

自然科学方法研究(I)

袁运开 主编

ZIRAN KEXUE FANGFA YANJIU

华东师范大学出版社

自然科学方法研究 (I)

袁运开 主编

华东师范大学出版社出版发行
(上海中山北路 3663 号)

新华书店上海发行所经销 宜兴南漕印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 8.25 字数: 220 千字

1988 年 5 月第一版 1988 年 5 月第一次印刷

印数: 1-3,600 本

ISBN7-5617-0121-7/N·002

定价: 2.60 元

序 言

自然科学方法的研究,由于对推动科学研究具有明显的作用,因而一直受到人们的重视。从目前国内这方面的研究状况看,已经做了大量有益的工作,但还有不足之处,如讲具体方法多,“论”得还较少;单一地谈论方法多,系统进行综合研究少;研究的路子偏重于形式逻辑的多,注意辩证逻辑的少。有鉴于此,进一步深入进行这一领域的探索,把方法论的研究推向新的高度,显然是一项很有意义的工作。

我们受上海市哲学、社会科学规划领导小组的委托,承担了“自然科学方法研究”这个课题,力求以近现代科学发展的史实为基础,以著名科学家、重要学派、基础学科为主要线索,通过对某一领域、某一学科、某一学派、某一学者在研究过程中所使用的科学方法的剖析,理出各类方法在各种科学研究中运用的规律性,并努力从个别、特殊中抽象出一般,由论方法逐步上升到方法论的高度。在编写的整个过程中,力求以马克思主义哲学为指导来进行分析与探索。作为研究工作的第一步,我们主要完成了有关数、理、化、生、地、史等学科的十四篇单篇论文和“系统·信息·控制”专册的编著。前者作为《自然科学方法研究》论丛的第一册,它汇集了前面讲的各篇论文,其具体内容在这一册的《自然科学方法研究引论》中已作了概述,兹不再赘言。后者作为论丛的第二册,较全面地介绍了系统科学(系统论、信息论、控制论、系统工程等)的基本概念、理论、方法及有关哲学问题。对非生命系统、生命系统、社会系统、认识系统等特殊而重要的系统作了专门论述;对目前有争议、无定论的问题也作了一些探讨。论丛的第三册主要是有关遗

传学、分子生物学的研究方法,目前正在编写中。第四册则将以边缘科学、新兴技术科学研究方法为主要内容。

论丛全书由袁运开主编,第一册参加执笔的有袁运开、胡璠光、张莫宙、缪克成、罗祖德、朱伟、盛根玉、王耀发、吴以义、张沁源、王顺义和杨泰俊。负责第二册编著的有李继宗、朴昌根、陈忠、王顺义等同志。由于作者都是利用业余时间进行工作的,时间上的不够充裕和作者水平的限制,本书只能说是初步实现了部分初衷,为以后的系统工作开了个头,缺点、错误一定不少,恳请读者不吝指教。我们希望本论丛的出版能起到抛砖引玉的作用,同时对大学生、研究生、科学工作者乃至各级干部在提高科学素养、提供方法借鉴等方面能有所助益,在为马克思主义哲学积累材料方面也能起到点滴作用。

袁运开于华东师范大学

1987年4月

目 录

自然科学方法研究引论	袁运开 (1)
§1 现代重要科学家的科学研究方法.....	(2)
§2 现代基础学科的科学方法论.....	(7)
科学批判和经验思辨方法的先驱	袁运开 缪克成 (16)
§1 对经典力学的批判性分析.....	(16)
§2 假设物理概念的相对性思考.....	(21)
§3 探索物理原理的经验思辨方法.....	(26)
§4 经验思辨和思维经济.....	(32)
相对论和自然性原则	张沁源 (38)
§1 狭义相对论的起源和自然性原则.....	(39)
§2 自然性原则中的逻辑简单性.....	(43)
§3 自然性原则中的对称性.....	(47)
§4 自然性原则的方法论调节作用.....	(49)
计入观察者影响的认识方法	吴以义 (53)
§1 由量子力学引出的争论.....	(53)
§2 测不准关系的经典表述.....	(56)
§3 测不准关系的物理基础.....	(59)
§4 望远镜涉及的“认识论问题”.....	(63)
§5 仪器“创造”出来的客观现象.....	(68)
§6 玻尔模型与“非连续描述”的思想.....	(74)
§7 玻尔论测不准关系的认识论基础.....	(75)

