



科学技术哲学

# 沉醉于科学美的物理学大师——狄拉克

程民治

(安徽省巢湖师专物理系, 安徽巢湖 238000)

**摘 要** 本文拟就量子力学的伟大先驱与英雄人物之一——保罗·狄拉克的科学美学观及其科学臻美方法论作一简要论述。

**关键词** 保罗·狄拉克, 科学美学观, 科学臻美方法论

保罗·狄拉克是一位革新人类自然图像的具有现代人文精神的英国物理学家。他之所以能在现代物理学史上占有极其崇高的地位,是因为他对量子力学的建立和发展做出了一系列杰出的贡献。特别是他于1927年因提出电磁场二次量子化的理论而荣获了1933年度的诺贝尔物理学奖金。与此同时,他那种对自然界行为的深刻而新颖的理解,以及将这种理解以令人耳目一新的简洁优美的数学形式表达出来的科学臻美方法论,使他在20世纪的物理学界成为一个传奇式的、将追求数学美当作一种宗教来奉行的人。本文将透过他对于量子力学中那些具有根本性意义的观念的独到领悟,来展示他作为一位科学美学大师的风范以及其思想与方法论对当代物理学的发展所产生的深远影响。

## 1 深沉而独到的科学美学观

狄拉克是时代的产儿,他的青年时代正好是原子物理实验积累了大量事实,量子理论处于急剧变革的时期。由于深受以爱因斯坦为杰出代表的20世纪中理性主义思想的影响,同时又接受了以尼耳斯·玻尔为首的哥本哈根学派物理思想中的有益成分,再加上他个人善于思考和思想方法的正确,狄拉克从中学时代开始,就逐步形成了自己丰富而深沉的科学美学观。

### 1.1 坚信自然界的和谐性

坚信世界的和谐性,是狄拉克矢志不移的科学信念;追求以世界和谐为前提的科学理论的统一性,是狄拉克始终不渝的既定目标。他认为自然界神秘的和谐性一则表现为各种现象间的内在联系和规律;二则表现为基本自然规律的普遍适用性。并且指出:“所有的自然规律都只是近似的……是表现我们现有知识状态的近似”<sup>[1]</sup>。

因此,贯穿于狄拉克终生的科研课题的一条主线是:追求自然界各种现象领域间必然具有的某种本质的内在联系,其中包括现象上的相同、形态上的对映、性质上的一致、结构上的重复、规律的不变和理论基础的统一,等等,以便建立不同的层次、不同形式的物理规律之间所存在的一种深刻的统一性。为了实现这一宏伟的目标,对于原有的各种物理理论,狄拉克认为应当尽可能地将它们加以统一的表述。于是他“把力图改进它们作为一项任务”<sup>[1]</sup>。在玻尔对应原理的启发下,狄拉克认识到经典力学系统和量子力学系统之间应该有一个共同的理论基础,即哈密顿力学。他通过建立量子变量对易子与经典泊松括号间的联系,使经典力学的哈密顿公式体系与海森堡的矩阵力学统一起来,并使矩阵力学有效而迅速地被加工成为一个“和谐简朴美”的理论体系<sup>[2]</sup>。狄拉克通过引入 $q$ 数普遍变换理论,把矩阵力学与波动力学的形式统一起来,并作了普遍推广,在各种可能的表象之间建立起一种数学上严格的关系,从而使非相对论性量子力学成为一个严整

的理论体系。他通过相对性电子波动方程,使量子力学与相对论统一起来。他通过电荷共轭概念,使物质世界与反物质世界统一起来。他通过大数假设,使微观世界与宇观世界统一起来。狄拉克还提出磁单极子理论,使电磁现象得到彻底的统一。

狄拉克说:“物理学从根本上应当具有决定性的特征。”<sup>[1]</sup>即在他看来,客观世界是决定论的,未受干扰的系统一定服从因果律,必须以表达因果联系的动力学理论来描述。因此,狄拉克所追求的以世界和谐为前提的科学理论的统一性,是建立在因果决定论的基础上的。正是从这样一种统一性的观点出发,狄拉克才认为无论是经典理论还是量子理论,无论是高能物理还是低能物理,都应该用一种统一的动力学理论作为基础。

