

配苏教版普通高中课程标准实验教科书

高中化学

教学参考书

物质结构与性质(选修)



凤凰出版传媒集团



江苏教育出版社

JIANGSU EDUCATION PUBLISHING HOUSE

配苏教版普通高中课程标准实验教科书

高中化学教学参考书

物质结构与性质(选修)

主编 王祖浩 胡列扬

凤凰出版传媒集团



江苏教育出版社

配苏教版普通高中课程标准实验教科书
书 名 高中化学教学参考书
物质结构与性质(选修)
主 编 王祖浩 胡列扬
责任编辑 丁金芳 薛春南
出版发行 凤凰出版传媒集团
江苏教育出版社(南京市马家街31号 210009)
网 址 <http://www.1088.com.cn>
集团网址 凤凰出版传媒网 <http://www.ppm.cn>
经 销 江苏省新华发行集团有限公司
照 排 南京理工出版信息技术有限公司
印 刷 人民日报社南京印务中心
厂 址 南京市汉口路2号(邮编 210008)
电 话 025-83302635
开 本 787×1092 毫米 1/16
印 张 9
字 数 231 000
版 次 2006 年 3 月第 1 版
2006 年 3 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-5343-7407-3/G·7092
定 价 10.40 元
邮购电话 025-85400774,8008289797
批发电话 025-83260767,83260768,83260760
盗版举报 025-83204538

苏教版图书若有印装错误可向承印厂调换
欢迎邮购,提供盗版线索者给予重奖

前 言

本书是根据普通高中化学课程标准的要求,配合江苏教育出版社出版的高中课程标准实验教科书《物质结构与性质(选修)》而编写的,供广大中学化学教师教学时参考。在本书编写过程中,作者仔细研究了教科书的编写思路,充分吸收了实验区广大化学教师的教学经验,力求使本书更具有针对性和指导性。

本书以教材的章节为序,设置的主要栏目有【学习目标】、【课时建议】、【编写思路】、【教学建议】、【疑难解析】、【习题研究】、【参考资料】等。其中【教学建议】在帮助教师把握教材内容的基础上,从教与学两方面提出思路和建议,并附有若干教学设计片断供教师参考;【疑难解析】从知识延展、教学组织和实验设计等方面提出具体的要求,帮助教师更好地把握教材的体系;【参考资料】从化学学科发展史、物质结构研究成果简介、物质结构知识的拓展、化学研究方法和学生思维发展的关系等方面提供教学素材,帮助教师更好地理解教材,合理地组织教学过程。

编写和使用高中化学课程标准实验教材,对编者和化学教师而言都是一项新的、充满挑战的工作。根据新的课程理念和实验教材进行化学教学改革,需要广大化学教师的积极参与和不断创新。我们认为,与必修课程相比,选修课程在内容组织、教学方法方面有更大的灵活性,因此本书提供的教学思路 and 教学素材仅供老师们参考,不要以此束缚第一线老师的教学创造性。我们衷心期望,在使用高中化学选修教材的过程中,广大教师积极发挥自身的聪明才智,在实践中取得更多的成果。

王祖浩教授提出了本书编写的具体思路、基本要求和样章,参加初稿执笔有陆军、史定海、任雪明、胡列扬等同志,最后由王祖浩、胡列扬修改、统稿。

限于编写时间和作者的水平,本书难免存在不当之处,恳请广大读者批评指正。联系地址:南京市马家街 31 号;邮编:210009;Email: gzhx@ 1088. com. cn。

编者

2006 年 2 月

目 录

专题 1 揭示物质结构的奥秘	1
专题 2 原子结构与元素的性质	20
第一单元 原子核外电子的运动	20
第二单元 元素性质的递变规律	32
专题 3 微粒间作用力与物质性质	44
第一单元 金属键 金属晶体	44
第二单元 离子键 离子晶体	55
第三单元 共价键 原子晶体	70
第四单元 分子间作用力 分子晶体	85
专题 4 分子空间结构与物质性质	93
第一单元 分子构型与物质的性质	93
第二单元 配合物是如何形成的	107
专题 5 物质结构的探索无止境	117
附录 教材习题参考答案	134

专题1 揭示物质结构的奥秘

《物质结构与性质》是高中化学课程中比较全面介绍物质结构知识与物质性质关系的模块,在学生已经完成了对常见化学物质、重要化学概念、基本化学观念和科学探究方法的学习,并对物质结构的基础知识有了一定了解的基础上,进一步深化结构理论与物质性质的辩证关系,深入了解人类探索物质结构的重要意义和基本方法,研究物质构成的奥秘,提高分析问题和解决问题的能力。

在《化学1》、《化学2》两个必修模块的学习中,学生在物质结构方面应具备的理论知识有:

- (1) 人类对原子结构的认识,原子结构模型演变史和相关概念。
- (2) 核外电子排布规律和元素周期律及其应用。
- (3) 微粒之间的相互作用力,包括离子键、共价键、分子间作用力(氢键简介)。
- (4) 从微观结构看物质的多样性。

在必修模块中学习了氯、溴、碘、硫、氮及其化合物,含硅的矿物质,钠、镁、铝、铁、铜的相关知识,常见有机物等基础知识,这些基础知识为学生进一步深入学习和掌握物质结构知识提供了知识储备。

专题1“揭示物质结构的奥秘”篇幅不长,共分两个部分。首先通过简要介绍人类探索物质结构的历史,让学生了解物质结构理论发展脉络;认清科学理论的创立和发展源于一系列感性认识的积累,科学理论又反过来指导和促进对物质世界的新发现和再认识;现代科学技术及方法有力地推动了化学科学的进一步发展。第二部分概述了物质结构研究对于应用新技术、创造新物质、开发新材料、探索生命本质以及实现社会可持续发展都有重要意义。

