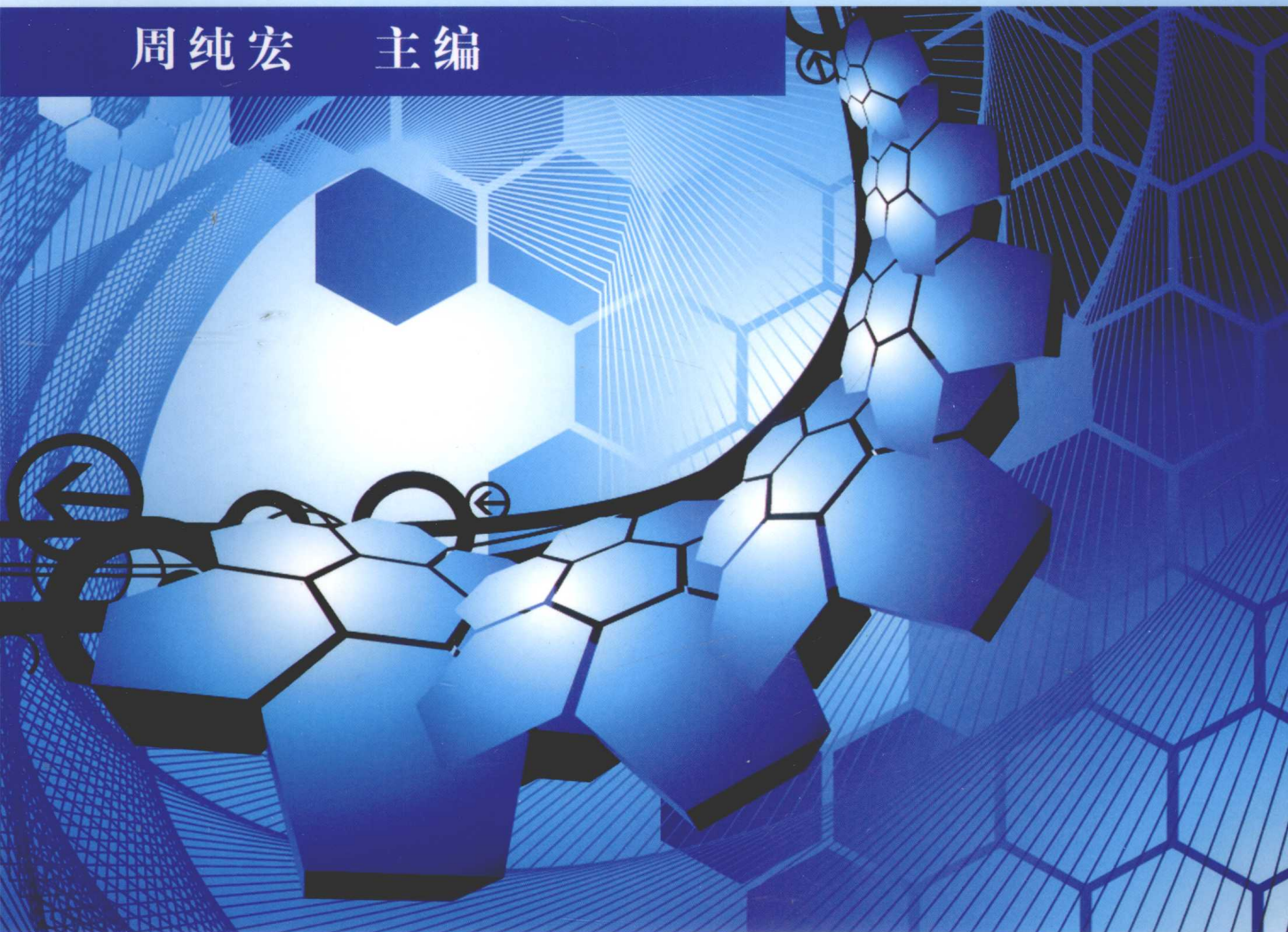


全国中等卫生职业教育规划教材

供药剂专业使用

# 无机与分析化学基础

周纯宏 主编



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

全国中等卫生职业教育规划教材

供药剂专业使用

# 无机与分析化学基础

主 编 周纯宏

副主编 丁秋玲 苏文昭 郭海立

编 者 (按姓氏汉语拼音排序)

丁秋玲 (常州卫生高等职业技术学校)

郭海立 (桂东卫生学校)

黄俊娴 (茂名卫生学校)

蒋 江 (玉林市卫生学校)

李云胜 (广东省新兴中药学校)

刘春元 (核工业卫生学校)

刘向前 (沈阳市中医药学校)

龙 海 (宜春职业技术学院)

潘 健 (桐乡市卫生学校)

潘 英 (酒泉卫生学校)

曲丽雯 (青岛卫生学校)

苏文昭 (广东省新兴中药学校)

张东瑾 (沈阳市化工学校)

张贵川 (自贡卫生学校)

张慧莉 (三峡大学护理学院)

周纯宏 (沈阳市化工学校)

朱玉红 (沈阳市化工学校)

科学出版社

北 京

**版权所有 侵权必究**

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303(打假办)

## 内 容 简 介

本教材主要内容包括无机化学和分析化学两大部分。无机化学部分主要介绍物质结构等微观化学,物质的量、元素周期律、化学键、分子间作用力、化学平衡等原理化学,重要的元素及其化合物等元素化学,溶液、电解质等应用化学基础知识;分析化学部分主要介绍定性分析、定量分析、滴定分析、仪器分析等基本原理和实际应用。

全书以目标教学和案例教学激发和调动学生学习积极性,以知识链接开阔学生的视野,配以适量的目标检测和必要的实验,以实用和够用为原则,结合本专业和相关中等职业学校教学实际情况编写而成,具有普遍性和针对性。本书同时配套 PPT 电子演示文稿等教学资源,供教师教学和学生自主学习使用。

本书可作为中等职业学校医药卫生类药剂专业的专业基础课教材,也可供医药卫生类护理、助产、药剂、医学检验、口腔工艺技术、医学影像技术等专业使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

无机与分析化学基础/周纯宏主编. —北京:科学出版社,2010.6

全国中等卫生职业教育规划教材

ISBN 978-7-03-027463-2

I. 无… II. 周… III. ①无机化学-专业学校-教材 ②分析化学-专业学校-教材  
IV. 06

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 081625 号

策划编辑:肖 锋 吴茵杰/责任编辑:裴中惠 杨小玲/责任校对:张 琪  
责任印制:刘士平/封面设计:黄 超

**版权所有,违者必究。未经本社许可,数字图书馆不得使用**

**科 学 出 版 社 出 版**

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

**装 订 厂 印 刷**

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2010 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010 年 6 月第一次印刷 印张:16 1/2 插页:1

