

2. 问题的严重性

李学生 (Li Xuesheng)

山东大学副教授, 理论物理教师, 中国管理科学院学术委员会特约研究员, 北京相对论研究联谊会会员, 中国民主同盟盟员 (作者为中国科学院高能物理所研究员)

xiandaiwulixue@21cn.com, 1922538071@qq.com

摘要 (Abstract): 物理学是科学的基本学科。本文章分析探讨了现代物理学的重要问题, 供参考。

[李学生 (Li Xuesheng). 2. 问题的严重性. *Academ Arena* 2017;9(15s): 8-10]. (ISSN 1553-992X). <http://www.sciencepub.net/academia>. 2. doi:10.7537/marsaaj0915s1702.

关键词 (Keywords): 质点; 电荷; 引力; 电力; 空间; 方程; 量子力学; 惯性系

按照英国《韦氏国际辞典》中的定义: “对称性乃是分界线或中央平面两侧各部分在大小、形状和相对位置的对应性”。一个系统对某种操作状态不变(等价), 则该系统对此操作具有对称性, 该操作称对称操作。对平移操作状态不变的系统具有平移对称性。根据镜象反射的性质可将物理学中的矢量分成两类: 极矢量和轴矢量。极矢量: 镜象反射中垂直反射面的分量反向, 平行反射面的分量不变向。轴矢量(赝矢量): 镜象反射中垂直反射面的分量不变向, 平行反射面的分量反向。可以证明: 极矢量 \times 极矢量=轴矢量。静止物体对时间平移具有对称性; 匀速运动物体的速度对时间平移具有对称性; 周期系统, 对时间平移整数周期具有对称性。随着物理学的发展, 人们认识的对称性和守恒量也越来越多。除能量、动量和角动量外还有电荷、轻子数、重子数、宇称等守恒量。

有的系统对某种操作可能不具有对称性, 但对几种操作的联合却可能具有对称性。伽里略变换是一种时空联合操作, 牛顿定律对此联合操作是不变的。同样, 洛仑兹变换也是一种时空联合操作, 但牛顿定律对此联合操作就不是不变的了。物理学中除上述的时间、空间操作外, 还涉及到一些其它的操作, 例如: 电荷共轭变换(粒子与反粒子间的变换), 规范变换, 全同粒子置换等等。它们也和系统的某些对称性相联系。自然规律反映了事物之间的“因果关系”。稳定的因果关系要求有可重复性和预见性, 即: 相同(或等价)的原因必定产生相同(或等价)的结果。当我们考虑物理学发展中起主导作用那方面内容的时候, 我们发现整个物理学贯穿着这样一个猜想——对称性。正如我们看到的那样: 牛顿力学具有伽利略群的对称性, 狭义相对论具有庞加莱群的对称性, 广义相对论具有光滑的、一一对应的完全变换群的对称性。“从对称性出发到方程再到实验”这个连锁方法建立起来的相对论, 有着惊人的数学美而让人信服, 远比其它可能的方案更为简单, 而且奇迹地被无数事实所证实。

对称性原理: 原因中的对称性必然存在于结果中, 结果中的不对称性必然存在于原因中。在理论物理学中的对称性指的是体系的拉格朗日量或者哈密顿量在某种变换下的不变性。这些变换一般可分为连续变换、分立变换和对于内禀参量的变换。

对称性原理是自然界的一条基本原理, 为对称性原理所刻画物质世界客观性“平权原则”常常应用于同一层次物质对象之中。根据对称性原理, 往往可以在不具体知道某些物理规律的情况下, 给出所需的结论。在未涉及一些具体定律之前, 我们往往可能根据对称性原理作出一些判断, 得出某些有用的信息。这些法则不但不会与已知领域中的具体定律相悖, 而且还能指导我们去探索未知的领域。