科学理论发现的认知模式.....王顺义 (81)

- §1 科学发现研究活动所及的三个方面.....(81)
- §2 注重反常是科学发现的起点.....(86)
- §3 科学理论发现的认知结构调节模式.....(91)
- §4 认知调节的理性原则.....(98)

实现人类知识综合的一种研究方法

——论萨顿的科学史研究.....杨泰俊 (105)

- §1 萨顿的科学观.....(106)
- §2 萨顿的科学史观.....(111)
- §3 科学史研究的科学素养与基本原则.....(116)
- §4 科学史的教学.....(121)

现代数学方法的若干特点.....张冀宙 (126)

- §1 现在是“高维”、“多元”、“高次”的时代.....(126)
- §2 从“局部结构”迈向“整体结构”.....(128)
- §3 确定性数学和随机性数学不断混合.....(130)
- §4 “数值化”、“算法化”、“组合化”正在改变数学的进程.....(132)

现代物理方法的一个主流

——对称理论的思想和方法.....胡瑶光 (135)

- §1 对称理论的意义.....(135)
- §2 对称多重态和粒子分类.....(138)
- §3 物理量的交换、分类和计算 协变和不变.....(143)
- §4 对称性和守恒定律.....(149)
- §5 定域对称和规范场.....(152)
- §6 对称破缺和质量起源.....(157)

强子结构研究方法的回顾.....朱伟 (162)

- §1 早期的点结构模型.....(162)

§2	盖尔曼-茨威格模型和层子模型	(164)
§3	MIT 口袋模型、QCD 与手征口袋理论	(165)
§4	孤子模型	(167)
§5	重夸克偶素和势模型	(168)
§6	弦模型	(169)
§7	方法和经验的探讨	(169)

物理实验方法的历史考察.....缪克成 (178)

§1	早期的物理实验	(178)
§2	实验科学的创立	(179)
§3	实验方法与近代物理学的发展	(182)
§4	实验方法与现代物理学的发展	(186)
§5	物理实验方法的几个特点	(191)

化学家研究方法的历史考察.....盛根玉 (196)

§1	思辨哲学和实用化学的发展	(196)
§2	机械论的微粒哲学和实验化学的兴起	(198)
§3	辩证哲学和理论化学的开端	(201)
§4	物理化学的崛起及其方法论意义	(206)
§5	现代化学发展的特点和化学家研究方法的变革	(209)

从现代生命中寻找生命起源的线索.....王耀发 (217)

§1	生命起源探索的新里程碑	(217)
§2	从活细胞中寻找化学进化的环境	(219)
§3	病毒分子是探索生命起源的理想模型	(222)

河口海岸动力地貌学创立发展的方法论启示

——以华东师范大学河口海岸研究所为例.....罗祖德 (230)

§1	从静态描述到动态研究	(234)
§2	从研究古今之变到探索演变动力	(235)

§3 从单一学科到多学科的综合(238)

§4 自然科学和社会科学的结合开辟了河口海岸研究的新天地 ... (240)

关于自然科学史方法论的若干探讨.....袁运开 (243)

自然科学方法研究引论

袁 运 开

现代科学技术,自 20 世纪以来取得了突飞猛进的发展。它既使科学技术本身发生了深刻而广泛的革命,又直接导致了社会经济、政治、文化、教育各个方面重大而令人惊叹的变化。随着现代科学技术的全面发展,自然科学方法论的研究也越来越引人注目。实践一再证明,积极开展自然科学方法论的研究,不仅对于丰富和发展马克思主义的认识论,而且对于促进我国社会主义现代化建设、发展整个科学技术事业都具有极为重要的意义。

那么,如何来进行自然科学方法论的研究呢?我们认为,极为重要的是在研究现代科学技术史特别是现代重大的科学发现过程中的具体实践经验的基础上,注重研究和总结现代重要的科学家关于科学方法的观点和论述。在现代科学技术史上,科学技术的发展与科学方法的发展是一致的,科学技术的重大突破总是与科学方法上的创新密切相关的。现代科学技术史上有重大贡献的科学家,大多都关心科学研究方法问题。

