

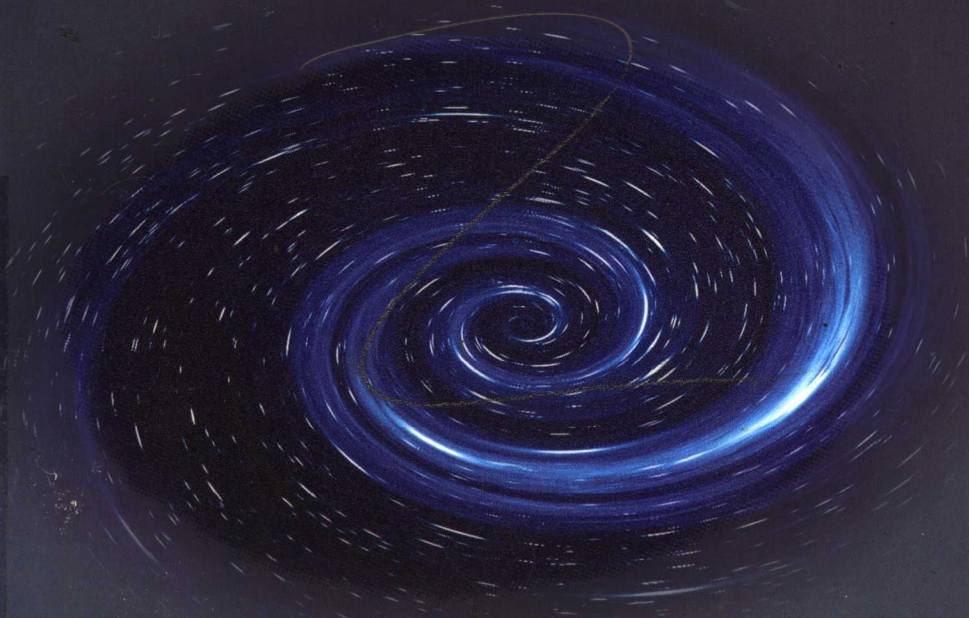
教育部人文社会科学重点研究基地  
山西大学科学技术哲学研究中心

科学  
技术  
哲学  
文库

主编 郭贵春

# 规范场论的哲学探究

◎ 桂起权 高策等 / 著



科学出版社  
www.sciencep.com

N02/118

2008

科学技术哲学文库

# 规范场论的哲学探究

——它的概念基础、历史发展与哲学意蕴

桂起权 高 策 李继堂 吴新忠 李宏芳 著

本书受教育部 2004 年哲学社会科学研究重大课题攻关项目“当代科学哲学的发展趋势研究”(04JZD0004)和教育部人文社会科学重点研究基地——山西大学科学技术哲学研究中心基金资助

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本书立足于规范场论在科学实践上的成功,从它对破解自然界诸种相互作用之谜的关键作用来探究其哲学意义,汲取了欧洲大陆的“思辨哲学”和英美的“分析哲学”的优点并将它们相互结合运用。深入地分析了规范场论的基本原理、形而上学的基础、概念及其由来、对称性与宇宙设计和杨-米尔斯场等,并从科学哲学角度审读了规范场论的研究纲领。

本书内容上层层递进,概念把握准确,对规范场论的哲学解读视角新颖,语文通俗,适合物理学、物理哲学和科学哲学工作者,以及相关专业大学师生参阅,也适合规范场和哲学爱好者阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

规范场论的哲学探究:它的概念基础、历史发展与哲学意蕴 / 桂起权, 高策等著. —北京:科学出版社, 2008

(科学技术哲学文库)

ISBN 978-7-03-021122-4

I. 规… II. 桂… III. 规范场-科学哲学-研究 IV. N020413.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 056729 号

丛书策划:孔国平 / 责任编辑:孔国平 郭勇斌

责任校对:钟 洋 / 责任印制:钱玉芬 / 封面设计:张 放

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2008 年 5 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2008 年 5 月第一次印刷 印张:17

印数:1—3 000

字数:318 000

定价:36.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈长虹〉)

## 《科学技术哲学文库》

### 编 委 会

主编 郭贵春

编委 (以姓氏笔画为序)

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 孔富安 | 卢 风 | 邢东梅 | 任定成 | 刘晓力 |
| 成素梅 | 乔瑞金 | 陈 凡 | 李 红 | 李伯聪 |
| 李 侠 | 李建会 | 张华夏 | 张培富 | 肖 峰 |
| 洪晓南 | 胡新和 | 殷 杰 | 郭贵春 | 高 策 |
| 蔡 仲 | 魏屹东 |     |     |     |

