耗电能；
- 镁条燃烧时会放出耀眼的光；
- 叶绿素在光作用下使二氧化碳和水转化为糖类

1 . 基本概念和术语

- 热力学：研究能量转换过程中所遵循的规律。
- 化学热力学：应用热力学原理，研究化学反应过程中能量变化规律。

A、系统(system)与环境(surroundings)

- 系统：被研究的对象或空间，又称体系。
- 环境：系统以外与其密切相关的部分。



B.状态和状态函数

状态：系统所有物化性质的综合表现

状态函数：描述状态的物理量（如：P/V/T）

特点：a、状态一定，状态函数值一定。

b.状态函数有特征，状态一定值一定，殊途同归变化等，周而复始变化零。

c.同一体系各状态函数间相互联系。

d.同一状态下状态函数组合仍为状态函数。如： $\Delta T = T_2 - T_1$ ， ΔT 就不是状态函数。

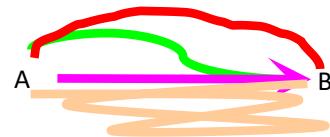
分类：根据与体系物质的量有无关系分

容量（广度）性质：与量成正比，有加和性。如 $v/m/nd$

强度性质：与量无关，仅由物质本身的特性所决定，无加和性。如：温度、蒸汽压、粘度、密度等

c.过程与途径

过程：系统状态发生的任何变化。



途径：完成过程的具体步骤。一个过程可由很多不同途径实现。

2. 反应热效应和焓变

A. 热和功

热 (Q)：系统与环境不同而交换的能量。系统吸热 $Q>0$; 系统放热 $Q<0$

功 (W)：除热外，系统与环境交换的能量。环境对系统做功 $W>0$; 系统对环境做功 $W<0$

B. 热力学能 (U)

系统内部各种形式能量的总和，又称内能。

绝对数值难以确定，但能得到 U 的变化量。

状态函数、具有广度性质。

C. 反应热和焓变

反应热：只做体积功，产物 T 恢复到反应物 T，体系吸收或放出的热。

分类：恒容反应热、恒压反应热

D. 焓和焓变

焓：封闭系统等压过程 $H = U + pV$ 为状态函数，绝对值不知，广度性质，单位 KJ 或 J

焓变： $\Delta H = H_2 - H_1 = Q_p$ 焓变等于恒压反应热

说明：恒容条件下进行化学反应是不方便甚至是困难的，因为许多化学反应过程中压力变化很大，反应容器需要耐压。化学反应通常是在敞开容器内即恒压(大气压)条件下进行的，所以恒压热效应 H 更为重要。

3. 热化学方程式

A. 标准摩尔反应焓变

$$\Delta_r H_m^\theta \left\{ \begin{array}{l} \Delta \text{— 变化量} \\ r \text{— 化学反应 (reaction)} \\ m \text{— 摩尔 (molar)} \\ \theta \text{— 热力学标准状态} \end{array} \right.$$


$\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

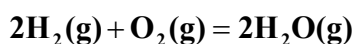
气体： $p=100\text{kPa}=p$ 溶液： $c_B=1\text{mol dm}^{-3}=c$ 液、固体： p 下纯物质

热力学标准态与标况区别？无温度限制

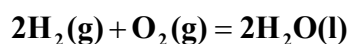
B. 热化学方程式的书写

- (1) 写出正确化学方程式 (计量数可为分数)
- (2) 标明质所处状态(s、l、g或aq)和晶形
- (3) 注明温度和压力
- (4) 标明反应热于方程式后

 聚集状态不同, $\Delta_r H_m^\theta$ 不同

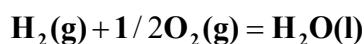


$$\Delta_r H_m^\ominus(298.15\text{K}) = -483.64 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$



$$\Delta_r H_m^\ominus(298.15\text{K}) = -571.66 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

👉 化学计量数不同, $\Delta_r H_m^\ominus$ 不同

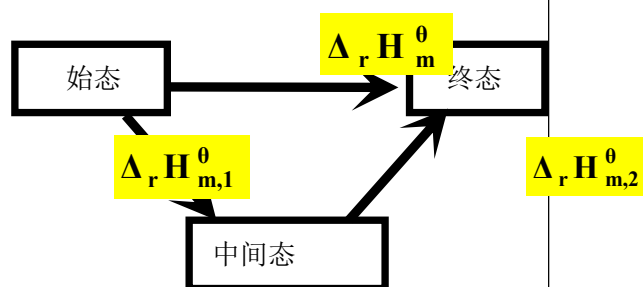


$$\Delta_r H_m^\ominus(298.15\text{K}) = -285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

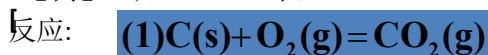
正逆反应 Q_p 数值相同, 符号相反

4. 热化学定律-盖斯定律

描述: 反应不管一步还是几步完成, 总热效应相同。



【例】已知 298.15K 下,

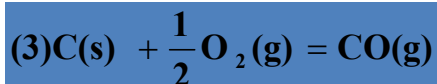


$$\Delta_r H_m^\ominus(1) = -393.51 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

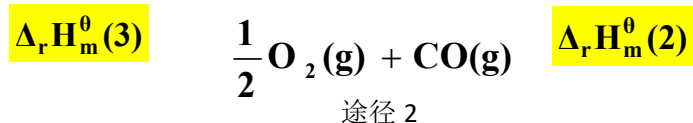
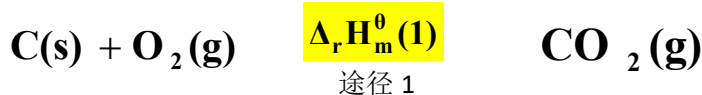


$$\Delta_r H_m^\ominus(2) = -282.98 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

计算下列反应的热效应?



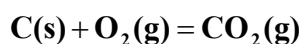
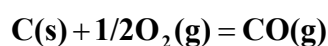
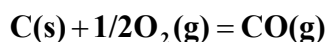
据Hess定律:



$$\Delta_r H_m^\ominus(3) = \Delta_r H_m^\ominus(1) - \Delta_r H_m^\ominus(2) \quad \Delta_r H_m^\ominus(1) = \Delta_r H_m^\ominus(2) + \Delta_r H_m^\ominus(3)$$

$$= -110.53 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\Delta_r H_m^\ominus(3) = \Delta_r H_m^\ominus(1) - \Delta_r H_m^\ominus(2)$$



课程名称	无机化学	专业班级	分析检验技术(3+) 251 班
教材名称	无机化学 华中科技大学出版社		
授课题目	3 化学反应速率以及影响化学反应速率的因素		
授课学时	2 节 (<input checked="" type="checkbox"/>); 3 节 (); 其它 ()		
课 型	理论 (<input checked="" type="checkbox"/>); 实验 (); 见习 (); 实训 (); 其它 ()		
教学目的	1. 理解化学反应速率的概念, 掌握化学反应速率的表示方法。 2. 能够解释浓度、温度、催化剂对化学反应速率的影响规律。		
教学重点	掌握化学反应速率的概念及影响因素。		
教学难点	影响化学反应速率的因素。		
教学方法	讲授 (<input checked="" type="checkbox"/>); 讨论 (); 指导 (); 示教 (); 其它 ()		
电子教案	有 (<input checked="" type="checkbox"/>)	Microsoft PowerPoint (<input checked="" type="checkbox"/>); Author ware (); 其它 ()	
	无 ()		
教学资源	多媒体 (<input checked="" type="checkbox"/>); 模型 (); 标本 (); 实物 (); 音像 (); 其它 ()		
教学过程 时间安排	3.1.1 化学反应速率的定义	10'	
	3.1.2 化学反应速率的表示方法	15'	
	3.2.1 浓度或分压对反应速率的影响	15'	
	3.2.2 温度对反应速率的影响	15'	
	3.2.3 催化剂与反应速率	15'	
	3.2.4 影响反应速率的其他因素	15'	
思考题	见教案中[思考题]		
作 业	1. 做[课后习题] 2. 预习下一节内容		
教学后记	<p>讲课后评: 学生对化学反应速率的定义及简单计算方法, 学生基本都能正确掌握。 但少部分学生对利用活化分子解释浓度或分压、温度和催化剂对化学反应速率的影响还不能很好地掌握。</p>		

教学要点：

[引入]

通过日常生活中的现象引入化学反应速率。

请用“很快、较快、较慢、很慢”描述反应快慢程度：

爆炸—很快；牛奶变质—较快；溶洞形成—很慢；铁棒生锈—较慢

1. 化学反应速率的定义

定义：在体积一定的密闭容器中的反应，通常用单位时间内反应物浓度的减少或生成物浓度的增加来表示。

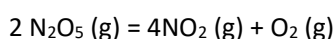
单位： $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{时间}^{-1}$

$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 或 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

速率都为正值。

2. 化学反应速率的表示方法

A. 平均反应速率



起始 2.10 0 0 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

100 秒后 1.95 0.30 0.075 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

$$\begin{aligned} -v_{(\text{N}_2\text{O}_5)} &= -\frac{(c_{\text{N}_2\text{O}_5})_2 - (c_{\text{N}_2\text{O}_5})_1}{t_2 - t_1} = -\frac{1.95 - 2.10}{100 - 0} \\ &= 1.5 \times 10^{-3} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

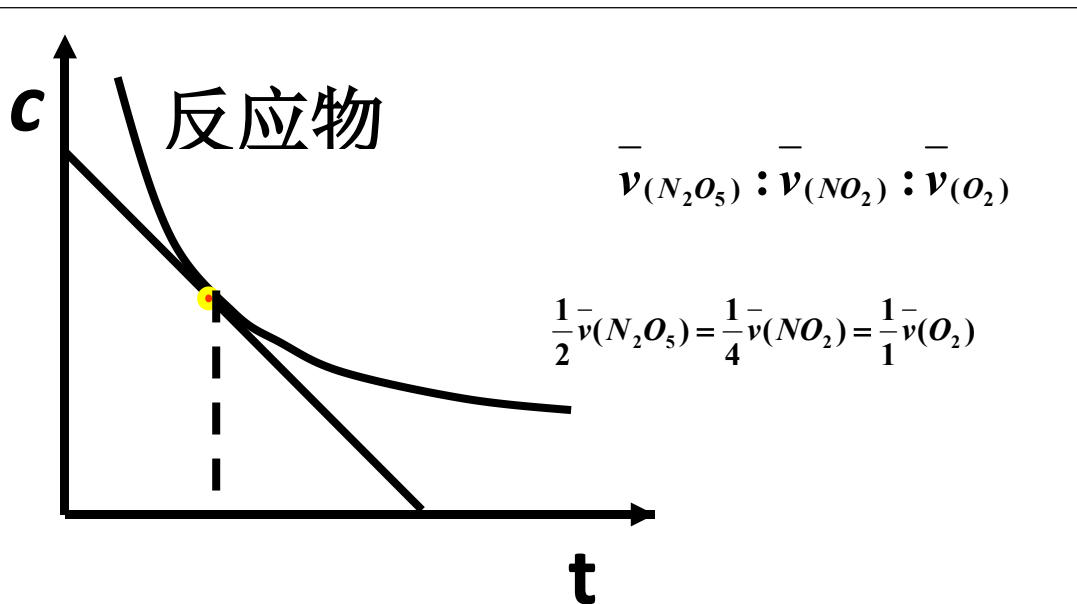
$$-v_{(\text{NO}_2)} = \frac{\Delta c_{\text{NO}_2}}{\Delta t} = \frac{0.30}{100} = 3 \times 10^{-3} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$-v_{(\text{O}_2)} = \frac{\Delta c_{\text{O}_2}}{\Delta t} = \frac{0.075}{100} = 0.75 \times 10^{-3} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

B. 瞬时速率

●定义：若将观察的时间间隔无限缩小，平均速率的极限值即为化学反应在 t 时的瞬时

速率（用作图的方法可求出反应的瞬时速率）：
$$v_{(\text{N}_2\text{O}_5)} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[-\frac{\Delta c_{\text{N}_2\text{O}_5}}{\Delta t} \right] = -\frac{dc_{\text{N}_2\text{O}_5}}{dt}$$



∴ 对于一般化学反应 $a\text{A} + b\text{B} \rightarrow g\text{G} + h\text{H}$ ，则有：

$$\frac{1}{a} \overline{v}(\text{A}) = \frac{1}{b} \overline{v}(\text{B}) = \frac{1}{g} \overline{v}(\text{G}) = \frac{1}{h} \overline{v}(\text{H})$$

$$-\frac{1}{a} \frac{\Delta c_{\text{A}}}{\Delta t} = -\frac{1}{b} \frac{\Delta c_{\text{B}}}{\Delta t} = \frac{1}{g} \frac{\Delta c_{\text{G}}}{\Delta t} = \frac{1}{h} \frac{\Delta c_{\text{H}}}{\Delta t}$$

C. 平均速率与瞬时反应速率的区别

对于反应： $a\text{A} + b\text{B} = g\text{G} + h\text{H}$

等效不等值 $\overline{v}_a : \overline{v}_b : \overline{v}_g : \overline{v}_h = a : b : g : h$

等效等值 $v = -\frac{1}{a} \frac{dC_{\text{A}}}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{dC_{\text{B}}}{dt} = \frac{1}{g} \frac{dC_{\text{G}}}{dt} = \frac{1}{h} \frac{dC_{\text{H}}}{dt}$

实际工作中如何选择，往往取决于哪一种物质更易通过试验监测其浓度变化。

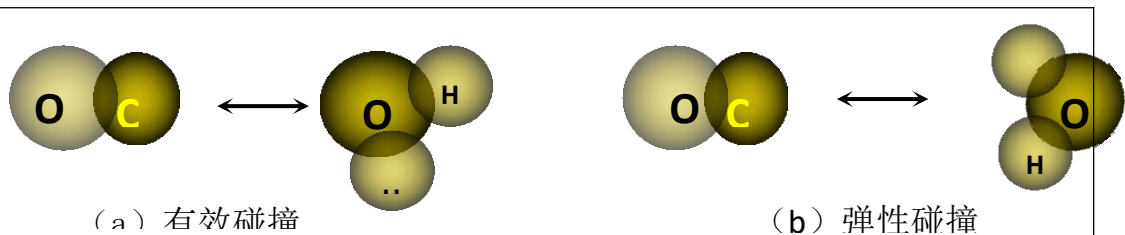
2. 化学反应速率理论

● **碰撞理论：**该理论认为反应物分子间的相互碰撞是反应进行是先决条件。

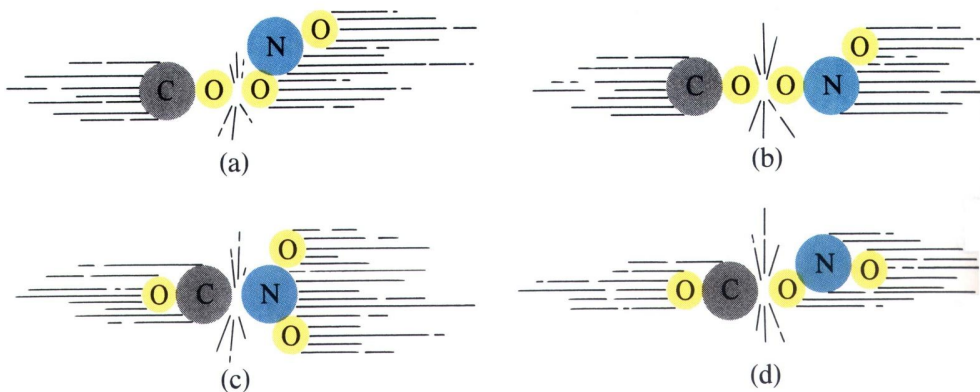
有效碰撞：1、能量足够 2、方向合适

缺点：把分子间的复杂作用简单地看成是机械的碰撞，忽视了化学反应的特性。

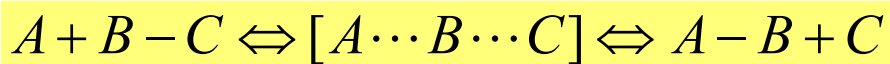
反应： $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{CO}(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$ ，只有当高能量 CO 中的 C 原子与高能量 H_2O 中的 O 原子靠近，并且沿着 C—O····O—H 直线方向碰撞，才能发生反应：



[思考题] 对于反应 $\text{NO}_2 + \text{CO} \rightarrow \text{NO} + \text{CO}_2$ 哪个是有效碰撞呢？

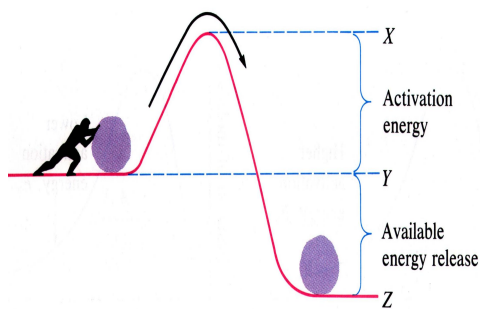


- **过渡态理论:** 过渡态理论认为, 化学反应不只是通过反应物分子间的简单碰撞就生成产物, 而是经过一个中间的过渡状态。



✚ **活化分子:** 只有少数能量足够高的分子碰撞后才能发生反应, 这样的分子称为活化分子。

✚ **活化能:** 反应物与活化络合物之间的能量差, 或发生反应必须越过的能垒。




3. 影响化学反应速率的因素

- **内因:** 毫无疑问, 反应速率首先决定于反应物本身的性质。
- **外因:** 浓度、温度、催化剂、接触面积。

A. 浓度对化学反应速率的影响:

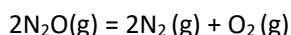
✚ 大量的实验证明: 在一定温度下, 增大反应物的浓度, 大都使反应速率加快。

 碰撞理论认为：增加反应物浓度时，活化分子总数增多，使单位时间内反应物分子发生有效碰撞机会增多，从而加快反应速率。

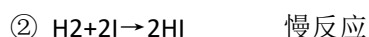
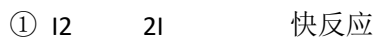
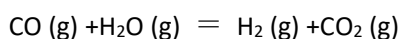
a. 基元反应与非基元反应

反应机理（反应历程）：一个化学反应所经历的途径或具体步骤。

※ 基元反应：由反应物微粒(分子、原子、离子或自由基)一步直接生成产物的反应称为基元反应。



反应 $\text{H}_2 + \text{I}_2 = 2\text{HI}$ 是由两步组成的

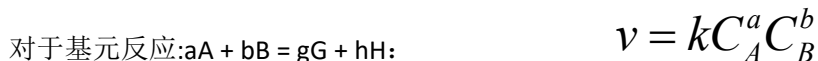


由两个或两个以上的基元反应组成的化学反应，叫总反应。

b. 质量作用定律（反应速率方程）

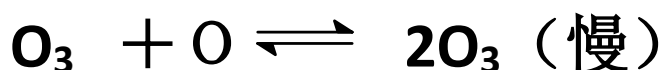
反应速率与各反应组分的浓度密切相关，人们总结出其影响规律：

质量作用定律：在恒温下，基元反应的速率正比于各反应物浓度幂的乘积，各浓度幂中的指数等于基元反应方程中各相应反应物的系数。



[思考题] 对臭氧转变成氧的反应：

其历程为：

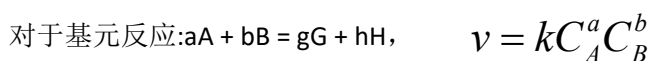


适合此历程的速率方程是什么？

- a. $k c(\text{O}_3)^2$ b. $k c(\text{O}_3) c(\text{O})$ c. $k c(\text{O}_3)^2 c(\text{O}_2)$ d. $k c(\text{O}_3)^2 c(\text{O}_2)^{-1}$

c. 反应级数的概念

在速率方程中，各反应物浓度的指数，称为该反应物的级数，所有反应物的级数之和，称为该反应的总级数（ n ）。



该反应对于 A 来说，属 a 级反应，对于 B 来说，属 b 级反应，该反应的总级数 $n = a + b$ 。

质量作用定律仅实用于基元反应，故非基元反应的复杂反应的速率方程都由实验确定。

例如： $aA + bB + cC + \dots = P$

其反应速率方程具有反应物浓度幂乘积的形式： $v = kC_A^\alpha C_B^\beta C_C^\gamma \dots$
 $n = \alpha + \beta + \gamma + \dots$

