

# 对称性是物理学的一把双刃剑

姚凤薇 周团团 崔莉莉

(合肥工业大学物理系、机械学院 安徽 230009)

对称性的概念最早源于生活。所谓“对称”，通常是指左右对称。除此之外还有轴对称、球对称等。在近代物理学中，对称性是一个很深刻的问题。在粒子物理、固体物理、原子物理等领域里，对称性问题也很重要。

德国大数学家魏尔斯特拉斯 (Weierstrass, 1815~ 1897) 首先提出了有关“对称性”的普遍定义，即把一个“体系”通过不同的操作达到不同的“状态”，若前后两种不同的“状态”在此操作下不变，我们可以讲这个体系对于这一操作是“对称”的，而这个操作也可以认为是这个体系的“对称操作”。常见的对称操作有空间的平移、转动以及时间的平移。一个物体发生平移后，若仍和原来相同，这个形体就具有空间平移对称性。如果使一物体绕一固定轴转动一个角度，仍和原来相同，那么这种对称叫转动对称或轴对称。一个静止不变的系统对任何间隔  $\Delta t$  时间，平移表现出不变性；而一个周期性变化的系统

(如单摆) 只对周期  $T$  数倍的时间平移不变；它们都具有一定的时间平移性。

上述是指某个系统或具体事物的对称性。与此相对应的，还有另一类对称性是物理定律的对称性 (也就是不变性)，即物理定律的空间平移对称性、物理定律的转动对称性、及物理定律的时间平移对称性等。关于物理定律的对称性，有一个很重要的定律——对应于每一种对称性都有一条守恒定律。例如对应于空间均匀性有动量守恒，对应于空间的各向同性有角动量守恒，对应于时间平移对称性有能量守恒，对应于空间反演对称性有宇称守恒定律等。因此在物理学史上，对称性对许多原理具有启示性功能和建构系统结构的功能。所以，对称理论作为物理学的不变性理论概念的基础，作为物理学理论结构的组建原则，可以看作是一种克服和发现物理学中成问题情况 (所谓成问题也就是仍未解决的问题) 的基本和有效的方法。

也遭破坏。这时非静电作用会不断使  $\text{CuSO}_4$  溶液中的  $\text{Cu}^{2+}$  沉积到铜板上，使偶电层上的正、负电荷随时得到补充，达到新的动态平衡状态，因而铜板附近的电势跃变也保持原来的数值。

此外，还须注意到，由于在溶液中  $\text{Zn}^{2+}$  不断地溶入和锌板上电子不断减少的过程中，溶液中会有一部分  $\text{Zn}^{2+}$  脱离锌板附近的偶电层，铜板上  $\text{Cu}^{2+}$  不断减少和溶液中  $\text{Cu}^{2+}$  不断沉积到铜板上的过程中，溶液中也会有一部分  $\text{SO}_4^{2-}$  脱离铜板附近的偶电层，这就使得溶液中的正离子在锌板附近较多，负离子在铜板附近较多，它们就将在溶液内产生电场，从而在  $c, b$  间形成一定的电势差。正是与这个电势差相应的电场推动正、负电荷流动，从而形成电池内部的电流。若电流为  $I$ ，溶液对电流的电阻为  $r$  (通常被称为电源的内阻)，则在  $r$  上，也就是溶液两边  $c, b$  之间的电势差为  $U_{cb} = Ir$ 。此时，电池内部各处的电势分布如图 3 所示，而电池两极间的电压，也就是通常说的路端电压或外电压为

$$U_{ad} = U_{ab} - U_{cb} + U_{cd} = \varepsilon - Ir = IR$$

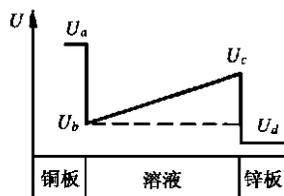


图 3

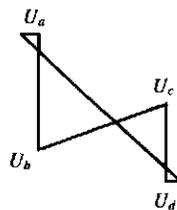


图 4

可见，当把丹聂耳电池的两极用一电阻为  $R$  的导线连接起来时，外电路的电势从电源的正极 (铜板) 沿导线到电源的负极 (锌板) 逐渐降低，结合图 3，因此整个电路的电势分布如图 4 所示。