从德育层面来看,本专题试图通过科学发展历史的简介,再现人类探索未知世界的艰辛,让学生在历史的隧道中感受科学发展过程的曲折性,激发学生的求知欲;充分领略物质结构的无限风采和无穷变化的动态之美,提高学生的审美情趣和科学鉴赏能力;让学生充分认识到,人类通过自身不断努力,不但能制造出自然界中已有或更好的东西,而且还能创造出自然界中没有的新物质,从而激发学生不断探索、不懈追求的信心和勇气。

一、学习目标

1. 了解物质结构探索发展的历史与人类物质文明进步的密切联系。
2. 认识物质结构探索与研究对人类文明发展与进步的重要意义。
3. 了解人类对物质结构认识的脉络。
4. 初步掌握研究物质结构的一般方法。
5. 感受科学家探索物质结构征程中的坚毅和执着,树立坚忍不拔的毅力和勇气。
6. 领悟物质结构的探索是人类可持续发展的有力保证。

二、课时建议

人类探索物质结构的历史	1 课时
研究物质结构的意义	1 课时

三、编写思路

选学本模块的学生已经对物质结构研究的历史和物质结构的基础知识有了一定的了解,因此,本专题对“人类探索物质结构的历史”的描写采用大跨度、侧重思维方式的手法,着眼于认识发展过程,不拘泥于一些具体细节。教材以较多彩图、设问和“交流与讨论”形式,体现以人为本、促进学生健康发展的教学理念,要求学生根据已学的物质结构基础知识,对物质结构理论发展过程中的一些经典观点进行科学的剖析,以强化对现代物质结构理论的认识和理解,掌握物质结构研究的一般思想方法。

本专题对“研究物质结构的意义”的阐述,力求注重应用、贴近现代。教材从学生熟知的碳的同素异形体入手,让学生一开始就感悟到物质结构对物质性质决定性的影响,通过“交流与讨论”,让学生灵活运用物质结构理论解释分子组成、物质性质、材料选择方面的问题,明确物质结构理论对于全面认识物质性质的重要意义。教材列举了大量物质结构研究成果(以彩图形式呈现在学生面前)广泛应用于材料科学、信息技术、生命科学、能源科学,促进现代科学技术发展的重要意义,暗示学生不要把目光局限于物质结构知识本身,而要放在现代科技整体发展的大背景下思考问题,这对于拓展学生的思维空间、提高学生应用知识能力很有裨益。

本专题的编写充分体现了化学学科与科学技术和社会发展密不可分的思想,立足于学生适应现代生活和未来发展的需要,着眼于提高 21 世纪公民的科学素养,致力于激发学生探究知识的强烈欲望和培养学生科学的思想方法,也为其他专题的学习提供了思想方法。

四、教学建议

《普通高中化学课程标准(实验)》中与本专题相关的内容和要求有:

(1) 就课程性质而言,要求高中化学课程应“有助于学生主动构建自身发展所需的化学基础知识和基本技能,进一步了解化学学科的特点,加深对物质世界的认识”;“有利于学生体验科学探究的过程,学习科学研究的基本方法,加深对科学本质的认识,增强创新精神和实践能力”;“有利于学生形成科学的自然观和严谨求实的科学态度,更深刻地认识科学、技术和社会之间的相互关系,逐步树立可持续发展的思想”。

(2) 就课程基本理念而言,要求“结合人类探索物质及其变化的历史与化学科学发展的趋势,引导学生进一步学习化学的基本原理和基本方法,形成科学的世界观”。

(3) 就课程目标而言,要求“了解化学科学发展的主要线索,形成有关化学科学的基本观念”;“经历对化学物质及其变化进行探究的过程,进一步理解科学探究的意义,学习科学探究的基本方法,提高科学探究能力”;“培养学习化学的兴趣,乐于探究物质变化的奥秘,体验科学探究的艰辛和喜悦,感受化学世界的奇妙与和谐”。

教材从 1808 年道尔顿提出原子论→1811 年阿伏加德罗提出分子学说→1869 年门捷列夫发现的元素周期律→到 20 世纪 40 年代,人们已经发现了 92 种元素→制造人工元素→揭开原子内部的奥秘→量子力学的确立,清晰地呈现了化学科学发展历程中的一幕幕精彩时空。在教学设计中应注意从知识与技能、过程与方法、情感态度与价值观方面来分析、讲解,教材各部分的编写为教师设计不同的教学方法达成教学目标留下了自主挥洒的空间。教师可根据学生在必修教材已学内容的实际情况进行适当的演绎,便于学生在学习中,从大处着眼,灵活地把握知识精髓。

本专题对学生的知识要求相对较低,主要是通过课堂的讨论与交流,通过多种媒体与网络等途径查寻相关的资料,领略科学探索的魅力,帮助学生了解化学科学发展与人类探索的物质

世界的关系;揭示化学物质结构的美,提高学生的审美情趣,建议可采用探究式学习或采用建构主义理论指导下师生互动的教学模式来组织教学。

让学生查阅20世纪化学发展过程中的重大事件资料,了解化学学科发展的基本特征和21世纪化学学科发展的趋势,感受科学家探索物质结构的奥秘的过程和方法,培养学习化学的兴趣,养成乐于探究的精神,体验科学探究的艰辛与喜悦,领略化学物质结构世界的奇妙与和谐之美。

教学设计过程中应多采用学生自主讨论与探究的形式,创设情境让学生自主学习、自主分析得出结论,如对于教材第3页的“交流与讨论”,要让学生自己查寻、自己提出问题,自主交流、自主完成讨论结果,让学生在获得有关知识的同时体验自主学习后获得成功的喜悦。在教学过程中可借助多媒体展示物质世界的丰富多彩。

教学设计中应把握好深度、难度和广度,本专题不宜过分挖掘,重点是对有关史实作常识性的介绍,揭示科学家探索物质结构的过程和方法,让学生去体验和领会,教师不宜包办代替;可结合学生在必修内容中所学的知识,让学生进行分析、对比,从而更好地认识科学发展的过程,更全面地理解现代物质结构理论。

1. 教学设计思路

教学设计中除了应向学生充分展示物质结构理论的发展过程外,还应引导学生从以下几个方面进行积极思考。

(1) 人类对原子的认识和探索已经经历了2500多年的历史,道尔顿原子论是在一个怎样的背景下提出的?

