

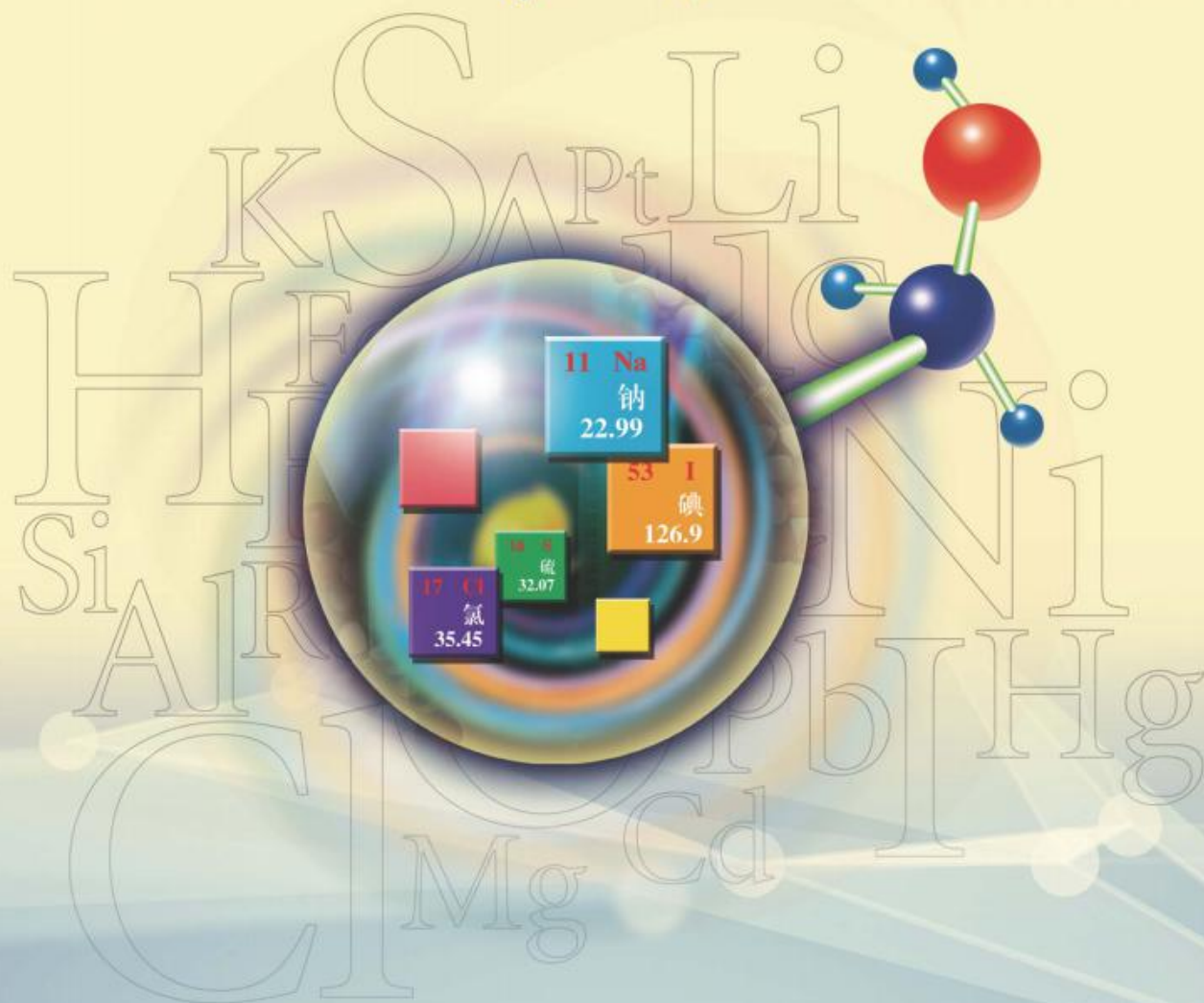


普通高中教科书

化学

必修

第一册



普通高中教科书

化 学

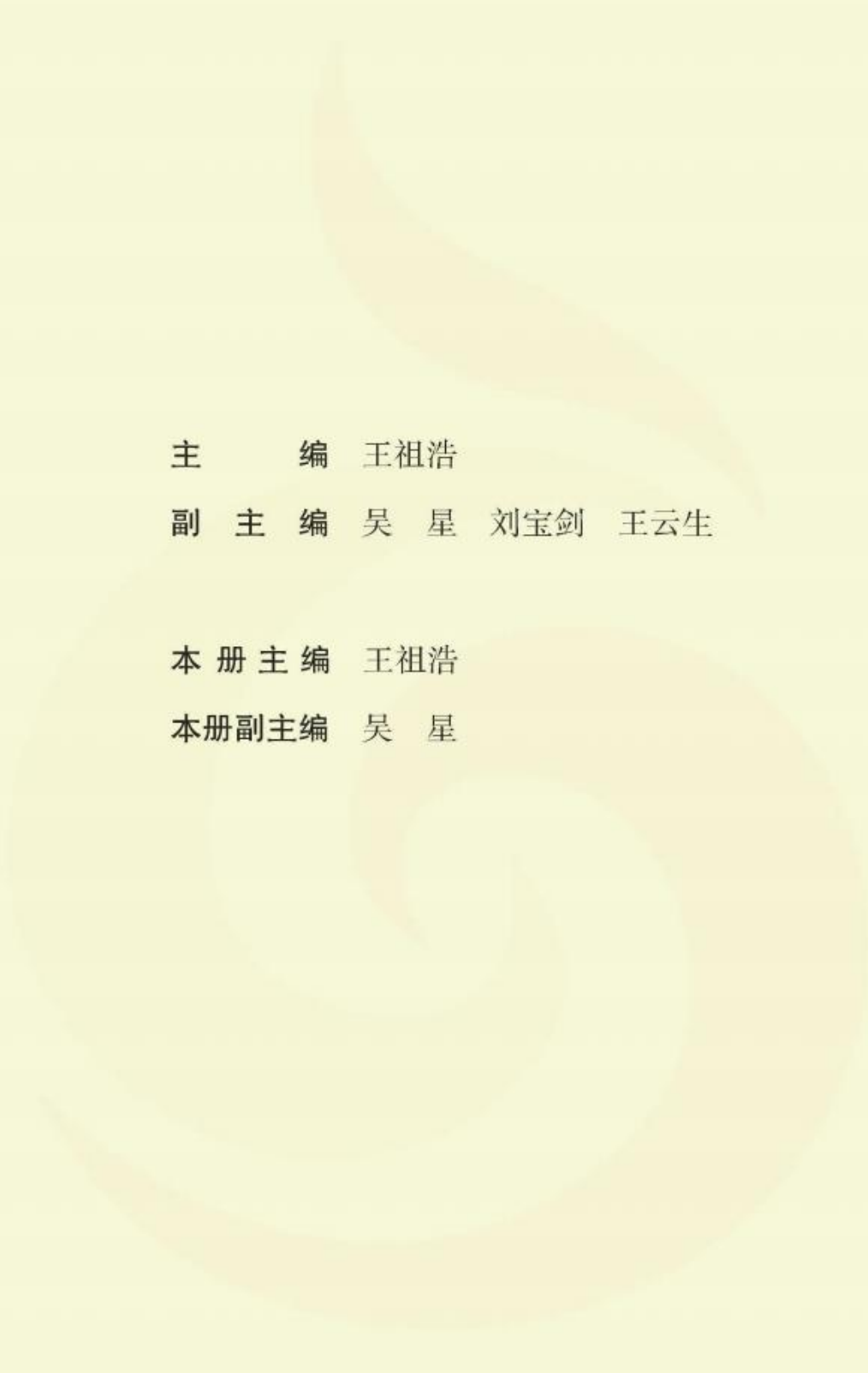
必修

第一册

主编 王祖浩



江苏凤凰教育出版社
Phoenix Education Publishing, Ltd



主 编 王祖浩

副 主 编 吴 星 刘宝剑 王云生

本 册 主 编 王祖浩

本册副主编 吴 星



写给同学们的话



CHEMISTRY

亲爱的同学们，祝贺你们进入高中这一人生的重要阶段。回顾初中化学学习的经历，同学们也许有过曲折，但更多的是快乐。初中化学虽然只是化学的启蒙，但你们已经初步了解了化学科学发展的历程，领略了化学符号的魅力，体验了实验探究的乐趣，初步锻炼了科学思维的能力。毫无疑问，高中阶段的化学课程将带给同学们更多的科学知识、更多动手和动脑学习的机会，帮助我们从中领悟化学博大精深的科学思想，进一步认识化学发展对人类文明的伟大贡献。

化学是在原子、分子水平上研究物质的组成、结构、性质、转化及其应用的一门基础学科。物质结构决定物质性质，而物质性质直接关系到物质的用途。时至今日，化学家们积累起来的知识和技术虽不能解决与社会发展有关的全部问题，但也结出了丰硕的果实。与人类已知的几百万种生物相比，已知的化合物已达上亿种，近年来每年化学家创造的新物质就达数百万种以上。化学不仅与制药、石油、橡胶、造纸、建材、钢铁、食品、纺织、皮革、化肥等传统行业荣衰与共，还带动了信息、能源、航天、生命等高科技领域产业的兴起。据统计，活跃在全球与化学相关行业和领域中的科学家、工程技术人员，是一支最为庞大的研究队伍。

为了保卫地球，化学家们开创了绿色化学时代。“绿色发展”已经成为我国可持续发展的基本国策。我们正在努力并且已经能够做到：使天空更清洁，从源头防治水污染，修复污染的土地，建构清洁低碳、安全高效的能源体系，实现绿色低碳的生活方式……

千姿百态的物质世界与高度发达的科学技术将一个飞速膨胀的知识系统呈现在我们眼前，引发了无数充满好奇的中学生的一系列疑问：物质世界为什么是这样的？为什么会发生这些变化？哪些证据能帮助我们去预测未来？在“多样”与“变化”的背后，同学们或许已隐隐发现，物质世界的变化都有其内在的规律。高中化学课程将为同学们探索这些规律提供必要的基础。

如果说在初中阶段，我们只是泛舟荡漾在化学的河川之上，为沿途的旖旎风景所倾倒，那么一旦进入高中，我们会发现眼前的河面越发开阔，景色更加优美。扬起风帆，我们将遨游于神奇的化学海洋之中。

我细心观察过今天的高中学生，欣喜地发现，随着时代的进步，同学们的视野更为开阔，思维愈发活跃。老师们常常在为高中生各种新奇的创意与问题惊讶甚至烦恼的同时，不能不从内心叹服他们对化学内涵的深刻理解，以及表现出来的思维潜力。有了如此乐观的基础，在高中化学学习过程中，同学们能充分领略实验探究和科学方法的重要性，学会去寻找解决复杂问题的各种突破口，尝试用化学的眼光和思维去审视我们赖以生存的物质世界，增强对自然界、对社会的责任感，为日后参加社会决策打下较为扎实的知识基础，从而获益终身。

《普通高中教科书·化学》（必修）是高一年级起步的化学课程，她从一系列与我们变化的时代密切相关的专题和化学研究的方法展开，教材融合了化学发展的学科线索、社会的应用价值和高中生的认知特点，揭示了化学的基础知识和重要的思想观念，大力弘扬科学精神，用生动的事例阐明化学对人类社会可持续发展中面临重大挑战时作出的巨大贡献。

依据2017年修订完成的新版《普通高中化学课程标准》，我们积极探索化学课程学习对促进学生核心素养发展的重要影响，从内容选择、编写思路和活动设计等多个方面对化学教材进行了修订。

教材的主要栏目体现了作者对化学学科特点和化学必修课程学习的认识，希望有助于同学们在阅读过程中更好地理解化学。

【温故知新】在新旧知识之间架起“桥梁”，引导同学们回顾已有知识和思维经验，寻找与新知识之间的密切联系，激发探究新知识的欲望。

【交流讨论】结合学习目标设置了一系列与内容有关的问题情境，引导同学们展开讨论，为理解知识和深化思维提供基础。

【基础实验】要求同学们在学习中同步完成的必做实验，不仅要了解这些实验的基本原理，还要学会动手操作，切实提高自己观察、记录和分析实验现象的能力。

【实验探究】引领同学们积极投身更多的实验活动，熟悉实验流程，设计探究方案，独立或合作完成实验操作，记录实验现象，基于实验证据进行推理。

【观察思考】教师展示实验现象、模型、图表等，提出相关问题激发同学们思考，尝试解析其中蕴涵的化学原理，帮助同学们开启化学思维。

【学以致用】在教材阐述新知识之后插入典型问题，启迪同学们运用所学知识去解决实际问题，提高知识的迁移能力。

【拓展视野】提供与学习内容相关的更多生动的素材，帮助同学们在完成必修的学习任务之余，进一步开拓视野，领略化学的奇妙和魅力。

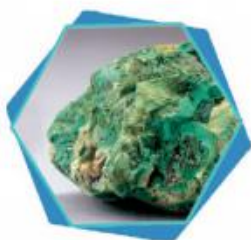
【科学史话】选取相关的、意义重大的化学史实，生动地还原其发展过程，帮助同学们能从科学家的角度去思考问题，感受中外科学家的创新精神。

【学科提炼】以简洁的语言介绍与化学核心知识相关的基本原理、思想方法等，尝试探索化学科学的本质特点，揭示化学知识的认识功能。

化学，伴随我们一生的科学。在过去的岁月中，我们渴望了解化学，为此我们有过喜悦，也有过失望，但探索的步伐一直没有停歇。今天，当我们以一种新的姿态学习高中化学，你眼中的物质世界将会变得更加绚丽多彩！让我们充满信心，用智慧和勤奋去迎接新的学习任务，探索更多的科学奥秘，攀登更高的科学台阶，创造更加美好的明天！

王祖浩
2020年6月

目录



专题1 物质的分类及计量 1

第一单元 物质及其反应的分类 / 2

第二单元 物质的化学计量 / 9

第三单元 物质的分散系 / 17



专题2 研究物质的基本方法 27

第一单元 研究物质的实验方法 / 28

第二单元 溶液组成的定量研究 / 38

第三单元 人类对原子结构的认识 / 44



专题3 从海水中获得的化学物质 57

第一单元 氯气及氯的化合物 / 58

第二单元 金属钠及钠的化合物 / 67

第三单元 海洋化学资源的综合利用 / 78



专题4 硫与环境保护

89

- 第一单元 含硫化合物的性质/ 90
- 第二单元 硫及其化合物的相互转化/ 98
- 第三单元 防治二氧化硫对环境的污染/ 102



专题5 微观结构与物质的多样性

113

- 第一单元 元素周期律和元素周期表 / 114
- 第二单元 微粒之间的相互作用力 / 127
- 第三单元 从微观结构看物质的多样性 / 134

附录 I 相对原子质量表 / 147

附录 II 常见酸、碱和盐的溶解性表(20 ℃) / 148

附录 III 中英文名词对照表 / 149

元素周期表

物质的分类及 计量



物质及其反应的分类

物质的化学计量

物质的分散系



化学是研究物质的组成、结构、性质、转化及其应用的一门自然科学。物质世界千姿百态，变化万千。在自然界、人类的生产和生活中，接触到的物质大多是组成和分散状态不同的混合物。在化学家的眼中，丰富多彩的化学物质可以按一定的标准进行分类，在一定条件下，物质可以发生化学反应生成新物质。化学家在研究中发现，构成物质的微粒质量很小，数量巨大，需要特殊的计量方法……



