

现代自然科学的哲学反思

桂起权

(武汉大学哲学学院,湖北 武汉 430072)

摘要:从相对论到规范场论,自然定律的普遍有效性体现在变换中的不变性(协变性)之中。量子革命颠覆了经典的物理实在论的核心理念,代之以“物理实在是依赖于场境的整体全息相关的存在物”“非完全决定论”“主客不能严格二分”等新实在观。而量子远程关联所表明的整体性、对流夸克实在性的追寻、超弦理论统率各种基本相互作用的能力,皆具有深刻的认识论与方法论意义。物理世界的基本结构及其相互作用的奥秘都深藏于客观世界本身所固有的数学和谐(尤其是基本对称性)的规律之中。计算机科学哲学的核心理念是目的论自然观与毕达哥拉斯主义自然观(即弱计算主义及程序自动化的理念)的整合。整个生物学哲学的奥秘就在于系统科学,系统科学是生物学理论背后的元理论。

关键词:物理学哲学;计算机科学哲学;生命科学哲学;系统科学哲学

中图分类号:N02

文献标识码:A

文章编号:1008-7699(2013)01-02-0001-12

在场人物 桂起权(简称“桂”)

武汉大学研究生会的学生:物理学院的 W、计算机学院的 J、生命科学学院的 S

W:有人说,关于 20 世纪科学革命,只须记得三件事:相对论、量子革命(由量子论所引起的思想革命)和混沌。

桂:我有一位好朋友是控制论专家,他取笑说,你们科学哲学学者真像牛一样的反刍动物,过了一个世纪还在谈相对论和量子,真是老生常谈。其实并不尽然,新的意义和新的内容总是层出不穷的。

W:物理学是自然科学的基础学科,而狭义相对论、广义相对论和量子力学是现代物理的支柱。量子场论乃至规范场论,在一定意义上,可以看作相对论、量子革命相结合的产物或某种综合的结果。再有粒子物理学在夸克模型、弱电统一、标准模型等方面也都取得了巨大成功,最吸引眼球的是正在建构的“超弦理论”。

桂:国际上,在科学哲学界,20 世纪的相对论和量子革命一开始就受到哲学研究的重视。我国科学哲学界在 1960 年代本来就非常重视去发掘相对论的哲学意蕴(当然是从自然辩证法视角),特别是现已众所周知的时间、空间与物质运动之间深刻的辩证联系等,确实不必多言;改革开放之后,许多科学哲学学者则对于在积极意义上从正面去发掘量子力学的哲学意蕴表现出空前的热情,有量子力学的多世界解释、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。

W:您认为相对论和量子革命所带来的最根本的认识论教益是什么?

桂:应当说,最主要的是对旧唯物主义世界观的突破和超越。我赞成曹志平在《马克思科学哲学论纲》中对朴素实在论的批评,也同意鲁品越的观点,认为旧唯物主义的要害就在于“直观性”。^[1]物理实在被看作一

收稿日期:2013-03-26

作者简介:桂起权(1940-),男,浙江宁波人,武汉大学哲学学院教授,博士生导师。

种在绝对空间构架中的机械性的存在物,世界被看作这种独立自在的客体或“既成的物质实体”的集合。诚如马克思《关于费尔巴哈的提纲》所批评的,旧唯物主义“只是从客体的或者直观的形式去理解,而不是当作感性的人的活动,当作实践去理解,不是从主体方面去理解。”^[2]相对论和量子革命则完全打破了这种理解模式。狭义相对论在考察问题时,就已经要求把观察者即主体方面和参照系放进去,量子力学在微观领域主体—客体相互作用(观察者的介入)方面的研究所引发的认识论革命的意义则更为深远。

W: 尽管现在狭义相对论的“长度缩短、时钟变慢”和广义相对论的“弯曲空间”几乎成了妇孺皆知的常识,然而,即使对于物理学院的学生,在哲学上仍然存在某些困惑。例如关于空间间隔的相对性,用公式计算当然不成问题,但“长度缩短”究竟是谁对谁在缩短?真的缩短了没有?“收缩”是对你真?对我真?对主体真?对参照系真?还是客观真?总不能让相互矛盾的论断都为真吧?或者去承认“公说公有理,婆说婆有理”吧?要不然,相对论真的变成了哲学相对主义了!?

桂: 其实在相对论中,观察者的主体性、主体间性和客观性这三个层次完全可以统一起来。俄罗斯有个物理学家举了一个非常通俗的例子,AB 两个人并排站着(其中一个人背转过来,于是一人正面向前,另一人背面向前)。A 说:“我在他的右边”,然后 B 怎么说呢,奇怪了!B 居然也说:“我在他的右边”。注意:并不是通常所见的“你左我右”。但是这件事情事实上是真的(这两者都真)!这个比喻的优点在于,能够把相对性与主体性、主体间性和客观性的辩证关系表达清楚,从而能够与相对主义划清界线。通常,人们对相对论中的这一层关系很难体会,然而恰恰这才是最重要的。相对论作为科学理论,真正需要强调的恰恰是物理学规律的普遍绝对和客观的本性(不变性,或者更确切地说是协变性)。所以有人甚至说,相对论是一个起错了的名词,石里克在《自然哲学》^[3]中,我的电动力学老师蔡树棠教授都这样说过。

W: 此话怎讲?

桂: 相对论革命有更深层的含义。透过种种假象,在“相对性原理”背后,坚信“自然定律的普遍有效性,应当不随坐标系变换而变”的哲学理念,这始终是探寻新理论时最重要的启发性原则或助发现原则。从狭义到广义相对论,再到规范场论的进展,都是这样。“相对性原理”所要表达的是,物理学的客观规律从根本上不依赖于人的观察框架,因此理应在变换中保持内在不变性,狭义相对论是讲惯性系之间变换的不变性,广义相对论则推广到非惯性系去——但无论闵可夫斯基时空,还是黎曼的弯曲空间,仍然都是局限于“外部空间”的。^[4] 韦尔从广义相对论中提炼出“规范不变性”的思想(1918),杨振宁则把它推广到核子的同位旋的“内部空间”中去,得到了杨-米尔斯的规范场论(1954)。“规范不变性”是可以这样定义的:如果一个物理理论在变换群作用下,理论中方程式的形式保持不变,则这个理论是规范不变(指协变)的。^[5] 规范场论的整合外部/内部自由度的物理思想若转换成数学,则在更抽象、能够整合外部/内部空间的“纤维丛理论”(形式化体系)中得到体现。嗨, J 君,你是学计算机科学并且熟悉数学的,你能不能最扼要地表达一下纤维丛概念的大意?

