



科学文化译丛

王春法 主编

实验是如何终结的？

【美】彼得·伽里森 著

董丽丽 译

李正风 校



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



科学文化译丛

王春法 主编

实验是如何终结的？

【美】彼得·伽里森 著

董丽丽 译

李正风 校



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书系“科学文化译丛”之一。作者聚焦于“理论如何从现代物理实验室产生”这一问题,通过对20世纪三个不同时期的微观物理学实验的刻画,勾勒出物理学实验中理论、仪器与实验三种文化之间相互交织的复杂关联,展现了物理学实验由工作台逐步发展为耗资不菲的大型加速器的物质文化史。本书兼具历史及哲学的分析视角,适合具有相关学科知识背景的从业者,以及对历史、哲学和实验室文化感兴趣的读者。

HOW EXPERIMENTS END

Licensed by The University of Chicago Press, Chicago, Illinois, U. S. A.

Copyright © 1987 by The University of Chicago. All rights reserved.

Translation copyright © 2017 by Shanghai Jiao Tong University Press

本书中文简体版专有出版权属上海交通大学出版社,版权所有,侵权必究。

上海市版权局著作权合同登记号:图字09-2016-387

图书在版编目(CIP)数据

实验是如何终结的? / (美)彼得·伽里森著;董丽丽译.

—上海:上海交通大学出版社,2017

(科学文化译丛)

ISBN 978-7-313-15057-8

I. ①实… II. ①彼…②董… III. ①科学实验—研究

IV. ①N33

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第119977号

实验是如何终结的?

著者: [美]彼得·伽里森

出版发行: 上海交通大学出版社

邮政编码: 200030

出版人: 郑益慧

印制: 常熟市文化印刷有限公司

开本: 787mm×960mm 1/16

字数: 328千字

版次: 2017年1月第1版

书号: ISBN 978-7-313-15057-8 N

定价: 78.00元

译者: 董丽丽

地址: 上海市番禺路951号

电话: 021-64071208

经销: 全国新华书店

印张: 27.5

印次: 2017年1月第1次印刷

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 0512-52219025

“科学文化译丛”编委会

主 编：王春法

副 主 编：罗 晖 王康友

编 委 会（按姓氏拼音）：

郭 哲 韩建民 郝刘祥 李正风 刘佩英
颜 实 袁江洋 郑 念 郑益慧

审稿专家组（按姓氏拼音）：

郝刘祥 胡化凯 胡志强 李正风 刘 兵 刘孝廷
任定成 苏 湛 孙小淳 汤书昆 王宏伟 颜 实
袁江洋 张大庆 张新庆 郑 念 周 程

编委会办公室：

王丽慧 李广良 李 旦 陆 烨

建设科学文化,增强文化自信 (代序)

一

科学文化本质上是一套价值体系、行为准则和社会规范,蕴含着科学思想、科学精神、科学方法、科学伦理、科学规范、价值观念与思维方式,是人们自觉或不自觉遵循的生活态度和工作方式。在现实生活中,科学文化可以进一步细分为价值理念、制度规范、活动载体、基础设施四个层面,其中价值理念和制度规范属形而上层面,活动载体和基础设施属形而下层面,但无论在哪一个层面上,科学精神都发挥着主导和核心作用,它源于人类的求知、求真精神和理性、实证的传统,并随着科学实践不断发展,内涵也更加丰富。^① 作为人类文明形态演进的高级形式,科学文化始终以理性主义为特征、以追求真理和至善为目的,在汇聚人类科学思维与思想成就的基础上,依托逐步形成的系统化科学知识体系及其应用的制度化形式,在科学发展的历程中逐

^① 中国科学院学部主席团:中国科学院关于科学理念的宣言,2007年2月26日。

步凝炼沉淀、演进和发展,并对一个国家和民族的现代化进程产生着越来越重要的影响。从一定意义上来说,科学文化是塑造现代社会和促进科技发展的重要力量,科技事业的发展又反过来推动着科学文化的兴起和发展进程。