(2) 是什么原因促使意大利科学家阿伏加德罗提出分子学说的?

(3) 在道尔顿提出原子论近百年之后,汤姆生对原子论提出了怀疑,他是根据哪些实验事实提出怀疑的?

(4) 科学发展到现代,研究物质结构的手段和方法有了哪些进展?

教学过程中,可考虑适当模拟物质结构研究的发展过程,以一个个的矛盾冲突和实验事实来质疑和改进原有的原子结构理论;也可适当运用多媒体手段展示和介绍一些物质结构研究的基本方法和仪器,如红外光谱仪、扫描隧道显微镜、X射线衍射仪等,使学生能近距离了解和接触这些最新科技,使他们所掌握的知识富有现代气息。

充分利用网络资源,让学生搜寻相关的科技和人文背景资料(如超分子、超原子、纳米材料及其在生产生活中的重要应用,道尔顿、阿伏加德罗、门捷列夫等的生平事迹和格言警句等),组织必要的课堂交流和讨论,从而让学生充分感受科学家伟大的人格魅力和科学探究精神,更深刻地了解物质结构研究的重要意义。在进行相关搜索和探究时,教师要注意根据学生的认知规律来设计课堂教学的内容,并提供给学生搜寻提纲和方法,节省学生搜寻的时间,提高搜寻的效率。

在本专题的教学活动中,教师应努力发挥学生的主观能动性,引导学生主动接受和理解相关结论的形成过程,并能正确体会:科学理论的认识是一个动态的,不断扬弃的发展过程,现在学习的科学理论,仅仅代表人类对客观事物认识的阶段性水平,而人类对客观事物的认识,今后还会不断深入,不断发展。

2. 教学设计片断

片断1 “人类探索物质结构的历史”课题的引入

序号	教师活动	学生活动
1	人类对原子和物质结构的研究已有 2 000 多年历史,请列举古今中外在探索物质结构方面,有哪些重要观点对人类思想产生了重大影响?近代有哪几位科学家在探讨物质结构方面做出了杰出贡献?指出他们的姓名和所在的国家。	学生根据自己的理解,提出多位科学家的名字。
2	请学生阐述每位科学家提出的理论的主要内容,并以现代原子结构理论的观点指出该理论的局限性。	学生阐述道尔顿原子论、阿伏加德罗分子学说、汤姆生原子模型、卢瑟福原子模型、玻尔原子模型等理论并作分析。
3	请学生观看图片、录像(按化学学科发展的历史史实展示给学生)。	学生通过图片、录像片断,通过思考与讨论,提出化学科学探索的一些方法与过程。
4	教师根据前面的展示,重点讲述道尔顿的原子论,阿伏加德罗的分子学说,以及门捷列夫发现元素周期律等史实的经过和艰辛。	学生把注意力集中在化学科学发展史上科学家进行的艰难探索,领悟科学探索的艰辛与乐趣。
5	教师引导:在这漫长的探索过程中,科学家是如何来揭开物质结构的内部世界和变化规律的?请学生查询门捷列夫对 63 种互不相干的元素的分析得出原子量的周期性变化的经过。展示科学探索的机遇只会给那些有准备的并能为之付出艰辛的人。同时引入原子结构内部的探索——原子结构的演变,请学生自学了解支持原子结构模型发生演变的实验事实有哪些,对原子结构认识的演变说明了什么科学道理。	学生通过电脑网络查寻有关资料,小组讨论、质疑、争论,形成共识,进入角色。

第 1 项活动旨在培养学生对科学家敬仰和爱戴的情感,并把他们对科学发展的贡献和他们所提出的理论的实际内容有机地结合起来。

第 2 项活动旨在通过让不同的学生阐述其对各理论的认识,了解和发现学生在原子和物质结构及其认识过程中存在的误区,从而帮助学生理清思路,形成正确的结构脉络。

第 3 项活动旨在帮助学生建立必要的感性认识。

第 4 项活动旨在让学生详细了解在原子和物质结构认识过程中的矛盾冲突,推动科学和认识的发展。

第 5 项活动旨在帮助学生树立严谨务实的科学精神,并培养他们较强的逻辑思维能力。

片断2 “研究物质结构的意义”课题的引入

根据“问题解决”教学模式设计:课堂上要积极营造宽松的环境,自由讨论问题,进度和记录由学生把握,老师作为有心的旁观者,适时地对学生“卡壳”的问题进行提示,提供获取学习资料的途径和学习方法的指导。

从具体物质的结构入手,并逐渐把学生引向民生、环保、国防、航天、能源、信息技术、材料科学、生命科学等领域,全方位展开大讨论。

【教师活动】教师引导:就大家所知,碳元素有哪些单质?它们各有哪些重要性质和特点?

它们在现代科技和生产生活中各有哪些应用?

【学生活动】阅读教材,并各抒己见,阐述碳的各种同素异形体的重要性质及应用。

【教师活动】同样是碳元素形成的单质,为什么它们的性质会有如此大的不同?

【学生活动】交流、讨论造成碳的各种同素异形体性质不同的原因。

师生经过共同探究得出:碳原子间结合方式的不同,即结构的不同,造成了碳的各种同素异形体的性质的明显不同。

【教师活动】人类在探索物质结构的过程中,已经取得了哪些重要的成果?

