

物理学中的对称性

宫自强

大自然的奇妙特性之一就是对称性。例如，从宏观的角度看，人和动物的形体结构是左右对称的，植物的叶子、花瓣等也是左右对称的。从微观的角度看，所有晶体都是对称排列的，水分子的排列也具有严格的对称性。

以物理科学中，对称性具有严格的定义：“对一个事物进行一次变动或操作；如果此操作后，该事物完全复原，则称该事物对所经历的操作是对称的。”由于操作的不同，将有不同的对称性。而且研究表明，对应于每一种对称操作，都有物理学的一个守恒定律与其对应。所以，才有了关于物理定律的对称性的定义：“如果某个物理定律经过一定的操作后，其形式保持不变，我们称该定律具有对称性。”

一、空间对称性

空间对称操作包括空间反射操作、空间转动操作和空间平移操作等。它们都是通过使事物的空间位置(坐标)发生数量上或符号上的变化而完成对称操作的。下面分别给予介绍。

1. 左右对称

首先我们给出左右对称操作的定义：“设X轴垂直于镜面，原点就在镜面上。将一半图形的坐标值X变成 $-X$ ，就得到了另一半图形。这X坐标的变号就叫做左右对称操作。”由于它与人们照镜子这一反射后成虚像的现象相同，所以又叫做镜像对称操作，或空间反射操作。也正是由于这个原因，我们又称左右对称称为镜像对称。最直观的例子就是人体对称结构中的所有左右部分，都可经过平面镜成像左右对称操作而互换，左手图像可成为右手图像，反之亦然。左右对称操作现已在科学

技术中被广泛使用，并起到了重要作用。例如，在计算机网络技术中，为保证服务器中数据的安全性所采用的镜像技术和双工技术都是采用左右对称操作来实现的。可以证明，对应于左右对称性的是量子力学中的宇称守恒定律。

2. 转动对称

转动对称操作的定义为：“如果使一个物体绕某一个固定轴转过一个角度后，它又和原来完全一样，我们就称这个操作为转动对称操作。这种对称叫做转动对称。”由于这种对称常与固定轴的空间位置有关，故又称为轴对称。例如，对一个球体而言，它对通过其球心的任意方向的固定轴都具有对称性，而一个圆锥体只有对通过它的轴线的固定轴具有对称性。还有，圆柱体相对通过轴线的固定轴转过任意一个角度都可完成一次转动对称操作，而对一个六棱柱，至少要转过60度后才能完成一次转动对称操作。这说明，转动对称的对称性具有不同的级别和程度。其中最高的级别和程度为球对称，也叫做各向同性。可以证明，对应于转动对称性的是角动量守恒定律。

3. 空间平移对称

空间平移对称操作的定义为：“如果使一个形体发生一平移后它仍保持原形状，我们就说该形体具有空间平移对称性。”物理学中的空间平移对称性是指：“一个物理事物，如果该物理事件所涉及到的全部仪器、设备、操作方式及与该事件有关的一切内外部因素都不予改变，仅仅是将其平移到另一空间位置处，那么这个事件可以以完全相同的方式再现。”例如，任一个物理实验，我们可以在不同的地点以完全相同的方式进行(内外部因素都不改变)，而得到完全相同的结果。可以证明，对应于空

间平移对称性的是动量守恒定律。例如做匀速直线运动的质点，它不断地进行平移操作，但它的动量一直保持不变。

二、时间对称性

时间对称操作包括与空间反射类似的时间反演操作和与空间平移操作类似的时间平移对称操作等。它们是通过使与事件相关联的时间的量值和符号的改变而完成对称操作的。

1. 时间平移对称性

至今为止，人们所做过的物理实验的结果，均未发现与物理实验的开始时刻有任何关系。同一个物理实验，在其他因素都不变的情况下，今天做或明天做并不会引起实验结果的不同。这一客观事实充分证明时间对称性的存在。对应于时间对称性的是能量守恒定律。或者说，能量守恒定律是时间对称性的表现。

2. 时间反演对称性

时间反演操作就是把物理过程中的时间参量变号，即把 t 换为 $-t$ ，变号后对物理规律的结果有不同的影响。

下面我们以自由落体为例来说明如何进行时间反演操作。对一个做自由落体运动的质点，它的位移 s 、速度 v 和加速度 a 与时间的关系分别为：

$$s = 1/2gt^2, v = gt, a = g.$$

我们把 t 换为 $-t$ ，得到：

$$s = 1/2gt^2, v = -gt, \text{ 和 } a = g.$$

从上述公式可以知道：对一个做自由落体

运动的质点进行时间反演操作后，它的位移仍是原值，速度的方向与原来相反、速率不变，加速度的大小和方向均不变。

如果我们把一次自由落体实验用摄像机记录下来，然后倒放，就可以直观地观察到自由落体的时间反演操作。这时，质点会向上运动，而且越来越慢。这充分说明速度方向相反、而加速度方向不变的事实。由于质点的质量与时间反演无关，由力 $F = ma$ 可知，力 F 也是不变的。这说明牛顿运动定律具有时间反演对称性。同理可以证明，许多物理方程和规律也具有时间反演对称性。

最后，让我们简单说一下物理科学中的不对称性。在弱相互作用中发现的宇称不守恒现象是物理规律的不对称的表现。粒子——反粒子数量的不对称也是物理规律中非对称性的一个例子。外观是左右对称的动物和植物，从分子水平上观察，构成他们的蛋白质的分子却几乎都是由左型氨基酸组成的，而不是与其左右对称的右型氨基酸。这个问题仍是生物物理学界的一个研究课题。还有，人们日常见到的许多宏观现象都不具有时间反演对称性。所有的动物、植物都遵守从小到大的成长规律，而不能有相反过程。泄露在空气中的有害气体，不会自动再聚合成原来的体积。也就是说，宏观现象都是不可逆的，都不具有时间反演对称性。我们的宇宙就是沿确定的方向演化和发展的。

《迷人的科学风采——费恩曼传》出版

理查德·费恩曼是当代倍受爱戴的科学家。他不但以其科学上的巨大贡献而名留青史，而且因在“挑战者”号航天飞机事故调查中的决定性作用而名闻遐迩。他才华横溢、风流倜傥，有着许多妙不可言的故事，诸如撬开装有原子弹秘密的保险柜和演奏巴西邦戈鼓乐等轶事。他是一位智力惊人、善于表演的科学奇才，又是一

位勇于探险、热爱自然的积极生活者。我们会因读过他的故事而生活得更好。

《费恩曼传》，约翰·格里宾和玛丽·格里宾著，江向东译，卞毓麟和韩隽责任编辑，上海科技教育出版社最近出版。购此书不方便者，请汇 25 元(含邮资)由“现编部”代购。