



大学通识教育系列教材

科学通论

总主编 史国栋

主 编 衡孝庆

高等教育出版社

高等学校通识课程系列教材

科学通论

Kexue Tonglun

总主编 史国栋

主 编 衡孝庆

高等教育出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

科学通论 / 衡孝庆主编. —北京: 高等教育出版社, 2014. 7
ISBN 978-7-04-039885-4

I. ①科… II. ①衡… III. ①科学学—高等学校—教材 IV. ①G301

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 095065 号

策划编辑 张晶晶 责任编辑 张晶晶 封面设计 张文豪 责任印制 蔡敏燕

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	上海华教印务有限公司		http://www.hepsh.com
开 本	787mm×1092mm 1/16	网上订购	http://www.landracom.com
印 张	11		http://www.landracom.com.cn
字 数	225 千字	版 次	2014 年 7 月第 1 版
购书热线	021-56668419	印 次	2014 年 7 月第 1 次印刷
	010-58581118	定 价	22.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 39885-00

目 录

绪论	1
第一节 科学概述	2
第二节 科学的体系结构	8
第一章 古代科学	13
第一节 中国古代科学	13
第二节 古希腊的自然哲学与科学	17
第三节 阿拉伯人的科学贡献	22
第二章 现代科学(一)	26
第一节 现代物理学的诞生和发展	26
第二节 现代化学的诞生和发展	32
第三节 现代生物学的诞生和发展	39
第三章 现代科学(二)	44
第一节 现代数学的变革	44
第二节 现代天文学与宇宙演化	50
第三节 现代地质学	55
第四章 当代科技文明及其科学基础	60
第一节 信息科学与技术	60
第二节 能源、材料科学与技术	64
第三节 空间科学与技术	68
第四节 生命科学与生物工程技术	73
第五章 科学方法(一)	78
第一节 科学方法概述	78
第二节 科学问题与科研选题	80
第三节 获取科学事实的基本方法	87

第六章 科学方法(二)	94
第一节 逻辑思维方法	94
第二节 非逻辑思维方法	99
第三节 科学假说方法	102
第四节 系统科学方法	107
第七章 科学社会学	112
第一节 科学的社会建制	112
第二节 科学共同体	117
第三节 科学与社会的互动	121
第八章 科学哲学	127
第一节 科学哲学概述	127
第二节 科学划界	132
第三节 科学发展的模式	138
第九章 技术创新	147
第一节 技术创新的社会支持系统	147
第二节 技术创新的认知界面及其归因分析	153
第三节 技术创新的生态驱动力及其生态位	157
第四节 技术创新活动中的技术领导	161
参考文献	167
后记	169

科学通论

绪 论

在当代社会,科学的重要性不言而喻。我们的衣食住行等日常生活,生产、运输、销售等经济活动,交通、通讯等交流沟通方式,教育、宣传、政治等各种社会活动,没有一样能够离开科学。科学就是文明的代名词;科学的发达程度也成为衡量国家整体实力的重要依据,个人对科学的掌握程度也成为其个人能力的标志,科学家成为受人尊敬的称号,科学家是各种决策咨询的对象,他们被认为是对人类社会做出重大贡献的群体,他们的话语具有举足轻重的地位。然而,在对科学的一片赞叹声中,并不是没有质疑、甚至否定科学的声音,只不过相对于科学的拥护者来说,这样的人比较少,类似的声音很微弱。回顾科学一路走来的历程,被人们逐渐淡忘了的是科学并不是一开始就拥有如此美好的名声和如此崇高的地位。事实恰恰相反,和所有的新生事物一样,科学也经历了许多磨难才被人们所肯定和接受。然而,科学也有不理性的时候,正如西方的谚语所说:“恺撒的归恺撒,上帝的归上帝”,现在是冷静地思考科学的时候了。当然这非常困难,这里面包含有非常多的因素:既有历史与现实的冲突,也有知识系统自身的结构矛盾,当然更离不开人的因素、社会的因素、乃至情感与理智的斗争。所有与此相关的思考、辩论、研究都需要以对科学的整体观察作前提,而对于当代人来说,这本身就是一件非常困难的工作。

第一节 科学概述

一、科学的起源

原始人类大约在三百万年前由古猿进化而来。在同自然界斗争,获取维持自身生存和发展的物质资料的过程中,人类的祖先开始了对自然的认识,逐渐地积累了关于自然界的知识,进而不断地利用这些知识提高自己的生存能力,慢慢地从被动地适应自然环境发展到可以做出一些有利于人类生存的变化,使自然条件能够更好地满足自己的目的,从而使人类自身得到发展并进而促进社会的进步。伴随着人类与自然的每一次斗争,无论是成功还是失败,都加深了人类对自然界中的事物和现象的认识,积累了相关的经验,从而锻炼了人类的思维,增长了人类的智慧和才干。