化学方程式	速率方程	反应级数
$2N_2O = 2N_2 + O_2$	$v = k C_{N_2O} = k$	0
$2H_2O_2 = 2H_2O + O_2$	$v = k C_{H_2O_2}$	1
$H_2 + Cl_2 = 2HCl$	$v = k C_{H_2} C_{Cl_2}^{1/2}$	3/2
$H_2 + I_2 = 2HI$	$v = k C_{H_2} C_{I_2}$	2
$2H_2 + 2NO = N_2 + 2H_2O$	$v = k C_{H_2} C_{NO}^2$	3

因此，反应级数可以为整数、零，也可以是分数。

B. 温度对化学反应速率的影响

[引入] 例：天气炎热时，食物易变质，而把食物储藏于冰箱中，则不易变质。

假定某一反应的温度系数为2，则100℃时的反应速率将为0℃时的1024倍，即在0℃时需要7天多完成的反应在100℃时10分钟就能完成。

a. 范霍夫 (van't Hoff) 近似规律：

范霍夫根据大量的实验数据总结出一条经验规律温度每升高10 K，反应速率近似增加2~

4倍： $\frac{k_{t+10}}{k_t} = 2 \sim 4$

范霍夫经验规律可以用来估计温度对反应速率的影响。但不够精确，且物理意义也不明确。

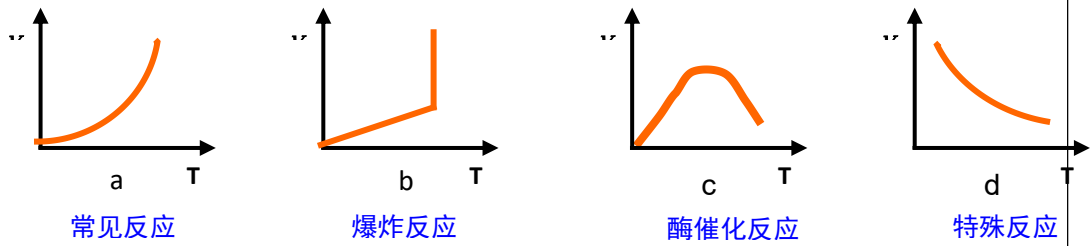
b. 阿仑尼乌斯根据大量的实验数据，又提出了著名的阿仑尼乌斯经验公式。

$$k = A e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

[拓展知识]

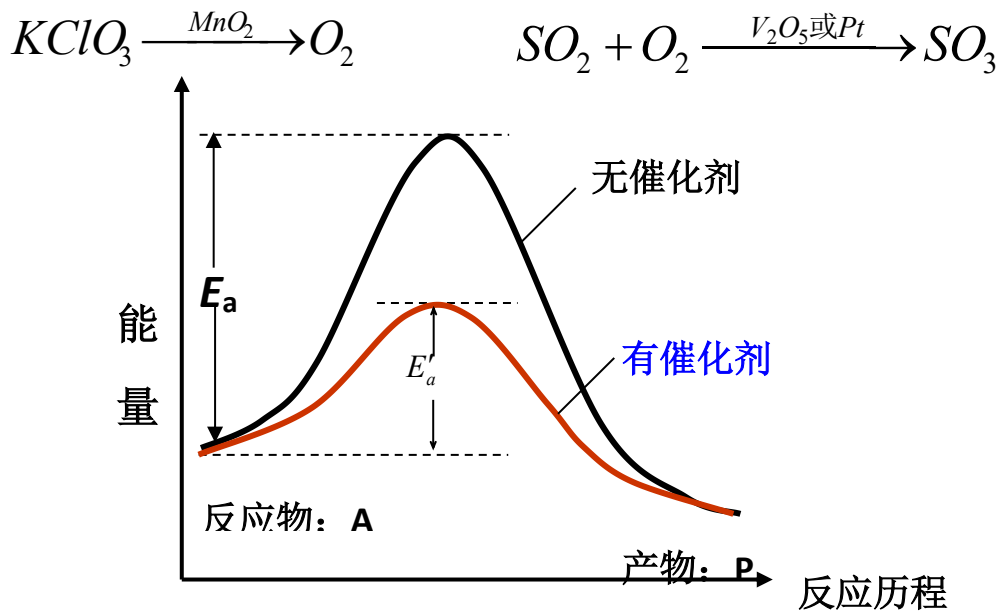
温度对化学反应速率的影响，就是温度对k的影响，一般来说，温度升高，反应加快。

但温度对反应速率的影响是相当复杂的：



C. 催化剂对化学反应速率的影响

催化剂：一种或多种少量的物质，能使化学反应的速率显著增大，而这些物质本身在反应后的数量及化学性质都不改变。这种现象称为催化作用。起催化作用的物质称为催化剂。

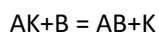
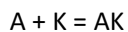


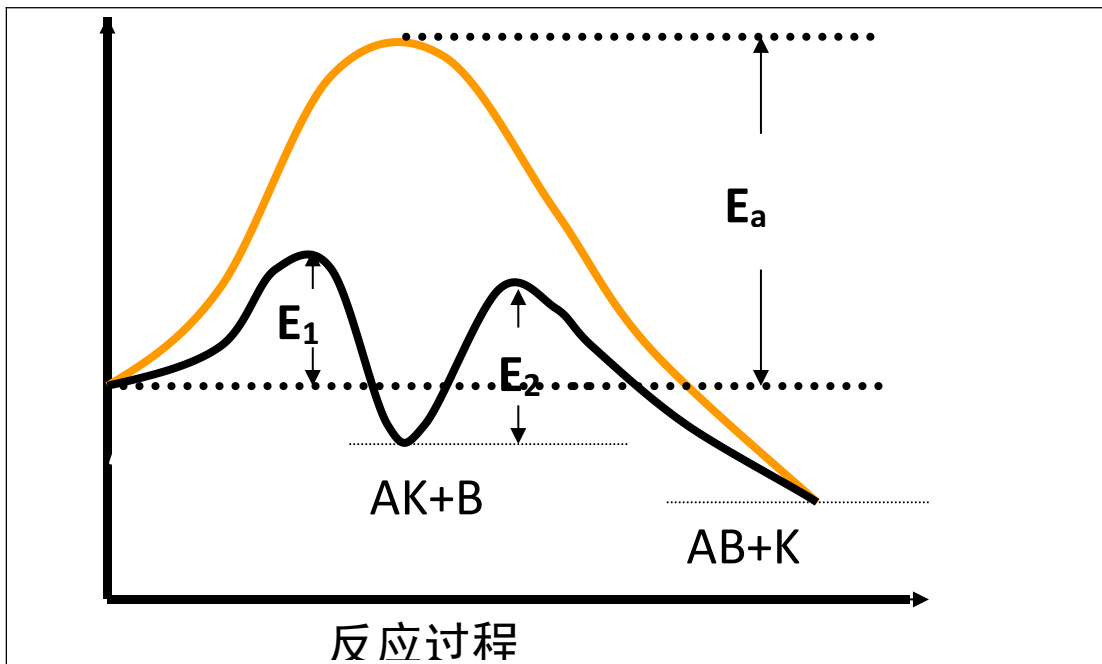
催化剂降低反应活化能示意图

催化机理：由图可见，催化剂能改变反应途径，降低反应的活化能，从而加快反应速度。

a、改变反应途径，降低活化能。

b、催化剂参加反应，生成不稳定的中间产物，中间产物再反应生成产物和原来的催化剂：





催化剂催化作用的基本特征：

- ✚ 催化剂参与了化学反应，但在反应前后的数量及化学性质不变。
- ✚ 催化剂只能缩短反应达平衡的时间，不能改变平衡常数的数值。
- ✚ 催化剂有选择性。
- ✚ 催化剂不能启动反应，只能加速反应。
- ✚ 许多催化剂对杂质很敏感。

[课后习题]

- 1、催化剂的特征之一是（ ）。

A: 加快反应速率，改变化学平衡	B: 加快反应速率，不改变化学平衡
C: 减慢反应速率，改变化学平衡	D: 减慢反应速率，不改变化学平衡
- 2、质量作用定律适用于（ ）。

A: 酸碱中和反应	B: 基元反应	C: 吸热反应	D: 放热反应
-----------	---------	---------	---------
- 3、反应的活化能越大，反应速度（ ）。

A: 越快	B: 不变	C: 越慢	D: 无法确定
-------	-------	-------	---------
- 4、在复杂反应中，控制总反应速率的是（ ）。

A: 最快的一步	B: 最慢的一步	C: 其中的一步	D: 每一步
----------	----------	----------	--------
5. 下列说法是否正确？为什么？

- (1) 质量作用定律是一个普遍的规律，适用于一切化学反应。 ()
- (2) 反应速率常数与温度有关，而与物质的浓度无关。 ()
- (3) 在一定温度下，反应的活化能越大，其反应速率也越大。 ()
- (4) 分步进行的化学反应，总反应的速率取决于最慢一步的反应速率 ()
- (5) 温度的变化总是对放热反应的反应速率影响较大。 ()
- (6) 在可逆反应中，吸热反应的活化能总是大于放热反应的活化能 ()

课程名称	无机化学	专业班级	分析检验技术(3+) 251 班
教材名称	无机化学 华中科技大学出版社		
授课题目	3 化学反应速率和化学平衡		
授课学时	4 节 (<input checked="" type="checkbox"/>); 3 节 (); 其它 ()		
课 型	理论 (<input checked="" type="checkbox"/>); 实验 (); 见习 (); 实训 (); 其它 ()		
教学目的	1 掌握化学平衡的概念和特征 2 掌握平衡常数的概念及其表达式的书写 3 熟练掌握影响化学平衡移动的因素		
教学重点	化学平衡常数及影响化学平衡移动的因素		
教学难点	浓度、压力、温度及催化剂对化学平衡移动的影响及平衡移动原理的理解。		
教学方法	讲授 (<input checked="" type="checkbox"/>); 讨论 (); 指导 (); 示教 (); 其它 ()		
电子教案	有 (<input checked="" type="checkbox"/>)	Microsoft PowerPoint (<input checked="" type="checkbox"/>); Author ware (); 其它 ()	
	无 ()		
教学资源	多媒体 (<input checked="" type="checkbox"/>); 模型 (); 标本 (); 实物 (); 音像 (); 其它 ()		
教学过程 时间安排	3.4.1 可逆反应与化学平衡 20' 3.4.2 平衡常数 10' 3.4.3 平衡常数与平衡转化率 15' 3.5.1 浓度或分压对化学平衡的影响 15' 3.5.2 压力对化学平衡的影响 15' 3.5.3 温度对化学平衡的影响 5' 3.5.4 催化剂对化学平衡的影响 5' 3.5.5 平衡移动的原理-吕*查德里原理 5'		
思考题	见教案中[思考题]		
作 业	预习下一节内容		
教学后记	讲课后评: 部分学生对化学平衡移动的影响因素掌握的不扎实。 课后需多做练习		

教学要点

[引入]

高炉炼铁的主要反应为：



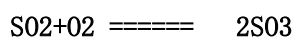
在 19 世纪后期，人们发现从炼铁高炉的炉口排出的尾气中含有一定量的 CO。有的工程师认为，这是由于 CO 与铁矿石接触时间不够长的原因。于是在英国耗费了大量资金建造了一个高大的炼铁高炉，以增加 CO 和 Fe₂O₃ 的接触时间。可后来发现，用这个高炉炼铁，排出的高炉气中 CO 的含量并未减少。这是为什么呢？

1. 可逆反应与化学平衡

A. 可逆反应

定义：可逆反应：在同一条件下既可向正反应方向进行又可向逆反应方向进行的反应。

高温、高压



催化剂

→ 正反应方向；v 正；此时反应物_____

← 逆反应方向；v 逆；此时反应物_____

不可逆反应： $2\text{KClO}_3 \rightarrow 2\text{KCl} + 3\text{O}_2 \uparrow$

II 事实上，大部分化学反应都是可逆反应。只不过有的逆方向较弱，不太明显；而有的逆方向很强，表现为明显的可逆反应。因此，研究可逆反应的规律具有十分重要的意义。

[练习题]

下列为可逆反应的是

A 氢气与氧气点燃可化合成水，水电解可生成氢气和氧气，因此氢气与氧气的反应是可逆反应。

B 在催化剂的作用下，二氧化硫与氧气反应生成三氧化硫的同时，三氧化硫又有分解。

C 碳酸钙在高温下分解生成氧化钙和二氧化碳，氧化钙和二氧化碳在常温下生成碳酸钙，因此这二个反应互为可逆反应。

注：只有在“同一条件下”同时进行的才互为可逆反应。

[思考题]

可逆反应能进行彻底吗？即 2mol SO₂ 与 1mol O₂ 在催化剂的作用下最终能得到 2mol SO₃ 吗？

(1)开始时刻各物质浓度，正、逆反应速率如何？

$c(\text{SO}_2)$ 、 $c(\text{O}_2)$ 最大， $c(\text{SO}_3)=0$ $v(\text{正})$ 最大， $v(\text{逆})=0$

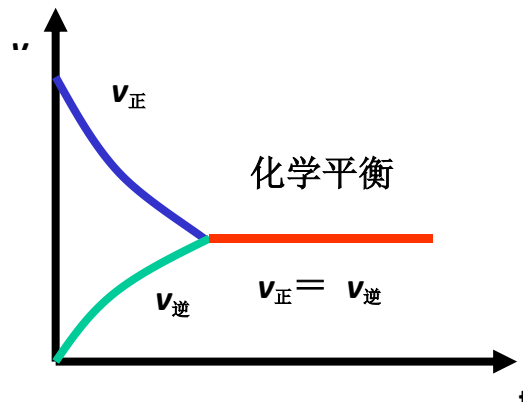
(2)随着反应进行又有什么特征？

$c(\text{SO}_2) \downarrow$ $c(\text{O}_2) \downarrow$ $c(\text{SO}_3) \uparrow$ ； $v(\text{正}) \downarrow$ $v(\text{逆}) \uparrow$

(3)一段时间后有什么特征？

$v(\text{正})=v(\text{逆})$ $c(\text{SO}_2)$ 、 $c(\text{O}_2)$ 、 $c(\text{SO}_3)$ 均不再变化

化学平衡：



B. 化学平衡状态

定义：可逆反应在一定条件下进行到一定程度时，正反应速率与逆反应速率相等，反应物和生成物的浓度不再随时间发生变化的状态。

研究对象：可逆反应

平衡前提：一定条件下，（即外部条件如 C、P、T 等）

平衡特征：定：化学平衡状态时， $v_{\text{正}} = v_{\text{逆}}$ ，一定温度下，平衡状态体现该条件下反应进行的最大限度。

动：动态平衡： $v(\text{正}) = v(\text{逆}) \neq 0$

变：条件改变 → 平衡改变

化学平衡状态：

[研究素材] 在恒温压的条件下，有人将一定质量的蔗糖粒放入它的饱和水溶液中，过了一天之后再来看时，发现许多小的颗粒不见了，而大的颗粒变得更大，取出干燥后称

量，发现质量却与原来一样。

- 这里有二个相反过程：溶解和结晶。
- 为什么固体的总质量没变？
- 在饱和溶液中这二个相反过程停止了吗？

化学平衡状态的标志：

(1) $v_{正} = v_{逆}$ (本质特征)

- 同一种物质：该物质的生成速率等于它的消耗速率。
- 不同的物质：速率之比等于方程式中各物质的计量数之比，但必须是不同方向的速率。

(2) 各组分的含量保持不变 (外部表现)：

[练习题]

下列说法可以证明反应



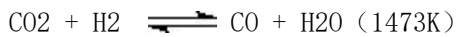
- 1 个 $N \equiv N$ 键断裂的同时，有 3 个 $H-H$ 键形成
- 1 个 $N \equiv N$ 键断裂的同时，有 3 个 $H-H$ 键断裂
- 1 个 $N \equiv N$ 键断裂的同时，有 6 个 $N-H$ 键断裂
- 1 个 $N \equiv N$ 键断裂的同时，有 6 个 $N-H$ 键形成

当可逆反应 $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$ 达平衡时，通入 $18O_2$ ，再次平衡时， $18O$ 存在于

- SO_3 O_2
- SO_2 SO_3
- SO_2 O_2
- SO_2 O_2 SO_3

2. 平衡常数

A. 标准平衡常数 K^θ



编号	起始浓度 / mol · dm ⁻³				平衡浓度 / mol · dm ⁻³				$\frac{[CO][H_2O]}{[CO_2][H_2]}$
	CO ₂	H ₂	CO	H ₂ O	CO ₂	H ₂	CO	H ₂ O	
1	0.01	0.01	0	0	0.004	0.004	0.006	0.006	2.3
2	0.01	0.02	0	0	0.0022	0.0122	0.0078	0.0078	2.3
3	0.01	0.01	0.001	0	0.0041	0.0041	0.0069	0.0059	2.4

4	0	0	0.02	0.02	0.0082	0.0082	0.0118	0.0118	2.2
---	---	---	------	------	--------	--------	--------	--------	-----

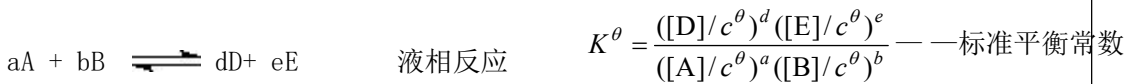
$$\frac{[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}_2][\text{H}_2]} = \text{恒定值}$$

化学平衡定律：在一定温度下，可逆反应达平衡时，生成物的浓度以反应方程式中计量系数为指数幂的乘积与反应物的浓度以反应方程式中计量系数为指数幂的乘积之比是一个常数。

$$\frac{\text{平衡浓度}}{\text{标准态浓度}} = \frac{[]}{c^\theta (= 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})}$$

相对平衡浓度：

$$\text{相对平衡分压：} \frac{\text{平衡分压}}{\text{标准态压力}} = \frac{p_{\text{eq}}}{p^\theta (= 1.00 \times 10^5 \text{ Pa})}$$



$$K^\theta = \frac{\left[\frac{p_{\text{eq,G}}}{p^\theta} \right]^g \left[\frac{p_{\text{eq,H}}}{p^\theta} \right]^h}{\left[\frac{p_{\text{eq,A}}}{p^\theta} \right]^a \left[\frac{p_{\text{eq,B}}}{p^\theta} \right]^b}$$

★ 标准平衡常数是一定温度下，化学反应可能进行的最大限度的量度。

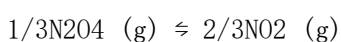
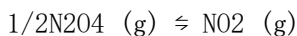
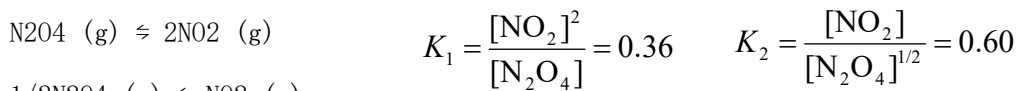
$K^\theta \uparrow$ ，[产物] \uparrow ，化学反应向右进行得越彻底。