【学生活动】学生分组讨论,并各推选一位同学发言,列举本组同学心目中物质结构探索过程中的重要成果。教师进行必要的评点。

【教师活动】21世纪科学的主要研究方向和物质结构研究之间有哪些关联?为什么说人类物质文明发展离不开化学科学的发展?

【学生活动】阅读教材,查阅资料,相互讨论,列举事实(如纳米科学的发展、基因技术的发展等)。

各小组根据自己小组查阅和讨论的结果,选代表进行发言,其他组的同学可以对某一组的发言提出质疑与补充。

【教师活动】教师在各小组讨论与交流的基础上总结:

(1) 了解人类探索物质结构的价值,认同“物质结构的探索是无止境的”观点,认识在分子、原子层次上研究物质的意义。

(2) 知道物质是由粒子构成的,了解研究物质结构的基本方法和实验手段。

(3) 认识原子结构与元素周期表的关系,了解元素周期表的应用价值。

(4) 初步认识物质的结构与性质之间的关系,通晓物质结构的研究有助于发现具有预期性质的新物质。

五、习题研究

1. 2000年7月19日,俄罗斯莫斯科郊区的杜布纳核联合研究所的科学家制成了第116号新元素,该新元素在门捷列夫元素周期表上的位置为第____周期____族。

2. 阅读原子结构模型的演变过程,联系自己的感想,写一篇小议论文。

3. 放射性同位素 $^{14}_6\text{C}$ 被考古学家称为“碳钟”,它可以用来断定古生物体死亡至今的年代。此项研究成果获得了1960年诺贝尔化学奖。

(1) 宇宙射线中高能中子碰撞空气中的氮原子后,就会形成 $^{14}_6\text{C}$ 。写出核反应方程式。

(2) $^{14}_6\text{C}$ 很不稳定,容易发生 β 衰变,其半衰期为5730年。写出它发生衰变的方程式。

(3) $^{14}_6\text{C}$ 的生成和衰变通常是平衡的,即空气中、生物活体中 $^{14}_6\text{C}$ 的含量是不变的。当机体死亡后,机体内的 $^{14}_6\text{C}$ 含量将会不断减少。若测得一具古生物遗骸中 $^{14}_6\text{C}$ 含量只有活体中的12.5%,则这具遗骸死亡至今应有多少年?

4. 近几年我国在物质结构的研究方面取得了不俗的成绩。请你查阅资料,列举我国在这方面的成就,并谈谈自己的感想。

【参考答案】 1. 7 VIA 2. 略 3. (1) $^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^{14}_6\text{C} + {}^1_1\text{H}$ (2) $^{14}_6\text{C} \longrightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$

(3) 设活体中 $^{14}_6\text{C}$ 的含量为 ρ_0 ,遗骸中含量为 ρ , $^{14}_6\text{C}$ 的半衰期为 T ,经过 n 个半衰期,则 $\frac{\rho}{\rho_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^n$, $n = 3$ 。所以 $t = nT = 3 \times 5730 = 17190$ 年。 4. 略

六、参考资料

1. 物质结构研究中的科学观和方法

眺望茫茫大海,悠悠白云,巍巍群山,面对丰富多彩的大千世界,从古到今,人们就在不断地思索:自然界的奥秘何在?从墨子(公元前468~前376年)提出的“端,体之无厚,而最前者也”,古希腊哲学家留基伯(Leucippus,公元前500~前400年)和德谟克利得(Democritus,公元前460~前370年)的朴素原子学说 to 现代的量子力学模型,人类思想中的原子结构模型经过多次演变,给了我们诸多的启迪。

(1) 化学认识中的积累与突变——量变质变观

量的不断积累,必然会引起质的变化。这不仅是科学认识发展的形式,也是化学科学认识发展的形式。原子结构的演变历史是一个典型的史实。

量的积累是指后人承前人的实验资料、研究方法和理论观念。在继承的基础上,有所创造和突破,世代相传,知识的沉积越来越丰厚。随着认识的不断发展,知识积累到一定的程度,再由时代精英的深度思维加工,认识产生飞跃,发生质的变化。道尔顿的原子论就是在继承了古希腊朴素原子思想的基础上,综合自己的研究成果,建立了“科学原子论”新体系。

突破的本质是创新。一个重要概念的提出、一个重大理论的创立、一种新方法的采用、一种重要物质结构的发现和确立,都是创造性思维的结果。汤姆生通过阴极射线实验发现了电子,得出原子中包含更小的粒子,提出原子中含有电子,并根据阴阳相生相克的对立统一观进而提出汤姆生原子结构蛋糕模型,这是对道尔顿原子结构扬弃后一次质的飞跃。卢瑟福根据新的实验事实,类比太阳系的天体运行图,提出有核原子结构模型,认为原子中有一个坚实的核心,集中了原子的绝大部分质量和所有的正电荷,原子核外有着广袤的空间,若干电子在其中运动,这是对汤姆生原子结构模型的继承和发展。

(2) 实验是科学研究的重要方法

道尔顿(J. Dalton, 1766~1844)是在综合研究了质量守恒定律、定组成定律、当量定律等众多化学理论的基础上,提出原子论的,而质量守恒定律、定组成定律、当量定律等都是在化学实验的基础上提出来的。



汤姆生

约瑟夫·约翰·汤姆生(Joseph John Thomson, 1856~1940)。当时,关于阴极射线的研究有两派学说:一派是克鲁克斯、佩兰的微粒说,认为阴极射线是带负电的“分子流”;另一派是哥德斯坦、赫兹等人的波动说,认为阴极射线是一种电磁波。汤姆生用旋转镜法测量了阴极射线的速度,否定了阴极射线是电磁波。他又通过阴极射线在电场和磁场中的偏转,得出了阴极射线是带负电的粒子流的结论,并测定了这种粒子的荷质比,与当时已知的电解中生成的氢离子的荷质比相比较,他假定