对称性制约作用量的形式, 然而物理学家并不可能先验地知道我们这个世界所涉及到的全部对称性, 而已经确实知道的对称性又不足以完全确定作用量的形式。尽管作用量可能具有的形式已经大大受到限制, 但他们仍然可以具有许许多多可能的形式, 物理学家们不得不采用试探性的方法, 根据物理上的可能性依次考察每一个作用量的候选者, 这种试探性的方法艰巨而繁杂, 而且很难说是有成效的。1916年诺特提出诺特定理——作用量的每一种对称性都对应一个守恒定律, 有一个守恒量。在经典力学中, 从牛顿方程出发, 在一定条件下可以导出力学量的守恒定律, 守恒定律似乎是运动方程的结果。但从本质上来看, 守恒定律比运动方程更为基本, 因为它表述了自然界的一些普遍法则, 支配着自然界的所有过程, 制约着不同领域的运动方程。在经典力学中, 时间平移对称性(时间平移不变性)对应于能量守恒; 空间旋转对称性(空间各向同性)对应于角动量守恒。

对称和守恒这两个重要概念是紧密地联系在一起, 对称和守恒是有条件的, 即是有前提的。在这个前提(条件)存在时, 这种特定的对称和守恒才存在, 才成立! 不存在任何无特定前提(条件)对应的对称和

守恒！经典物理范围内的对称性和守恒定律相联系的诺特定理后来经过推广，在量子力学范围内也成立。在量子力学和粒子物理学中，又引入了一些新的内部自由度，认识了一些新的抽象空间的对称性以及与之相应的守恒定律，这就给解决复杂的微观问题带来好处，尤其现在根据量子体系对称性用群论的方法处理问题，更显优越。

物理定律的一种对称性，对应地存在一条守恒定律。经典物理范围内的对称性和守恒定律相联系的诺特定理后来经过推广，在量子力学范围内也成立。在量子力学和粒子物理学中，又引入了一些新的内部自由度，认识了一些新的抽象空间的对称性以及与之相应的守恒定律，这就给解决复杂的微观问题带来好处，尤其现在根据量子体系对称性用群论的方法处理问题，更显优越。在物理学中，尤其是在理论物理学中，我们所说的对称性指的是体系的拉格朗日量或者哈密顿量在某种变换下的不变性。这些变换一般可分为连续变换、分立变换和对于内禀参量的变换。每一种变换下的不变性，都对应一种守恒律，意味着存在某种不可观测量。例如，时间平移不变性，对应能量守恒，意味着时间的原点不可观测；空间平移不变性，对应动量守恒，意味着空间的绝对位置不可观测；空间旋转不变性，对应角动量守恒，意味着空间的绝对方向不可观测，等等。在物理学中对称性与守恒定律占着重要地位，特别是三个普遍的守恒定律——动量、能量、角动量守恒，其重要性是众所周知，并且在工程技术上也得到广泛的应用。因此，为了对守恒定律的物理实质有较深刻的理解，必须研究体系的时空对称性与守恒定律之间的关系。

爱因斯坦讲：“上帝在创生宇宙时有无选择？一个完整的世界观的最终构造是与相对性原理一致的。”在 1905 年的相对论论文中，爱因斯坦从麦克斯韦电动力学应用到运动物体上就要引起并非现象所固有的不对称入手，把相对性原理从力学推广到电动力学，不仅达到了逻辑的简单性，而且也使力学和电动力学两个理论体系之间达到了统一、和谐。在构造狭义相对论时，爱因斯坦主要用的还是定性概念形式的抽象对称法。此后，尤其是在闵可夫斯基的工作之后，他已逐渐从定量数学形式的协变对称法看待问题了，这就是要求普遍的自然定律对于洛伦兹变换是协变的，这是他能达到广义相对论的关键之所在。

爱因斯坦在建立理论体系之前，先追求数学上的完美性。对于数学上不完美的理论，则将其拒之门外，爱因斯坦建立的理论属于对称性理论。在一个给定的参照系中的自然规律和一切实验结果都与整个系统的平动无关，更精确地说法是：存在着无穷多的互相作匀速直线运动的运动的三维等效欧几里得参照系，在这些参照系中，一切物理现象都是以等同的方式发生的。所以我们说，爱因斯坦方法可以称为相对自由或受对称性限制的方法。具体地说，即以实验和事实为依据，仅在对称性方案之中，选择最佳方案。在经典物理学中，理论的建立程序为：实验→方程→对称性，而爱因斯坦在狭义相对论的建立中倒转了这个程序：对称性→方程→实验，在广义相对论中，爱因斯坦把这个倒转过来的程序又应用于引力场方程的建立。另外，当把对称性的概念引入物理学中时，便可以把运动的相对性作为一种对称性来看待。在科学中“一种对称性的发现比一种特定现象的发现意义重大得多。像旋转不变性和洛伦兹不变性这样的时空对称性，统治着整个物理学。”在创立狭义相对论时，爱因斯坦利用了洛伦兹变换的不变性，而在创立广义相对论时，他把变换不变性提升为物理学的普遍原理，并从引力质量与惯性质量等同这一经验事实出发，把某种变换不变性作为表示空间结构四维性和对称张量的引力方程的前提。

