

普通本科院校化学专业规划教材

无机化学

学习指导

主 编 周春生 范 广
主 审 陈三平 谢 钢



科学出版社

普通本科院校化学专业规划教材

无机化学学习指导

主编 周春生 范 广
主审 陈三平 谢 钢

科学出版社

内 容 简 介

本书为普通本科院校化学专业规划教材《无机化学》(王书民主编,科学出版社,2013年)的配套教学参考书。指导内容包括:①重要概念;②自测题及其解答;③思考题解答;④课后习题解答;⑤参考资料。本书内容丰富、难度适中、编排特色明显,适于学习使用。

本书可作为综合性大学和师范类院校化学、应用化学、材料化学等专业学生学习无机化学和普通化学课程的辅助教材,也可供其他高等院校相关专业学生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学学习指导/周春生,范广主编. —北京:科学出版社,2014.6
普通本科院校化学专业规划教材
ISBN 978-7-03-041046-7

I. ①无… II. ①周… ②范… III. ①无机化学-高等学校-教学参考资料 IV. ①O61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 127176 号

责任编辑:陈雅娟 郑祥志 / 责任校对:蒋 萍

责任印制:阎 磊 / 封面设计:无极书装

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

安泰印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销



*

2014年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014年6月第一次印刷 印张:20 1/2

字数:538 000

定价:49.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

普通本科院校化学专业规划教材

编写委员会

主 编 周春生 张君才 王浩东
副主编 闵锁田 焦更生 杨晓慧 马亚军 杨得锁
编 委 (按姓氏汉语拼音排序)
陈 强 范 广 付凯卿 葛红光 黄 怡
焦更生 刘步明 马亚军 闵锁田 王福民
王浩东 王书民 谢娟平 许 琼 晏志军
杨得锁 杨晓慧 张君才 周春生

《无机化学学习指导》编写委员会

主 编 周春生 范 广
副主编 王福民 晏志军 唐志华
编 委 (按姓氏汉语拼音排序)
党民团 范 广 黄宏升 姜 敏 焦宝娟
李 敏 庞海霞 唐志华 王福民 王书民
王香爱 武立州 熊海涛 徐浩龙 许 琼
晏志军 张万锋 周春生

编者的话

陕西理工学院、宝鸡文理学院、咸阳师范学院、渭南师范学院、西安文理学院、榆林学院、商洛学院和安康学院同属陕西地方院校(二本院校),都是在师范教育基础上发展起来的,其中后六所高校均是2002年后由专科升为本科的院校,八院校的生源均为二本边缘,因此八院校的教学具有较多的共同点,教学中面临着同样的困境,尤其是面临高等教育改革深化和竞争日益激烈的严峻考验。为了解决二本院校教材建设相应严重滞后于教学现状,我们八校联合,根据教育部化学类专业建设规范,为地方高校应用型化学类专业人才培养而编写了《无机化学》教材并于2013年由科学出版社出版发行。中国科学院院士郑兰荪教授为该书写了序言,序言中对该书做了充分的肯定,认为该书“针对普通院校化学教学的需求,在一定程度上弥补了同类教材的空缺”,“在达到‘专业规范’要求的前提下,突出了培养应用型人才、为地方经济服务等特点,使教材贴近学科发展,贴近教学实际”。

为有助于任课教师和学生配合使用、学习《无机化学》一书,我们同时编写了《无机化学学习指导》并由科学出版社出版。它也是一线教师教学思想和经验的结晶。本书编写与主教材各章内容配套,每章内容包括以下几个方面:

(1)重要概念。按照主教材内容的顺序,摘出基本概念、名词和公式,用学生更易接受和理解的文字进行表述。元素部分则侧重于重点元素主要化学反应的提要。

(2)自测题及其解答。侧重于学生对概念的理解,通常是较为简单的练习,随手习之,体验“过手一遍,胜过过目千遍”的说法,对学生加深掌握基本知识不无好处。自测题仍采用“够用为原则”的思想,采用标准化题型,均有选择题、填空题、简答题和计算题等,元素部分加有完成并配平化学方程式及简答题。所有自测练习题配有简要答案供参考。

(3)思考题解答。意在紧密配合课堂教学,利于学生自学和思考。

(4)课后习题解答。意在让学生更好地掌握主教材的内容。

(5)参考资料。让刚进入大学的学生从开始就培养查阅化学文献的习惯,一直是我们加强素质教育和能力培养的重要举措之一。考虑到一年级学生的实际情况,这里引用的全是近期中文文献。

鉴于第0章的特殊性,其内容只涉及上述(1)、(4)和(5)部分。

参加编写的教师有商洛学院周春生(第0章)、王书民(第5、6、24~26章);渭南师范学院王福民(第18章)、党民团(第21章)、王香爱(第20章)和徐浩龙(第19章);西安文理学院晏志军(第3、22、23章)、焦宝娟(第4章)和李敏(第1章);陕西理工学院唐志华(第7、11章)、姜敏(第9、13章)、庞海霞(第12章)、熊海涛(第10章)和许琼(第8、14章);咸阳师范学院范广(第2章);安康学院黄宏升(第16、17章)、武立州(第27章)和张万锋(第15章)。全书由周春生和范广担任主编,西北大学陈三平和谢钢担任主审。