### 1.2 追求物理规律的数学美

狄拉克指出:“数学感兴趣的规则也正是自然界所选择的规则”,“基本的物理规律是以美和有力的方式来描述的,这是自然界的基本特征之一”<sup>[3]</sup>。正因为狄拉克深信在数学与物理学之间有着深刻的联系,甚至认为数学结构本身可以导致新的和真正的物理学发现,所以狄拉克一生“极为欣赏数学美”,执着追求数学美,大力提倡数学美。一再声称“我想我正是和这一概念(优美的数学)一起来到这个世界的”<sup>[1]</sup>,说“这种对数学美的欣赏曾支配着我们的全部工作。这是我们的一种信条……这对我们像是一种宗教。奉行这种宗教是很有益的,可以把它看成是我们许多成功的基础。”<sup>[4]</sup>

由此可见,追求物理规律的数学美可以说是狄拉克科学美学思想的核心。他认为:“凡是在数学上是美的在描述基本物理学方面就很可能是有价值的。这实在是比以前任何思想都要更加根本的思想,描述基本物理理论的数学方程中必须有美。”<sup>[5]</sup>反之,在狄拉克看来,如果物理定律在数学形式上不美,那就是这种理论还不够成熟,说明理论有缺陷,需要改正。例如,狄拉克对海森堡的矩阵力学、薛定谔波函数理论的发展,以及相对性电子运动方程的发现,“完全得自于对美妙数学的探索”<sup>[6]</sup>。甚至他还认为,有时候数学形式的美要比理论与实验的拟合更加重要。因为数学美与普遍的自然规律有关,而理论与实验的符合常常和一些具体的细节有关。而这些细节的存在,有可能使规律不能以纯粹的形式出现。所以,我们在进行理论研究时,只能根据不同的情况灵活加以考虑,而不应该完全拘泥于实验

的符合而影响对基本自然规律的表述。

虽然狄拉克反复强调过,“今天我觉得在物理学中,人们最好的出发点是假定物理学务必要建立在优美的方程式上”<sup>[7]</sup>,但是,狄拉克并非是唯美主义者。因为他对于理论问题研究的基本出发点是:就物理学和数学的关系问题,物理学居首位,数学只不过是一种工具而已。对狄拉克而言,现实的物理世界要比单纯的逻辑结构更有意义。认为数学美不是理论正确与否的决定性标准,决定性标准是实验。所以即使他相信磁单极子理论是优美的,但他还是客观地说:“磁单极子存在与否,只能由实验来肯定。”<sup>[7]</sup>狄拉克还在《量子力学原理》一书中告诫我们:“应当学会在自己的思想中能不参照数学形式而掌握物理概念,并尽可能地了解数学形式的物理意义。”

狄拉克心目中所向往的物理规律的数学美,除了传统意义下数学的精确性、严密性、和谐性、统一性、简洁性、奇异性之外,还包括在尽可能广泛的变换群作用下的不变性,即对称性。关于这个问题,我们还将下面的论述中作进一步的讨论。

### 1.3 美的理论必然是真的

狄拉克的一个基本观点是,美的理论必然是正确的。这是狄拉克科学美学思想核心——美与真必然统一——的一个侧面。他认为,如果理论物理对纷繁复杂的现象不满足于作表面的描述,那它就必须是数学性的。因为它的主要目标就是要找到“那些支配现象的规律,并利用这些规律去发现新的现象”<sup>[8]</sup>,而“这些描述自然界基本规律的方程都必定有显著的数学美”<sup>[4]</sup>。因此,在狄拉克看来,爱因斯坦的理论之所以被人们所广泛地接受,与其说是因为它正确,倒不如说是因为它具有一种伟大的美。爱因斯坦向人类提供的四维弯曲时空图像,是大大超越人们日常的感性经验的,它的正确性并不那样容易得到经验的确证。至今人们还只有为数不多的几个实验事实:光线偏折、水星近日点的进动、谱线红移,可以对广义相对论的正确性作出判定。可是对广义相对论数学形式的美,则完全可以依靠理性思维正确地加以把握。这就是美的理论必然是正确的理论的客观基础。相对论的这种高度数学抽象性,特别是为了坚持彻底的逻辑一致性,而不惜引进背离常识直观的数学模型,给了狄拉克以极其深刻的印象和影响。他曾在美国普林斯顿纪念爱因斯坦大会上发表了题为《我们为什么信仰爱因斯坦理论》