科学文化因科学的产生而产生,因科学的发展而发展,没有科学就没有科学文化。科学作为系统化的知识体系,同时也是融知识、观念、精神于一体的独特文化形态。回顾近现代科学发展历程,它发轫于16、17世纪欧洲的科学革命时代,伽利略、牛顿、笛卡尔等天才人物取得的伟大成就明确了人在宇宙中的真实位置,使自然科学成为重要的文化力量;科学承认自然规律而否认造物主的设计,破除了许多迷信和传统信仰;科学提倡观察和实验,反对崇尚权威,使自由民主的观念深入人心。进入19世纪特别是20世纪以来,现代科学蓬勃发展,科学对社会影响的程度更加全面深入,科学文化的认知功能、方法论功能、创造功能、整合功能、渗透功能日益凸显,并在改革教育模式、优化思维方式、培育先进文化、促进人的全面发展等诸多方面,越来越充分地展现出它的时代价值,成为社会文化系统的重要组成部分。正因为如此,爱因斯坦明确指出:“科学对于人类生活的影响有两种方式。第一种方式是大家熟悉的,科学直接地并且在很大程度上间接地生产出完全改变了人类生活的工具。第二种方式是教育性的,它作用于心灵。尽管草率看来,这种方式不大明显,但至少同第一种方式一样锐利。”从这个意义来说,科学不仅创造了物质财富,也创造了全新的文化形态,影响着我们的价值取向。

另一方面,科学文化通过多种方式影响着科学技术的发展。我们知道,人是一切生产力和创造力的核心,一部科技发展的历史就是科技工作者以自己的智力施之于自然现象的历史。在这个过程中,科学家既是科学知识和科学精神的直接载体,也是科学方法和科学思想的

直接践行者,其思维模式和行为方式不可避免地会受到科学文化的直接、间接影响。科学文化的方法论功能使得科学家即使在面对暂时的成功、局部的胜利、认识上的一时通透和似乎难以质疑的权威时,也不会放弃对精确性和准确性的追求,始终保持着怀疑、批判和探索的态度;科学文化的价值观整合功能则能够把没有任何血缘、地缘、民族、国家、宗教这些传统联系纽带的人们联合在一起,使得不断有高度智慧和出众才华的杰出人士抛弃地位、名声、财富、荣耀、舒适、安逸这些世俗价值而投身到艰苦异常的科学事业中来,使得性情、偏好、兴趣、才能各不相同的人相互信任、相互交流、相互合作、相互提携、相互欣赏、相互赞誉,构成拥有共同目标和共同工作方式的科学共同体,从而为科学过程的参与者提供了一个共同的家园。^①

科学文化和社会文化的关系是复杂的,既相互影响、彼此渗透,又相互促进、融合共生。一方面,科学文化依托于科学活动,而科学活动的范围、规模又取决于社会支持,这就要求科学活动必须向社会公众展示它的价值和意义,争取社会公众对科学文化的认同和接纳。同时,科学文化中的制度规则能够长期践行,客观上也需要经济、社会、法律、政治制度的配套支撑,需要社会文化与科学文化中的不同制度因素相互对接、彼此适应。另一方面,随着人们社会生活和生产活动的演变,社会文化在相应调整并走向更高形态的过程中,也会广泛认同接受科学文化中的世界观、价值观和方法论,逐步摒弃、淘汰与科学文化内容相抵牾的非科学因素,或者重新调整民族文化中各种要素之间的关系,使科学文化逐步成为社会文化的核心要素,继而推动社会文化的整体变革。

^① 胡志强:《科学文化建设的当代意义》,研究报告(未刊稿),2014年4月。

二

科学文化是人类经过长期生产生活实践的磨砺，在创造和使用工具的活动日益发达，自我意识和认知能力长足发展，公共语言极大丰富，社会分工格局初步形成等因素的共同作用下，经过多次思想革命之后才从朦胧到清晰、从零星要素到系统组合、从个体观念到群体信念逐步演进而来，有一个形成、制度化和社会化甚至国际化的历史过程。在人类文明总体演进的过程中，科学文化是在相当晚近的时期才开始成长出来的，包括希腊文化、中华文化、印度文化、阿拉伯文化等民族文化都贡献出了自己特有的精华要素，使之融入科学文化之中，成为各具特色的民族文化中的共同成分。