印数:1—4 000

字数:423 000

**定价:29.00 元**

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

本教材是以《药剂专业教学指导方案》、《无机化学教学大纲》、《分析化学教学大纲》为依据,结合了全国17位参编人员所在的14所职业院校无机化学和分析化学教学计划、教学要求制定的教材编写纲要为基础编写的,供中等职业学校医药卫生类药剂专业使用,也可供医药卫生类护理、助产、医学检验、口腔工艺技术、医学影像技术等专业使用。

为适应中等职业教育药剂专业的改革、发展和教材建设需要,科学出版社卫生职业教育分社于2010年1月在武汉召开了编委会,组织编写本专业专业基础课和专业课的系列教材。

本书以会议精神为指导,以“科学性、启发性、基础性、实用性、够用性”相结合、课程相对独立、各课程相互衔接而不重复、专业基础课程服务于专业学科等为编写原则,以目标教学和适量的案例激发学生的学习兴趣,以相关的链接开阔学生的视野,强调“基础知识、基本理论、基本技能”的培养。

全书教学内容包括了16章和21个实验,涉及无机化学和分析化学两大部分,其中无机化学7章,分析化学9章。建议总学时144,其中理论教学98学时,实验教学46学时。

教学内容设计方面,每章都以学习目标为开始,配以案例、正文、链接、小结、目标检测、实验教学,插以演示实验等。全书结合本专业的教学需求、学生实际和各学校本学科的实际情况,对教学内容进行实用、够用、简洁、规范的设计。对部分教学内容进行了整合,如将“配合物”与“配位滴定”整合为“配合物与配位滴定法”一章;将“沉淀溶解平衡”与“沉淀滴定法”整合为“沉淀溶解平衡与沉淀滴定法”一章。对部分教学内容进行与专业课相统一的调整,如仪器分析法概述一章应药物分析化学课程要求,为适应现代科技的发展和现代分析技术的提高,增设了红外吸收光谱法、高效液相色谱法相关内容。

教学建议方面,希望教师以教材和PPT课件为依据,根据学生的实际情况,注重基本概念、基础知识、基本技能的教学,以直观教学、演示实验等激发学生的学习热情,注重学生实验技能的培养、实验规范的养成,注重学生科学态度、科学习惯和科学方法的养成,使本课程真正成为服务专业课的专业基础课程。

各校在使用本教材时,可根据本课程课时和课程要求、实验基础条件等对教学内容进行适当的调整。

本书在编写过程中,参考了大量的文献,可以说是在前人基础上的再创作。在此,向为我们创造条件的各位老师表示感谢。

本书在编写过程中得到科学出版社卫生职业教育分社领导和各位编辑的支持与帮助,得到了各参编人员所在单位的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促、编者水平有限,缺点和不足在所难免,恳请广大师生提出批评、建议和意见。

周纯宏  
2010年4月

# 目 录

|                                |      |                              |       |
|--------------------------------|------|------------------------------|-------|
| 第1章 物质的量 .....                 | (1)  | 第5节 缓冲溶液 .....               | (95)  |
| 第1节 物质的量及其单位 .....             | (1)  | 第8章 分析化学概述 .....             | (102) |
| 第2节 气体摩尔体积 .....               | (5)  | 第1节 分析化学的任务和作用 ..            | (102) |
| 第2章 溶液 .....                   | (9)  | 第2节 分析方法的分类 .....            | (102) |
| 第1节 分散系 .....                  | (9)  | 第3节 分析化学的发展与趋势 ..            | (104) |
| 第2节 胶体溶液 .....                 | (10) | 第4节 分析化学的学习方法 .....          | (104) |
| 第3节 溶液的浓度 .....                | (13) | 第9章 定性分析概述 .....             | (106) |
| 第4节 溶液的渗透压 .....               | (18) | 第1节 概述 .....                 | (106) |
| 第3章 物质结构和元素周期律 .....           | (23) | 第2节 反应的灵敏性和选择性 ..            | (107) |
| 第1节 原子结构 .....                 | (23) | 第3节 分别分析和系统分析 .....          | (108) |
| 第2节 原子核外电子的运动状态<br>和电子排布 ..... | (26) | 第4节 常见阴离子的检验 .....           | (109) |
| 第3节 元素周期律和元素周期表<br>.....       | (29) | 第5节 常见阳离子的检验 .....           | (111) |
| 第4节 化学键 .....                  | (32) | 第10章 定量分析概述 .....            | (116) |
| 第5节 分子间作用力 .....               | (35) | 第1节 定量分析的任务和方法 ..            | (116) |
| 第4章 重要元素及其化合物 .....            | (39) | 第2节 误差与分析数据的处理 ..            | (117) |
| 第1节 卤族元素 .....                 | (39) | 第3节 有效数字及其运算规则 ..            | (121) |
| 第2节 氧族元素 .....                 | (44) | 第4节 分析天平的使用规则和称量<br>方法 ..... | (123) |
| 第3节 氮族元素 .....                 | (49) | 第11章 滴定分析法概论 .....           | (129) |
| 第4节 碳族元素 .....                 | (53) | 第1节 滴定分析法的特点、分类及<br>条件 ..... | (129) |
| 第5节 碱金属 .....                  | (56) | 第2节 标准溶液 .....               | (130) |
| 第6节 其他重要的金属元素 .....            | (58) | 第3节 滴定分析的计算 .....            | (131) |
| 第5章 氧化还原反应 .....               | (65) | 第4节 滴定分析的常用仪器 .....          | (134) |
| 第1节 氧化还原反应的基本概念<br>.....       | (65) | 第12章 酸碱滴定法 .....             | (139) |
| 第2节 氧化还原反应方程式的配平<br>.....      | (69) | 第1节 酸碱指示剂 .....              | (139) |
| 第6章 化学反应速率和化学平衡 .....          | (73) | 第2节 酸碱标准溶液的配制与标定<br>.....    | (143) |
| 第1节 化学反应速率 .....               | (73) | 第3节 酸碱滴定法的应用 .....           | (144) |
| 第2节 化学平衡 .....                 | (75) | 第13章 沉淀溶解平衡与沉淀滴定法<br>.....   | (148) |
| 第3节 化学平衡的移动 .....              | (78) | 第1节 难溶电解质的沉淀溶解平衡<br>.....    | (148) |
| 第7章 电解质溶液 .....                | (83) | 第2节 沉淀滴定法 .....              | (153) |
| 第1节 弱电解质的电离平衡 .....            | (83) | 第14章 氧化还原滴定法 .....           | (158) |
| 第2节 离子反应和离子方程式 .....           | (88) | 第1节 氧化还原滴定法概述 .....          | (158) |
| 第3节 水的电离和溶液的 pH .....          | (89) | 第2节 高锰酸钾法 .....              | (159) |
| 第4节 盐的水解 .....                 | (91) |                              |       |

