

# 试析物理学简单性的含义

舒 凡

(芜湖师专物理系 安徽 241008)

我们知道,简洁是艺术作品的一个重要特征,而追求简单性不仅是艺术美具有的特征,同样也是科学美具有的特征。作为科学重要组成部分的物理学,其美学基本特征之一就是简单性。这首先是由于“自然界喜欢简化,而不爱用什么多余的原因来夸耀自己”,客观世界存在着简单性的一面;其次是由于人们的认识有一个简单到复杂的发展过程,对于复杂的事物、现象和过程,首先要将它们分解为简单的要素,才能加以认识,即人的认识本身必然有一定程度的简单性;另外,还由于简单性是与确定性和大信息量联系在一起的,正如当代英国著名科学家波普所言:“简单的论断……同不太简单的论断相比价值更高,因为它们告诉给我们的更多,它们的经验内容更丰富并且它们能更好地经受考验”。本文拟就物理学的简单性作一初步探讨。

## 1. 物理学简单性的历史回顾

相信现实世界的简单性,是从古希腊以来,自然科学中形成的基本信念。正如爱因斯坦所说:“从希腊哲学到现代物理学的整个科学史中,不断有人力图把表面上极为复杂的自然现象归结为几个简单的基本观念和关系。”古希腊的哲学家和科学家,都力图把复杂的客观世界归结为某种简单的具体的物质要素,如水、火、土、气等等。中国古代也有类似的思想,如管子认为万物之本是水,荀子认为是气,后来又有阴阳五行说等等,都是在追求简单性。

17世纪近代自然科学尤其是物理学的发展,强调在实验的基础上分析和归纳,把复杂的系统分解为简单的要素加以研究。物理学家们相信简单是真理的印记这一格言。在他们看来,在相同的条件下,理论越是简单,就越有理由认为它是真实的。被誉为近代自然科学革命开端的哥白尼太阳系学说之所以能为大家所承认,一个重要的原因是因为托勒密的地心说在说明行星和太阳的视运动时,采用了大量的本轮、均轮等假说。这些本轮、均轮系统非常复杂,很不协调,极难理解和计算。而哥白尼的太阳中心说,以太阳为坐标原点,地球和其他行星运动是简

单的圆形轨道,这样,天体的运动就描述得非常简单、和谐和自然,成为近代自然科学诞生的标志。

其后,开普勒在大量观察的基础上,又以十分简洁的形式 $R^3/T^2 = \text{恒量}$ ,总结出众星绕日的运动规律,它将繁星浩淼的太空图景清晰地呈现出来,十分简洁和美妙,人们称开普勒为“天空立法者”。

牛顿在《自然哲学的数学原理》中指出:“自然界不作无用之事,只要少做一点就成了的,多做就是无用”。按照这一思想,牛顿把天上、地上物体的各种形态的机械运动,概括在一个简单的方程 $\vec{F} = d\vec{p}/dt$ 之中。只要知道物体的初始状态和所受的外力,其后任意时刻的运动状态便可以确定,这在宏观低速范围内无一反例,堪称为对自然世界图景最美的描述。

后来,拉普拉斯、拉格朗日、哈密顿等人进一步用数学分析的方法将力学定律抽象化、数学化,最后概括为一个形式非常简单的哈密顿方程 $\dot{q}_k = \partial H / \partial P_k, \dot{P}_k = -\partial H / \partial q_k$ 。

在热力学中,迈尔、焦耳等人发现了能量守恒和转化定律,找到了各种复杂的运动形式相互联系和转化的共同规律,说明了自然界各种运动的同一性和简单性。

在电磁学中,麦克斯韦用他的方程组 $\nabla \cdot \vec{D} = \rho, \nabla \cdot \vec{B} = 0, \nabla \times \vec{E} = -\partial \vec{B} / \partial t, \nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \partial \vec{D} / \partial t$ ,十分简洁地揭示了电荷、电流、电场、磁场之间的本质联系,包括了几乎所有的电磁学实验定律,这是一组像音符一样优美的方程组,被誉为“神仙写的公式”。

爱因斯坦认为,物理之美的本质就是简单性,一切科学的伟大目标就在于“寻找一个能把观察到的事实联系在一起的思想体系,它将具有最大可能的简单性。”麦克斯韦方程组具有洛伦兹变换群的不变性,狭义相对论使用的就是洛伦兹变换群,而在广义相对论中,自然规律是用那些对于连续的坐标变换群是协变的方程组来表示的,而洛伦兹群是广义协变群的一个子群。从美学原则出发,爱因斯坦认为

必须“探求那些在广义协变下,表述形式尽可能不再相互独立的两个矢量,而是在一个张量中作为一个反对称张量中的元素出现的。”这种简单的表述,更深刻地反映了电磁场之间的本质联系。