★ K^θ 只与反应的本性和温度有关，与浓度或分压无关。温度不同， K^θ 不同。

B. 书写和应用标准平衡常数表达式的注意事项

a 纯固体，液体和稀溶液中水的浓度不写入 K^θ 的表达式；

b. K^θ 值与反应方程式的写法有关，例：在 373K 时，



$$K_3 = \frac{[\text{NO}_2]^{2/3}}{[\text{N}_2\text{O}_4]^{1/3}} = 0.72$$

$$K_1 = (K_2)^2 = (K_3)^3$$

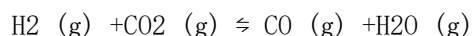
方程式的配平系数扩大 n 倍时，平衡常数将变为 K^n 。

c. 逆反应的平衡常数与正反应的平衡常数互为倒数。

$$K^{\text{正}} \times K^{\text{逆}} = 1$$

3. 平衡转化率

● 定义：转化率就是反应物转化为产物的百分数



起始浓度： 0.02 0.02 0 0 mol/L

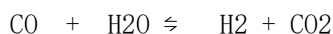
平衡浓度： 0.005 0.005 0.015 0.015 mol/L

转化浓度： 0.015 0.015 mol/L

$$\text{转化率} = \frac{0.015}{0.02} \times 100\% = 75\%$$

[例题] 反应 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2 + \text{CO}_2$ ，在温度 T 时， $K=9$ ， CO 和 H_2O 的起始浓度均为 $0.02 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，求 CO 平衡转化率。

解： 设消耗了 CO 的浓度为 $x \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$



起始浓度 0.02 0.02 0 0 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

平衡浓度 $0.02-x$ $0.02-x$ x x $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

$$K = \frac{[\text{H}_2][\text{CO}_2]}{[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]} = \frac{x \cdot x}{(0.02-x)(0.02-x)} = 9$$

$x = 0.015 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ， $[\text{H}_2] = [\text{CO}_2] = 0.015 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

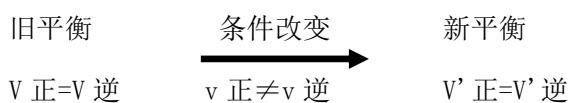
转化率为： $(0.015 / 0.02) \times 100\% = 75\%$

≥同理，可求得当 $K=4$ 和 $K=1$ 时， CO 转化率分别为 67% 和 50%。所以， K 越大，转化率越大。

4. 化学平衡的移动

● 定义：改变外界条件，破坏原有的平衡状态，建立起新的平衡状态的过程。

移动的原因：外界条件发生变化。



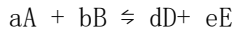
移动的方向：注意：移动的方向：由 $v_{\text{正}}$ 和 $v_{\text{逆}}$ 的相对大小决定。

①若 $V_{正} > V_{逆}$ ，平衡向正反应方向移动。

②若 $V_{正} = V_{逆}$ ，平衡不移动。

③若 $V_{正} < V_{逆}$ ，平衡向逆反应方向移动。

5、影响化学反应速率的因素



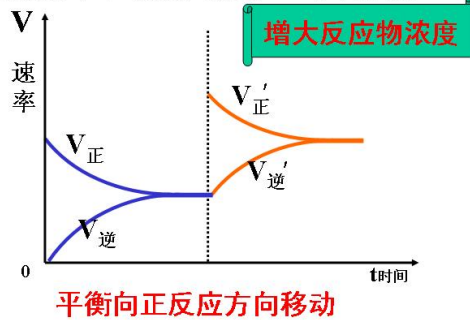
$$K^\theta = \frac{([D]/c^\theta)^d ([E]/c^\theta)^e}{([A]/c^\theta)^a ([B]/c^\theta)^b} = \frac{(c_D/c^\theta)^d (c_E/c^\theta)^e}{(c_A/c^\theta)^a (c_B/c^\theta)^b} = Q$$

↑ 反应物浓度或 ↓ 产物浓度， $Q \downarrow$ ， $Q < K^\theta$ ，平衡 → 正，直到 $Q = K^\theta$ ，达到新的平衡。

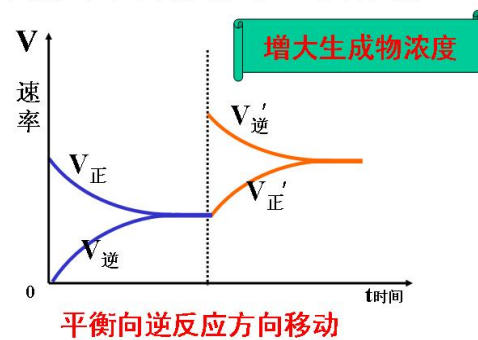
在平衡体系中，增大（或减小）某物质的浓度，平衡就向减小（或增大）该物质浓度的方向移动。

A. 浓度对平衡影响

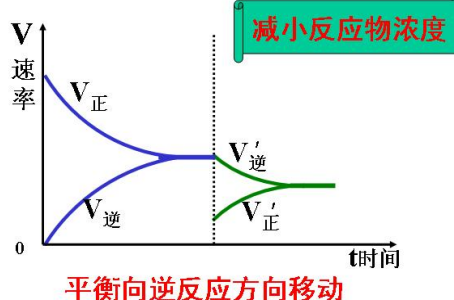
浓度对平衡影响的v-t图分析1



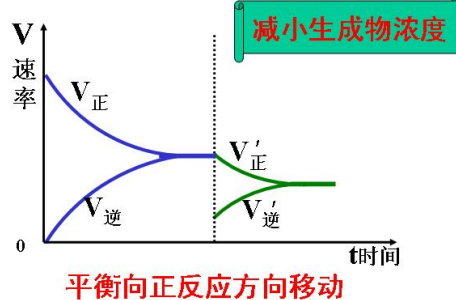
浓度对平衡影响的v-t图分析2



浓度对平衡影响的v-t图分析3



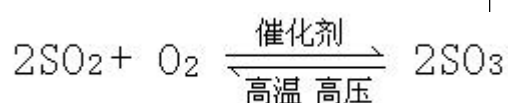
浓度对平衡影响的v-t图分析4



[练习]

浓度的影响在实际中的应用

工业上制取硫酸的过程中，有一重要的反应：



在实际生产过程中，常用过量的空气与成本较高的 SO_2 作用，为什么？

a. 可逆反应中，为尽可能利用某一反应物，用过量的另一种反应物和它作用，可以使该某反应物的转化率增大。

例：工业制硫酸， $\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$

b. 不断将生成物从反应体系中分离出来，则平衡不断向生成物方向移动。

例：氢气和四氧化三铁反应，生成的水蒸气不断从反应体系中移去，四氧化三铁可以全部转化成铁。 $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g})$

B. 压力对化学平衡的影响

可逆反应 $a\text{A} + b\text{B} \rightleftharpoons d\text{D} + e\text{E}$ ：

$$K^\theta = \frac{(p_{\text{eq},D}/p^\theta)^d (p_{\text{eq},E}/p^\theta)^e}{(p_{\text{eq},A}/p^\theta)^a (p_{\text{eq},B}/p^\theta)^b} \quad Q = \frac{(p_D/p^\theta)^d (p_E/p^\theta)^e}{(p_A/p^\theta)^a (p_B/p^\theta)^b}$$

➡ 增大反应物分压或减少产物分压，平衡向正向移动。

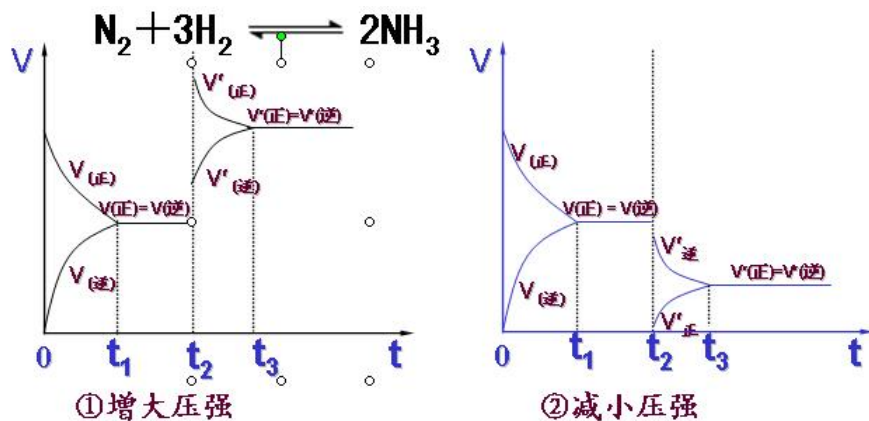
➡ 减少反应物分压或增大产物分压，平衡向逆向移动。

➡ 改变平衡体系的总压力时：(1) 若 $a+b=d+e$ ，平衡不移动；

(2) 若 $a+b \neq d+e$ ，

$p_{\text{总}} \uparrow$ ，平衡向气体分子数目减少的方向移动；

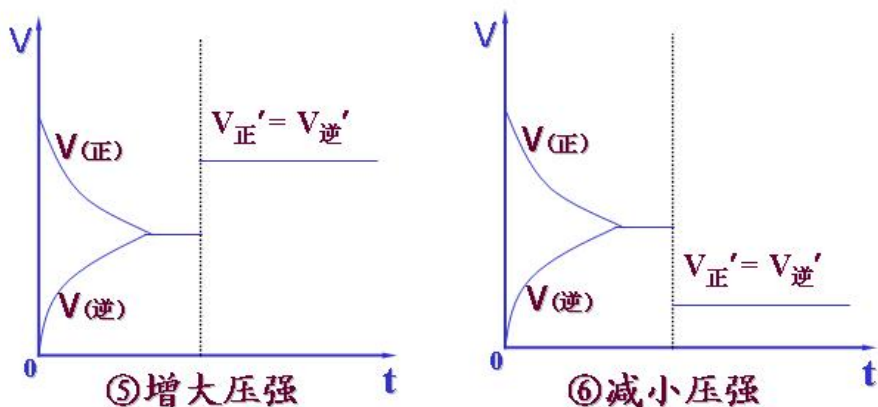
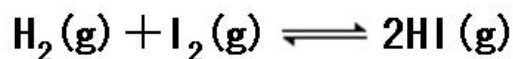
$p_{\text{总}} \downarrow$ ，平衡向气体分子数目增多的方向移动。



结论： 增加压强可使平衡向气体减小的方向移动；
减小压强可使平衡向气体体积增大的方向移动。

压强引起平衡移动的v-t图分析

对于反应前后气体分子数目不变的反应



$V'_{\text{正}} = V'_{\text{逆}}$ 平衡不移动

压强引起平衡移动的相关v-t图分析

注意：充入“惰性气体”

- a 恒压 当成“减压”
- b 恒容 速率不变，平衡不移动

[练习题]

1. 某一化学反应，反应物和生成物都是气体，改变下列条件一定能使化学平衡向正反应方向移动的是 ()

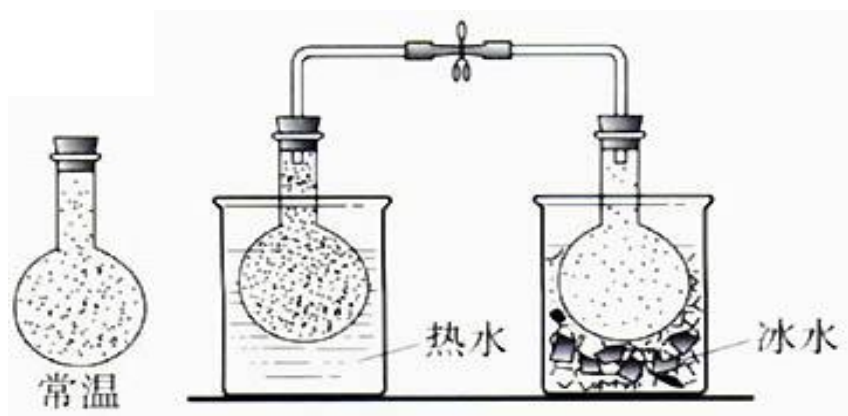
- A. 增大反应物浓度 B. 减小反应容器的体积
C. 增大生成物浓度 D. 升高反应温度

2. 压强变化不会使下列化学反应的平衡发生移动的是 ()

- A. $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + 3\text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Fe}(\text{s}) + 3\text{CO}_2(\text{g})$
B. $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$
C. $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$
D. $\text{C}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g})$

C. 温度对化学平衡的影响

[探究]



$$\Delta_r G_m^\ominus = -RT \ln K^\ominus \quad \Rightarrow \quad \ln K^\ominus = -\frac{\Delta_r H_m^\ominus}{RT} + \frac{\Delta_r S_m^\ominus}{R}$$

结论：大量实验研究表明，在其他条件不变的情况下，

升高温度，化学平衡向吸热反应方向移动；降低温度，化学平衡向放热反应方向移动。

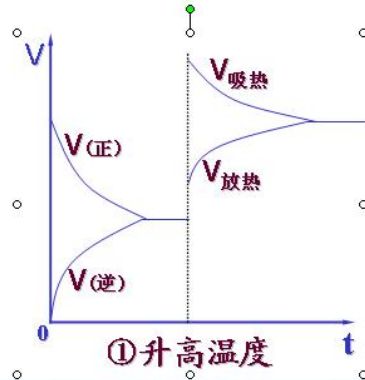
注意：温度的变化一定会影响化学平衡，使平衡发生移动

温度的改变对正逆反应速率都会产生影响，但影响的程度不同，温度的变化对吸热反应的速率比放热反应的速率影响大。

具体表现：升高温度，正、逆反应速率都增大，但增大的倍数不一样，吸热反应增大的倍数大。

降低温度，正、逆反应速率都减小，但降低的倍数不一样，吸热反应降低的倍数大。

温度变化对化学平衡的影响



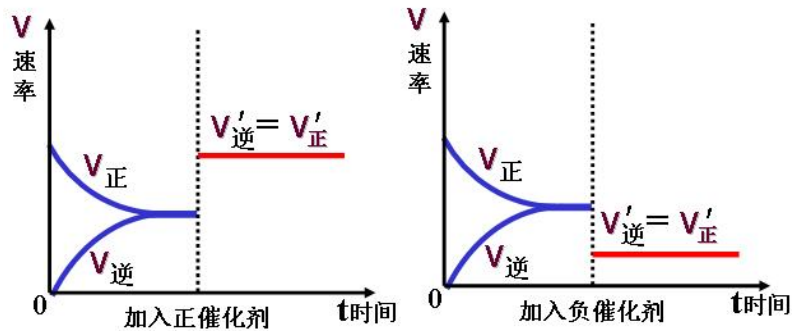
结论：其他条件不变，升高温度平衡向吸热反应方向移动

温度引起平衡移动的相关v-t图分析

C. 催化剂对化学平衡的影响

催化剂降低了反应的活化能，正反应的活化能降低，逆反应的活化能也降低，正反应的活化分子百分数增加几倍，逆反应的活化分子百分数也增加几倍，正逆反应速率增加的倍数相等，加催化剂，不能使平衡发生移动，只影响到达平衡的时间。

使用催化剂对化学平衡的影响



- ❖ 催化剂同等程度的改变正、逆反应速率 ($V_{\text{正}} = V_{\text{逆}}$)
- ❖ 使用催化剂，对化学平衡无影响。
- ❖ 正催化剂能缩短平衡到达的时间

❖ 化学平衡移动原理——勒夏特列原理

如果改变影响平衡的一个条件（如浓度、温度、或压强等），平衡就向能够减弱这种改变的方向移动。

注意：

- ①是“减弱”这种改变，不是“消除”这种改变
- ②勒夏特列原理适用于任何动态平衡体系（如：溶解平衡、电离平衡、沉淀平衡、水解平衡等），未平衡状态不能用此来分析
- ③平衡移动原理只能用来判断平衡移动方向，但不能用来判断建立平衡所需时间。

课程名称	无机化学	专业班级	分析检验技术(3+) 251班
教材名称	无机化学 华中科技大学出版社		
授课题目	水的解离和溶液的 pH		
授课学时	2 节 (<input checked="" type="checkbox"/>); 3 节 (); 其它 ()		
课 型	理论 (<input checked="" type="checkbox"/>); 实验 (); 见习 (); 实训 (); 其它 ()		
教学目的	1. 理解水的离子积和溶液的 pH 基本概念 2. 熟练掌握强酸强碱溶液的 pH 值计算 3. 熟悉 pH 值的测定方法 4. 理解解离常数和解离度的概念		
教学重点	水的解离平衡和溶液的酸碱性、PH 的计算方法以及测定方法。		
教学难点	PH 的计算。。		
教学方法	讲授 (<input checked="" type="checkbox"/>); 讨论 (); 指导 (); 示教 (); 其它 ()		
电子教案	有 (<input checked="" type="checkbox"/>)	Microsoft PowerPoint (<input checked="" type="checkbox"/>); Author ware (); 其它 ()	
	无 ()		
教学资源	多媒体 (<input checked="" type="checkbox"/>); 模型 (); 标本 (); 实物 (); 音像 (); 其它 ()		
教学过程 时间安排	1 基础知识回顾和水的解离平衡 40' 2 溶液的酸碱性和 pH 25' 3 酸碱指示剂 15'		
思考题	见教案中[思考题]		
作 业	预习下一节内容		
教学后记	讲课后评: 由于此行政班级大部分为文科生, 所以化学基础较差, 从初中及高中化学知识的引入讲解这节, 学生掌握起来比较容易, 但是对于水溶液电离平衡中, 氢离子和氢氧根离子的离子积运用不熟练。		

教学要点

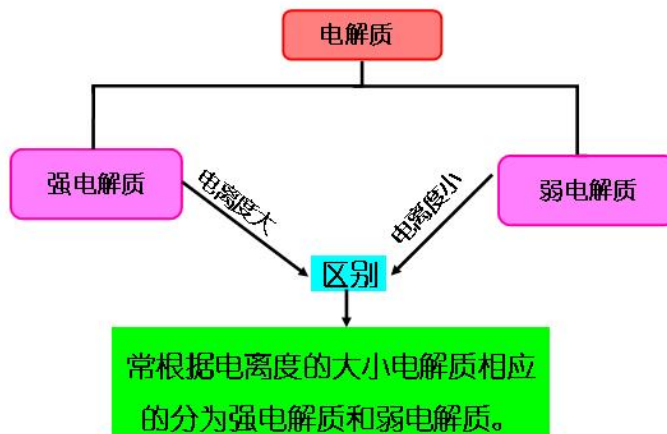
[引入]

知识点回顾1



不是电解质的物质:

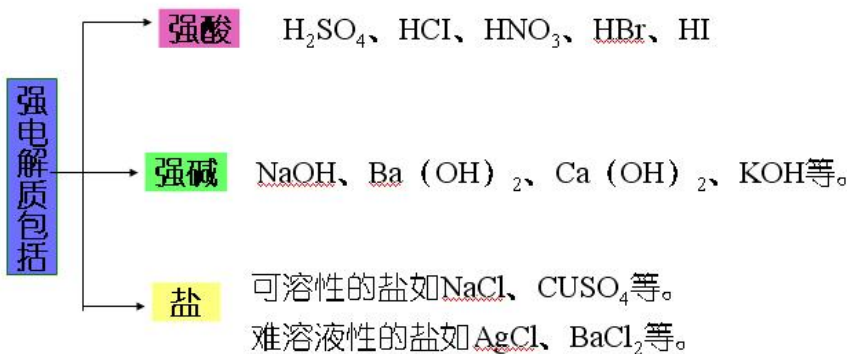
知识点回顾2



知识点回顾3

在水溶液中或在熔化状态下能导电的化合物叫做**电解质**。

(1) 强电解质：在水溶液中能**全部离解**成离子的电解质



(2) 弱电解质:

在水溶液中只有一部分离解的电解质叫做弱电解质。

是一个可逆过程

(3) 电离:

电解质在水溶液中或在熔化状态下, 分离成为离子的过程叫电离。

★注: 电离过程在水溶液中或在热的作用下发生的, 并非通电后引起的。

1. 水的电离和溶液的 pH

水是一种极弱的电解质, 绝大部分以水分子形式存在, 仅能离解出极少量的 H^+ 和 OH^- 。实验表明, 纯水也有微弱的导电性。

A. 水的解离平衡



$$K^\ominus = \frac{\{c(H^+)/c^\ominus\} \cdot \{c(OH^-)/c^\ominus\}}{\{c(H_2O)/c^\ominus\}} = \frac{c'(H^+) \cdot c'(OH^-)}{c'(H_2O)}$$