在本书编写过程中得到了陕西省八所地方院校的大力支持,获得了商洛学院教务处的教

学立项和经费支持,同时得到了科学出版社的支持,在此表示深深的感谢。

在本书编写过程中,较多地参考了同类教材和不少期刊论文,在此对所有的作者表示深深的谢意。

我们期望本书的出版能为学生学习无机化学锦上添花。限于编者水平,本书疏漏和不足在所难免,恳望使用本书的教师和学生给予批评指正。

周春生(slzhoucs@126.com)

范 广(fanguang2004@163.com)

2014 年 1 月于商洛

目 录

编者的话

第 0 章	绪论	1
第 1 章	物质的聚集状态	6
第 2 章	原子结构	18
第 3 章	化学键理论与分子结构	28
第 4 章	晶体结构	43
第 5 章	化学热力学初步	55
第 6 章	化学反应动力学基础	71
第 7 章	酸碱反应	83
第 8 章	氧化还原反应	97
第 9 章	配位化合物	110
第 10 章	化学平衡通论	122
第 11 章	酸碱解离平衡	136
第 12 章	沉淀-溶解平衡	150
第 13 章	配位平衡	164
第 14 章	氧化还原平衡	176
第 15 章	碱金属与碱土金属	192
第 16 章	硼族元素	200
第 17 章	碳族元素	208
第 18 章	氮族元素	216
第 19 章	氧族元素	231
第 20 章	卤素	239
第 21 章	氢及稀有气体	249
第 22 章	过渡元素概论	258
第 23 章	4~7 族重要元素及其化合物	266
第 24 章	8~10 族元素	275
第 25 章	11 族元素和 12 族元素	287
第 26 章	镧系元素和锕系元素	300
第 27 章	核化学	310

第 0 章 绪 论

一、重要概念

1. 化学(chemistry)

化学是一门研究物质的性质、组成、结构、变化以及物质变化规律的科学。化学研究的对象涉及物质之间的相互关系,或物质和能量之间的关联。徐光宪院士曾撰文认为化学的内涵和定义都在随时代前进而改变和延伸。他认为“21 世纪的化学是研究泛分子的科学”。这里泛指 21 世纪化学的研究对象,可以分为 10 个层次:原子层次、分子片层次、结构单元层次、分子层次、超分子层次、高分子层次、生物分子层次、纳米分子和纳米聚集体层次、复杂分子体系及其组装体的层次、分子器件。

另外,1998 年瑞典皇家科学院将诺贝尔化学奖授予了美国的奥地利裔科学家科恩(W. Kohn)教授和英国的波普(J. Pople)教授,以表彰他们在量子化学计算方面的贡献。颁奖公报宣称“化学已不再是单纯的实验科学了,量子化学已成为广大化学家的工具,将和实验研究结果一道来阐明分子体系的性质”。这表明化学已经成为一门真正的严密科学。

2. 时空奇点(singularity of space time)

时空奇点也称引力奇异点或奇点,是一个体积无限小、密度无限大、时空曲率无限大的点。根据广义相对论,在大爆炸发生以前,宇宙的初始状态为一奇点。这里指人们猜想宇宙起始于一个非常小的点——奇点。奇点温度极高且无限致密,今天所观测到的全部物质世界都集中在这个很小的范围内。在没有昨天的一天,这个奇点发生了一次惊天动地的“大爆炸”,这是一个由热到冷、由密到稀、体积不断膨胀的过程,且一直膨胀到现在。

3. 大爆炸(the big bang)

大爆炸是 1948 年伽莫夫(G. Gamow)等提出的宇宙起源的一种模型。该理论认为:原始宇宙是完全由中子组成的非常炽热、稠密的大火球。后来发生了宇宙“大爆炸”,宇宙开始膨胀并变冷,大约 0.0001 s 后,飞来飞去的三种夸克相互吸引结合,先诞生出质子和中子。 2 h 后,当温度下降到 $10^9 \sim 10^{10}\text{ K}$ 时,质子和中子结合成氘,氘又俘获质子经过蜕变生成 ^3He , ^3He 又俘获中子生成 ^4He , H 原子(89%)和 He 原子(11%)的形式足以使大多数物质存在了。

4. 对撞机(collider)