第一单元 物质及其反应的分类

物质世界丰富多彩，变化万千。在自然界中，100多种元素形成了上亿种组成、结构、性质各异的单质和化合物。同时，人工合成的物质种类还在不断增加。不同的物质在一定条件下可以发生相互转化。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

能通过观察和分析，辨识物质形态、物质性质及其变化的宏观现象；能从不同视角对物质及其变化进行分类。

从古代“点石成金”的朴素愿望到今天各种性能优越的新材料的诞生，人类在漫长的岁月中不倦地探索着物质及其变化规律，对物质世界的认识不断拓展和深入。现在，人们不仅能充分利用自然界提供的各种物质，还能应用物质转化的规律，制备和合成大量的新物质，提高人类的生活质量，推动社会的文明进步。



图 1-1 丰富多彩的化学物质

面对丰富多彩、变化无穷的物质世界，你是否想过：化学家是怎样研究物质组成、结构和变化的呢？

物质的分类

物质的种类繁多，为了方便研究，化学家需要将众多的物质按一定的标准进行分类，探索各类物质的共性和特性。

我们知道，对复杂的事物可以从不同的角度进行分类。那么，化学家是如何对物质进行分类的呢？

交流讨论



在日常生活和化学实验中，我们常会接触下列物质：

空气、乙醇（ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ）、水、硫酸铵、铜、碘酒、碘（ I_2 ）、氧气、石墨、食盐水、硫酸、二氧化硫、氧化铜、氢氧化铁。

请将上述物质进行分类，并说明你分类的依据。将你的分类结果与同学交流。



方法导引

分 类

分类是指按照种类、等级或性质分别归类。进行分类时，人们往往通过比较事物间的相似性，把某些具有共同点或相似特征的事物归为一类，继而按类研究，以提高研究的效率。分类能使众多复杂的事物高度有序化，通常可根据事物的外部特征或事物的本质特征来进行分类。

我们知道，根据物质的存在状态、性质等可以对物质进行分类。例如，根据物质的存在状态，将物质分为气态物质、液态物质和固态物质；根据物质的导电性，将物质分为导体、半导体和绝缘体；根据物质在水中的溶解性，将物质分为可溶性物质、微溶性物质和难溶性物质。

根据物质的组成和性质，可以对物质进行图1-2所示的分类。

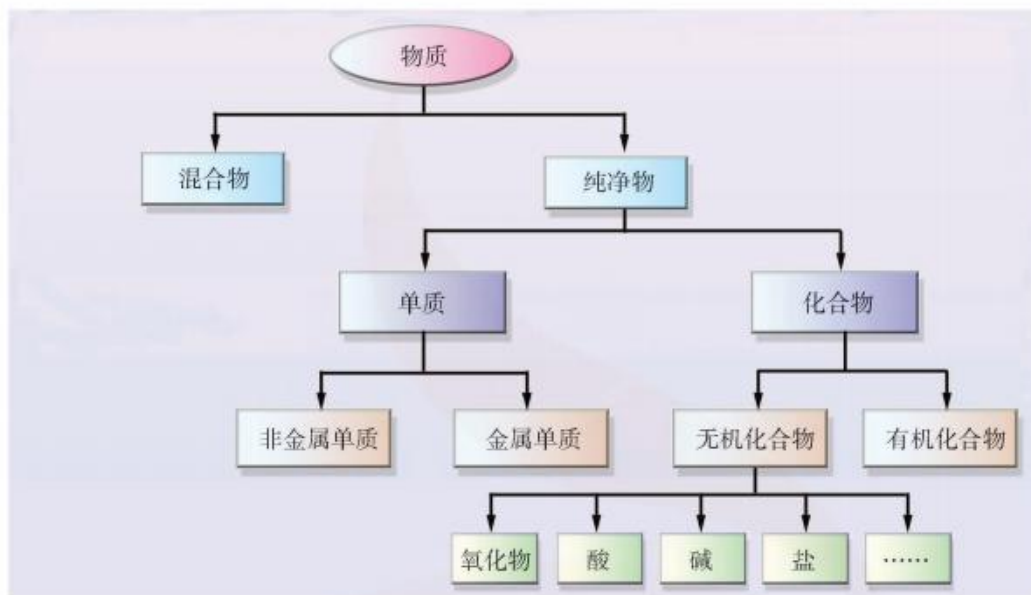


图 1-2 物质的分类



学以致用

实验室中有下列物质，请根据它们的组成和性质，尝试对其进行分类。

钠（Na）、氯气（Cl₂）、氯化铁（FeCl₃）、硫酸（H₂SO₄）、碳酸钙（CaCO₃）、氧化钙（CaO）、二氧化硅（SiO₂）、氢氧化钠（NaOH）、氢氧化铜[Cu(OH)₂]、葡萄糖（C₆H₁₂O₆）。

在图1-2中，对于氧化物、酸、碱、盐等各类无机化合物，还可以依据它们在组成、性质上的差异，继续进行更为细致的分类。

从化学性质上看，CaO、Na₂O等氧化物能与酸反应生成盐和水，这类氧化物称为**碱性氧化物**（basic oxide）。



CO₂、SO₂等氧化物能与碱反应生成盐和水，这类氧化物称为**酸性氧化物**（acid oxide）。



从组成上看，HCl等不含氧元素的酸，称为无氧酸；而H₂SO₄和HNO₃等含氧元素的酸，称为含氧酸。

从溶解性上看，NaOH、KOH等碱可溶于水，称为可溶性碱；Cu(OH)₂和Fe(OH)₃等碱难溶于水，称为难溶性碱或难溶性氢氧化物。

物质分类研究的价值

学科提炼



化学家根据物质的组成、状态、结构、性质等对物质进行分类。随着人们对物质结构及其变化研究的不断深入，物质的分类也将更加多样化。同一类物质在组成和性质方面往往具有相似性。对物质进行合理的分类，使表面上看起来比较杂乱的事物变得井然有序，有助于我们按物质的类别进一步研究物质的组成、结构和性质。

 物质的转化

不同类别的物质在一定条件下可以相互转化。探索物质转化的规律，可以帮助人们制备更多生产、生活所需的新物质。

交流讨论



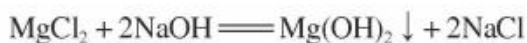
在初中阶段，我们已经学习了一些物质转化的知识。请以碳、钙两种元素的单质和化合物为例，写出下表中所列转化反应（标注必要的反应条件），讨论是否还有其他类型的转化反应并补充到表中。

表 1-1 物质间的转化

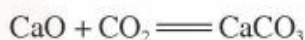
物质的转化反应	实例（化学方程式）
单质→化合物	
碱性氧化物→碱	
酸性氧化物→酸	
酸→盐	

物质之间的转化需要一定的条件。如在高温条件下，氧化铁和一氧化碳能发生反应，生成铁和二氧化碳，反应中金属氧化物中的金属元素转化为金属单质。煅烧碳酸钙可以得到氧化钙和二氧化碳，反应中盐转化为氧化物。在光照条件下，绿色植物能将二氧化碳和水转化为葡萄糖和氧气。

酸、碱、盐在溶液中发生复分解反应，通常有沉淀析出、气体放出或有水等物质生成。如 MgCl_2 溶液与 NaOH 溶液反应，生成难溶的氢氧化镁和氯化钠。



常见的酸性氧化物与碱性氧化物可以发生化合反应，生成盐类物质。例如：



排在金属活动性顺序表中氢前面的金属与稀盐酸（或稀硫酸）发生置换反应，生成氢气和盐。



学以致用

请列举你熟悉的某元素的单质及其不同类型化合物，尝试写出它们可能相互转化的化学方程式，并画出转化的关系图。

在化学发展的历史进程中，不少化学家在研究物质间转化反应的过程中作出了重大贡献。德国化学家维勒（F.Wöhler，1800—1882）研究尿素的合成就是其中一例。尿素的合成说明在一定条件下，无机化合物可以转化为有机化合物。



科学史话

人类首次将无机化合物转化为有机化合物

历史上人们一度认为，有机化合物只能由生物的细胞在一种特殊力量——生命力的作用下产生，人工合成有机物是不可能的。1828年，德国化学家维勒通过蒸发氰酸铵（ NH_4CNO ，一种无机化合物，可由氯化铵和氰酸银反应制得）水溶液得到了尿素 $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 。尿素的合成揭开了人工合成有机化合物的序幕。

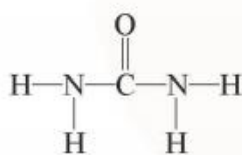


图1-3 尿素的分子结构

化学反应的分类

为了满足生产、生活的需要，在对物质进行分类的基础上，化学家进一步研究了各类物质的性质及其反应的规律。人们可以根据物质在转化过程中的特点，将化学反应分成不同的类型。

交流讨论



在初中阶段，我们根据反应物、生成物的类别和数量，将化学反应分为化合反应、分解反应、置换反应和复分解反应等基本类型。填写下表并用实例加以说明。

表 1-2 化学反应的类型

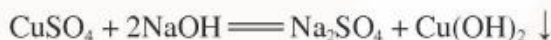
反应通式	反应类型	实例（化学方程式）
$A + B \longrightarrow C$		
$C \longrightarrow A + B$		
$AB + C \longrightarrow A + CB$		
$AB + CD \longrightarrow AD + CB$		

讨论上述四类反应实例中元素化合价变化的情况，你能得出什么结论？

根据化学反应中元素的化合价是否发生变化，可将化学反应重新进行分类。例如，铁在硫酸铜溶液中发生如下反应：



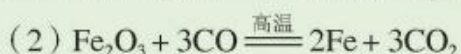
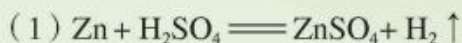
在上述反应中，Fe 转化为 Fe^{2+} ，铁元素的化合价升高； Cu^{2+} 转化为 Cu，铜元素的化合价降低。像这样有元素化合价发生变化的反应，称为**氧化还原反应**（oxidation-reduction reaction）。而元素化合价不发生变化的反应，称为**非氧化还原反应**。例如， CuSO_4 溶液与 NaOH 溶液反应，反应前后各元素的化合价均不发生变化。



学以致用



下列反应中，哪些是氧化还原反应？



理解应用

1. 从化学性质上看, SO_2 、 Na_2O 分别属于哪一类氧化物? 分别写出 SO_2 与足量 NaOH 溶液、 Na_2O 与稀硫酸反应的化学方程式。

2. 下面各组物质均可发生复分解反应, 请写出相应反应的化学方程式。

(1) Na_2SO_4 溶液与 BaCl_2 溶液;

(2) BaCO_3 与盐酸;

(3) 稀硫酸与 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液。

3. 有人认为, 化合反应、分解反应、置换反应均为氧化还原反应, 复分解反应均为非氧化还原反应。你同意这种说法吗? 为什么? 将你的观点和理由与同学交流讨论。

4. 在生产、生活中, 我们会遇到各种各样的化学反应。下面是几个实例, 请写出相应反应的化学方程式并完成填空。

(1) 将生石灰与水反应, 可得到建筑用的熟石灰。

(2) 胃舒平中含有氢氧化铝, 可用来治疗胃酸 (主要成分为盐酸) 过多。

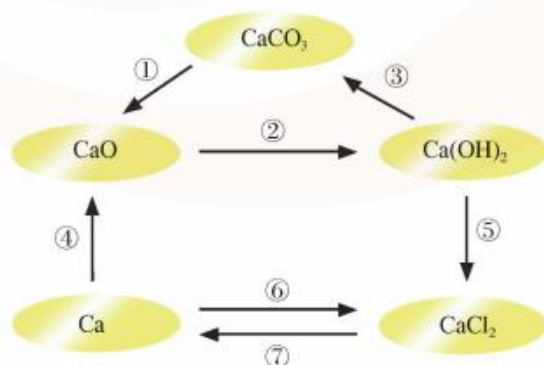
(3) 我国古代曾采用“湿法炼铜”, 并将其反应原理表述为“曾青 (天然硫酸铜) 得铁则化为铜”。

(4) 碳铵 (NH_4HCO_3) 是一种常用化肥, 在较高温度下, 它会发生分解, 生成氨气、水和二氧化碳, 故应保存于阴凉处。

(5) 我国的“西气东输”工程, 使东部地区家庭逐步用天然气 (主要成分为 CH_4) 代替煤气作为燃料。

在上述反应中, 属于化合反应的是_____, 属于分解反应的是_____, 属于置换反应的是_____, 属于复分解反应的是_____, 属于氧化还原反应的是_____。(填序号)

5. 电解熔融氯化钙可以得到金属钙和氯气, 钙在氯气中燃烧又能生成氯化钙。请根据已有知识, 按下图箭头符号所表示的物质间发生的转化, 写出相应反应的化学方程式, 并指出哪些是氧化还原反应。



第二单元 物质的化学计量

化学家在研究物质转化的过程中，除了关注反应物的选择、反应条件的控制等问题外，还要探索反应过程中物质间的定量关系。物质是由原子、分子、离子等微粒构成的，化学反应是物质所含微粒的重新组合。为了在物质及其变化的定量研究中，建立起物质的微粒与可观察的物理量之间的联系，人们在1971年第14届国际计量大会上确定增加一个基本的物理量——物质的量。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

认识化学反应中量变与质变的关系；能从构成物质的微观粒子的视角对物质进行计量；能基于物质的量研究物质的组成及其变化；体会定量研究对化学学科发展的重要作用。

物质的量

温故知新



我们已经知道，金刚石是由碳原子构成的，单个碳原子的质量非常小。科学研究发现，一个碳原子的质量约为 1.993×10^{-23} g。请通过计算得出12 g金刚石中大约含有多少个碳原子。

物质的量（amount of substance）是国际单位制中的基本物理量之一，符号为 n ，常用单位为摩尔（简称摩，符号为mol）。

1 mol某种微粒集合体中所含的微粒数与0.012 kg ^{12}C ^①中所含的原子数相同。0.012 kg ^{12}C 中所含的原子数称为阿伏加德罗常数，用 N_{A} 表示。 N_{A} 近似为 $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 。例如：