式中 c' 为物种浓度 c 与标准浓度 c^\ominus 的比值, 其量纲为1; 而 c 的量纲为 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

B. 水的离子积

因为水的浓度为:

$$c(H_2O) = (1000\text{g} \cdot \text{L}^{-1}) / (18.0\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}) = 55.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\text{所以: } K_w^\ominus = K^\ominus \cdot c'(H_2O) = c'(H^+) \cdot c'(OH^-)$$

∵ H_2O 的电离极弱, 电离的水分子数与总的水分子数相比微不足道, 故水的浓度可视为常数, 合并入平衡常数。

$$\therefore [H^+][OH^-] = K[H_2O] = K_w$$

K_w : 常数

在 25°C 时, $K_w = 1.00 \times 10^{-14}$ -----水的离子积常数

意义: 在纯水或稀水溶液中, H^+ 与 OH^- 浓度的乘积为一常数。

表 1 不同温度下水的离子积

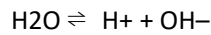
T/K	K_w
273	1.139×10^{-15}
295	1.000×10^{-14}
★ 298	1.008×10^{-14}
323	5.474×10^{-14}
373	5.51×10^{-13}

K_w 是温度的函数 温度 \uparrow K_w \uparrow

水的解离是吸热反应

2. 溶液的酸碱性和 pH

A. 溶液的酸碱性和 pH 值



定 T 下达平衡时: $\{c(H^+)/c\} \cdot \{c(OH^-)/c\} = K(H_2O) = K_w$

在 25°C 时, $K_w = 1.00 \times 10^{-14}$

酸性溶液: $c(H^+) > 1 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} > c(OH^-)$

中性溶液: $c(H^+) = 1 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = c(OH^-)$

碱性溶液: $c(H^+) < 1 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} < c(OH^-)$

●定义: pH 的定义: 溶液中氢离子浓度的负对数叫做 pH 值。

$$pH = -\lg\{c(H^+)/c\}$$

$$pOH = -\lg\{c(OH^-)/c\}$$

$$298.15K \text{ 时: } \{c(H^+)/c\} \cdot \{c(OH^-)/c\} = 1 \times 10^{-14}$$

对上式两边取负对数得: $pH + pOH = 14$

酸性溶液: $pH < 7$;

中性溶液: $pH = 7$;

碱性溶液: $pH > 7$ 。

B. 对纯水或在纯水中加入酸、碱或其它物(浓度较稀)都适用

在纯水中加入酸, $[H^+] \uparrow$, $[OH^-] \downarrow$

在纯水中加入碱, $[OH^-] \uparrow$, $[H^+] \downarrow$

而 $[H^+][OH^-] = K_w$ 不变

[思考题] 1. 已知 $[H^+] = 5.6 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$, 则 $\text{pH} = ?$

2. 已知 $\text{pH} = 0.25$, 则 $[H^+] = ?$

3. 0.050 mol/L 的 HCl 溶液的 pH 和 pOH .



pH值能否 < 0, 或 > 14 ?

pH 标度适用范围: $0 < \text{pH} < 14.0$

$1 > c(H^+) > 1 \times 10^{-14}$

如超出此适用范围, 应使用 $c(H^+)$ 或 $c(OH^-)$

[生活

中的实例]

人血液	7.35~7.45	牛奶	6.5
雨	5.7	番茄汁	4.2
葡萄酒	3.4	柠檬汁	2.4
胃液	1.0~3.0	眼泪	7.4

肉类新鲜程度会引起pH发生相应的变化, 变化关系如表:

名称	新鲜肉	次鲜肉	变质肉
pH	5.8-6.2	6.3-6.6	>6.7

3. 酸碱指示剂

● 是一种有机染料, 为有机弱酸或弱碱, 它们的分子或离子在不同的 pH 值时, 因为本身结构变化而呈现不同的颜色。

常见指示剂的变色范围

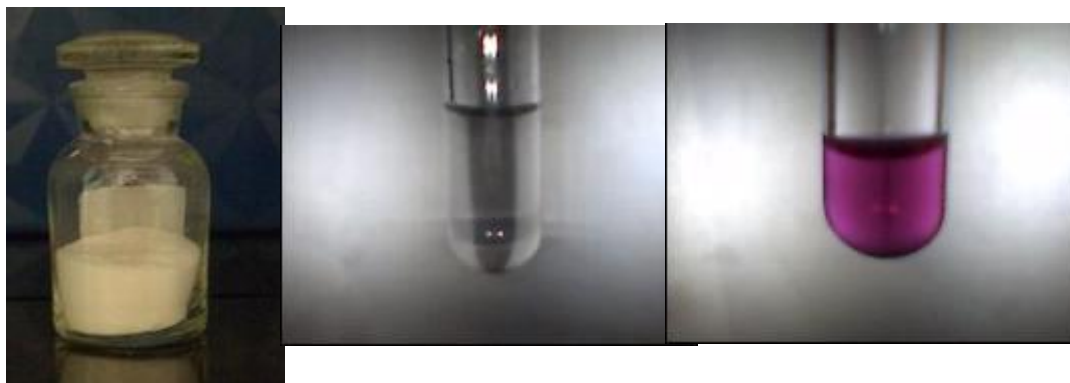
指示剂	变色范围	酸色	过渡色	碱色
甲基橙	3.1-4.4	红	橙	黄
甲基红	4.4-6.2	红	橙	黄
石蕊	5.0-8.0	红	紫	蓝
酚酞	8.2-10.0	无色	粉红	玫瑰红

[知识拓展] 常见的几种指示剂

石蕊：石蕊的性状为蓝紫色粉末，是从地衣植物“石蕊”中提取得到的蓝色色素，能部分地溶于水而显紫色。



酚酞：为白色或微带黄色的细小晶体。



PH试纸上有甲基红、溴甲酚绿、百里酚蓝这三种指示剂。它们和酚酞一样，在不同PH值的溶液中均会按一定规律变色



携带非常方便的笔式 pH 计

Ph值与生物之间的联系:

苦丁茶



苦丁茶



生长在 pH 值为 4.5-6.5 的土壤中为宜

某些花浸出液的变色情况

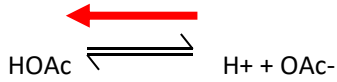
花名	花的颜色	变色情况	
		酸性	碱性
月季花	红色	红色	黄色
菊花	紫色	红色	黄色
丝瓜花	黄色	黄绿色	黄色
一串红	红色	红色	黄绿色

课程名称	无机化学	专业班级	分析检验技术(3+) 251班
教材名称	无机化学 华中科技大学出版社		
授课题目	4 电解质溶液和解离平衡		
授课学时	2节(√); 3节(); 其它()		
课 型	理论(√); 实验(); 见习(); 实训(); 其它()		
教学目的	1.掌握同离子效应、盐效应对解离平衡和沉淀溶解平衡的影响。 2.会用溶度积常数规则判断沉淀的产生和溶解。 3.了解缓冲溶液的作用原理。		
教学重点	对同离子效应、缓冲溶液、盐的水解及沉淀溶解平衡的理解		
教学难点	缓冲溶液的缓冲原理及盐的水解原理		
教学方法	讲授(√); 讨论(); 指导(); 示教(); 其它()		
电子教案	有(√)	Microsoft PowerPoint(√); Author ware(); 其它()	
	无()		
教学资源	多媒体(√); 模型(); 标本(); 实物(); 音像(); 其它()		
教学过程 时间安排	1 同离子效应	15'	
	2 缓冲溶液	30'	
	3 盐类的水解	20'	
	4 沉淀溶解平衡	20'	
思考题	见教案中[思考题]		
作 业	于下周实验时上交实验报告		
教学后记	<p>讲课后评:</p> <p>常用玻璃仪器的使用注意事项, 学生基本都能正确掌握。</p> <p>但少部分学生对意外事故的紧急处理没有掌握好, 在实训过程中出现问题, 没法应用所学知识去解决, 以至于手忙脚乱。</p> <p>解决办法为: 加强意外事故紧急处理的理论知识的学习和掌握。</p>		
教学要点			

1. 解离平衡的移动-同离子效应

●HOAc 溶液加入 NaOAc

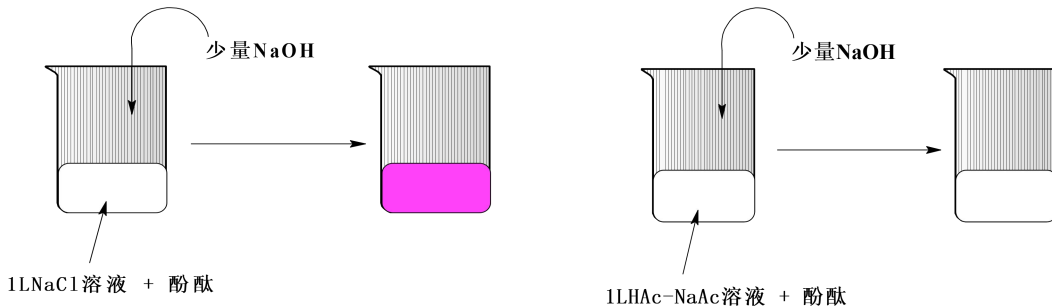
平衡向左移动



●同离子效应——在弱电解质溶液中，加入含有相同离子的易溶强电解质，使弱电解质解离度降低的现象

2. 缓冲溶液

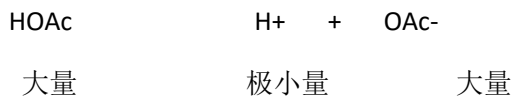
A、缓冲溶液作用机制



B. 缓冲溶液的概念

能抵抗外来少量强酸、强碱或稍加稀释，而能保持其 pH 基本不变的溶液，称为缓冲溶液 (buffer solution)。

外加适量碱(OH⁻)，平衡向右移动



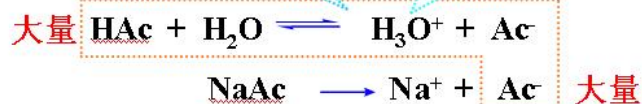
外加适量酸(H⁺)，平衡向左移动

C.

当加入少量强酸时，Ac⁻结合H⁺，消耗外来的H⁺，平衡左移

当加入少量的强碱时，HAc解离出的H⁺结合OH⁻，平衡右移

NaOAc 抵消 H⁺;
HOAc 抵消 OH⁻
缓冲机制



(1) Ac⁻(共轭碱)为缓冲溶液的抗酸成分。

(2) HAc(弱酸)为缓冲溶液的抗碱成分。

但缓冲溶液的缓冲作用不是无限的

血液中的缓冲系

在体外，微生物的培养、组织染色、血液的冷藏保存

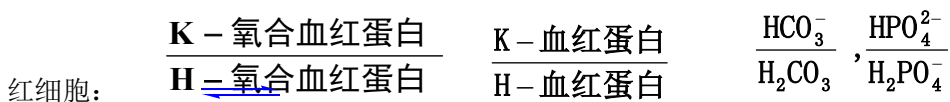
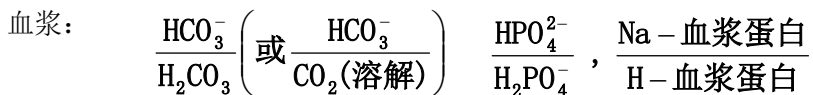
人体内，复杂的物质代谢反应。如胃蛋白酶的适宜 pH 为 1.5—2.0 范围

健康人血液的 pH 值总保持在 7.35 — 7.45 的范围内

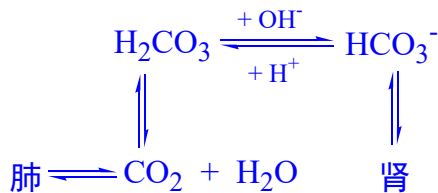
[思考题]

血液的 pH 值是如何调节的？

血液中的缓冲系：



血液 pH 维持 7.35~7.45 原因？



$[\text{H}^+]$ 增加时， $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ ，平衡左移

CO_2 （溶解）（增加） 肺 排除 CO_2

HCO_3^- （减少） 肾 延长 HCO_3^- 停留时间(或回吸收)

3. 盐类的水解反应

A. 溶液的酸碱性跟 H^+ 和 OH^- 浓度有什么关系？

中性溶液： $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$ $\text{pH} = 7$

酸性溶液： $c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$ $\text{pH} < 7$

碱性溶液： $c(\text{H}^+) < c(\text{OH}^-)$ $\text{pH} > 7$

【试一试】用 pH 试纸检验下列溶液显酸性、碱性、中性？

(1) CH_3COONa (2) Na_2CO_3 (3) NH_4Cl (4) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (5) NaCl

(6) Na_2SO_4

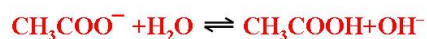
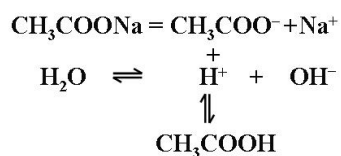
测试对象	溶液酸碱性	生成该盐的		盐的类型
		酸	碱	
CH ₃ COONa	碱性	CH ₃ COOH	NaOH	强碱弱酸盐
Na ₂ CO ₃		H ₂ CO ₃	NaOH	
NH ₄ Cl	酸性	HCl	NH ₃ ·H ₂ O	强酸弱碱盐
(NH ₄) ₂ SO ₄		H ₂ SO ₄	NH ₃ ·H ₂ O	
NaCl	中性	HCl	NaOH	强碱强酸盐
Na ₂ SO ₄		H ₂ SO ₄	NaOH	

[思考题]

CH₃COONa 的水溶液显碱性的原因：

- (1) 写出醋酸钠在水溶液中电离的方程式？
- (2) 写出水电离的方程式？
- (3) CH₃COONa 溶液中存在着几种离子？
- (4) 溶液中哪些离子可以结合成弱电解质？
- (5) 生成弱电解质时对水的电离平衡有何影响？

醋酸钠在水溶液中的变化：



盐类的水解

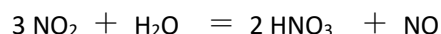
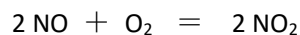
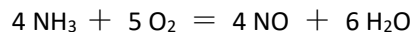
定义：在水溶液中盐电离出来的离子跟水所电离出来的 H⁺ 或 OH⁻ 结合生成弱电解质的反应，叫做盐类的水解。

课程名称	无机化学	专业班级	分析检验技术(3+) 251 班
教材名称	无机化学 华中科技大学出版社		
授课题目	5 氧化还原反应		
授课学时	4 节 (√); 3 节 (); 其它 ()		
课 型	理论 (√); 实验 (); 见习 (); 实训 (); 其它 ()		
教学目的	掌握氧化还原反应的有关基本概念, 它的特征与本质; 了解氧化还原电对及其反应的电子转移 (用单线桥法 或双线桥法表示); 了解常见的氧化剂、还原剂; 掌握氧化还原反应方程式的配平。		
教学重点	让学生能够掌握氧化还原反应的有关基本概念, 它的特征与本质; 反应的电子转移 (用单线桥法 或双线桥法表示) 掌握氧化还原反应方程式的配平。		
教学难点	了解氧化还原电对及其反应的电子转移 (用单线桥法 或双线桥法表示)		
教学方法	讲授 (√); 讨论 (); 指导 (); 示教 (); 其它 ()		
电子教案	有 (√)	Microsoft PowerPoint (√); Author ware (); 其它 ()	
	无 ()		
教学资源	多媒体 (√); 模型 (); 标本 (); 实物 (); 音像 (); 其它 ()		
教学过程 时间安排	5. 1. 1 氧化数		20'
	5. 1. 2 氧化还原电对与氧化还原反应		60'
	5. 1. 3 常见的氧化剂和还原剂		30'
	5. 1. 4 氧化还原反应方程式的配平		60'
思考题	见教案中[思考题]		
作 业	配平方程式		
教学后记	<p>讲课后评:</p> <p>学生对氧化还原反应的基本概念氧化剂、还原剂、氧化产物、还原产物都基本掌握。但是少部分同学对化学方程式中电子转移数目的掌握还未达到基本要求。还需要多做练习。</p>		

教学内容

[引入]

- 氧化还原反应是一类极其重要的化学反应。实验室制取氧气的反应，工业上生产硝酸过程中涉及的几个反应都是氧化还原反应。



- 氧化-还原反应：有电子得失（或电子偏移）的反应。

1. 氧化数（氧化值、氧化态）IUPAC 定义：

在单质或化合物中，假设把每个化学键中的电子指定给所连接的两原子中电负性较大的一个原子，这样所得的某元素一个原子的电荷数就是该元素的氧化数。

●确定氧化数的原则

- 单质中，元素的氧化数为零；
- 在单原子离子中，元素的氧化数等于该离子所带的电荷数；
- 中性分子中，各元素原子的氧化数的代数和为零；
- 复杂离子的电荷等于各元素氧化数的代数和。

●常见元素的氧化数

- H: +1 在氢化物中 (NaH、CaH₂) 为-1
- O: -2 在过氧化物中为-1，超氧化物 K₂O₂ 中为 - 1/2，
在臭氧化物 (KO₃) 中 是 -1/3，
在氟化氧 OF₂ 中为+2，O₂F₂ 中是+1。
- F: -1 其他卤素，除了与电负性更大的卤素结合 (ClF、ICl₃) 时或与氧结合时具有正的氧化数外，氧化数都为-1。
- 碱金属: +1
- 碱土金属: +2

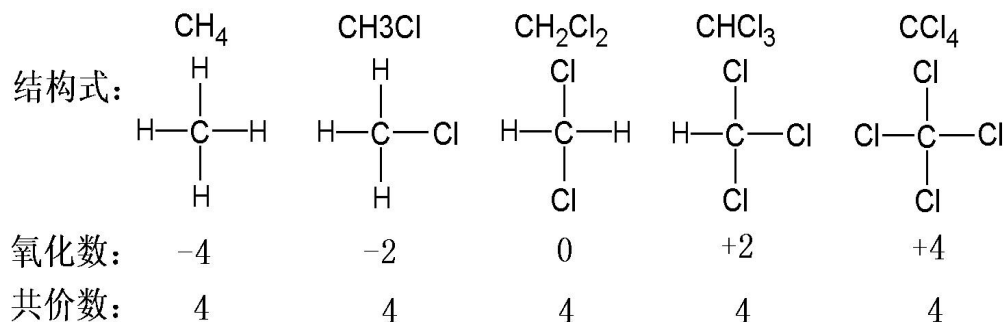
●氧化数和化合价两个概念的区别与联系

① 氧化数是某元素一个原子的荷电数，该荷电数由假设把每一个化学键中的电子指定给电负性更大的原子而求得，而化合价是一种元素一定数目的原子跟其它元素一定数目的原子化合的性质，也就是不同元素形成化合物时，原子数目间的比例关系。

② 氧化数是按一定规则指定的形式电荷的数值或者表观电荷数，所以可以是正数、

负数、零，也可以是分数或小数，而化合价是指元素在化合态时原子的个数比，只能是整数。

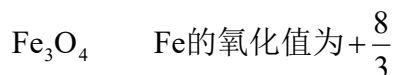
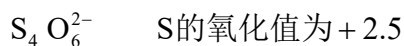
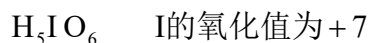
③在共价化合物中，氧化数和化合价两者常不一致。