阴极射线的电荷与氢离子的电荷相等而符号相反,从而得出阴极射线粒子的质量约为氢原子的千分之一。他将放电管中充入各种气体进行试验,发现其荷质比跟管中气体的种类无关,他又不断变更金属材料作电极,其结果也不改变,由枚举到不完全归纳,由此得出科学结论:这种粒子必定是所有物质的共同组成成分。汤姆生把这种粒子叫做“电子”。汤姆生的研究成果,使人类认识了第一种基本粒子——电子,是科学发展史上的一座丰碑。



道尔顿

卢瑟福(Ernest Rutherford, 1871~1937)在放射性研究上取得的一系列重大成果,使他名声鹊起。卢瑟福对 α 、 β 、 γ 射线作了大量的研究。1908年,他测算出 β 射线的电荷获得本年度的诺贝尔化学奖。1911年在 α 散射实验基础上提出了原子的行星模型,认为原子是由原子核和核外电子组成的,原子核带正电荷,位于原子中心,电子带负电荷,在原子核外周围空间做高速运动,像行星绕太阳运转一样。



卢瑟福



伦琴

德国科学家威廉·伦琴(W. K. Röntgen, 1845~1923)在1895年对他妻子的左手骨骼拍照时,揭示出X射线的强大威力。这项具有深远意义的创新在20世纪初被应用于日常医疗,从此打开了一扇通向人体内部“宫殿”的窗户。

伦琴在做阴极射线实验时,意外地发现了一种新的射线,它具有极强的穿透力,由于不了解其本性,伦琴权且把这种引起奇异现象的未知射线称作X射线。伦琴通过一系列实验证明,这种特殊的X射线具有不同于阴极射线的新性质,它不能被磁场偏转,它不仅可以使密封的底片感光,可以穿过薄金属片、甚至在照片上能显示出衣服里藏匿的钱币。由于X射线可以穿透皮肉透视手掌、骨骼,在医疗上很有用处,因此这项发现一经公布,就引起了很大的震动,医务界和科学家随即把X射线应用于医疗诊断和物质结构的研究。威廉·伦琴因此荣获首届诺贝尔物理学奖,但是物理学家对该神秘射线的本性一无所知,直到1912年,德国科学家才认定X射线是最短的电磁波。1913年,英国的布拉格父子由此创造了一种用以阐明晶体结构的X射线光谱学。

尼尔斯·玻尔(N. Bohr, 1885~1962)1885年10月7日生于丹麦首都哥本哈根,父亲是哥本哈根大学的生理学教授。1903年进入哥本哈根大学学习物理,1909年获科学硕士学位,1911年获博士学位。由于对卢瑟福的仰慕,而加盟卢瑟福实验室做研究工作。当时卢瑟福提出的原子核式模型深陷困境,举步维艰,玻尔被卢瑟福实验室工作人的研究气氛所感染,干脆放开自己的研究课题,一头扎进原子结构的研究之中,他预感到对原子结构的深入研究将使整个物理学发生翻天覆地的变化。



玻尔

从何入手?玻尔选择了氢原子。从氢原子光谱切入,进行深入的系统研究,大胆地突破传统观念,提出了壳层原子结构模型:原子核外电子在一系列稳定的轨道上运动,每一个轨道都有一个确定能量值;核外电子在这些稳定轨道中运动,既不放能量,也不吸收能量。

(3) 科学研究和科学发现是无止境的

原子结构模型的演变告诉我们,科学发现是无止境的。从道尔顿的原子结构模型到汤姆生的原子结构模型,再到卢瑟福的原子结构模型、玻尔的原子结构模型、现代量子力学的原子结构模型等,这些模型的建立,都是人们对原子结构认识不断深化的过程。现代科学的发展,将使人类对原子和物质结构的研究进入更深的天地。从原子不可分→蛋糕模型→行星模型→壳层模型→电子云模型,从原子→电子→质子→夸克……

2. 碳及碳的重要同素异形体

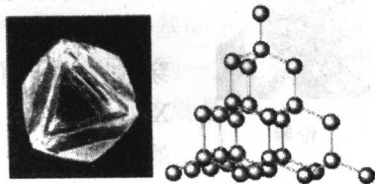
(1) 金刚石和石墨

在天然物质中,金刚石硬度最大,无色透明,光彩夺目,从远古时代起就引起人们的注意。

在伦敦大不列颠博物馆中陈列着一座公元前 5 世纪由希腊人制作的青铜雕像,雕像的眼睛就是用两颗金刚石做成的。罗马时代著名的自然科学家普里尼在《自然的历史》一书中对金刚石作了高度的评价:“不仅在各种各样的宝石中,甚至把人类所拥有的物质财富都计算在内的话,金刚石也称得上世界上最贵重的东西。在很长的一段时间里,只有少数国王才拥有这种至珍至贵的宝石。”

无色透明的金刚石质量最好,琢磨以后能加工成光彩夺目的宝石。金刚石特别硬,在摩氏硬度中它处于最高级。“他山之石(指金刚石),可以攻玉”,金刚石早就进入了华夏文化圈。金刚石常被用来切割玻璃、玻璃雕刻、切削硬质合金和钢材、研磨硬质材料、做成地质钻探钻头。

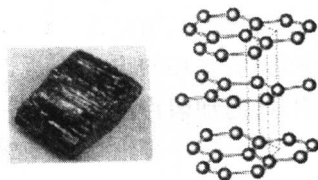
最普通的元素碳竟然能形成如此神奇的宝石。原来,金刚石晶体是最典型的原子晶体,每个碳原子都以 sp^3 杂化轨道与另外四个碳原子形成共价键,键长短,键能大,构成正四面体,这些正四面体结构向三维空间发展,构成一种坚实的空间网状晶体(如右图)。由于金刚石晶体中碳原子间以较强的共价键相结合,所有价电子都参与了共价键的形成,且形成了网状晶体,故金刚石不仅硬度大,且有极高的熔点和沸点(熔点为 3550°C , 沸点为 4827°C),不导电,难溶于溶剂。