在原始社会,科学只能以萌芽状态存在于生产技术和生活实践之中。石器的加工、人工取火、弓箭的发明、捕鱼打猎、驯养家畜、栽培植物、建造房屋、制陶冶炼、纺织印染等,无一不是萌发科学的土壤。制造石器,要求人们摸索岩石的性能和对石头进行加工的方法;人工取火,要求人们掌握发热的方法、燃烧的条件和加热的知识;制作弓箭,要求人们综合利用木、竹、石、骨、角、筋、腱、皮革等多种材料的机械性能;采集狩猎,要求人们熟悉野生植物的生长环境、成熟时间和野生动物的生活习性、活动特点,以及这些野生动植物的食用价值;农耕和畜牧,要求人们了解并遵循动植物生长、生存和繁育的规律,为掌握农牧季节还需要观测天象、物候,确定其变化规律和变化周期;制陶、纺织、建筑、制造车船,更需要了解和运用有关各种物料的属性以及改变这些属性的知识。在原始社会的生产技术和生活实践之中,包含了力学、物理学、化学、生物学、天文学等学科的知识萌芽。其中发展得较早的科学门类为天文学、数学、物理学和医药学等。

天文学。我国古代启蒙经典读物《千字文》一开头就写道:“天地玄黄,宇宙洪荒。”在旧石器时代,先民对于寒来暑往的季节变化、月亮的圆缺、动物活动的规律、植物生长和成熟的时间就有了一定的认识,到了新石器时代,社会经济逐渐进入以农牧业生产为主阶段,人们更需要掌握季节规律,以利农时。古代天文历法知识就是适应生产和生活的需要而产生的。考古学表明,在新石器时代中期,中国的先民就已经开始最早的天象观测,并用以定方位、定时间、定季节了。人们还根据物候变化来掌握农时。人们很早就发现天象的周期变化和物候之间存在着一定的联系,也越来越重视对天象的观测和研究。根据《尚书·尧典》记载,帝尧曾组织了一批天文官员到东西南北四个地方去观测天象,以编制历法,预报季节。两河流域的人们把月亮的盈亏周期定为“月”,每个周期为 29.5 日,把每月定为 29 日或 30 日,大小相间,每年 12 个月,即为 354 日,每隔几年加上 1 个闰月。这是一种完全的阴历。在古埃及,人们把天狼星与太阳同时在地平线上升起来的这一天定为一年之始,规定一年分 3 季,每月 30 天,年终加上 5 天,即为 365

天。这是一种完全的太阳历。在两河流域,天象观测操纵在祭司手中,寺庙中的塔台就是最早的天文台。占星活动十分盛行,人们认为天象的变化与人间的祸福直接相关,似乎可以从天文现象卜知人间的未来。占星活动促使人们去认真观测星象,客观上推动了天文学的发展。当时人们已经能把行星和恒星区别开来,并且对行星的运动取得了相当精确的观测数据,绘制了世界上最早的星图。

数学源于社会生产、交换和天文计算等方面的需要,萌芽于人们对“数”与“形”的认识。没有数字之前,计数方法是与具体的事物相联系的,如屈指计算,或用一堆小石子计算。英文计算一词来源于拉丁文 *calculus*,而后者的意思就是小石子。中国古代也有“结绳记事”和“契木为文”的传说。人们制造不同形状的工具如背厚刃薄的石斧、尖的骨针、圆的石球、弯的弓等,表明了他们对各种几何图形已经有了一定的认识和应用,从陶器的器形、纹饰来看,当时人们对圆、椭圆、方形、菱形、弧形、三角形等几何图形都有了认识,而且为了制作不同形状的物体,还创造了画方、圆、直线的简单工具和方法,几何学就是来源于丈量土地,英文“几何”一词的本意就是测地术。

古代自然科学在内容上形成了以地球为中心的宇宙观理论,对宏观物体的认识还只是初步的、表面的和笼统的整体认识;在形态上,古代科学表现为自然哲学、理论知识和实用科学;而研究科学的方法也是以原始的观察法、实践法和演绎法为主,侧重于整体的笼统考察,缺乏分析;对自然现象的理解也是以直观信仰和主观猜测为主,没有严格的科学证明。