对撞机是在高能同步加速器基础上发展起来的一种装置,其主要作用是积累并加速相继由前级加速器注入的两束粒子流,到一定束流强度及一定能量时使其在相向运动状态下进行对撞,以产生足够高的相互作用反应率,从而便于测量。如果是两个能量为 E 的相向运动的同种高能粒子束对撞,则质心系能量约为 $2E$,即粒子全部能量均可用来进行相互作用。显然对撞机加速的粒子流的能量大大高于离子回旋加速器加速的粒子流的能量。对撞机的主要指标除能量外还有亮度。对撞机的亮度是指该对撞机中所发生的相互作用反应率除以该相互作用的反应截面。显然亮度越高,对撞机的性能就越好。欧洲大型强子对撞机是现在世界上最大、能量最高的粒子加速器,是一种将质子加速对撞的高能物理设备。

5. 交叉学科(interdiscipline)

交叉学科是指不同学科之间相互交叉、融合、渗透而出现的新兴学科。交叉学科可以是自然科学与人文社会科学之间的交叉而形成的新兴学科,也可以是自然科学和人文社会科学内部不同分支学科之间的交叉而形成的新兴学科。近代科学发展特别是科学上的重大发现,国计民生中的重大社会问题的解决等,常涉及不同学科之间的相互交叉和相互渗透。科学上的新理论、新发明的产生,新的工程技术的出现,经常是在学科的边缘或交叉点上,重视交叉学科将使科学本身向着更深层次和更高水平发展,这是符合自然界存在的客观规律的。

6. 化学肥料(chemical fertilizer)

化学肥料是用化学和(或)物理方法制成的含有一种或几种农作物生长需要的营养元素的肥料。只含有一种可标明含量的营养元素的化肥称为单元肥料,如氮肥、磷肥、钾肥以及次要常量元素肥料和微量元素肥料。含有氮、磷、钾三种营养元素中的两种或三种且可标明其含量的化肥称为复合肥料或混合肥料。化肥的有效组分在水中的溶解度通常是度量化肥有效性的标准。当今世界上有 1/3 的粮食产量直接来源于施用化学肥料所致的增产。这意味着,如果没有化肥工业,在 20 世纪,全世界有 20 亿人会因饥饿而丧生! 化肥的合成结束了人类完全依靠天然氮肥的历史,将人类从饥饿中拯救出来。

7. 化学农药(chemical pesticide)

化学农药是指在农业生产中,为保障、促进植物和农作物的成长,所施用的杀虫、杀菌、杀灭有害动物(或杂草)的一类用化学方法合成的药物统称。特指在农业上用于防治病虫害以及调节植物生长、除草等的药剂。1761 年,人们首次应用硫酸铜处理种子防治小麦腥黑穗病。1800 年,米拉戴特(M. Millardet)发明了波尔多液(硫酸铜+石灰),它有杀真菌活性,1895 年开始用于霜霉病、枯萎病和叶斑病防治。化学农药在农业生产中有着突出的特点和起着历史功勋作用。在未来 50 年内仍然是有害生物防治的主体。大量事实表明:农药的作用是不容置疑的。据统计,如果不施用农药,因受病、虫、草、害的影响,全世界粮食将人均损失 1/3! 合成新型高效无公害、无残留、无污染的绿色农药将是发展方向。

8. 化学纤维(chemical fiber)

化学纤维是用天然的或人工合成的高分子物质为原料、经过化学或物理方法加工而制得的纤维的统称,简称化纤。根据所用高分子化合物来源不同,可分为以天然高分子物质为原料的人造纤维和以合成高分子物质为原料的合成纤维。常见的纺织品,如黏胶布、涤纶卡其、锦纶丝袜、腈纶毛线以及丙纶地毯等,都是用化学纤维制成的。

世界纤维消耗量中,化学纤维约占一半。没有合成纤维工业,将有接近 1/2 的人口没有办法解决“温”的问题。化学纤维装扮着世界,美化着人类生活。

9. 化学合成药物(synthetic drugs)

合成药物指人工合成的小分子化合物药物。20 世纪初至 80 年代,是化学药物飞速发展的时代,在此期间,发现及发明了现在所使用的一些重要的药物,为人类健康做出了贡献。化学合成药物的发展,使得许多不治之症得以治愈,使人们的寿命延长了近 1 倍,并大大改善了人类的生存品质。例如,人们熟知的青霉素的发现和大量生产,拯救了千百万肺炎、脑膜炎、脓肿、败血症患者的生命,及时抢救了许多伤病员。进入 21 世纪,化学合成药物仍然是最有效、最常用、最大量及最重要的治疗药物。同时,化学的发展使得人们对药物分子改造的设想得以

实现,合成药物成为人类健康的守护神。

10.超纯材料(ultra-pure materials)

许多物质只有在达到超纯时才会显示出特殊的性能或功能。例如,极微量的杂质就能引起半导体性能明显变化。因此,要控制半导体的性质,首先就要把材料提纯到尽可能高的纯度,使之成为超纯物质,再在超纯材料中掺入适量的某种杂质,才能获得具有所需性质的半导体材料。化学提纯是重要的提纯技术之一,得到的超纯材料是现代电子工业的物质基础。化学为现代电子、通信工业提供了发展的基石。

11.石油冶炼(petroleum refining)