|                           |       |                                             |       |
|---------------------------|-------|---------------------------------------------|-------|
| 第3节 碘量法 .....             | (161) | 实验12 酸碱标准溶液的标定(基准物法) .....                  | (235) |
| 第15章 配合物与配位滴定法 .....      | (165) | 实验13 混合碱的含量测定(双指示剂法) .....                  | (237) |
| 第1节 配位化合物 .....           | (165) | 实验14 氯化钠含量的测定 .....                         | (238) |
| 第2节 螯合物 .....             | (168) | 实验15 双氧水含量测定 .....                          | (239) |
| 第3节 配位滴定法概述 .....         | (169) | 实验16 维生素C样品的含量测定 .....                      | (240) |
| 第4节 EDTA标准溶液的配制与标定 .....  | (174) | 实验17 0.01mol/L EDTA滴定液的配制(直接法) .....        | (241) |
| 第5节 EDTA滴定法的应用与示例 .....   | (175) | 实验18 水的总硬度测定 .....                          | (241) |
| 第16章 仪器分析法概论 .....        | (179) | 实验19 邻二氮菲比色法测定水样中铁的含量 .....                 | (242) |
| 第1节 仪器分析法概述 .....         | (179) | 实验20 维生素B <sub>12</sub> 注射液的定性鉴别及含量测定 ..... | (244) |
| 第2节 分光光度法 .....           | (181) | 实验21 纸色谱法分离混合氨基酸 .....                      | (245) |
| 第3节 色谱法 .....             | (189) | 参考文献 .....                                  | (247) |
| 第4节 红外吸收外光谱法 .....        | (198) | 附录 .....                                    | (248) |
| 第5节 气相色谱法 .....           | (203) | 附录1 化学中常用的量及其法定计量单位 .....                   | (248) |
| 第6节 高效液相色谱法 .....         | (208) | 附录2 酸、碱、盐的溶解性表(20℃) .....                   | (248) |
| 实验 .....                  | (216) | 附录3 相对原子质量 .....                            | (249) |
| 实验1 化学实验的基本操作 .....       | (216) | 附录4 弱酸弱碱在水中的解离常数(25℃) .....                 | (250) |
| 实验2 溶液的配制和稀释 .....        | (219) | 附录5 难溶化合物的溶度积常数 $K_{sp}$ (18~25℃) .....     | (251) |
| 实验3 重要的非金属元素的性质 .....     | (221) | 无机与分析化学基础教学大纲 .....                         | (252) |
| 实验4 重要的金属元素的性质 .....      | (223) | 目标检测选择题参考答案 .....                           | (258) |
| 实验5 化学反应速率和化学平衡 .....     | (224) | 元素周期表                                       |       |
| 实验6 电解质溶液(一) .....        | (226) |                                             |       |
| 实验7 电解质溶液(二) .....        | (228) |                                             |       |
| 实验8 常见阴离子的分离与鉴定 .....     | (229) |                                             |       |
| 实验9 分析天平称量练习 .....        | (230) |                                             |       |
| 实验10 滴定分析仪器的洗涤和使用练习 ..... | (232) |                                             |       |
| 实验11 酸碱标准溶液的配制和标定 .....   | (234) |                                             |       |

# 第 1 章 物质的量

## 学习目标

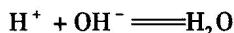
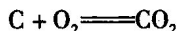
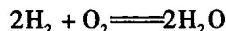
1. 掌握物质的量、摩尔质量的概念及其单位
2. 掌握有关物质的量的基本计算
3. 了解摩尔体积的概念
4. 理解阿伏伽德罗常数、气体摩尔体积的概念,并能进行有关气体摩尔体积的计算

## 第 1 节 物质的量及其单位

### 一、物质的量

#### (一) 物质的量

物质是按照一定数量的分子、原子或离子的比例来进行化学反应的。如:



从方程式中可以看出:两个氢分子与一个氧分子反应生成两个水分子;一个碳原子与一个氧分子反应生成一个二氧化碳分子;一个氢离子与一个氢氧根离子反应生成一个水分子。

但在实际操作时,这些物质往往需要用质量来计量。因为分子、原子、离子等微粒太小,其单个的质量难以获得,必须是微粒的集体才好称量。所以需要引入一个新的物理量,用于将一定数目的微观粒子与可称量物质之间联系起来,这个新的物理量就是“物质的量”。

物质的量是国际单位制(SI制)的7个基本物理量之一(表1-1),是度量一定量微粒的集体中所含微粒数量的物理量,符号为 $n$ 。物质的量可用来度量所有微粒数量,如分子、原子、离子、电子等,或者是它们的特定组合。书写物质的量 $n$ 时,要标明微粒的化学式。如:

硫原子的物质的量 记为 $n_{\text{S}}$ 或 $n(\text{S})$

氢离子的物质的量 记为 $n_{\text{H}^+}$ 或 $n(\text{H}^+)$

水分子的物质的量 记为 $n_{\text{H}_2\text{O}}$ 或 $n(\text{H}_2\text{O})$

“物质的量”是一个物理量的专属名称,使用时不得分开或缺字。

表 1-1 国际单位制(SI制)的基本物理量及其基本单位

| 物理量(符号)   | 基本单位名称 |          | 单位符号 |
|-----------|--------|----------|------|
|           | 中文     | 英文       |      |
| 长度( $L$ ) | 米      | meter    | m    |
| 质量( $m$ ) | 千克     | kilogram | kg   |
| 时间( $t$ ) | 秒      | second   | s    |

续表

| 物理量(符号)      | 基本单位名称 |         | 单位符号 |
|--------------|--------|---------|------|
|              | 中文     | 英文      |      |
| 电流强度( $I$ )  | 安[培]   | ampere  | A    |
| 热力学温度( $T$ ) | 开[尔文]  | Kelvin  | K    |
| 发光强度( $I$ )  | 坎[德拉]  | candela | cd   |
| 物质的量( $n$ )  | 摩尔     | mole    | mol  |