薛定谔在建立量子力学时,是从批评玻尔量子理论的非最简化开始的。他认为电子运动完美的数学理论所应用的数学方法必须能够由电子运动本身按自然方式产生量子数,而不是像玻尔理论那样直接从外部把这些量子数注入到数学理论中去。由于毕达哥拉斯发现了音乐与数之间有一种奇特的关系,这就使得薛定谔想到一根振动着的弦,也应当包含它所需要的量子数的正整数序列。他设想如果把弦的两端连结起来,那么这根振动着的弦就会形成一个振动的圆环,这个振动的圆环必定是整数个半波长,这实际上是玻尔的轨道量子化条件,而这一条件在玻尔理论中是作为假设而引入的。后来,人们在评论薛定谔这一科学研究风格时,便称它是音乐式的美学风格。人们早已知道琴弦、风琴管的振动符合声波的波动方程,而一个波动方程,只要附加一定的数学条件就可以产生一个数列,薛定谔以自己的见解最后建立了薛定谔方程  $ih\partial\Psi/\partial t = \hat{H}\Psi$ ,这个方程以简洁的形式完美地解释了微观粒子的运动,就像牛顿力学方程可以完美地解释低速宏观物体的运动一样。

从物质的相互联系和运动规律来说,物质世界各种各样的复杂的相互作用可以归结为强相互作用、弱相互作用、电磁相互作用、万有引力作用4种。现代物理学弱电统一理论又告诉我们,电磁作用和弱作用只是一种作用力的不同表现,简称为弱电相互作用。目前,正在研究的大统一理论,力图把强、弱、电磁3种作用统一起来,准备把4种相互作用都统一起来的超统一理论,也正在发展之中。有人认为,在  $10^{-23}$ 米范围内,只剩下一种粒子和一种相互作用。这些情况表明,自然界相互作用存在着简单性的一面。超统一理论最终实现之日,也正是物理学简单美大放异彩之时。

此外,最小光程差原理、最小熵增加原理和最小作用量原理等都符合“物理上真实的东西一定是逻辑上简单的东西”,是物理学简单美的光辉体现。

总之,人们对物理世界简单性认识的每一次深化,都标志着物理学的一次飞跃。正如爱因斯坦所说:“自然规律的简单性也是一种客观事实,而且正确的概念体系必须使这种简单性的主观方面和客观

方面保持平衡。”因而,“理论物理学的目的,是要以数量上尽可能少的、逻辑上互不相关的假说为基础,来建立起概念体系”。李政道也曾经说过:最重要的东西往往都是最简单的,就拿物理学来说,它的研究对象大至恒星、宇宙,小到微观粒子,但是,这些对象总是由几条基本原理管住。那些基本的东西,恰恰是简单的,但却是最重要的。追求理论的逻辑简单性,几乎是所有物理学家的共同目标。

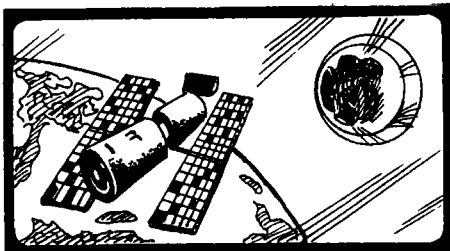
## 2. 物理学简单性的含义

简单性思想尽管是一种相当古老的思想,但它同时却是一个众说纷纭、含义模糊的思想。直至今日,它也仍然没有一个明确的、无歧义的定义。其实,这并不奇怪,任何一个科学思想与概念在走向明确和成熟以前,都必然经历这样的过渡阶段。概念含义上的不断变化和众说纷纭,甚至可以说是一个科学概念具有旺盛生命力的标志。爱因斯坦曾说,我永远不会说我真正懂得了自然规律的简单性所包含的意思。

对于物理学简单性的含义,笔者认为可作如下探讨性的阐述:物理学发展史表明,一种最优美的物理理论,总是有一种简单的形式,却能说明和描述最广泛的物理现象,从科学美学的角度来说,物理学简单性是指最大限度地表述了物理学普遍规律的最简洁的形式,并且这种形式往往表现为数学形式。任何成熟的物理理论都具有这样的特征:它们的基本概念少而精,基本假设简明扼要。简单性使得物理学理论条理清楚,层次分明,结构紧凑,和谐完美。