## 总 序

怎样认识、理解和分析当代科学哲学的现状,是我们把握当代科学哲学面临的主要矛盾和问题、推进它在可能发展趋势上获得进步的重大课题,有必要将其澄清。

如何理解当代科学哲学的现状,仁者见仁,智者见智。明尼苏达科学哲学研究中心于2000年出了一部书《Minnesota Studies in the Philosophy of Science》,书中有作者明确地讲:“科学哲学不是当代学术界的领导领域,甚至不是一个在成长的领域。在整体的文化范围内,科学哲学现时甚至不是最广泛地反映科学的令人尊敬的领域。其他科学研究的分支,诸如科学社会学、科学社会史以及科学文化的研究等,成了作为人类实践的科学研究中更为有意义的问题、更为广泛地被人们阅读和论争的对象。那么,也许这导源于那种不景气的前景,即某些科学哲学家正在向外探求新的论题、方法、工具和技巧,并且探求那些在哲学中关爱科学的历史人物。”<sup>①</sup>从这里,我们可以感觉到科学哲学在某种程度上或某种视角上地位的衰落。而且关键的是,科学哲学家们无论是研究历史人物,还是探求现实的科学哲学的出路,都被看做是一种不景气的、无奈的表现。尽管这是一种极端的看法。

那么为什么会造成这种现象呢?主要的原因就在于,科学哲学在近30年的发展中,失去了能够影响自己同时也能够影响相关研究领域发展的研究范式。因为,一个学科一旦缺少了范式,就缺少了纲领;而没有了范式和纲领,当然也就失去了凝聚自身学科、同时能够带动相关学科发展的能力,所以它的示范作用和地位就必然地要降低。因而,努力地构建一种新的范式去发展科学哲学,在这个范式的基础上去重建科学哲学的大厦,去总结历史和重塑它的未来,就是相当重要的了。

换句话说,当今科学哲学是在总体上处于一种“非突破”的时期,即没有重大的突破性的理论出现。目前我们看到最多的是,欧洲大陆哲学与大西洋哲学之间的相互渗透与融合;自然科学哲学与社会科学哲学之间的彼此借鉴与交融;常规科学的进展与一般哲学解释之间的碰撞与分析。这是科学哲学发展过程中历史地必然地要出现的一种现象,其原因就在于:第一,从20世纪的后历史主义出现以来,科学哲学在元理论的研究方面没有重大的突破,缺乏创造性的新视角和新方法。第二,对自然科学哲学问题的研究越来越困难,无论是什么样的知识背景出身的科

---

<sup>①</sup> *Minnesota Studies In the Philosophy of Science*, Volume XVIII, Logical Empiricism in North America, University of Minnesota Press, 2000, 6.

学哲学家,对新的科学发现和科学理论的解释都存在着把握本质的困难,它所要求的背景训练和知识储备都愈加严苛。第三,纯分析哲学的研究方法确实有它局限的一面,需要从不同的研究领域汲取和借鉴更多的方法论的视角;但同时也存在着对分析哲学研究方法的忽略的一面,轻视了它所具有的本质的内在功能,需要对分析哲学研究方法在新的层面上进行发扬光大。第四,试图从知识论的角度综合各种流派、各种传统去进行科学哲学的研究,或许是一个有意义的发展趋势,在某种程度上可以避免任一种单纯思维趋势的片面性,但是这确是一条极易走向“泛文化主义”的路子,从而易于将科学哲学引向歧途。第五,由于科学哲学研究范式的淡化及研究纲领的游移,导致了科学哲学主题的边缘化倾向;更为重要的是,人们试图用从各种视角对科学哲学的解读来取代科学哲学自身的研究,或者说把这种解读误认为是对科学哲学的主题研究,从而造成了对科学哲学主题的消解。

然而,无论科学哲学如何发展,它的科学方法论的内核不能变。这就是:第一,科学理性不能被消解,科学哲学应永远高举科学理性的旗帜;第二,自然科学的哲学问题不能被消解,它从来就是科学哲学赖以存在的基础;第三,语言哲学的分析方法及其语境论的基础不能被消解,因为它是统一科学哲学各种流派及其传统方法论的基底;第四,科学的主题不能被消解,不能用社会的、知识论的、心理的东西取代科学的提问方式,否则科学哲学就失去了它自身存在的前提。

在这里,我们必须强调指出的是,不弘扬科学理性就不叫“科学哲学”,既然是“科学哲学”就必须弘扬科学理性。当然,这并不排斥理性与非理性、形式与非形式、规范与非规范研究方法之间的相互渗透、相互融合和统一。我们所要避免的只是“泛文化主义”的暗流,而且无论是相对的还是绝对的“泛文化主义”,都不可能指向科学哲学的“正途”。这就是说,科学哲学的发展不是要不要科学理性的问题,而是如何弘扬科学理性的问题,以什么样的方式加以弘扬的问题。中国当下人文主义的盛行与泛扬,并不证明科学理性的不重要,而是在科学发展的水平上,由社会发展的现实矛盾激发了人们更期望从现实的矛盾中,通过人文主义的解读,去探求新的解释。但反过来讲,越是如此,科学理性的核心价值地位就越显得重要。人文主义的发展,如果没有科学理性作基础,那就会走向它关怀的反面。这种教训在中国的社会发展中是很多的,比如有人在批评马寅初人口论时,曾以“人是第一可宝贵的”为理由。在这个问题上,人本主义肯定是没错的,但缺乏科学理性的人本主义,就必然地走向它的反面。在这里,我们需要明确的是,科学理性与人文理性是统一的、一致的,是人类认识世界的两个不同的视角,并不存在矛盾。在某种意义上讲,正是人文理性拓展和延伸了科学理性的边界。但是人文理性不等同于人文主义,这正像科学理性不等同于科学主义一样。坚持科学理性反对科学主义,坚持人文理性反对人文主义,应当是当代科学哲学所要坚守的目标。