石油也称原油。它从发现至今,主要作为液态燃料,经过冶炼后才能使用。石油主要被用作燃油和汽油,是目前世界上最重要的一次能源之一。石油的主要产品是液态燃料汽油、煤油和柴油,存在深加工提高其利用率和减少环境污染问题。高科技是石化产业更好更快发展的重要支撑,可为石化产业发展提供更为广阔的空间。这里主要指对石油的分馏、重排、裂化和精制工艺。显然,这就是化学对古老能源石油的新作用。未来世界炼油技术朝着重视清洁燃料的生产与创新及综合管理几个方面发展。在冶炼中注重提高催化裂化技术、降低石油产品中烯烃的含量、汽油脱硫技术和重油加工技术。例如,天然气合成液体烃技术、汽-电联产和氢-汽-电联产技术、加氢脱硫-催化裂化/加氢裂化工艺、用于炼油催化剂和添加剂上的纳米技术等。

二、课后习题解答

0-1 解答:首先,我们要承认人类对物质世界的研究就是从物质的化学变化开始的,包括远古的工艺化学时期、炼丹术和医药化学时期、燃素化学时期、近代化学时期和现代化学时期。

其次,不可否认“化学已不再是单纯的实验科学了,量子化学已成为广大化学家的工具和实验研究结果一道来阐明分子体系的性质”。但它仍然是研究物质化学变化的科学。

0-2 解答:参见重要概念之化学。

0-3 解答:说明化学已是研究泛分子的科学。但是,也应该注意到这个“泛分子”不只限于地球上的分子、原子或离子等层次上,还应包括到整个宇宙中的分子、原子或离子等层次上。另外,化学家研究“泛分子”是为了更好地发展“合成化学”。正如诺贝尔奖得主、Cornell 大学的理论化学家霍夫曼(R.Hoffmann)明确指出的那样:“不能把宇宙还原为少数几种基本粒子或者是数以百计的元素,应当扩展到所有可能被合成的数量无限的分子。分子能够具有的结构和性能是难以穷尽的。”曾担任美国化学会会长的布雷斯洛(R.Breslow)说:“目前,已知的化学世界,包括化学家已经使之‘膨胀’了的自然界在内的分子总数,还不到它的1%。”

0-4 解答:发生变化时,没有生成其他物质的变化称为物理变化,生成其他物质的变化称为化学变化。区别一种变化是物理变化还是化学变化,关键看是否生成了其他物质。

0-5 解答:物质范畴是唯物主义世界观的一块基石。从古到今,唯物主义对物质概念的理解,对物质与意识关系的把握,经历了一个从朴素到科学、从片面到比较全面的认识过程。在马克思主义之前的唯物主义哲学,虽然在人类对物质的认识史上做出了重大的贡献,但是它终究未对世界的物质性、对物质范畴做出科学的解释。马克思和恩格斯批判地继承了前人的成果,吸收了其物质观中的正确论点和思想,对具体科学关于物质世界研究的最新成果进行了哲学的概括和总结,形成了科学的物质观。马克思主义物质观集中体现在列宁的经典论述中,即

“物质是标志着客观实在的哲学范畴,这种客观实在是人通过感觉感知的,它不依赖于我们的感觉而存在,为我们的感觉所复写、摄影、反映”。科学家只有建立了正确的物质观,才能客观地、有效地研究物质世界,得出正确的、科学的结论。

0-6 解答:化学在国民经济中的作用就是化学学科与社会发展的关系。因为发展国民经济的目的就是极大地丰富物质世界,提高人类的生活质量,促进人类进步。简言之,化学保证了人类的生存并不断提高人类的生活质量;化学是科学技术发展的中心;21 世纪化学的作用更加突出。因此,诺贝尔化学奖获得者西博格(G. Seaborg)博士于 1979 年在美国化学会成立 100 周年大会上讲话中的一句名言就是:化学是人类进步的关键。

0-7 解答:参见重要概念之交叉学科。

0-8 解答:美国学者坦普尔(R. Temple)在《中国:发明与发现的国度》一书中,列举了中国古代领先于世界的发明和发现有 1120 多种。他说:“如果诺贝尔奖在古代已经设立,各项奖金的得主,就会毫无争议地全都属于中国人。”然而,到了近代,当西方在文艺复兴后建立近代科学技术体系时,中国的科学技术却止步不前了,到 16 世纪科学技术的某些方面已经落后于西方。17、18 世纪,当西方科学技术在产业革命的强大推动下普遍繁荣的时候,中国的科学技术已经全面落后于西方。造成近代中国科学技术落后的原因是多方面的,主要有以下几点:一是超稳定的封建专制统治对思想的钳制严重阻碍了科学技术的发展;二是根深蒂固的小农经济和近代资本主义难产是导致我国近代科学技术落后的根本原因;三是中国传统文化的基本特征及其固有缺陷不利于产生近代科学技术;四是近代落后的教育与继续推行的科举制度使科技人才空前缺乏,严重地阻碍了近代科学技术的发展。同样,化学也是在这些原因下落后的。只要我们在新的社会制度下,在这种极利于发展、提倡科学发展观的政策下,充分发扬民主,积极改革教育制度,积极学习国外先进技术,提倡批判性思维,发扬原创性精神,科学的春天就会到来。可以预料,中国科学技术必将再次在世界舞台上显示其夺目的光彩!