的长篇演讲。他热情洋溢地说：“爱因斯坦引进的新的空间思想是非常激动人心的，非常优美的，不论将来我们会面临什么情况，这些思想一定会永垂不朽。”“我认为，信仰这个理论的真正理由就在于这个理论本质上的美。这种美必然统治着物理学的整个未来。即使将来出现了与实验不一致的地方，它也是破坏不了的。”狄拉克还一再强调指出，相对论的数学特征是非欧几何，与此相对应，量子力学的数学特征是非对易代数。他本人从非对易代数出发进行理论研究所取得的成果，使他极为重视新型的数学形式对于理论物理发展的重大意义。

据此，狄拉克提出了判定现有理论优劣的一种重要方法：通过对理论数学形式是否完美的考察，来判断该理论的真理性程度。狄拉克对麦克斯韦方程组的批判，就是根据这种方法进行的。首先，他从考察这个方程数学美的形式出发，准确地估量它的不足之处，指出它数学形式不够完美的地方，并设法消除它，使方程更美一些；其次，力图解释这组改进了的方程的物理意义，在现实世界中寻找它的对应物。狄拉克以为，这样做既可以不磨灭或有助于原有理论所取得的巨大成就，又可以批判性地总结前人的工作，在先辈所取得的成就的基础上进行抽象提炼和数学加工，并予以推广。

基于狄拉克一生“极为欣赏数学美”，在他长期的科学实践中，狄拉克的战略目标始终侧重于在“没有试图直接解决某一个物理问题”之前，去“试图寻求某种优美的数学”<sup>[9]</sup>。他甚至认为，“研究者在他把基本的自然规律以数学形式表达出来的努力中应力争数学美”，并且“很有可能物理学的下一个进展是沿着这样的路线：人们首先发现方程，并且需要若干年的发展以找出这个方程背后的物理思想。”<sup>[3]</sup>。狄拉克认定，这样做的结果是可以理论研究上独辟蹊径，解放思想，不拘泥于现存的理论框架或实验材料，创造出非同凡俗的科学理论来。

## 2 新颖精湛的科学臻美方法论

狄拉克不仅因他的深沉而独到的科学美学观耐人寻味、脍炙人口，而且他那种立足于科学美学观基础上的新颖精湛的科学臻美方法论，也令人津津乐道、叹为观止。其中主要有：

### 2.1 对称性方法

我们知道，和谐的实际内容之一是对称，对称性表现着物质内部联系和规律的和谐统一。狄拉克出

自于对自然界和谐性的坚定信念和对物理规律数学美的执着追求，在科学研究中，他除了广泛运用定性对称方法（分为形象对称法和抽象对称法）以外，更多的是成功地应用了数学对称性方法。

所谓形象对称性，就是以一定的事实材料为基础，以对称性原理为指导，主要运用形象思维方式，构造出某种对称的模型、图像、符号、表格等形象对称体，并进而对客观事物作出相应的对称性预言。形象对称法除了在建立直观形象模型和图像方面发挥重要作用外，它还常常和逻辑推理、数学运算等配合运用。

1962年春天，狄拉克因倾心于物理学公式、定律形象对称性的追求，出色地运用了形象对称性的方法，修正了海森堡的矩阵力学，创造了他的 $q$ 数理论。他认为，自然科学中要处理的数可分为相互对称的两类：一类是服从乘法交换律的普遍数，另一类是不服从乘法交换律的 $q$ 数。在他看来，新的量子力学的基础必须建立在 $q$ 数上。经狄拉克从对称性的角度，用 $q$ 数方法改造而成的矩阵力学，由于借助了泊松括号，轻而易举地就能把经典力学中普遍数转换成为量子力学中的 $q$ 数。而对于量子力学来说，只要按照狄拉克的规定重新解释泊松括号，就可以照搬经典力学中的许多方程。并且经过简单的运算，狄拉克便可通过他的电子方程产生出海森堡的全部矩阵元，得到有关氢原子光谱的理论，推导出巴尔末公式。