J: 我想我能够做到。正像普通老百姓都能理解,头发长在头皮上,头发=纤维,头皮=底空间,总起来就形成“纤维丛”。另一个熟知的例子是山坡上的树林子,树林子=纤维,山坡=底空间,总起来就形成“纤维丛”。因为纤维丛=底空间+纤维。到此为止,说的是外部空间。我看过一本叫做《金融物理学》的有趣的书,作者伊林斯基想得更巧妙,他把内部空间也考虑进去了,而且十分生动形象。他举例说,邮递员去送信,地址=地理坐标系中的位置=外部空间(底空间),因为什么大道什么街几层楼就相当于笛卡尔坐标的 XYZ。然而,又有公寓的房间里边=内部空间。外部空间+内部空间=纤维丛。按照他的表述,说穿了就那么简单!^[6]

W: 对于杨振宁规范场论的“内部空间”,则意味着电子自旋的内部自由度,或者质子中子同位旋的内部自由度。如果从规范场论和纤维丛理论的观点回过头来看爱因斯坦的引力场“弯曲空间理论”,那么原先感到神秘的就不再显得奇怪。这无非是:引力场=规范场的特例,引力势=规范势的特例;引力场=外部弯曲

空间,规范场=推广到包括“外部+内部”的弯曲空间=纤维丛。如此而已!

桂:可以这样理解。

W:那么,量子革命又怎样颠覆了旧唯物主义的朴实直观的实在观?又代之以什么样的新实在观?

桂:旧唯物主义是一种朴实直观的实在观,或者说经典的物理实在论的核心理念可以归结为:实体主义(世界=独立自在的客体的集合)、严格决定论(自然过程是因果必然地严格决定的)、观察无关性(客观进程与任何观察无关,主客体可以从相互作用中严格分离)、还原论(使用分析方法,整体可以还原为各部分机械相加的总和)。在这种自然图景中,本体论上的实体主义、认识论上绝对的主客二分以及方法论上的还原论三者是很好地相互匹配的。

W:从常识观点看,这些看法都很正常,没有什么不对。

桂:然而,量子革命粉碎了直观实在观的迷梦,其中每一条旧原则都受到挑战,而代之以新原则。第一条新原则是,作为自然本体的物理实在不再是互相孤立的实体,在本质上说只能是依赖于场境的整体全息相关的存在物。量子客体失去了经典意义的“个体性”,量子态可以是纠缠的、远程相关的,不再是独立可分离的了。

W:所以文献上常说“量子粒子没有个体性”。

桂:不,这样说又过了头儿。准确地说,只是失去了经典意义的个体性,作为物理客体的量子粒子仍然可以有稍逊的“个体性”和“定域性”。爱因斯坦的 EPR 论文中提出的个体性原理——“承认空间中彼此远离的客体自在的独立性”,如果只是指“客体的独立性”,就没有错,那也是科学实在论所赞成的。如果指“实在态的独立性”,那就错了!因为“量子态的纠缠”事实上取消了“实在态的独立性”。另一方面,爱因斯坦所坚持的相互作用应当是狭义相对论所要求的非超距的、邻接性的定域作用,仍然没有错。^[7]

W:那么,怎么理解远程关联情况下的信号的“超光速传递”呢?

桂:我认为,这是一种误解。量子远程关联只是一种整体同步效应,既不是出于力或相互作用,也不需要信号传递。量子远程传态只涉及空间远隔,而并不涉及时间和速度问题,这里并不存在“信号的超光速传递”。

W:那样的话,量子远程关联对量子通讯如何发挥作用呢?

桂:尽管经典信息论关于信号的发送、传递、接收等概念都失去了原始涵义,然而基于远程关联,通过对量子纠缠态的独特的“编码与解码、译码”,信宿与信源之间通过提取有用信息而互通有无,比超级特快传递还要快得多,因而具有全新的通讯价值。

我还赞同海森伯根据量子领域的新情况所提出的“潜在”实在观,即认为“潜在”是介乎可能与现实之间的物理实在的新形式,它特别适用于微观客体。

W:我知道,海森伯说过,几率波、量子态、电子“轨道”等都与统计期望值相关联,是表示倾向性的、潜在的物理实在。

桂:第二个新原则是“非完全决定论”,它是由整合各家之言中的合理要素而形成的,即主张“作为自组织系统的世界,在整体上是由因果律与机遇律共同决定的,而不是由因果律单方面决定的”。关于偶然性,我们的新论点在于强调,偶然性是客观的,它也被看做自然本体运行的内在机制和基本方式之一,因而具有相应的本体论地位。

最有参考价值的,一是马克斯·玻恩的观点,二是戴维·玻姆的观点。玻恩在《现代物理学在哲学方面的状况》一文中说得好:“量子定律的发现宣告了严格决定论的结束,而这种决定论在经典时期是不可避免的。这个结果本身具有巨大的哲学意义。”^[8]玻恩对量子力学的几率本性即非完全决定论性质有深刻认识,一贯反对严格决定论将因果必然性绝对化,同时还肯定了偶然性的客观性质和随机规律的真实性。玻恩关于“量子世界是因果与机遇联合支配的”的观点(可以称为“弱论断”)已经成为被普遍接受的公共知识。然

而,他那认为“机遇律是终极律,即最基本的自然律”,认为“几率、机遇的概念比因果更为基本”等“强论断”却只能代表哥本哈根派的一家之言。

W:对戴维·玻姆的观点又该怎样评价呢?我们物理学院的人对玻姆的量子势理论是非常熟悉的。

桂:从哲学角度看,玻姆的量子势因果解释可看作是最彻底的因果性解释的一种形式,它也是因果决定性与概率统计的某种整合,但更以因果性为本,而不是以机遇性为本。它在物理上有清晰的直观模型,在哲学上有明确的本体论基础。在玻姆的因果观中有不少值得欣赏的好思想:他认为,自然界存在“质的无穷性”,根本不存在终级自然律,而且自然界每一层次都突现独特的规律。因果性是必然性的特殊形式,即相对的必然性。尤其值得赞赏的是,他对因果性与机遇性的相互关系有一个很好的概括,玻姆认为完全脱离偶然性来定义因果律,只是不切实际的幻想。偶然性被认为总是出现在多种不同因素、可能趋势的交叉点上,而其中每一分支仍然是一条因果链。^[9]玻姆与玻恩的根本分歧在于,他反对“机遇律是终极律,即最基本的自然律”。他无法想象“把宇宙看作一个大赌盘”,无法接受玻恩的“上帝(=大自然)掷骰子”的主张。

W:您到底赞成玻恩,还是玻姆?