与此同时,自然科学方法论的研究,应在全面了解现代各门学科发展的新成就和新趋势的基础上,充分运用辩证思维规律去揭示各门学科的科学认识过程的本质,概括科学知识体系的逻辑结构和发展规律,密切结合现代科研的实践,总结科学理论思维和技术发明创造的经验和方法。

为此,本书的论文主要分成两大部分。第一部分是论述现代重要科学家的科学研究方法;第二部分是论述现代各门基础学科

的科学方法论。如果读者先看一下这篇引论，就可以大致了解本书的梗概，然后可以选择自己最感兴趣的论文先行阅读。

§1 现代重要科学家的科学研究方法

第一篇文章论述了奥地利科学家马赫的科学研究方法。作者认为，马赫在物理学方面取得的成就，虽不如他同时代极为著名的物理学家那样达到很高的水平，然而恰恰是他成了在物理学研究领域颇具影响的人物。这里的原因当然是多方面的，其中一个重要原因便是，马赫如同那些极为著名的物理学家一样，当他们一旦在自己所从事的物理科学领域取得成功后，总是强烈地本能地站在某种哲学的高度，以富有批判的追根究底的精神，运用颇具特色的方法论，试图对自然科学原理和整个世界图景作出透彻而统一的解释。

围绕马赫的科学批判和经验思辨的方法，作者着重就马赫对经典力学的批判性分析、假设物理概念的相对性思考、探索物理原理的经验思辨以及经验思辨和思维经济等四个方面，作了具体的探讨和评价。

由于马赫在对经典力学运用批判性分析方法时，着意针对力学先验论和机械论自然观，因而作者指出，马赫便成为成功地对牛顿经典力学体系提出科学批判的第一位自然科学家。作者认为，马赫假设物理概念运用相对性思考方法也是颇具特色的。这是因为在马赫看来，作为与物理概念发展有关的物理原理的基础性是相对的；包含时空概念在内的物理概念也是相对的和可变的，由此导致了“马赫原理”。

作者进一步论述了，马赫探索物理原理的经验思辨方法，总的来说是主观唯心主义的。但通过研究马赫以静力学为例对杠杆定律、斜面定律等形成所作的分析，可以看出，马赫十分强调经验对于探索物理原理所具有的决定作用，强调创立物理原理有赖于建

立在经验基础之上的直觉认识，强调物理原理必须停留在经验范围之内、又必须经常期待实验证实的方法，都给当时及后来的自然科学家以深刻的启发。

张沁源同志在他的文章中论述了伟大科学巨匠爱因斯坦所运用的自然性原则这一科学研究方法。作者认为，自然性是爱因斯坦毕生科学创造中所遵循的方法论原则；自然性作为方法论意义上的名词也是爱因斯坦首先使用的。于是作者主要通过相对论的起源和发展去具体地考察爱因斯坦对自然性原则这一科学研究方法的贡献和创造，从而阐明自然性原则的方法论作用。

首先，爱因斯坦认为，一个理论是自然的或者完备的，那末这个理论必定是自洽的，理论的各个基本概念或基本观点之间不当存在无法消除的矛盾，并且这个理论应当没有神秘性和很少任意性。

第二，理论前提的自然性，在形式上往往表现为理论前提的逻辑简单性。作者在分析自然性原则中的逻辑简单性时指出，运用这一方法应满足一些具体要求，即要求理论中逻辑上没有必然联系的基本假设尽可能地少；要求理论有尽可能少的独立的概念和基本方程；要求理论对自然规律的描述具有最简洁的形式。

第三，理论前提的自然性，还要求理论具有内在对称性。爱因斯坦在创立相对论时，正是把对称性作为第一性原理来运用的。作者认为，从方法论角度而言，在提出原理性假设的过程中，对称性方法起了将分散的零星的经验事实予以综合并进一步抽象的作用，起了将感性认识上升到理性认识的类似于杠杆的作用，从而有力地促成认识发生飞跃而形成科学的概念。目前，许多自然科学家都高度重视对称性方法。