0-9 解答:现代无机化学发展的特点如下:

(1)从宏观到微观。现代无机化学是既有翔实的实验资料,又有坚实的理论化学基础的完整科学。

(2)从定性描述向定量化方向发展。现代无机化学特别是结构无机化学已普遍应用线性代数、群论、矢量分析、拓扑学、数学物理等现代的数学理论和方法,应用电子计算机对许多反映结构信息及物理化学性能的物理量进行科学计算和数学处理。这种数学计算又与高灵敏度、高精度、多功能的定量实验测定方法相结合,使研究结果达到了精确定量的水平。

(3)既分化又综合,出现许多边缘和交叉学科。一方面是自身发展;另一方面各分支学科相互综合,与其他学科相互渗透,形成了许多边缘和交叉学科。

这些显示了现代无机化学发展中在广度上的拓宽和在深度上的推进。

0-10 解答:批判性思维概念最早由被称为批判性思维之父的美国教育家杜威(J. Dewey)提出。1941 年,美国学者格拉泽(E. Glaser)提出:“批判性思维是态度、知识和技能的综合体,一个具有批判性思维的人必须有质疑的态度、逻辑推理知识以及分析、综合和评价的认知技能。”1987 年,美国批判性思维权威人士恩尼斯(R. Ennis)指出:“批判性思维就是指在确定相信什么或者做什么时所进行的合理而成熟的思考。”1987 年,美国批判性思维研究中心主任保罗(R. Paul)称:“批判性思维是积极地、熟练地、灵巧地应用、分析、综合或评估由观察、实验、推理所获得的信息,并用其指导信念和行动。”1990 年,美国哲学协会(American Philosophy Association)认为:“批判性思维的概念包括情感倾向(批判精神)与认知技能(批判技能)两个

部分。”1990年,46位美国和加拿大专家共同发表的《批判性思维:一份专家一致同意的关于教育评估的目标和指示的声明》中指出:批判性思维的核心为解释、分析、评价、推论、说明和自我调节。总之,批判性思维是指通过个体的主动思考,对所学知识的真实性、精确性、过程、理论、方法、背景、论据和评价等进行个人的判断,从而对做什么和相信什么做出合理决策的思维认知过程。批判性思维是与非形式逻辑相提并论的一种思潮,它不仅是一种思维形式,更是一种优秀的思维品质,它与问题解决并称为思维的两大技能。

培养批判性思维具有重要的意义:① 批判性思维是创新思维的基础;② 批判性思维是信息素养的组成部分;③ 批判性思维是健全人格的基本要素。

三、参考资料

- 白春礼.2011.化学创造美好生活,知识就是力量,(1):卷首语
- 陈荣,高松.2012.无机化学学科前沿与展望.北京:科学出版社
- 董毓.2010.批判性思维原理与方法——走向新的认知和实践.北京:高等教育出版社
- 贺善侃.2011.创新思维概论.上海:东华大学出版社
- 洪茂椿.2005.21世纪的无机化学.北京:科学出版社
- 梁文平,唐晋,王夔.2005.新世纪化学发展战略思考.中国基础科学,(5):34
- 唐有祺.2002.化学学科的发展历程.化学世界,(10):508
- 徐光宪.2001.21世纪化学的内涵、四大难题和突破口.科学通报,46(24):2086
- 徐光宪.2004.今天的化学家在干什么?百科知识,(4):4
- 赵匡华.1990.化学通史.北京:高等教育出版社

第 1 章 物质的聚集状态

一、重要概念

1. 物质的第四态(the fourth state of matter)

物质第四种状态就是等离子态(plasma),是指物质原子内的电子在高温下脱离原子核的吸引而形成带负电的自由电子和带正电的离子共存的状态。由于此时物质正、负电荷总数仍然相等,因此称为等离子态(又称等离子体)。

2. 物质的第五态(the fifth state of matter)

一些金属、合金、金属间化合物和氧化物,当温度低于临界温度时出现超导电性(superconductivity,即零电阻现象)和完全反磁性(perfect diamagnetism,把磁力线完全排除出体外现象)。液氦温度低于 $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时还出现超流现象(superfluid phenomena),液体的黏滞度几乎为零,杯子内的液氦会沿器壁爬到杯子下面,液体的传热系数比铜还好。上述两种现象可称为超导态(superconducting state)和超流态(superfluid),称为物质的第五态。

3. 理想气体(ideal gas)

