

国家重点图书

丁大钊 著

中子

—— 打开原子能时代的金钥匙



清华大学出版社
暨南大学出版社

系书

丁大钊 著

中子

—— 打开原子能时代的金钥匙



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

中子：打开原子能时代的金钥匙 / 丁大钊著. -- 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 7-302-04199-7

I. 中… II. 丁… III. 中子-普及读物 IV. 0572.34-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 83486 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：** 6.375 **字数：** 128 千字

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

书 号： ISBN 7-302-04199-7/G·166.

印 数： 0000~5000

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发展中大国里,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

前 言

1945 年在美国新墨西哥州沙漠中核爆炸升起的蘑菇云和 1954 年在苏联莫斯科南郊奥布宁斯克建成示范性核电站,表明人类已掌握了释放与利用核能的途径,向世界宣告人类已进入了原子能时代。核武器、核电站和放射性同位素与射线应用是一个国家掌握核科学、核技术能力的标志,成为综合国力的体现,并在国际政治、经济关系中发挥重要作用。

在 20 世纪初,对原子核的科学研究是少数科学家在实验室中对“稀有”自然现象的纯粹基础研究。虽然它处在物质科学研究最前沿的地位,但没有人能预见其重大的实用价值。原子核科学从纯粹研究转化为一门具有重大实用价值的学科的转折点,是因 20 世纪 30 年代发现了中子。正是由于发现了中子,才导致核科学研究中两个能迅速转化为生产力的重要发现:核裂变——核能的释放和中子引起核嬗变——高效地产生人工放射性同位素。核科学的发展及其成果向生产力的转化,也促进与推动了许多相关学科与技术的发展,例如材料科学、高功率电磁元件科学、自动控制、信息获取与处理等等。

在 20 世纪已过去之时,我们回顾这个科学、技术突飞猛进的百年,可以断言:中子的发现,是对人类社会文明进步与科技发展迅速产生深远影响的少数几项物质科学基础研究

的成果之一。

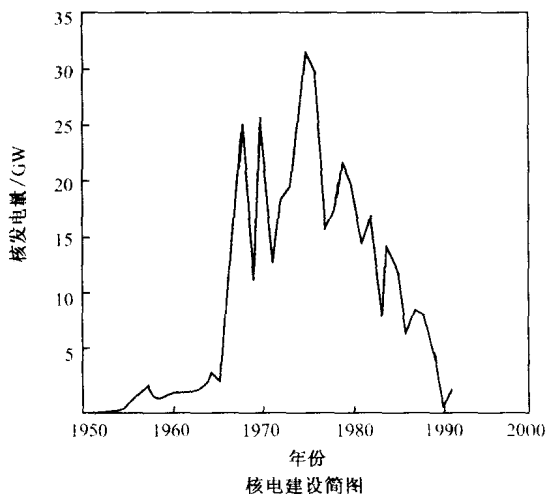
当我们研讨发现中子和中子引起核裂变现象的历程,以及核科学研究成果转化为生产力的过程,也许可以提出下列几个观点:

一,任何自然科学中新现象的发现总要突破人们原有的旧观点,而冲破旧观念是非常不容易的,以致有一些科学大师,尽管他们可能已经站到了这个发现的门槛前了,也会与这种重大发现失之交臂。如果不是卢瑟福关于原子核里可能存在“中性粒子”的创新思想,恰德威克也可能不会如此迅速地在前人发现的种种矛盾中找到新的思路,并用精巧的实验证实中子的存在;如果没有迈特纳大胆地突破“核液滴”只会蒸发而不能破碎的思想,则哈恩的“困惑”也不会如此迅速地得到解决。

二,重大的发现总是在有坚实的研究基础、良好的科学传统、掌握当时最先进的实验手段与技术和广泛的创新科学思想交流的实验群体中产生的。20世纪30年代在“中子科学”中最具创造性的几个研究中心:卢瑟福的开文迪许实验室、约·居里的镭学研究所、哈恩与迈特纳的威廉皇家化学研究所及费米在罗马大学的实验室,都是当时世界上顶尖的研究集体,都掌握着最先进的物理与化学研究的手段,有着最迅速的信息交流与理论探讨的渠道。