最后作者指出，自然性原则是爱因斯坦对自然科学方法论的一大贡献，尽管他本人没有明确建议把自然性作为一个方法论原则，但他实际上已把理论内在的完备性、理论的逻辑简单性和理论内在的对称性统一在一个方法论原则之下，并在创立相对论中成

功地应用了这一方法论原则。此外，自然性原则还有评判理论的方法论作用，所有这些充分体现了爱因斯坦的方法论技巧和卓越的哲学见解。

吴以义同志在他的文章中论述了哥本哈根学派领导人、著名物理学家尼尔斯·玻尔关于由测不准关系所涉及的观察者地位和现象客观性这一方法论问题。作者首先指出，由量子力学引出的这个争论，有时是物理学的，有时是哲学和方法论的，而更多的时候是介于两者之间，或者兼有这两者的观念，这种争论在关于测不准关系式的讨论中，得到了最典型的反映。接着作者分析了海森堡、狄拉克、朗道、德布罗意等对测不准关系表述的共同点，在于都注意到测不准关系是在测量过程中展示出来的，并都占有基本原理的地位。也就是说，作为表述微观客体的观察和测量特性的测不准关系本身并不构成异议，然而对测不准关系的物理意义或进一步的认识论意义，却产生了很大的分歧。

基于对于量子力学中的观察比较细致的分析，作者认为可以作这样的归纳：(1) 没有“纯的”量子系统，即能为人所感知的量子系统必然包含某些宏观客体作为人的感官和量子客体的中介，这种宏观客体，朗道称之为“仪器”；(2) 量子力学中的测量，是量子客体与宏观客体的相互作用，其作用痕迹同时依赖于量子客体的状态和宏观客体的选择，而这种认识量子客体中牵涉的原则困难，则被玻尔称为“认识论上的新形势”。

玻尔对物理学所面临的“认识论上的新形势”所作的分析，作者指出这是常被称为哥本哈根解释的精髓之一。玻尔的基本思路是：由于亚原子客体极端微小，我们在观察中必须使用仪器，于是仪器-亚原子客体间的相互作用是不可避免的；这种相互作用涉及的能量转移，按普朗克的量子假设，必不少于 h ，这就提出了由测不准关系表示的测量的最大精确度。

这种计入观察仪器的状态，即观察仪器和亚原子客体的相互作用的认识方法，以后即为哥本哈根学派认识方法的中心法则。

接着作者列举了一些例子，说明玻尔在很多论述中一再强调这一点。作者还指出，这种阻止我们对事件的无限精细的划分的限制，玻尔称之为“个体性”或“整体性”。这种限制并不提示任何意义上的“认识的极限”，而只是某一种认识方法的使用范围。

王顺义同志在他的文章里论述了比利时布鲁塞尔学派的领导人，著名的物理化学家普里戈金的关于科学理论发现的认知模式。作者围绕普里戈金创立（或发现）耗散结构理论的全过程，阐述了科学发现研究活动所及的三个方面的自然观、科学理论和经验事实。

经验事实，可以是一个科学家自己通过观察、实验活动获得的，也可以是重复别人的实验或查阅别人的实验记录而获得的。在科学发现过程中，科学家所涉及到的科学理论，有既存的科学理论，也有自己新提出的科学概念、科学假设和假说。至于自然观作为科学发现过程中的一个基本因素，在普里戈金的案例中表现得相当突出，然而却为许多科学家和科学哲学家所否认甚至反对，他们认为自然观是一种思辨的东西，而科学是讲究实证的，它只与经验事实和科学理论有关，它不诉诸“形而上学”思辨的东西。作者指出，普里戈金却与众不同，他十分重视自然观在研究工作中所起的指导作用。

在分析注重反常是科学发现的起点时，作者列举了普里戈金所注意到自然观和经验事实这两个层次之间相互作用时出现的反常，导致了普里戈金对旧有自然观的摒弃，不再相信微观世界的简单性，并对时间所起作用进行重新估价。这样一来，普里戈金便把从生物系统、社会系统在宏观上看到的不可逆现象与从物理系统在微观上观察到的不可逆现象统一起来，形成一个对自然界和社会的统一的图景。普里戈金这种注重反常的科学方法，对他尔后的科学研究也起着促进作用。