我们还需要特别注意的是,当前存在的某种科学哲学研究的多元论与 20 世纪

后半叶历史主义的多元论有着根本的区别。历史主义是站在科学理性的立场上,去诉求科学理论进步纲领的多元性;而现今的多元论,是站在文化分析的立场上,去诉求对科学发展的文化解释。这种解释虽然在一定层面上扩张了科学哲学研究的视角和范围,但它却存在着文化主义的倾向,存在着消解科学理性的倾向性。在这里,我们千万不要把科学哲学与技术哲学混为一谈。这二者之间有着重要的区别。因为技术哲学自身本质地赋有着更多的文化特质,这些文化特质决定了它不是以单纯科学理性的要求为基底的。

在世纪之交的后历史主义的环境中,人们在不断地反思 20 世纪科学哲学的历史和历程。一方面,人们重新解读过去的各种流派和观点,以适应现实的要求;另一方面,试图通过这种重新解读,找出今后科学哲学发展的新的进路,尤其是科学哲学研究的方法论的走向。有的科学哲学家在反思 20 世纪的逻辑哲学、数学哲学及科学哲学的发展,即“广义科学哲学”的发展中,提出了存在着五个“引导性的难题”(Leading Problems):

第一,什么是逻辑的本质和逻辑真理的本质?

第二,什么是数学的本质?这包括:什么是数学命题的本质,数学猜想的本质和数学证明的本质?

第三,什么是形式体系的本质?什么是形式体系与希尔伯特称之为“理解活动”(the activity of understanding)的东西之间的关联?

第四,什么是语言的本质?这包括:什么是意义、指称和真理的本质?

第五,什么是理解的本质?这包括:什么是感觉、心理状态及心理过程的本质?<sup>①</sup>

这五个“引导性的难题”概括了整个 20 世纪科学哲学探索所要求解的对象及 21 世纪自然要面对的问题,有着十分重要的意义。从另一个更具体的角度来讲,在 20 世纪科学哲学的发展中,理论模型与实验测量、模型解释与案例说明、科学证明与语言分析等,它们结合在一起作为科学方法论的整体,或者说整体性的科学方法论,整体地推动了科学哲学的发展。所以,从广义的科学哲学来讲,在 20 世纪的科学哲学发展中,逻辑哲学、数学哲学、语言哲学与科学哲学是联结在一起的。同样,在 21 世纪的科学哲学进程中,这几个方面也必然会内在联结在一起,只是各自的研究层面和角度会不同而已。所以,逻辑的方法、数学的方法、语言学的方法都是整个科学哲学研究方法中不可或缺的部分,它们在求解科学哲学的难题中是统一的和一致的。这种统一和一致恰恰是科学理性的统一和一致。必须看到,认知科学的发展正是对这种科学理性的一致性的捍卫,而不是相反。我们可以这样讲,20 世纪对这些问题的认识、理解和探索,是一个从自然到必然的过程;它们之

---

① S. G. Shauker, *Philosophy of Science, Logic and Mathematics in 20th Century*, Routledge, London, 1996, 7.

间的融合与相互渗透是一个由不自觉地自觉的过程。而 21 世纪,则是一个“自主”的过程,一个统一的动力学的发展过程。

那么,通过对 20 世纪科学哲学的发展历程的反思,当代科学哲学面向 21 世纪的发展,近期的主要目标是什么呢?最大的“引导性难题”又是什么呢?

第一,重铸科学哲学发展的新的逻辑起点。这个起点要超越逻辑经验主义、历史主义、后历史主义的范式。我们可以肯定地说,一个没有明确逻辑起点的学科肯定是不完备的。

第二,构建科学实在论与反实在论各个流派之间相互对话、交流、渗透与融合的新平台。在这个平台上,彼此可以真正地相互交流和共同促进,从而使它成为科学哲学生长的舞台。

第三,探索各种科学方法论相互借鉴、相互补充、相互交叉的新基底。在这个基底上,获得科学哲学方法论的有效统一,从而锻造出富有生命力的创新理论与发展方向。

第四,坚持科学理性的本质,面对着前所未有的消解科学理性的围剿,要持续地弘扬科学理性的精神。这一点,应当是当代科学哲学发展的一个极关键的东西。同时只有在这个基础上,才能去谈科学理性与非理性的统一,去谈科学哲学与科学社会学、科学知识论、科学史学及科学文化哲学等流派或学科之间的关联。否则的话,一个被消解了科学理性的科学哲学还有什么资格去谈论与其他学派或学科之间的关联?