## (二) 摩尔

1971年第十四届国际计量大会正式通过决议,以“摩尔”作为物质的量的单位。规定:摩尔是一系统的物质的量,该系统中所包含的基本单元数与 $0.012\text{kg } ^{12}\text{C}$ 的原子数目相等。摩尔简称摩,符号为 $\text{mol}$ 。使用摩尔时应指明基本单元,它可以是分子、原子、离子、电子等,或者它们的特定组合。基本单元可以是实际存在的,也可以是根据需要假想的粒子。如: $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\frac{2}{5}\text{KMnO}_4$ 等。

实验测得, $0.012\text{kg } ^{12}\text{C}$ (即原子核中有6个质子和6个中子的碳原子)中所含碳原子数目约为 $6.02 \times 10^{23}$ 个,这个数值最早是由意大利科学家阿伏伽德罗提出的,称为阿伏伽德罗常数,用符号 $N_A$ 表示, $N_A = 6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$ 。因此,可以说,1mol任何物质都含有 $6.02 \times 10^{23}$ 个基本单元。如:

1mol S 含有  $6.02 \times 10^{23}$  个硫原子

1mol  $\text{H}_2$  含有  $6.02 \times 10^{23}$  个氢分子

1mol  $\text{Na}^+$  含有  $6.02 \times 10^{23}$  个钠离子

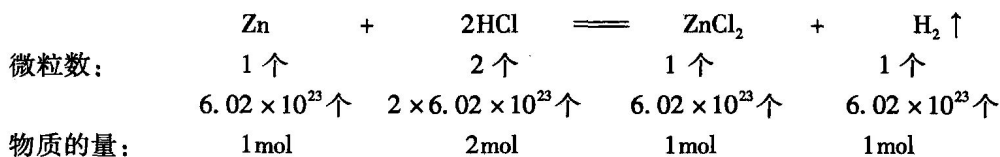
1mol( $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 含有  $6.02 \times 10^{23}$  个( $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4$ )基本单元

由此可知,物质的量相等的任何物质,所含的基本单元数目也相等。因此,若要比 较几种物质所含的微粒数多少,只需要比较它们的物质的量即可。

物质B的物质的量 $n_B$ 、基本单元数 $N_B$ 、阿伏伽德罗常数 $N_A$ 之间的关系如下:

$$n_B = \frac{N_B}{N_A} \quad (1.1)$$

物质的量好似一座桥梁,把单个的、肉眼看不见的微观粒子跟可称量的宏观物质之间联系起来,为生产和实践带来极大方便。如:化学反应式中反应物和生成物的分子、原子等微粒数目的比值,就等于它们之间物质的量的比值。



实际应用中物质的量还可以采用毫摩尔( $\text{mmol}$ )、微摩尔( $\mu\text{mol}$ )等单位。

$$1\text{mol} = 1000\text{mmol}$$

$$1\text{mmol} = 1000\mu\text{mol}$$

## 阿伏伽德罗简介

阿伏伽德罗(Avogadro Amedeo, 1776—1856)(图 1-1), 意大利科学家。出生于律师世家, 遵父命攻读法律, 20 岁获都灵大学法学博士学位。毕业后曾当过律师, 因对尔虞我诈的律师生活感到厌倦, 于 1800 年开始研究物理学和化学。1809 年被聘为范赛里学院自然哲学教授。1820 年任都灵大学数学和物理学教授, 曾一度被解职, 于 1834 年又重任该校教授, 直到 1850 年退休。阿伏伽德罗是都灵科学院院士, 曾担任过意大利度量衡学会会长而促使意大利采用公制。

1811 年, 他发现了阿伏伽德罗定律, 此后, 又发现了阿伏伽德罗常数:  $N_A = 6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$ , 这一常数以阿伏伽德罗的名字命名, 用于纪念这位杰出的科学家在物理和化学领域所做的贡献。



图 1-1 阿伏伽德罗

链接

## 二、摩尔质量

1 摩尔物质的质量通常也叫做该物质的摩尔质量, 符号为  $M$ 。摩尔质量的 SI 制单位是  $\text{kg/mol}$ , 化学上常用  $\text{g/mol}$  表示。书写摩尔质量时要注明基本单元, 如: 水的摩尔质量可记为  $M_{\text{H}_2\text{O}}$  或  $M(\text{H}_2\text{O})$ 。

虽然 1 摩尔任何物质所含的基本单元数相同, 但由于不同的基本单元的质量不同, 所以不同物质的摩尔质量也各不相同。如:

1 mol C 的质量是 12g, C 的摩尔质量记为  $M_{\text{C}} = 12\text{g/mol}$

1 mol  $\text{H}_2\text{O}$  的质量是 18g,  $\text{H}_2\text{O}$  的摩尔质量记为  $M_{\text{H}_2\text{O}} = 18\text{g/mol}$

1 mol  $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4$  的质量是 49g,  $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4$  的摩尔质量记为  $M_{\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4} = 49\text{g/mol}$

1 mol  $\text{Na}^+$  的质量是 23g,  $\text{Na}^+$  的摩尔质量记为  $M_{\text{Na}^+} = 23\text{g/mol}$

可见, 如果以  $\text{g/mol}$  为单位, 任何物质的摩尔质量在数值上等于该物质的化学式量。

物质 B 的物质的量  $n_{\text{B}}$ 、质量  $m_{\text{B}}$ 、摩尔质量  $M_{\text{B}}$  之间的关系如下:

$$n_{\text{B}} = \frac{m_{\text{B}}}{M_{\text{B}}} \quad (1.2)$$

## 三、有关物质的量的基本计算

例 1-1 90g  $\text{H}_2\text{O}$  的物质的量是多少?

解:  $\text{H}_2\text{O}$  的相对分子质量是 18, 则  $\text{H}_2\text{O}$  的摩尔质量  $M_{\text{H}_2\text{O}} = 18\text{g/mol}$ ,

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{90\text{g}}{18\text{g/mol}} = 5\text{mol}$$

答: 90g  $\text{H}_2\text{O}$  的物质的量是 5mol。

例 1-2 19g  $\text{MgCl}_2$  中所含  $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{Cl}^-$  的物质的量各是多少?