简单性作为物理学科学美的特征,同时也是物理学科学美的审美标准,这是从大量科学审美实践中抽象出来的,也是科学选择理论长期筛选的结果。能否从尽可能简单的前提出发,推出尽可能多的结论,这可以作为从科学美的角度反映物理理论是否深刻的重要标准,即在理论比较中,简单性是一条重要的鉴赏标准,海森伯说过:“如果自然界把我们引向极其简单而美丽的数学形式——我所说的形式是指假设、公理等贯彻一致的体系——引向前人所未见过的形式,我们不得不承认这些形式是真的。”爱因斯坦的引力理论可以说是这种简单性的典范,其原理之简单明晰到了目前理论的极限程度。著名物理学家福克和英费尔德等人曾这样评述道:“爱因斯坦的引力理论在原则上的简单性和内在的完备性是无法怀疑的。”因此“大多数物理学家一致认为它是引力论的惟一合理而优美的理论”,从科学美的意义上说,一个物理理论前提的简单性越大,它所涉及

现代物理知识



# 引力无穷的神秘黑洞

苏景顺

(河北建筑工程学院基础部 张家口 075000)

“黑洞”是20世纪最具神奇色彩的术语之一。形象而又多少带有恐怖色彩的字眼使人联想到了将要吞噬一切的巨兽之口。虽然黑洞最初仅仅是一种纯理论推理演绎的数学模型,但随着在宇宙观测中逐步得到证实,使人不得不承认黑洞的真实性。无论人类对黑洞的研究探索最终发展到何种地步,但至今为止,黑洞研究已极大地丰富了20世纪物理学内容。

经典的“黑洞”概念源于1783年,最初是英国的约翰·米歇尔(J. Michell)按照牛顿力学定律导出的一种极限模型。按照牛顿的力学理论,物体摆脱地球引力的第二宇宙速度为:

$$V = (2GM/r)^{1/2}$$

从该公式可以得出,若 $M/r$ 足够大,以至使得 $V$ 接近光速 $c$ 时,那么,任何物体都不可能逃逸。即使是光也不能例外。这就是说,密度足够大的恒星将会产生足够强的引力,以至从恒星表面发出的光线也不能逃逸。这一概念1796年法国数学、天文学家拉普拉斯也曾经独立地提出过。

然而,经典的“黑洞”概念有着不能自恰之处。按照经典力学理论,在引力作用下恒星的半径由 $r_1$ 收缩为 $r_2$ 过程中所释放的能量为 $\Delta E$ :

$$\Delta E = GM^2(1/r_2 - 1/r_1)$$

当 $r_2 \rightarrow 0$ 时, $\Delta E \rightarrow \infty$ ,这显然是不合实际的。因为 $\Delta E$ 必须是一个有限值,它不可能大于 $Mc^2$ 。而且,如果按照经典的“光的微粒说”,将光视为类似于子弹的粒子,自然无法解释光以不变的速度 $c$ 单向运动。如果按照经典的“光的波动说”,光波应不受引力的影响。所以,经典的“黑洞”概念与现代“黑洞”概念有着本质的区别。

20世纪的黑洞理论源于1915年爱因斯坦建立的广义相对论。广义相对论在研究引力对光作用的基础上所建立的引力场方程描述了引力场的完整时空结构。从广义相对论引力场方程的特解可以得出这种完整时空结构的特殊区域,落入该区域的任何物质都将被之所吞噬,这种特殊的时空区域即称之为“黑洞”。下面,我们就来回顾一下20世纪有关黑洞的研究成果,以及由此带给我们的新思想、新观念。

## 1. 无法抗拒的引力——黑洞成因

我们知道,早期的恒星是通过自身的热核反应产生的热能以抵御强大的引力作用维持平衡的。热核反应导致粒子剧烈的热运动,从而产生压力抵抗引力阻止坍缩。但在恒星生命周期的末期,最终它将耗尽核燃料而逐渐冷却并开始收缩。对于质量较小的恒星,这种收缩持续到一定程度时将终止。因为按照泡利不相容原理,当物质粒子靠得很近时不能具有完全相同的态。即两个相同的自旋为 $1/2$ 的粒子不可能同时具有相同的位置和速度。这将导致粒子在吸引、接近过程中将产生很强的斥力以平衡引力。

然而,按照相对论理论,粒子之间的相对速度是不能大于光速的。这意味着由泡利不相容原理所产生的斥力有上限。物理学家经计算给出了这种斥力所对应的引力质量极限,这种极限约为太阳质量的1.5倍。称之为钱德拉塞卡极限。美籍印度物理学家钱德拉塞卡由于准确预言已坍缩的白矮星的结构和变化,以及对黑洞研究的贡献,获得了1983年诺贝尔物理学奖。

对于质量小于钱德拉塞卡极限的恒星,收缩引

的事物的种类就越多,它的应用范围就越广,它给人们印象就越深刻,这个理论也就越美。

综上所述,物理学简单性始终贯穿于整个物理学发展史中,成为物理学科学美不可或缺的重要组

成部分,其重要意义在于能以最简洁的形式最大限度地表述物理学的普遍规律,同时,也是物理学科学美的重要审美标准之一,其表现形式则是灵活的、多种多样的。