桂:两个人的好思想我都愿意接受,但关于机遇和偶然性问题,我更倾向于玻恩,主张“上帝掷骰子”,却又遵守概率论定律,也即“机遇是有规则的”。换句话说,我更倾向于“强论断”。

W:还有第三个新原则呢?

桂:第三个新原则是:“主客体不可能从相互作用中严格地分割开来”,它与前两个原则密切相关。具体地说,在原子世界,主体与客体划界虽仍然必不可少,但由于相互作用无所不在,绝对孤立的系统和状态并不存在,经典物理学所设想的严格划界不再可能。因此,“主体”的理想化与“客体”的理想化应当是既相互排斥,又相互依赖和相互补充的。科学家讲的或科学家实际所达到的客观性,总是通过主体间性表现出来。

W:您所讲的好像涉及哥本哈根学派的观点。

桂:正是这样。

W:哥本哈根学派把他们的海森伯的不确定原理、玻尔的互补原理和玻恩的几率解释看作“正统解释”的三个支撑点。虽然我们物理学院的人都很清楚相关的物理内涵是什么,但从哲学上看,这里边总有些令人困惑的疑难。

桂:著名的物理学哲学家关洪先生就很赞成我关于要把“哥本哈根解释”中的科学成分与哲学成分严格区分开来的看法。不确定原理、互补原理和几率解释属于科学家人人都得接受的“公共知识”,但把它理解为“因微观粒子具有天生的不确定性所致”,却是他们特有的哲学思想成分,可以有人赞成,又有人反对。

W:关于互补关系,据我理解,主要只是不同的经典描述方式(两者缺一不可),如波动图像与粒子图像之间,却好比“鱼与熊掌不可得兼”。但这与哲学有什么相干?

桂:从实验操作和物理现象层次上看,确实是这样。然而,玻尔本人更在意的却是,互补性更深层次的认识论意义在于,它让人认识到,经典物理学中牛顿式的“纯粹客体”(完全摆脱相互作用而作为孤立系统),或者完全不对所观察对象产生影响的“纯粹观察者”,都只是一种不切实际的理想化,就因为主客体相互作用无所不在。换句话说,我们只能置身于自然之中而不能置身于自然之外看自然。这是对观察过程“主客严格二分”理念的挑战!因此,他经常喜欢采用一种通俗化的说法来解释互补性:“在生存的大剧场中,我们既是观众,又是演员。”所以说,尽管互补性本身并不是第一性的物理原理,但对理解量子革命的实质具有极重要的启示意义。海森伯把玻尔看作物理学家圈子里“天生的哲学家”,所谓“哲人科学家”是也,科学与哲学两种成分兼而有之。

W:现在我明白了。难怪我在《玻尔思想凸显科学与人文交融的意义》^[10]的报道中看到,您作为科学哲学学者与物理学家的视角极不相同,你们从玻尔的思想中体会到并且汲取了完全不同的方面。我又看到,范岱年先生在玻尔逝世 50 周年的纪念文章《尼耳斯·玻尔与中国》^[11]中两次提到,您在《物理学哲学研究》^[12]

一书中对玻尔的哲学思想作了比较全面、客观的探讨,包括量子革命、玻尔的因果观、互补原理和量子远程关联等。

J:桂老师,关于“实在性”(特别是“夸克的实在性”)的观念,我有一个疑难,这就是:科普书上说一个质子或一个中子都是由三个夸克组成的,但夸克又是被幽禁的,永远无法分离出来,不可能在实验室里被孤立地观察到的。既然如此,那么断定“夸克的实在性”还有什么意义呢?它怎么能体现出来呢?

桂:问得好!“夸克的实在性”是一个比直观概念更为复杂的有趣课题。问题在于,旧唯物论或直观实在论的实在观念太陈旧了,得好好修改修改了。大家不要受科普宣传中的形象化模型的迷惑,以为基本粒子就像一个个刚性球,堆起来就行了。1960年代那些坚称“夸克实在论”者,其实只是在相信“夸克迟早将在实验室里被孤立地观察到”这一意义上言说的,但那只是一个错误的信念而已。夸克思想的倡导者盖尔曼对于“夸克”的抽象本质的理解,显然要比其他物理学家更早也更深刻。他最清楚“夸克”打破了实在性的常规观念,但在新的判别标准尚未确立之前,他也曾为“夸克”是实在还是非实在,在心理上承受痛苦的煎熬和折磨。

W:“夸克”概念由盖尔曼在1964年首次提出,但它起先并不是作为直接的实体性概念,而是作为辅助性的结构概念而提出来的。看来认真地把“夸克”当作实体来理解,并不是一下子就能做到的。我也看过坂田昌一的书,按照他的划分,在粒子物理学领域有两种思考方式:“物的逻辑”——采取实体论观点,直接追寻微观物质各个层次的组成是什么;“形的逻辑”——却偏重于数学或形式结构特征(例如基本对称性)的考虑,先不问组成实体是什么。奇怪的是,对于夸克这种实体的发现,居然更多关注“形的逻辑”和基本对称性的盖尔曼反而比更多关注“物的逻辑”的坂田领先一步,这是我的困惑。

桂:诚然,盖尔曼的“夸克模型”最初所追求的不是“物的逻辑”,却是“形的逻辑”,但它比坂田模型(基本粒子复合模型)取得了更大的成功。事实上,盖尔曼优先考虑的是与物质客体有关的基本对称性,而不是直接考虑物质客体本身。“夸克”最初正是作为“基本对称性的数学抽象”而出现的。这就与古希腊哲学家由“柏拉图立体”(五种规则多面体)所表示的“数学和谐”思想非常合拍了。我带来一个夸克模型图,你们可以看一看。

名称	p	n	λ	$\bar{\lambda}$	\bar{n}	\bar{p}
符号						
电荷	+2/3	-1/3	-1/3	+1/3	+1/3	-2/3
奇异数	0	0	-1	+1	0	0