解:  $\text{MgCl}_2$  的化学式量是 95, 则  $\text{MgCl}_2$  的摩尔质量  $M_{\text{MgCl}_2} = 95\text{g/mol}$ ,

$$n_{\text{MgCl}_2} = \frac{m_{\text{MgCl}_2}}{M_{\text{MgCl}_2}} = \frac{19\text{g}}{95\text{g/mol}} = 0.2\text{mol}$$

每个  $\text{MgCl}_2$  分子由 1 个  $\text{Mg}^{2+}$  和 2 个  $\text{Cl}^-$  组成, 所以 1 mol  $\text{MgCl}_2$  含有 1 mol  $\text{Mg}^{2+}$  和 2 mol  $\text{Cl}^-$ , 则

$$n_{\text{Mg}^{2+}} = 1 \times 0.2\text{mol} = 0.2\text{mol}$$

$$n_{\text{Cl}^-} = 2 \times 0.2\text{mol} = 0.4\text{mol}$$

答: 19g  $\text{MgCl}_2$  中所含  $\text{Mg}^{2+}$  的物质的量是 0.2mol,  $\text{Cl}^-$  的物质的量是 0.4mol。

**例 1-3** 2.5mol NaOH 的质量是多少?

解: NaOH 的化学式量是 40, 则 NaOH 的摩尔质量  $M_{\text{NaOH}} = 40\text{g/mol}$ ,

$$n_{\text{NaOH}} = \frac{m_{\text{NaOH}}}{M_{\text{NaOH}}}$$

$$m_{\text{NaOH}} = n_{\text{NaOH}} \cdot M_{\text{NaOH}} = 2.5\text{mol} \times 40\text{g/mol} = 100\text{g}$$

答: 2.5mol NaOH 的质量是 100g。

**例 1-4** 1.5mol  $\text{SO}_4^{2-}$  的质量是多少?

解:  $\text{SO}_4^{2-}$  的化学式量是 96, 则  $\text{SO}_4^{2-}$  的摩尔质量  $M_{\text{SO}_4^{2-}} = 96\text{g/mol}$ ,

$$n_{\text{SO}_4^{2-}} = \frac{m_{\text{SO}_4^{2-}}}{M_{\text{SO}_4^{2-}}}$$

$$m_{\text{SO}_4^{2-}} = n_{\text{SO}_4^{2-}} \cdot M_{\text{SO}_4^{2-}} = 1.5\text{mol} \times 96\text{g/mol} = 144\text{g}$$

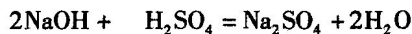
答: 1.5mol  $\text{SO}_4^{2-}$  的质量是 144g。

**例 1-5** 完全中和 16g NaOH 需要多少摩尔的  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ? 相当于多少个  $\text{H}_2\text{SO}_4$  分子?

解: NaOH 的化学式量是 40, 则 NaOH 的摩尔质量  $M_{\text{NaOH}} = 40\text{g/mol}$ ,

$$n_{\text{NaOH}} = \frac{m_{\text{NaOH}}}{M_{\text{NaOH}}} = \frac{16\text{g}}{40\text{g/mol}} = 0.4\text{mol}$$

设完全中和 16g NaOH 需要  $x\text{mol}$  的  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,



$$x = \frac{0.4\text{mol} \times 1\text{mol}}{2\text{mol}} = 0.2\text{mol}$$

0.2mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$  的分子数:

$$N_{\text{H}_2\text{SO}_4} = n_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot N_A = 0.2\text{mol} \times 6.02 \times 10^{23}/\text{mol} = 1.204 \times 10^{23}$$

答: 完全中和 16g NaOH 需要 0.2mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 相当于  $1.204 \times 10^{23}$  个  $\text{H}_2\text{SO}_4$  分子。

#### 案例 1-1

已知化学反应  $\text{H}_2 + \text{CuO} = \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$ , 分析 4g  $\text{H}_2$  与 80g  $\text{CuO}$  反应的结果。

问题:

1. 方程式中各物质前的系数有什么含义?
2. 80g  $\text{CuO}$  的物质的量是多少? 含多少个  $\text{CuO}$  基本单元?
3. 4g  $\text{H}_2$  的物质的量是多少? 在 1 标准大气压 (atm, 1atm = 101.325kPa)、0℃ 时的体积是多少升?

## 第2节 气体摩尔体积

### 一、摩尔体积

摩尔体积是指1mol物质的体积。在国际单位制中摩尔体积的单位是 $\text{m}^3/\text{mol}$ ,但化学上习惯用 $\text{cm}^3/\text{mol}$ 来表示固态或液态物质的摩尔体积,用 $\text{L}/\text{mol}$ 来表示气态物质的摩尔体积。1mol任何物质所含的基本单元数相等,但1mol物质的质量往往不相等。那1mol物质的体积是否相等呢?

表 1-2 一些物质的摩尔体积

| 物质                              | 摩尔质量/(g/mol) | 密度                          | 摩尔体积                        |                 |
|---------------------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|
| Al                              | 26.98        | $2.70\text{g}/\text{cm}^3$  | $9.99\text{cm}^3/\text{L}$  | 固态物质摩尔体积不相等     |
| Fe                              | 55.85        | $7.86\text{g}/\text{cm}^3$  | $7.11\text{cm}^3/\text{L}$  |                 |
| Pb                              | 207.2        | $11.35\text{g}/\text{cm}^3$ | $18.26\text{cm}^3/\text{L}$ |                 |
| NaCl                            | 58.44        | $2.17\text{g}/\text{cm}^3$  | $26.93\text{cm}^3/\text{L}$ |                 |
| $\text{H}_2\text{O}$            | 18.02        | $0.998\text{g}/\text{cm}^3$ | $18.06\text{cm}^3/\text{L}$ | 液态物质摩尔体积不相等     |
| $\text{Br}_2$                   | 159.8        | $3.119\text{g}/\text{cm}^3$ | $51.23\text{cm}^3/\text{L}$ |                 |
| $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | 46.07        | $0.789\text{g}/\text{cm}^3$ | $58.39\text{cm}^3/\text{L}$ |                 |
| $\text{H}_2$                    | 2.016        | $0.0899\text{g}/\text{L}$   | $22.42\text{L}/\text{mol}$  | 气体物质摩尔体积约为22.4L |
| $\text{O}_2$                    | 32.00        | $1.429\text{g}/\text{L}$    | $22.39\text{L}/\text{mol}$  |                 |
| $\text{N}_2$                    | 28.02        | $1.251\text{g}/\text{L}$    | $22.40\text{L}/\text{mol}$  |                 |
| CO                              | 28.01        | $1.250\text{g}/\text{L}$    | $22.40\text{L}/\text{mol}$  |                 |
| $\text{CO}_2$                   | 44.01        | $1.977\text{g}/\text{L}$    | $22.26\text{L}/\text{mol}$  |                 |