总之,这四个从宏观上提出的“引导性难题”既包容了 20 世纪的五个“引导性难题”,同时也表明了当代科学哲学的发展特征就在于:一方面,科学哲学的进步越来越多元化。现在的科学哲学比之过去任何时候,都有着更多的立场、观点和方法;另一方面,这些多元的立场、观点和方法又在一个新的层面上展开,愈加本质地相互渗透、吸收与融合。所以,多元化和整体性是当代科学哲学发展中一个问题的两个方面。它将在这两个方面的交错和叠加中,寻找自己全新的出路。这就是为什么当代科学哲学拥有它强大生命力的根源。正是在这个意义上,经历了语言学转向、解释学转向和修辞学转向这“三大转向”的科学哲学,而今走向语境论的研究趋向就是一种逻辑的必然,成为了科学哲学研究的必然取向之一。

我们山西大学的科学哲学学科,这些年来就是围绕着这四个面向 21 世纪的“引导性难题”,试图在语境的基底上从科学哲学的元理论、数学哲学、物理哲学、社会科学哲学等各个方面,探索科学哲学发展的路径。我希望我们的研究能对中国科学哲学事业的发展有所贡献!

郭贵春

2007 年 6 月 1 日

## 前 言

本书是“物理学前沿的哲学问题研究——规范场论的哲学意义”课题的最终成果。物理学属于自然科学的最基础部分。在整个物理学之中,牛顿力学和麦克斯韦电磁理论是近代物理学的基础;狭义相对论、广义相对论和量子力学是现代物理学的三大支柱。量子场论是量子力学与狭义相对论相结合的产物;在某种意义上,规范场论可以看作量子场论思想与广义相对论中的“物理学几何化”思想综合的结果。一些探索性的研究,如量子力学与广义相对论的直接结合的尝试,产生了“量子引力论”,而量子场论与“量子引力论”结合的尝试,正建构着“超弦理论”。不过,量子引力至今尚未得到十分可靠的实验验证,而“超弦理论”甚至在相当长一段时间内还很难跟实验联系起来。相对而言,在这些结合所产生的理论中,只有量子场论和规范场论已经相当成功,尤其是量子场论和规范场论基础上的标准模型,仍然是理解自然界四种基本作用(除了引力之外)的最好理论。可见,量子场论和规范场论应当看做是当代物理学中的核心部分。

国际上,相对论和量子力学从初创之日起就受到科学哲学界的重视。在我国科学哲学界,改革开放之前,本来就是重视从自然辩证法视角去发掘相对论的哲学意蕴,特别是,时间、空间与物质运动之间深刻的辩证联系等;在改革开放之后,许多科学哲学学者对于在积极意义上从正面发掘量子力学的哲学意蕴表现出空前的热情。例如,有多世界解释、量子测量、退相干、量子远程关联及量子通讯、全同粒子“相对可分离的整体性”等哲学问题。这是十分可喜的现象。相比之下,遗憾的是,关于量子场论和规范场论的哲学意义研究却仍然严重地被忽视。可是,只有站在量子场论和规范场论的高度,才有可能更加深刻地理解相对论和量子力学中的哲学问题,并有可能阐明其本质含义,甚至有些物理问题(比如场、粒子、相互作用等)只有在量子场论和规范场论的统一框架下才能得以正确理解。重要的是,量子场论和规范场论已经成为未来新理论的基础,新理论在建设过程中需要大量的“示向性”的思考(若按照培根的说法,是指路牌式的),唯有从量子场论和规范场论的哲学反思中才能吸取启发性的力量。

目前,国际上关于量子场论中的哲学问题研究,主要集中在对其中的一些基本概念、理论体系的解释和说明。事实上,关于量子场论的哲学研究只是最近十几年来才逐步开展的,而且主要关心的问题还是从量子力学和相对论中哲学问题引申而来。在20世纪80年代,由于杨振宁的带动,国内物理学界有关量子场论和规范场论的研究迅速繁荣起来,但相比之下哲学刊物上只有不多几篇介绍量子场论的

文章。当然,最近几年国内外都开始重视量子场论和规范场论的哲学研究。但是,国内专门从事规范场论的哲学研究的专著一时还很难见到。

本书探讨规范场论的哲学意义,主要立足于规范场论在科学实践上的成功,特别是其对破解自然界诸种基本相互作用之谜的关键性作用。鉴于规范场论在现代粒子物理学中的核心地位,不难推断出它必定是人类认识史上最深入的成就之一,其中理应包含人类理性中最精彩的成分,因此我们说规范场论肯定有其深刻的哲学意蕴。

在我国科学技术哲学界,同时存在着几种不同的研究传统或思维模式。1949年革命之后,主要以苏联为榜样,在相当长时期内是自然辩证法传统起着主导作用。自然辩证法思想至今仍然是富有启发力的一种模式,它现在采取更加灵活的表现形式,比以往任何历史时期更具有开放性和包容性。改革开放以来,随着西方科学哲学(主要是分析哲学传统的)思潮的拥入,产生了越来越强大的影响。在我国自然辩证法教程中,对分析性科学哲学,正处在批判性吸收和消解的过程之中。另外,还存在着欧洲大陆哲学中“思辨的形而上学传统”的一定影响(其中也包含着丰富的、特有的辩证法),这也是一股不可忽视的力量。