二、科学的定义

在哲学界有一句常被提及的话是“熟知并非真知”,相反,越是被大家广为熟悉的东西越是容易被误解。作为一个名词的科学在当代已经广为熟知和被广泛使用,但是,对于究竟什么是科学却并没有一个被多数人认可的精确而完整的定义。在中国,科学的原意是“科举之学”,17世纪之后,传授西学的人借用儒家《大学》中的“格物致知”一词,把“science”翻译为“格致”之学。1897年康有为在《日本书目志》中转译日本学者的译法,将其翻译为“科学”。从词源学的角度来说,无论是英语的“science”还是德语的“wissenschaft”,都来自拉丁文“scientia”,其本意是知道的意思。早期的科学混杂在哲学、神学的研究之中,直到近代以后才逐渐地独立出来,自成体系,并且从个别爱好者的个人兴趣发展成为一种专门的职业活动。因此,不论是在西方还是在中国,不论是过去还是现在,甚至对于不同专业、学科的研究者而言,科学的含义都不尽相同。其中最为常见的定义是科学是一种知识体系。德国哲学家康德在1786年出版的《自然科学的形而上学基础》中指出:“任何一种学说,如果它可以成为一个系统,即成为一个按照原则而整理好的知识整体,就叫做科学。”^①作为一种知识体系的科学包含有两层涵义:首先

^① 康德:《自然科学的形而上学基础》,上海人民出版社2003年版,第2页。

科学是一种知识。很久以来,科学就是知识的代名词,英国哲学家弗朗西斯·培根的名言“the knowledge is power”(知识就是力量),这里的知识就是指能够产生现实效用的经验科学;其次,这种知识是体系化的。德国哲学家黑格尔指出:“一堆知识的集聚,并不能构成科学。”^①科学的知识不仅仅是通过观察、经验得到的零碎、局部的知识或知识的拼凑、堆砌,而是经过严格逻辑证明和实验验证的体系。作为一种独特的知识体系,科学具有独有的研究假设、研究对象、研究方法、研究过程以及接受和验证研究结果的程序。

作为知识体系的科学具备三个基本特性。首先是可检验性,指的是这个知识体系最终获得的一系列具体结论和各种陈述应该可以与经验事实直接或间接地进行比较,从而给出相符或不相符的判断,这就是所谓证实或证伪的过程。可检验性并不是要求理论已经被检验,而是要求可能被检验,至少能够指出检验的途径与方法。检验必须用公共的经验事实来检验,即科学共同体可以重复其过程,而不能以个人经验或体验为凭据。其次是可预见性,指的是可以从作为科学的知识体系中推导出或预测出未知的各种现象或行为,这些预测通过一定的实践活动可以用经验来检验。可预见性表明科学反映着客体物质运动的规律性,包含着知识的增殖机制,能不断地提供新的知识。正是凭借这种可预见性,使其对实践活动具有指导作用。第三个特性是逻辑的和谐性,指的是科学的知识体系及其内部结构应该满足逻辑的一致性和逻辑的简单性。也就是说,科学知识的各个部分及其相互联系不存在逻辑矛盾,遵守逻辑法则。逻辑简单性指的是知识体系的理论基础应该由尽可能少的、相互独立的基本假设所组成,在这种理论上,通过逻辑演绎,可以推导出一系列具体结论,从而构成一个完整的知识体系。如果说,可检验性属于科学的外在可靠性的话,那么,逻辑和谐性则属于科学内在的完美性。

要理解科学的定义,还必须理解科学与技术的关系。在19世纪以前,科学与技术的关系还相当疏远,它们分别继承了重发现的知识传统和重发明的工艺传统。在第一次产业革命中,机器大工业对发展科学机器生产应用提出了强烈的要求,经验技艺被总结为系统化的技术,而科学与技术的关系越来越密切,呈现出一体化的趋势:一方面是技术的科学化,技术进步越来越依靠科学上的突破和理论支持;另一方面,则是科学的技术化,科学也越来越需要通过技术“物化”为生产力,以及基础性的理论研究越来越离不开现代技术手段。从这个意义上说,对科学的讨论无法完全区分科学与技术。