1 mol O_2 中约含 6.02×10^{23} 个氧分子；

1 mol Cu中约含 6.02×10^{23} 个铜原子；

1 mol H_2SO_4 中约含 6.02×10^{23} 个硫酸分子；

1 mol NaOH中约含 6.02×10^{23} 个 Na^+ 和 6.02×10^{23} 个 OH^- ；

n mol某种微粒集合体中所含微粒数约为 $n \times 6.02 \times 10^{23}$ 。

物质的量(n)、阿伏加德罗常数(N_{A})和微粒数(N)之间存在如下关系：

$$N = n \cdot N_{\text{A}}$$



学以致用

请计算：

(1) 0.5 mol H_2 中的氢分子数_____；

(2) 1 mol NaCl中的氯离子数_____；

(3) 1 mol H_2SO_4 中的氧原子数_____；

(4) 1.204×10^{24} 个水分子的物质的量_____；

(5) 9.03×10^{23} 个铁原子的物质的量_____。

1 mol分子、离子、原子、电子等所含的微粒数目相同，但由于不同微粒的质量一般不同，所以1 mol不同物质的质量通常也不同。例如：

1 mol铁原子的质量为56 g；

1 mol硫酸分子的质量为98 g；

1 mol Na^+ 的质量为23 g；

1 mol Cl^- 的质量为35.5 g。

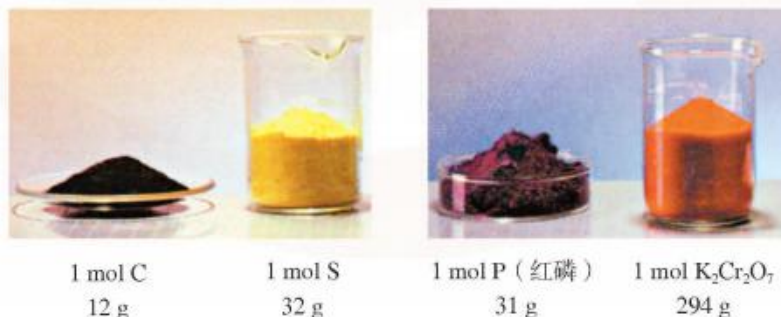


图 1-4 几种1 mol 物质的质量

① ^{12}C 是指原子核内含有6个质子、6个中子的碳原子。

单位物质的量的物质所具有的质量，称为该物质的**摩尔质量**（molar mass），用符号 M 表示。当物质的质量以克为单位时，摩尔质量在数值上等于该物质的**相对原子质量**（relative atomic mass）或**相对分子质量**（relative molecular mass），单位为 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。例如，铁的摩尔质量为 $56\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ，水的摩尔质量为 $18\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ，氯化钠的摩尔质量为 $58.5\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

物质的质量（ m ）、物质的量（ n ）和摩尔质量（ M ）之间存在如下关系：

$$m = n \cdot M$$

【例1】483 g $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 中所含 Na^+ 和 SO_4^{2-} 的物质的量各是多少？所含水分子的数目是多少？

解： $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 的相对分子质量为322，摩尔质量为 $322\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O})}{M(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O})} = \frac{483\text{ g}}{322\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 1.50\text{ mol}$$

$$\text{则：} n(\text{Na}^+) = 1.50\text{ mol} \times 2 = 3.00\text{ mol}$$

$$n(\text{SO}_4^{2-}) = 1.50\text{ mol} \times 1 = 1.50\text{ mol}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 1.50\text{ mol} \times 10 = 15.0\text{ mol}$$

$$N(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \times N_A = 15.0\text{ mol} \times 6.02 \times 10^{23}\text{ mol}^{-1} = 9.03 \times 10^{24}$$

答：483 g $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 中所含 Na^+ 的物质的量为3.00 mol， SO_4^{2-} 的物质的量为1.50 mol，水分子的数目约为 9.03×10^{24} 。

学以致用



参考例1的解题方式，完成下列计算。

- (1) 9.8 g H_2SO_4 的物质的量；
- (2) 5.3 g Na_2CO_3 的物质的量；
- (3) 0.25 mol CaCO_3 的质量；
- (4) 2.0 mol H_2O 的质量。

化学方程式不仅表示了在一定条件下的化学变化，也表示了反应物和生成物之间物质的量的关系。例如，依据化学方程式 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2\text{H}_2\text{O}$ 可知，2 mol H_2 和1 mol O_2 在点燃条件下完全反应，可以生成2 mol H_2O 。



交流讨论

写出下列反应的化学方程式，并说明反应物和生成物之间物质的量的关系。

(1) 氢氧化钠溶液与盐酸反应。

(2) 氧化铁在高温下与一氧化碳反应。

(3) 氯酸钾受热分解生成氧气和氯化钾。

(4) 过氧化氢 (H_2O_2) 分解生成氧气和水。

气体摩尔体积

在日常生活中，我们可以看到的宏观物质具有不同的聚集状态，如气态、液态和固态。同一种物质在不同的温度和压强下也可呈现出不同的聚集状态，这些状态生动地反映了物质世界的多样性。从微观上考察，物质是原子、分子或离子的聚集体。



交流讨论

生活经验告诉我们：固体具有固定的形状，液体、气体没有固定的形状；气体容易被压缩，而固体、液体不易被压缩。

为什么固态、液态和气态物质的某些性质存在差异？这与物质的微观结构有何联系？

在固态、液态、气态物质中，微粒的运动方式、微粒之间的距离是不同的。不同聚集状态的物质微观结构上的差异导致了物质性质的不同。

表 1-3 不同聚集状态物质的微观结构与宏观性质

聚集状态	微观结构	微粒的运动方式	宏观性质
固态	微粒排列紧密, 微粒间的空隙很小	在固定的位置上振动	有固定的形状, 几乎不能被压缩
液态	微粒排列较紧密, 微粒间的空隙较小	可以自由移动	没有固定的形状, 不易被压缩
气态	微粒间的距离较大	可以自由移动	没有固定的形状, 容易被压缩

我们已经知道, 1 mol 任何微粒的集合体所含的微粒数目都相同, 但 1 mol 不同物质的质量往往不同。那么, 1 mol 不同物质的体积是否相同呢?

交流讨论



1. 已知下列物质的密度, 试计算 1 mol 这些物质的体积, 将结果填入下表。

表 1-4 1 mol 不同物质的体积

物质	摩尔质量/($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	密度	1 mol 物质的体积
Al	26.98	$2.70\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$	
Fe	55.85	$7.86\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$	
H_2O	18.02	$0.988\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$	
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	46.07	$0.789\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$	
H_2	2.016	$0.0899\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$	
N_2	28.02	$1.25\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$	
CO	28.01	$1.25\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$	

说明: ① 固体、液体密度均为 293 K 时的测定值, 气体密度为 $1.01 \times 10^5\text{ Pa}$ 、273 K 时的测定值。

② K (开尔文, 简称开) 是国际单位制中热力学温度 (T) 的单位, 该温度与摄氏温度的关系为: $T(\text{K}) = 273.15 + t(^{\circ}\text{C})$

2. 影响物质体积的因素可能有哪些? 请结合这些因素尝试对以上计算结果作出解释。

在温度和压强一定时，物质的体积与物质所含微粒的数目、微粒的大小和微粒之间的距离有关。

任何1 mol 固态物质或液态物质所含的微粒数相同。微粒之间的距离很小，但微粒的大小不同，所以1 mol 固态物质或液态物质的体积往往是不同的（图1-5）。

任何1 mol 气态物质所含的微粒数相同。虽然微粒的大小不同，但微粒之间的距离要比微粒本身的直径大很多倍，所以1 mol 气态物质的体积主要取决于气态物质中微粒之间的距离。这种距离与外界的温度、压强有关。当温度、压强一定时，任何具有相同微粒数的气体都具有大致相同的体积。



图 1-5 通常条件下，1 mol 水、氯化钠和氧气的体积

我们将单位物质的量的气体所占的体积称为**气体摩尔体积**（molar volume of gas），用符号 V_m 表示，常用单位为 $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ 或 $\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ 。大量的科学实验研究表明，在标准状况（273 K、101 kPa）下，1 mol 任何气体所占的体积都约为 22.4 L，即在标准状况下，气体摩尔体积约为 $22.4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。



图 1-6 标准状况下，1 mol 气体的体积和1只篮球的体积

气体的物质的量（ n ）、体积（ V ）和气体摩尔体积（ V_m ）之间存在如下关系：

$$V = n \cdot V_m$$

【例2】0.464 g 氦气的物质的量为多少？在标准状况下，这些氦气的体积为多少？
解：

$$n(\text{He}) = \frac{m(\text{He})}{M(\text{He})} = \frac{0.464 \text{ g}}{4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.116 \text{ mol}$$

标准状况下氦气的体积：

$$V(\text{He}) = n(\text{He}) \cdot V_m = 0.116 \text{ mol} \times 22.4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \approx 2.60 \text{ L}$$

答：氦气的物质的量为 0.116 mol，在标准状况下，这些氦气的体积约为 2.60 L。

学科提炼



物质的量是宏观与微观联系的桥梁

物质的量不仅可以反映物质的质量、微粒数目，而且可以与气态物质在一定温度、压强下的体积相联系，从而在宏观物质和微观粒子之间建立了桥梁。运用物质的量可以帮助我们更好地对物质的组成和化学反应进行定量研究。

理解应用

- 下列说法中正确的是 ()
 - 摩尔是表示物质质量的单位
 - 物质的量就是指物质的质量
 - 摩尔是表示物质所含微粒个数的物理量
 - 物质的量适用于计量分子、原子、离子等粒子的集合体
- 下列有关气体摩尔体积的说法中，错误的是 ()
 - 当温度、压强一定时，任何具有相同数目微粒的气体都具有大致相同的体积
 - 单位物质的量的气体所占的体积称为气体摩尔体积
 - 在标准状况下，气体的摩尔体积都约为 $22.4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$
 - 在标准状况下， 1 mol 水的体积约为 22.4 L
- 试根据固态（或液态）物质的微观结构特征，说明为什么物质的量不同的不同固体（或液体）的体积不同。
- 填写下表。

物质	摩尔质量/ $(\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$	质量/g	物质的量/mol	分子数
O_2		8.0		
H_2SO_4				3.01×10^{23}
H_2O			0.5	

- 5.6 g 氮气在标准状况下的体积为_____，含有氮分子的数目为_____。
- 40.5 g 某金属氯化物 MCl_2 中含有 0.6 mol Cl^- ，则该氯化物的摩尔质量为_____，金属M的相对原子质量为_____。

7. 按要求填写下列空格。

(1) 39 g Na_2O_2 中 Na^+ 的数目为_____。

(2) 1.204×10^{24} 个水分子的质量为_____。

(3) 现有标准状况下 CO 和 CO_2 混合气体 6.72 L, 其质量为 10 g, 则此混合气体中, CO 和 CO_2 的物质的量之比是_____。

(4) 9.2 g 氮的氧化物 NO_x 中 N 原子的物质的量为 0.2 mol, 则 x 的数值为_____。

8. 现有下列三种气体: a. 32 g CH_4 , b. 约含有 6.02×10^{23} 个 HCl 分子的氯化氢气体, c. 标准状况下 33.6 L NH_3 。请按物理量由小到大的顺序排列:

(1) 质量_____ (填字母, 下同)。

(2) 分子数目_____。

(3) 相同状况下气体的体积_____。

(4) 含有氢原子的数目_____。

9. 已知每 100 g 葡萄糖中含碳元素 40.00 g、氢元素 6.67 g, 其余为氧元素, 试求葡萄糖中碳、氢、氧 3 种元素的物质的量之比。

10. 从石灰窑排出的气体的主要成分是二氧化碳。若排出的二氧化碳气体在标准状况下的体积为 $2\,000\text{ m}^3$, 求这些二氧化碳气体的质量。

第三单元 物质的分散系

在日常生活中，我们接触的物质大多是混合物。一种或几种物质可以分散到另一种物质中。不同组成和分散状态的混合物在自然界、人类生活和工农业生产中都有着广泛的应用。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

能根据混合物宏观性质的差异，分析其组成特点，并按分散质粒子大小对分散系进行分类；能理解电解质及电离的概念，并能用化学符号描述电解质溶液的组成。

常见的分散系

食盐分散到水中形成溶液，泥沙分散到水中形成悬浊液，植物油分散到水中形成乳浊液。溶液、悬浊液和乳浊液在组成上有何区别？各有什么特性？

一般来说，我们把由一种或几种物质（称为分散质）分散到另一种物质（称为分散剂）中形成的混合物体系称为**分散系**（dispersion system）。如我们已经熟知的溶液就是一种均一、稳定的分散系，其中溶质就是溶液分散系的**分散质**（dispersate），而溶剂就是该分散系的**分散剂**（dispersant）。

我们知道，溶液中的分散质主要以分子或离子的形式存在，其粒子的直径非常小，而悬浊液和乳浊液的分散质粒子的直径就比溶液的大得多。为了便于研究不同的混合物分散系，人们常用分散质粒子直径的大小作为标准来对它们进行分类和比较。

通常情况下，我们把分散质粒子的直径大于 10^{-7} m的分散系叫作**浊液**（悬浊液或乳浊液），分散质粒子的直径在 10^{-9} ~ 10^{-7} m之间的分散系叫作**胶体**（colloid），分散质粒子的直径小于 10^{-9} m的分散系叫作**溶液**。

胶 体

胶体是一种较为特殊，应用广泛的分散系。胶体分散质粒子的直径介于溶液和浊液之间，因而胶体表现出一些特殊的性质。



实验探究

1. 胶体的性质与溶液的性质有何不同？下面的实验将帮助我们进行探究。请将观察到的实验现象和得出的结论填入表1-5。

【实验1】将盛有硫酸铜溶液和氢氧化铁胶体的两只小烧杯分别置于暗处，用聚光手电筒（或激光笔）照射，从垂直于光线的方向观察实验现象。



硫酸铜溶液



氢氧化铁胶体

图 1-7 溶液、胶体在光照射下的现象

【实验2】在两只烧杯中分别加入相同量的含有悬浮颗粒物的浑浊的水，再向其中一只烧杯中加入适量氢氧化铁胶体，搅拌后静置片刻，比较两只烧杯中液体的浑浊程度。

表 1-5 胶体的性质实验

实验序号	实验现象	主要结论
实验1		
实验2		

2. 根据对以上实验现象的分析，回答下列问题：

- (1) 如何用简便的方法区分胶体和溶液？
- (2) 氢氧化铁胶体常用来净水，为什么？

通过实验发现，当光束通过胶体时，在垂直于光线的方向可以看到一条光亮的通路，该现象称为**丁达尔效应**（Tyndall effect）。实验室中可用丁达尔效应区分胶体和溶液。氢氧化铁胶体的胶粒具有吸附性，能吸附水中的悬浮颗粒物并沉降，因此常用于净水。明矾能够净水，也是因为明矾溶于水后能形成氢氧化铝胶体。