理想气体是以实际气体为根据抽象而成的气体模型。它是为了研究方便而忽略气体分子的自身体积,将分子看作有质量的几何点(质点)。分子与分子、分子与器壁之间的碰撞是完全弹性碰撞,无动能损耗。或者说是能严格遵从理想气体状态方程 $[pV=(m/M)RT=nRT, n \text{ 为物质的量}]$ 的气体。

4. 实际气体(actual gas)

气体分子本身占有容积,分子与分子间有相互作用力存在的气体称为实际气体或真实气体。实际气体不严格遵守理想气体状态方程。只有在高温和低压下,实际气体接近理想气体。压力不大,分子之间平均距离很大,气体分子本身的体积可以忽略不计,分子间吸引力相比之下可以忽略不计,实际气体的行为就十分接近理想气体行为,可当作理想气体来处理。

5. 道尔顿分压定律(Dalton's law of partial pressure)

1801 年道尔顿(J. Dalton)观察得到描述理想气体特性的经验定律:在任何容器内的气体混合物中,如果各组分之间不发生化学反应,则每一种气体都均匀地分布在容器内,它所产生的压力和它单独占有整个容器时所产生的压力相同,或者描述为:混合气体的总压等于各组分气体的分压之和,即 $p_{\text{总}} = \sum p_i$ 。

6. 气体扩散定律(law of gas diffusion)

1831 年英国物理学家格雷姆(T. Graham)指出:同温同压下各种不同气体扩散速率与气体密度的平方根成反比。

7. 凝聚(liquefied or condensation)

气体变成液体的过程称为液化或凝聚。

8. 蒸发或气化(evaporation or gasification)

在液体中分子互相碰撞时,分子的动能会连续变化。但总体上有些分子瞬时具有相对较高的能量,而有些分子具有相对较低的能量。靠近液面具有高能量的分子可以克服周围分子的引力从液面逸出,此时的现象称为蒸发或气化。

9. 摩尔蒸发焓或摩尔气化焓(molar enthalpy of vaporization)

蒸发或气化过程可以持续进行到液体全部气化为止。在一定温度下,蒸发 1 mol 液体所需要的总热量称为该液体的摩尔蒸发焓或摩尔气化焓。

10. 摩尔凝聚热(molar of condensation heat)

当蒸气凝聚成液体时,两相间的焓差就以热的形式释放出来,这份热效应称为摩尔凝聚热。它在数值上等于摩尔气化焓。

11. 饱和蒸气压(saturated vapor pressure)

在密闭条件中,在一定温度下,与液体处于相平衡的蒸气所具有的压力称为饱和蒸气压。

12. 沸腾(boiling)

液体受热超过其饱和温度时,观察液体的蒸气压-温度曲线,当达到一定温度时,产生的蒸气压力等于外界压力时,在液体内部和表面同时发生剧烈气化的现象称为沸腾。

13. 沸点(boiling point)和正常沸点(normal boiling point)

液体沸腾的条件是液体的蒸气压等于外界压力,沸腾时的温度称为液体的沸点。不同液体的沸点不同。即使同一液体,它的沸点也随外界大气压力的改变而改变。如果外界压力为 101.325 kPa,则液体的沸点称为正常沸点。

14. 凝固(solidify)

当一种液体受冷时,分子运动逐渐变慢,最后达到一种温度状态,分子的动能足够低,即一旦温度降低到分子所具有的平均动能不足以克服分子间的引力时,会使分子足以固定在晶格点上的现象称为凝固。

15. 摩尔凝固焓(molar solidifying enthalpy)

在凝固点上,固-液平衡体系的温度一直保持恒定,直到液体完全凝固时为止。在凝固点时 1 mol 物质完全凝固放出的热量称为该物质的摩尔凝固焓。

16. 稀溶液依数性(colligative properties of dilute solution)

性质变化仅与溶质的量(浓度)有关而与溶质的本性无关。这些性质变化仅适用于难挥发的非电解质的稀溶液,所以又称稀溶液依数性或稀溶液通性。

17. 沸点升高常数(boiling point elevation constant)和凝固点降低常数(freezing point depression constant)

二者分别代表 $b = 1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时溶液沸点的升高值和凝固点的降低值。

18. 半透性(semi permeability)

有些多孔性膜(包括生物膜和合成膜)与溶液接触时,只允许某些粒子(分子和离子)通过而阻挡了另一些粒子的性质称为半透性。允许通过的粒子往往是体积较小的粒子(如溶剂水分子),被阻挡的往往是体积较大的溶质分子或离子。

19. 渗透压(osmotic pressure)

用半透膜把两种不同浓度的溶液隔开时发生渗透现象,到达平衡时半透膜两侧溶液产生的压差称为该溶液的渗透压。

20. 反向渗透(reverse osmosis)

发生渗透现象时,由于从被渗透方施加的外压力大于渗透压,导致渗透发生逆转的净迁移称为反向渗透。

21. 晶体(crystal)

晶体是由结晶物质构成的、其内部的构造质点(如原子、分子)呈平移周期性规律排列的固体。晶体有几个鲜明的特征:① 自范性(自发地形成多面体外形的性质);② 均匀性;③ 各向异性。