共价数：原子间公用电子对数（仅有正整数）

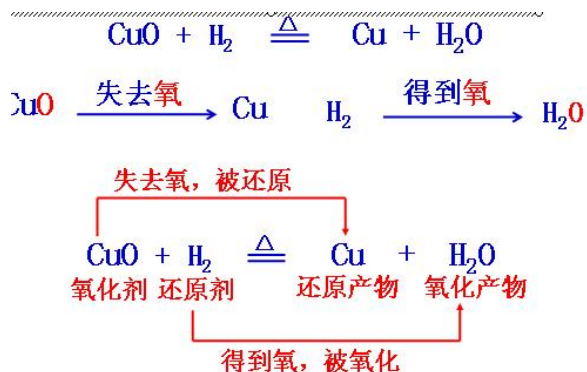
化合价有正负、无分数；氧化数有正负、有分数

中性分子中，各元素原子的氧化值的代数和为零，复杂离子的电荷等于各元素氧化值的代数和。

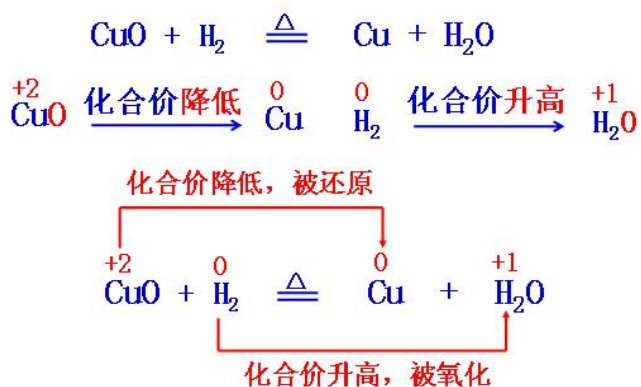


2. 氧化还原反应

A、从得氧失氧的角度



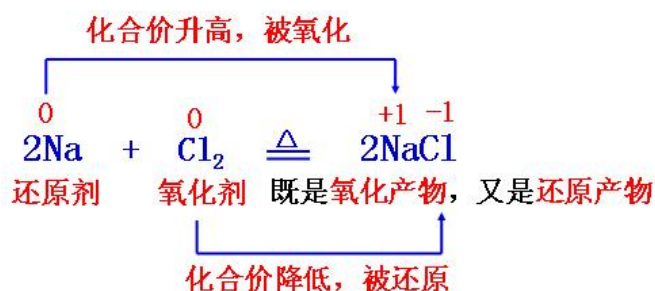
B、从元素化合价升降的角度



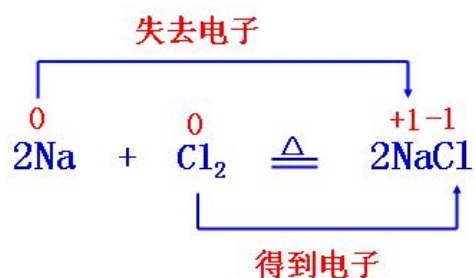
用元素化合价升降的观点来分析大量的氧化还原反应，我们可以得出：

- ①物质所含元素化合价升高的反应就是氧化反应，物质所含元素化合价降低的反应就是还原反应。
- ②凡有元素化合价升降的反应就是氧化还原反应。
- ③所含元素化合价升高的物质是还原剂，所含元素化合价降低的物质是氧化剂。

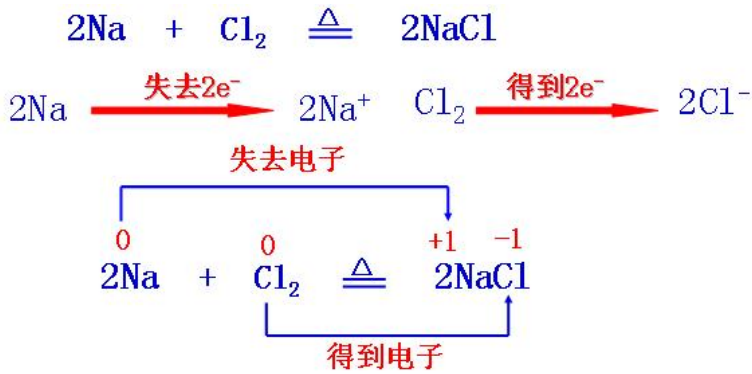
[举例分析]



C、从电子得失角度



为了进一步了解氧化还原反应的本质,我们再从电子得失的角度来分析 Na 和 Cl₂ 的反应：



[D 图片展示]

用电子得失的观点来分析大量的氧化还原反应，我们可以得出：

物质失去电子的反应就是氧化反应；

物质得到电子的反应就是还原反应。

得到电子的物质是氧化剂，失去电子的物质是还原剂。

氧化还原反应中，**电子转移**（得失或偏移）和**化合价升降**关系，可以表示如下：



氧化还原反应的特征：**化合价升降**

[小结] 氧化还原反应的实质：**电子转移(得失或偏移)**

A. 电子得失角度：

- 有电子转移的反应是氧化还原反应；
- 物质失去电子的反应就是氧化反应；
- 物质得到电子的反应就是还原反应。

B. 化合价升降角度

- 有元素化合价升降的反应是氧化还原反应；
- 物质所含元素化合价升高的反应就是氧化反应；
- 物质所含元素化合价降低的反应就是还原反应。

3. 氧化剂、还原剂；氧化产物、还原产物概念：

氧化剂：得到电子（或电子对偏向）的物质。

反应物中所含元素化合价降低的物质。

还原剂：失去电子（或电子对偏离）的物质。

反应物中所含元素化合价升高的物质。

氧化产物：还原剂发生氧化反应后的生成物。

生成物中所含元素化合价升高的物质。

还原产物：氧化剂发生还原反应后的生成物。

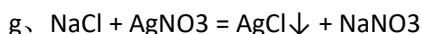
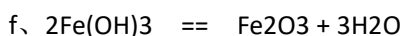
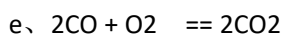
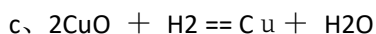
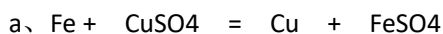
生成物中所含元素化合价降低的物质。

氧化还原反应中各概念之间的关系：

“升 失 氧 还原剂，降 得 还 氧化剂”

[思考题]

1.判断下列化学反应哪些是氧化还原反应：

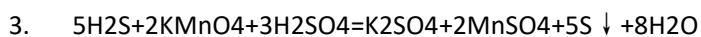


还原剂_____，氧化剂_____，

氧化产物_____，还原产物_____，

被氧化的物质_____，发生氧化反应的物质_____，

被还原的物质_____，发生还原反应的物质_____。



还原剂_____，氧化剂_____，

氧化产物_____，还原产物_____，

被氧化的物质_____，发生氧化反应的物质_____，

被还原的物质_____，发生还原反应的物质_____。

4.氧化还原反应方程式中电子转移的方向和数目的表示方法

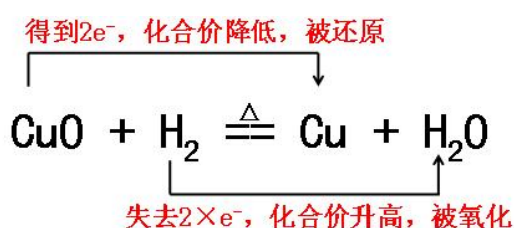
A.双线桥法

定义：表示同种元素在反应前后得失电子的情况。

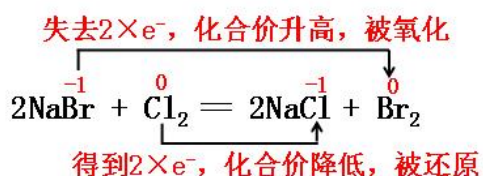
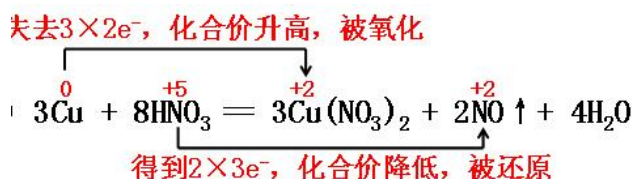
①同种元素间建桥，标出“得到”或“失去”字样；

②箭头从反应物出发，指向生成物；

③箭头方向不代表电子转移方向，只代表电子转移前后变化。



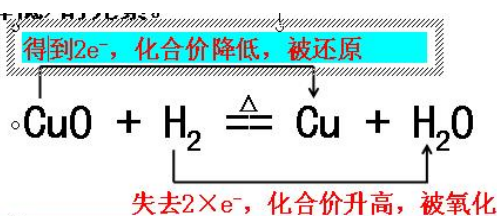
[练习题] 用双线桥法标出下列氧化还原反应中电子转移情况。



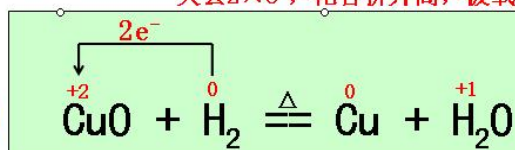
B.单线桥法

①反应物间建桥，不标“得到”或“失去”字样；

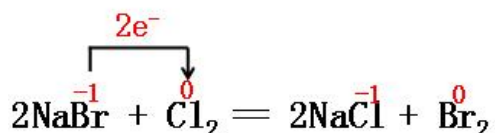
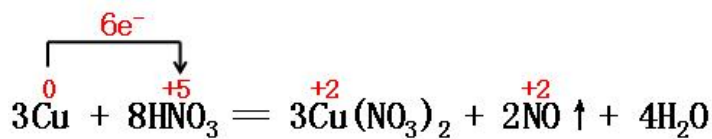
②箭头从失去电子元素(升高)出发，指向得到电子(降低)的元素。



[练习题] 用单线桥法标出下列氧化还原反应中电子转移情况



况。



5.氧化还原电对

- 任何一个氧化还原反应可拆分为两部分：氧化反应和还原反应，这两部分即为两个半反应。
- 半反应中包含同一种元素两种不同氧化态的物种，氧化数较大的物种为氧化型，氧化数较小的物种为还原型。
- 半反应通式为：氧化型 + $ne^- \rightleftharpoons$ 还原型
或 $\text{Ox} + ne^- \rightleftharpoons \text{Red}$
- 半反应中同一种元素两种不同氧化态的物种可构成一个氧化还原电对，简称电对，用“氧化型/还原型”或“Ox / Red”表示。

如： $2\text{Fe}^{3+} + \text{Sn}^{2+} \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{2+} + \text{Sn}^{4+}$

可拆为两个半反应：

$\text{Sn}^{2+} - 2e^- \rightleftharpoons \text{Sn}^{4+}$ 电对： $\text{Sn}^{4+} / \text{Sn}^{2+}$

$2\text{Fe}^{3+} + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{2+}$ 电对： $\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$

氧化性和还原性强弱的判断方法：

A、依据金属、非金属活动性顺序表

金属： K Ca Na Mg Al Zn Fe Sn

Pb (H) Cu Hg Ag Pt Au

非金属： F Cl Br O I S

金属性越强，单质的还原性越强，对应阳离子的氧化性越弱。

非金属性越强，单质的氧化性越强，对应阴离子的还原性越弱。

B.依据元素周期表

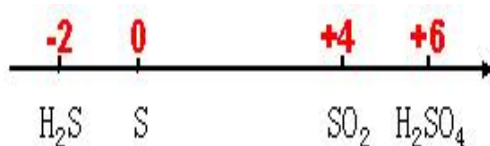
C.依据元素化合价

一般而言，元素处于最高化合价态时，它的原子只能得电子，该元素只具有氧化性；元素处于最低化合价态时，它的原子只能失去电子，该元素只具有还原性；

若元素处于中间价态时，则既能得到电子，又能失去电子，则该元素既有氧化性又有还原性。

记忆：“高价氧化低价还，中间价态两边转”

例如：硫元素常见化合价



6、常见的氧化剂和还原剂

A.常见的氧化剂:

- ① 活泼非金属单质: Cl₂, Br₂, I₂, O₂ 等
- ② 高氧化态金属离子, 如 Fe³⁺, Ce⁴⁺, Ag⁺, Hg²⁺ 等
- ③ 高氧化态含氧化合物尤其是非金属含氧化合物, 如 KMnO₄, K₂Cr₂O₇, KNO₃, NaBiO₃, (NH₄)₂S₂O₈, KClO₃, HNO₃, MnO₂, PbO₂, H₂O₂ 等

教材 P109 表 5-1

B 常见的还原剂:

- ① 较活泼金属单质
- ② 某些非金属单质, 如 H₂, C, Si 等
- ③ 低氧化态离子, 如 I⁻, S²⁻, Sn²⁺, Fe²⁺ 等
- ④ 低氧化态非金属化合物, 如 CO, H₂S, SO₃²⁻ 等

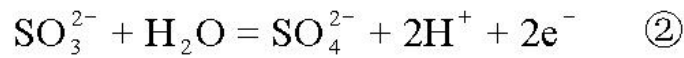
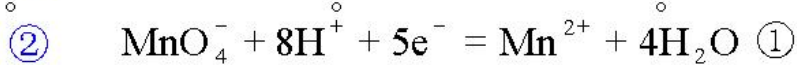
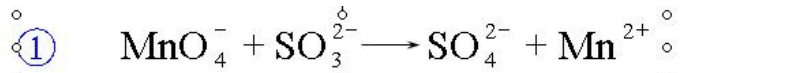
7.氧化还原方程式的配平

A.配平原则:

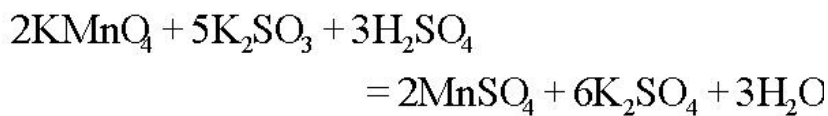
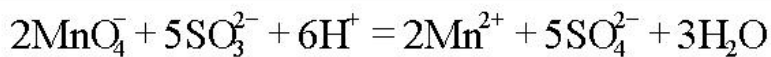
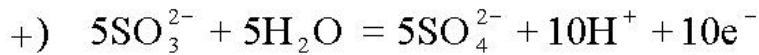
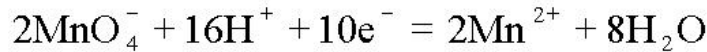
- ① 电荷守恒: 氧化剂得电子数等于还原剂失电子数。
- ② 质量守恒: 反应前后各元素原子总数相等。

B.配平步骤

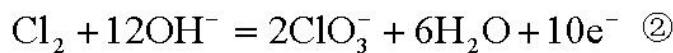
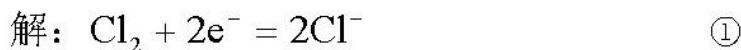
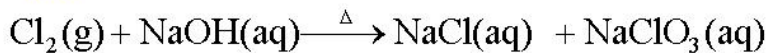
- (1) 确定反应产物及反应条件, 写出反应物和生成物的化学式;
- (2) 标出氧化数有变化的元素的氧化数, 并求出反应前后氧化数升降的数值;
- (3) 找出氧化数升高与降低数值的最小公倍数, 根据氧化剂中氧化数降低的数值与还原



③ ①×2+②×5得

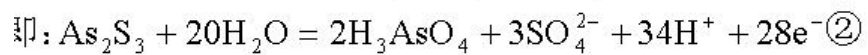
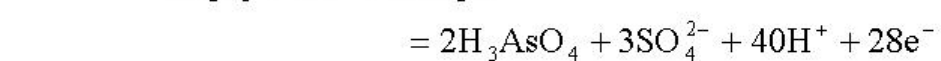
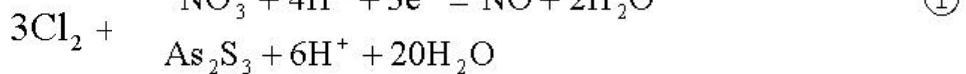
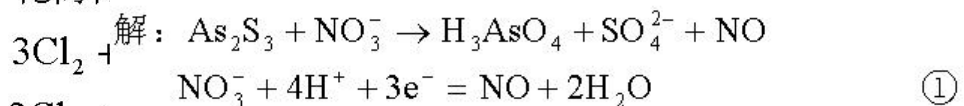
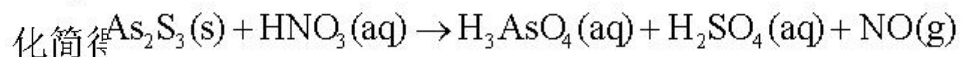


例2: 配平

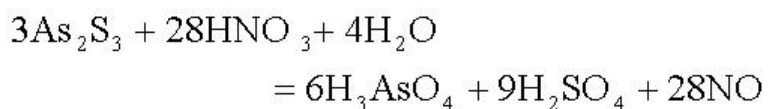
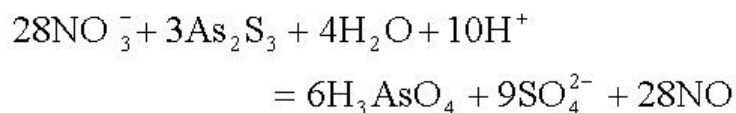


①×5+②得:

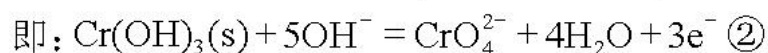
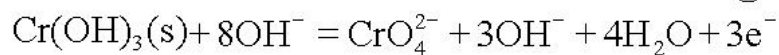
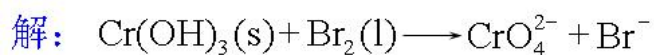
6Cl₂ + 例3: 配平方程式



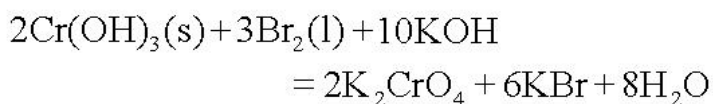
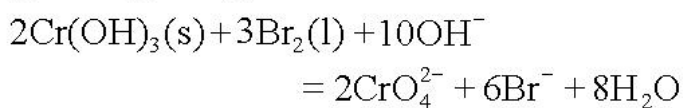
①×28+②×3得



例4: 配平方程式



①×3+②×2得:



[小结]

酸性介质:

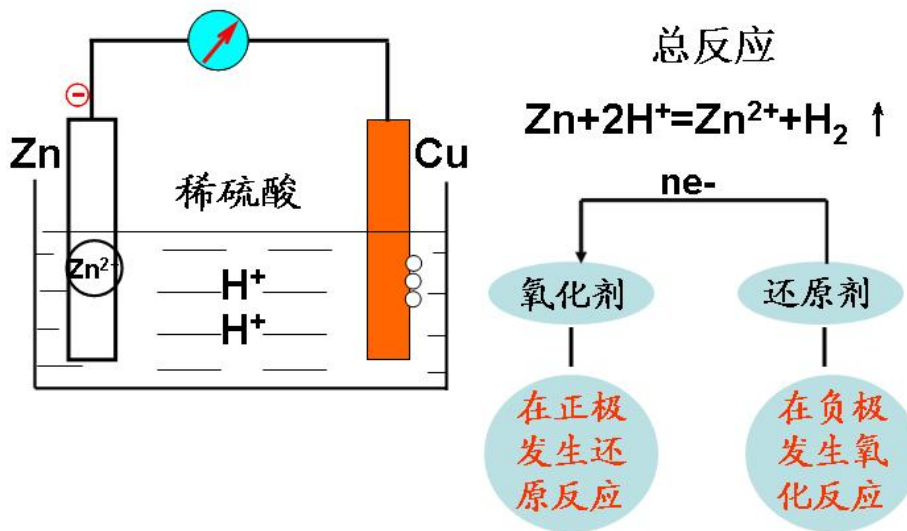
多 n 个 O+2n 个 H+, 另一边 +n 个 H₂O

碱性介质:

多 n 个 O+n 个 H₂O, 另一边 +2n 个 OH-

教学要点

[知识点回顾] 中学时的原电池



将化学能转化成电能的装置称为原电池

1. 原电池

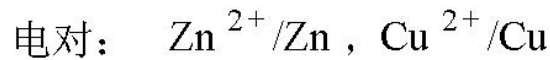
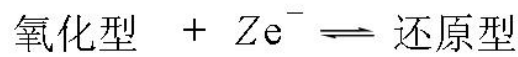
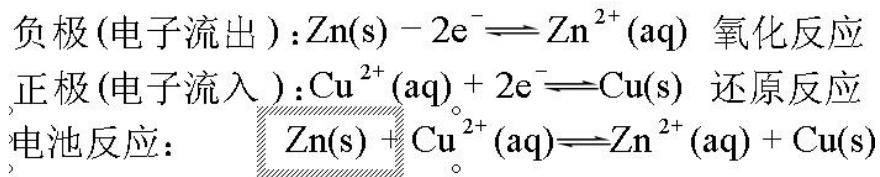
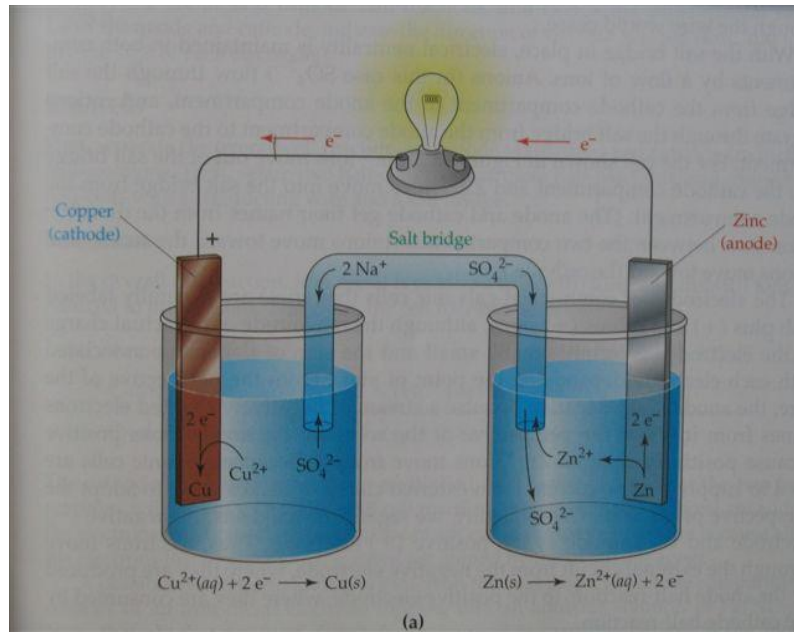
●氧化还原反应中电子的转移(化学能)直接转变为电能的装置。

锌铜原电池主要构件:

- Zn 片和 ZnSO_4 溶液
- Cu 片和 CuSO_4 溶液
- 盐桥:

填充饱和 KCl 和琼胶做成的冻胶, 沟通电极, 中和 Zn^{2+} -过剩和 SO_4^{2-} -过剩, 保持电中性。

• 金属导线



电极 { 金属导体如 Cu、Zn
惰性导体如 Pt、石墨棒

●原电池的组成

由两个半电池组成, 每个半电池又称电极, 包括传导电子的金属和组成电极的溶液;

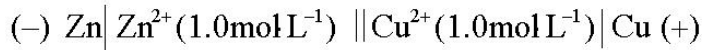
电极: 包含同一元素的不同氧化数的两种物质, 氧化型和还原型;

电极反应: 电极中发生的氧化反应或还原反应;

电池反应: 两个电极反应之和;

电对: 一种元素的氧化型和还原型组成氧化还原对, 简称电对; 表示为 氧化型/还原型

原电池符号(电池图示):



书写原电池符号的规则:

① 负极“-”在左边，正极“+”在右边，盐桥用“||”表示。

② 半电池中两相界面用“|”分开，同相不同物种用“,”分开，溶液、气体要注明 c_B , p_B 。

③ 纯液体、固体和气体写在惰性电极一边用“,”分开。

● 电极类型

A、金属-金属离子电极

组成：由金属和金属离子的盐溶液组成；

例： Zn^{2+}/Zn 和 Cu^{2+}/Cu 电极

电极反应：

电极符号： $\text{Zn} | \text{Zn}^{2+} (c)$ $\text{Cu} | \text{Cu}^{2+} (c)$

“|”表示金属与溶液之间的界面，即固液界面，

(c)表示离子浓度

B、气体-离子电极

组成：由惰性导体(如铂和石墨)，气体和相应气体元素的离子盐溶液组成；

惰性导体与接触的气体和溶液均不发生反应；

例：氢电极(H^+/H_2)和氯电极(Cl_2/Cl^-)电极

电极反应：

电极符号： $\text{Pt}, \text{H}_2 | \text{H}^+ (c)$ $\text{Pt}, \text{Cl}_2(p) | \text{Cl}^- (c)$

“|”表示气体与溶液之间的界面，即气液界面

(p)表示压力；

C 离子电极

组成：由同一种元素的不同氧化态的两种离子的溶液；

例： $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 电极

电极反应:

电极符号: $\text{Pt} | \text{Fe}^{2+} (c_1), \text{Fe}^{3+} (c_2)$

“|”表示金属与溶液之间的界面,即固液界面,

(c)表示离子浓度

D 金属-金属难溶盐电极

组成:由金属、金属难溶盐以及含有难溶盐负离子的溶液;

例:氯化银电极 Ag/AgCl 甘汞电极 $\text{Hg}/\text{Hg}_2\text{Cl}_2$

电极反应: $\text{AgCl} + e \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{Cl}^-$ $\text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{Hg} + 2\text{Cl}^-$

电极符号: $\text{Ag}, \text{AgCl}(\text{s}) | \text{Cl}^-(c)$ $\text{Hg}, \text{Hg}_2\text{Cl}_2(\text{s}) | \text{Cl}^-(c)$

“|”表示金属与溶液之间的界面,即固液界面,

(c)表示离子浓度

E 金属-金属配合物电极

组成:由金属、配体和金属配合物离子的溶液;

例: $\text{Cu}/\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}, \text{NH}_3$ 电极

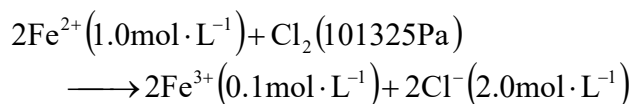
电极反应:

电极符号: $\text{Cu} | \text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+} (c_1), \text{NH}_3 (c_2)$

“|”表示金属与溶液之间的界面,即固液界面,

(c)表示离子浓度

[例题] 将下列反应设计成原电池并以原电池符号表示。

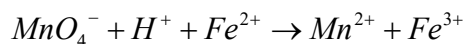


解: 正极 $\text{Cl}_2(\text{g}) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-(\text{aq})$
负极 $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) - e^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}(\text{aq})$

(-) $\text{Pt} | \text{Fe}^{2+}(1.0\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}), \text{Fe}^{3+}(0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$
|| $\text{Cl}^-(2.0\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}) | \text{Cl}_2(101325\text{Pa}), \text{Pt}(+)$

[思考题]

稀 H_2SO_4 溶液中, KMnO_4 和 FeSO_4 发生如下反应



根据此反应设计原电池,写出正负极的反应,电池反应与符号.

电极选择: 离子电极

电极符号: Pt | Fe²⁺ (c1), Fe³⁺(c2)

Pt | MnO₄⁻ (c3), H⁺(c4),Mn²⁺(c5)

负极反应: Fe²⁺ ⇌ Fe³⁺ + e

正极反应: MnO₄⁻ + 8H⁺ + 5e ⇌ Mn²⁺ + 4H₂O

电池反应: MnO₄⁻ + 8H⁺ + 5Fe²⁺ ⇌ Mn²⁺ + 5Fe³⁺ + 4H₂O

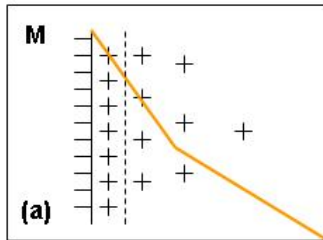
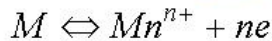
电池符号: (-) Pt | Fe²⁺ (c1), Fe³⁺(c2) || MnO₄⁻ (c3), H⁺(c4),Mn²⁺(c5) | Pt (+)

3. 电池电动势和电极电势

1 电池电动势:

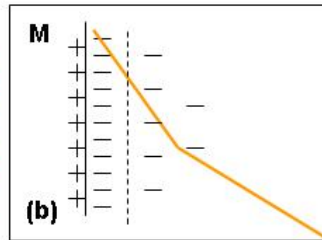
两个电极之间的电势差, 符号为 ε 单位V, 即伏特;

2. 电极电势: 电荷局部过剩

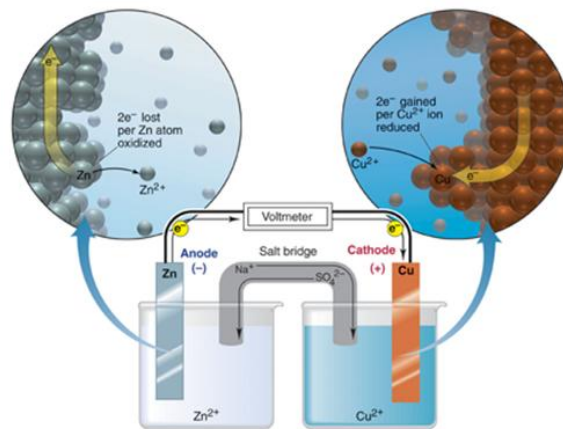


溶解倾向大于沉积倾向:
金属M失电子,电子留在其表面;
正电荷金属离子Mⁿ⁺进入溶液;

双电层理论



沉积倾向大于溶解倾向:
金属离子Mⁿ⁺进入金属表面,夺取电子;
溶液中正电荷金属离子减少,负电荷增加;



3. 标
下测
势,

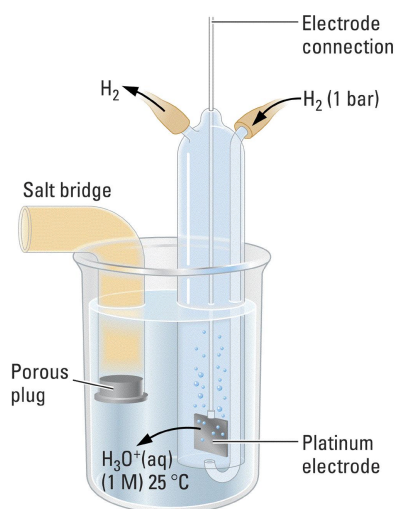
A 标准状态:

准电极电势: 标态
定的电极电
,单位伏特(V);

a 温度 25 ° C;

b 溶液中所有物质浓度 1mol.dm⁻³

c 所有气体分压都是标准压力; d 固体和液体都是纯物质;



构成: 1 表面镀上一层海绵状铂的铂片;

2 [H⁺]=1mol.dm⁻³ 的溶液;

3 持续标准压力的纯 H₂ 气流;

4 铂黑吸附 H₂ 至饱和;

电极反应: $2H^+ + 2e \rightleftharpoons H_2$

数值规定: $E_{H^+/H_2}^0 = 0.0000V$

D 标准电极电势的测定

1) 方法:

将待测标准电极与标准氢电极组成原电池,恒温 25 ° C;

用检流计确定电池的正负极; 如果没有检流计如何判断?

用电位差计测量电池的电动势;

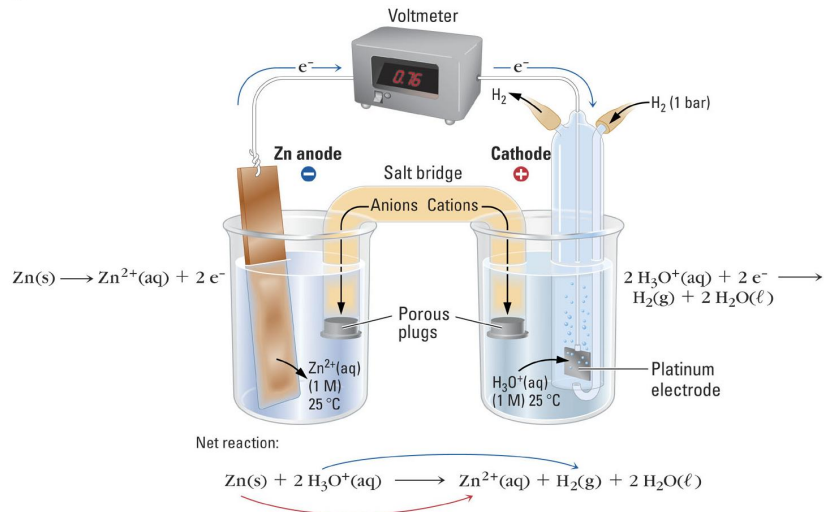
公式: 电动势=正极电极电势-负极电极电势

即:

2) 例: 标准锌电极: 锌电极与标准氢电极组成原电池;

检流计测定: 标准锌电极为负极, 标准氢电极为正极;

电位差计测定: 电动势=0.7618 V



E 甘汞参比电极

1) 构成: 由 $\text{Hg}/\text{Hg}_2\text{Cl}_2/\text{KCl}$ 溶液组成;

2) 电极反应: $\text{Hg}_2\text{Cl}_2(\text{s}) + 2\text{e} = 2\text{Hg}(\text{l}) + 2\text{Cl}^-(\text{aq})$

3) 电极电势: $E^\theta = 0.280\text{V}$ $E = 0.241\text{V}$

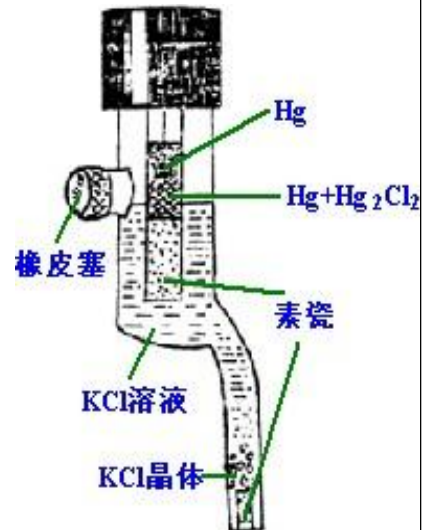
$[\text{KCl}] = 1 \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$,

;

$[\text{KCl}]$ 饱和时,即饱和甘汞电极,

;

F 常见电极的标准电极电势见附录 G

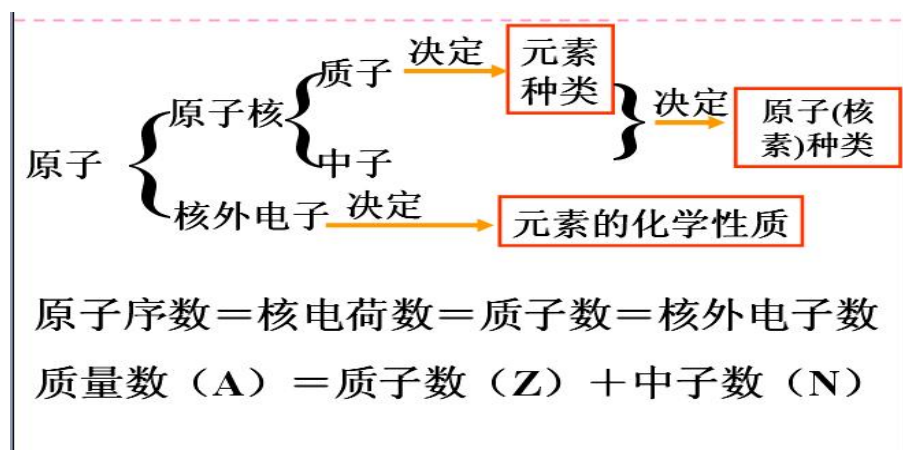


课程名称	无机化学	专业班级	分析检验技术(3+) 251班
教材名称	无机化学 华中科技大学出版社		
授课题目	原子核外电子运动状态		
授课学时	2节(√); 3节(); 其它()		
课 型	理论(√); 实验(); 见习(); 实训(); 其它()		
教学目的	1. 了解原子结构模型的演变。 2. 回顾高中所学原子的构成及几个概念之间的关系。 3. 掌握原子核外电子排布的基本规律并掌握四个量子数的基本概念。		
教学重点	掌握原子核外电子排布的基本规律及原子核外电子质子核电荷数之间的关系, 比你更要求学生掌握原子核外四个量子数的基本概念。		
教学难点	所有学生掌握并理解四个量子数的物理意义。		
教学方法	讲授(√); 讨论(); 指导(); 示教(); 其它()		
电子教案	有(√)	Microsoft PowerPoint(√); Author ware(); 其它()	
	无()		
教学资源	多媒体(√); 模型(); 标本(); 实物(); 音像(); 其它()		
教学过程 时间安排	1. 原子结构模型的演变 10' 2. 原子的构成及中学知识回顾 25' 3. 元素及原子书写的注意点 15' 4. 原子核外电子排布的基本规律 15' 5. 四个量子数的基本概念 15'		
思考题	见教案中[思考题]		
作 业	预习下一节内容		
教学后记	讲课后评: 学生对于核电荷数、质子数以及核外电子数之间的基本关系都能正确掌握。 但少部分学生对四个量子数的基本概念和物理意义掌握的不理想, 主要是由于空间想象能力的差别。		

教学要点

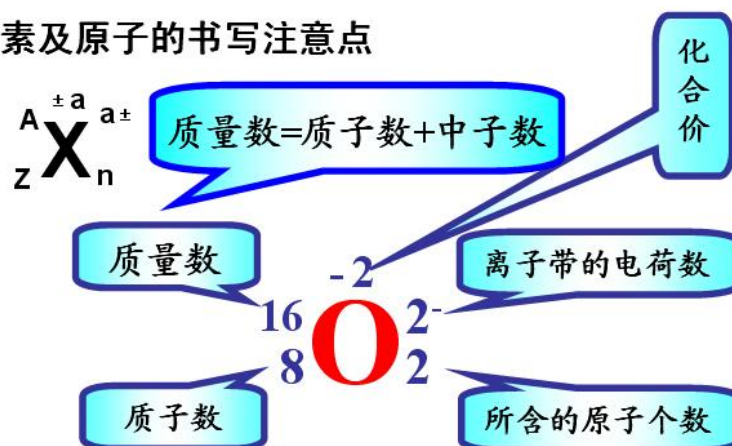
1. 原子结构模型的演变

2. 原子的构成



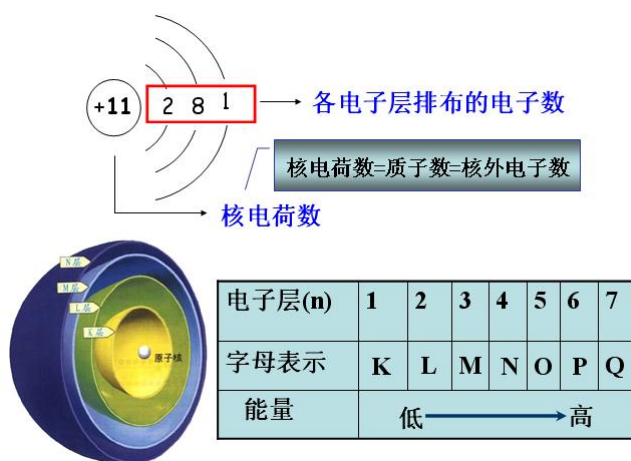
3. 元素及原子书写的注意点

元素及原子的书写注意点



数字的位置不同，所表示的意义就不同。

4. 原子核外电子的排布



核电荷数为1~20的元素原子核外电子层排布

A、

核电荷数	元素名称	元素符号	各电子层的电子数			
			K	L	M	N
1	氢	H	1			
2	氦	He	2			
3	锂	Li	2	1		
4	铍	Be	2	2		
5	硼	B	2	3		
6	碳	C	2	4		
7	氮	N	2	5		
8	氧	O	2	6		
9	氟	F	2	7		
10	氖	Ne	2	8		

核电荷数为1~20的元素原子核外电子层排布

B.

核电荷数	元素名称	元素符号	各电子层的电子数			
			K	L	M	N
11	钠	Na	2	8	1	
12	镁	Mg	2	8	2	
13	铝	Al	2	8	3	
14	硅	Si	2	8	4	
15	磷	P	2	8	5	
16	硫	S	2	8	6	
17	氯	Cl	2	8	7	
18	氩	Ar	2	8	8	
19	钾	K	2	8	8	1
20	钙	Ca	2	8	8	2

C.核外电子排布规律

[知识回顾]

- K层为最外层时，最多容纳电子数-----
- 其他各层为最外层最多容纳电子数-----。
- 次外层最多容纳电子数-----。

d.倒数第三层最多容纳电子数-----

e.第 n 层最多容纳电子数-----

注意：多条规律必须同时兼顾。

① 能量最低原理:先排 K 层，排满 K 层后再排 L 层.

