



谢家麟 编著

加速器与科技创新



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

加速器与科技创新/谢家麟编著. —北京:清华大学出版社;广州:暨南大学出版社,2000.12

(院士科普书系/路甬祥主编)

ISBN 7-302-04200-4

I. 加… II. 谢… III. 加速器—普及读物 IV. TL5-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 83429 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦, 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: 蔡鸿程

印 刷 者: 北京市清华园胶印厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 850×1168 1/32 印张: 6.5 字数: 129 千字

版 次: 2000 年 12 月第 1 版 2000 年 12 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-04200-4/G·167

印 数: 0001~5000

定 价: 12.00 元

《院士科普书系》编委会(第二届)

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 (两院各学部主任、副主任)

陈佳洱	杨 乐	闵乃本	陈建生	周 恒
王佛松	白春礼	刘元方	朱道本	何鸣元
梁栋材	卢永根	陈可冀	匡廷云	朱作言
孙 枢	安芷生	李廷栋	汪品先	陈 颢
王大中	戴汝为	周炳琨	刘广均	杨叔子
钟万勰	关 桥	吴有生	刘大响	顾国彪
陆建勋	龚惠兴	吴 澄	李大东	汪旭光
陆钟武	王思敬	朱建士	郑健超	胡见义
陈厚群	陈肇元	崔俊芝	张锦秋	刘鸿亮
方智远	旭日干	周国泰	王正国	赵 铠
钟南山	桑国卫			

编委会执行委员 郭传杰 常 平 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 周先路(中国科学院学部联合办公室)

白玉良(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 策 划 罗荣兴 周继武 蔡鸿程

总 责 任 编 辑 周继武 蔡鸿程 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 6000 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。

15 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 14 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 80 多年前孙中山先生领导的辛亥革命,就有了 50 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世界中大国里,再用 50 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。

A handwritten signature in black ink, reading '江泽民' (Jiang Zemin), written in a cursive style.

1999年12月23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

作 者 序

带电粒子加速器(简称加速器)原本是核物理、粒子物理(高能物理)实验研究的工具,但后来发现它有多种国民经济的应用。它是多种科学技术的综合体,涉及粒子物理学、粒子动力学、计算机控制、数据获取和处理、高频、微波、磁铁、电源、自控、超导、精密加工、超高真空等方面。自它出现60余年来,已经成为加速各种带电粒子(如电子、正电子、质子、反质子、重离子等等)、形式多样(如直线、圆型、环型,室温、超导,高能、低能,弱流、强流等等)、规模不等(如大到周长几十公里、小到可以发射到空间等等)的实验装置,大大推动了核物理、粒子物理和各种应用技术的发展。迄今在加速器、探测器和基本粒子理论和实验方面,已经获得诺贝尔物理奖数十次,这说明加速器发展对基础研究做出了巨大的贡献。事实上,加速器的发展对国民经济建设的许多方面也同样有着重要的贡献。

就加速器作为高能物理研究的工具而言,60多年来,它的能量提高了近9个数量级,单位能量的造价降低了大约4个数量级,这么惊人的发展速率可以说完全是科技创新的结果。一部加速器发展史实际上就是一部科技创新史。当然,其它科学技术的发展也莫不依赖于创新。本书的中心思想就是想以加速器发展的过程,说明创造、发明对科技发展的巨大推动作用。一种科技成果付诸应用之后,首先要经历改

进、提高的过程,使性能达到极限,然后就必须有根本性的发明、创造,突破原来的极限,以便保持它的持续发展,这是事物发展的普遍规律。

把一个包含高精尖科技内容的物理实验装置用通俗的语言来描述,介绍它们的工作原理、具体结构和有关发明、创造的历程,又要避免对读者有过高的物理、数学等基础知识的要求,这对笔者来说实在是一个严峻的挑战。在此我们尝试如下的做法,即把全书分为3章:首先在第1章中简要介绍加速器产生的背景与应用,概述其发展历史、对人类认识自然的贡献,以及在国民经济领域的重大应用。然后在第2章介绍加速器的基本知识,分类讨论一些重要的加速器的工作原理、结构和改进、提高、发明、创造的具体情况。最后在第3章讨论今后发展方向和科技创新规律。新原理和新技术是保持加速器能量持续发展的唯一出路,它对创新力度有更大的要求。这样就促使我们对科技创新的一般规律加以探讨。为了便于不同程度的读者阅读,又根据内容性质分为两个相对独立的部分。一是主题部分,包括第1章和第3章3.4、3.5两节,主要介绍加速器发展的历史背景与目前现状,工作原理与具体应用,对人类认识自然和社会发展的贡献和对发明、创造的普遍规律的探讨。另一部分是可以略读或选读的部分,专业知识性较强,较详细地讨论了性能限制的机理和突破限制的关键,可作为有兴趣的读者进一步了解的参考。我们希望这样的安排能够较好地适应不同读者的需要。