在哲学领域,不同观点之间的紧张对立是司空见惯的。但是,像本课题主持人之一所经历的那样一种戏剧性的场面,却仍然是十分罕见的。情况是这样的:有一次,笔者出席了武汉大学博士答辩之后的午宴,同时有分析哲学学者和思辨哲学学者参加。非常凑巧,两派学者正好轮流地上洗手间,于是正当一派学者在发表高论时,另一派学者就不在场。可是,笔者倒是把两方面的高论全部都灌进耳朵里去了。酒后,一位思辨哲学派学者得意洋洋地说,依我看,唯有思辨的形上学才是真正的哲学,至于语言分析、逻辑分析其实只是雕虫小技而已。过了一会儿,分析哲学派学者回来了,接着其中有一位也痛痛快快地说,形上学的那一套思辨的东西,我是看不上眼的,因为它经不起精细的语言分析和逻辑分析,玩的只是论辩术的把戏。笔者在当时的感觉是,这种场面千载难逢,真是有趣非凡,能有此经历实为人生一大快事。由于笔者不喜欢与人正面发生冲突,因此在当时没有发表任何评论。虽然笔者觉得他们的话说得都很极端,但是确实都很深刻。如果有人让我们在“平庸而不偏不倚的观点”与“深刻但又片面极端的观点”此两者之间作出一种选择,那么笔者宁愿选择“片面的深刻性”。当然,笔者现在想说的是,其实两派学者各有各深刻的一面,应当相互学习、取长补短,用不着相互否定、相互排斥。

在本书作者看来,西方科学哲学仍然是强有力的、富有启发性的哲学范式之一,但其中的分析传统和经验主义传统也确实有它特殊的局限性。正因为如此,本书在考察规范场论的哲学意义时,希望同时汲取“思辨哲学派”与“分析派科学哲学”两方面的优点,并竭力把它们整合起来。为此,本书把近代认识论中的康德知识论定为研究的起点。当然,我们希望逐步学会辩证地看问题,尽力在相互竞争的

研究传统(或研究纲领)之间保持“必要的张力”。既不能局限在分析的经验主义传统中,同样也不能禁锢在“先验哲学”之中。至于对科学与哲学的关系,我们也有一种特殊的理念,就是要让自然科学的成果和哲学范畴互相辩护,从而加深对人类理性的理解。

在西方,传统科学哲学从逻辑经验主义开始,它之所以拒斥“形上学”,并非因为形上学不深刻,而只是觉得它“无意义”罢了(实质上,从逻辑经验主义的眼光看,无法解读它的意义!),这正说明分析哲学中的经验主义传统的“法力”十分有限。其实,分析哲学阵营内部的革新家奎因对于“经验主义的两个教条”的批判,以及对“本体论承诺”的重新研究,都是突破其局限性的尝试。现在,在本书中,我们则要向康德思辨哲学的工具箱或武器库“借兵”,结合活生生的科学探索成果,试图弥补分析的科学哲学的这种缺失。值得注意的是,像规范场论这种认识之精品,不是单凭分析和经验所能达到的,事实上它包含人类认识能力的诸多方面。这样,我们就有可能借助于它的现实性,反观其中的理性,包括其形上学含义。因此,我们把哲学分析的起点落到康德哲学上。当然,本书所针对的科学内容是规范场论,因此全书从规范场论基本原理的一般介绍开始。

本书导言,通过对各个章节的核心内容画龙点睛,对于全书具有导读作用。从总体上说,全书各个章节的内容是这样安排的:

第一章讨论规范场论的基本原理(稍详细一点的介绍,请参看本书附录规范场论的形式体系)。考虑到由浅入深的原则,我采用尽可能通俗的表述方式。先交代了一下“基本粒子论中对称性”的一般概念,然后进入到“规范对称性和规范场”的概念。在此基础上,再讨论“规范场的方程式”和“质量的自发产生机制”。

其实,“规范”的本义是测量的标尺、度量的标准。人人都知道,我们到服装店买衣服或者请裁缝师傅做衣服,如果你需要买或做一件衬衣,那么该多大就多大,这跟使用米尺、英尺或者中国尺来表示没有实质性的关系。实际东西的大小,不随度量的标准的变化而变化。当然,这里说的只是平直空间中“刚性度规”的情况。尽管“弯曲空间”的情况更为复杂,每个时空点标尺都在变化,然而,借助于“柔性度规”仍然可以把握“变中的不变性”。通过通俗的比喻,或多或少能体会一点“规范变换‘变中的不变性’”的含义。

第二章讨论如何从康德的科学哲学看规范场理论。康德追寻严密自然科学中的绝对性、客观性的成分——“无可置疑的确定性”和“普遍必然性”。于是他发现,物理学的核心原理构成了严密自然科学的最纯粹部分。

在康德眼中,在严密自然科学、数学和形上学这三者之间,形成了一种三角关系。这是:“数学”之所以能够对“科学”(它以物理学为代表)发挥如此巨大的威力并具有普适性,就因为它从“形上学”那里借来了普遍必然性。就这样,数学和形上学就成为好朋友,它们通过“普遍必然性”而结成最坚定的同盟。