二、自测题及其解答

1. 选择题

1-1 现有 1 mol 理想气体,若它的摩尔质量为 M ,密度为 d ,在温度 T 下体积为 V ,下述关系正确的是 ()

A. $pV = (M/d)RT$

B. $pVd = RT$

C. $pV = (d/n)RT$

D. $pM/d = RT$

1-2 一定量气体在一定压力下,当温度由 100 °C 上升至 200 °C 时,则其 ()

A. 体积减小一半

B. 体积减小但并非减小一半

C. 体积增加一倍

D. 体积增加但并非增加一倍

1-3 下列哪种情况下,真实气体的性质与理想气体相近 ()

A. 低温高压

B. 低温低压

C. 高温低压

D. 高温高压

1-4 在一定的温度和压力下,两种不同的气体具有相同的体积,则这两种气体 ()

A. 分子数相同

B. 相对分子质量相同

C. 质量相同

D. 密度相同

1-5 在标准状况下,气体 A 的密度为 $1.43 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$,气体 B 的密度为 $0.089 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$,则气体 A 对气体 B 的相对扩散速率为 ()

A. 1 : 4

B. 4 : 1

C. 1 : 16

D. 16 : 1

1-6 混合气体中含有 112 g N_2 、80 g O_2 和 44 g CO_2 ,若总压力为 100 kPa,则氧的分压为(相对原子质量:N 为 14,O 为 16,C 为 12) ()

A. 13 kPa

B. 33 kPa

C. 36 kPa

D. 50 kPa

1-7 在相同温度下,对于等质量的气态 H_2 和 O_2 ,下列说法正确的是 ()

A. 分子的平均动能不同

B. 分子的平均速率不同

C. 分子的扩散速率相同

D. 对相同容积的容器所产生的压力相同

1-8 根据气体分子运动论,在给定温度下,对于质量不同的气体分子的描述正确的是 ()

A. 有相同的平均速率

B. 有相同的扩散速率

C. 有相同的平均动能

D. 以上三点都不相同

1-9 将等质量的 O_2 和 N_2 分别放在体积相等的 A、B 两个容器中,当温度相等时,下列说法正确的是 ()

- A. N_2 分子碰撞器壁的频率小于 O_2 B. N_2 的压力大于 O_2
C. O_2 分子的平均动能大于 N_2 D. O_2 和 N_2 的速率分布图是相同的

1-10 一定温度下,下列气体中扩散速率最快的是 ()

- A. O_2 B. Ne C. He D. NH_3

2. 填空题

2-1 将 N_2 和 H_2 按 1 : 3 的体积比装入一密闭容器中,在 $400\text{ }^\circ\text{C}$ 和 10 MPa 下达到平衡时, NH_3 的体积分数为 39%, 这时 $p_{NH_3} =$ _____ MPa, $p_{N_2} =$ _____ MPa, $p_{H_2} =$ _____ MPa。

2-2 分体积是指在相同温度下,组分气体具有和 _____ 时所占有的体积。每一组分气体的体积分数就是该组分气体的 _____。

2-3 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 时,在 30.0 dm^3 容器中装有混合气体,其总压力为 600 kPa。若组分气体 A 为 3.00 mol, 则 A 的分压 $p_A =$ _____, A 的分体积 $V_A =$ _____。

2-4 在标准状况下,气体 A 的密度为 $0.08\text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$, 气体 B 的密度为 $2\text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$, 则气体 A 对气体 B 的相对扩散速率为 _____。

2-5 道尔顿气体分压定律指出:混合气体的总压力等于 _____; 而某组分气体的分压力与 _____ 成正比。

2-6 在 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 和 100 kPa 下,某储罐中天然气的体积为 $2.00 \times 10^6\text{ m}^3$, 当压力不变,气温降至 $-10\text{ }^\circ\text{C}$ 时,气体体积为 _____ m^3 。

2-7 在标准状态下,气体 A 的密度为 $0.09\text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$, 气体 B 的密度为 $1.43\text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$, 则气体 A 对气体 B 的相对扩散速率为 _____。

2-8 在 300 K 、 $1.013 \times 10^5\text{ Pa}$ 时,加热一敞口细颈瓶到 500 K , 然后封闭其瓶口,并冷却至原来温度,则瓶内压力为 _____ Pa。

2-9 在容积为 50 L 的容器中,有 140 g CO 和 20 g H_2 , 温度为 300 K , 则 CO 的分压为 _____ Pa, H_2 的分压为 _____ Pa, 混合气体的总压为 _____ Pa。

2-10 已知 $23\text{ }^\circ\text{C}$ 时水的饱和蒸气压为 2.81 kPa。在 $23\text{ }^\circ\text{C}$ 和 100.5 kPa 压力下,用排水集气法收集制取氢气,共收集气体 370 mL, 则实际制得的氢气的物质的量为 _____ mol。