当科学家抓住了各种反常之后，接下来就要进行探索，以便最后发现新的理论。以前的经验论者，总欢喜把这种探索过程理想

化为简单地由经验材料上升为科学理论的过程，这种过程是单向的。但是作者指出，从普里戈金所作的探索过程来看，则是一个自然观、科学理论和经验事实之间不断相互作用的过程。既然是相互作用，那这种过程就不是单向的，而是有若干反馈环路的。作者便以普里戈金创立“耗散结构理论”的全过程予以说明。最后，作者结合对普里戈金案例的分析，提炼出科学发现认知调节的如下四个理性原则：“边界外”探索原则、试错法原则、逐级理性重构原则、整合原则。

杨泰俊同志在他的文章中论述了著名科学史家萨顿的科学研究方法。作者认为，科学方法是受科学观支配的。萨顿在科学史上所倾注的满腔热情，在垒建科学史大厦的一砖一瓦时所表现出来的专注与认真，在很大程度上源自于他对科学地位与作用的评价。他曾经在很多场合，在不少文献资料上讲过类似于“科学是世界上最革命的力量”和“科学是社会变革的根源”这样的话。作者还分析了萨顿科学观的其他两个组成部份，即科学具有整体性和实证性，因而是积累地逼近真理的；科学具有国际属性。在分析过程中，作者认为萨顿关于科学的属性、作用和自身发展有许多精辟的耐人寻味的独创之见，但又指出，萨顿对科学神化的鼓吹则远离了人的社会属性、人类社会经济现象和应有的哲学分析，这显然是不足取的。

萨顿作为著名科学史家，还有其科学史观。作者指出，萨顿在展开了他对科学史的基本属性的研究之后，进一步阐述了他关于研究科学史目的的看法。在萨顿看来，研究科学史的目的，就是为了实现人类知识的综合。因为科学史是联系自然科学与人文科学的一座天桥，它能说明各种科学之间的联系、它们彼此合作的成就、它们的共同目标和方法。由此驱使他追求科学史的综合研究，反对将研究科学史的目的归于个别发现的记载，主张科学史的研究要说明人类科学思想的进步和人类自觉性的发展。作者进一步指出了，萨顿的科学史观，在对历史学观与科学观作出明智辨析的

基础上,所强调的是科学史的方法功能和道德教育功能。

科学史研究与教育又是一项严肃、神圣的工作。作者认为,萨顿十分注重科学史研究的严肃性,和与之相适应的从事科学史研究所必须具备的科学素养,强调了从文献入手、多维视野、追踪研究等是科学史研究的最基本的方法。最后,作者介绍了萨顿有关科学史教学方法的一系列见解,这对我们今天培养科学史研究人才仍有许多值得借鉴的地方。

§2 现代基础学科的科学方法论

张奠宙同志在他的文章里论述了现代数学方法论的若干特点。首先指出了20世纪的数学,就其内容的丰富而言,可以说已超过人类到19世纪为止的全部数学知识。第二次世界大战以后,尽管大数学家希尔伯特、冯·诺伊曼先后去世,但是数学发展的速度仍然在不断提高。现代数学更抽象,应用更广泛,这是人所共知的事实。人们当然要进一步问:现代数学的特点究竟是什么?它的发展趋势怎样?新阶段的标志怎样选择?这些问题的答案将是各种各样的,但作者就个人经验所及,对晚近几十年来纯粹数学发展的几个特点,阐述了自己的看法。

作者认为,当前最引人注目的纯粹数学领域是“高维”(n 维空间中的流形)、“多元”(实的或复的多变量函数)和“高次”(非线性方程)。接着列举了 Falting、Donaldson 的工作成就、非线性偏微分方程在70年代获得重大突破以及丘成桐等人的研究成果,进一步说明我们的数学知识结构和数学教育内容,必须适应这一“高维化”、“多元化”、“高次化”的潮流,才能使现代数学方法获得更多的应用。

20世纪的数学,越来越从研究数量扩展到研究数学结构,也就是把许多数学对象的某些数量关系撇在一边,只是定性地考察它的结构,这一数学思想上的转变,给数学带来了蓬勃的生机。作