科学文化的形成始于价值观念层面。由于科学对象的复杂性、无限性，科学活动的探索性、不确定性，以及科学劳动的创造性、艰巨性，使得科学过程必须有一些基本的信念和情感来支持其长期延续和传承，这些基本信念和情感就构成了科学过程的基本价值理念。这些价值理念首先在科学共同体内部确立了“求真知”这一普遍遵循的文化共识，并把尊重科研人员的学术自主和学术自由，倡导相互宽容、相互尊重、诚实守信、理性质疑，以科学的评价体系为导向，以民主的学术批评与监督机制为支撑等作为基本遵循，促进了优良学风和治学氛围的形成，充分激发起科研人员的创新潜力。正如中国科学院学部主席团关于科学理念的宣言所说，科学及以其为基础的技术，在不断揭示客观世界和人类自身规律的同时，极大地提高了社会生产力，改变了人类的生产和生活方式，同时也发掘了人类的理性力量，带来了认识论和方法论的变革，形成了科学世界观，创造了科学精神、科学道德与

科学伦理等丰富的先进文化,不断升华人类的精神境界。^① 这样一些基本价值理念构成了科学文化的核心内涵,具有超越国界的普遍意义。

相比之下,科学文化的制度化在科学文化的发展过程中更具有决定意义,因为只有把价值理念形态的内容固化在具有一定约束力的制度规范之中,才能通过一定标准识别、评价和指导科学活动参与者的科研行为和交往方式,并通过一定的教化、规训程序使新进入者理解并身体力行科学活动的要求,进而有效调节和规范科学活动的认知行为和社会行为,保证科学文化以至科学活动作为整体的延续性。一般来说,科学文化的制度规范是多层面、多维度制度的总和,既包括正式的制度规定,也包括非正式的行为规则。一是科学共同体内部的制度规范,包括对科学家科研过程和结果的要求,比如观察的可靠性、推理的严密性、结果的可检验性等等,这些要求在某些情况下甚至进一步细化为对实验设计的规定、对实验过程的规范、对重复试验的强调等等。二是关于科学家之间合作、交流、评价、监督的行为规范,包括关于科学知识共享的安排,同行评议的质量保障机制,优先权的确认,科学奖励制度等等。三是关于科学共同体与社会之间的制度规范,包括国家对科学活动的法律规定如宪法保证思想自由和言论自由,专业机构的特殊组织原则如把研究和人才培养结合起来的大学制度等等。需要说明的是,由于科学文化在价值理念层面的内容往往具有总括性、模糊性、多义性,不可能通过条理清晰、整齐划一的制度充分表达出来,有关科学活动的各种制度规范并不完全是从科学文化的价值理念中简单推演出来的,也不是来自某些聪明人的整体设计,而是在科学实践中不断试错、逐步改进而来的,至今仍处于调整完善之中。正

^① 中国科学院学部主席团:中国科学院关于科学理念的宣言,2007年2月26日。

因为如此，科学文化的制度规范不能完全代替科学文化的价值理念，对科学文化的践行不仅包括遵循制度规范，同时也包括对价值理念的理解把握。这些价值理念和制度规范共同构成了科技界必须遵守的普遍规则，具有广泛的行为约束力。^①

孕育并形成于科学共同体内部的科学文化从来不甘寂寞，总是持续不断地由科学共同体内部向社会延伸、向其他民族国家扩展，这就是科学文化的社会化和国际化。在这个过程中，科学文化争得了社会对科学价值与意义的广泛认同，催生了与科学知识生产相辅相成的社会文化，并确立了科学知识的“功利主义”价值观念。^② 而融入了科学文化内涵的社会文化则充分理解、信任和支持科学进步的社会价值，相信科学能够为人们提供理解自然世界的智慧，提供思考未来世界的理性启迪，支持使科学成为公众的常识和思维习惯，从而形成尊重、宽容、支持、参与科学活动的良好社会氛围。某种意义上说，正是这种科学共同体文化的社会化过程构成了科学文化的民族特色或者说国别特征，国情、文化和历史的差异决定了科学共同体文化社会化进程的路径方式甚至具体表现形式，而这又在很大程度上影响甚至决定着—国科技发展模式和进程。

世界科技发展的历程表明，一个国家要成为世界科技强国，一个民族要屹立在世界科学之林，离不开科学文化的发展。英国成为近代科学强国，皇家学会成为现代科学组织的典范，培根等思想家的实验哲学及其关于知识价值的新理念居功至伟；法国科学强国地位的确立，与笛卡尔理性主义文化密切相关；德国在19世纪后来居上成为新的科学中心，洪堡等思想家倡导的科学文化精神及其在大学体制改革