金刚石及其晶体结构模型

早年化学家们都想知道金刚石究竟是由什么元素构成的。1797 年,英国化学家钱南把金刚石放在密封的用金子做的箱子里,使箱子里充满氧气。在金刚石燃烧后,测定箱子里气体的成分是二氧化碳。钱南的实验结果使人们大吃一惊,构成这种晶莹剔透的宝石的化学元素竟然跟最普通的黑色煤炭中的元素一样。

石墨乌黑柔软,是世界上最软的矿石。石墨的密度比金刚石小,熔、沸点却很高(分别为 3652°C 、 4827°C)。石墨晶体是一种特殊的混合型晶体(如右图),习惯把它划归为原子晶体。



石墨及其晶体结构模型

在石墨晶体中,碳原子以 sp^2 杂化轨道和邻近的三个碳原子形成共价单键,构成六角平面的网状结构,这些网状结构又连成片层结构,层与层之间则以范德华力相结合。层中每个碳原子剩余一个未杂化的 p 轨道,侧面重叠,形成大 π 键,未杂化的 p 轨道上电子在大 π 键的分子轨道中自由运行,即 π_e^- 电子可以在整个碳原子平面层中活动,所以石墨具有层向的良好导电、导热性质。

石墨的层与层之间是以分子间作用力结合起来的,作用力弱,因此石墨容易沿着与层平行的方向滑动、错位,所以石墨质软且具有润滑性。这种结构特点决定了石墨的许多用途:作电极、高温热电偶、坩埚、电刷、润滑剂和铅笔芯。

世界上金刚石的蕴藏量不多,矿床集中在少数地区。无论作为珍贵的宝石或工业用品,它都是供不应求的稀世珍宝。化学家和物理学家曾煞费苦心探索人造金刚石的制备方法,穆瓦桑就是许多研究人造金刚石的典型代表。尽管有人对这项研究课题作出过评价:“这是具有和炼金学家一样的热情,可能是一种幻想的研究。”但是穆瓦桑意志坚强,“咬定青山不放松”,制不成金刚石不罢休。

起初穆瓦桑试图利用氟代烃分解反应来制取金刚石,结果得到的都是无定形炭。他想起多布里在 1890 年对含金刚石的陨石以及地壳形成过程的研究,多布里指出金刚石必须在高温

和高压下才能形成。1892年,在法国地质学家弗里德尔向法国科学院提出的报告中,也提到他在美国亚利桑那州发现的陨石中找到过许多微细的金刚石。

穆瓦桑研究了弗里德尔所提到的陨石和陨铁,发现其中除含金刚石外,还含有石墨和无定形炭。他还研究了巴西和南非的含有金刚石的岩石,发现其中含有石墨和铁。这使穆瓦桑产生了这样的想法:石墨和无定形炭可以作为人造金刚石的原料;金刚石是在含铁的环境下形成的,因此它能够从含碳的铁中结晶出来。穆瓦桑设计了制备人造金刚石的方法:在电炉中加热石墨坩埚中的金属铁,使铁熔融,并被碳饱和;把石墨坩埚中的熔融铁倒入冷水中,含碳的铁在固化时就会像水变成冰一样,发生膨胀,而且在这样迅速冷却的过程中,外层的金属首先固化,等内部金属开始变成固体时,就会在金属内部产生很高压力。在这种条件下,一部分碳结晶而生成黑色金刚石。用不同的酸处理固化的金属块,其他物质都溶解了,最后只留下黑色的金刚石。1893年2月6日,法国科学院召开讨论这个发现的会议,报纸上也登载了这条消息,这样贵重的宝石居然能用比较简单的方法制备出来,简直不可思议,而穆瓦桑的名声再度大振。

然而,从1894年到1905年,无论是穆瓦桑本人所做的重复性实验,还是克鲁克斯等人的验证实验,得到的金刚石产量都很低,他们提出的惟一能够证明这种黑色物质是金刚石的证据,是它在氧气中燃烧时产生二氧化碳。另外,人造金刚石比天然金刚石要小得多,穆瓦桑制得的最大的金刚石直径只有0.7 mm。尽管穆瓦桑一直到他逝世前都在研究人造金刚石,但在穆瓦桑时代始终没有造出过有宝石特性的金刚石。此后,化学家、物理学家和工程师们更加系统地研究人造金刚石的条件。不少化学家曾在没有空气的条件下,加热到2000℃,金刚石就会变成石墨。如果从反应可逆性的角度来考虑,似乎也有石墨转变成金刚石的可能性,问题是怎样促进这种转变。从金刚石和石墨的晶体结构来看,金刚石中每个碳原子跟另外四个碳原子以共价键相连,碳原子之间的距离是154 pm;石墨则是层状结构,在每一层中,碳原子之间的距离是142 pm,但层和层之间的距离比较远,是337 pm。如果施加足够的压力,使石墨结构中层和层之间的距离缩短,让层和层之间的碳原子也以共价键的方式连接起来,石墨就变成金刚石了。所以从化学平衡的角度考虑,要实现从石墨向金刚石的转变,重要反应条件就是高压。

1954年,美国通用电气公司的工程师本迪和霍尔等人认为只靠短时间的高温和高压,还不能使石墨转变成金刚石,必须长时间地维持高温高压才能促成这种转变,他们在9 625 MPa和1 650℃下,经过长时间的反应,终于使石墨转变成了金刚石。

1955年,美国通用电气公司宣布试制成功人造金刚石的消息,并用以下事实证明他们得到的是金刚石:(1)用X射线衍射实验分别测定天然金刚石和人造金刚石的结构,两者的衍射图完全一样;(2)人造金刚石和天然金刚石的硬度完全一样;(3)请其他科学家用该公司设计的贝尔特装置重复做100多次试验,无一例外地获得了金刚石。这种极难得到的人造材料终于被科学家造出来了。

