

物理学与科学美

陈
篮

张
兆
星

日常生活中，“物理学”和“美”这两个术语都是人们非常熟悉的。在辞典中，物理学的定义是：探讨物质结构和物质运动规律的学科。“美”在辞典中的定义具有多样性，在一定范围内，“美”定义为：各个部分的匀称性和比例性、和谐、形式的适宜性和完整性，形式和内容的一致性等等。当然，这只是静态的看法。在动态的认识中，“美”本身还包含着受历史和社会制约的因素，也

就是说，“美”是发展的、变化的。表面看来，这二者似乎关联不多，实际上，若以扩展的眼界观察，从表层研究或深层上思索，二者关系异常密切。诺贝尔物理学奖获得者阿尔芬曾指出：“像画家运用色调，雕刻家利用石膏，音乐家通过音符来表达自己的见解和感受一样，科学家是通过似乎是周围的浓缩物的公式和定理来表现自己的高水平的美感的。”众多物理学家都曾赞叹过物理学本身固有的美学特征：简洁、精练、优美、对称、和谐、有序及其逻辑性等。

一

在美学中，人们常说简单就是美。细细体会，这句话很富有哲理性。我们生活的世界丰富多彩，千变万化。在探索未知领域的过程中，物理学家追求的物理定律却是简洁（或简单）的。早在毕达哥拉斯（公元前572—公元前497年）时期，人们受自然界中对称的几何图形的启

示，就形成了自然界应当和谐、对称的理念，并企图用数的和谐性、几何图形的对称性来阐述自然规律和说明世界的本质。一般人的印象中，“美”首先表现为“对称”。对称性是非常吸引人的，这种“对称”一般指物体形状或几何形体的对称性，深层次的“对称”则表现为事物发展变化或客观规律的对称性。人类对对称性的认识具有悠久的历史渊源，大自然自身便充分显示了对称性的存在。例如，向日葵、竹节、蜜蜂、龟背的花纹、树叶等，都具有对称的特征。人体也不例外。在我国建筑设计方面，宏伟的天安门，壮丽的天坛，颐和园和长廊，古老的赵州桥等，均具有明显的对称性，分别给人们展示出或庄严肃穆之美，或和谐之美，或坚如磐石之美。自然界中充满着非常对称的物体——球体，如恒星、行星、云层中的水滴等等。归纳起来，形体的对称有三种形式，即旋转（或称中心）对称、左右（或称轴）对称和平移对称。

二

对称也是物理学的重要概念之一。对称性意味着同一性、不可区分性及不变性。因此，物理学上把不可区分的、同一的东西或物质称为对称物，把在某种变换下不变的理论称为对称理论。在物理学史上，力学规律关于伽利略变换的不变性曾是经典力学的重要支柱。随着相对论的发展，物理学家发现对称性（不变性）原理与物理规律之间存在着非常紧密的内在联系。量子力学诞生后，对称性原理又深入到微观物理学领域，成为人们探索微观世界运动规律的重要理论方法。比



解放军广州通信学院基础教研室 广州 510502

如,晶体的点阵结构具有高度的对称性,对称性又使晶体具有许多特殊性质.物理学家采用X-射线衍射实验便是利用晶体的对称性原理.

后来,物理学家发现原子、分子也具有对称性.

现今物理学家对对称性的研究已不局限于表面形状或结构的对称性,而是深入到物理对象的内在特性——动力学性质,由动力学对称性的讨论中获得了许多有意义的结果.

在物理规律上体现出对称性的有很多.所谓物理规律的对称性,指的是物理规律在某种变换下的不变性.有一个人们熟悉的例子:当把一台带摆锤的闹钟放到地球上的不同位置时,由于各地的重力加速度不等,导致其快慢不一样,此时,这座钟的运动在不同地方并不具有重复性(或不变性),但是,能否由此认为,摆锤振动的物理规律在各处不同呢?答案是否定的.摆锤的周期与重力加速度之间的依赖关系并未改变,所以物理规律依然保持不变.

三

对称性原理已成为物理学家手中强有力的工具.近年的研究表明,物理学家已从单纯地将对称性看做是对物理现象的可能性的一种限制,转向把它作为确定物理定律的一块基石,这在理论和实验领域均已发挥了很大的作用.

在物理学中,存在着许多人们熟知的守恒定律,比如,能量守恒定律、动量守恒定律、角动量守恒定律和电荷守恒定律等.这些定律的出现是偶然的吗?不是的.它们是物理规律具有多种对称性的必然结果,这点是物理学中无比优美和意义深远之处.物理规律的对称性之所以重要,原因在于:①探索未知的物理规律时,可以以普通的对称性作为引导;②物理规律的每一种对称性(或不变性)通常都对应一种守恒定律.随着对称性研究的不断深入,物理学家逐步认识到了对称性与守恒定律之间的紧密关系.由分析力学或量子力学可以严格地证明下列对称性结果:

- ①空间平移不变性 \Leftrightarrow 动量守恒
- ②空间转动不变性 \Leftrightarrow 角动量守恒
- ③时间平移不变性 \Leftrightarrow 能量守恒

④空间反演不变性 \Leftrightarrow 宇称守恒

⑤整体规范不变性 \Leftrightarrow 电荷守恒

根据对称性和守恒定律的密切关系,当我们找到一种对称变换时,就可以去寻找一种守恒量或守恒定律;反之,当我们从实验中发现一种守恒定律时,也可以去寻找出相应的对称性原理.例如,整体规范变换是波函数的一种相角变换,在这种变换下,如果波函数仍然满足同一个薛定谔方程(即它所遵从的规律不变),则可得出电荷守恒定律.实际上,物理学家是通过实验发现在各种反应中粒子的电荷是守恒的,因此要求哈密顿量具有整体规范不变性.