“三味”夸克模型图

注:三种夸克及反夸克作为重子和介子的组成部分。
箭头表示自旋取向,夸克与反夸克的性质互为镜反射。

W:我见到过,这就是韦斯科夫在《20世纪物理学》中的夸克图。图中盖尔曼所用的符号p、n、 λ 三种夸克,就是后来改用u、d、s表示的上、下、奇异夸克。进一步又发现了另几种夸克——粲、顶、底夸克,而且每一种夸克又分为三种用来说明强作用方式的“色荷”,因此总共可细分为18种夸克。

桂:波士顿的科学哲学家曹天予最近有一篇英文演讲稿《创立量子色动力学的关键进阶》(Key Steps Toward The Creation of QCD——Notes on the Logic and History of the Genesis of QCD,由沈健翻译、桂起权校对,《自然辩证法通讯》2013年将发表),十分透彻地分析了夸克模型被理解的历史进程。“实在性”这一意义比起“能被孤立地观察到”要更为复杂。由此,伴随“量子色动力学”的到来,物理学家已经切切实实地修改了“究竟什么算作一个实在的存在”的判别标准。

W:我很好奇曹天予教授关于引进夸克模型主要历史进程中的关键性信息。

桂:曹天予说,在开始阶段,盖尔曼在当时提出的只是与“流代数”相联系的“流夸克”。那只是一种结构性概念,不同于组分夸克那样是实体性概念,这是为了给对称性一个基础性说明。它们只是被卷进一个关系网络,依我看,就好比拼图游戏是一种结构性的操作那样。“流夸克”是虚构的,因为没有考虑像胶子那样的

力使其真实地结合在一起从而组成强子。

J: 什么是流代数?

桂: “流代数”的研究, 这是一个重要的中间步骤。它是从相对论场论模型提取出来的这样一种理论方法, 如果适当地假定弱流和电磁流所遵循的对易关系, 就可以计算一些实际问题, 这是探索强子系统的一个一般性框架。“强子流”关注的重点在于结构和过程, 而不是强子的实体本身。“流”服从由对称群导出的抽象的代数关系, 也就是是一些约束条件。对流的外部限制的研究后来又转向对流的内部限制的研究, 而后者是实验上可触及的。

W: 我在二年级, 还没有学到《量子色动力学》。说流的内部限制的研究是实验上可触及的, 这意味着什么?

桂: 虽然局域流代数的“求和规则”看起来只是数学性的关系, 但它却能刻画高能粒子散射的物理过程中的主要特征。阿德勒的“求和规则”融合了弹性和非弹性的“形状因数”, 这些形状因数在高能中微子反应的实验中, 都是可测量的。那样的话, 强子散射中微子的局域行为才变成我们关注的焦点, 并且由此开启了一个窥视强子的内部的新窗口, 接着大门就打开了。此后, 伯约肯的发现是一个转折点: 他发现了轻子对强子的深度非弹性散射中的“标度无关性”现象, 也就是在高能极限下, 独立变量数减少到只剩下一个无量纲变量, 这样处理起问题来就简单了。它成为连接“流代数”求和规则和深度非弹性散射实验结果的桥梁。尔后才有考虑强子内部的“部分子”模型……, “标度无关性”现象促使对强子外在的唯象研究转变为对其内在的动力学研究, 即从实验上可观察量之间的外部关系的探究, 转为对强子的组分以及它们的动力学机制的澄清。曹天予在演讲中分析得很仔细, 我在这里只是提示了几个关键性信息。

W: 看起来, 就夸克的发现而言, “物的逻辑”与“形的逻辑”两者是互动的, 即相互促进的。我大体记得海森伯在《20 世纪物理学中概念的发展》一文中说过一段极有概括性的话: 物理学的现代发展又从德谟克里特的原子论重新回到了柏拉图的基本对称性。事实上, 如果我们想把物质一步一步地分下去, 那就正好按照柏拉图观念, 我们最终得到的不是最小的粒子, 而是由对称性所决定的物质客体。现代物理学中的“粒子”正是基本对称性的数学抽象。我看您在《物理学的毕达哥拉斯主义研究传统》^[13]中也提到过它。

桂: 不错。我的物理学哲学研究纲领的核心理念就在于, 科学实在论的理念与毕达哥拉斯主义理念的整合。科学实在论的要点是, 承认科学理论中的科学概念在现实世界有指称, 成熟的科学理论能表征现实世界的近似真理。毕达哥拉斯主义的要点是, 强调物理世界的基本结构及其相互作用的奥秘都深藏于数学和谐(尤其是基本对称性)的规律之中。而我要追加一句是, 这种数学和谐并非人为的, 而是客观世界本身所固有的, 于是两种理念就整合了起来。

J: 既然说起毕达哥拉斯主义, 我就想问一个问题。古希腊的毕达哥拉斯学派认为, 自然界的秩序之所以富有意义, 是因为自然规律中包含着数学核心。他们认为音乐的和声与弦振动的数字规律相关, 就是其鲜明而典型的证据。那么, 关于最新的超弦理论, 您有何评论?

桂: 目前, 在粒子物理学的前沿研究中, 弦论逐步发展为一种处于主导地位的研究纲领。立足于超弦纲领, 我们不仅有可能创建一种有效的“量子引力理论”, 而且还可能获取涵盖四种基本相互作用的统一描述。超弦理论的基本思路是, 超弦=宇宙万物结构与功能的最小单元。这是超微小的振动弦, 即超级微小尺度上振动着的一根闭合的弦或环。日常生活中的琴弦都有共振频率, 弦所倾向的振动频率, 即所听的各种音调与和声。现在, 超弦理论里的弦也将会类似的性质, 各种“基本粒子”=(实质上都可归结为)振动着的超弦的不同形式。现在超弦被看作“宇宙的琴弦”“大自然的琴弦”,^[14]确实与这个思路十分契合。

J: 按理说, 超弦理论应当属于科学理论的范畴, 不过它还是有点特别。我看它与广义相对论在某些方面有点相像: 广义相对论在思辨性上简直可以与形上学媲美, 在严谨性、抽象性上可以与纯粹数学(至少是应用数学)媲美, 超弦理论也是这样。然而, 广义相对论毕竟有少数观察实验证据的强有力支撑。可是我听说, 超

弦理论在可以预见的将来,却根本不可能得到观察实验的检验。那可怎么办呢?