① 胡志强：《科学文化建设的当代意义》，研究报告（未刊稿），2014年4月。

② 清华大学课题组：《科学文化建设研究报告（未刊稿）》，2014年4月。

中的具体实践是重要基础;美国在 20 世纪中叶崛起成为世界科技强国,主要依赖于科学文化的引领和对科学发展规律的不断探索。可以毫不夸张地说,世界科技强国的形成无不伴随着科学文化变革和制度创新,而制度创新往往源于科学文化理念的创新和引领。我们说科学因其理性精神而熠熠生辉,因其文化传统而历久弥新,个中道理也就在于此。如果不能在科学文化上做好准备,不能在科学文化的引领下进行必要的制度创新,就很难摆脱跟踪模仿的发展轨迹,真正成为开拓科学发展新道路的世界科技强国。

三

中国现代科技事业发展的过程,一定意义上讲就是科学文化兴起并发展繁荣的过程,没有科学文化的充分发展和广泛弘扬就没有科学技术的长足进步。中国传统文化有值得我们自豪的丰富内涵,也有制约民族进步的消极因素。李约瑟曾经说过:“从公元 1 世纪到公元 15 世纪的漫长岁月中,中国人在应用自然知识满足于人的需要方面,曾经胜过欧洲人,那么为什么近代科学革命没有在中国发生呢?”这就是著名的李约瑟难题,曾经引发国内外学术界对中国近代科学技术落后原因的广泛探讨。钱学森也曾发出过类似的疑问,那就是“为什么我们的学校总是培养不出杰出人才”?这是钱老作为当代中国杰出科学家代表的锥心之问。2015 年中国科学家屠呦呦获得诺贝尔生理学或医学奖,进一步激起了国内关于中国科研体制、科学文化的大讨论。无论是李约瑟难题、钱学森之问还是屠呦呦引起的讨论,都无一例外地指向了科学文化,或许这不是唯一的答案,但一定是最重要的答案。

毋庸讳言,现代科学技术系统引入中国至今不过 150 多年的时间,相应的科学建制化进程则更是只有刚刚 100 年的历史。直到今天,一些制约科学发展的传统文化因素仍未得到根本突破。在科学共

同体内部，源自西方的科学价值观和科学方法论还没有充分发育起来，以诚实守信、信任与质疑、相互尊重、公开性为主要内容的科学道德准则还没有充分确立其主导地位，对尊重知识、尊重人才、尊重劳动、尊重创造的倡导，激励探索、鼓励创新的价值导向，弘扬求真务实、通过经验实证与理性怀疑不断推进科技进步并造福社会的精神理念，还不足以形成相对独立的科学文化形态。在社会文化层面，西风东渐、欧风美雨虽然推动着科学文化与中国传统文化的融合共生，但却始终未能使其成为主流文化的核心内涵；科学理性弘扬滞后于科学事业发展，科学精神的缺失成为中国科学文化的最大缺憾，民众科学素养长期在较低水平徘徊。^① 虽然党和政府一再大力倡导，保障探索真理的自由、支持科学事业的发展、尊重专家尊重专业、通过科技进步实现国家富强的理性态度尚未成为社会价值观的主流，科学文化在保障科学事业健康发展、提升社会文明水平、增强民族理性方面的重要作用尚未充分发挥出来。正因为如此，国家科技部原部长徐冠华曾经大声疾呼：“观念的创新、科技创新、体制的创新都要回归于文化的创新，这不仅是逻辑的必然，也是历史的必然。因为文化是民族的母体，是人类思想的底蕴，要实现科技创新和体制的创新，必须把建立创新文化当做一个重要前提。这不仅是历史的经验，也是现实的迫切需要。”从这个意义来说，对于中国这样一个有着深厚历史文化背景和灿烂文明的国家，如何让科学文化不断发扬光大，如何让科学塑造个人的文化品格，进而锻造我们民族的文化性格，不仅是一个重大而迫切的话题，同时也是面向未来、加快现代化进程的一个重要标志。