## 由经验材料所得的对称性启发人们 修正原有理论或建立新的理论

人们知道,一原子辐射光谱中具有反映原子结构的重要信息。但各种原子光谱十分复杂,是由成千上万条不同频率的光谱线构成。要从这种复杂的现象中整理出基本的规律是一件十分困难的事。问题的突破是从研究氢的原子光谱实现的。早在19世纪末已找到一系列描述氢的谱线分布的“毕达哥拉斯式”的规律性。1884年,瑞士的中学物理教师巴尔末(Balmer, 1825~1898)研究瑞典科学家埃格斯特朗(Angstrom, 1814~1874)从氢气放电管中获得的氢原子的4条明亮谱线,从而实验性的得到巴尔末公式:

$$\bar{\nu} = R_H \left[ \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right],$$

$$(n = 3, 4 \dots), R_H = 1.0967758 \times 10^7 \text{m}^{-1}.$$

当  $n \rightarrow \infty$  时,波数趋于极限值,即  $\bar{\nu}_\infty = R_H/2^2 = 27427.5 \text{cm}^{-1}$ 。另外,其他谱线1个在紫外区、3个在红外区是由帕邢(Pashen)、布朗开(Brackett)及普丰特(Pfund)发现的。1908年,瑞士的里兹(Ritz, 1878~1909)提出了光谱组合原理,即每一谱线的波长表示为二项之差,如令  $T(m) = R_H/m^2, T(n) = R_H/n^2$ ,那么

$$\bar{\nu} = T(m) - T(n),$$

$$m = 1, 2 \dots, n = m + 1, m + 2 \dots.$$

仅从实验得到的这些经验性的公式,一方面超出了现有的经典理论范围,另一方面又证实了氢原子的很大对称性。正是这种类型的谱线规律性对于成问题的发展带来了基本的贡献。受此启发,为了克服这种问题,起初玻尔把量子假说引入了卢瑟福的原子模型,形成了玻尔的量子论,后来则导致了量子力学。

### 被找到的对称性预言了新的经验事实

首先,洛仑兹、拉序确定了麦克斯韦方程相对于洛仑兹变换的精确不变性。这种新的对称性的发现实质上与原有的伽利略变换及牛顿力学发生了冲突。最后爱因斯坦根据这一新的对称性,用理想尺、钟及光信号所进行的测量操作的思想实验进行了详细的考察,修正了空间和时间的观点,预言了一系列相对论性的效应,爱因斯坦指出:

物理定律在所有惯性系中是相同的,不存在|种特殊的惯性系。

在所有惯性系中,自由空间中光的速率具有相同的值  $c$ 。

狭义相对论的简单、大胆和普遍性是爱因斯坦才能的象征,但同时也不能忘了新的对称性的功能。这一理论不仅可以解释全部已有的实验事实,而且预言了新的效应,且又为以后的实验所验证。至今未曾发现有任何一个实验实质上与爱因斯坦的相对论矛盾。

被发现的对称性在理论发展的一定阶段上并不导致新的实验事实,也不能从物理学上加以论证,但却证明了理论图式的不完善性

说明这种情况的实质是保角对称性。它是用纯粹数学的方法为麦克斯韦方程建立的,并且是在“爱尔兰根”方法的基础上,作为对彭加勒群的最可能推广而被预言的。它的发现导致至今仍未充分克服的成问题情况的发生。人们从未停止过对这种对称性加以论证,并且试图使之在物理上加以普遍运用。多年来,这种对称性也建立了它同物理学的各个分支(电动力学、量子场论、氢原子理论等)的深刻而有意义的联系。因此,理论的数学工具的对称性的发现,虽然既没有导致新的实验事实,也没有导致对这种对称性的物理论证,但作为向物理学家们的挑战,刺激了各个方向上对这种对称性的研究。

正因为对称性原理比具体的物理学理论有更大的生命力,科学史上清楚的反映了这样一些情况,即同物理学的一定发展水平相联系的空间——时间对称性上升到绝不可动摇或先经验概念的地位。如在使伽利略——牛顿和欧几里德对称先经验化起重要作用的是康德的哲学,它主张这些对称性具有先于经验的,因而是绝对可靠的。在数学中,这一概念曾阻碍我们采纳和把握非欧几何学,而在物理学中则阻碍了相对论的承认与发展。

与此类似,亚里士多德的空间和时间对称性的观念也曾被提到不可动摇的地步,以至于要求尼古拉·库扎努斯(Nicolaus Cusanus, 1401~1464)、布鲁诺、哥白尼、伽利略、笛卡尔(R. Descartes)等人的努力,来铺设一条通向伽利略——牛顿对称性的道路。

物理学史表明,对称性在这个方面克服成问题的情况过程中,有着相当大的阻碍作用。因此,对称性作为一把双刃剑,一方面对称性对物理学的发展与完善起着显著作用;另一方面,每一条对称性原理本身一旦被提升为普适的和绝对可靠的真理,那么同时也就成为物理学发展的巨大障碍。