桂:有人说,科学理论的划界标准应当放宽些了。对此我并不反对,但也不能放得太宽,否则就无法无天了。要不然,任何自圆其说的神话故事就都可以当真了,不是吗?超弦理论的最大特色在于,它有可能把最难以统一的各不相同的理论抽象地统一起来。自然界四种基本相互作用:强力、弱力、电磁力和引力。特霍夫特等人实现了弱电统一,最近对撞机在“希格斯粒子”的实验确证上出现好的苗头,给标准模型(用以实现前三种力的统一)的成功带来了新的希望。当然最困难的是,如何把引力也整合进去。不过许多弦论理论家相信,他们的理论是能够胜任去建构“引力和基本粒子其他相互作用相统一理论”的唯一可行的选择。无论如何,相对而言,应当说超弦理论是比较理想的候选者。

W:但是,如果不存在任何实验基础,就没有资格成为科学理论。

桂:我看,也不尽然。既然超弦理论能够统一和整合其他一个个的科学理论,而那些科学理论事实上早就单独地得到过检验。那么,就应当说,超弦理论间接地得到了经验支撑。这就像科学哲学家亨普尔说的“安全网”那样。亨普尔在回答“是不是科学理论中的每一个理论术语都有经验基础”的问题时,举了一个杂技表演中的安全网的例子。大家都知道,杂技演员在安全网上翻筋斗,并不是网上的每一个纽结都有支撑,但是整个安全网四周是得到可靠的支撑的。像“基因”“波函数”“暗物质”那种理论名词,虽然无法直接还原为观察名词,可是通过科学理论体系复杂整体的“安全网”,还是间接地得到了支撑。

W:关于超弦理论的哲学意义,您认为,还有什么值得称道的?

桂:最值得称道的是弦论的“对偶性”(dualities),它具有深刻的认识论与方法论意义。总的说来,弦论的对偶转换皆呈现为某种数学和几何上的转换,然而,这些纯形式化的演算在科学实在论者看来,其背后必定蕴涵着具体的物理内容。虽然两种对偶理论从表面上看拥有种类不同的“抽象客体”和不同的时空描述,甚至在拓扑结构上也是截然不同的,然而,这样一种看似十分不同的理论形式或描述却表征(或产生)了相同的物理内涵。这里所谓相同的物理内涵,即是指具有相同的振幅、期望值、可观察谱等经验上的可观察量等等。试想,假如有两个极不相同的数学模型,因它们具有对偶性而指称或表征同一个物理内涵,如果其中一个数学模型解起来极为复杂而困难,另一个数学模型解起来却十分简单和方便。既然它俩表征同一个物理内涵,又凭借对偶性而具有可替换性,我们何乐而不为呢?可见这在方法论上是极富有启发价值的。我和沈健合著的《物理学哲学研究》一书的第13章就是“关于弦论的哲学分析”,沈健的《关于弦论对偶性的哲学思考》(有待发表)作了更深入的探讨。

J:桂老师,以上我们的提问和讨论主要是围绕现代物理学的哲学问题和您所关注的物理学哲学的核心理念而展开的,能不能也谈一谈其他领域呢?

桂:那当然好,我们就接着聊一聊涉及计算机科学和生命科学的哲学问题吧。

二

J:我看过您和任晓明教授合著的《计算机科学哲学研究——认知、计算与目的性的哲学思考》^[15]一书。

桂:请允许我打断一下,否则我会忘记的。关于科学哲学在计算机科学中的应用方面,有一件事很值得一提。在2003年11月桂林的全国计算机科学方法论讨论会上,我居然意外地发现,赵致琢教授(厦门大学计算机系)对于计算机科学的标准化、范式的确立以及基本研究纲领(的硬核)在逻辑结构上的精细化,都做出了重大的贡献。在他的专著《计算科学导论》的“计算科学的学科形态与核心概念”小节中直言,每一个学科都要有知识组织结构、学科形态与核心概念和基本工作流程。按照他的概括,计算科学的基本特征是研究内容的构造性数学特征。其学科形态一是理论(定义、定理、证明、解释);二是抽象和模型化,广泛采用实验物理学方法;三是设计,广泛采用工程科学方法等。他非常细致地筛选出了计算学科的核心概念,并且认为

这是其重要思想/原则/方法/技术过程的集中体现,还专节分析了计算学科的典型方法与典型实例。也许可以说,在计算科学家中,他是独一无二的,这是把科学哲学的方法论应用到家了,库恩的范式和拉卡托斯的纲领都在计算机科学中具体化了。

J: 过后我会认真学习的。现在我要说,您在《计算机科学哲学研究》中所提出的主张是,毕达哥拉斯主义与目的论自然观的整合将构成计算机科学哲学的核心理念。通过方才的谈话,我对毕达哥拉斯主义的基本精神已经有了相当的了解,那是追求宇宙的数学和谐性的思想,它能成功地引导科学家使用数学语言、公式来刻画物理世界的内在奥秘。我并不否认,它确实是与当今流行的“计算主义”相互呼应的。我注意到,您很欣赏郇全民教授的新著《用计算的观点看世界》^[16]一书中的观点:(1)作为科学的一般性基础的本体论承诺:实在本质上是计算的,而宇宙则是一台巨大的计算机。(2)构成世界的基本单位是计算和信息流。自然界发生的过程实质上就是计算或信息处理的过程。(3)计算主义的认识论价值:理解自然过程=在大脑的计算过程与自然的计算过程之间建立对应关系。(4)认知计算主义研究纲领的核心,认知科学的基本工作假说,即认知是信息处理过程,它能够用表征及其实施操作的规则来解释。如此等等。不过,我还是有很重的疑虑,因为我看到刘晓力教授对“计算主义”做过深刻的批判性分析。

桂:我当然知道她有非常强的数学和逻辑背景,并且她的博士论文对哥德尔思想有他人所不及的透彻研究。但我认为,刘晓力教授批判的锋芒是针对“强计算主义”的,而我们所主张的却是“弱计算主义”。说“宇宙=一台巨大的计算机”“认知=大脑的计算”等虽然都具有一定的启发力,但只是在隐喻的意义上成立。宇宙当然不能简单等同于“图灵机”,当然不能在严格的意义上具有“图灵可计算性”,况且逻辑和计算也只是人的“左脑半球”的功能。说“物理世界总体上是按照数学规律运演的”,绝不简单等同于宇宙在每个方面都可以找到机械的、严格的算法程序来刻画或解决问题。

S:我是生命科学学院的,也听说过“心灵哲学”或“心智哲学”。您对“心智=大脑”这个命题有何评论?