源自于同样的对称性方法，狄拉克利用对称波函数与反对称波函数，处理了全同粒子或非全同粒子的多体波函数问题，揭示了统计类型与波函数对称性之间的内在联系。他利用真空图像，揭示了粒子与反粒子之间的对称美，正、反粒子对的成对产生与成对湮灭，并且进一步揭示了物质存在的实物形式和辐射形式之间的相互转换，指出它们之间也有着一种美妙的对称性。他根据电与磁的绝对对称性，提出了磁单极子的概念。

数学对称法又称变换不变性方法。它的实质就在于，“抓住不变量与变换式之间的矛盾，并通过不断扩大变换不变性来解决二者的矛盾，从而达到改革旧理论，发展新理论的目的”<sup>[10]</sup>。早在大学时代就深受爱因斯坦相对论的四维对称性数学结构巨大影响的狄拉克敏锐地意识到物理学“进一步前进的方向是使我们的方程在越来越广泛的变换中具有不变性”<sup>[10]</sup>。他不仅创造性地运用了爱因斯坦关于变

换群和物理定律在变换群作用下的不变性概念,一举成功地创立了他的普遍变换理论,而且又用他提出的这一理论,把海森堡的矩阵力学形式与薛定谔的波动力学形式统一了起来,与此同时还作了普遍的推广。

狄拉克变换理论的精髓就在于:它具有多维态矢空间的几何概念。在这个态矢空间中,可以有各种坐标轴。态矢在某轴上的投影就成为某个表象中的波函数。这样,所谓变换无非是这个态矢空间的坐标变换或转动。从这个变换的几何图像来看,量子力学各种表述方法的不变性是十分清楚的。狄拉克变换理论的科学臻美认识意义是:以美示真。具体地说,它一方面承认观测者在认识上的主观能动性,因为每一个观测者可以任意选择对自己认为是方便的表象进行观测;另一方面,它通过各种表象观测所得的结果完全是客观的,这是一种不变量。这样,变换理论就把各个观测者任意选择的各种表象观测完美地统一起来了。这意味着自然界的进程是完全客观的,没有什么主观任意性。体现了“美”与“真”的有机统一性。

出于对对称方法的力量之钦佩,狄拉克曾将它誉为“理论物理学新方法的精华”。<sup>[10]</sup>

## 2.2 科学美感直觉

所谓科学美感直觉,是指科学家在关于自然科学的审美创造中,大脑对物质性科学对象(自然界)潜在的固有结构或精神性科学对象(自然科学理论)深层的科学真理,未经充分逻辑推理的直观。科学美感直觉产生的模式是“问题”——直接性的领悟、判断和情感反应”。从问题到科学美感直觉的产生,是直接的,即时完成的,无需有意识的思考,就能达到对问题的直接把握。当然,科学美感直觉里仍潜伏着理性内容,这并不是通过自觉的思维判断直接表现出来的,而是以科学创造的主体已有的知识和审美鉴赏力、审美经验为依据的。这种理性内容,是科学探索者在长期的科学实践中逐步形成的理性心理沉淀。它们作为情感、想象和洞察的基础,在科学审美中起着不可忽视的作用。显然,如果将科学美感直觉视为不依靠科学审美实践,不依靠有意识的逻辑活动的一种天赋的美感认识能力,是极其错误的。科学美感直觉包括直觉的判别,直觉的想象,直觉的启发,直觉的组合,直觉的选择等具体心理活动;以非逻辑性、非纯粹的抽象性、间歇性和飞跃性、敏捷性、受总体经验的制约性为其主要特征<sup>[11]</sup>。

由于狄拉克终生保持着对数学美的执着追求,靠着科学美感直觉,他能像诗人运用语言那样去运用精美绝伦的数学表述,然后又借助于科学美感直觉去猜测方程背后的物理思想。如狄拉克通过求解自由电子相对论波动方程得出数学上具有对称性美的两个根,直觉地预言出正电子。又如,靠着对美妙数学所蕴藏着的物理内容之强烈的直觉能力,狄拉克设想了磁单极子的存在。目前各国物理学家正在用各种实验方法千方百计地去俘获磁单极子。一旦磁单极子的存在得到证明,那将既是科学发展中的一巨大成就,又是科学美学思想发展史上的一件大事。