当前，中国正以史无前例的速度加快现代化建设，科技创新正在步入由跟踪为主转向跟踪和并跑、领跑并存的新阶段，处于从量的积

^① 杨怀中：中国科学文化的缺陷及当代建构，载《自然辩证法研究》2005年2月号。

累向质的飞跃、从点的突破向系统能力提升的重要时期,我国已经成为有重要影响力的科技大国。特别是党的十八大以来,肩负着实现中华民族伟大复兴中国梦的历史使命,党中央果断作出实施创新驱动发展战略、加快进入创新型国家行列、建设世界科技强国的重大战略部署,强调创新是引领发展的第一动力,人才是支撑发展的第一资源,要求把创新摆在国家发展全局的核心位置,大力推进以科技创新为核心的全面创新。现代化建设需要科学技术的支撑,科学技术的发展呼唤科学文化的发展繁荣。习近平总书记突出强调,文化是一个国家、一个民族的灵魂,文化自信是更基础、更广泛、更深厚的自信,是更基本、更深沉、更持久的力量,坚定文化自信是事关国运兴衰、事关文化安全、事关民族精神独立性的大问题。^① 面对我国科技创新可以大有作为的重要战略机遇,面对经济社会发展对科技创新的巨大需求,必须充分认识科学文化建设的重要性和紧迫性,全面提高建设科学文化的自觉意识,厚植科学文化的土壤,为科技创新和经济社会发展提供源源不竭的动力,使科学文化建设成为创新自信、文化自信的重要源泉之一。

建设中国特色的科学文化,首先要在广大科技工作者中形成有认同感的文化共识、有凝聚力的共同价值观、有归属感的科学传统和有感召力的科研环境,培育既能担当国家使命和社会责任,又能最大限度激发科技工作者创造活力和不断造就杰出科技人才的科学传统,调动激发广大科技工作者的创新热情和创造活力;^②同时还要让科学的价值理念注入传统文化的机体,让科学文化成为文化传承的核心要素,提高全民科学素质、提升民族理性,参与塑造民族的文化品格,催

① 习近平:在中国文联十大、中国作协九大开幕式上的讲话,2016年11月30日。

② 袁江洋:中国科学文化建设纲要,研究报告(未刊稿),2014年4月。

生理性平和、富有活力和创新意识的社会文化形态,引导社会文化走上科学与民主之路,推动形成为科技工作者创新创造提供良好保障的社会文化氛围,为我国迈入创新型国家行列和建成世界科技强国提供坚实的文化基础和肥沃的社会土壤。

四

在过去十年多的时间里,我一直非常关注科学文化和创新文化问题,其间除发表过一篇不成样子的关于创新文化的文章外,一直结合科协工作实际在学习、在思考,越学越觉得研究这个问题很有现实意义,越思考越觉得这个问题博大精深,有些问题甚至到了令人痴迷不觉的地步。比如:

其一,如何理解科学文化与科学传统及科学观之间的关系?无论处在何种发展阶段,社会公众对于类似科学技术一类的知识系统都有自己的看法,由此产生的科学文化应该是本土固有的,是这个民族与生俱来的,而不可能是输入的;如果我们把科学严格限定在科学革命以来兴起的近现代科学,那么,以科学共同体内部文化为核心的科学文化就不可避免地会随着科学技术的扩散而向社会延伸、向国际转移,这种意义上的科学文化则必然是外源的,并在这个过程中形成相应的科学传统及其国别特色。恰如有学者所说,文化的核心是传统,科学文化的核心是科学传统。^①在这种情况下,一国的科学文化究竟是如何建构的?其共性特征和国别特性又是如何体现的?

其二,中国科学文化的特点是什么?中国古代确实有技术文化没有科学文化,缺乏对事物本质的深刻探究和理论说明,有经验积累没有理论假说。鸦片战争后,西方科学大规模输入,对科学功能性应用

^① 袁江洋:科学文化研究,载《科学》2015年7月号(67卷4期)。

的执着追求以及对科学精神有意无意的抑制,不尊重专家、不尊重专业,科学活动缺乏积累机制和传承机制,流量很大而存量很小,每一代人几乎都是从原点做起,找不到甚至也不知道巨人的肩膀在哪里。这到底是中国科学文化的特点还是缺失?

其三,是否有中国特色的科学文化?如何构建中国特色的科学文化?有人提出科学文化启蒙一说,科学可以起到启蒙的作用,但科学文化如何启蒙?几乎所有科学文化学者都认为中国最应该补上科学精神这一课,让科学精神归位,可是抓手在哪里?科学家既是科学知识、科学思想、科学态度和科学精神的直接载体,也是科学方法和科学活动的直接践行者,从科技人物研究和宣传入手来培育中国特色的科学文化是否一条切实可行的途径?