三、科学精神

科学精神首先是一种理性精神。理性精神源于古希腊哲学,是人类反思自我、反思实践的产物;理性精神在科学实践中得到了发扬光大,使哲学的智慧融入科学之中。理

^① 黑格尔:《哲学史讲演录》第1卷,商务印书馆1981年版,第35页。

性把人与其所生存的客观世界分离开来,把自然界视为人的认识和改造的对象;相信人具备认识世界的能力,相信世界是可以认识的,人可以凭借理性的力量把握自然对象,控制自然过程。这种理性的旨趣,不仅是一种崇高唯美的个人精神享受,同时也是凸显人的力量的动力源泉。科学以追求真理为己任,而在这种追求的背后,是人对自己理智力量的自信。正是对理性的使用,使人们能够不断地清除遮蔽真理的障碍,不断地摆脱愚昧、拓展知识视野。理性精神也是对知识价值的肯定,致力于知识的增长,充分发挥知识的潜力,最大限度地利用知识的价值。

从科学与神学和形而上学对立的立场来看,科学还具有实证精神。实证精神首先是一种客观的态度,就是要尽力地排除科学探究过程中主观因素的影响,尽可能精确地揭示事物的本来面目;同时,这种客观性又必须满足普遍性的要求,即客观知识必须是能够受到可重复检验的公共知识。客观知识以及由此引出的普遍性和公共性来作为划分科学与非科学的界限。实证精神也是一种好奇和探索,是一种不自我设限的行动,就是对任何事情都要看个究竟,都要搞得更清楚,只有人类这样才能在自然面前以精确的数据来描绘自然图谱。由于实证精神强调每前进一步都要有可证实的证据,所以强调真实、有用、相对肯定、精确和富有建设性,也就是说,实证精神在承认人的有限认知能力的前提下,认为应该以实在性、实用性和精确性来保障认知的真理性,通过一点一滴的努力不断接近真理,揭示事物存在的本来面目。

传统社会和现代社会的主要区别之一,就是社会的封闭性和开放性的不同立场。在传统社会中,人们生活在静态的世界图景之中,历史与其说是进步还不如说是一种绵延或循环。普通人为了有所归依,统治者为了树立权威,都不约而同地选择了绝对化和封闭化。一种东西一旦被认定为真理,就不允许再改动。改变这一现象,使社会从传统向现代转化的就是科学。对理性、实证精神的追求,使科学从诞生伊始就具有鲜明的开放性。科学主张兼容并包,允许求同存异,鼓励争论,在不断的争论中前行。正是这种开放精神使得科学在面对各种挑战时能够处变不惊,以其有容乃大的理论风度最终扎根于现代社会。追求科学真理需要自由的讨论,真正的科学家不会因为学术观点的不同而互相排斥。

科学还具有怀疑和批判精神。怀疑意识是科学的起点,有了怀疑,人们才能独立地判断和思考,排除轻信和盲从;没有怀疑就会沦为认同权威的理论侏儒。科学哲学家波普尔认为科学研究始于问题,爱因斯坦也认为提出问题比解决问题更为重要。这些观点都表明怀疑和批判精神是科学家进行科学探索活动的精神和思维品质。科学研究如果从怀疑的意识出发而没有批判的理性,就没有收获,就会沦为怀疑论哲学的奴仆。科学精神中的批判理性,本质上是一种超越,而不是简单或彻底的否定。科学的进步总是要求超越现有的理论,而批判的理性正是科学发展的灵魂。失去了批判的理性,科学也就失去了创新的生命力。

科学还是现代社会民主精神的源泉。20世纪初,中国新文化运动将民族与科学并

列为中国向现代社会转型的动力。民主与科学是一枚硬币的两面,民主精神之中不能没有科学,科学也不能缺少民主精神。所谓民主,最核心的精神是平等和参与。真理面前人人平等,因此,科学活动是一种富含民主精神的活动。虽然科学也有权威机制,但这种机制是为了探求真理服务的,科学的权威只是相对的权威,真正的权威是真理。随着科学活动的社会化,科学进入生产和社会生活,科学中蕴含的民主精神也促进了公共生活中民主观念的发展,民主成为了现代社会的主流价值观念。从更广的范围来看,科学的运用以及社会分工和民主参与是一个相互渗透、相互关联的过程。在现代社会中,科学技术的高度分化和综合使得分工协作成为社会关系的主要方面,社会分工的专门化和专业化使得社会权力呈现分散的趋势,也助推了民主精神的散播。