英国物理学家狄拉克认为:美的理论必然是正确的,美与真必然统一.如果物理方程在数学上不美,那就是一种不足,意味着理论上存在缺陷,需要加以改进.当然,这只是一种科学思维方法,只有实践才是检验真理的唯一标准.

物理学家总是力图用最简单的公式表现客观规律.通常,物理规律愈简洁,概括的信息愈丰富,这个理论体系就愈完美.麦克斯韦方程组就是一个简洁、完美的理论体系的典范.从数学形式看,此方程组具有对称性;从物理内容看,方程组把电学、磁学和光学的基本理论和谐地组合在一起,建立起一个统一完善的电磁场动力学理论.此外,类似奠定量子力学基础的海森堡方程等例子,在物理学上也为数众多.

伟大的物理学家爱因斯坦的著名质能方程: $E = mc^2$, 揭示了质量与能量间蕴藏的内在对称性,这种对称性在量子理论中得到了进一步引伸,并得出物质和反物质的概念.

四

和谐是美学标准的要素之一.所谓和谐,是指事物和现象的各个方面的配合和协调,是多样化中的特殊的统一.自然界本身就是一个和谐、有序的统一体.物理学家在探索与发现自然规律时,总是力求使其理论体系具有统一和谐之美,在表征物质世界深层的固有规律时,渗透出理性之美.爱因斯坦建立的宇宙模型,就是一个自治、和谐、统一的模型.回顾历史,物理学的理论实际上是沿着和谐 \rightarrow 不和谐 \rightarrow 和

谐的方向曲折上升的。比如,源于17世纪的牛顿力学和19世纪的经典电磁理论曾使当时的物理世界获得圆满解释,20世纪初,物理学家发现了黑体辐射与热力学理论的不和谐,迈克尔逊实验揭示了经典电磁理论中的不和谐,导致量子论和相对论的诞生,又使理论变得和谐了。

统一也是美。在物理学的发展进程中,人们对自然界的现象及规律的认识不断深入,不同的学科领域变得密切相关,甚至融为一体。例如,电学和磁学本是两门独立的学科,在发现运动的电荷产生磁场和变化的磁场产生电场之后,它们形成了一个统一的学科:电磁学。作为统一的成果,麦克斯韦方程组预言了电磁波的存在,进一步的研究确认光波是电磁波的一种形式,由此建立了光学和电磁学的密切关系。

受电与磁统一的启发,物理学家法拉第曾研究过引力与电磁场的统一,他做了关于重物下落能否感生电流的实验,结果否定了。爱因斯坦多年致力于研究引力与电磁理论,由于当时时机的局限(指理论概念的准备和实验的手段等因素),未获成功。

科学史表明,物理学家对自然界的简单性和统一性的认识的每一次深化,都标志着科学的一次飞跃。

五

1905年,爱因斯坦发表了具有划时代意义的论文:“论动体的电动力学”,由此揭示了物理规律的一种新的对称性——物理定律的洛仑兹变换不变性。在建立狭义相对论的过程中,爱因斯坦领悟了对称性的威力,他寻求一种新的对称性发展他的广义相对论。爱因斯坦在等效原理和广义协变原理的基础上建立起广义相对论。透过物理学史,我们看到,20世纪前后物理学研究的思维进程是完全不同的。20世纪以来,以爱因斯坦为先导,物理学家的思维是从整体上提出客观对象的普遍原则,通过大量的理论或实验论证,进而获得正确的物理规律。

近年来,运用于粒子物理。凝聚态物理和原子分子物理方面的动力学对称的研究发展得很快。原因在于:①由于实验技术的快速发展,

获得了大量实验数据,研究动力学对称可以提供关于这些结果的解释,加深对物理本质的理解;②对称性是自然界普遍的现象,对称性的存在与破缺都是有意义的。对称性的存在是客观事物普遍规律的内在依据,而对称性的破缺则是事物表现出多样性的原因。研究动力学对称性的优点在于不需要对所研究的对象作精确的了解(在某些情形下,客观上也难以做到细致了解所有信息),只需肯定其对称性的存在或破缺即可,而所获得的结果却是普遍的、丰富的;③研究对称性的强有力的数学工具:群论、李代数、李超代数等已发展得相当完善,为物理学家研究动力学对称、动力学超对称提供了必要而有效的工具。因此,我们有理由相信,动力学对称和超对称的研究必将取得更大的进展。