2001年,中国科学技术大学独辟蹊径,利用金属钠还原CO₂,在500℃、几个大气压下获得了大颗粒金刚石。

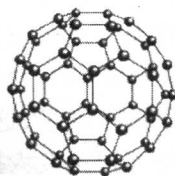
(2) C₆₀的发现和结构特点

1996年10月7日,瑞典皇家科学院决定把1996年诺贝尔化学奖授予Robert F. Curl(美国)、Harold W. Kroto(英国)和Richard E. Smalley(美国),以表彰他们发现了C₆₀。

1985年9月初,在美国得克萨斯州 Rice 大学的 Smalley 实验室里, Kroto 等为了模拟 N 型红巨星附近大气中的碳原子簇的形成过程,进行了石墨的激光气化实验。他们从所得的质谱图中发现存在一系列由偶数碳原子所形成的分子,其中有一个比其他峰强度大 20~25 倍的峰,此峰的质量数对应于由 60 个碳原子所形成的分子。

C_{60} 分子是以什么样的结构而能稳定的呢? 层状的石墨和四面体结构金刚石是碳的两种稳定存在形式,当 60 个碳原子以它们中的任何一种形式排列时,都会存在许多悬键,非常活泼,就不会显示出如此稳定的质谱信号。这就说明 C_{60} 分子具有与石墨和金刚石完全不同的结构。由于受到建筑学家 Buckminster Fuller 用五边形和六边形构成的拱形圆顶建筑的启发, Kroto 等人认为 C_{60} 是由 60 个碳原子组成的球形 32 面体,即由 12 个五边形和 20 个六边形组成的(如右图),只有这样 C_{60} 分子才不存在悬键。

在 C_{60} 分子中,每个碳原子以 sp^2 杂化轨道与相邻的三个碳原子相连,剩余的未参加杂化的一个 p 轨道在 C_{60} 球壳的外围和内腔形成球面 π_{60}^{60} 键,从而具有芳香性。为了纪念 Fuller,他们提出用 Buckminsterfullerene 来命名 C_{60} ,后来又将包括 C_{60} 在内的所有含偶数个碳所形成的分子通称为 C_{60} 分子结构示意图 Fuller,中文译名为富勒烯(也称足球烯、巴基球等)。



C_{60} 发现不久,科学家就预言了一种超级富勒烯结构的存在,它能够与通常的巴基球一道在激光气化石墨过程中形成。这种超级富勒烯中心为 C_{60} 分子,外围是由 249~960 个碳原子叠套而成,最后形成层层相套的洋葱状巴基球,多达 70 余层。近些年来,对富勒烯的研究捷报频传,碳家族研究领域的不断拓宽给人们带来了许多启发和思考。

纯净的 C_{60} 不导电,理论计算表明,它是一种类似于砷化镓的半导体,它可能成为继硅、锗、砷化镓之后又一种新型的半导体材料。 C_{60} 还是一种良好的光学材料,有可能研制出具有特殊性能的光学元件。巴基管具有与金属媲美的优良导电性能,而且其电学性质随着结构的不同而不同,能研制成具有奇异性质的电学元件。巴基管具有神奇的高强度和热稳定性,理论预言,有可能制成新型高强度的碳纤维,制成迄今世界上最细、最坚韧的导线,根据其耐高温和抗化学腐蚀的特点,可将其用于航天和计算机等高科技领域。具有多层碳原子套层结构的巴基球被视为是全碳分子中最富魅力的形态,它的应用潜力十分巨大。科学家希望通过控制同心套层的距离并设法在层间插入其他原子来获得优异性能的新材料。这种科学家设计的球中球可与我国古代的“镂雕”相媲美。



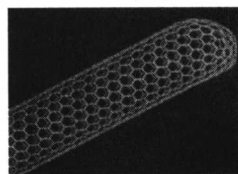
球中球



镂雕

对富勒烯进行各种化学修饰和加工的研究更是化学家的热门课题。在它的分子内嵌入某些原子或分子,或在其表面加上各种取代基,或者使富勒烯聚合形成各种聚合物,大大拓宽了富勒烯的研究领域,为化学和材料工业的发展开辟了极为广阔的发展道路。 C_{60} 中掺杂碱金属元素,能提高其超导温度,由于富勒烯超导体具有各向同性和易于加工等特点,最有可能捷足先登,成为后来居上的超导明星材料。

巴基管的发现是 C_{60} 研究中的一项重大突破性进展。全碳分子微管,都是由一些同轴圆柱形管状碳原子叠套而成,碳原子在管壁上形成六边形结构,并沿管壁方向螺旋延伸,管端由五边形“帽子”封顶,内部



是空的,管径在几到几十纳米之间,故又称作碳纳米管。这样的材料很轻,但很结实。它的密度是钢的 $1/6$,而强度却是钢的 100 倍。用这样轻而柔软、又非常结实的材料做防弹背心是最好不过的了。如果用碳纳米管做绳索,是惟一可以从月球挂到地球表面,而不被自身重量所拉断的绳索。如果用它做成地球到月球乘人的电梯,那么人们在月球定居就很容易了。纳米碳管的细尖极易发射电子,用于做电子枪,可做成几厘米厚的壁挂式电视屏,这是电视制造业的发展方向。

多年来,化学家费尽心心地寻找或合成有空隙的分子,使其能够容纳并传递不同的分子、原子或离子,富勒烯的横空出世,使化学家兴奋不已。目前化学家已经成功地向巴基管中嵌入了许多金属原子。富勒烯内腔是十分活跃的反应部位,它可以把很多中性分子捕捉到笼子里。这些富勒烯的衍生物具有很高的催化活性,可用于化学反应的高效催化剂、吸附剂、耐腐蚀的高能电池和光、声、电、激光材料等领域。