我们发现,在物理学史中,“物理学定律(在变换中)具有内在不变性”的思想,正在一步一步地深化:狭义相对论的定律在一切惯性系中保持不变性;广义相对论将不变性推广到非惯性系;量子力学定律在各种“表象变换”中保持不变;而规范场论中的“局域规范不变性”,则使得物理定律在包容“内禀自由度”的变换中仍然保持内在不变性,从而最彻底、最深刻地体现了康德的“无可置疑的确定性”和“普遍必然性”的理念。因此,有充分理由说,规范场论极好地体现了严密自然科学的纯粹部分。

第三章接着用康德的理念,讨论规范场论的数学基础和形上学基础:先介绍规范场论的早期发展史,“规范变换不变性”的概念起源于外尔对于广义相对论中弯曲空间的反思。在弯曲空间中,尽管长度和时间标尺处处在变化,然而彼此之间仍然存在“可换算性”和某种不变性;再引入“流形”的概念,那是空间概念的进一步抽象化和推广;可以从流形的观点看待规范场论;规范场的物理思想,若转换成数学,则在更抽象的“纤维丛理论”的形式化体系中得到体现。

康德关于自然科学与数学及形上学的三角关系的思想,数学和形上学因“普遍必然性”而结成为最坚定的盟友。接着分析规范场论的形上学基础:沿着从一般到特殊的思路,先考察康德的《纯粹理性批判》到《自然科学的形而上学基础》中的一般理念;再将康德对牛顿力学的形上学基础的分析,推广到规范场论的形上学基础。

康德哲学的“先验主义”形式,让一般人感到一时间难以接受。康德追寻科学中“无可置疑的确定性”和“普遍必然性”本来是无可非议的,但他通过“先验主义”的方式表述出来,就显得太极端、太绝对。因为对于“先验”的东西是无法交代其认识来源的。其实,康德哲学有可能按照历史主义和解释学方式进行重新解读。库恩历史主义的“范式依赖性”思想及解释学的“视界方法”与康德哲学具有互补作用,可借以重新理解康德哲学,收到相互为用的效果。

本书作者之所以想到以康德哲学作为对规范场论做哲学分析的起点,是与两个因素直接相关的:第一个因素是,受到彼得·帕拉斯(Peter Plaass)所著《康德的自然科学理论》(原为德文版)一书的影响。该书的英译者米勒夫妇(Alfred E. Miller & Maria G. Miller),在导言和第八章提出了康德的科学哲学思想在当代应用(甚至包括对场论的应用)的可能性问题,以及自己的解题思路。这对我们有很大的启发和触动。我们在解读过程中,在将康德的思想应用于规范场论的哲学分析时,提出了自己新的看法,作了全新的发挥。第二个因素是,邓晓芒有关康德的德国古典哲学课程,对于武汉大学科学哲学博士生所产生的影响。在博士论文中有:周祝红的《思辨的宇宙》强调应用思辨哲学来讨论“霍金的时空起源理论”,以弥补分析的科学哲学之不足。陶建文的《数学哲学的现象学解释》,以及本书作者之一李继堂的《规范场论的哲学意义——从康德哲学看》。这些都有邓晓芒思想

的间接影响或烙印。

本书第四章讨论量子场论概念之由来。粒子与波之争在光学中由来已久,到量子力学中又有新解:玻恩几率解释主张粒子实在论,薛定谔则主张波动实在论,它为量子场论的场的本体论思想准备了条件。量子场论是场论的量子化,但是量子化含义有一个发展和演化的历史过程:普朗克所考虑的只是能量量子化(1900);玻尔的轨道量子化所考虑的也只是电子的“态的量子化”(1913);矩阵力学派的量子化(1925)是其深化和形式化;波动力学派也有自己的量子化概念(1926);爱因斯坦的想法比较独特:光量子(1905)的独立性和个体性,直到康普顿散射实验(1923)才确立,爱因斯坦所提出的“幻场”(1909)却包含了场本体论的思想。场的量子化:是从“场能量的量子化”到“场作为物质实体”的量子化的进步。充实的真空观:从“真空 = 负能量电子海”到“真空 = 基态的量子场”,这是从特设性假设到真正的第一原理的进步。场论的相互作用观:从虚粒子由零态向非零态的“跃迁”,到场量子真正的“产生与湮灭”,在哲学观上这是从构成论到生成论的进步。