桂:这是传统认知科学的主导范式,但它具有“物理主义”的局限性。国内学界近十年来所流行的“具身的心智”的新观点就突破了“心智=大脑”的局限,把认知看作是整个有机体“活生生的认知”。我记得,科学史上有一个有趣的故事。说的是,科学家法拉第年轻时当过订书匠,有一次他去送报,拉了门铃,主人老是不出来开门。就在法拉第把头伸进铁栅栏门的一瞬间,他忽然产生了一个奇怪的念头:我的脑袋在门里边,而我的身体却在门外边。这样的话,作为法拉第的“自我”究竟在哪里?也许法拉第已经意识到,单纯的大脑不足以代表整个“自我”。

S:这倒是一个典型的“心身问题”。

桂:想必你们听说过,做过心脏移植手术(换心术)的人,大脑还是原来那个大脑,然而脾气却可以完全改变,手术前后判若两人。从这两个例子都可以看出,认知的“主体”应当是整个的人,并非限于大脑。更激进的是“延伸的心智”的新观点,认为心智已经可以扩展到“生物—技术的耦合体”。

S:此话怎讲?

桂:比如,你需要与最熟悉的朋友或家人经常保持联系,而电话或手机号码则总得记在脑子里。

S:不,不用记在脑子里,记在手机里就行了。

桂:那就对了,手机与人脑记忆的功能具有某种等效性,这就是“等效原理”,或者叫做“均等原则”。持有“延伸的心智”观点的人正是在这个特定的意义上说,心智已经可以延伸到“生物—技术的耦合体”了。

J:桂老师,对于计算主义与毕达哥拉斯主义,我已经有所领悟。然而,我还是不太理解,在计算机科学哲学中,您为什么把“目的性”提到这么高的地位?按照我的感觉,“目的性”似乎应当是生命科学哲学所特有的概念。

桂:没错,“目的性”首先是从生命科学哲学视角所发现的独特概念,然后再作出推广。你得有点耐心,容我慢慢道来。人们喜欢说,21世纪将是生命科学的世纪。然而,由于科学哲学的前辈们对20世纪“物理学

哲学”研究模式的过分着迷,妨碍了对生命科学特异性的理解,严重扭曲了科学哲学的整体形象。“目的性”概念恰恰有助于打破“大物理主义”的一统天下,成为切入生命科学哲学的突破口。

J:从科学史上看,目的论的自然观是古希腊亚里士多德提出来的。但是,在我的印象中,在近代科学中,目的论却是被科学家所唾弃的呀!

桂:亚里士多德的确是目的论自然观的创始人。应注意,他的内在目的论在本质上完全不同于神学目的论,它根本不需要超自然的上帝。这种自然观认为,宇宙是一个有机统一体。自然是具有内在目的的,它的一切创造物都是合目的的,生物的一切合目的性的结构、机能、程序和行为都是自然内部机制作用的结果。换句话说,自然的合目的性是与神的意志不相干的,这一点是内在目的论与外在目的论的本质区别所在。并且认为,人类通过技术手段,可以对自然的结构和作用机制进行模仿和再现。

S:我早就注意到,现代生物学家德尔布吕克与迈尔对亚里士多德的“程序目的性”思想的高度重视并且重新进行提炼和概括,特别是分析它与遗传程序的关联性。迈尔把“程序目的性”界定为“按照某种程序和息密码而运行的动态过程”。并且认为,亚里士多德的“形式因”实质上相当于现代遗传学中的DNA或遗传程序。

桂:迈尔对“程序目的性”的概括是深刻的。亚里士多德在解释目的论的过程中,竟然已经体现出“程序自动化”和自动机的思想,这是一种极有趣的现象。他认为,在预定程序指导下,由潜在变成现实的过程应当是一种自动执行过程。他多次明确指出,受精卵发育的程序自动化过程与古希腊的一种“玩具自动机”的程序自动化过程十分类似。受精卵按“形式因”的设计蓝图依次长出心、肺、肝、眼等器官,正像“自动机”(亚里士多德本人就非常喜欢用这个词)一样,牵线人牵动许多杠杆中的第一个,由A带动B,B带动C,C带动D,D带动E,如此等等,这样整个机械装置就活动起来,“自动机”就会按节拍跳舞。^[17]可见,亚里士多德以其隐喻式的语言表明了受精卵就是一台生物自动机器,它内含先定的目的性程序,控制着未来的胚胎发育乃至个体发育的进程并决定其最终目标。尽管亚里士多德所说的“自动机”特指一种十分简单的古代自动机械装置,但它具有的程序性特征表明它隐含了现代自动机理论的思想萌芽。

按照我和任晓明的《计算机科学哲学研究》的观点看来,亚里士多德的“程序目的性”思想既包含着“目的论”的要素,又包含着“程序或算法”的要素,它预示着“目的论”与计算主义或毕达哥拉斯主义整合的潜在可能性。实际上,现代人工智能研究纲领的各种进路:无论是AI心理学派的启发式搜索程序,还是联接主义者的神经网络与环境的交互作用,或者行为主义者所设计机器人的优良自学习功能,仍然是全都离不开这种“程序目的性”思想。任晓明的学生潘沁在她的博士论文《冯·诺伊曼计算机科学哲学思想研究》中,在正确把握冯·诺伊曼自动机理论的基本内涵的基础上,也从中提炼出计算机科学哲学思想。主要概括为:一是以“毕达哥拉斯主义思想”(宇宙的奥秘在于数学规律之中)为导向,构想自动机的理论模型,并且与后世的“计算主义思想”(宇宙=一台巨型计算机)接轨;二是贯彻亚里士多德“程序目的性”(迈尔认定为亚里士多德“目的论”中最精彩的成分)和维纳控制论的“现代目的论”思想(一切目的论行为=需要负反馈的行为)于逻辑机器之中。从科学哲学视角看,冯·诺伊曼自动机理论被看作毕达哥拉斯主义传统与目的论传统有机结合的产物。

J:现在我明白了,桂老师为什么要把目的论自然观(自组织宇宙是合目的的)与毕达哥拉斯主义自然观(即弱计算主义)的整合看作计算机科学哲学的核心理念。正如您所说,按照系统科学模式重新理解的目的论自然观能提供从生物自然界、人工生命到自组织的宇宙统一的合理解释。

S:桂老师,我还听过您在生命科学院的讲座呢!看到你们的《生物科学的哲学》^[18]这本书甚至被列入中学生物学教学参考资料。

桂:是吗?那么,你所得到的最深的印象是什么?