者还指出,从局部结构到整体结构的转变,也是最近几十年来数学研究的重要标志之一,以这种研究对象的数学,就是通常所说的代数拓朴学、组合拓朴学和微分拓朴学等。

除了上述现代数学方法的特点外,作者还阐述了确定性数学和随机性数学的不断混合,以及“数值化”、“算法化”、“组合化”正在改变数学的进程等特点。作者最后强调,要发展中国的现代数学,使中国成为真正的数学大国,那就必须掌握现代数学的客观发展情况,有针对性地加强对主流数学的研究,以跟上世界数学前进的步伐。

有关现代物理方法论,本书收入三篇论文。胡瑶光同志在他的文章中首先指出,对称理论在现代粒子物理理论中占居主导地位。过去,它主要是认识自然的一种思想方式;现在,它不仅是一种描述物理规律的理论,而且已成为处理问题的一种重要方法。

通过分析对称理论的形成和发展,作者指出,在四种相互作用进行统一的研究中,取得成功的都属规范场论,从而肯定对称理论在现代物理学研究中的重要意义。接着作者介绍了对称多重态的粒子分类。现代粒子物理认为:构成物质的基本粒子是轻子和夸克,它们分属三代。现代大统一理论的一个多重态中,粒子的自旋必需是相同的,自旋不同的粒子,不能归于一个多重态。至于现代发展的超对称理论则认为:自旋不同的费米子和玻色子之间也有对称性,它进一步把费米子和玻色子置于同一多重态中,并称之为超对称多重态。

在对称理论中,由于粒子按对称多重态分类,导致了新粒子的发展,引进了夸克,取得重大的成果,显示出对称理论的巨大力量。作者进一步指出,将物理量按其变换性质进行分类,是对称理论的基础;物理方程中的各项应是协变的,且按同样规律变化,是对称理论的基本思想;现代的粒子场论都是拉格朗日场论,拉格朗日密度必须是不变的,则是对称理论的基本要求。所有这些,不仅是人们分析问题的理论观点,也是人们处理问题的有效方法。运用对称

理论的思想和方法，便有可能建立新的物理理论，也可使计算简化。不仅如此，由于对称性和守恒定律有着紧密联系，使对称理论更加接近物理实际。

作者还认为，定域对称在对称理论中，具有特殊的重要意义。它导致了规范场的发现。现代的粒子场论，几乎都是规范场论。规范场论在粒子物理中占据统治地位。于是，作者根据个人多年研究所得，介绍了规范场的基本思想和导致规范场的方法。最后，作者还指出，质量的存在总使对称性遭受破坏，那么，对称性的破坏就意味着存在质量。所以，人们常从对称性的破缺，去探讨粒子的质量，这是对对称理论的重大发展，也开辟了研究质量起源的一个重要方面，并得到了一些重大成果。

朱伟同志在他的文章中主要对强子结构理论和方法的研究历史进行回顾，并试图从中寻找一些经验和教训。作者首先指出，任何一本权威性的物理文摘杂志中，都辟有“强子结构理论”方面的专栏，收集着全世界每年发表的有关这项研究的成百上千篇论文。物理学家认真地探索基本粒子的结构，少说也有二三十年的历史，虽然取得了很大进展，但这方面仍有一系列关键性的细节没有搞清楚。即便以最常见的强子-核子来讲，物理学文献中谈论它的结构时，几乎每隔几年，便要调换一番花样。至于寻找一幅具有预言能力的完善的强子图象，从目前的状况来看，这是一个大有希望，但不会轻易得到成功的奋斗目标。

接着，作者先后分析了强子的早期的点结构模型、盖尔曼-茨威格模型、层子模型、MIT 口袋模型、QCD 与手征口袋理论、孤子模型、重夸克偶素和势模型、弦模型。在此基础上指出，同物理学的其他研究领域^{〔6〕}一样，在强子结构理论研究中，起决定作用的是一系列的实验研究。往往有这样的情况，某一项实验反映出来的新现象，一下子改变了人们对于强子结构的传统观点。当然，有关强子结构的重要信息，并不总是反映在一、二项决断性的实验中，有时这些信息表现为一系列资料的总和。例如，夸克模型和层子模