四、科学学

“科学”科学吗?“科学”究竟在什么意义上是科学的?“科学”发展有自身的规律吗?如果有的话,是什么?诸如此类问题的产生源自对科学发展的种种反思和批判。当科学潜心于对自己研究对象的研究时,却有人转而研究起科学自身。这便是科学学。科学学产生的历史背景是科学在人类历史舞台上的角色转换:从个人的好奇和探究变成社会的组织活动,从书斋里的讨论化身为社会的主流话语,从上流社会的沙龙走向田间地头、工厂车间。正如贝尔纳所说,科学需要“自我意识”,需要研究它的发展战略,需要使科学能够更好地造福于人类。科学学的意义绝不是科学学自身,而是关注科学与其研究对象和研究者即人类。因此,科学学的目标有两个方面:一是为了更好地发展科学,二是为了让科学更好地服务于人类。

1925年,波兰社会学家兹纳涅茨基在《知识科学的对象和任务》一文中首先创造了“科学学”这一名词,并提出了建立这一专门学科的意见。1935年,他的学生奥索夫斯基和奥索夫斯卡撰写了《科学的科学》一文,系统地论述了科学学的研究领域,确立了科学学的英文译名 science of science,一直沿用至今。1939年,英国科学家贝尔纳在其《科学的社会功能》一书中系统地提出了科学学的理论观点、研究方法、理论模式和研究内容等,被公认为是科学学的主要创始人之一。科学学的另一位奠基者是美国的社会学家默顿。1935年,默顿完成了题为《十七世纪英格兰的科学、技术和社会》的博士论文,重点考察了十七世纪英国的科学技术在社会结构中的地位与作用,对当时的社会如何推动科学发展、科学如何适应社会的需要等问题进行了深刻的研究,提出科学技术是社会的子系统,科学技术的发展需要社会的支持等观点,开创了以系统的经验调查方法研究科学的社会根源的先河。中国最早提出进行系统的科学学研究的是著名科学家钱学森,他在1977年发表的《现代科学技术》一文当中提出了应当研究“科学的科学”的建议。1979年7月在北京召开了中国第一次全国性的科学学学术会议,讨论了科学学的定义、研究对象、研究意义、科学技术发展的特点和规律、科学研究的体制、科学研究的效率以及科学的管理等问题。总体上来说,自20世纪60年代以后,科学学迎来了

知识链接

贝尔纳(1901—1971),英国科学家、科学学奠基人。贝尔纳在科学方面曾做过奠基性的工作,他也做过结晶学和生物化学方面的前沿研究。他才智过人,当他研究过蛋白质晶体的第一批X射线衍射图后,就敏感地预见蛋白质的结构问题可以获得解决。他也研究过氨基酸、维生素、液体的结构、陨星上的生命、大陆漂移等,在每个领域都提出了大有前途的问题。他提出通过建立先进合理的政治制度,通过公众参与,发挥民主对科学的调控作用,实现政治与科学的良性互动,重构科学与社会的和谐关系的思想。他倡导把科学当做一门科学(科学学)来看待就是要为政治调控科学服务的。与此同时,贝尔纳参加了一系列的政治活动,用他的科学政治学思想唤醒人们,推动着社会进步。



它的兴盛年代,科学计量学、科学心理学、科学伦理学、科学美学等科学学分支学科相继产生,一些实践学科如科学政策、科学管理学等也开始相继归入科学学的门下。到目前为止,科学学已有30多门分支学科。这些不同的理论体系,彼此之间有共同的地方,也有相异之处,形成了科学学发展百花齐放的局面。与此同时,有关科学的政府机构普遍建立,不同领域的科学家都纷纷跨过边界,涉足与本学科密切相关的边缘或进行交叉研究,有关科学学的论文和专著呈指数增长;有关科学学的期刊和学会相继创立;不少国家的大学和科研院所广泛开展科学学的教学和研究。

尽管从诞生之日起,科学学就有了明确的内涵界定——研究科学的科学,但是在其随后的发展进程中,却在本科科学一些最基本的领域依然保留着甚至在某些方面和某种程度上还在增加着混乱与困惑。首先,尽管科学学有着明确的研究对象,关于什么是科学学却没有一个统一的定义,科学学奠基人贝尔纳曾把我国古典哲学名著《道德经》作为指导思想,来探讨如何定义科学学。他认为,过于刻板的定义有使精神实质被阉割的危险,因为“道,可道;非常道。名,可名;非常名”。所以“对于科学或科学学,我们也毋须下一个严格的定义,因为科学或科学学正是此类性质的活动”。然而,关于科学学的定义,过于“刻板”固然不好,而过于松散也不利于学科的发展。正是泛化的科学学定义使得科学学发展成为了一个比较松散的学科群,既有与之交叉的如科学哲学、科学史等学科,也孕育出科学社会学等相对独立的学科,更有扩展版的科学技术学,其自身的体系结构、研究领域、发挥的社会功能、生发出的交叉学科都在不断地发展变化之中,而自身的学科体系始终无法固化为一个专业的学科,相关的研究者也很难形成比较固定的学术共同体,尤其是在当今各门学科都在不断的强化自身的专业性、职业性的时代,科学学的研究就不免有无法对自身进行专业定位的尴尬。进入20世纪80、90年代之