本书的第2章由汪伯嗣执笔,他为本书的完成做出了重要的贡献。部分插图由朱俊彪等绘制。美国斯坦福直线加

速器中心潘诺夫斯基(W. K. H. Panofsky)教授和柯奈尔大学提格尔(M. Tigner)教授都为此书提供了一些有关的参考材料,在此一并致谢。

谢家麟

目 录

1 加速器产生的背景与应用	
1.1 人类感官功能的延伸	2
1.2 加速器——人类认识微观世界的手段	5
1.3 加速器的基本原理	8
1.4 加速器的粒子物理实验研究应用	11
1.5 加速器的非核应用	27
1.6 发展加速器研制的全面意义	42
2 粒子加速器的基本知识和创新历程	
2.1 有关粒子加速器的一些预备知识	45
2.2 粒子加速器的早期发展——直流高压 加速器	54
2.3 高压击穿限制的突破——回旋加速器的 发明	72
2.4 用涡旋电场加速粒子的加速器 ——感应加速器	84
2.5 粒子加速器发展史上的第一次革命——自动 稳相原理的发现	95
2.6 弱聚焦同步加速器——下一次粒子加速器革 命的前奏	115
2.7 粒子加速器发展史上第二次革命——强聚	

焦原理的采用	122
2.8 射频直线加速器——向超高能发展的方向	133
2.9 粒子加速器发展史上第三次革命——对撞机的出现	146
3 今后发展方向与科技创新规律	
3.1 21 世纪初行将出现的高能加速器	152
3.2 对撞机向更高能量发展的制约因素	160
3.3 实现高加速梯度的新原理	167
3.4 科技创新的规律的探讨	178
结语	186
参考文献	187

1

加速器产生的背景 与应用

展现在我们面前的大自然，是一个五光十色，丰富多彩的世界：有花草树木，鸟兽虫鱼；有高山大川，湖泊海洋；有太阳，月亮，星辰，银河系和无数其它的星系等。自有人类文明以来，人们总是对周围的自然界怀有极大的兴趣，产生了许多疑问，其中最基本的有：物体纷繁、空间浩瀚的宇宙是怎样形成的？若把这无所不包的宇宙比作一座大厦，那么构成这座大厦的基本“砖石”又是什么？有历史记载以来，人们不断地思考、探索，企图找到组成这纷繁的物质世界的最基本的结构。古代哲人只能凭他们直观所看到的，身体所能感受的自然界

人们用自己发明创造的工具延伸了自身感官的功能,用以观察物质的宏观和微观世界,为对自然的探索开辟了道路。

的现象去推断。例如古代希腊的哲学家,亚里士多德(Aristotle)认为大自然中性状各异的物体是由四种基本元素构成的,即:土、火、空气和水。中国古代也有类似的概念,认为大自然中万物是由五种基本元素构成的,即:金、木、水、火、土。随着近代科学技术的发展,人们开始采用实验的方法检验思维的结论。1608年荷兰一个光学作坊里的年青学徒偶然把两片玻璃透镜放置在一条直线上,相距一定的距离,观察远方的物体时,发现有放大作用。因为这个现象有潜在的军事价值,当时的荷兰政府曾加以保密。但不久,这个消息还是传到伽利略(G. Galileo)那里。伽利略在此基础上制造出了望远镜和显微镜,用于观察天体和微观物体。自从伽利略发明了望远镜与显微镜以后,人们便能在宏观物质世界观察到以前看不到的星体,能看清以前人们在微观物质世界肉眼看不见的微生物,如细菌等。这在科学发展史上是一个重要的里程碑,人们开始了用自己发明创造的工具延伸了自身感官的功能,用以观察物质的宏观和微观世界,它为人类以后对自然的探索开辟了道路。

1.1 人类感官功能的延伸

显微镜能看清的最小物体的尺寸,我们称之为显微镜的分辨率。它与入射到被观察物体的光线的波长有关。普通光学显微镜用的是自然可见光。可见光最短的波长约为 $0.4\ \mu\text{m}$ (μm 即微米, 10^{-6} 米)。人们通过显微镜能观察到最小物体的尺寸只能是人射到被观察物体上光的波长的尺度。