3. 简答题

3-1 在 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 时,某容器中充入总压为 100 kPa、体积为 1 : 1 的 H_2 和 O_2 混合气体,此时两种气体单位时间内与容器器壁碰撞次数多的是 H_2 还是 O_2 ? 为什么? 混合气体点燃后(充分反应生成水,忽略生成水的体积),恢复到 $25\text{ }^\circ\text{C}$, 容器中氧的分压是多少? 容器内的总压是多少? 已知在 $25\text{ }^\circ\text{C}$, 饱和水蒸气压为 3160 Pa。

3-2 判断下列说法是否正确,并说明理由。

- (1) 理想气体定律能用来确定恒温下蒸气压如何随体积的变化而改变;
(2) 理想气体定律能用来确定在恒容条件下蒸气压如何随温度而改变。

3-3 将等质量的 O_2 和 N_2 分别放在体积相等的 A、B 两个容器中,当温度相等时,判断下列各种说法是否正确,并说明理由。

- (1) N_2 分子碰撞器壁的频率小于 O_2 ;

- (2) N_2 的压力大于 O_2 ;
- (3) O_2 分子的平均动能大于 N_2 ;
- (4) O_2 和 N_2 的速率分布图是相同的;
- (5) O_2 和 N_2 的能量分布图是相同的。

3-4 已知 $121\text{ }^\circ\text{C}$ 时水的蒸气压为 202 kPa , 现有一封闭的容器, 其中含有 101 kPa 的空气, 温度为 $121\text{ }^\circ\text{C}$ 。若把一些水注射到该封闭的容器内, 并使液态的水与其蒸汽达到平衡。此时封闭容器中的总压力为多少?

3-5 $\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NO}(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$ 是大气污染化学中的一个重要反应。在 298 K 时, 标准平衡常数 $K^\ominus = 6.6 \times 10^{-7}$ 。如果将 $101\text{ kPa NO}(\text{g})$ 和 $101\text{ kPa O}_2(\text{g})$ 等体积混合, 将会观察到什么现象?

3-6 写出理想气体状态方程, 使用该方程时应注意哪些问题?

3-7 在一密闭的玻璃罩钟内有浓度不同的两个半杯糖水, 经过长时间放置后, 将发生什么变化? 为什么?

3-8 在相同的压力下, 相同质量摩尔浓度的葡萄糖和食盐水溶液, 其渗透压是否相同? 为什么?

3-9 下列说法是否正确? 如果不正确, 应该怎样说?

- (1) 一定量气体的体积与温度成正比。
- (2) 1 mol 任何气体的体积都是 22.4 dm^3 。
- (3) 气体的体积分数与其摩尔分数相等。
- (4) 对于一定量混合气体, 当体积变化时, 各组分气体的物质的量也发生变化。

3-10 对于一定量的混合气体, 试回答下列问题:

- (1) 恒压下, 温度变化时各组分气体的体积分数是否发生变化?
- (2) 恒温下, 压力变化时各组分气体的分压是否变化?
- (3) 恒温下, 体积变化时各组分气体的摩尔分数是否发生变化?

4. 计算题

4-1 已知在 $57\text{ }^\circ\text{C}$ 时水的蒸气压为 17.3 kPa 。将空气通过 $57\text{ }^\circ\text{C}$ 的水, 用排水集气法在 101 kPa 下收集 1.0 dm^3 气体。

- (1) 将此气体降压至 50.5 kPa (温度不变), 求气体总体积;
- (2) 若将此气体在 101 kPa 下升温至 $100\text{ }^\circ\text{C}$, 求气体总体积。

4-2 用排水集气法在 $22\text{ }^\circ\text{C}$ 、 97.2 kPa 下收集得 $850\text{ cm}^3\text{ H}_2$, 经干燥后 H_2 的体积是多少? 在标准状况下, 该干燥气体的体积是多少? $22\text{ }^\circ\text{C}$ 时水的饱和蒸气压为 2.64 kPa 。

4-3 $30\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 在 10.0 dm^3 容器中, O_2 、 N_2 和 CO_2 混合气体的总压力为 93.3 kPa , 其中 O_2 的分压为 26.7 kPa , CO_2 的质量为 5.00 g 。计算 CO_2 和 N_2 的分压, O_2 的摩尔分数。

4-4 100 kPa 时, 2.00 dm^3 空气中含 20.8% 的氧气和 78.2% 的氮气。恒温下将容器的体积缩小至 1.25 dm^3 , 计算此时 O_2 的分压和 N_2 的分压。

4-5 将两个棉花塞子, 一个用氨水湿润, 另一个用盐酸湿润, 同时塞入一根长度为 97.1 cm 的玻璃管的两端, 在氨气和 HCl 气体首先接触的地方生成一个白色的 NH_4Cl 环。通过计算说明这一白环在距离润湿的氨棉塞一端多远处出现。相对原子质量: Cl 为 35.5 , N 为 14.0 , H 为 1.0 。