注:固体、液体密度均为20℃时的测定值,气体密度为0℃、1大气压时的测定值。

从表1-2中我们可以看出:固态或液态物质的摩尔体积不相等,而气态物质的摩尔体积在标准状况(温度为0℃,压强为1标准大气压)下时均约为22.4L。为什么会有这样的结果呢?这是因为不同聚集状态的物质其微观结构不同(表1-3,图1-2)。

表 1-3 不同聚集状态物质的微观结构与性质

| 物质的聚集状态 | 宏观特点           | 微观结构           |
|---------|----------------|----------------|
| 固态      | 有固定的形状,几乎不能被压缩 | 微粒排列紧密,微粒间距小   |
| 液态      | 没有固定的形状,不易被压缩  | 微粒排列较紧密,微粒间距较小 |
| 气态      | 没有固定的形状,且容易被压缩 | 微粒间距较大         |

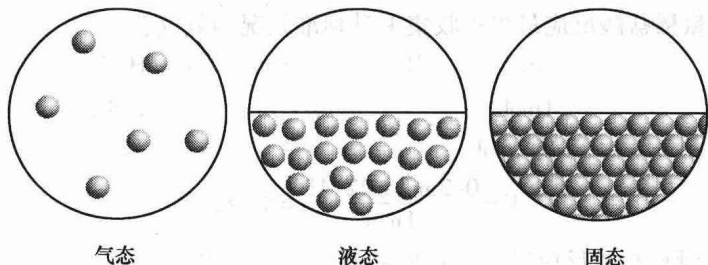


图 1-2 不同聚集状态物质的微观结构模型

固、液态物质的摩尔体积没有规律,只有气态物质的摩尔体积才有规律,所以讨论气体的摩尔体积才是有意义的。

## 二、气体摩尔体积

影响物质体积大小的因素有微粒数、微粒的大小、微粒间距。对气态物质来说,分子间的距离远远大于气体分子本身的大小,因此,气体的体积大小主要决定于分子间的平均距离。气体分子之间的平均距离与温度和压强有着密切的关系。对一定量的气体,温度越高,分子间距越大,气体的体积也越大;压强越大,分子间距越小,气体的体积也越小。因为在相同的状况(即同温同压)下,不同气体分子间的平均距离几乎都相同,所以在同温同压下,物质的量相等的任何气体,其体积也几乎相同。

实验发现和证实:在标准状况下,1mol 任何气体所占的体积都约为 22.4L,我们称之为气体摩尔体积,记为: $V_{m,0} = 22.4\text{L/mol}$ 。

在标准状况下,气体的物质的量  $n_B$ 、体积  $V_B$ 、气体摩尔体积  $V_{m,0}$  之间的关系如下:

$$n_B = \frac{V_B}{V_{m,0}} \quad (1.3)$$

由公式(1.3)和公式(1.1)可知,若要比 较 几 种 气 体 的 物 质 的 量 或 分 子 数 的 大 小,只 要 比 较 它 们 在 相 同 状 况 下 的 体 积 大 小 即 可。

“在同温同压下,相同体积的任何气体都含有相同数目的分子”。这一结论是阿伏伽德罗在 1811 年提出的,被后人称之为阿伏伽德罗定律。

**例 1-6** 成人在平静呼吸时,每小时大约呼出  $\text{CO}_2$  22g,求每小时呼出  $\text{CO}_2$  的体积是多少?(折算为标准状况)

解: $\text{CO}_2$  的相对分子质量是 44,则  $\text{CO}_2$  的摩尔质量  $M_{\text{CO}_2} = 44\text{g/mol}$ ,

$$n_{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CO}_2}} = \frac{22\text{g}}{44\text{g/mol}} = 0.5\text{mol}$$

$$n_{\text{CO}_2} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_{m,0}}$$

$$V_{\text{CO}_2} = n_{\text{CO}_2} \cdot V_{m,0} = 0.5\text{mol} \times 22.4\text{L/mol} = 11.2\text{L}$$

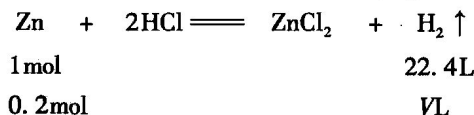
答:成人在平静呼吸时,每小时大约呼出标准状况的  $\text{CO}_2$  11.2L。

**例 1-7** 实验室里可用锌与稀盐酸制备氢气,13g 锌与足量稀盐酸反应,最多可收集多少升标准状况的氢气?

解:Zn 的相对原子质量是 65,则 Zn 的摩尔质量  $M_{\text{Zn}} = 65\text{g/mol}$ ,

$$n_{\text{Zn}} = \frac{m_{\text{Zn}}}{M_{\text{Zn}}} = \frac{13\text{g}}{65\text{g/mol}} = 0.2\text{mol}$$

设 13g 锌与足量稀盐酸反应最多可收集  $V$  升标准状况的氢气,



$$V = \frac{0.2\text{mol} \times 22.4\text{L}}{1\text{mol}} = 4.48\text{L}$$

答:13g 锌与足量稀盐酸反应最多可收集 4.48L 标准状况的氢气。

## 小结

物质的量是国际单位制中七个基本物理量之一,是度量一定量微粒的集合体中所含微粒数量的物理量,符号为 $n$ 。“物质的量”是一个物理量的专属名称,使用时不得分开或缺字。

物质的量的单位是摩尔,每摩尔物质都含有阿伏伽德罗常数个基本单元,阿伏伽德罗常数 $N_A = 6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$ 。