拓展视野

胶体的应用

胶体在自然界尤其是生物界普遍存在，其应用领域正在不断扩大，形成了化学研究的重要分支——胶体与表面化学。

在金属、陶瓷、聚合物等材料中加入固态胶体粒子，不仅可以改善材料的耐冲击强度、耐断裂强度、抗拉强度等机械性能，还可以改善材料的光学性质。有色玻璃就是将某些胶态金属氧化物分散于玻璃中制成的。

医学上越来越多地利用高度分散的胶体来检验或治疗疾病，如胶态磁流体治癌术是将磁性物质制成胶体粒子，这种粒子作为药物的载体，在磁场作用下将药物送到病灶，从而提高疗效。

国防工业中有些火药、炸药须制成胶体。一些纳米材料的制备，冶金工业中的选矿，石油原油的脱水，塑料、橡胶及合成纤维等的制造都会用到胶体。



电解质溶液

温故知新



可溶性酸、碱、盐溶于水形成的溶液具有导电性，试从微观角度解释其原因。

在初中我们已经知道， NaCl 、 NaOH 和 HCl 等物质溶于水后，在水分子的作用下产生能够自由移动的水合离子，从而使溶液具有导电性。如果把 NaCl 、 NaOH 等固体加热至熔融状态，它们也会产生自由移动的离子，也具有导电性。

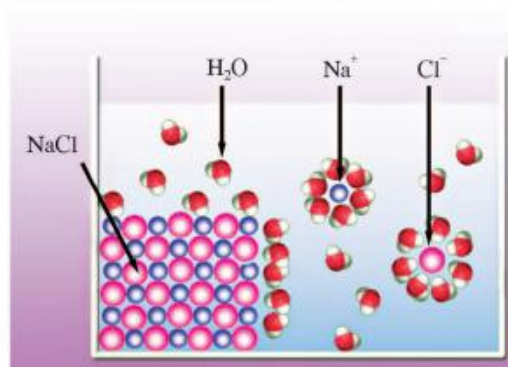
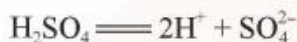


图 1-8 氯化钠在水中的电离

这些在水溶液或熔融状态下能导电的化合物叫作**电解质** (electrolyte)。常见的酸、碱、盐大多是电解质。电解质在水溶液中或熔融状态下产生自由移动的离子的过程称为**电离** (ionization)。

电解质的电离通常用**电离方程式** (ionization equation) 表示。电解质溶于水后生成水合离子, 但为了书写方便, 常写成简单离子的形式。

H_2SO_4 、 NaOH 、 NaCl 溶于水后完全电离为水合阴、阳离子, 它们的电离方程式可表示为:



对可溶性电解质的电离进行考察, 可以得出如下结论:

HCl 、 H_2SO_4 等酸在水溶液中都能电离出 H^+ , 而且溶液中所有的阳离子都是 H^+ 。从电离的角度看, 酸是电离时生成的阳离子全部是 H^+ 的化合物。

NaOH 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等碱在水溶液中都能电离出 OH^- , 而且溶液中所有的阴离子都是 OH^- 。从电离的角度看, 碱是电离时生成的阴离子全部是 OH^- 的化合物。

NaCl 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 等盐在水溶液中都能电离出金属阳离子 (或铵根离子) 和酸根阴离子。

然而, 蔗糖、酒精等化合物, 无论是在水溶液中, 还是在熔融状态下均以分子形式存在, 因而不能导电, 这样的化合物叫作**非电解质** (non-electrolyte)。葡萄糖、油脂等有机化合物大多是非电解质。

可见, 从分子或离子层面更深入地考察溶液的组成, 可以解释电解质溶液和非电解质溶液的性质差异。

学以致用



1. 下列物质中, 哪些溶于水后能够发生电离? 请写出相应的电离方程式。

氯化氢 (HCl)、硝酸铵 (NH_4NO_3)、氢氧化钡 [$\text{Ba}(\text{OH})_2$]、葡萄糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)、硝酸银 (AgNO_3)、氯化钡 (BaCl_2)、明矾 [$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$] (一种可溶性硫酸盐)。

2. 下列四组物质的水溶液中, 哪几组含有的离子种类完全相同?

- ① NH_4Cl KNO_3 Na_2SO_4
- ② K_2SO_4 NaNO_3 NH_4Cl
- ③ NH_4NO_3 K_2CO_3 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ NaCl
- ④ NaCl $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ K_2SO_4 NaNO_3

正确分析和判断物质在水溶液中能否电离, 电离生成哪些离子, 有助于探索物质在水溶液中可能发生的化学反应。

学科提炼



物质研究的新视角——分散系

自然界中存在多种分散系。化学家依据分散质粒子直径的大小, 将混合物体系划分为溶液、胶体和浊液三大类。这一分类深入到物质的微观层面, 揭示了不同分散系的组成特点。分散系的研究为解释自然现象和生命现象、新材料的工业制备及应用提供了重要的理论基础。

理解应用

- 下列有关电解质的说法中, 正确的是 ()
 - A. 在水溶液中能导电的物质都是电解质
 - B. 电解质都易溶于水
 - C. 电解质溶于水后产生能够自由移动的水合离子
 - D. 电解质必须在水溶液中才能发生电离

2. 当光束通过下列分散系时, 一定产生明显的丁达尔效应的是 ()

- A. 硫酸钡悬浊液 B. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体
C. 碘酒 D. 葡萄糖水

3. 用特殊的方法把固体加工成纳米级 (直径为 $1 \sim 100 \text{ nm}$, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) 的超细粉末粒子, 可制得纳米材料。下列分散系中, 分散质粒子的直径和这种超细粉末粒子的直径具有相同数量级的是 ()

- A. 溶液 B. 胶体
C. 悬浊液 D. 乳浊液

4. 现有下列物质:

空气、氧气、食盐水、氢氧化钾、铜、碳酸氢钠、蔗糖、酒精。

(1) 请依据物质的组成和性质对以上物质进行分类。

(2) 以上物质中, 属于电解质的是 _____, 属于非电解质的是 _____。

5. 已知磷酸钠 (Na_3PO_4) 是电解质, 在水溶液中能完全电离。

(1) 请写出 Na_3PO_4 在水溶液中的电离方程式。

(2) 若将 $164 \text{ g Na}_3\text{PO}_4$ 溶于足量水中配成溶液, 则溶液中 Na^+ 的物质的量为多少?

6. 在无土栽培中, 需配制一定组成的植物营养液。已知某植物营养液的配方为 0.3 mol KCl 、 $0.2 \text{ mol K}_2\text{SO}_4$ 、 0.1 mol ZnSO_4 和 $1 \text{ L H}_2\text{O}$ 。若以 KCl 、 K_2SO_4 、 ZnCl_2 和 $1 \text{ L H}_2\text{O}$ 为原料配制这种植物营养液, 需三种溶质各多少克?

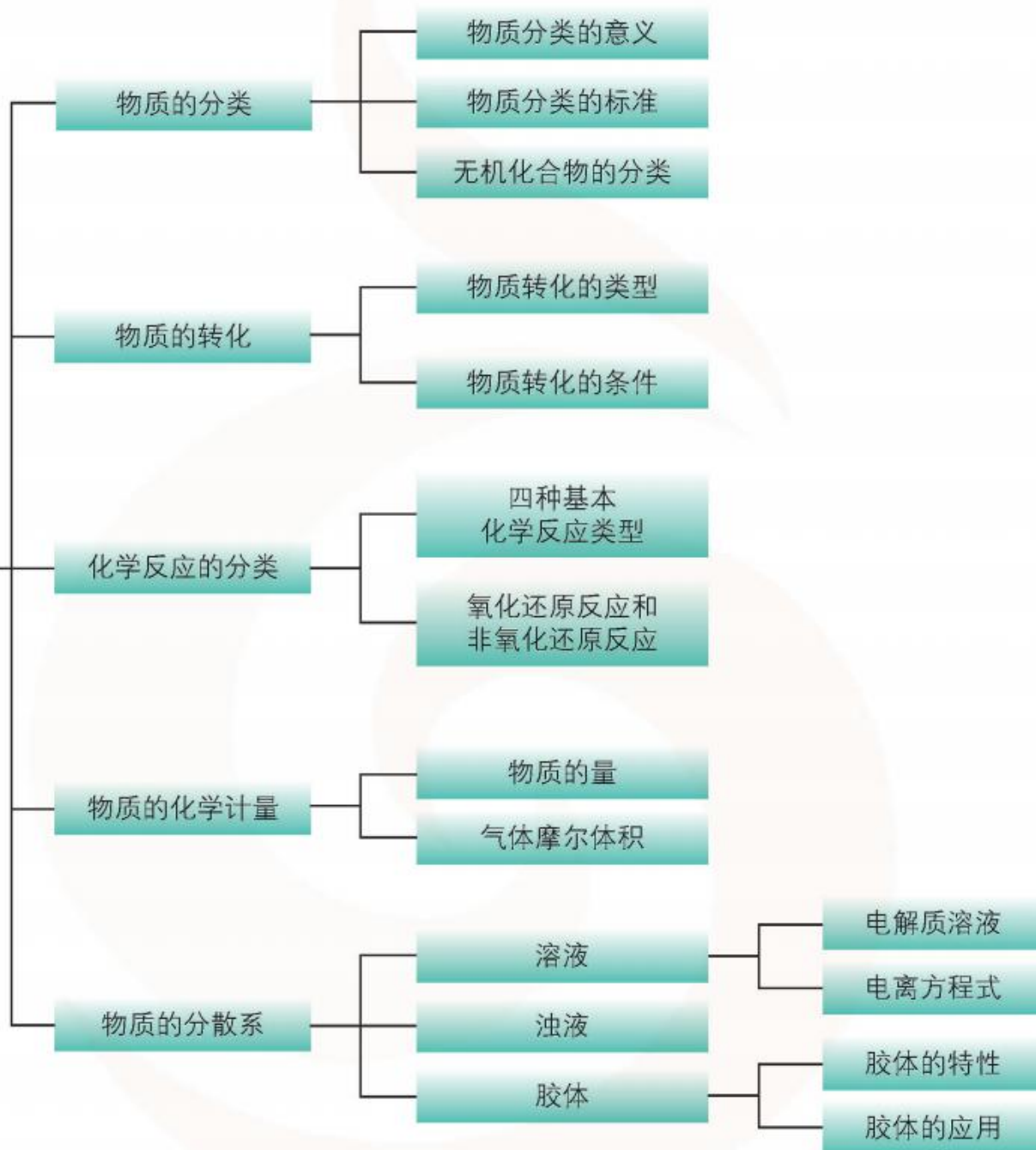
7. 填写下表。

分散系	分散质粒子大小	主要特征	举例
溶液			
胶体			
浊液			

8. 胶体区别于其他分散系的本质特征是什么? 举例说明胶体的应用。

建构整合

物质的分类及计量



回顾与总结

 请参照下列问题或线索，回顾和总结本专题的学习内容。

✓ 为什么要将物质进行分类？通常从哪些角度对物质进行分类？请试着将你所知道的钠的化合物进行分类。

✓ 化学反应通常需要在一定的条件下才能进行。请归纳化学反应的类型，分析你所知道的化学反应发生的条件。

✓ 各举一例酸性氧化物与碱溶液、碱性氧化物与酸溶液的反应，写出相关化学方程式。

✓ 什么是氧化还原反应和非氧化还原反应？请各举一个实例加以说明。

✓ 什么是物质的量？科学家为什么要引入物质的量？

✓ 什么是阿伏加德罗常数？ n mol某种微粒集合体中所含微粒数约为多少？

✓ 气体摩尔体积的含义是什么？你能从微观角度进行解释吗？

✓ 你能解释下列式子的意义吗？

$$N = n \cdot N_A \quad m = n \cdot M \quad V = n \cdot V_m$$

✓ 常见的分散系有哪几种？它们是以什么标准进行分类的？

✓ 如何通过简单的实验方法区分溶液和胶体？

✓ 举例说明胶体在日常生活和科学技术中的应用。

✓ 什么是电解质和非电解质？试举例说明。

✓ 举例说明如何书写电离方程式。

综合评价

1. 下列事实与胶体无关的是 ()

- A. 用明矾净水
- B. 植物油与水混合, 充分振荡后可形成油水混合物
- C. 光线透过树叶间的缝隙射入密林中时, 会看到一道道光柱
- D. 将纳米二氧化硅颗粒 (直径1~100 nm) 均匀分散到树脂中形成的分散系

2. 科学家在研究化学物质时, 常常需要对物质进行分类, 以便对同类物质的组成和性质进行深入研究。下面每组物质中, 都有一种与其他物质不属于同一类, 请写出该物质的化学式, 并说明理由。

(1) Mg O₂ N₂ NO

(2) SO₂ CO₂ SiO₂ NH₃

(3) CuO MgO Fe₂O₃ CO₂

(4) H₂SO₄ NaHCO₃ HNO₃ HCl

(5) NaOH Na₂CO₃ C₁₂H₂₂O₁₁ (蔗糖) HNO₃

3. 有些袋装食品使用的干燥剂的主要成分是生石灰 (CaO)。

(1) 生石灰属于哪种类别的物质?

(2) 写出生石灰作干燥剂所发生反应的化学方程式。

(3) 生石灰还可以与哪些类别的物质发生化学反应? 列举两例并写出化学方程式。

(4) 所用的干燥剂能否长期持续地起干燥作用? 为什么?

(5) 你还知道哪些物质可以用作干燥剂? 试一一列出。

4. 下列物质中, 哪些属于电解质? 请写出这些电解质在水中的电离方程式。

HNO₃ O₂ MgCl₂ CH₄ Ca(OH)₂ Cu CO₂

5. 下列哪些反应属于氧化还原反应? 请说明判断的依据。

(1) $\text{C} + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \xrightarrow{\text{高温}} \text{CO} + \text{H}_2$

(2) $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3 \xrightarrow{\Delta} 2\text{CuO} + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$

(3) $\text{Cu} + 2\text{AgNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Ag}$

(4) $2\text{CO} + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2\text{CO}_2$

6. 实验室常用加热高锰酸钾的方法制取少量氧气。

(1) 请写出该反应的化学方程式。

(2) 现欲制取 1.12 L (标准状况) 氧气, 理论上需要消耗多少克高锰酸钾?

