

白春礼 著

来自微观世界的新概念

—— 单分子科学与技术



系

白春礼 著

来自微观世界的新概念

—— 单分子科学与技术



清华大学出版社



暨南大学出版社

(京)新登字 158 号

图书在版编目(CIP)数据

来自微观世界的新概念:单分子科学与技术/白春礼著. —北京:清华大学出版社;广州:暨南大学出版社,2000.1

(院士科普书系/路雨祥主编)

ISBN 7-302-03867-8

I. 来… II. 白… III. 单原子分子 - 普及读物 IV. O561-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 28012 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研楼,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

暨南大学出版社(广州天河,邮编 510630)

<http://www.jnu.edu.cn>

责任编辑: 奚春雁

印 刷 者: 北京市丰华印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 850×1168 1/32 印张: 6.75 字数: 163 千字

版 次: 2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-03867-8/G·128

印 数: 0001~5000

定 价: 15.00 元

《院士科普书系》编委会

编委会名誉主任 周光召 宋 健 朱光亚

编委会主任 路甬祥

编委会委员 (按姓氏笔划排序)

王佛松	王 越	王 夔	方智远	卢永根
母国光	旭日干	刘大响	刘元方	刘鸿亮
关 桥	汤钊猷	许根俊	孙鸿烈	李大东
李廷栋	李依依	杨 乐	吴有生	吴德馨
何凤生	何鸣元	汪旭光	汪品先	陆建勋
陈可冀	陈运泰	陈建生	陈厚群	范维唐
季国标	金怡濂	周干峙	周永茂	周 恒
郑健超	赵忠贤	胡仁宇	钟万勰	钟南山
洪德元	姚福生	秦伯益	顾诵芬	钱七虎
徐冠华	殷瑞钰	黄志镗	龚惠兴	梁栋材

编委会执行委员 郭传杰 葛能全 钱文藻 罗荣兴

编委会办公室主任 罗荣兴(科学时报社)

副主任 何仁甫(中国科学院学部联合办公室)

冯应章(中国工程院学部工作部)

蔡鸿程(清华大学出版社)

周继武(暨南大学出版社)

总 责 任 编 辑 蔡鸿程 周继武 宋成斌

提高全民族的科学素质

——序《院士科普书系》

人类走到了又一个千年之交。

人类的文明进程至少已有六千余年。地球上各个民族共同创造了人类文明的灿烂之花。中华文明同古埃及文明、古巴比伦文明、古印度文明、古希腊文明等一起，是人类文明的发源地。

十五世纪之前，以中华文明为代表的东方文明曾遥遥领先于当时的西方文明。从汉代到明代初期，中国的科学技术在世界上一直领先长达十四个世纪以上。在那个时期，影响世界文明进程的重要发明中，相当部分是中华民族的贡献。

后来，中国逐渐落后了。中国为什么落后？近代从林则徐以来许多志士仁人就不断提出和思索这个历史课题。但都没有找到正确的答案。以毛泽东同志、邓小平同志为代表的中国共产党人作出了唯一正确的回答：中国落后，是由于生产力的落后和社会政治的腐朽。西方列强对中国的欺凌，更加剧了中国经济的落后和国家的衰败。而落后就要挨打。所以要进行革命，通过革命从根本上改变旧的生产关系和政

治上层建筑,为解放和发展生产力开辟道路。于是,就有了八十多年前孙中山先生领导的辛亥革命,就有了五十年前我们党领导的新民主主义革命的胜利,以及随后进行的社会主义革命的成功。无论是革命还是我们正在进行的社会主义改革,都是为了解放和发展生产力。

邓小平同志提出的“科学技术是第一生产力”的著名论断,使我们对科学技术在经济和社会发展中的地位与作用的认识,有了新的飞跃。我们应该运用这一真理性的认识,深刻总结以往科学技术发展的历史经验,把我国科技事业更好地推向前进。中国古代科技有过辉煌的成果,但也有不足,主要是没有形成实验科学传统和完整的学科体系,科学技术没有取得应有的社会地位,更缺乏通过科技促进社会生产力发展的动力和机制。为什么近代科学技术首先在文艺复兴后的欧洲出现,而未能在中国出现,这可能是原因之一吧。而且,我国历史上虽然有着伟大而丰富的文明成果和优良的文化传统,但相对说来,全社会的科学精神不足也是一个缺陷。鉴往开来,继承以往的优秀文化,弥补历史的不足,是当代中国人的社会责任。

在新的世纪中,中华民族将实现伟大的复兴。在一个占世界人口五分之一的发展中大国里,再用五十年的时间基本实现现代化,这又是一项惊天动地的伟业。为实现这个光辉

的目标,我们应该充分发挥社会主义制度的优越性,坚持不懈地实施科教兴国战略。

科教兴国,全社会都要参与,科学家和教育家更应奋勇当先,在全社会带头弘扬科学精神,传播科学思想,倡导科学方法,普及科学知识。科教兴国也要抓好基本建设。编辑出版高质量的科普图书,就是一项基本建设,对于提高全民族的科学素质,是很有意义的。在《院士科普书系》出版之际,写了上面这些话,是为序。