第五章讨论在量子场论总纲领之下,存在着多种相互竞争的子纲领,它们在互动中发展。我们主要讨论了下面几个问题:第一,量子电动力学是量子场论的最早部分,它有三大特征:①“定域性”,即局域性;②引入“场算符”,即产生和湮灭算符;③“真空不空”假设。量子电动力学,特别是它的重整化的微扰形式,是整个量子场纲领的出发点。此后,“场算符”方案也就成为正统量子场论的代名词。第二,量子场论为了消除伤脑筋的无穷大而必须重整化。对于重整化,既有肯定派又有否定派。肯定派贝特的辩护逻辑:物理学的目标在于预测力,“基本定律”只能包含有限参数,合格的理论必须可重整化。朗道和杰弗里·丘是否定派,不仅否定微扰法处理技巧,而且否定“定域算符场”不可观察的动力学复杂作用机制的思想。第三,公理化量子场论,是反正统方案的一种。它发明了所谓模糊化(涂抹)的新方法,其中的奥妙就在于使用了富有辩证意味的“流动范畴”。即对于精确的“点模型”实施模糊化,使“点”扩展为“微小区”,“定域场”也就不再是绝对的“定域”,因为它可以具有“分布性的赋值”。这就具有消解发散根源的作用,因为发散或无穷大的祸根就在于“点模型”。这样,它和重整化理论就具有异曲同工之妙。第四,S 散射矩阵理论,是另一种反正统的量子场论。海森伯在早期 S 矩阵理论中,首先提出可以从物理世界“提取有意义的形式特征”的思想。盖尔曼结合“离散关系”研究充实了它,盖尔曼根据“交叉性、解析性(意味着因果性)和么正性”,加上边界条件限制,消解了无穷大,并由此确定散射幅。他使得“S 矩阵”可以从基本方程中推出,从而成为真正的理论。后来还知道,强子和解析 S 矩阵的极点之间存在着对应性。第五,部分守恒流与流代数量子场论,这是更新的反正统量子场论的研究纲领,它在逐渐成形。它着重考虑的是一个定域场论的对称性,而不是其动

力学作用机制的细节。对于“流代数”来说,物理世界的奥秘在于“物理流的数学对称性之中”,在于规范变换下保持不变(协变)的对称群的结构,诸如  $U(1)$ ,  $SU(2)$ ,  $SU(3)$ ,  $SU(5)$  等之中。流代数中有一个深刻的发现:即存在破坏对称性的“规范反常”,它为正确理解“重整化群”方程提供了一个逻辑基础,并且成为重整化观念的最核心部分。第六,总体来说,科学思想史的教训是:相互竞争的研究纲领争斗的结果,往往不是某某学派绝对地输或赢,更多的情况是看似对立的观点最终逐步走向融合。历史的辩证法往往以戏剧性的方式嘲弄人们:尽管注重“形式因子”的几个纲领的本意,都是排除动力学机制,拒斥定域算符场论。然而,有趣的是,理论发展的内在逻辑具有“自否定”的性质,它们反倒促进了动力学机制的细致研究,并且在更高的层次上回到量子场论框架铺平了道路。

第六章讨论对称性破缺与宇宙设计问题。爱因斯坦很想知道“上帝”的“宇宙设计”思想或最基本原则,而不是枝节之论。这个“上帝”=大自然本身。宇宙设计的最基本原则就是:寻求内在的对称与和谐之美,这一信念已经深入物理学家们的骨髓。但对称性破缺,作为宇宙设计的辅助原则,则是隐含对称性的间接表现形式。本章分析了现代规范场理论的思想渊源:从外尔的规范变换思想到杨-米尔斯规范场理论。本章也追寻了“对称性破缺”的发现简史,注意到海森伯和朗道关于“对称性”的见解非常深刻:“物理学定律(=方程式)比现象(=方程的解)本身拥有更高的对称性”。从辩证法观点看,现象层次的“非对称性”、“对称性破缺”或者“较低的对称性”,恰恰是更深层次的物理学内在规律的“更高对称性”的反映或表现形式。其实,“对称性自发破缺”也具有“正言若反”的辩证性质,例如,希格斯机制只是表明,此时“对称性以希格斯方式表现出来”(薛晓舟语)。总的来说,在现实世界见不到呆板的对称性,而正是“对称性破缺”创造了活生生的现象世界。

第七章讨论杨-米尔斯规范场理论的历史性贡献。规范场概念的起源,是受爱因斯坦统一场论思想和外尔规范思想的激励(1918)。早在西南联大时(1942)杨振宁就关注电荷守恒与相位不变性,关注对称性;杨振宁深知,对称性意味着守恒定律,到1954年他和米尔斯成功地将规范对称性应用于同位旋守恒,从而建立杨-米尔斯规范场理论此后,不断地得到实验检验和成功推广。最后,规范场的几何化反过来对于数学也产生了积极的影响。

第八章是规范场论研究纲领述评,从科学哲学的角度带有总结的性质。本书作者是科学实在论者,深信物理定律所表达的是物理世界的近似真理。另一方面,我们又相信,宇宙的基本结构及其相互作用的奥秘都深藏于数学规律之中(那是毕达哥拉斯主义的基本理念,但我们要补充说,这些数学规律是物理世界所固有的)。上述理念分别体现在现代物理学的三大研究纲领中:一是根据物理学的几何化纲领,引力场弯曲空间的奥秘需要通过黎曼几何、微分几何与张量分析来解读;二是根据量子场论纲领,场理论的“产生和湮灭”算符,能方便而精确地表征和

重构相关的微观作用机制;“场的本体论”和“生成辩证法”思想在此同时得到体现。三是根据规范场论的纲领,自然界四种相互作用的奥秘都深藏于“规范对称性”之中。第三纲领相当于前两个纲领的整合。