此外,在理论物理中,一些最新的进展,如EW(电弱统一理论),SUSY(超对称理论),QCD(量子色动力学)等,都是在对称原理的考虑下,运用描述对称性的数学工具——群论来研究的。对称性和守恒的观点是量子引力领域中关于四种力统一理论的重要主题。为了找到四种力的对称规律,物理学家正在研究一种场理论,以期能描述所有相互作用并可解释四种独立的力起源于一种共同的力或场。

六

地球在变化,世界在发展,物理世界也不例外。到目前为止,总体上看,我们的物理世界是对称的,然而,在这个对称的世界上竟会失去某些对称性,“失踪的对称(missing symmetries)”和“看不见的夸克(missing quarks)”等疑难问题仍困惑着物理学家。早在1928年,狄拉克便预言了反物质的存在:对于每一种通常的物质粒子,都存在一种相应的反粒子,二者质量相同,但携带相反的电荷。这些反粒子可以结合形成反原子,而反原子又可以形成反物质,宇宙间的所有东西都有其反物质对应物——反恒星、反星系等。如果一个物质粒子与一个反物质粒子碰撞,它们将湮灭并产生一股高能的 γ -射线脉冲。4年之后,该理论得到了证实,找到了正电子;1955年找到了反质子;1995年用正

“哲人石丛书”简介

哲人石,又称点金石,昔为金丹术士孜孜以求的仙石,现代创造心理学以其譬喻永不枯竭的科学创造之源。

“哲人石丛书”是上海科技教育出版社在充分调研国内外科技教育出版状况的基础上,针对广大读者对时代感强、感染力深的科教精品的渴求,精心策划引进的大型科普套书。

“哲人石丛书”,立足当代科学前沿,彰显当代科技名家,介绍当代科学思潮,激扬科技创新精神,现已出版 10 本:

《迷人的科学风采》(格里宾著/江向东译)描绘诺贝尔奖得主、物理学“奇才”费恩曼传奇式科学生涯;

《推销银河系的人》(利维著/何妙福译)介绍美国科普活动家博克献身科学、妙趣横生的一生;

《欺骗时间》(戈斯登著/刘学礼等译)用生殖生物学最新成果解释什么是衰老、性与衰老等与每个人密切相关的问题;

《技术的报复》(特纳著/徐俊培等译)考察“自吹自擂”技术的“报复效应”;

《失败的逻辑》(德尔纳著/王志刚译)是德国最高科学奖得主用计算机模拟解说线性思维等思维方式如何“肇事”;

《确定性的终结》(普利高津著/湛敏译)是诺贝尔奖得主、耗散结构理论创立者普利高津赋予物理学一种新的文化内涵的力作;

《PCR 传奇》(拉比诺著/朱玉贤译)透视 1993 年诺贝尔奖获奖成果 PCR(聚合酶链反应)“横空出世”的惊人内幕;

《虚实世界》(卡斯蒂著/王千祥等译)引领读者穿越硅化微世界,探索复杂自适应系统新疆域;

《完美的对称》(巴戈特著/李涛等译)揭示 1996 年诺贝尔奖获奖成果富勒烯“意外发现”的戏剧性历程;

《超越时空》(卡库著/刘玉玺等译)通俗讲述超空间理论及其通往爱因斯坦梦寐以求的“物理学圣杯”的可能性。

欲购者请与上海市康健路 106 号该社读者服务部联系(邮编 200233,电话 021-64700526)。

(卜毓麟供稿)

电子和反质子合成了反氢原子(虽然只是短暂的一瞬间)。到目前,寻找宇宙中的反物质的工作已经历了许多曲折和反复,但推动物理学家为此不懈努力的一直是“对称性”的思维——宇宙中存在同等数量的物质和反物质。出乎意料的是,实验结果却证明了存在着一种普遍的不对称。反物质探测器在宇宙射线中只发现极少的正电子和反质子,至于较重的反粒子则连影子都未发现过。物理学家预测,反恒星和反星系有可能隐藏于宇宙中距离银河系数十亿光年远的某处,来自这样遥远的较重反粒子到达地球的可能性很小,但是,搜寻正电子和反质子的可能揭示暗物质的本性,从而有助于解决天体物理学中的重大难题。物理学家设想,在 20 世纪末 21 世纪初,目前已在建造和计划建造

的大型加速器(Continuous Electron Beam Accelerat Facility,缩写为 CEBAF)、相对论重离子对撞机(Relativistic Heavy Ion Collider,缩写为 RHIC)建成后,预计可获得重大发现。

此时,我们想起了这样的话:存在的便是合理的,合理的便有其美的成分。如果站在辩证的角度去观察,去感受,我们会觉得,物理学与科学美是相伴相生的,关键在于人们的思维要能跟上客观实际。生活中并不缺少美,缺少的是发现。随着人类自身能力的不断拓展,科学实验手段的不断完善,客观世界中的许多未知领域将会不断被发现。

在即将过去的 20 世纪,物理学是辉煌的。我们有充分的理由相信,物理学在 21 世纪将更加富有前景,更加美好,更加引人。