使用物质的量和摩尔时应指明基本单元,基本单元可以是分子、原子、离子、电子等,或者它们的特定组合。基本单元可以是实际存在的,也可以是根据需要假想的粒子。

物质B的物质的量 $n_B$ 、基本单元数 $N_B$ 、阿伏伽德罗常数 $N_A$ 之间的关系如下:

$$n_B = \frac{N_B}{N_A}$$

化学反应式中反应物和生成物的系数比值,就等于它们之间物质的量的比值。

摩尔质量是1mol物质的质量,符号为 $M$ 。如果以 $\text{g/mol}$ 为单位,任何物质的摩尔质量在数值上等于该物质的化学式量。

物质B的物质的量 $n_B$ 、质量 $m_B$ 、摩尔质量 $M_B$ 之间的关系如下:

$$n_B = \frac{m_B}{M_B}$$

在标准状况下,1mol任何气体所占的体积都约为22.4L,这个体积称为气体摩尔体积,记为: $V_{m,0} = 22.4\text{L/mol}$ 。

在标准状况下,气体的物质的量 $n_B$ 、体积 $V_B$ 、气体摩尔体积 $V_{m,0}$ 之间的关系如下:

$$n_B = \frac{V_B}{V_{m,0}}$$

## 目标检测

### 一、名词解释

1. 物质的量
2. 摩尔
3. 摩尔质量
4. 气体摩尔体积

### 二、填空题

1. 物质的量的符号是\_\_\_\_\_,单位是\_\_\_\_\_;  
摩尔质量的符号是\_\_\_\_\_,单位是\_\_\_\_\_;  
阿伏伽德罗常数的数值是\_\_\_\_\_。
2. 0.5mol  $\text{H}_2\text{O}$  含有\_\_\_\_\_个 $\text{H}_2\text{O}$ 分子,\_\_\_\_\_  
个H原子,\_\_\_\_\_个O原子。
3. 32g  $\text{SO}_2$ 的物质的量是\_\_\_\_\_mol,标准状况下  
的体积是\_\_\_\_\_L,含\_\_\_\_\_mol硫原子,  
\_\_\_\_\_mol氧原子。
4. NaOH的摩尔质量是\_\_\_\_\_g/mol,1.5mol  
NaOH的质量是\_\_\_\_\_g,其中 $\text{Na}^+$ 的质量是  
\_\_\_\_\_g。
5.  $\text{SO}_4^{2-}$ 的摩尔质量是\_\_\_\_\_g/mol,48g  $\text{SO}_4^{2-}$ 的  
物质的量是\_\_\_\_\_mol。
6. 125g  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的物质的量是\_\_\_\_\_mol,  
含\_\_\_\_\_mol  $\text{H}_2\text{O}$ 。

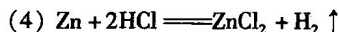
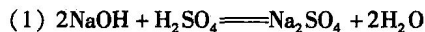
### 三、选择题

1. 阿伏伽德罗常数的数值是( )  
A.  $3.01 \times 10^{22}$  B.  $6.02 \times 10^{22}$   
C.  $6.02 \times 10^{23}$  D.  $3.01 \times 10^{23}$
2. 下列物质摩尔质量为44g/mol的是( )  
A.  $\text{CO}_2$  B.  $\text{O}_2$   
C. NaOH D.  $\text{H}_2\text{O}$
3. 取下列物质各10g,含原子数最多的物质是( )  
A. C B. Al C. Na D. Fe
4. 1mol下列物质,质量最大的是( )  
A.  $\text{H}_2$  B. NaCl  
C.  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  D.  $\text{H}_2\text{O}$
5. 关于摩尔的叙述正确的是( )  
A. 摩尔是物质质量的单位  
B. 摩尔是物质的量的单位

- C. 摩尔是  $6.02 \times 10^{22}$  个基本单元  
 D. 摩尔是物质体积的单位
6. 16g 氧气所含  $O_2$  分子的数目是( )  
 A. 16 B.  $6.02 \times 10^{23}$   
 C.  $3.01 \times 10^{23}$  D. 2
7.  $3.01 \times 10^{24}$  个分子的物质的量是( ) mol  
 A. 5 B. 0.5 C. 0.2 D. 2
8. 对于同温同压下的气体,下列叙述不正确的是( )  
 A. 气体分子间的距离几乎相等  
 B. 体积相同,物质的量几乎相等  
 C. 体积相同,所含分子数几乎相等  
 D. 体积相同,气体质量几乎相等
9. 下列物质在标准状况下体积约为 22.4L 的是( )  
 A. 22g  $CO_2$  B. 32g  $O_2$   
 C.  $6.02 \times 10^{20}$  个  $Cl_2$  D. 18g  $H_2O$
10. 下列叙述正确的是( )  
 A. 1mol 任何气体的体积都约为 22.4L  
 B. 标准状况下 1mol 水的体积约为 22.4L  
 C. 1mol 任何物质在标准状况下的体积都约为 22.4L  
 D. 标准状况下, 1mol 任何气体的体积都约为 22.4L

## 四、简答题

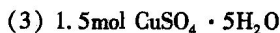
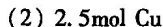
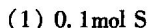
1. 指出下列反应式中各物质的物质的量之比



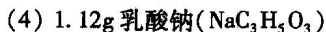
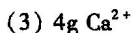
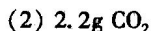
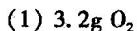
2. 5L 氢气和 5L 氧气所含分子数一定相等吗?

## 五、计算题

1. 计算下列物质的质量



2. 计算下列物质的物质的量



3. 完全中和 53g
- $Na_2CO_3$
- 需要 HCl 多少摩尔?

4. 用氯酸钾制备氧气,若要制得标准状况下的氧气 33.6L,至少需要氯酸钾多少摩尔?相当于氯酸钾多少克?

(曲丽雯 苏文昭)

## 第2章 溶 液

### 学习目标

1. 了解分散系和溶液的渗透压
2. 了解胶体溶液的制备和溶胶的保护
3. 理解胶体溶液的性质、溶液浓度的换算等相关知识
4. 掌握溶液浓度的表示方法,并能够熟练进行计算
5. 掌握溶液配制和稀释的方法、相关计算,并能熟练进行实验操作

溶液与化工生产、化学实验以及我们的日常生活息息相关。溶液的浓度如何表示?溶液有什么样的组成和性质?如何通过计算配制和稀释出我们所需要的、一定浓度的溶液呢?如何进行配制和稀释的实验操作呢?本章我们一起来学习这些问题。

### 第1节 分散系

一种或几种物质被分散成细小的粒子,分散在另一种物质里所得到的体系叫做分散系。其中,被分散的物质叫做分散相(分散质),容纳分散相的物质叫做分散介质(分散剂)。例如,葡萄糖溶液、碘酒、泥浆水、油水分散系中,葡萄糖、碘、泥沙、油为分散相,分散介质分别为水、酒精、水、水。

根据分散相粒子的大小不同,把分散系分为以下三类:分子或离子分散系、胶体分散系和粗分散系。

#### 一、分子或离子分散系

分散相粒子的直径小于1nm并以分子或离子状态均匀分散在分散介质中所形成的分散系叫做分子或离子分散系。在这类分散系中,分散相粒子是单个的分子或离子,分散相粒子能透过滤纸和半透膜。这类分散系的主要特征是均匀、透明、很稳定。