② 每个电子层最多只能容纳 $2n^2$ 个电子。

③ 最外层最多只能容纳 8 个电子 (K 层为最外层时不能超过 2 个) 次外层最多只能容纳 18 个电子 (K 层为次外层时不能超过 2 个)

倒数第三层最多只能容纳 32 个电子

注意：多条规律必须同时兼顾。

5.四个量子数基本概念

A.主量子数 n

取值： 1, 2, 3, 4, ... n 为正整数(自然数)

能量量子化

光谱学上用 K, L, M, N, ... 表示

意义：

表示原子轨道能量的高低，核外电子离核的远近，或者说是电子所在的电子层数。
 $n=1$ 表示第一层(K 层)，能量最低，离核最近。 n 的数值大，电子距离原子核远，则具有较高的能量。

B.角量子数 l

用来描述同层中 (n 相同) 不同形状的原子轨道 (亚层)，取值受主量子数 n 的限制，对于确定的主量子数 n ，角量子数 l 可以为 $0, 1, 2, 3, 4, \dots (n-1)$ ，共 n 个取值，光谱学上依次用 s, p, d, f, g, \dots 表示。

意义 角量子数 l 决定原子轨道的形状

$n=4$ 时：

$l = 0$ 表示 s 轨道，能量最低，形状为球形，即 4s

轨道；

$l = 1$ 表示 p 轨道，形状为哑铃形，4p 轨道；

$l = 2$ 表示 d 轨道，形状为花瓣形，4d 轨道；

$l = 3$ 表示 f 轨道，能量最高，形状复杂,4f 轨道

C.磁量子数 m

取值受角量子数 l 的影响，对于给定的 l ，

m 可取: 0, 1, 2, 3, ... l

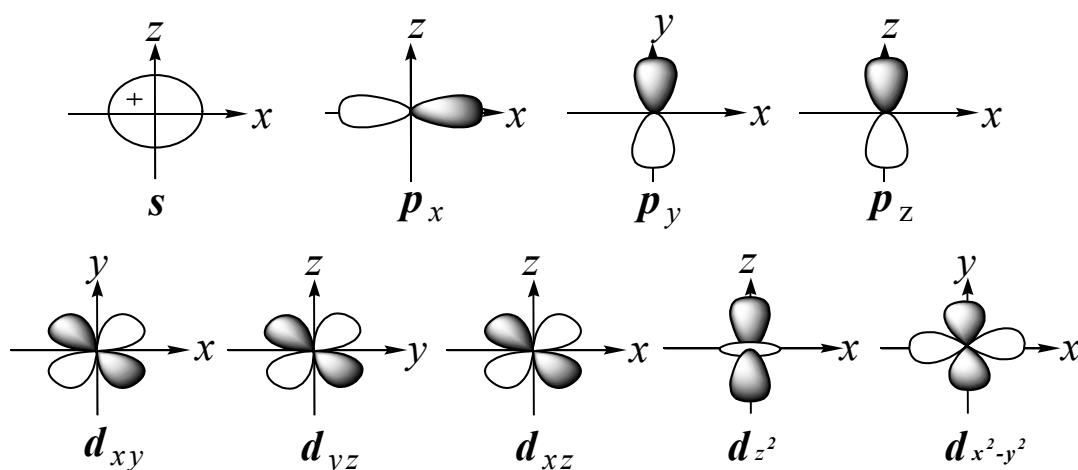
意义 m 决定原子轨道的空间取向

若 $l=3$, 则 $m=0, 1, 2, 3$ 共 7 个值。

每一种 m 的取值, 对应一种空间取向。

n 和 l 一定的轨道, 如 $2p$ 轨道 ($n=2, l=1$) 在空间有三种不同的取向。但一般不影响能量。3 种不同取向的 $2p$ 轨道能量相同。

能量相同的原子轨道称为等价轨道或简并轨道



D、自旋量子数 m_s

电子在沿外磁场方向上的自旋角动量分量, 可用 M_s 表示:

$$M_s = m_s h/2$$

m_s 称为自旋量子数, 取值只有两个, $+1/2$ 和 $-1/2$ 。电子的自旋方式只有两种, 通常用 “ $+1/2$ ” 和 “ $-1/2$ ” 顺时针, 逆时针表示。

[练习题]

$n=2$	$l=()$	$m=1$	$m_s=+1/2$
$n=2$	$l=1$	$m=()$	$m_s=+1/2$
$n=3$	$l=0$	$m=()$	$m_s=+1/2$
$n=()$	$l=2$	$m=0$	$m_s=+1/2$
$n=2$	$l=()$	$m=-1$	$m_s=+1/2$
$n=4$	$l=()$	$m=0$	$m_s=+1/2$
$n=4$	$l=2$	$m=()$	$m_s= 1/2$

课程名称	无机化学	专业班级	分析检验技术(3+) 251班
教材名称	无机化学 华中科技大学出版社		
授课题目	原子核外电子排布		
授课学时	2节(√); 3节(); 其它()		
课 型	理论(√); 实验(); 见习(); 实训(); 其它()		
教学目的	1 了解核外电子运动的特征, 原子轨道和电子云的概念。 2 理解四个量子数的物理意义和取值规则。		
教学重点	原子轨道、核外电子分布及其与元素周期律的关系。		
教学难点	原子轨道的概念及表示方法。		
教学方法	讲授(√); 讨论(); 指导(); 示教(); 其它()		
电子教案	有(√)	Microsoft PowerPoint(√); Author ware(); 其它()	
	无()		
教学资源	多媒体(√); 模型(); 标本(); 实物(); 音像(); 其它()		
教学过程 时间安排	一、多电子原子的能级 20min 二、核外电子排布原则 45min 三 元素周期表 20min		
思考题	查阅资料		
作 业	于下周实验时上交实验报告		
教学后记	内容抽象、 难懂 解决办法为: 课后多加练习并给予学生辅导。		

教学要点

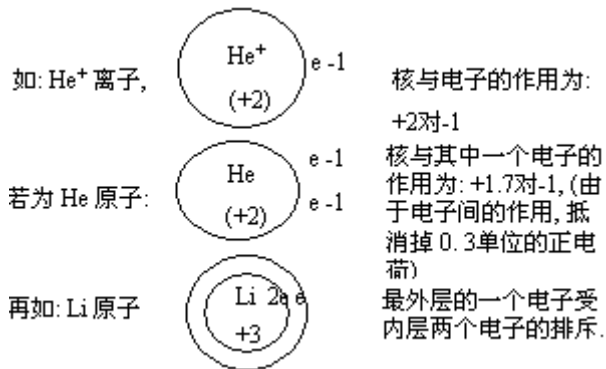
一.多电子原子的能级

对于单电子, 其能量为: $E = -13.6 \times \frac{Z^2}{n^2}$ 单位 eV。即单电子体系, 轨道(或轨道上的电子)的能量, 由主量子数 n 决定。

对于多电子体系: $E = -13.6 \times \frac{Z^{*2}}{n^2}$ eV, $E = -13.6 \times \frac{(Z - \sigma)^2}{n^2}$ eV 其中 $Z^* = Z - \sigma$, Z 为核电荷数, σ 为屏蔽常数, Z^* 为有效核电荷数

1. 屏蔽效应

屏蔽效应: 在原子中, 其它电子对某电子的遮挡作用。



换个角度考虑: 将研究电子之外的原子其余部分, 均视为原子核, 则将复杂的多原子体系简化为单电子体系:

$$E = -13.6 \times \frac{Z^{*2}}{n^2} \text{ eV} \quad Z^* \text{ 为有效核电荷, 且 } Z^* = Z - \sigma$$

说明: 相当于内层电子抵消或中和掉部分正电荷 σ , 使被讨论的电子受核的吸引下降, 离核更远, 能量更高, 即为内层电子对外层电子的屏蔽作用。屏蔽效应越大, 受屏蔽的电子的能量越高, 是电子远离核的作用。

不同电子所受的屏蔽作用不同。其大小与角量子数 l 有关:

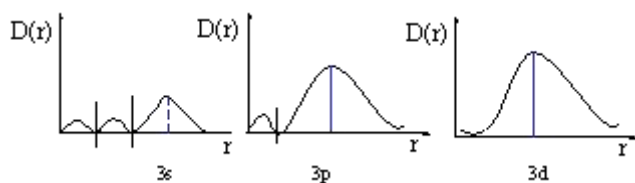
l 大的电子, 受屏蔽大, 能量高;

l 小的电子, 受屏蔽小, 能量升高的幅度小。

对于运动状态不同的电子, 或 n 相同, l 不同的原子轨道, 有:

$$E_{nl} > E_{n-1l} > E_{nl} > E_{n-1l} \quad 2. \text{ 钻穿效应(钻透效应)}$$

意义: 电子钻入内部, 靠近核的作用(使自身能量下降) 可以从径向分布函数图加以解释:



可以看出: l 大的, 钻穿效应小, 远离核, 能量升高.

l 大的, 屏蔽效应大, 远离核, 能量升高.

相反: l 小的, 钻穿效应大, 靠近核, 能量下降.

l 小的, 屏蔽效应小, 靠近核, 能量下降.

亦即: n 相同, l 小的电子, 在离核近处, 有小的几率峰出现, 相当于电子靠近核, 受核作用强, 同时回避了内层电子的屏蔽作用, 自身能量下降. 这种效应称为钻穿效应.

可以用钻穿效应解释能级分裂, 即同一能级组(n 相同), l 大的电子能量高, l 小的电子可以钻入内部, 自身能量降低, 产生能级分裂. 总之, 屏蔽效应使电子的能量上升, 钻穿效应使电子能量下降.

对于多电子原子体系, 能量高低由什么因素决定?

由 n 和 l 同时决定:

a. l 相同, n 大的能量高, 即 $E_{2s} < E_{3s} < E_{4s}$, 因为依次受屏蔽作用增大, Z^* 依次下降, 所以能量依次升高.

b. n 相同, l 大的能量高, $E_{3s} < E_{3p} < E_{3d}$, 因为依次受屏蔽作用增大, 自身钻穿作用依次减小, 均使能量升高.

c. n 和 l 均不同, 则 $n+0.7l$ 大的, 能量高(北大徐光宪先生提出的). 如:

4s

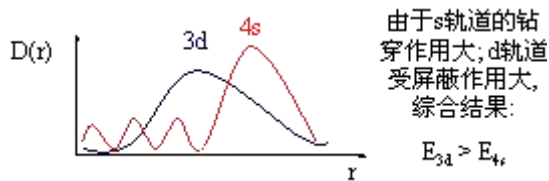
3d

$$4 + 0.7 \times 0 = 4$$

$$3 + 0.7 \times 2 = 4.4$$

所以, $E_{3d} > E_{4s}$ 此种现象在 21 号元素 Sc 的左右发生, 称为能级交错(外层轨道的能量反而比内层轨道能量低的现象)

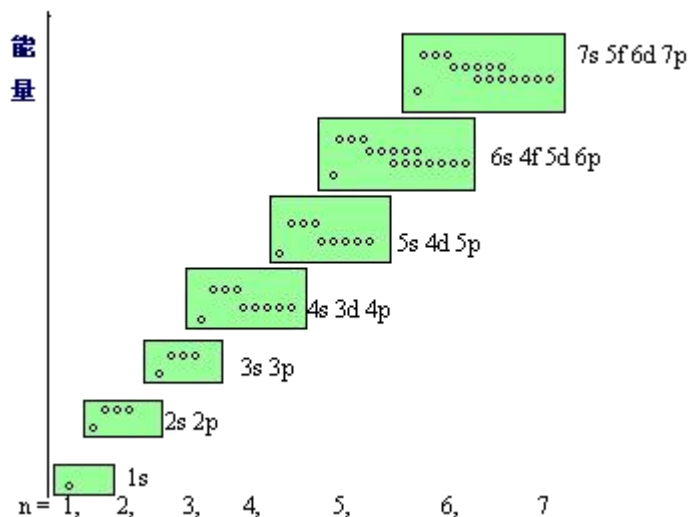
可用径向分布图解释:



3. 原子轨道近似能级图

美国著名结构化学家 Pauling(鲍林), 经过计算, 将能量相近的原子轨道组合, 形成能级组. 按这种方法, 他将整个原子轨道划分成 7 个能级组:

第一组	第二组	第三组	第四组	第五组	第六组
组	第七组				
1s;	2s 2p;	3s 3p;	4s 3d 4p;	5s 4d 5p;	6s 4f 5d 6p;
7s 5f 6d 7p					



特点: **(1)**能级能量由低到高. **(2)**组与组之间的能量差大, 同组内各轨道之间能量差小. 且 n 逐渐增大, 这两种能量差随能级组的增大逐渐变小. **(3)**第一能级组, 只有 1s 一个轨道, 其余均为两个以上, 且以 ns 开始, 以 np 结束. **(4)**能级组与元素的周期相对应.

二 核外电子排布原则

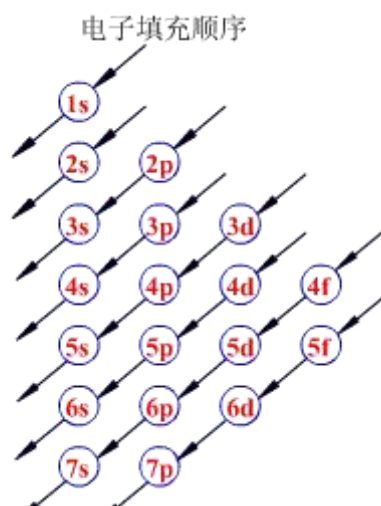
1. 排布原则

1) 能量最低原理 电子由能量低的轨道向能量高的轨道排布(电子先填充能量低的轨道,后填充能量高的轨道).

2) Pauli(保利)不相容原理 每个原子轨道中只能容纳两个自旋方向相反

的电子(即同一原子中没有运动状态完全相同的电子,亦即无四个量子数完全相同的电子).

3) Hunt(洪特)规则 电子在能量简并的轨道中,要分占各轨道,且保持自旋方向相同. 保持高对称性,以获得稳定. 包括: 轨道全空, 半充满, 全充满三种分布.



2. 核外电子的排布

原子序数	元素符号	英文名称	中文名称	电子轨道图	电子结构式
1	H	Hydrogen	氢	+	$1s^1$
2	He	Helium	氦	↑↑	$1s^2$
3	Li	Lithium	锂	↑↑+	$1s^2 2s^1$
4	Be	Beryllium	铍	↑↑↑↑	$1s^2 2s^2$
5	B	Boron	硼	↑↑↑+	$1s^2 2s^2 2p^1$
6	C	Carbon 碳		↑↑↑↑↑	$1s^2 2s^2 2p^2$
7	N	Nitrogen	氮	↑↑↑↑↑↑	$1s^2 2s^2 2p^3$
8	O	Oxygen	氧	↑↑↑↑↑↑↑	$1s^2 2s^2 2p^4$
9	F	Fluorine	氟	↑↑↑↑↑↑↑↑	$1s^2 2s^2 2p^5$

原子序数	元素符号	英文名称	中文名称	电子轨道图	电子结构式
10	Ne	Neon	氖	↑↑↑↑↑↑↑↑	$1s^2 2s^2 2p^6$
				↑↑↑↑↑↑↑↑	($1s^2 2s^2 2p^6$)可表示为原子实: [Ne]
11	Na	Sodium	钠	↑↑↑↑↑↑↑↑↑	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$
12	Mg	Magnesium	镁	[Ne] ↑↑	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$
13	Al	Aluminum	铝	[Ne] ↑↑↑	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$
14	Si	Silicon	硅(矽)	[Ne] ↑↑↑↑	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
15	P	Phosphorus	磷	[Ne] ↑↑↑↑↑	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$
16	S	Sulfur	硫	[Ne] ↑↑↑↑↑↑	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$
17	Cl	Chlorine	氯	[Ne] ↑↑↑↑↑↑↑	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$
18	Ar	Argon	氩	[Ne] ↑↑↑↑↑↑↑↑	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$

[Ne] ↑↑↑↑↑↑↑↑ ($1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$)达到了原子实 [Ar]

19	K	Potassium	钾	[Ar] ↑	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 4s^1$
20	Ca	Calcium	钙	[Ar] ↑↑	[Ar] $4s^2$
21	Sc	Scandium	钪	[Ar] ↑	$3d^1 4s^2$
22	Ti	Titanium	钛	[Ar] ↑↑	$3d^2 4s^2$
23	V	Vanadium	钒	[Ar] ↑↑↑	$3d^3 4s^2$
24	Cr	Chromium	铬	[Ar] ↑↑↑↑	$3d^5 4s^1$
25	Mn	Manganese	锰	[Ar] ↑↑↑↑↑	$3d^5 4s^2$
26	Fe	Iron	铁	[Ar] ↑↑↑↑↑↑	$3d^6 4s^2$
27	Co	Cobalt	钴	[Ar] ↑↑↑↑↑↑↑	$3d^7 4s^2$
28	Ni	Nickel	镍	[Ar] ↑↑↑↑↑↑↑↑	$3d^8 4s^2$
29	Cu	Copper	铜	[Ar] ↑↑↑↑↑↑↑↑↑	$3d^{10} 4s^1$
30	Zn	Zinc	锌	[Ar] ↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑	$3d^{10} 4s^2$
31	Ga	Gallium	镓	[Ar] ↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑	$3d^{10} 4s^2 4p^1$
32	Ge	Germanium	锗	[Ar] ↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑	$3d^{10} 4s^2 4p^2$
33	As	Arsenic	砷	[Ar] ↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑	$3d^{10} 4s^2 4p^3$
34	Se	Selenium	硒	[Ar] ↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑	$3d^{10} 4s^2 4p^4$
35	Br	Bromine	溴	[Ar] ↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑	$3d^{10} 4s^2 4p^5$
36	Kr	Krypton	氪	[Ar] ↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑	$3d^{10} 4s^2 4p^6$
37	Rb	Rubidium	铷	[Kr]	$5s^1$
38	Sr	Strontium	锶	[Kr] ↑	$5s^2$
39	Y	Yttrium	钇	[Kr] ↑↑	$4d^1 5s^2$
40	Zr	Zirconium	锆	[Kr] ↑↑↑	$4d^2 5s^2$
41	Nb	Niobium	铌	[Kr] ↑↑↑↑	$4d^4 5s^1$

42	Mo	Molybdenum	钼	[Kr] 4d ⁵ 5s ¹
43	Tc	Technetium	锝	[Kr] 4d ⁵ 5s ²
44	Ru	Ruthenium	钌	[Kr] 4d ⁷ 5s ¹
45	Rh	Rhodium	铑	[Kr] 4d ⁸ 5s ¹
46	Pd	Palladium	钯	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ⁰
47	Ag	Silver	银	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ¹
48	Cd	Cadmium	镉	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ²
49	In	Indium	铟	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹
50	Sn	Tin	锡	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ²
51	Sb	Antimony	锑	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ³
52	Te	Tellurium	碲	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴
53	I	Iodine	碘	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵
54	Xe	Xenon	氙	[Kr] 4d ⁵ 5s ² 5p ⁶
55	Cs	Cesium	铯	[Xe] 6s ¹
56	Ba	Barium	钡	[Xe] 6s ²
57	La	Lanthanum	镧	[Xe] 4f ⁰ 5d ¹ 6s ²
58	Ce	Cerium	铈	[Xe] 4f ¹ 5d ¹ 6s ²
59	Pr	Praseodymium	镨	[Xe] 4f ³ 5d ⁰ 6s ²
60	Nd	Neodymium	钕	[Xe] 4f ⁴ 5d ⁰ 6s ²
61	Pm	Promethium	钷	[Xe] 4f ⁵ 5d ⁰ 6s ²
62	Sm	Samarium	钐	[Xe] 4f ⁶ 5d ⁰ 6s ²
63	Eu	Europium	铕	[Xe] 4f ⁷ 5d ⁰ 6s ²
64	Gd	Gadolinium	钆 (ga)	[Xe] 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²
65	Tb	Terbium	铽 (te)	[Xe] 4f ⁹ 5d ⁰ 6s ²
79	Au	Gold(Aurum)	金	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹
80	Hg	Mercury	汞	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²
81	Tl	Erbium	铊	[Xe] 6s ² 6p ¹
82	Pb	Lead(Plumbum)	铅	[Xe] 6s ² 6p ²
83	Bi	Bismuth	铋	[Xe] 6s ² 6p ³
84	Po	Polonium	钋(po)	[Xe] 6s ² 6p ⁴
85	At	Astatine	砹	[Xe] 6s ² 6p ⁵
86	Rn	Niton	氡	[Xe] 6s ² 6p ⁶
87	Fr	Francium	钫	[Rn] 7s ¹
88	Ra	Radium	镭	[Rn] 7s ²

如此, 可根据 Pauling 原子轨道能级图和电子填充三原则, 将原子或离子的电子结构式书写出来. 但在书写电子结构式时, 要注意:

1) 电子填充是按近似能级图自能量低向能量高的轨道排布的, 但书写电子结构式时, 要把同一主层(n 相同)的轨道写在一起, 如:

24号 Cr Chromium 铬

填充电子时: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 4s^1 3d^1$

而书写时应为: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 3d^1 4s^1$

不能写成: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 4s^1 3d^1$

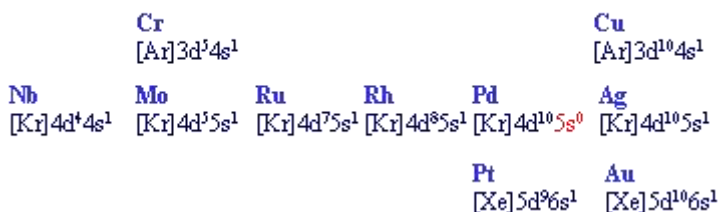
即不能将相同主层的电子轨道分开书写, 且保证 n 最大的轨道在最右侧.