由于 C_{60} 分子中存在大量的不饱和键,因此它很容易与其他分子、原子或离子发生加成反应。现在化学家已制得了 C_{60} 与氢、卤素的加成产物。富勒烯的氢化物有可能成为储氢或高能燃料。 $C_{60}F_{60}$ 是一种超级耐高温的耐磨材料,是目前最理想的高温润滑剂。 C_{60} 分子在一定条件下还可以相互结合形成聚合物,二聚或多聚。在 C_{60} 分子中存在环形电流, C_{60} 分子的转动会产生一个磁场,由于 C_{60} 分子高度对称,转动的取向无序性,使固体 C_{60} 在宏观上不显磁性。它的二聚体则不同,转动有选择性和方向性,会产生一个显著的磁场,能扩展它的用途。

科学家设想,将巴基球制成高分子主干,再用其他元素或基团取代,可望制得新型高分子材料。在生理医学方面,还可以利用 C_{60} 内部中空来包裹放射性元素,用于治疗癌症和疑难病症,减少放射性药物对健康组织的损害。正如一位商业大家所说:“这仅仅是开始,这个分子就像某个天才工程师设计出来似的,我们现在有可能培育出一棵枝繁叶茂的分子圣诞树,可以给这棵树装饰各种官能团。”

回顾巴基球诞生和迅猛发展的历程,它为我们开辟了风光无限的崭新世界,引发人们诸多感慨和思索。首先, C_{60} 的发现打破了人们已有的知识框架,开阔了眼界,解放了思想,自然界到处都隐藏着无穷无尽的奥秘,等待着人们去发掘。即使原来被认为研究得非常透彻并当作贫瘠的荒漠之地,也极有可能还有未被开垦的新大陆。

自然界似乎在与人类捉迷藏。从 18 世纪到 19 世纪中叶,人们对空气组成和性质进行了无数次研究,都以为人类对空气了如指掌,谁知不久瑞利和拉姆塞的细心研究带出了一族稀有气体。自 19 世纪到 20 世纪 60 年代,化学家通过大量实验证明了稀有气体的惰性,断言它们不能形成任何化合物,并从理论上加以肯定。直到巴特勒特合成出第一个稀有气体化合物以后,才迫使人们改变原来的看法,很快兴起了稀有气体化学。20 世纪以来,化学家继续在化学的各个前沿奋力开拓,却没有想到碳元素本身还会有新的同胞兄弟被遗弃。1985 年, C_{60} 的不期而至,又为人们开辟了一片奇特的新天地,使本来人丁兴旺的碳家族更加春光无限。这不是历史捉弄人,而是事实再一次雄辩地说明,任何真理都是相对的,科学认识水平总是随着生产的发展科学的进步和人类认识水平的提高不断发展完善。历史再一次告诉我们,把相对真理当成一成不变的教条,是违反事物发展的本来面目和人类认识的基本规律的。批判和创新是科学发展的灵魂,科学研究就是要不断发现新事实,提出新理论,开拓新领域,还要经常审视已有理论和认识,不能被传统观念和个人偏见所蒙蔽,始终保持清醒的头脑。

历史的经验值得注意。由于客观世界的复杂性和客观规律的隐蔽性,以及人们认识上的局限性,人们不可能一下子全面把握住事物的本质。上帝从来就喜欢给人类出难题,磨砺人的意志和智慧,设下了许多迷宫和陷阱。因此人们在认识事物的过程中不可避免地要犯主观性、盲目性和片面性的错误。但是只要我们树立正确的世界观和方法论,始终保持清醒的头脑和革新精神,就可以少犯错误,少走弯路,披荆斩棘,勇往直前。

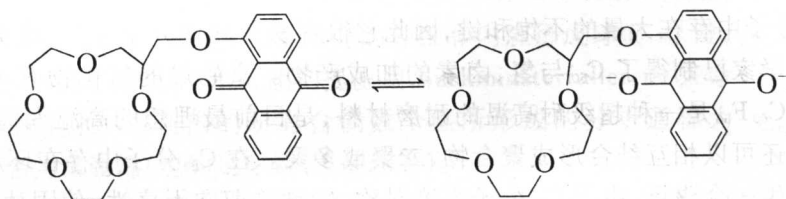
3. 剪裁妙处非刀尺

(1) 生胶的硫化

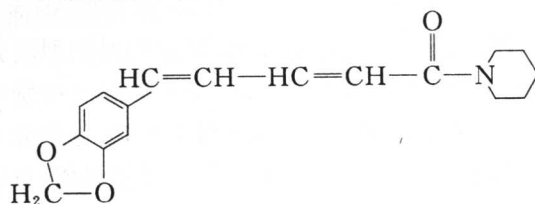
天然胶用途不大,将其与硫磺处理,成为硫化橡胶,能作轮胎。

(2) 分子开关的设计

结构稍有变化,起着开与关的作用。

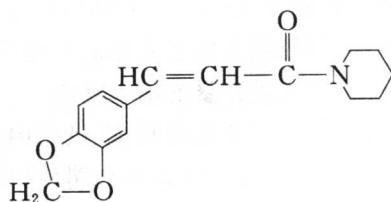


(3) 改造分子,改变其药物功能



这种白胡椒碱加工成粉末用作调味剂,有多

种药理作用,其中之一是镇痛作用。曾开发为一种口服液,用于治疗癫痫病,十分有效。但刺激性太强,患者十分痛苦。于是科学家对其进行分子结构的改造,药性不减,但口感大为改观。改造后的分子结构为



(4) 改变分子尺寸

把原材料的尺寸由微米进到纳米,声、电、光、磁等性质发生质的变化。

(5) 分子组装

C_{60} 不溶于水,易溶于有机溶剂,可是经过科学家的改造——用环糊精包裹的 C_{60} 二胺侧链合物水化溶解已获得成功。见下图:

