

# 物理学家的美学思想对物理学发展的作用

曾月新

(天津师范大学物理与电子信息学院 天津 300071)

打开物理学史会发现许多物理学家从事物理研究的直接动力来自于对自然美的一种追求。这里所说的自然美不仅指自然现象之美,更主要的是指自然现象背后物质结构、运动规律的内在美。它是一种理性美。爱因斯坦曾写道:“十分有力地吸引住我的特殊目标,是物理学领域中的逻辑的统一。”洛伦兹 1878 年在莱顿就职演讲时说:“所有物理研究的目的在于寻求简单的、可以说明所有现象的基本原理。”彭加勒在《科学和方法》中写到:“如果大自然不美,那它就不值得认识,如果大自然不值得认识,就不值得活下去。当然,我这里并不是谈那种打动感官的美、性质的美和现象的美;不是我低估这类美,远不是这样,而是他们与科学毫不相干;我的意思是那更深邃的美,它来自各部分和谐的秩序,而且它能成为一种纯粹的智慧所掌握。正是它给实体,也就是给结构以五彩缤纷的现象,从而使我们的感官感到欢愉;没有这种支持,这些梦幻即逝的美就是不完美的,因为它是朦胧的而且总是瞬时的。恰恰相反,理性的美对自身来说是充分的,与其说为了人类美好的未来,倒不如说或许正是为了理性本身,科学家才献身于漫长的和艰苦的劳动。”可以看出,物理学家所追求的理性美主要指简单美、对称美、和谐美和统一美,这也是物理学家美学思想的核心。

## 一、美学思想——启迪物理学研究的方向

物理学家的美学思想会深刻影响他们在整个物理研究过程中的思维方向。哥白尼追求简单美,在哥白尼看来托勒密体系一代传至一代,由于不断修正和补充本轮、均轮变得越来越繁杂,已丧失了美的魅力,在他的脑海中反复思考的问题就是如何简化行星运行体系,终于他发现若把太阳摆到“宇宙”中心,行星运行体系便可大大简化。开普勒并不怀疑哥白尼体系,但他看到哥白尼在说明行星运动的不均匀性时仍然借用了托勒密的本轮和均轮,开普勒坚信大自然存在一条简单法则,太阳系应具有比哥白尼体系更加简单的图景。沿着简单美的方向开普勒利用第谷、布拉赫观测的数据,坚持不懈地进行多年不间断的计算,终于总结了行星运动三定律,展现

给后人一个既简单又有逻辑联系的太阳系。开普勒终生追求理性美,他将自己 1619 年发表的最后一部著作命名为《世界的和谐》,在此书中他阐述了自己从事物理研究的动力“……和谐! 22 年前当我一发现天体轨道与五个正多面体具有相同的数目,就曾预言过;远在我看到托勒密有关方面的论著以前,我就充分相信过;在 16 岁以前我就以本书这一命名的名义向我的朋友许诺过;我坚持要把它作为探索的一个目标。为了它,我曾同第谷、布拉赫相会;为了它,我曾在布拉格定居;为了它,我已把我的毕生用于天文计算事业——终于我发现了光辉,而且看出,那是超出我最天真向往的真理。”

物理学家的美学思想也是他们探索自然规律的一种情感支柱。列宁曾指出:“如果没有‘人的感情’,就从来没有也不可能有人对真理的追求。”当对美感情上的向往成为执着追求的一种强烈的信念,那么这种信念会在物理研究中起到“能源”作用,成为鼓舞物理学家披荆斩棘、不屈不挠地去揭示大自然规律源源不断的“动力”。法拉第对“自然力的统一”深信不移,所以他能毕生在实验室中不断探索电与磁、电与光、电与化学、磁与光之间的相互联系。当电的磁效应发现后,法拉第感到这里缺乏一种对称美,他坚信磁也应当以某种方式引起电,为此他寻找磁生电现象十年不动摇,其间经历了无数次的失败,是对称美的信念使他在 1831 年获得了成功。爱因斯坦后半生孤军奋战,孜孜不倦追求统一场论,在爱因斯坦看来如果能找到总场方程“那该是最美的了”。所以霍夫曼认为爱因斯坦的方法“在本质上是美学的、直觉的。”虽然爱因斯坦统一场论的科学设想没有实现,但在电磁相互作用与弱相互作用统一性获得成功后,又给了人们继续寻求统一场论的信心和勇气。

提出一种假说或构筑一种新理论时先审美后审真,把美放在决定一切的地位,这是物理学家在美学思想引导下创新思维的生动体现。麦克斯韦位移电流假说的提出就是先审美后审真的范例,根据安培定律,电流能产生磁场,根据法拉第电磁感应定律电

荷和交变磁场都能产生电场,要实现电学方程和磁学方程的对称美,就应该设想不仅电流而且交变电场也能产生磁场,所以麦克斯韦建议在安培定律中再加上一项,这一项只是在电流是迅速变化的情况下,才具有重要作用,麦克斯韦把它叫作“位移电流”。位移电流是在无任何实验依据的情况下,完全出于满足对称美的需要而提出的大胆设想,在位移电流概念提出 20 年后,赫兹证实了麦克斯韦大胆设想的正确性。这说明美与真理是紧密相连的,美可以为创造性思维活动提供生动直观的物质原型,科学家借助它来启示自己,有效地进行猜想、类比和假设,应当把“追求美”作为科学研究的一种思维技巧和基本原则,所以科学史家库恩认为在新的理论的建立中,“美学的考虑的重要性有时是可以决定性的。”

## 二、美学思想——引导物理学理论不断完善

自然界是一个和谐的整体,和谐是一种美,反映自然界规律的物理学理论应当具有和谐美的特征。和谐一词源于希腊文(harmonia),意思是联系、均匀,指事物各方面的配合和协调以及多样性的统一。从和谐统一角度来说,物理学史是人们实现由一个层次上的和谐统一到另一个层次上的和谐统一的历史,即物理学史就是人们不断追求和谐统一的历史。牛顿将描述地上物体运动的伽利略理论和描述天体运动的开普勒理论和谐地统一在牛顿力学体系中。麦克斯韦的电磁理论是将电、磁、光现象统一起来的和谐理论。爱因斯坦的狭义相对论把高速运动规律和低速运动规律统一了起来,而牛顿力学成为狭义相对论理论框架中的一个极限情况。除此而外,使“对立”的理论形成具有新质的统一理论,会使物理理论获得对立面统一之美。爱因斯坦的光量子理论将对立的波动理论和粒子理论溶为一体,就是这种美的体现。

牛顿在《自然哲学的数学原理》中的第三篇“哲学中推理论”开头写到:“除那些真实而已足够说明其现象者外,不必去寻求自然界事物的其他原因”;“自然界不做无用之事,只要少做一点就成了,做多了却无用;因为自然界喜欢简单化,而不爱用什么多余的原因以夸耀自己。”这是牛顿的简单性美学思想的体现。17 世纪伟大哲学家、文学家布瓦洛说过“简单即美”。物理学家追求“美”最终要体现在经过实验研究,所建立起来的物理理论具有简单美的特征。一种理论具有简单美是指这种理论用最少的

原始概念和原始的数学关系来反映自然的真实图像。物理理论一般由两部分构成:运用符号(数字、算符)的数学部分和用自然语言对物理图景的定义性描述部分。为此物理学家采用数学方法并利用数学语言的简洁、精确和严密等特点,不断实现了物理理论的简单美。物理学家运用数学来确定由实验测出的各种物理量之间合乎规律的依存关系;将物理规律浓缩成公式,物理学中比比皆是的公式说明数学的力量在于它作为一种语言描述手段,使物理理论获得形式上的简化。除此而外,物理学家还巧妙运用数学方法,简化物理研究过程,当物理学家把实际问题转化为能够求解的数学问题即建立起数学模型,这实际是一个化繁为简、抓主要矛盾的过程,对数学问题求解后,联系实际对数学解做深入的讨论与分析,形成对问题的认识和预见,这已成为物理学在数学化进程加快的情况下,建立物理理论的一种模式。麦克斯韦方程组是麦克斯韦尝试用数学形式表达法拉第思想,奋斗 20 年的结果。这组简洁完美的方程不仅可以表达实验已发现的库仑定律、高斯定律、安培定律和法拉第定律,而且由这组方程还预言了电磁波的存在,正是这组简洁的方程使经典的电磁理论打上完善的句号,才使我们对电、磁、光现象有了正确、全面、深刻的认识。

物理学家为了实现简单美还将数学作为物理学推理和逻辑证明的工具,特别重视数学严格的逻辑性为物理学提供超前于直观性的科学预见的作用。狄拉克指出:“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。”使一个方程具有美感比使它去符合实验更重要。”狄拉克在求解电子的薛定谔方程时为了解释负能解,大胆预言了第一个反物质——正电子的存在,正电子既无法在感官上把握,又无任何实验依据,凭借的就是数学的这种超前于直观性的逻辑推理功能。

围绕“对称美”的一系列物理研究成果,是物理学家美学思想推动物理学发展的最好的说明。对称是在人们凭感官对一些“对称现象”(例如雪花一般为六角形)认识基础上形成的一种观念。“对称性”原来是一个几何名词,它实质上是变化中的某种不变性。正是物理学家对“对称美”的追求,才使人类对自然的认识不断深化,新理论才不断被创建。最有说服力的是 19 世纪对晶体对称性意味着什么的探索,直到 1890 年左右经过物理学家和数学家的

共同努力才真正把晶体的对称性用数学语言讲清楚,也才认识到晶体的物理性质与其不变群有极为密切的关系。1890年,发现三维空间结晶有230种,即三维空间的不变群有230种。1891年发现二维空间的不变群只有17个,则二维空间晶体的种类就有17种。1970年,利用计算机得出四维空间的不变群有4895种。对于五维空间的不变群究竟是多少目前还没有定论。准晶态的发现也与对称性的探究有关,1984年,美国国家标准局(NBS)的D. shechtman等人对急骤冷却形成的微米量级铝锰合金作电子衍射研究,发现衍射结果除了给出二次和三次对称性花样外,还给出五次对称衍射花样,这些衍射花样斑点明锐,旋轴之间关系符合二十面体点群对称,由于晶体结构中不允许五次对称的存在,D. shechtman等人的发现引起了人们的极大关注,究竟是经典晶体学结论错了?还是物态的分类不完全?美国宾州大学的Levine和Steinhardt等人根据他们多年对凝聚态中的二十面体结构的研究和探讨,提出这种急骤冷却形成的铝锰合金既不是晶体也不是玻璃体,而属于一种新的物质凝聚态——准晶态。自1984年实验上获得第一块铝锰合金准晶至今,已有包含八次对称、十次对称、十二次对称等数十种不同材料和组分的合金准晶在实验室中被制备出来,研究准晶态物质结构及组成粒子之间相互作用与运动规律已成为凝聚态物理的前沿。

进入20世纪后,物理学家已不限于研究物理学中形状或结构上的对称性了,随着研究对称性数学工具群论、李代数、李超代数等的完善,物理学家已认识到对称性与守恒律的密切关系。通过量子力学揭示了空间平移对称性是动量守恒密切相联的,时间平移对称性是能量守恒密切相联的,空间转动对称性是角动量守恒密切相联的,空间反演对称性是宇称守恒密切相联的。由于对称性与守恒定律的这种联系,当我们得到一种对称变换的时候,就可以去寻找一种守恒定律;若从实验中得到一种守恒定律便可以寻找相应的对称不变性。杨振宁指出:“对称性的概念在物理学的世界中正在发生很大变化,支配宇宙的法则被一一揭示。不过,仍然有许许多多的奥秘。为揭开这些奥秘,还需要更深刻地理解对称性这一概念。”

当物理学家把对称观念扩充到规范对称,于是得知自然界存在的四种相互作用力也是由对称这一概念决定的。阿贝尔规范对称与电磁力有直接关

系;非阿贝尔规范对称与弱力、强力和引力有密切关系。规范对称再进一步扩充又导致1973年提出“超对称”,即费米子与玻色子之间的对称;1976年提出超引力,1984年提出超弦理论。如果规范对称再进一步扩充很可能还有新的观念被引入。

正是物理学家对“对称美”的追求,当他们发现对称之美被破坏后,总要去探究对称之美被破坏的原因,从而促进在更深层次上“对称美”的实现以及新理论的创建。例如,空间反演对称性使人们认识到在自然界中左右对称的两个状态或过程都服从同样的物理定律。当人们接受和陶醉在量子力学的空间反演不变与宇称守恒定律时,“ $-$ ”之谜使人们惊奇地发现了在弱相互作用中宇称不守恒。为了探讨弱相互作用中宇称并不守恒的原因,杨振宁、李正道、朗道和萨拉姆于1957年各自独立地提出了“二分量中微子理论”。该理论认为中微子都是左旋的,不存在右旋中微子;而反中微子都是右旋的,不存在左旋反中微子。正是中微子的这种特性破坏了空间反演性,故凡是有中微子参加的过程宇称都会不守恒。由于中微子只参加弱相互作用,所以不会引起宇称守恒在强相互作用和电磁相互作用中的破坏。“二分量中微子理论”已得到实验上的证实。为了追求对称美,物理学家进一步研究发现,在弱相互作用中进行CP联合变换,则物理规律的对称性仍可保持,这是因为CP联合变换使左旋中微子变为了右旋反中微子。这里C指电荷共轭变换,即正、反粒子互换;P指空间反演变换。但是1964年,克罗宁(J. W. Cronin)和菲奇(V. L. Fitch)等人又发现了CP对称性破坏的现象,即长寿命的 $K^0$ 介子在衰变中CP联合变换的对称性有轻度的破坏,破坏程度约为千分之二左右。由于CP破缺的发现,克罗宁和菲奇获得了1980年度的诺贝尔物理学奖。后来量子场论又证明了物理学规律在CPT联合变换下是严格保持不变的(T表示时间反演变换,即把时间 $t$ 变为 $-t$ ),目前这一理论还没有得到直接的实验支持,但由此理论得出的一些推论却得到了实验的证实。

