

国家重点图书

王淦昌 著

人造小太阳

—— 受控惯性约束聚变



暨南大学出版社
清华大学出版社

系

王淦昌 著

人造小太阳

—— 受控惯性约束聚变



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

人造小太阳: 受控惯性约束聚变/王淦晶著. —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 7-302-04198-9

I. 人… II. 王… III. 惯性约束-受控聚变-普及读物

IV. TL6-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 83485 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: 徐颖

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: 9.5 字数: 187 千字

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

书 号: ISBN 7-302-04198-9/G·165

印 数: 0001~5000

定 价: 15.00 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,而未能在我国出现,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), the former President of the People's Republic of China. The signature is written in a cursive, calligraphic style.

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

代 序

翻开 20 世纪的中国科学技术史册,我们会看到一个闪光的名字——王淦昌。他的科学生涯,和中国科技事业的发展、壮大紧密相联;他的科学功绩,深深地镌刻在中国科技史上。

王淦昌院士是我国核科学的奠基人和开拓者之一,他对核物理学的贡献突出地表现在以下几个方面:1941 年,他独具卓见地提出了验证中微子存在的实验方案,并在日后得到了科学验证;1953 年到 1956 年,他领导建立了云南落雪山宇宙线实验站,利用多板云室和磁云室获得了一大批奇异粒子实例,使我国宇宙线研究进入当时国际先进行列;1959 年,他在前苏联杜布纳原子核研究所领导一个科研小组,发现了世界上第一个荷电负超子——反西格马负超子,把人类对物质微观世界的认识向前推进了一大步;1964 年,他提出了用激光打靶产生中子的建议,使我国在激光惯性约束聚变方面的科研工作走在当时世界的前列,他是世界激光惯性约束聚变理论和研究的奠基人之一;1984 年,他又领导开辟了氟化氪激光惯性约束聚变研究的新领域。

在 20 世纪 60 年代到 70 年代,王淦昌院士参与了我国原子弹、氢弹从原理的突破、武器化到地下核试验研究的组织与领导工作,是我国核武器研制的主要奠基人之一。他在爆轰试验、固体炸药工艺研究和新型炸药研制、高功率脉冲

技术研究,以及射线测试和脉冲中子测试等方面,指导解决了一系列关键技术问题。在开展地下核试验过程中,他耗费了巨大的精力和时间,研究和改进测试方法,使我国仅用很少次数的试验,就基本掌握了地下核试验测试的关键技术。

由于对我国科技事业和国防建设事业的卓越贡献,王淦昌院士曾作为第一获奖人获得两项国家自然科学一等奖、一项国家科技进步特等奖,还获得首届何梁何利基金成就奖(优秀奖)及其他多项重要奖励。

王淦昌院士长期热心于推动科学普及事业,认为科学普及是科教兴国不可或缺的重要组成部分。他曾多次呼吁要重视和加强科学普及工作,以提高全民族的科学素养。在晚年,他最关心的是与人类未来的能源问题密切相关的惯性约束聚变的研究工作。他一直有一个愿望,就是用比较通俗易懂的语言,把惯性约束聚变介绍给广大读者,使大家都来了解、关心、支持惯性约束聚变研究。1998年7月,他与钱学森、吴阶平等科学家一起,向出席我国首届“科教兴国与发展科普事业战略研讨会”的代表们发出了热情洋溢的祝贺信。同月,他在获悉中国科学院和中国工程院决定组织编写《院士科普书系》后,非常高兴,也非常激动,他在出版协议书上欣然签字,并选定我作他的写作助手,商定了书名,确定了各章节的内容。1998年9月,他在确诊患了胃癌住进北京医院后,仍念念不忘惯性约束聚变研究,还再三叮嘱我一定要把签了出版协议的科普书写出来。但不幸的是,书稿尚未写完,王老就于1998年12月10日去世了。之后,在《院士科普书系》编委会和清华大学出版社、暨南大学出版社的支持下,我终于实现了王老的心愿,写出了这本《人造小太阳——

受控惯性约束聚变》。

本书紧扣“太阳”这一主题,以“太阳的自述”为开篇,接着围绕“太阳能量的来源”和“人造小太阳”,深入浅出地介绍了热核聚变反应和受控惯性约束聚变的概念,然后着重介绍了实现人造小太阳,即建造惯性约束聚变电站所涉及的科学和技术问题——如何点燃小太阳,小太阳中的物理过程是怎样的,如何孕育小太阳的胚胎,小太阳在什么样的熔炉中产生,小太阳何以能健康成长等。书中附有大量的示意图,将会帮助读者理解所述内容。书中还介绍了王淦昌院士的有关科研经历,相信一定会对青少年有所启迪、有所教益。

由于受控惯性约束聚变的内容丰富,涉及学科面广,加之我对科学问题的理解和写作水平有限,书中难免有不当之处,敬请读者批评指正。

中国科学院院士丁大钊、王乃彦、贺贤土对本书的写作和出版自始至终给予鼓励、关心和支持,在此一并向他们表示衷心的感谢。

编者 常甲辰

1999 年 6 月

目 录

1 太阳的自述

1.1 我的年龄、“籍贯”、“身高”和“体重”	1
1.2 我的前半生	3
1.3 我的发光发热之谜	7
1.4 我的后半生	9
1.5 我的神奇	11

2 能源利用与热核聚变反应

——太阳能量的来源

2.1 能源——人类须臾不可离开的东西	14
2.2 人类使用的几种能源	17
2.3 我国的能源状况	23
2.4 原子核与核能	26
2.5 热核聚变反应研究	36
2.6 核聚变能是最理想的能源	52

3 受控惯性约束聚变

——人造小太阳

3.1 惯性约束聚变	56
3.2 受控惯性约束聚变	60

3.3	惯性约束聚变中的劳逊判据和能量增益	66
3.4	靶丸的向心聚爆	71
3.5	驱动束流的参数与条件	75
3.6	激光和粒子束作为驱动手段的比较	78
3.7	惯性约束与磁约束的比较	82
3.8	惯性约束聚变研究涉及的课题	85
4	惯性约束聚变用高功率激光	
	——点燃小太阳的手段(I)	
4.1	激光技术的诞生	88
4.2	激光器的基本原理	90
4.3	惯性约束聚变应用的高功率激光器	106
5	惯性约束聚变用粒子束	
	——点燃小太阳的手段(II)	
5.1	脉冲功率加速器——产生带电粒子的装置	132
5.2	轻离子束的产生	136
5.3	轻离子束的聚焦和传输	140
5.4	重离子束	145
6	驱动束与靶物质的相互作用	
	——小太阳中的物理(I)	
6.1	激光的能量沉积	148
6.2	离子束的能量沉积	165
6.3	等离子体中的能量输运	166

7 靶丸聚爆物理学

——小太阳中的物理(Ⅱ)

7.1 等离子体流体力学	176
7.2 冲击波的传输和等熵压缩	179
7.3 流体力学效率和不稳定性	181
7.4 靶丸的自加热和热核燃烧波传播	185
7.5 两种靶丸聚爆方式:直接驱动和间接驱动 ...	187

8 靶丸的设计与生产

——小太阳胚胎的孕育

8.1 靶丸设计的一般要求	194
8.2 靶丸设计的制约因素	195
8.3 一些特殊靶的设计	201
8.4 靶丸生产的某些技术	210
8.5 靶丸特性的检测技术	221

9 靶丸聚爆特性的诊断

——为了小太阳健康成长

9.1 聚爆诊断的一般要求	223
9.2 光学诊断	225
9.3 X射线的诊断	230
9.4 发射粒子的诊断	243
9.5 燃烧过程的测量	251