7. 咖啡中含有咖啡因（化学式为 $C_8H_{10}N_4O_2$ ），咖啡因能兴奋中枢神经、消除疲劳。如果一杯咖啡含有0.194 g咖啡因，你知道这杯咖啡里含有多少个咖啡因分子吗？

8. 顺铂〔化学式为 $PtCl_2(NH_3)_2$ 〕是一种用于治疗癌症的药物，一片顺铂药片中含顺铂的质量为 3×10^{-4} g，那么：

（1）一片顺铂药片中顺铂的物质的量是多少？

（2）一片顺铂药片中顺铂所含氮原子的物质的量和数目各是多少？

9. 下面是某地市场上销售的一种加碘食盐包装袋上的部分文字说明。

配料	氯化钠（NaCl）、碘酸钾（ KIO_3 ）
含碘量	$18 \sim 33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
保质期	18个月
食用方法	勿长时间炖炒
贮藏指南	避热、避光、密封、防潮

（1）加碘盐不能长时间炖炒，且应避热、避光保存，你认为可能的原因是什么？

（2）实验分析发现，某批加碘盐中 KIO_3 的含量为 $53.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。试计算每千克该加碘盐中 KIO_3 的物质的量和碘元素的质量。

（3）若成人每天需摄入0.15~0.20 mg碘元素才能满足人体健康的需要，试通过计算说明成人平均每天食用6.0 g（2）中加碘盐能否获得所需要的碘元素。

10. 溶液、胶体和浊液是常见的分散系，它们之间的主要区别是什么？在两只烧杯中分别盛有淀粉溶液和氯化钠溶液，如何区分它们？写出实验步骤、实验现象及结论。

实验步骤	实验现象	结论

专题

2

研究物质的基本方法



研究物质的实验方法
溶液组成的定量研究
人类对原子结构的认识



从古至今，人类在探索物质世界的漫长过程中，不断实践、总结和反思，积累了丰富的研究物质的实验方法。随着科学技术的进步，科学家在理论和实践结合的基础上不断开拓创新，从宏观到微观，从定性到定量，提炼出一系列研究物质的基本方法。这些基本的研究方法，是化学学习的重要内容。



第一单元 研究物质的实验方法

实验是研究物质组成、结构和性质的重要方法。借助实验，化学家得以分离和提纯所需要的物质，确定组成物质的元素及其含量，解析物质的微观结构，揭示化学现象的本质。科学的实验方法为化学家打开物质世界的大门提供了一把金钥匙。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

具有安全意识；能规范使用常见的化学实验仪器；能根据物质的性质设计物质分离提纯和检验的实验方案，完成实验操作；能仔细观察、准确记录实验现象，能结合现象进行分析，并运用化学原理进行解释和推断。

实验安全与基本规范

良好的安全防护意识和必要的实验安全措施是进行化学实验的前提。同学们在进入实验室之前，应做好预习和实验准备，熟悉实验所需的药品，掌握仪器、药品安全使用的要领，理解、掌握实验原理，熟悉实验步骤和操作要求。

在实验过程中应集中注意力，实验操作要规范。取用药品前须仔细核对所需药品与试剂瓶上的标签是否一致，仔细阅读使用说明，正确取用。仔细观察实验现象，如实记录，认真处理实验数据，分析实验结果，写好实验报告。同组实验的同学之间要分工协作，共同完成实验任务。遇到突发状况时，应沉着冷静，采取正确的处理方法，并及时报告老师。

在实验中应注意环境保护，减少实验排出的废气、废液和固体废物对环境的影响。实验后应将药品和所用仪器收拾干净，保持实验室整洁卫生。



拓展视野

危险化学品的分类



图 2-1 常见危险化学品的分类标识

物质的分离提纯

化学家在研究物质的组成和性质时，首先要获得纯净的物质，以避免其他物质的干扰。我们所见到的各种各样的物质，无论是自然界存在的，还是人工制备的，大多是混合物。因此，在研究某物质时就要先将该物质从混合物中分离出来，并加以提纯。

温故知新



你在生活中遇到过一些物质分离提纯的实例吗？请举例谈谈具体的过程和方法。

混合物分离提纯的依据是混合物中各组分性质（如状态、沸点、水溶性等）的差异。在分离提纯的过程中，应尽量减少所需物质的损失。常见的混合物分离的方法有过滤、结晶、蒸馏、分液、萃取等。

若两种物质组成的固体混合物中，一种组分可溶于水，另一种组分难溶于水，可以先加适量的水溶解混合物，然后过滤分离出难溶于水的组分，再将滤液结晶得到可溶于水的组分，从而实现可溶性组分与难溶性组分的分离。

若固体混合物中的两种组分都可溶于水，且溶解度随温度变化有较大差异，可根据两种组分的溶解度随温度变化的曲线，通过控制温度，利用溶解、结晶等方法分离。



交流讨论

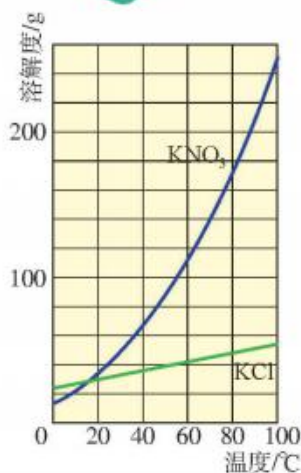


图 2-2 KNO₃和KCl的溶解度曲线

1. 实验室用KClO₃在MnO₂催化下受热分解制取氧气。现从反应后剩余的KCl和MnO₂的混合物中分离、回收这两种物质，需要使用哪些分离方法？请简述实验方案。

2. 请参照图2-2的溶解度曲线，设计实验方案提纯混有少量KCl的KNO₃。

为分离KCl和MnO₂的混合物，可先加入适量水，并充分搅拌，可溶的KCl完全溶解，难溶的MnO₂仍以固体形式存在。过滤、洗涤、干燥滤渣，即可得到MnO₂。将滤液蒸发结晶，可得到KCl晶体。

在提纯混有少量KCl的KNO₃时，先在较高温度下将混合物溶于水形成浓溶液，再冷却到一定温度。KNO₃的溶解度随温度降低急剧下降，因此有大量的KNO₃晶体析出，而KCl的溶解度随温度降低变化不大，难以析出晶体。再过滤、洗涤、干燥，即可得到纯度较高的KNO₃晶体。



观察思考

某些地区的自来水中含有少量可溶性杂质，实验室可通过蒸馏自来水的方法获得少量纯净的水（蒸馏水）。在蒸馏烧瓶中加入几粒沸石（或碎瓷片），再加入少量自来水，按图2-3所示组装实验仪器，加热烧瓶，观察实验现象。



图 2-3 蒸馏

蒸馏是一种分离液体混合物的常用方法。如将含有少量难挥发性杂质的水加热至沸点时，液态水转化为水蒸气，再将其冷凝收集至另一容器中，便可得到蒸馏水。像这种将液态物质加热至沸点，使之汽化，然后将蒸气重新冷凝为液体的操作过程称为**蒸馏**（distillation）。运用蒸馏的方法，可以分离沸点相差较大的液体混合物，也可以除去水等液体中难挥发或不挥发的杂质。蒸馏广泛应用于石油炼制等工业生产中。

如果两种液体互不相溶，它们的混合物静置后会出现分层现象，例如植物油和水的混合体系中，植物油的密度比水小而浮在上层，水在下层，那么可以通过**分液**（separate）的方法分离这两种液体。分液时要用到分液漏斗。当漏斗中的液体分成清晰的两层后，取下分液漏斗顶部的塞子，打开旋塞，使下层液体从漏斗下端流出，然后关闭旋塞，将上层液体从上口倒出。

观察思考

已知四氯化碳（ CCl_4 ）是一种难溶于水的无色油状液体，密度比水大。溴、碘等在四氯化碳中的溶解度远大于在水中的溶解度。

取一只分液漏斗，向其中加入5 mL四氯化碳，再加入约15 mL溴水，塞上分液漏斗顶部的塞子，倒转过来充分振荡，然后置于铁架台上静置。

仔细观察静置过程中分液漏斗中的现象并作出解释。

上述实验中，分液漏斗中的液体在静置时，慢慢分为两层。上层是水层，颜色比原来溴水的颜色浅了许多，下层的四氯化碳变成了橙红色（图2-4），说明溴水中的溴大部分由水层转移到四氯化碳层中，使溴得以富集。通过分液操作分离出溴的四氯化碳溶液，再从中分离出较纯的溴。



图 2-4 萃取与分液

这种利用物质在互不相溶的溶剂中溶解度的不同，将物质从一种溶剂转移到另一种溶剂（也称萃取剂）中，从而实现分离的方法称为**萃取**（extraction）。萃取在中药成分提取中有广泛的应用，常用乙醇、石油醚等作溶剂提取药材的有效成分。



科学史话

屠呦呦提取青蒿素的研究

疟疾是一种严重危害人类生命健康的流行病。20世纪60年代初，全球疟疾疫情难以控制。1969年，我国药学家屠呦呦及其团队受命研究抗疟疾药物。经过对200多种中药的380多个提取物进行筛选，屠呦呦最后将焦点锁定在青蒿上。她系统查阅文献，特别关注历代用药经验中提取药物成分的方法。她注意到，用水煎煮的方法提取出的青蒿的有效成分，其药效并不理想，于是改用乙醚萃取，所得提取物对鼠疟的疗效显著提高。在经历了190多次失败后，青蒿素分离获得成功。这剂新药对鼠疟、猴疟疟原虫的抑制率达到100%。2015年10月，屠呦呦因采用化学方法提取青蒿素而荣获诺贝尔生理学或医学奖。



图 2-5 屠呦呦提取青蒿素



学科提炼

物质分离提纯的思想方法

混合物的各个组分往往有不同的物理性质和化学性质。可依据混合物中各组分性质的差异，选择适当的方法加以分离。溶解、过滤、结晶、萃取、分液、蒸馏等就是利用各组分的物理性质的差异进行的分离。利用不纯物质中主要成分和所含杂质在性质上的差异，也可以选择适当的方法，将杂质除去或分离出来，以达到提纯的目的。

物质的检验

在生产、生活和科学研究中，人们经常需要测定物质的组成和结构，确定它是哪种物质，即进行物质的检验。通常可以根据物质的物理性质，如颜色、气味、水溶性等，进行粗略的判断，再根据物质的某些特征反应进行检验，以区分或鉴别不同的物质。例如，根据碳酸盐与盐酸反应能放出二氧化碳气体，确定某矿石中是否含有碳酸盐；根据纤维燃烧散发的气味，确定该纤维的成分是否含有蛋白质。

在含有离子的溶液体系中，常用化学反应来检验溶液所含的某些离子。根据反应生成的气体的气味及其性质或沉淀的颜色、溶解性来判断离子的种类。

观察思考

氯化铵、硫酸铵、氯化钾、硫酸钾均可用作化肥。下列实验将帮助我们探究这几种盐中所含离子的检验方法。

【实验1】取两支试管，分别加入2 mL NH_4Cl 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液，再各加入2 mL NaOH 溶液，加热试管，将湿润的红色石蕊试纸（或 pH 试纸）靠近试管口，观察试纸颜色的变化。

【实验2】取两支试管，分别加入2 mL NH_4Cl 、 KCl 溶液，再各滴加几滴 AgNO_3 溶液和稀硝酸，观察实验现象。

【实验3】取两支试管，分别加入少量 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 K_2SO_4 溶液，再各滴加几滴稀盐酸和 BaCl_2 溶液，观察实验现象。

铵盐与强碱溶液混合加热时有刺激性气味的氨气放出，如加热氯化铵和氢氧化钠的混合溶液时发生反应：



氨气能使湿润的红色石蕊试纸变蓝，人们常利用这一性质来检验铵根离子。

盐酸、氯化钠、氯化铵等溶液中的氯离子能与硝酸银溶液中的银离子反应，生成白色的氯化银沉淀，该沉淀不溶于稀硝酸。例如：



化学上常用这种方法检验溶液中是否含有氯离子。

溶液中的硫酸根离子能与氯化钡溶液中的钡离子反应，生成白色的硫酸钡沉淀，该沉淀不溶于稀盐酸。例如：



人们常用向溶液中加入稀盐酸和氯化钡溶液的方法来检验溶液中是否含有硫酸根离子。

对于某些化合物（如KCl、NaCl等），用简单的复分解反应往往难以鉴别，这时需借助其他实验方法。许多金属或它们的化合物在火焰上灼烧时都会使火焰呈现特殊的颜色（图2-7），这叫作**焰色反应**（flame test）。例如钠的焰色为黄色，钾的焰色为紫色（透过蓝色钴玻璃观察）。根据灼烧时火焰所呈现的特征颜色，可以检验金属或金属离子的存在。



观察思考



图 2-6 焰色反应的实验操作

取一根铂丝（或细铁丝），放在酒精灯（或煤气灯）火焰上灼烧至无色。用铂丝蘸取少量KCl溶液，置于火焰上灼烧，透过蓝色钴玻璃观察火焰颜色。再用稀盐酸洗净铂丝，并在火焰上灼烧至无色，蘸取少量NaCl溶液，重复以上实验，观察实验现象。

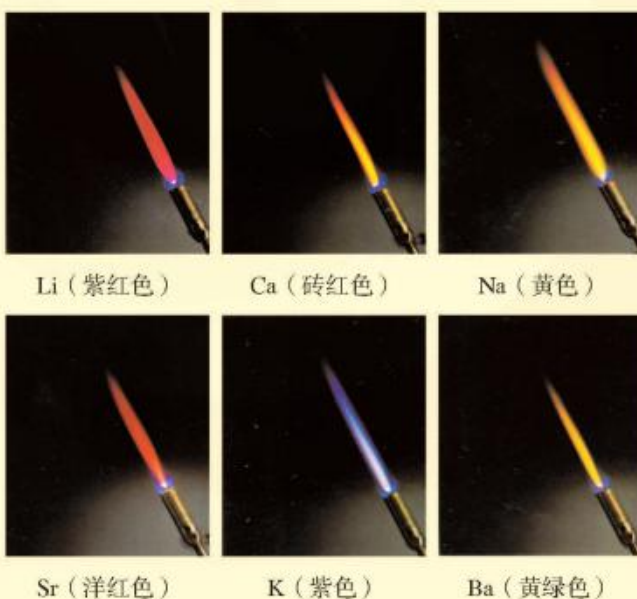


图 2-7 部分金属的焰色反应

此外，科学家还借助仪器来分析化学物质的组成。例如，用元素分析仪确定物质中是否含有C、H、O、N、S、Cl、Br等元素；用红外光谱仪确定物质中是否存在某些有机原子团；用原子吸收光谱仪确定物质中含有哪些金属元素等。这些仪器正是依据组成物质的原子（基团）、离子或分子的一些特征性质对物质进行检验的。