为全面贯彻落实中央关于深化科技体制改革、加快建设创新型国家的战略部署,切实承担起推进科学文化建设的历史重任,中国科协调研宣传部于2014年8月启动了“科学文化译丛”项目,旨在通过引进翻译国外优秀科学文化研究成果,为我国的科学文化建设提供更多可资借鉴的学术资源。这项工作启动以来,其困难和艰辛远远超出预期。一个主要原因在于,科学文化研究有着极为宽阔的学术边界和丰富的研究主题,科学的本质及其在人类文化中的地位与作用、科学探索与发现、科学的自组织与社会化、科学文化与社会文化之间的互动等等,都是科学文化研究的重要内容。所幸这项工作得到国内致力于科学文化研究的专家学者们积极响应,也得到出版界人士的大力支持,经过共同商议,我们从科学文化的历史、哲学、社会学、传播学及计量学研究入手,扣住科学文化发生发展史、科学文化的哲学解析和文化学解析,科学文化在各国工业革命与现代化进程中的地位与作用、科学文化传播(包括科学文化与其他文化的相互作用进程)与新文化塑造等主题,选择优秀著作加以翻译出版。

在译丛编委会、译者和出版社的共同努力下，经过两年多的艰辛工作，第一批成果即将面世。作为译丛主编，我要真诚感谢郝刘祥、袁江洋两位教授和所有参与译、校工作的研究人员，这套丛书高度得益于他们的专业精神、学术造诣和倾心奉献。感谢中国科协调研宣传部提供经费支持，中国科普研究所承担了主要的组织协调工作，罗晖、王康友同志积极推动，特别是郑念研究员的辛勤劳动，正是大家的无私奉献才使翻译任务如期高质量完成。感谢上海交通大学出版社原社长韩建民先生、现社长郑益慧先生、总编辑刘佩英女士和副社长李广良先生，正是他们的认真负责和积极推进，我们才得以较高效率出版发行本套译丛。借此机会，我还要感谢袁江洋、李正风、胡志强三位教授，正是他们在过去几年对中国科协科学文化研究项目的积极参与和深入研讨，使我对这个问题的认识和理解不断深化，他们的若干观点和本人的学习心得已经在这篇小文中有所体现了。当然，还有很多同志在这个过程中付出了心血，在此就不一一列举了。

今后，我们将继续推进这一项目的实施，把更多更好的成果呈现给大家。热情期待有更多的研究人员以宽容和多元的理念去审视和考量科学文化问题，理性观察和评判科学文化建设进程，努力撰写出中国人自己的科学文化研究专著。我相信，“科学文化译丛”作为我们研究科学文化的重要参考文献，必将成为传播科学文化的有效载体，建设科学文化的助推器，它不奢求面面俱到，但希望能够提供一个独特的视角；它可能给不出答案，但希望有助于思路的拓展；它未必绝对正确或准确，但希望能给我们留下更为广阔的思考空间。

中国科协 王春法

前 言

尽管宣称“科学进步源于实验”，但实际上整个科学历史文献都在关注着理论的发展。无论研究者的对象是 17 世纪的科学革命、19 世纪的场论，还是 20 世纪的相对论和量子力学，他们谱写的历史都突出概念的演变，而非实验室实践。正如爱因斯坦所言，似乎有一种不对称性只存在于历史分析中，而非存在于事件本身。

本书适合于对“理论如何从现代物理实验室产生”这一问题感兴趣的读者。它既不是对粒子物理学的概述，也不是物理教学中引用的对“伟大试验”成果的总结。^①相反，这本书是写给那些对历史、哲学和实验室科学社会学感兴趣的读者，以及工作中的物理学家。本书源于对以下几个问题的思索：是哪些理论让实验者坚信微观物理作用？他们可以借助于何种实验仪器？在获得具有说服力论据的过程中，从实验工作台到工厂实验室这种势不可挡的历史扩张趋势产生了什么

^① 美国的物理学界和体系的通史可参见 Kevles, *Physicists* (1978); Segrè, *X-Rays to Quarks* (1980), 其中对许多粒子发现背后的基本思想给出了清晰的物理学解释。Pickering, *Constructing Quarks* (1984), 本书是对 20 世纪 60 年代粒子物理学向 20 世纪 70 年代早期“新物理学”过渡的一部非常好的历史分析著作。对经典物理实验得出的结果的总结非常有启发意义的著作可参见 Shamos, *Great Experiments* (1959); Trigg, *Landmark Experiments* (1975)。罗姆·哈里从《伟大实验》(*Great Experiments*, 1981) 中吸收了哲学方面的经验。