2) 原子实表示电子排布时, 内层已经达到稀有(惰性)气体原子的结构. 如:

24号 Cr(Chromium)铬的结构式为: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 3d^1 4s^1$, 内层 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$, 为Ar的电子结构式, 则可写成: $[\text{Ar}] 3d^1 4s^1$

3) 特殊的电子结构要记忆. 主要是 10 个过渡元素: 正常填充: 先填充 ns, 达到 ns^2 之后, 再填 (n-1)d; 特殊的: 先填 ns, 只填一个电子成 ns^1 , 未达到 ns^2 , 就开始填这种现象在 (n-1)d 轨道处于半充满, 全充满左右发生.

电子填充反常元素: Cr, Cu, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag, Pt, Au



三 元素周期表

	IA																	0	
1	H	IIA																	He
2	Li	Be																	Ne
3	Na	Mg	III	IV	VB	VI	VII	VIII	IB	IIB	Al	Si	P	S	Cl	Ar			
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub							
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr				

1.元素的分区和族

1) s 区: ns^{1-2} , 最后的电子填在 ns 上, 包括 IA IIA, 属于活泼金属, 为碱金属

和碱土金属;

2) p 区: ns^2np^{1-6} , 最后的电子填在 np 上, 包括 IIIA-VIIA 以及 0 族元素, 为非金属和少数金属;

3) d 区: $(n-1)d^{1-6}ns^{1-2}$, 最后的电子填在(n-1)d 上, 包括 IIIB-VIIB 以及 VIII 族元素, 为过渡金属;

4) ds 区: $(n-1)d^{10}ns^{1-2}$, (n-1)d 全充满, 最后的电子填在 ns 上, 包括 IB-IIIB, 过渡金属(d 和 ds 区金属合起来,为过渡金属);

5) f 区: $(n-2)f^{1-14}(n-1)d^{0-2}ns^2$, 包括镧系和锕系元素, 称为内过渡元素或内过渡系.

镧系: 57-74 号元素(La-Lu);

La, Ce, Pr, Nd, **Pm**, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu

镧, 铈, 镨, 钕, **钷**, 铈, 铕, 钆, 铽, 镝, 钬, 铒, 铥, 镱, 镱, 镱

锕系: 89-103 号元素(Ar-Lr), 均为放射性元素. 包括:

Ac, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr

锕, 钍, 镤, 铀, 镎, 钚, 镅, 锔, 锿, 镆, 锎, 锇, 锎, 锎, 锎, 锎

除钍为 $6d^2$ 外, 其余均为 $6d^0$ 和 $6d^1$.

2.元素的周期

周期数 = 能级组数, 所以共有 7 个周期

屏蔽大,下降幅度小): $E_{ns} < E_{np} < E_{nd} < E_{nf}$

4) 不同元素, 轨道的能级次序不同, 产生能级交错.

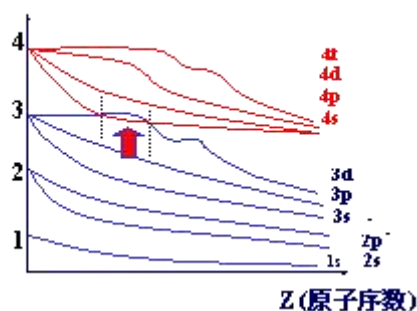
如: 1-14 号元素: $E_{4s} > E_{3d}$

15-20 号: $E_{4s} < E_{3d}$

21 号以后: $E_{4s} > E_{3d}$

考虑 Z 与各轨道能量的关系, 是 Pauling 近似能级图无法解决的. 基础是光谱实验.

n (能级数, 也代表能量高低)



五 斯蕾特 (Slater) 规则

采用定量计算, 解决能级交错的问题. 前面讲到, 仿照单电子体系的能量公式来处理多电子体系:

$$E = -13.6 \frac{(Z - \sigma)^2}{n^2} = -13.6 \frac{Z^{*2}}{n^2} \text{ eV}$$

关键在于如何确定屏蔽系数 σ 值. 按以下方式处理.

先将轨道分组: (1s) (2s2p) (3s3p) (3d) (4s4p) (4d) (4f), 并规定:

1) 外层组电子对内层组的电子无屏蔽, 如果被讨论电子在(2s2p)组, 则(3s3p)以上各组的电子对其屏蔽系数 $\sigma = 0$ (右对左无屏蔽)

2) 同组内电子: $\sigma = 0.35$ [(1s)组的两个电子的相互屏蔽系数为 $\sigma = 0.30$]

3) 讨论(nsnp)组上的电子时, (n-1)层上的每个电子的 $\sigma = 0.85$, (n-2)层上以内的每个电子的 $\sigma = 1.00$

4) 讨论(nd)或(nf)上的电子, 所有左侧电子的 $\sigma = 1.00$

将各个 σ 值与相应电子数目乘积的和, 即为公式中的总 σ , 然后求出 Z^* , 利用公式计算出电子所在轨道的能量.

例题 1: 比较钾 K(原子序数 19, 即 $Z=19$)最后一个电子填充在 3d 轨道和 4s 轨道上的能量.

思路: 分别按两种填充方式, 求出 σ , 推出 Z^* , 按公式求出能量即可。

解: 先将轨道分组, 填在 4s 轨道上: $(1s)^2, (2s2p)^8, (3s3p)^8, (4s)^1$

$$\sigma_{4s} = 0.85 \times 8 + 1.00 \times 10 = 16.8$$

$$\text{所以: } E_{4s} = -13.6 \times [(19-16.8)^2/4^2] = -4.114 \text{ (eV)}, 1\text{eV} = 1.602 \times 10^{-19}\text{J},$$

$$\text{故有: } E_{4s} = -4.114 \times 1.602 \times 10^{-19} = -6.6 \times 10^{-19}\text{(J)}$$

若填在 3d 轨道上: $(1s)^2, (2s2p)^8, (3s3p)^8, (3d)^1$

$$\sigma_{3d} = 1.00 \times 8 + 1.00 \times 10 = 18, Z^* = 19 - 18 = 1, n = 3$$

$$\text{所以: } E_{3d} = -13.6 \times (1/3)^2 = -13.6/9 = -1.511 \text{ (eV)},$$

$$\text{即: } E_{3d} = -1.511 \times 1.602 \times 10^{-19} = -2.42 \times 10^{-19} \text{ (J)}$$

因: $E_{4s} < E_{3d}$, 所以 K 的最后一个电子填入 4s 轨道, 为 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$, 而不是 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1$

26 号 Fe 的 E_{4s} 和 E_{3d} 的关系怎样? 因为 $Z > 21$, 必然 $E_{4s} > E_{3d}$.

例题 2: 已知 21 号元素钪 Sc 的电子结构为 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1 4s^2$, 比较 3d 轨道和 4s 轨道上的能量.

分析: 与例题 1 不同, Sc 的电子结构为已知, 关键看如何分组, 求出 σ

解: 电子轨道分组: $(1s)^2 (2s2p)^8 (3s3p)^8 (3d)^1 (4s)^2$

内层: n-3 n-2 次外层: n-1 外层: n

$$\text{对于 4s 中的一个电子: } \sigma = 0.35 \times 1 + 0.85 \times 9 + 1.00 \times 10 = 18$$

$$\text{所以: } E_{4s} = -13.6 \times [(21-18)/4]^2 = -7.65 \text{ (eV)}$$

$$\text{对于 3d 中的电子: } \sigma = 0.35 \times 0 + 1.00 \times 8 + 1.00 \times 10 = 18$$

$$\text{所以: } E_{3d} = -13.6 \times [(21-18)/3]^2 = -13.6 \text{ (eV)}$$

结果为: $E_{4s} > E_{3d}$

问题: 既然 $E_{4s} > E_{3d}$, 为何最后三个电子先填满 4s 而不先填入 3d?

解答: 这尚是一个有争议的问题, 即使采用薛定谔方程计算, 对于多电子体系, 也是一个难于解决的问题. 关于 3d 和 4s 轨道能量的高低, 采用的近似方法不同, 处理问题的角度不同, 得到的结论也不同. 关于第四周期开头的元素 K, Ca, Sc, Ti 的最后几个电子的填充, 由体系的总能量的降低程度决定, 而且, 原子的总能量不仅仅取决于某个原子轨道的能量, 尚有其它能量形式存在. 先填充哪个轨道也取决于是否使体系更加稳定. 普遍认为:

1) 填充电子时, 为离子状态, Z^* 比原子状态的大, 体系不同. (例题 1 说明, 最后的一个电子填在 4s 上)

2) 先在 4s 上填充电子, 比先填入 3d 稳定, 因为 4s 的钻穿能力比 3d 大, 使电子更加靠近核, 整个体系能量降低幅度大.

* Slater 规则的不足之处: (nsnp) 同组, 无法区分它们能量的高低.

★ Pauling 近似能级图不足之处:无法反映轨道能量随与原子序数增加而下降的规律.

二者相辅相成, 各得益彰

课外读物

- 1.周公度. “对原子轨道图形教学的意见”, 大学化学, 1987 (2) 1
- 2.严成华. “原子结构的轨道概念”, 化学教育, 1980 (2) 1
- 3.徐佳, 徐光宪. “中性原子的轨道能量”, 化学通报, 1986 (3) 52
- 4.谢有畅. “电子云的钻穿效应和元素周期系”, 化学通报, 1979 (2) 17
- 5.余大猷 . “电子亲和能及其测定”, 化学教育增刊, 1982 (2) 1
- 6.武永兴. “浅谈电负性”, 大学化学, 1998 (3) 46
- 7.倪申宽. “周期表中的相对论性效应”, 大学化学, 1991 (2) 29

课程名称	无机化学	专业班级	分析检验技术(3+) 251班
教材名称	无机化学 华中科技大学出版社		
授课题目	化学键理论与分子结构		
授课学时	4节(√); 3节(); 其它()		
课 型	理论(√); 实验(); 见习(); 实训(); 其它()		
教学目的	1 掌握离子晶体的特征和性质、离子晶体中最简单的结构类型, 晶格能 2 了解共价键的形成、特征及类型, 价键理论。 3 掌握键长、键角、键能的概念。 4 掌握 VSEPR 理论和杂化轨道理论, 掌握 SP、SP ₂ 、SP ₃ 杂化及简单分子的几何构型。		
教学重点	价键理论、键参数, 杂化轨道理论、分子的几何构型, 分子轨道理论、分子间力、离子极化。		
教学难点	杂化轨道理论、分子的几何构型; 各类晶体的特性、分子间力和氢键、离子极化		
教学方法	讲授(√); 讨论(); 指导(); 示教(); 其它()		
电子教案	有(√)	Microsoft PowerPoint(√); Author ware(); 其它()	
	无()		
教学资源	多媒体(√); 模型(); 标本(); 实物(); 音像(); 其它()		
教学过程 时间安排	1.离子键理论 2.共价键理论 3 分子间作用力		
思考题	见教材		
作 业	于下周实验时上交实验报告		
教学后记	内容抽象、 难懂 解决办法为: 课后多加练习并给予学生辅导。		

教学要点

1.离子键理论

离子键的形成

离子键的特征

离子键的强度

离子晶体的特点

离子晶体的空间结构

2.共价键理论

路易斯理论

价键理论

价层电子对互斥理论

杂化轨道理论

分子轨道理论

3.分子间作用力

分子间偶极矩

分子间作用力--范德华力

氢键

课程名称	无机化学	专业班级	分析检验技术(3+) 251班
教材名称	无机化学 华中科技大学出版社		
授课题目	配位化合物		
授课学时	4节(√); 3节(); 其它()		
课 型	理论(√); 实验(); 见习(); 实训(); 其它()		
教学目的	1 掌握配位化合物的定义、组成、化学式和命名。2 理解配位化学键理论中的价键理论和晶体场理论。3 了解和掌握配合物在水溶液中的平衡及平衡的移动, 掌握简单的配位计算。4 掌握螯合物的概念和特性, 了解配合物形成和配位原子在周期表中的分布。		
教学重点	配位化合物的定义、组成、化学式和命名; 配位平衡及其移动		
教学难点	配位平衡及其移动, 晶体场理论。		
教学方法	讲授(√); 讨论(); 指导(); 示教(); 其它()		
电子教案	有(√)	Microsoft PowerPoint(√); Author ware(); 其它()	
	无()		
教学资源	多媒体(√); 模型(); 标本(); 实物(); 音像(); 其它()		
教学过程 时间安排	1.配位化合物的基本概念 20min 2.配位化合物的稳定性 25min 3.配合平衡 45min 4.配位化合物的价键理论 45min 5.配合物的晶体场理论(了解)		
思考题	见教案中[思考题]		
作 业	完成实训报告		
教学后记	内容抽象、 难懂 解决办法为: 课后多加练习并给予学生辅导。		

教学要点

1. 配位化合物的基本概念

配位化合物 配合物的命名 异构现象

2. 配位化合物的稳定性

酸碱的软硬分类 影响配位单元稳定的因素

3. 配合平衡

配合 — 解离配合 配合平衡的移动

4. 配位化合物的价键理论

配合物的构型与中心的杂化方式 中心杂化轨道的形成 价键理论中的能量问题 价键理论的实验根据

5. 配合物的晶体场理论

晶体场中的 d 轨道 过渡金属化合物的颜色 晶体场稳定化能(CFSE) Jahn - Teller 效应

课程名称	无机化学	专业班级	分析检验技术(3+) 251班
教材名称	无机化学 华中科技大学出版社		
授课题目	主族金属元素		
授课学时	2节(); 3节(); 其它(<input checked="" type="checkbox"/>)		
课 型	理论(<input checked="" type="checkbox"/>); 实验(); 见习(); 实训(); 其它()		
教学目的	1. 掌握碱金属及其化合物的性质和用途 2. 掌握碱土金属及其化合物的性质和用途。		
教学重点	铬、锰、铁、铜族、锌族价电子构型与及其氧化物的性质和用途，过渡元素通性的通性。		
教学难点	1、价电子构型 2、化合物的性质和用途		
教学方法	讲授(<input checked="" type="checkbox"/>); 讨论(<input checked="" type="checkbox"/>); 指导(); 示教(); 其它()		
电子教案	有(<input checked="" type="checkbox"/>)	Microsoft PowerPoint(<input checked="" type="checkbox"/>); Author ware(); 其它()	
教学资源	多媒体(<input checked="" type="checkbox"/>); 模型(); 标本(); 实物(); 音像(); 其它()		
教学过程	1、钠、锰、铁元素及其化合物的性质和用途 2、铜、锌元素单质及其化合物的性质和用途。		
思 考 题	1、镀铬与汽车，拟了解多少？ 2、如何除去硫酸亚铁中混有的少量杂质硫酸铜？		
作 业	课后习题		
教学后记	从现实生活中选取一些典型有趣的实例补充，让学生体会到学习的乐趣，复旧引新，让学生有种温故而知新的感觉。		
教学内容 一、 碱金属、碱土金属的通性 1、物理性质 第 IA 族包括锂、钠、钾、铷、铯和钫六种元素，由于它们的氢氧化物都是易溶于水的强			

碱，所以称它们为碱金属元素。其中钫是放射性元素。

第 IIA 族包括铍、镁、钙、锶、钡和镭六种元素，由于钙、锶和钡的氧化物在性质上介于“碱性的”碱金属氧化物和“土性的”难熔的氧化物 Al_2O_3 之间，所以称它们为碱土金属。现在习惯上把铍和镁也包括在内，统称为碱土金属元素。其中镭是放射性元素。

2、化学性质

- (1) 与空气作用
- (2) 与水作用
- (3) 与氧化物、卤化物作用
- (4) 焰色反应
- (5) 与液氨的作用：导电性、顺磁性、还原性

3、金属单质的制备

- (1) 融盐电解法
- (2) 热还原法：一般采用焦炭或碳化物为还原剂
- (3) 金属置换法：高温低压下还原氯化物。
- (4) 热分解法

二、铬及其化合物

1、铬单质

- (1) 物理性质
- (2) 化学性质

2、铬的化合物

(1) 铬(III)化合物:三氧化二铬和氢氧化铬

Cr(III)的盐

Cr(III)的配合物的多种颜色

(2) 铬(VI)化合物

三氧化铬

铬酸和重铬酸

重铬酸及其盐的氧化性

三、锰及其化合物

1、锰单质

2、锰的化合物

- (1) 锰(+2)化合物
- (2) 锰(+4)化合物
- (3) 锰(+6)化合物
- (4) 锰(+7)化合物

四、铁及其化合物

1、铁单质

- (1) 元素的存在
- (2) 单质的物理性
- (3) 单质的化学性质

2、铁的化合物

- (1) 铁(+2)化合物
- (2) 铁(+3)化合物
- (3) 铁的配位化合物

五、铜族元素

(一) 铜单质

- 1、铜族元素的单质
2. 物理性质
3. 化学性质

(二) 铜族元素的化合物

- 1、铜的化合物
- 2、银和金的化合物

六、锌族元素

1. 单质

- (1) 物理性质
- (2) 化学性质

2. 锌的重要化合物

- (1) 氧化锌和氢氧化锌
- (2) 氯化锌

(3) 硫化锌

七、过渡元素通性

都有较大的硬度、熔点和沸点。它们的导电性、导热性好，相互间可形成合金。

大多数溶于酸，只是有些“贵”金属电极电势较大，难与普通的酸反应。

除 IIIB 族外，都有多种氧化态，水合离子和酸根离子常呈现一定颜色。

由于 d 电子不满，化合物通常是顺磁性化合物。

原子半径从左到右逐渐减小。

电子结构特点 有未充满的 d 轨道 (Pd 除外 $4d^{10}$)，最外、次外两个电子层都未充满，特征电子构型为： $(n-1) d^{1\sim 9} ns^{1\sim 2}$

性质特点 各元素间从左到右的水平相似性：不同于主族，周期性变化规律不明显，原子半径、电离能随原子序数增加，虽变但不显著。