图 2-8 红外光谱仪

物质检验的思想方法

人们常依据某物质参加化学反应时产生的特殊现象及某些物理特征进行物质检验。例如，根据 NH_4^+ 与碱溶液在加热时反应生成有刺激性气味的气体， SO_4^{2-} 与稀盐酸、氯化钡溶液反应生成白色沉淀加以检验。焰色反应、仪器分析等检验手段就是依据物质的物理特征，参照某些标准，灵敏而精准地检测出特定的原子或原子团。

学科提炼



物质性质和变化的探究

温故知新



二氧化碳具有哪些性质？我们是通过什么实验得知二氧化碳的这些性质的？

人们借助感官或仪器可以观察自然界、生产和生活中接触到的物质及其变化现象，但更多的要通过实验，根据特定条件下的实验现象和结果，通过分析、归纳等方法认识物质的性质及其变化的条件和规律。

化学实验是探究物质性质和变化的主要方法。将二氧化碳气体通入水中，向其中滴入几滴紫色石蕊试液，溶液变成红色，说明有酸性物质生成。加热该红色液体，发现有气泡从溶液中逸出，溶液重新变成紫色，这说明生成的酸性物质不稳定。实验清晰地呈现了二氧化碳的性质和变化的过程。

铝是生活中常见的金属。铝有哪些物理性质和化学性质呢？可通过下列实验来进行研究。



观察思考

1. 观察比较铝片在打磨前后的光泽。
 2. 用坩埚钳夹持一片未打磨的薄铝片，在酒精灯火焰上加热，当铝片表面呈灰白色时，轻轻晃动铝片，可以感觉到铝片内有熔化的物质被包裹着，但铝片没有熔融下滴。
 3. 取两支试管，分别放入一小片打磨过的铝片，再分别加入3 mL 20%的盐酸和氢氧化钠溶液，观察发生的现象。
- 请将你观察到的实验现象填入下表。

表 2-1 铝的性质实验

实验序号	主要现象
1	
2	
3	

为了研究某个化学问题，我们往往先根据已有知识、经验，对问题作出某种可能的解释，再设计化学实验进行验证。

例如，为了解铁、铜、银的金属活动性差异，在常温下利用金属铁、铜、银分别与相同浓度的硫酸亚铁溶液、硫酸铜溶液、硝酸银溶液反应，观察实验现象，依据所发生的置换反应分析得出铁、铜、银的金属活动性差异。



实验探究

用双氧水制备氧气的实验中，我们知道双氧水分解的速率与反应是否使用催化剂有关，添加少量二氧化锰粉末能加快它的分解。为了解温度能否影响双氧水的分解快慢，我们可以通过实验探究得出结论。

表 2-2 双氧水的分解实验

实验步骤	实验现象	结论
1. 取浓度约为15%的双氧水2~3 mL盛放于试管中，观察溶液中气泡产生的快慢		
2. 把实验1所用的双氧水置于75 ℃热水浴中，观察溶液中气泡产生的快慢		

我们还可以在相同温度的条件下，对比不同浓度的过氧化氢溶液(如3%、6%的 H_2O_2 溶液)，在少量二氧化锰粉末催化下放出气体的快慢，了解浓度对过氧化氢溶液分解快慢的影响。

为深入探究某个化学问题，化学研究人员往往会依据一定的化学原理作出假设，并设计一定的化学实验方案，控制某些因素，选择适宜的条件、试剂和仪器，用待研究物质的

样品和反应试剂进行实验,观察、记录化学反应的现象、数据,整理分析有关资料,基于实验证据作出推理判断,获得结论,以检验所作的假设或解释是否合理。通过实验探究可以进一步认识物质的性质和变化,揭示物质变化的本质和规律。

理解应用

1. 分离下列固体混合物时,可按溶解、过滤、蒸发的顺序进行的是()

- A. 氯化钠和硝酸钾 B. 铁粉和锌粉
C. 氯化钾和二氧化锰 D. 碳酸铵和氯化铵

2. 现有一瓶物质A和B的混合液体,它们的性质如下表所示。分离物质A和B的最佳方法是()

物质	熔点/ $^{\circ}\text{C}$	沸点/ $^{\circ}\text{C}$	密度/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	溶解性
A	-11.5	198	1.11	易溶于水和乙醇
B	17.9	290	1.26	能与水、乙醇以任意比例互溶

- A. 萃取 B. 结晶 C. 分液 D. 蒸馏

3. 用括号里的试剂鉴别下面各组气体或溶液,其中不合理的是()

- A. 二氧化碳、氮气、一氧化碳(澄清石灰水)
B. 氯化钠、硝酸银、碳酸钠(稀盐酸)
C. 酒精、醋酸、氨水(石蕊试液)
D. 硫酸、硝酸钡、氯化钾(碳酸钠溶液)

4. 现需要分离下列物质,请用直线将分离实例、分离所依据的物质性质差异和分离方法连起来。

实例	物质性质差异	分离方法
除去氯化钠溶液中的泥沙	溶解度随温度变化的差异	蒸馏
用乙醚提取青蒿中的青蒿素	在不同溶剂中溶解度的差异	过滤
分离乙酸(沸点为 118°C)与乙醚(沸点为 34°C)	沸点的差异	分液
分离汽油和水的混合物	互不相溶	萃取
从含有少量氯化钠的硝酸钾溶液中提取硝酸钾	在水中溶解性的差异	结晶

5. 请设计实验方案将下面各组中的两种物质区分开来。

- ① 丝绸与棉布 ② 氯化钠与氯化钾 ③ 硫酸铵与氯化铵 ④ 碳酸钠与硝酸钠

6. 草木灰是草本和木本植物燃烧后的残余物,含有碳酸钾,可用作肥料。现有一份草木灰样品,请设计实验方案检验其中含有碳酸钾。

第二单元 溶液组成的定量研究

化学家和化学工程师在制备物质的过程中，需要计算投入原料的配比和产物的产率，这就要对物质组成进行定量研究。定量研究是化学研究的常用方法，也是化学学习的重要内容。掌握物质及其反应的计量方法，是学习化学定量计算的关键。

我们已经知道，化学反应中反应物之间物质的量的比是一定的。当反应在溶液中进行时，要确定反应物的物质的量，就必须知道溶液的组成。例如，酸和碱恰好完全中和时，酸溶液提供的 H^+ 和碱溶液提供的 OH^- 的物质的量之比是1:1。在实验室中，我们需要知道一定体积的酸、碱溶液中所含的酸和碱的物质的量，才能了解反应能否恰好完全进行。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

认识物质的量在化学定量研究中的重要作用，能从定量角度描述和分析物质及其变化，能运用化学计量关系和物质的量概念研究溶液的组成。

物质的量浓度



温故知新

请描述你所知道的溶液浓度的含义。它是如何具体表示的？

科学研究和化工生产中，人们经常在溶液中进行制备、检验和分析等，这时往往需要知道一定质量溶液中所含溶质的质量，即初中已学的溶质的质量分数。此外，还常用一定体积溶液中所含溶质的物质的量来表示溶液的组成，即溶质的物质的量浓度。

溶质（用字母B表示）的**物质的量浓度**（molarity）是指单位体积溶液中所含溶质B的物质的量，用符号 c_B 表示，常用单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

溶质的物质的量浓度（ c_B ）、溶质的物质的量（ n_B ）、溶液的体积（ V ）之间存在如下关系：

$$c_B = \frac{n_B}{V}$$

【例1】将53.0 g Na_2CO_3 溶解在水中，配成500 mL溶液，所得溶液中溶质的物质的量浓度是多少？

解：
$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = \frac{53.0 \text{ g}}{106 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.500 \text{ mol}$$

$$c(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{n(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{V} = \frac{0.500 \text{ mol}}{0.500 \text{ L}} = 1.00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

答：所得溶液中溶质的物质的量浓度是 $1.00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

学以致用

现要配制250 mL $0.200 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液，需要 NaCl 多少克？

配制一定物质的量浓度的溶液时，需要准确控制溶液的最终体积。实验室使用容量瓶来配制一定体积、一定物质的量浓度的溶液。

容量瓶由瓶体和瓶塞两部分组成（图2-9）。容量瓶上标有容量瓶的规格（常见规格有50 mL、100 mL、250 mL、500 mL等）、温度（一般标记的温度为 20°C ），容量瓶瓶颈上有一刻度线以标示体积。在容量瓶所标记的温度下，当溶液的凹液面正好与刻度线相切时，容量瓶中溶液的体积正好等于容量瓶的规格。

为避免容量瓶受热变形而引起容积的变化，热的溶液需冷却到室温后才能转移到容量瓶中，也不能将容量瓶用作物质反应或溶解的容器。



图 2-9 500 mL容量瓶

学生必做实验

配制一定物质的量浓度的溶液

根据下列实验步骤配制100 mL $0.100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Na_2CO_3 溶液。

(1) 计算：配制100 mL $0.100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Na_2CO_3 溶液所需碳酸钠固体的质量为_____ g。

(2) 称量：用天平准确称取碳酸钠固体。（注：为保证实验精度，在称量固体时，应使用分析天平或电子天平称量 Na_2CO_3 固体。若条件限制，可用托盘天平代替进行练习）

(3) 溶解：将碳酸钠固体转移至100 mL烧杯中，用适量的蒸馏水溶解，冷却到室温。

基础实验



(4) 转移：将烧杯中的溶液用玻璃棒小心地引流到100 mL容量瓶中（注意：不要让溶液洒到容量瓶外），用蒸馏水洗涤烧杯内壁及玻璃棒2~3次，并将每次洗涤的溶液都注入容量瓶中。轻轻振荡容量瓶，使溶液混合均匀。

(5) 定容：缓缓地将蒸馏水注入容量瓶中，直到容量瓶中的液面距离容量瓶的刻度线1~2 cm时，改用胶头滴管滴加蒸馏水至溶液的凹液面正好与刻度线相切，再将容量瓶塞盖好，反复上下颠倒，摇匀。



图 2-10 配制一定物质的量浓度的溶液

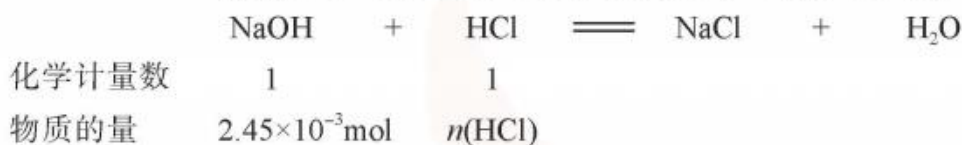
化学反应的计算

在化学实验中，我们常常会面对未知浓度的溶液。为简便地确定其物质的量浓度，可以借助某个特定化学反应中消耗的溶质的物质的量来进行计算。具体思路是：将已知物质的量浓度的溶液与一定体积未知物质的量浓度的溶液反应，根据反应时消耗已知物质的量浓度溶液的体积，通过计算就能确定未知浓度溶液的物质的量浓度。上述原理是定量分析溶液组成的重要基础。

【例2】实验室为确定一瓶稀盐酸的浓度，用 $0.100\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaOH溶液中和 25.00 mL 该盐酸，当酸与碱恰好完全反应时，消耗NaOH溶液 24.50 mL 。试求该盐酸的物质的量浓度。

解 24.50 mL NaOH溶液中所含NaOH的物质的量为：

$$n(\text{NaOH}) = 2.450 \times 10^{-2} \text{ L} \times 0.100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} = 2.45 \times 10^{-3} \text{ mol}$$



$$n(\text{HCl}) = \frac{2.45 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 1}{1} = 2.45 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

该盐酸的物质的量浓度为：

$$c(\text{HCl}) = \frac{2.45 \times 10^{-3} \text{ mol}}{25.00 \times 10^{-3} \text{ L}} = 0.0980 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

答：该盐酸的物质的量浓度为 $0.0980\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

化学反应中的计量关系

学科提炼



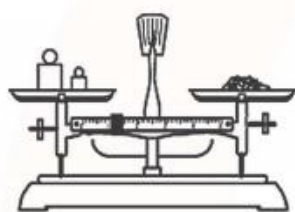
化学反应中参加反应的各物质的物质的量之比等于化学方程式中对应物质的化学计量数之比，因此可以根据该比例来代入已知物质的物理量，从而求出未知物质的物理量。这里的物理量是指微粒数 N 、质量 m 、标准状况下气体体积 V 和物质的量浓度 c_B ，这些物理量都可以根据相应的公式转化为该物质的物质的量。



图 2-11 化学反应中的计量关系

理解应用

- 下列关于 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液的描述中, 正确的是 ()
 - 1 L该溶液中含有 0.10 mol Ba^{2+}
 - 该溶液中 $c(\text{OH}^-) = 0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
 - 1 L该溶液中含有 Ba^{2+} 的质量为 1.71 g
 - 该溶液就是将 $17.1 \text{ g Ba}(\text{OH})_2$ 溶于1 L水中所得到的溶液
- 用胆矾($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)配制 $480 \text{ mL } 0.100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CuSO}_4$ 溶液, 下列做法中正确的是 ()
 - 可选用 500 mL 容量瓶
 - 配制该溶液需称取 8.0 g 胆矾
 - 转移溶液前须将容量瓶烘干
 - 定容后摇匀, 发现液面低于刻度线, 又补加少量水, 重新达到刻度线
- 用固体样品配制一定物质的量浓度的溶液, 需经过称量、溶解、转移溶液、定容等操作。下列图示对应的操作中, 正确的是 ()



A. 称量



B. 溶解



C. 转移



D. 定容

- 配制一定体积、一定物质的量浓度的溶液时, 若出现下列情况, 会导致溶液中溶质的物质的量浓度偏小的是 ()
 - 容量瓶中原有少量的水
 - 溶液从烧杯转移到容量瓶中后没有洗涤烧杯
 - 定容时俯视刻度线
 - 用滴管加水定容时, 不小心把少量水滴到容量瓶外
- 下列操作中, 对实验结果没有影响的是 ()
 - 在烧杯中稀释浓硫酸后, 立即转移到容量瓶中
 - 在转移溶液的过程中, 不慎有少量液体洒在容量瓶外, 忽略不计继续进行操作
 - 向容量瓶中加入蒸馏水至刻度线以下 $1 \sim 2 \text{ cm}$ 时, 改用胶头滴管加水至凹液面最低处恰好与刻度线相切
 - 用胶头滴管加水后, 发现凹液面超过了刻度线, 随即用滴管将多余的溶液吸出

6. 某同学按下列步骤配制500 mL $0.200 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ KCl溶液，请回答有关问题。