分子或离子分散系通常又叫做真溶液,简称溶液。在真溶液里,分散相又叫做溶质,分散介质又叫做溶剂。水是最常用的溶剂,一般不指明溶剂的溶液都为水溶液。例如,临床上用的生理盐水等。

#### 饱和溶液和不饱和溶液

在一定温度下的分散系中,一定量的溶剂不能再溶解某种溶质的溶液称为该溶质的饱和溶液。饱和溶液中溶质的量达到最大值。如果还能继续溶解某种溶质的溶液,称为这种溶质的不饱和溶液。通常在一定温度下,100g溶剂中所能溶解溶质的最大质量(g),就是此温度下,该溶质在该溶剂中的溶解度(g)。化学上通常把在室温(20℃)条件下的水溶液中,溶解度大于10g的称为易溶物质;溶解度在1~10g之间的称为可溶物质;溶解度在0.01~1g之间的称为微溶物质;溶解度在0.01g以下的称为难溶或不溶物质。

链接

## 二、胶体分散系

分散相粒子的直径在  $1 \sim 100\text{nm}$  之间的分散系叫做胶体分散系,简称胶体溶液。这类分散系的分散相中,有的是由许多分子聚集而成的多分子聚集体,例如,氢氧化铁溶胶、硫化砷溶胶等,多分子的聚集体分散在液体(例如水)中所形成的胶体溶液,简称溶胶;另有一些分散相的粒子是单个的高分子,例如,蛋白质溶液、淀粉溶液等,这些溶液属于高分子溶液。胶体溶液主要包括溶胶和高分子溶液。胶体溶液的分散相粒子比分子或离子分散系粒子大,所以其溶液和分子溶液不能透过半透膜,但能透过滤纸。胶体分散系主要特征是外观透明,比较稳定。

胶体溶液的种类有很多,若按照分散介质的物理状态不同,可以分为液溶胶、气溶胶和固溶胶。气溶胶如粉尘、小水珠等分散在大气中形成的烟或雾;固溶胶如含有颜料颗粒的有色玻璃、合金等。

## 三、粗分散系

分散相粒子的直径大于  $100\text{nm}$  的分散系叫做粗分散系。这类分散系的分散相粒子是大量分子的聚集体,比胶体粒子更粗大,能阻止光线通过,也容易受重力作用而沉降。所以,粗分散系的特征是很不均匀、很不稳定,整个体系浑浊而不透明,分散相粒子不能透过滤纸和半透膜。粗分散系主要包括悬浊液和乳状液。

### (一) 悬浊液

不溶性的固体小颗粒分散在液体中所形成的分散系叫做悬浊液。例如,泥浆水、氢氧化铝凝胶、外用皮肤杀菌药硫磺合剂、氧化锌涂剂等。

### (二) 乳浊液

液体以微小液珠的形式分散在与它不相混溶的另一种液体中而形成的分散体系叫做乳浊液。例如,牛奶、医药上用的松节油搽剂、乳白鱼肝油等。为了提高稳定性,增强疗效,在悬浊液、乳浊液中常常加入助悬剂(如树胶)和乳化剂(如琼脂)等。

## 第2节 胶体溶液

### 案例 2-1

在人体血液及体液中存在有许多的盐类,如氯化钠、碳酸氢钠等。其中有一些是微溶的物质,包括碳酸钙、磷酸钙等,但它们却不会在血液中沉淀下来,而是以胶体的形式存在,请参阅相关资料回答下列问题:

1. 血液中碳酸钙、磷酸钙等微溶的物质为什么能以胶体形式存在?
2. 血液中的哪一种高分子化合物对上述物质起到了保护作用?
3. 如果血液中的这种高分子化合物浓度降低会产生什么不良的后果?

## 一、溶胶的制备

制备溶胶的方法有两种:一种是将较大的固体颗粒粉碎成胶粒的分散法;另一种是使分子或离子聚集成胶粒的凝聚法。下面介绍重要的化学凝聚法。

在适当的条件下,使化学反应中生成的难溶性物质聚集成胶体粒子,叫做化学凝聚法。例如,在沸水中逐滴加入三氯化铁溶液,则生成了由氢氧化铁胶粒分散在溶液中的红棕色、透明的氢氧化铁溶胶,而氢氧化铁不发生沉淀。

实验室制备氢氧化铁溶胶时,需要在沸水中滴加三氯化铁溶液。加热时间过长或加入大量的三氯化铁,就会产生氢氧化铁沉淀而得不到溶胶。所以,需要注意反应条件。具体原因,我们将在第7章进行学习。

## 二、溶胶的性质

因为溶胶的粒子大小介于溶液和粗分散系之间,因此有许多特殊的性质。

### (一) 丁铎尔效应

如图2-1,在暗室里,当一束很强的聚光透过胶体溶液时,可以从烧杯侧面看到胶体溶液中有一道明亮的光柱,这种现象称为丁铎尔效应。真溶液中由于分散相粒子很小,光线直接通过而没有散射聚光,看不到此现象。所以,可以用丁铎尔效应来区别真溶液和胶体溶液。

### (二) 电泳现象

如果把红棕色的氢氧化铁溶胶置于U形管中(图2-2),在管的两端插入两个电极,接通直流电源后,可以观察到在阴极附近红棕色逐渐变深,而阳极附近红棕色逐渐变浅。表明氢氧化铁胶体粒子带正电荷,移向阴极。这种在外电场的作用下,胶体粒子在分散介质中向阳极或阴极移动的现象叫做电泳现象。电泳现象说明胶粒带电,如氢氧化铁胶粒带有正电荷,硫化砷胶粒带有负电荷。

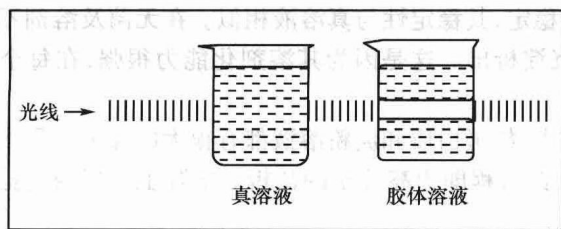


图2-1 丁铎尔效应

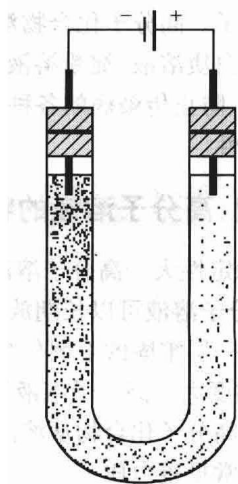


图2-2 电泳现象