江泽民

一九九九年十二月二十三日

人民交给的课题

——写在《院士科普书系》出版之际

世界正在发生深刻的变化。这一变化是 20 世纪以来科学技术革命不断深入的必然结果。从马克思主义的观点看来,生产力的发展是人类社会发展与文明进步的根本动力;而“科学技术是第一生产力”,因此,科学技术是推动社会发展与文明进步的革命性力量。从生产力发展的阶段看,人类走过了农业经济时代、工业经济时代,正在进入知识经济时代。

知识经济时代,知识取代土地或资本成为生产力构成的第一要素。知识不同于土地或资本,不仅仅是一种物质的形态,知识同时还是一种精神的形态。知识,首先是科学技术知识,将不仅渗透到生产过程、流通过程等经济领域,同时还将会渗透到政治、法律、外交、军事、教育、文化和社会生活等一切领域。可以说,在新的历史时期,一个国家、一个民族能否掌握当代最先进的科技知识以及这些科技知识在国民中普及的程度将决定其国力的强弱与社会文明程度的高低。科技创新与科普工作是关系到一个国家、一个民族兴衰的

大事。

对于我们科技工作者来说,我们的工作应当包含两个方面:发展科技与普及科技;或者说应当贯穿于知识的生产、传播及应用的全过程。我们所说的科普工作,不仅是普及科学知识,更应包括普及科学精神和科学方法。

我们的党和政府历来都十分重视科普工作。党的十五大更是把树立科学精神、掌握科学方法、普及科技知识作为实施科教兴国战略和社会主义文化建设的一项重要任务提到了全党、全国人民和全体科学工作者的面前。

正是在这样的背景下,1998年春由科学时报社(当时叫“中国科学报社”)提出创意,暨南大学出版社和清华大学出版社积极筹划,会同中国科学院学部联合办公室和中国工程院学部工作部,共同发起《院士科普书系》这一重大科普工程。

1998年6月,中国科学院与中国工程院“两院”院士大会改选各学部领导班子,《院士科普书系》编委会正式成立,各学部主任均为编委会委员。编委会办公室在广泛征求意见的基础上拟出150个“提议书目”,在“两院”院士大会上向1000多名院士发出题为《请科学家为21世纪写科普书》的“约稿信”,得到了院士们的热烈响应。在此后的半年多时间里,有176名院士同编委会办公室和出版社签订了175本书的写作出版协议,开始了《院士科普书系》艰辛的创作过程。

《院士科普书系》的定位是结合当代学科前沿和我国经济建设与社会发展的热点问题，普及科技知识、科学方法。科学性、知识性、实用性和趣味性是编写的总要求。

编写科普书对我国大多数院士来说是一个新课题。他们惯于撰写学术论文。如何把专业的知识和方法写成生动、有趣、有文采的科普读物，于科技知识中融入人文教育，不是一件容易的事。不少院士反映：写科普书比写学术专著还难。但院士们还是以感人的精神完成自己的书稿。在此过程中，科学时报社和中国科学院学部联合办公室、中国工程院学部工作部以及清华大学出版社、暨南大学出版社也付出了辛勤的劳动。

《院士科普书系》首辑终于出版了。这是人民交给科学家课题，科学家向人民交出答卷。江泽民总书记专门为《院士科普书系》撰写了序言，指出科普是科教兴国的基础工程，勉励科学家、教育家“在全社会带头弘扬科学精神，传播科学思想，倡导科学方法，普及科学知识”，充分表达了党的第三代领导集体对科普的重视，对提高全民族科技素质的殷殷期望。

《院士科普书系》将采取滚动出版的模式。一方面随着院士们的创作进程，成熟一批出版一批；另一方面随着科学技术的进步和创新，不断有新的题材由新的院士作者撰写。因此，《院士科普书系》将是一个长期的、系统的科普工程。

这一庞大的工程,不但需要院士们积极投入,还需要各界人士和广大读者的支持——对我们的选题和内容提出修订、完善的建议,帮助我们不断提高《院士科普书系》的水平与质量,使之成为国民科技素质教育的系统而经典的读本。在科学家群体撰写科普书方面,我们也要以此为起点为开端,参与国际竞争与合作,勇攀世界科普创作的高峰。

中国科学院院长
《院士科普书系》编委会主任

路甬祥

2000年1月8日

前 言

我们生活的世界,包括我们人类自己,都是由原子和分子组成的。原子和分子的科学构成了整个自然科学的基础。几个世纪以来,人类不断地探索自然界的奥秘,在科学史上奠定了一座座丰碑。然而,科学的发展是没有穷尽的,时至今日,关于原子、分子科学与技术方面的研究,仍为科学的前沿,不断涌现出意义深远的新思想、新成就。20 世纪中叶,有人曾经预言科学家不可能在真正意义上观察和研究单个的原子和分子,但现在,人类已实现了观察和操纵单个原子和分子的梦想。单个原子和分子的科学与技术是跨世纪的科学概念。