后,国内开始有人提出技术学的概念,并开始了相关的研究,其研究思路、方法与科学学有诸多相似之处,大有与科学学合并为科学技术学之势。然而随后伴随着在学科归属、学术共同体以及专业研究的理论深度、专门的研究方法、研究范式等方面都出现了问题,最终都淹没于科技哲学、科技社会学、科学计量学、科技政策学、科学心理学等学科群之中。进入 21 世纪之后,不论是国际还是国内都很少有人再提起科学学这个概念。

第二节 科学的体系结构

一、科学的层次结构

在人类文明发展的早期,各种知识并没有明确的结构划分。最早进行知识排列的是古希腊的柏拉图,他从哲学理念论出发把人类知识分为辩证法、物理知识和伦理学说三类。第一个把科学与哲学分离开来,并且对科学知识进行分门别类整理的是其学生亚里士多德,他以人的活动为准则,把纯认识活动的学问叫做理论的哲学,把研究人的行为的学问叫做实践的哲学,将有关艺术、创作、演讲等活动的学问称为创造的哲学,其中理论哲学又划分为物理学、数学和形而上学。随着科学与经济社会的发展,科学知识不断扩展自身的研究领域和应用范围,人们对科学结构的认识也不断变化,逐渐演化出现当代科学的结构类型。

钱学森按照直接改造客观世界还是间接地联系到改造客观世界,将科学划分为三个层次:基础科学、技术科学和工程科学。尽管各层次科学的特点和功能各不相同,但是不同层次的科学之间存在本质的内在联系,从而形成了一个有机统一的整体。其中基础科学又被称为理论科学,以自然界中存在的物质的结构及其运动规律为研究对象,肩负着探索新领域、发展新元素、创造新化合物、发现新原理等科学使命,是整个科学大厦的基石,拥有巨大的潜在生产力、高水平的社会智力和超前的社会竞争力。基础科学包括物理学、化学、生物学、天文学、地质学等。

知识链接

钱学森(1911—2009),世界著名科学家,空气动力学家,中国载人航天奠基人,中国科学院及中国工程院院士,中国两弹一星功勋奖章获得者,被誉为“中国航天之父”“中国导弹之父”“中国自动化控制之父”和“火箭之王”,由于钱学森回国效力,中国导弹、原子弹的发射向前推进了至少 20 年。



技术科学是将基础科学知识转向实践应用的中间环节,是研究通用性技术理论的科学,既是基础科学的应用,又是工程科学的理论基础。技术科学集中研究如何把基础科学理论物化为生产技术。它研究的不是最普遍的规律,而是特殊范围的规律。技术科学具有多学科的综合性和交叉性,因为它研究几个学科共有的规律,所以比基础学科具有更大的综合性,如岩石力学、土力学等都是介于基础科学与工程科学之间的技术科学。当代技术科学已经发展成为众多的科学群。技术科学一方面按照基础科学的应用可分为应用物理、应用化学、应用生物学、应用天文学、应用地学、应用数学;另一方面,按照工程技术的通用理论可以划分为材料技术科学、能源技术科学、信息技术科学、自动化技术科学、环境技术科学、生物工程技术科学等。

工程科学主要研究基础科学、技术科学的理论在生产过程中的具体运用,从而提供改造自然的方法和手段。相对而言,技术科学是解决比较远期的生产方向问题;基础科学是储备知识、创造知识,离解决实际问题更远些、更为间接;而工程科学直接决定生产过程中需要解决的实际问题,这也是工程科学区别于技术科学和基础科学的地方。每一个实际的生产过程都要涉及许多基础科学和技术科学领域,因此工程科学具有高度的综合性,比如要了解和研究内燃机,在工作过程方面就需要热力学、空气动力学、化学动力学等知识;在结构强度方面,就需要应用理论力学、材料力学、固体物理学等知识。工程科学的研究对象是具体的技术原理、结构和工艺。日本学者星野芳将技术分为 12 个方面,即动力技术、采掘技术、材料技术、建筑技术、通讯技术、交通技术、控制技术、栽培技术、饲养技术、机械技术、捕获技术、保健技术。虽然不同领域的技术有各自不同的形态,但是都包含了材料、能源、控制和工艺四个基本要素。

随着科学的发展,在自然科学和社会科学之间出现了一个新型的学科群,这个学科群就是交叉学科。交叉学科的兴起和发展,是科学进入一个全新历史阶段的标志,是历史发展的必然。交叉学科可以分为四大类:第一类,根据应用的目的和目标把有用的相关知识合成一个新知识体系,如材料科学、空间科学、能源科学、环境科学、城市科学、体育科学等。第二类,根据科学在宏观总体上变化发展的事实,探索其规律和驾驭利用其规律的理论和方法的知识体系,如科学技术史、科学技术社会学、科学技术哲学、未来学等。第三类,根据科学各门类、各工作领域的共同需要所创造出来的方法知识体系,如控制论、系统论、信息论、协同论、混沌论、管理科学、决策科学等。第四类,根据社会科学与自然科学中相关的两个或两个以上学科组合成的新的知识体系,如技术经济学、技术创新管理学、组织行为学、社会生态学等。

二、科学的学科结构

自然科学的基础学科包括数学、物理学、化学、生物学、天文学、地理学或地质学等,每一门基础科学又包括若干分支学科,并由此形成各自学科的体系结构。

数学是研究数量关系与空间形式的科学。数学在自然科学的体系结构中具有特殊

的地位。马克思曾经说过,一种科学只有在成功地运用数学时,才算达到真正完美的地步。德国哲学家康德认为,任何一门科学,只有当它数学化之后才能称得上是一门真正的科学。任何精密的思维都得靠精确的语言进行表述,数学就可以以其独特的语言(概念、公式、定理、算法、模型等)对科学的现象和规律进行精确而简洁的表述。人类知识发展的历史表明,自然科学及其他科学都可以证明数学语言的普遍适用性。经过长期的发展,现代数学的学科已经发展成为一个多层次、结构严密的庞大体系,大小分支学科数目不下几百个,其中最基本的学科有 12 个,即数论、代数学、几何学、函数论、泛函数分析、微分方程、概率论、数理统计、运筹学、控制论、计算数学和数理逻辑。从数学和现实生活的联系来看,大体可以分为两大类,即纯数学和应用数学。纯数学研究从客观世界中抽象出来的数学规律的内在联系,也可以说是研究数学本身的规律,大体上可以分为三类,即研究空间形式的几何学、研究离散系数的代数学和数论、研究连续的函数分析和函数方程,它们被称为数学的三大支柱。应用数学是研究如何从现实问题中抽象出数学规律,以及如何把已知规律应用于现实问题,如概率论、数理统计、运筹学、控制论计算数学和数理逻辑。

物理学以物质运动规律及其基本结构作为研究对象。当代物理学经过科学本身的发展、壮大以及和现代技术的相互作用形成了庞大的学科体系,它以经典力学、经典电动力学与相对论、量子力学、热力学和统计物理学为基础理论,形成了九门分支学科:凝聚态物理学、光物理学、声学、原子分子物理学、等离子物理学、核物理学、粒子物理学、计算物理学和理论物理学。

化学是研究物质分子的组成、结构、性质及其变化规律的科学。作为一门学科的化学已经有三百多年的历史。随着人们所研究的分子种类、研究手段和任务的不同,化学不断派生出不同层次的分支:无机化学、有机化学、物理化学、分析化学、高分子化学、环境化学、放射化学等。第二次世界大战之后,化学加快了发展速度,一方面是高分子化学和元素有机化学理论的成熟以及化工发展的促进;另一方面是计算机技术、激光技术等先进研究手段的引入。到 20 世纪末期,化学在基本理论、研究经验的积累、研究手段和方法的应用、研究领域的广度、应用范围等方面都达到了较高的水平。化学与其他自然科学的相互渗透,产生了一系列边缘学科:计算化学、激光化学、固体化学、地球化学、材料化学、矿物化学、土壤化学、行星化学、星际分子天文学等。

天文学是研究宇宙中各类天体和各种天文现象的科学。随着研究方法和观测手段的发展,先后创立了天体测量学、天体力学、天体物理学、光学天文学、射电天文学、空间天文学、天体演化学和宇宙学等分支学科。天文学与其他学科相互借鉴、相互渗透,又形成了天体生物学、宇宙化学、考古天文学以及天文地球动力学等。天文学的发展依赖于观测手段的进步以及物理学和数学为主的研究工具的发展。目前利用地面光学天文设备、地面射电天文设备、X 射线天文设备、远红外线天文卫星、紫外天文设备等观测手段,已经使“恒星演化理论”和“热大爆炸宇宙学理论”相互衔接形成一个整体,是人类第