S:对于您的“整个生物学哲学的奥秘就在于系统科学,系统科学=生物学理论背后的元理论”的主

张,^[19-20]我深有感触。最吸引我的是,D. 赫尔对“目的论”的控制论解释,这是一种因果与机遇联合作用的机制,不同于牛顿单纯的严格因果性。赫尔采用控制论的反馈模式,成功地解释了物种(基因库)为什么具有“合目的性”,解释了自然选择作用的内在机理。现在我明白了,维纳的《控制论》为什么要把“关于动物和机器控制和通讯的科学”列为副标题,以及梁实秋先生为什么在《远东英汉大辞典》中把 Cybernetics(控制论)翻译为“神经—机械学”了,因为说的是动物的神经控制过程与机器的反馈调节的自动化过程的规律本质上是一致的。

桂:不过,D. 赫尔仅限于控制论的应用,他并没有将复杂性系统科学的思想贯彻到底。

S:您则进一步引进自组织理论的反馈机制,包括耗散结构论、协同学、混沌理论,特别是用艾根的超循环理论的选择机制(包括它的数学结构,选择价值函数、选择进化方程式等),来揭示自然选择的深层逻辑基础,我觉得很有道理。我们学生物学的都知道 E. 迈尔所提出的“边缘物种急剧形成”新模型,或者说“创始者种群原理”,应当说是物种起源的最基本也是最重要的形式。这个模型至关重要,具有很强的解释力。您从系统科学的观点看,指出这是在远离平衡态的混沌边缘,涨落在分支点上的非线性放大现象。混沌边缘最能出创新!这就使得生物学原理能够上升到系统科学的高度来认识。有了“系统科学=生物学理论背后的元理论”这样的核心理念,整个“生命科学哲学”就有了主心骨,也就不难理解了。

S:最近我阅读了董国安教授的《进化论的结构》,觉得他对相关问题研究得全面透彻,十分深入细致。

桂:我仔细读过。你知道,我曾经写过《国外生命科学哲学研究代表人物思想解读》,分析过国外的一些代表人物。我认为,董国安教授的书是近年来继李建会、曾健之后的一本很有代表性的生命科学哲学著作。写得最吸引人的是第七章“物种概念及其哲学问题”,尤其是“阶元与单元”的区分那一小节,极为精彩。许多生物学著作都讨论过这两个概念,恕我愚钝,绕来绕去,我从来没有真正搞清楚过这两个相似的概念之间究竟有什么实质性区别。然而,读了董国安的著作,却一下子豁然开朗了。

S:您是怎么明白过来的?

桂:关键是,我终于认识到,在生物分类的等级系统中,“物种阶元”采用自上而下方式看问题,“物种单元”则采用自下而上方式看问题。无非是对于同一个物种(对象)采用不同的视角加以定位,仅此而已。

S:是啊。同一物种可以按两个不同的意义进行解读:以物种阶元(category)身份还是以物种单元(taxon)的身份出现。生物学在对各种类型的生物进行鉴别和命名时,总是要设定一个等级体系(自然系统或人为系统)。通常,生物分类采用七个等级的阶层系统:界、门、纲、目、科、属、种,物种阶元的定位就是指定这个阶层系统的最后一级。

桂:按照“物种阶元”(category 在哲学中就是“范畴”)的方式看问题,也就是按照抽象范畴的方式,即在抽象的等级体系中给物种定位,看看它属于哪一个等级。作为物种阶元的等级体系是否表征了自然体系?是否恰当地表征了相近物种之间的本质相似程度?

S:反过来看,“物种单元”则指称具体的动植物对象,指称真实的群体。那确实是从具体性的视角看问题,根据作为分类单元的动植物的具体特征,可以把它归入某个阶元。

桂:迈尔看出,阶元和单元是两个不同的逻辑范畴,但它们都被称为物种,这是引起巨大混乱的根源。因此,必须澄清概念,消除混乱,明确区别与联系。按照迈尔的意思,对两者关系的正确理解是:区别在于,阶元=假定的自然系统的阶层(我的解释是,等级阶梯上的抽象地位),而单元=真实的一群生物。联系则在于,一个物种分类单元可以被看作是某个阶层系统物种阶元的具体成员。我的评论是,就这样,“具体”单元与“抽象”阶元之间的联系就建立起来了。董国安作出的哲学结论是,物种阶元是思辨的结果,对它可以讨论名实之争,唯名论与唯实论;而对物种单元,所要考察的则是真实群体的具体特性,就不该去讨论纯粹思辨性的问题。这样的话,关于分类单元该说清楚的问题就都说清楚了。

附带解释一个问题。我和邢如萍博士在研究化学哲学时发现,化学中也出现过类似的问题,这就是“元

素”概念和“单质”概念的关系问题。它们是两个不同的逻辑范畴,但都被用来指称化学物质,有时难免引起混淆。受生物学哲学中“阶元”“单元”这一对概念相互关系的启示,我们想到,大体上可以这样说,“单质”概念是按照宏观的方式,具体地指称单纯的化学物质的;而“元素”概念则是按照微观的方式,抽象地指称单纯的化学物质的。

S:那么,您对董国安教授著作的其他部分有何评论?

桂:整个地说,《进化论的结构》这部著作反映出作者不仅熟谙生物学理论,而且数学基础与逻辑基础非常好(特指他在现代概率归纳逻辑方面下过功夫,尤其是表现在他对适合度按照概率的“倾向解释”来分析),科学哲学方面的论述也十分到位,这些都是他的突出的优点。看了第一部分对生物学公理化的介绍,我体会到,公理化方法并不适合于进化论生物学理论,那样做太繁琐并且劳而无功;相反,它更适合于物理学理论,无论经典力学、热力学统计物理学、电动力学、相对论和量子力学,都是这样,它们能从极少数公理推出内容丰富而且经得起严格检验的实际结论。至于我与作者在观点上的分歧,主要表现在,我认为生物自然界是因果与机遇联合支配的;作为基因基础的物理粒子具有内禀不确定性,几率解释应当是终极解释;机遇有规则,机遇律是终极律,即最基本的自然律。从某种意义上说,几率、机遇的概念比因果更为基本。董国安则反过来主张,概率统计规律不是根本的,他相信严格因果性规律才是终极律。最典型的是,他对“遗传漂变”的解释就是否认“内禀不确定性”的。而我的观点是物理学哲学观点的延续。再有,我们的《生物科学的哲学》与董国安著作定位上的区别在于,按照万小龙博士的划分,我所做的是“分科化科学哲学”的模式下的生命科学哲学,例如我把“化学定律”定位于强于“生物学定律”,又弱于“物理学定律”,在分科化的总体背景下,通过比较定位来行事;而董国安所做的则是“专业化的科学哲学”,立足于生物学专业本身,却又按科学哲学眼光来做。当然,如果对比胡文耕先生的《生物哲学》,那么应当说,他做的是自然哲学模式下的《生物哲学》,我和董国安所做的是科学哲学模式下的生物学哲学。

S:那么,哪些是您认为应当重视而董国安教授未加足够重视的问题呢?