三,社会发展的需要是科学发现的成果转化为生产力最强大的推动力。第二次世界大战的军事、政治需要,加速了核武器的研制;20世纪70年代石油危机推动了世界范围内核电站的大规模建设。我们可从下页图中得到启示。90年代以来,核电建设似乎是个低谷,其中最重要的原因不在于

核能技术的本身,而是由于石油危机的缓解引起的经济效益的考虑。如果说,几十年来核武器与核电站的发展是核科学、核技术适应了社会发展的需要,则当人类进入 21 世纪之时,社会发展正面临一系列新的矛盾、需要与挑战,核科学、技术应如何在适应这些新的需求中得到进一步发展,是应该认真探讨的问题。



中子是物质结构链中各个层次中的重要环节,上连着复杂多彩的以原子为基本单元的物质,下连着以各种粒子为单元的基础层次。中子在原子核层次上所引起核的种种变化,则是核能应用的物理基础。所以这本书冠以《中子——打开原子能时代的金钥匙》的书名。

本书企图涵盖中子科学的总体内容,撰写体例除 1、2 部分作为全书的总纲,以回顾发现中子的历史及它引起原子核

变化的基本图像作为全书的基础,其他各部分相对独立。3、5、6部分分别讲述了中子在核能研究与开发、中子射线在研究复杂物质结构及中子在许多实用领域中的应用,各部分单独成篇,并无前后文相衔接的逻辑关系。第7、8两部分介绍了中子与粒子物理、宇宙学和天体物理的关系——中子的影响跨越了最大的时、空范围,阅读中可以作为一般性的知识介绍来对待。第4部分则是一些技术性问题的介绍,放在这本书中是为了便于读者对中子科学的基本技术侧面有所了解。

本书除介绍有关的基本知识外,还有一些讨论与评述,反映了作者的观点,尤其是对今后中子科学发展中可能“热点”的讨论,更具有个人的色彩,仅供读者参考与评论。

丁大钊

目 录

1 破解原子核构造之谜——中子的发现	
1.1 原子与原子核	1
1.2 原子核构造之谜	6
1.3 令人费解的铀射线——约里奥·居里的 遗憾和恰德威克的成功	8
1.4 原子核的构成和核物理研究的新时期	12
附注 1.1 放射性衰变的基本知识	15
附注 1.2 几种射线探测器	17
2 研究原子核的探针——中子核物理	
2.1 产生放射性同位素——原子核嬗变	21
2.2 开启释放原子能的大门——原子核裂变	27
2.3 给原子核画像——中子核反应	33
附注 2.1 中子的分类	47
3 核能——21 世纪的主要能源	
3.1 核能是高效、清洁与安全的能源	49
3.2 链式反应——中子的慢化与中子循环	55
3.3 核电站用反应堆简介	60
3.4 核能可持续发展面临的问题——先进核能 系统与建立 21 世纪的核能范式	65

3.5	核聚变——人类能源的最终解决途径	75
3.6	神奇的天然反应堆	78
附注 3.1	核反应堆分类及其用途	80
4	从原子核里释放并追踪中子——中子源与 中子探测器	
4.1	几种常用的中子源	82
4.2	探测中子的方法	93
5	研究复杂结构物质的特殊光线——中子散射	
5.1	中子的波动性	99
5.2	物质中原子的阵列——中子衍射	104
5.3	物质中原子的振动——中子能谱学	110
6	中子在各种实用领域中的应用	
6.1	中子应用的物理基础	116
6.2	中子引起原子核嬗变的应用	119
6.3	中子生物学效应的应用	129
6.4	中子在工业、技术领域的应用	137
6.5	展望与讨论	143
7	一个检验微观世界基本规律的实验室线 ——中子的性质	
7.1	中子的粒子性质	145
7.2	中子内部的结构	148
7.3	中子性质与基本规律	151