实验步骤	有关问题
① 计算所需KCl的质量	需要KCl的质量是_____ g
② 称量KCl固体	称量过程中主要用到的仪器是_____
③ 将KCl转移至100 mL烧杯中，并加入适量水溶解	为了加快溶解，可以采取的措施有_____
④ 将烧杯中的溶液转移至500 mL容量瓶中	为了防止溶液洒出，应采取的措施是_____
⑤ 向容量瓶中加蒸馏水至刻度线	在进行此操作时应注意_____

按上述步骤配制的溶液中KCl的物质的量浓度是否为 $0.200 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ？请说明理由。

7. 实验室用高速离心机分离细胞各组分时需要使用蔗糖($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)溶液。所需的蔗糖溶液物质的量浓度为 $3.200 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。含有137.0 g蔗糖的该溶液的体积为多少升？

8. 为测定某 K_2SO_4 溶液的浓度，取25.00 mL待测液，向其中加入过量 BaCl_2 溶液，充分反应后过滤、洗涤并干燥，得到的 BaSO_4 沉淀的质量是1.165 g。该溶液中 K_2SO_4 的物质的量浓度是多少？

9. 实验室有一瓶放置已久的盐酸，标签中没有说明其物质的量浓度。

(1) A同学发现标签中标有该盐酸的密度 $1.17 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、溶质质量分数 34.2%。能否根据这些信息计算出该盐酸的物质的量浓度？

(2) B同学认为该盐酸已经放置很久了，其中氯化氢或许已经挥发了一部分。他打算通过定量实验来测出该盐酸的物质的量浓度，请你帮助他设计一个简单的实验方案。

第三单元 人类对原子结构的认识

人类探索自然界奥秘的一个重要方面是研究物质的微观结构。古希腊哲学家德谟克利特（Democritus，约公元前460—公元前370）曾经指出，物质是由不可分割的微粒（也称为“原子”）构成的。后来，科学家对物质结构的进一步研究证实，原子由质子、中子、电子等微粒构成。基于对原子及其结构的认识，人们可以更好地探索物质的组成、结构、性质及应用，可以根据需要制备各种具有不同性能的物质。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

以原子结构模型为例，能从宏观和微观结合的视角理解原子结构模型提出的证据，初步形成模型建构的认知方式。

人类认识原子结构的历程

早在战国时期，我国古代先贤就有了关于物质的微观思考。惠施说过：“一尺之棰，日取其半，万世不竭。”他认为物质是无限可分的。物质是否能够无限地分割下去？物质又是由什么组成的呢？

19世纪初，英国科学家道尔顿（J. Dalton，1766—1844）总结了一些元素形成化合物时的质量比例关系，提出了原子学说。他认为物质由原子组成，原子不能被创造，也不能被毁灭，它们在化学变化中不可再分割。

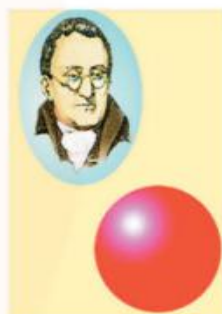


图 2-12 道尔顿和他的原子结构模型

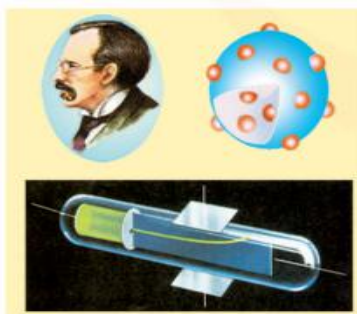


图 2-13 汤姆生发现电子，提出原子结构模型

随着自然科学的发展，人类对原子结构的认识经历了一段曲折的历程，科学家们依据实验获得的数据，提出了各种假说和模型，逐步揭示了原子结构的奥秘。

1897年，英国物理学家汤姆生（J.J. Thomson，1856—1940）发现原子中存在电子，并用实验方法测出电子的质量不及氢原子质量的千分之一（后进一步确定为氢原子质量的

1/1836)。他推测这种粒子是均匀地嵌在云状的正电荷球体中，于是提出了“葡萄干面包式”的原子结构模型，并将这种粒子命名为电子。电子的发现使人们认识到原子是由更小的微粒构成的，对原子结构的认识进入新的阶段。

1911年，英国物理学家卢瑟福（E. Rutherford, 1871—1937）用 α 粒子轰击金箔，发现大部分 α 粒子直线穿过金箔，有少数发生一定的偏移，极少数反弹回来。他推测原子的内部结构并不是均匀的，而是存在一个中心的“核”，称为原子核。原子核带正电，电子在其周围高速运动，就像行星围绕太阳运转一样。这就是卢瑟福的“有核模型”或“行星模型”。



图 2-14 卢瑟福根据 α 粒子散射现象，提出带核的原子结构模型



图 2-15 玻尔研究氢原子光谱，提出他的原子结构模型

1913年，丹麦物理学家玻尔（N. Bohr, 1885—1962）在研究氢原子光谱时，发现氢原子光谱是不连续的，而且谱线能量的差异存在一定的规律。他引入了量子论观点，大胆地提出了新的原子结构模型：原子核外，电子在一系列稳定的轨道上运动，每个轨道都具有一个确定的能量值；核外电子在这些稳定的轨道上运动时，既不放出能量，也不吸收能量。

模型建构

模型本质上是科学家描述事物的原型，解释和预测未知现象的一种思维方式，广泛应用于科学发现和发明的过程中。从原子结构模型的发展历程可以看出，科学家通过不同的实验收集各种证据，从而提出原子结构模型，并不断修正模型。科学家在一定时期建构的模型不是绝对的、一成不变的，而是依据知识的积累、方法和技术的更新、实验证据的不断完善而动态发展的。

学科提炼



从上述科学发展的历程可知，直到20世纪初科学家才揭开了原子结构的神秘面纱，对微观世界的认识也逐步清晰和深化。原子结构理论在20世纪末和21世纪初又有了新的飞速发展。

原子核的构成



温故知新

相对原子质量被定义为“某原子的质量与 ^{12}C 原子质量的 $1/12$ 之比”，你知道 ^{12}C 原子是指哪种碳原子吗？

原子是由原子核（nucleus）和核外电子（electron）构成的，原子的质量几乎都集中在原子核上。绝大多数原子核由带正电荷的质子（proton）和不带电荷的中子（neutron）构成。一个原子的核内质子数和核外电子数相等，所以原子是电中性的。

表 2-3 质子、中子和电子的质量和带电荷量

微粒	质量/kg	带电荷量/C
质子	1.673×10^{-27}	1.602×10^{-19}
中子	1.675×10^{-27}	0
电子	9.109×10^{-31}	-1.602×10^{-19}

同一种元素的原子具有相同的质子数，但中子数不一定相同。如氢元素在自然界中存在氕（protium, ^1_1H ）、氘（deuterium, ^2_1H ）、氚（tritium, ^3_1H ）三种原子（图2-16），它们的原子核内部都含有1个质子，中子数分别为0、1、2。其中氘称为重氢（D），氚称为超重氢（T），它们是制造氢弹的原料。又如，碳元素在自然界中存在三种原子，它们的质子数都是6，中子数分别为6、7、8，可分别表示为 $^{12}_6\text{C}$ 、 $^{13}_6\text{C}$ 、 $^{14}_6\text{C}$ ， ^{12}C 原子就是指质子数和中子数都是6的碳原子。人们把具有一定质子数和一定中子数的一种原子称为一种**核素**（nuclide）。将原子核内所有的质子和中子的相对质量取整数，加起来所得到的数值称为**质量数**（用符号A表示），常用质子数（Z）与中子数（N）之和表示。

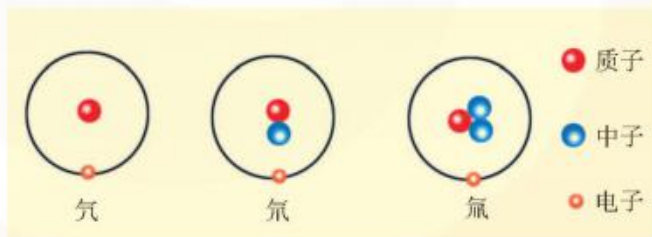


图 2-16 氢元素三种核素的原子结构模型



学以致用

1. 将下列有关原子的质子数和中子数之和填入下表，与原子的相对原子质量作比较，你能得出什么结论？并用 ^A_ZX 表示各原子。

表 2-4 几种原子的质子数、中子数和相对原子质量

原子	质子数 (Z)	中子数 (N)	质子数+中子数 (A)	相对原子 质量	${}^A_Z\text{X}$
F	9	10		18.998	
Na	11	12		22.990	
Al	13	14		26.982	

2. 请总结出原子的质子数、中子数、电子数和质量数之间的关系。

通常以“ ${}^A_Z\text{X}$ ”的形式来表示某种核素(A代表质量数,Z代表质子数,X为元素符号)。例如,经常提到的含6个质子和6个中子的碳原子即可写成 ${}^{12}_6\text{C}$ 。绝大多数元素存在多种核素,我们把质子数相同、质量数(或中子数)不同的核素互称为**同位素**(isotope)。

拓展视野

夸克

原子由质子、中子、电子等基本粒子构成。那么,基本粒子可不可以再分呢?1964年,美国科学家盖尔曼(M. Gellman)提出质子、中子由更小的夸克构成,建构了夸克模型。该模型能解释许多事实,引起了人们的普遍关注。1967年,以弗里德曼(J. Friedman)、肯达尔(H. Kendall)、泰勒(R. Taylor)为核心的研究小组,在美国斯坦福大学直线加速器中心进行实验,证明了夸克的存在。这三位科学家因此获得了1990年诺贝尔物理学奖。

但迄今为止,人们尚未能分离出单个的夸克。美国科学家戴维·格罗斯(D.J. Gross)、戴维·波利策(H.D. Politzer)和弗兰克·维尔切克(F. Wilczek)发现当夸克相距很近时相互作用力很小,但当距离增大时相互作用力急剧增大。这解释了人们在寻找单个夸克时遭遇的困境。这三位科学家因此获得了2004年诺贝尔物理学奖。

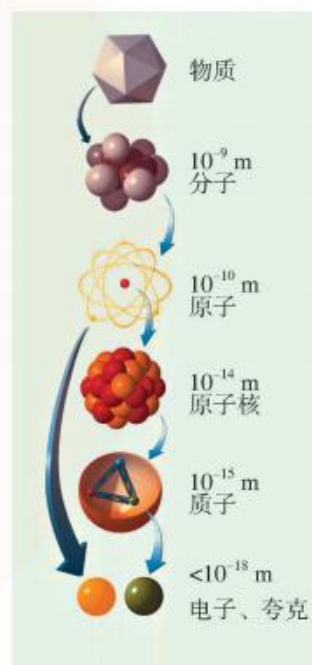


图 2-17 构成物质的微粒示意图

研究表明,质量较大的核素往往容易发生衰变,变成质量较小的核素,同时放射出某种射线或粒子流。卢瑟福轰击金箔实验所用的 α 粒子,就是放射性同位素衰变时放射出的

氢原子核。同位素的应用已遍及医学、工业、农业、考古和环境等众多领域。同位素在医学上的应用尤为活跃，主要用于诊断、治疗（图2-18）、医疗用品消毒，以及药物作用机理研究等。需要指出的是，某些同位素的放射性会对环境以及人体健康产生一定危害，我们应科学、合理地使用放射性同位素。



图 2-18 利用同位素的放射性进行医疗诊断



图 2-19 生物化石



拓展视野

同位素在考古中的应用

考古学家们挖掘出生物化石（图2-19），如何较准确地测定其年代呢？同位素在考古断代上功不可没。生物化石中含有 ^{14}C 。在生物死亡前，由于生命活动伴随体内含碳元素物质与自然界中碳元素的交换，生物体中 ^{14}C 所占碳原子的比例和大气中 ^{14}C 所占碳原子的比例相同。大气中 ^{14}C 所占碳原子的比例是恒定的。但当生物体死亡后，其体内的 ^{14}C 和大气中的 ^{14}C 停止交换，生物体内的 ^{14}C 所占碳原子比例因衰变而减少，每5 730年 ^{14}C 就减少一半。因此，测定出土文物或化石中 ^{14}C 所占碳原子比例，与大气中的恒定值进行比较，就可以测算出其死亡的年代。

原子核外电子排布

经过长期研究，人们发现，含多个核外电子的原子中，电子运动的主要区域离核有远有近，在离核较近的区域运动的电子能量较低，在离核较远的区域运动的电子能量较高，可以认为电子在原子核外是分层排布的。人们把核外电子运动的不同区域看成不同的电子层，各电子层由内向外的序数 n 依次为1、2、3、4、5、6、7……分别称为K、L、M、N、O、P、Q……电子层。

原子核外各电子层最多能容纳的电子数是一定的，而且电子在原子核外排布时，总是尽量先排在能量最低的电子层，即最先排K层，当K层排满后，再排L层等。原子核外各电子层最多能容纳的电子数为 $2n^2$ ，最外电子层最多只能容纳8个电子（K层为最外层时，最多只能容纳2个电子）。稀有气体元素原子中最外电子层都已经填满，形成了稳定的电子层结构。例如，钠原子核外的11个电子分别处于K、L、M电子层中，排布在最外电子层（M层）的1个电子能量最高。