桂:我自己更重视的还有,我发现达尔文的自然选择机制是“适者生存”(比较级),与斯宾塞的“最适者生存”(最高级)或“完美设计”纲领有本质上的区别:从博弈论和决策论视角来分析,达尔文的自然选择机制属于西蒙的“满意决策”的范畴,强调就地取材、因地制宜或“搭便车”;“最适者生存”或适应主义的“宇宙完美设计”纲领则属于“最优决策”范畴。适应主义纲领的基本理念是:“自然选择具有的至高无上力量把生物体设计和建造成了可能世界中最好的。”^[21]只有理想中的“全知全能”的上帝才能做到这一点,而达尔文的真实自然界中的自然选择却做不到。董国安虽然已经意识到“最佳设计结构”实际上总是达不到,通过“权衡”观念的引入,生物只能在相互排斥的要素之间达成“最佳妥协方案”。但始终都缺乏认真划分“最优决策”与“满意决策”的自觉意识,如此等等。

J:桂老师,今天我们在物理学哲学、生命科学哲学和计算机科学哲学方面学到了不少新东西,对原先熟悉的事实也有了全新的认识和理解。谢谢您!

桂:好吧,这一次关于现代自然科学哲学反思的讨论主要涉及对现代物理学、生命科学以及计算机科学某些重要方面的哲学理解。依我看,概括起来也许可以这样说:

从相对论到规范场论,自然定律的普遍有效性体现在变换中的不变性(协变性)之中。量子革命颠覆了经典的物理实在论的核心理念,代之以“物理实在是依赖于场境的整体全息相关的存在物”“非完全决定论”“主客不能严格二分”等新实在观。而量子远程关联所表明的整体性、对流夸克实在性的追寻、超弦理论统率各种基本相互作用的能力,皆具有深刻的认识论与方法论意义。物理世界的基本结构及其相互作用的奥秘都深藏于客观世界本身所固有的数学和谐(尤其是基本对称性)的规律之中。计算机科学哲学的核心理念是目的论自然观(自组织宇宙是合目的的)与毕达哥拉斯主义自然观(即弱计算主义及程序自动化的理念)的整合。整个生物学哲学的奥秘就在于系统科学,系统科学是生物学理论背后的元理论。

参考文献:

- [1]鲁品越. 深层生成论:自然科学的新哲学境界[M]. 北京:人民出版社,2011:2.
- [2]马克思恩格斯文集:第1卷[M]. 北京:人民出版社,2009:499.
- [3][德]M. 石里克. 自然哲学[M]. 北京:商务印书馆,1984:37.
- [4]桂起权. 对广义相对论思想渊源的一种解读[J]. 重庆理工大学学报:社会科学版,2010(2).
- [5]桂起权,高策,等. 规范场论的哲学探究:理论基础、历史渊源及其哲学意蕴[M]. 北京:科学出版社,2008:13-29.
- [6]张雄,鲁品越. 中国经济哲学评论[M]. 北京:社会科学文献出版社,2012:242-253.
- [7]桂起权,姜小慧. EPR悖论、量子远程关联及其判决性实验[J]. 科学技术哲学研究,2009(6).
- [8][德]M. 玻恩. 我这一代的物理学[M]. 侯德彭,蒋贻安,译. 北京:商务印书馆,1964:58.
- [9][美]D. 玻姆. 现代物理学中的因果性与机遇[M]. 秦克诚,洪定国,译. 北京:商务印书馆,1965:8-9,29.
- [10]胡言午. 玻尔思想凸显科学与人文交融的意义[N]. 中国社会科学报,2012-06-22(A01).
- [11]范岱年. 尼耳斯·玻尔与中国:下[J]. 科学与文化评论,2012(3).
- [12]桂起权,沈健. 物理学哲学研究[M]. 武汉:武汉大学出版社,2012.
- [13]吴彤,等. 科学技术的哲学反思[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [14]桂起权,贺天平. 超弦——大自然的“琴弦”[J]. 科技导报,2003(3):15-18.
- [15]任晓明,桂起权. 计算机科学哲学研究——认知、计算与目的性的哲学思考[M]. 北京:人民出版社,2010.
- [16]酃全民. 用计算的观点看世界[M]. 广州:中山大学出版社,2009.
- [17][古希腊]亚里士多德. 动物四篇[M]. 吴寿彭,译. 北京:商务印书馆,1985:416-417.
- [18]桂起权,傅静,任晓明. 生物科学的哲学[M]. 成都:四川教育出版社,2003.
- [19]桂起权,傅静. 迈尔生物学哲学的核心思想[J]. 科学技术与辩证法,2008(5).
- [20]桂起权. 国外生命科学哲学研究代表人物思想解读——按复杂性系统科学观点[J]. 淮阴师范学院学报:哲学社会科学版,2012(1).
- [21]董国安. 进化论的结构[M]. 北京:人民出版社,2011:184.

Philosophical Reflections on Modern Natural Sciences

GUI Qiquan

(School of Philosophy, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: This paper presents some of the author's unique views on philosophy of science. Natural law keeps inherent invariability in transformation from theory of relativity to gauge field theory, and the nature behind relativity is objectivity. The dogmas like independent autonomy and observation irrelevance of the states of objects in classical physical ontology and the dogmas that the subject can be strictly separated from the object are impacted by quantum revolution. The secret of physical world consists in its intrinsic mathematical laws. The novel phenomena of quantum long-range correlation, quark and superstring have completely new philosophical implications. Systems science can be taken as the meta-theory of theories of biology in the sense that natural world of life is automatically adjustable and teleological. The core idea of philosophy of computer science lies in the integration of teleological view of nature and weak calculated doctrine.

Key words: philosophy of physics; philosophy of computer science; philosophy of life science; philosophy of systems science

(责任编辑:江 雯)