一次能够科学地描述宇宙从诞生一直演化到今天的全过程。

生命科学是研究生命现象以及生物与环境之间关系的科学。生物物种千差万别,但是都具有新陈代谢、繁殖、遗传、发育和进化等共同的特征。生物学的中心就是一切生物所共有的这些基本生命现象。生物学的研究内容广泛、学科繁多,按研究对象的传统分类包括动物学、植物学和微生物学;按结构层次可分为宏观的群体生物学、系统生态学,以及微观的分子生物学、细胞生物学;按研究方向可以分为形态学、解剖学、生理学、细胞学、遗传学、分类学、生态学、进化论等;与其他学科相渗透,产生了生物数学、生物物理学、生物化学和生物地理学等交叉学科。

三、科学的知识结构

科学的知识结构是指一门学科所包含要素之间的有机结合方式。一般来说,一门学科的知识体系是由科学的事实、概念、范畴、定律、逻辑形式构筑起来的。事实是科学结论的基础和根据,没有对事实的系统化和概括、没有对事实的逻辑认识,任何科学都不可能存在。但事实本身并不是科学,事实只是在以系统的、概括的形式表现出来,并且作为现实规律的根据和证明时,才能成为科学知识的组成部分,即科学事实,其中包括经验事实、观测资料、实验数据等。

科学理论的细胞是概念,它是科学研究的成果和经验的结晶。概念分为具体概念和抽象概念,前者直接反映某种现象的状态和表面性质;后者则由理性思维所把握,反映客观事物的规律和本质。它们之间的联系和转化,使科学概念在内容和形式的结合上构成一个体系结构。范畴是反映具体科学的对象、内容和方法特点的一般概念,是反映客观事物本质联系的思维方式,也是各个知识体系的基本概念。每一个理论都有自己特有的概念。新理论建立的表现者就提出前所未有的新概念,或者加深、扩展、限制已有的概念,或者论证了概念之间的新联系。概念内容的新陈代谢和充实修正,是科学进步的象征。

科学知识结构中主要的组成部分是科学原理、科学定律和科学学说。科学原理反映的是特定条件下的自然事实。对原理的了解必须注意到它是在什么条件下发生的事实。定理则是科学原理的数学表达。科学定律是对客观规律的一种表达形式,着重强调自然过程的必然性。科学定律本身也是有结构的,可以分为具体定律和抽象定律。前者是依靠仪器对客体进行观察并归纳所得资料的结果,如自由落体定律;后者是运用抽象概念进行判断推理的结果,如万有引力定律。二者之间相互联系,表明科学认识逐步深入客观事物本质的推进过程。

科学方法是指研究事实与发现规律的方式。科学方法在应用中分为三个层次:各学科特有的方法,如物理学中的光谱分析法,化学中的催化方法;各门学科通用的科学方法,如观察法、实验法、系统方法等;哲学的方法,是建立在一般科学规律之上的,能够应用于知识的一切领域。按照一个完整的科学认识过程,科学方法分为感性方法、理性

方法和综合方法。

科学理论是在大量经验知识积累的基础上,运用逻辑加工,建立科学的基本概念和基本关系,借助逻辑和数学方法而总结出来的科学认识的知识体系。科学理论是客观过程和关系的反映,是由一系列概念、范畴、原理、定理、公式等组成的逻辑系统。科学理论的特点和基本要求是:外部的证实和内在的完备。两个特点的相互作用和相互补充,意味着科学理论系统地反映了客观事物的本质。科学理论有两个重要的功能:解释功能和预见功能。前者是揭示存在事物的本质,后者是从科学理论逻辑地推导出关于未知事实的结论。解释功能和预见功能是不可分的,它们的共同作用显示出科学理论在整个科学知识体系中占据核心地位。

思考题

1. 如何理解科学的起源?
2. 科学的本质是什么?
3. 作为知识的科学有何特点?

扩展阅读书目

1. 吴国盛:《科学的历程》,北京大学出版社 2002 年版。
2. 艾伦·查尔默斯:《科学究竟是什么》,鲁旭东译,商务印书馆 2007 年版。
3. 怀特海:《科学与近代世界》,何钦译,商务印书馆 1959 年版。
4. 贝尔纳:《历史上的科学》,伍况甫等译,科学出版社 1959 年版。