本书基本构架主要由两位主持人协商决定。第一章规范场论的基本原理由吴新忠撰写,更详细的附录规范场论的形式体系由李宏芳撰写;第二章和第三章用康德哲学眼光考察规范场论,由李继堂撰写,主持人在修改时突出了“物理定律在变换中保持内在不变性”的思想的哲学意义(其中第三章最后一节由桂起权补写);第七章讨论杨-米尔斯规范场理论的历史性贡献,由高策撰写。其余部分由桂起权撰写。全书由桂起权统稿,改写后完成。

需要特别感谢波士顿大学曹天予教授的热心帮助和指点,我们在一开始对于规范场论缺乏深入理解,他的谈话及他所提供的与规范场论相关的英文专著和论文,给予我们极大的启发和支持。

桂起权 高 策

2007年7月14日序于太原

# 目 录

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| 总序 .....                          | 郭贵春(i) |
| 前言 .....                          | (v)    |
| 第一章 规范场论的概念基础 .....               | (1)    |
| 第一节 基本粒子与对称性 .....                | (1)    |
| 第二节 规范对称性与规范场 .....               | (5)    |
| 第三节 规范场方程 .....                   | (8)    |
| 第四节 希格斯机制 .....                   | (9)    |
| 第二章 从康德的科学哲学到规范场论 .....           | (13)   |
| 第一节 严密自然科学的纯粹部分 .....             | (13)   |
| 第二节 严密自然科学与数学之间的关系 .....          | (18)   |
| 第三节 规范场论极好地体现了严密自然科学的纯粹部分 .....   | (21)   |
| 第三章 规范场论的数学基础和形上学基础 .....         | (30)   |
| 第一节 规范场论的早期发展史和“史前史” .....        | (30)   |
| 第二节 规范场论的数学基础 .....               | (48)   |
| 第三节 规范场论的形上学基础 .....              | (69)   |
| 第四节 对于康德科学哲学在当代应用的反思 .....        | (79)   |
| 第四章 量子场论概念之由来 .....               | (93)   |
| 第一节 粒子与波之争新解 .....                | (94)   |
| 第二节 量子化的不同含义 .....                | (101)  |
| 第三节 场的量子化 .....                   | (104)  |
| 第四节 真空 .....                      | (115)  |
| 第五节 动力学相互作用 .....                 | (119)  |
| 第五章 量子场论纲领中诸竞争子纲领的互动与发展 .....     | (123)  |
| 第一节 量子电动力学的本质特征 .....             | (124)  |
| 第二节 量子场论的历史命运——曲折的道路 .....        | (126)  |
| 第三节 对量子场论重整化的不同态度 .....           | (127)  |
| 第四节 公理化的量子场论 .....                | (130)  |
| 第五节 S 矩阵理论 .....                  | (131)  |
| 第六节 部分守恒轴向流(PCAC)假设和流代数量子场论 ..... | (137)  |
| 第七节 定域算符量子场理论的反常行为 .....          | (146)  |

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| 第八节 重整化群 .....                     | (150) |
| 第九节 历史的回归 .....                    | (153) |
| 第六章 对称性破缺与宇宙设计 .....               | (155) |
| 第一节 对称性——宇宙设计中的数学和谐 .....          | (155) |
| 第二节 “对称性破缺”是隐含的对称性的曲折表现 .....      | (156) |
| 第三节 现代规范场理论的思想渊源 .....             | (158) |
| 第四节 对称性自发破缺概念的历史渊源和深刻意义 .....      | (161) |
| 第七章 世纪之理论:杨-米尔斯规范场 .....           | (164) |
| 第一节 规范场概念的诞生 .....                 | (165) |
| 第二节 杨-米尔斯规范场 .....                 | (167) |
| 第三节 与泡利的一次讨论 .....                 | (171) |
| 第四节 杨-米尔斯场的实验检验 .....              | (173) |
| 第五节 规范场的几何化及对数学的影响 .....           | (175) |
| 第六节 一个令人费解的现象及对规范场相关理论的评价 .....    | (179) |
| 第八章 规范场论的研究纲领述评——按照毕达哥拉斯模式解读 ..... | (182) |
| 第一节 物理学几何化纲领的毕达哥拉斯主义解读 .....       | (183) |
| 第二节 量子场论纲领的“生成论”和毕达哥拉斯主义再解释 .....  | (184) |
| 第三节 规范不变性思想的历史渊源 .....             | (186) |
| 第四节 规范场论纲领与物理学几何化纲领是统一的 .....      | (189) |
| 附录 规范场论的形式体系 .....                 | (192) |
| 第一节 电磁规范场 .....                    | (192) |
| 第二节 杨-米尔斯规范场 .....                 | (197) |
| 第三节 引力规范场 .....                    | (208) |
| 第四节 弱相互作用和中间矢量玻色子 .....            | (212) |
| 第五节 希格斯机制 .....                    | (217) |
| 第六节 萨拉姆-温伯格模型 .....                | (222) |
| 第七节 大统一:SU(5)模型 .....              | (238) |
| 第八节 结论 .....                       | (243) |
| 参考文献 .....                         | (245) |
| 后记 .....                           | (249) |