## 2.3 形象思维与逻辑思维的兼容互补

狄拉克能够灵活地交替使用形象思维与逻辑思维两种形式,巧妙地利用各自的优势为他的创造性思维服务。数学美的获得主要是一个逻辑思维的过程,它是在感性认识的基础上运用数学的概念、判断、推理等思维形式,对客观世界所作出的间接、概括的反映。只因狄拉克最擅长的工作方法是数学型的,逻辑思维在他的科学研究中起着至关重要的作用,这是毫无疑问的。但是,要想得到一幅理想化的清晰的物理图像,则完全取决于形象思维的作用。如狄拉克曾根据当时已经掌握的有关电子的实验材料,在相对论和电磁理论的指导下,依靠丰富的想象力,革新了“真空的概念”,提出了真空是被填满的“负能电子海”和“空穴”的假说。又如他在建立相对性电子理论时,为了摆脱克莱因方程的束缚,曾经从形象思维的角度(图像上的考虑),思考了量子力学理论对单个电子的含义是什么。

在这里,我们完全有必要就物理学史上对狄拉克科学臻美方法论所存在的分歧:数学方法和图像方法之间的关系问题,作一具体分析与说明。不少人因注意到狄拉克极为欣赏数学美而对图像则表示了一定程度的轻视,因而认定他是反对图像方法的。也有人发现狄拉克因高度重视图像在量子物理中的意义,从而认为图像方法在狄拉克方法论中占有主要的地位。我们认为,之所以会产生这样的异议,根源于狄拉克在不同的场合对“图像”一词有不同的用法。当狄拉克把图像看作“是一个基本上按经典思路起作用的模型”时,他确实说过“是否存在图像只是次要问题”,因为重要的是指出可以用数学公式来表述的规律;并用“以原子现象而言,不能期望有任何这样的图像存在。”但是当狄拉克把“图像”作为

“看待基本规律并使基本规律的自洽性明显化的方式”时,他就极为重视图像的重要性了。<sup>[8]</sup>由此可知,狄拉克作为一个具有独创性能力的科学家,在他的科学审美创造中,能够恰到好处地把握住形象思维与逻辑思维之间那种相依相促、兼容互补的关系,深深地懂得在什么时候,他的研究应当以逻辑思维为主;在什么时候,他的研究又应当以形象思维为主。

概而言之,狄拉克作为 20 世纪中世界最伟大的物理学家之一,不仅以他 60 余年的理论探索深刻地影响了当代物理学的发展,而且他的科学美学观和科学臻美方法论也已成为人类思想宝库中一件流芳百世的珍品。我们相信,这两者都必将继续为 21 世纪理论物理学的发展开拓广阔的道路,产生不可估量的深远影响。

#### 参考文献

1 曹南燕. 自然辩证法通讯, 1982, 6

- 2 张相轮, 程民治. 物理科学美论. 西安: 陕西教育出版社, 1994
- 3 Gross D J. 郑希特摘译. 世界科学, 1990, 3
- 4 狄拉克. 科学与哲学, 1981, 6-7
- 5 Dirac P A M. Princeton, 1980
- 6 狄拉克. 自然科学哲学问题丛刊, 1983, 4
- 7 王福山. 近代物理学史研究. 上海: 复旦大学出版社, 1983
- 8 狄拉克. 量子力学原理. 北京: 科学出版社, 1965
- 9 Thomson D E. 美国科学新闻, 1981, 42
- 10 王宏金、程民治. 物理科学臻美概论. 济南: 山东教育出版社, 1996
- 11 徐辅新、程民治. 自然科学美学. 合肥: 安徽教育出版社, 1992

## A NARROW VIEW OF P. A. M. DIRAC'S SCIENCE AESTHETICS THEORY AND PERFECT METHODOLOGY

Cheng Minzhi

(Department of Physics Chaohu Teachers' College, Chaohu, Anhui 238000)

**Abstract** In this article the author will briefly expound science aesthetics theory and scientific perfect methodology of Paul Adrien Maurice Dirac(1902~1984)Who is both one of great pioneers of quantum mechanics and one of the great heroes.

**Key words** P. A. M. dirac, science aesthetics theory, scientific methodology.

**[作者简介]** 程民治, 1945 年生, 安徽省巢湖师范专科学校物理系教授。

(收稿日期: 1999-01-18)

责任编辑 安小望