本书共分 9 章。第 1 章从古代原子论谈起,讲述原子理论的发展史,力图给读者关于原子、分子的基本概念;第 2 章讲述大量原子和分子的特征与宏观研究方法,这些规律和研究方法目前仍被广泛采用;第 3 章和第 4 章引入了目前属于前沿的单分子科学的概念和研究方法;第 5 章至第 9 章分别介绍在表面上发生的单分子化学和物理过程、单分子的电子学性质、单个生物大分子的性质、单分子谱和单分子检测,以及单原子和单分子的操纵等方面科学的最新进展。

原子和分子是如此之小,用肉眼和普通的显微镜看不见,摸不到,其抽象的概念很难被不从事该领域研究的人所接受。虽然我希望能用较为通俗易懂的语言介绍这一科学

前沿,但由于时间的仓促和水平的局限,只能将目前这本书奉现给读者,敬祈读者批评指正。

在本书写作过程中,我的博士研究生苏明同志花费了大量的时间和精力,清华大学出版社奚春雁编辑认真编辑、校对文稿并协助制图。没有他们的重要贡献,本书将难以面世。中科院办公厅欧龙新同志、化学所王乃新同志在文稿的打印和文献插图的安排方面给了我很大帮助。《院士科普书系》编委会和清华大学出版社对本书的出版给予诸多关心、支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

白春礼

1999年4月6日于北京中关村

目 录

1 构成物质的基本单位——原子

1.1 古代原子论	2
1.2 近代原子论	3
1.3 现代的原子理论	4
1.4 原子和分子	6
1.5 分子的结构和性质	7

2 大量原子和分子的特征与研究方法

2.1 气体分子运动论	11
2.2 麦克斯韦分布	13
2.3 热力学第二定律	16
2.4 分子小妖和分子棘轮	17
2.5 原子和分子存在的证据	19

3 单分子科学的引入

3.1 原子和分子研究中的共性和个性	24
3.2 单分子科学的研究内容	26
3.3 单分子科学的研究意义	29

4 单分子科学的研究方法及设备

4.1	扫描隧道显微镜	31
4.2	原子力显微镜	34
4.3	光学镊子	38
4.4	近场光学显微镜	40
4.5	其它各种光学显微镜	42
4.6	分子有序膜的自组装	43

5 表面单分子的化学和物理过程

5.1	神奇的微观表面	46
5.2	表面缺陷的修复	49
5.3	环状分子的吸附	50
5.4	链端效应	51
5.5	奇怪的比赛	53
5.6	卤素分子掉头	54
5.7	物理吸附向化学吸附的转化	55
5.8	吸附态单分子的化学反应	57
5.9	化学反应的聚焦	60
5.10	单分子试管	61
5.11	加速混合	64

6 单分子的电子学性质

6.1	量子效应	66
6.2	单电子隧穿现象	67
6.3	单个纳米粒子上的单电子隧穿	68
6.4	单个小分子的电子学特征	69
6.5	量子导线	73

6.6	单电子器件的雏形	82
7	单个生物大分子的物理化学	
7.1	单个酶分子的活性	91
7.2	单根 DNA 分子的物理化学性质	96
7.3	单根 DNA 分子的溶液动力学	105
7.4	DNA 物理图谱的测定	113
7.5	肌肉运动的本质	114
8	单分子谱和单分子检测	
8.1	单分子谱和单分子检测	122
8.2	单个分子的力学谱	123
8.3	单个生物分子的力学谱	133
8.4	单分子振动光谱	140
8.5	单分子的近场光谱和检测	144
8.6	基于扫描探针技术的单分子检测	149
8.7	经典的单分子检测方法	153
9	单原子和单分子的操纵	
9.1	用 STM 操纵单原子和分子	162
9.2	更灵巧和更快捷的操纵	171
9.3	激光镊子的应用	173
9.4	单根 DNA 分子的操纵和剪切	175
9.5	碳纳米管	177
9.6	单分子机械学	184
	参考文献	191

1

构成物质的基本单位 ——原子

一尺之捶，日截其半，万世不竭。

——庄子

科学，尤其是自然科学的一个重要目的就是不断探索自然的本质，寻求科学发展和人类进步的原动力。人类认识自然的过程是首先描述简单现象，理解现象的内在规律，然后在总结各方面特征的基础上形成初步的定量规律，并上升为初步的统一理论。在此基础上重复发现新现象、搜集基本材料的过程，为揭示更加深刻的原理奠定基础。人类对微观世界的探索也正是遵循着这样的途径进行的。从古希腊原子概念的提出，到今天形成科学的原子分子理论，原子分子科学构成了整个自然科学的基础，其科学概念已经深入到人们日常生活的各个方面，发