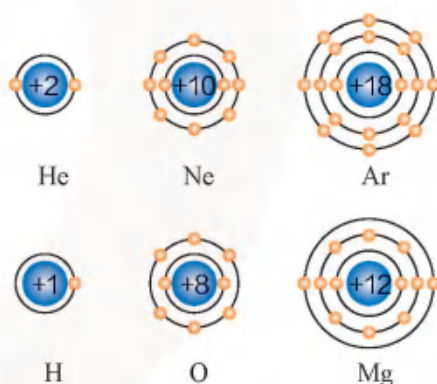


图 2-20 几种原子的核外电子排布

人们常用原子结构示意图表示原子的核外电子排布。例如，氧原子、镁原子的结构示意图分别如图2-21、图2-22所示。

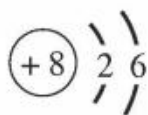


图 2-21 氧原子的结构示意图

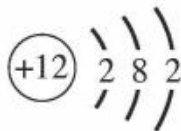


图 2-22 镁原子的结构示意图

原子结构示意图中，圆圈表示原子核并标明核电荷数，圆圈外的每一段弧线代表不同的电子层，数字代表该电子层中的电子数。例如，钠原子的结构示意图如图2-23所示。



图 2-23 钠原子的结构示意图

观察下表，回答问题。

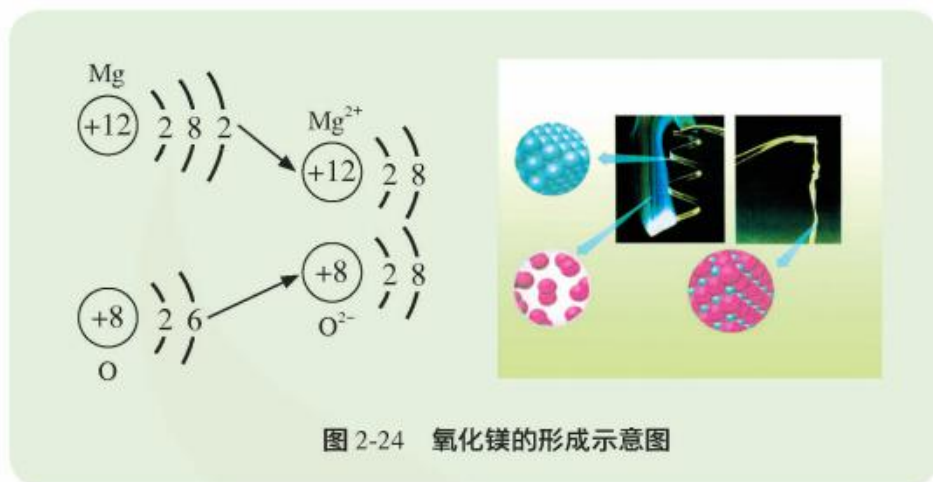
学以致用

表 2-5 稀有气体元素的原子核外电子排布

元素	各电子层的电子数					
	K	L	M	N	O	P
${}^2\text{He}$	2					
${}^{10}\text{Ne}$	2	8				
${}^{18}\text{Ar}$	2	8	8			
${}^{36}\text{Kr}$	2	8	18	8		
${}^{54}\text{Xe}$	2	8	18	18	8	
${}^{86}\text{Rn}$	2	8	18	32	18	8

1. 请画出稀有气体元素氦、氖、氩的原子结构示意图。

2. 镁原子和氧原子形成氧化镁的过程中原子核外电子的变化情况如图2-24，将 Mg^{2+} 、 O^{2-} 的核外电子排布与氖原子的核外电子排布进行比较，你能得出什么结论？



钠、镁、铝等活泼金属原子的最外层电子数较少，与活泼非金属反应时容易失去电子，形成稳定的电子层结构；氧、氟、氯等活泼非金属原子的最外层电子数较多，与活泼金属反应时容易得到电子，形成稳定的电子层结构。



交流讨论

下列金属单质与非金属单质反应所形成的化合物中，金属元素和非金属元素的化合价与其在反应中失去或得到电子的数目之间存在一定的关系。

1. Na、Mg分别与 O_2 、 Cl_2 反应生成氧化物和氯化物，请写出这些氧化物和氯化物的化学式。

2. 请根据Na、Mg、O、Cl原子的最外层电子数及在反应过程中失去或得到的电子数，推断生成的氧化物和氯化物中元素的化合价，将结果填入下表。

表 2-6 一些元素的原子得、失电子的情况

元素	原子最外层电子数	失去或得到的电子数	化合物中的化合价
Na			
Mg			
O			
Cl			

在活泼金属单质与活泼非金属单质的反应中，金属元素的原子失去电子，形成阳离子，在生成的化合物中呈现正化合价；非金属元素的原子得到电子，形成阴离子，在生成的化合物中呈现负化合价。

理解应用

- 下列关于原子的说法中，正确的是（ ）
 - 同种元素的原子内质子数相等
 - 原子不显电性，说明原子内的质子数等于中子数
 - 含有相同中子数的原子，一定是同一种原子
 - 原子是最小的粒子，不可再分
- 下列关于 ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ 和 ${}^{210}_{83}\text{Bi}$ 的说法中，错误的是（ ）
 - ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ 和 ${}^{210}_{83}\text{Bi}$ 都含有83个中子
 - ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ 和 ${}^{210}_{83}\text{Bi}$ 是Bi的两种核素
 - ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ 和 ${}^{210}_{83}\text{Bi}$ 的核外电子数相等
 - ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ 和 ${}^{210}_{83}\text{Bi}$ 含有相等的质子数
- 2016年11月国际纯粹与应用化学联合会（IUPAC）公布了人工合成的第113、115、117和118号元素。其中118号元素Og是由美国与俄罗斯科学家合作合成的，其质量数为294。下列关于该元素的说法中，正确的是（ ）
 - 其原子核内中子数和质子数都是118
 - 其原子核内中子数为176
 - 其原子核外电子数为176
 - 其原子最外层电子数为18
- 诺贝尔化学奖获得者艾哈迈德·泽维尔（A. H. Zewail）开创了“飞秒化学”的新领域，使利用激光光谱技术观测化学反应时分子中原子的运动成为可能。你认为该技术还无法观察到的是（ ）
 - 化学反应中反应物分子的分解
 - 化学反应中原子的运动
 - 化学反应中生成物分子的形成
 - 原子核的内部结构
- 填写下表。

原子	质子数 (Z)	中子数 (N)	质量数 (A)	${}^A_Z\text{X}$
C	6	6		
Cl	17		37	
O				${}^{18}_8\text{O}$

- 核内中子数为 N 的 R^{2+} ，质量数为 A ，则该离子的核外电子数为_____。

7. 许多元素有多种核素, 而且各种核素在自然界中所占的比例相对固定。如氧元素有 $^{16}_8\text{O}$ 、 $^{17}_8\text{O}$ 、 $^{18}_8\text{O}$ 三种核素, 氢元素有 ^1_1H 、 ^2_1H 、 ^3_1H 三种核素。

(1) ^1_1H 、 $^{16}_8\text{O}$ 、 $^{17}_8\text{O}$ 、 $^{18}_8\text{O}$ 最多可以构成几种水分子?

(2) 相对分子质量为 20 的水分子, 可能有几种组成?

8. 已知 X、Y、Z、W、R 五种元素中, X 是原子序数最小的元素; Y 元素原子最外层电子数是内层电子总数的 2 倍; Z 元素原子最外层电子数比其次外层电子数多 4 个; W 元素原子 K 层和 M 层电子总数等于其 L 层电子数; R 元素原子最外层有 1 个电子, 其阳离子与 Z 的阴离子原子核外电子总数相同。请完成下列问题。

(1) R 元素的原子结构示意图为_____ ; Z 元素形成的阴离子的结构示意图为_____。

(2) 含 X、Y、Z、R 四种元素的化合物的化学式为_____。

(3) W 的两种氧化物的化学式是_____、_____。

(4) 化合物 R_2Z 与 YZ_2 反应的化学方程式为_____。

9. 1808 年, 道尔顿编著了《化学哲学的新体系》一书, 系统地阐述了他的化学原子论。主要观点如下: ① 所有物质都是由非常微小的物质粒子即原子构成的; ② 原子不能被分割; ③ 同种原子具有相同的质量和性质, 不同原子的质量和性质不同; ④ 不同的原子结合形成化合物, 在化学反应中, 原子仅仅是重新排列, 而不是被创造或消失。

(1) 当时, 道尔顿提出原子论是件很了不起的事。但由于受到当时科学技术水平的限制, 该学说中存在着一些缺陷甚至错误。你对此有什么看法?

(2) 道尔顿曾分析过 CO 、 CO_2 的组成, 得出当这两种气体中所含的碳元素质量相等时, 两种气体中的氧元素质量之比为 1 : 2。道尔顿认为这类实验事实可以用他的原子论来说明。请你尝试用道尔顿的原子论解释这一现象。

建构整合

研究物质的基本方法

研究物质的
实验方法

物质的分离与提纯

过滤、结晶

蒸馏

分液、萃取

物质的检验

化学方法

仪器分析

溶液组成的
定量研究

物质的量浓度

物质的量浓度的
概念配制一定物质的量
浓度的溶液溶液组成的
定量分析定量分析溶液
组成的原理基于化学反应计算
物质的量浓度人类对原子
结构的认识

原子结构模型

原子核的构成

质子、中子

核素、同位素

原子核外电子
的排布

核外电子排布规律

原子结构示意图

回顾与总结

请参照下列问题或线索，回顾和总结本专题的学习内容。

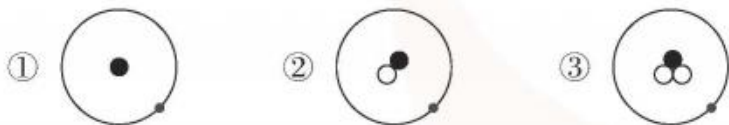
- ✓ 实验室安全注意事项有哪些？在实验前、实验中、实验后分别要注意什么？
- ✓ 回顾物质分离的各种方法，结合实例完成下表。

方法	适用混合物体系	主要实验仪器	实例
过滤	液体和不溶性固体	过滤器	
蒸发结晶			
冷却结晶			
蒸馏			
分液			
萃取			

- ✓ 举例说明过滤、结晶在物质分离提纯中的应用。
- ✓ 蒸馏操作中应注意哪些问题？
- ✓ 查阅资料，说明“蒸馏广泛应用于石油炼制工业中”。
- ✓ 萃取的原理是什么？萃取剂的选择有什么要求？
- ✓ 物质检验的原理是什么？常见的检验方法有哪些？
- ✓ 如何通过实验方法检验氯离子、硫酸根离子、碳酸根离子、铵根离子？
- ✓ 钾离子、钠离子常用的检验方法是什么？
- ✓ 举例说明控制实验条件在物质性质和反应研究中的作用。
- ✓ 请比较溶质的质量分数和溶质的物质的量浓度两个概念的异同点。
- ✓ 配制一定物质的量浓度的溶液需要用到哪些实验仪器？简要说明实验步骤。
- ✓ 举例说明基于化学反应定量分析溶液组成的基本原理。
- ✓ 归纳各种原子结构模型学说的主要观点。
- ✓ 什么是核素？如何表示某一种核素？
- ✓ 什么是同位素？举例说明放射性同位素的应用。
- ✓ 原子的核外电子排布有何规律？举例说明如何用原子结构示意图描述原子的核外电子排布。

综合评价

1. 用下图形象地表示元素的原子结构:



其中●表示质子, ●表示电子, ○表示中子, 下列有关①②③的叙述中, 正确的是 ()

- A. ①②③互为同位素
 - B. ①②③是同种原子
 - C. ①②③是三种化学性质不同的粒子
 - D. ①②③具有相同的质量数
2. 选用一种试剂, 通过一步操作 (必要时可加热) 即可鉴别 Na_2CO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4Cl 、 KNO_3 四种溶液, 该试剂是 ()

- A. AgNO_3 溶液
- B. NaOH 溶液
- C. $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液
- D. 盐酸

3. 下列实验方案中, 设计正确的是 ()

- A. 用乙醇萃取碘水中的碘单质
- B. 用焰色反应鉴别 NaCl 和 Na_2SO_4
- C. 用蒸馏的方法分离植物油和水的混合物
- D. 用 NaOH 溶液和红色石蕊试纸检验溶液中是否存在 NH_4^+

4. 碘元素的一种核素 $^{125}_{53}\text{I}$ 可用于治疗肿瘤。该核素的质子数为_____, 中子数为_____, 质量数为_____, 核外电子数为_____。

5. 试用质子数、中子数、电子数、质量数和同位素填空。

- (1) $^{13}_6\text{C}$ 与 $^{14}_7\text{N}$ 具有相同的_____。
- (2) $^{13}_6\text{C}$ 与 $^{12}_6\text{C}$ 具有相同的_____。
- (3) $^{14}_6\text{C}$ 与 $^{14}_7\text{N}$ 具有相同的_____。
- (4) $^{15}_7\text{N}$ 与 $^{14}_7\text{N}$ 互为_____。

6. 某学生准备用质量分数为 98%、密度为 $1.84 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的浓硫酸配制 500 mL $0.20 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的硫酸溶液。

(1) 从下列用品中选出实验所需要的仪器: _____ (填字母)。

- A. 500 mL 烧杯 B. 100 mL 烧杯 C. 10 mL 量筒 D. 100 mL 量筒 E. 500 mL 容量瓶
- F. 1 000 mL 容量瓶 G. 胶头滴管 H. 托盘天平 I. 玻璃棒

(2) 请设计简单的实验方案, 写出实验步骤。

7. 现有四瓶失去标签的溶液, 分别为 CuCl_2 溶液、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液、 H_2SO_4 溶液、 HNO_3 溶液。若不用其他试剂进行区别, 请设计实验方案。

8. 实验室使用的浓盐酸的溶质质量分数一般为36.5%, 密度为 $1.19 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

(1) 将多少升的氯化氢(标准状况)溶解到1.00 L水中, 可得到溶质质量分数为36.5%的浓盐酸?

(2) 求该浓盐酸的物质的量浓度。

9. 某白色固体试剂瓶标签已被污渍沾染(如右图)。

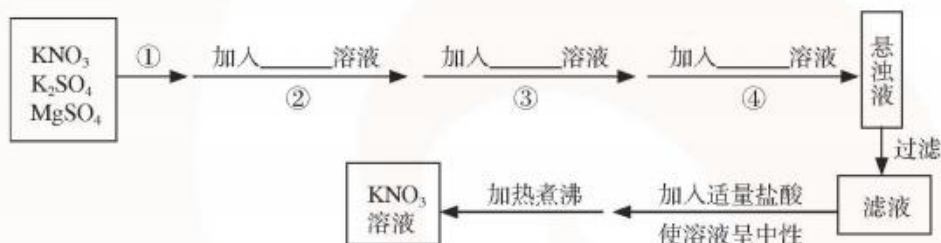
(1) 如果该试剂瓶中盛装的主要是 CaCO_3 粉末, 但是混有少量的 Na_2CO_3 , 如何测定 CaCO_3 粉末的质量分数? 简述实验步骤。

(2) 如何提纯混有少量 Na_2CO_3 粉末的 CaCO_3 ? 简述实验步骤。



10. 某同学在实验室配制了一瓶浓度约为 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液。现欲测定其准确浓度, 用准确称取的 0.4080 g 邻苯二甲酸氢钾($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$)溶于20 mL水所得的溶液与该 NaOH 溶液反应, 测得恰好完全反应时消耗该 NaOH 溶液的体积为18.20 mL。试计算该溶液中 NaOH 的物质的量浓度。(已知: $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4 + \text{NaOH} = \text{KNaC}_8\text{H}_4\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O}$)

11. 为了将混有 K_2SO_4 、 MgSO_4 的 KNO_3 固体提纯, 并获得 KNO_3 溶液, 某同学设计了如下图所示实验方案:



(1) 操作①为_____。

(2) 操作②~④加入的试剂依次是_____。

(3) 如何判断 SO_4^{2-} 已除尽? 简述实验操作:_____。

(4) 实验过程中产生的多次沉淀_____ (填“需要”或“不需要”) 多次过滤, 理由是_____。

(5) 该同学设计的实验方案_____ (填“严密”或“不严密”), 理由是_____。