对于任何一个物理学的陈述，必须满足平权性的要求，而科学陈述的平权性，本质上就是一切形式表述的理论体系，在其论域内完全独立于人的意志的绝对普适性。爱因斯坦当年创立狭义相对论也是从对称性原理出发得到的，在《论运动物体的电动力学》中爱因斯坦指出：“大家知道，麦克斯韦电动力学——象现在通常为人们所理解的那样——应用到运动的物体上时，就要引起一些不对称，而这种不对称似乎不是现象所固有的。比如设想一个磁体同一个导体之间的电动力的相互作用。在这里，可观察到的现象只同导体和磁体的相对运动有关，可是按照通常的看法，这两个物体之中，究竟是这个在运动，还是那个在运动，却是截然不同的两回事。如果是磁体在运动，导体静止着，那么在磁体附近就会出现一个具有一定能量的电场，它在导体各部分所在的地方产生一股电流。但是如果磁体是静止的，而导体在运动，那么磁体附近就没有电场，可是在导体中却有一电动势，这种电动势本身虽然并不相当于能量，但是它——假定这里所考虑两种情况中的相对运动是相等的一一却会引起电流，这种电流的大小和路线都同前一情况中由电力所产生的一样。”杨振宁说：“狭义相对论不仅仅是一个划时代的革命，它也有某些爱因斯坦最初并未自觉意识到的深远影响，那就是对称性原理的应用。爱因斯坦在 1905 年发表狭义相对论的论文时，他并没有充分意识到自己所提出的是一个对称理论。所以在 1905 年的时候，爱因斯坦的思想距离对称性支配相互作用还是很远的。然而在两、三年后，伟大的数学家闵可夫斯基指出爱因斯坦所做的研究，在更深层的角度来看是对称性原理的应用。爱因斯坦一开始不喜欢这种说法，实际上，他认为闵可夫斯基的这种复杂想法是多余的东西，于是他想：好吧，那又会怎样呢？不过，他很快就改变了想法。他不仅认识到狭义相对论的理论框架十分对称这个事实，

而且还开始表示应该对对称性观念进行推广。我们怎么知道这一点呢？他在创造广义相对论的时候并没有这样说，但是在他老年的时候，在他所写的自传中，他明确地谈到自己如何根据狭义相对论发展了广义相对论。其中他提到，在 1905 年提出狭义相对论三年之后，他感到狭义相对论中的对称性受到了限制，应该对对称性的应用加以扩充，这一思想同物理学上称为等效原理的思想结合起来，导致爱因斯坦完成了广义相对论。”“对称性是 20 世纪物理学中一个最重要的课题，而且很明显地将在 21 世纪物理学中发挥主导作用。……对称性是 20 世纪物理学的重要旋律之一，而且这一旋律将在 21 世纪很好地继续下去。这个观点现在已为所有的理论物理学家和数学家普遍接受。广义相对论是爱因斯坦异常美丽的创造，它有着深远的影响。尤其是最近在天体物理学中出现了一些谜团，一些惊人的发现，这些发现理解起来非常困难。很明显，这些东西与人们对广义相对论的发展、评估和修改是紧密结合在一起的。宇宙学本身就是由爱因斯坦所创建的学科，在完成广义相对论几年之后，他写了一篇文章，那篇文章被认为是当代宇宙学的开端。”意大利学者 Leonardo Ricci 在《自然》杂志上刊文^[1]，讲述了比伽利略早三个世纪的著名诗人但丁在其《神曲》中已经有协变性的体验啦！

力学的全部发展过程（包括其形成过程）一直同参照系统变更时扩大物理客体不变性概念的范围联系在一起。在十七世纪不仅已然判明物体的结构与坐标系的选择无关，而且也明确了从一个坐标系过渡到另一个相对它作匀速直线运动的坐标系时，力和加速度之间关系的不变性。这就是用现代物理语言陈述的伽利略伟大发现的内容，它是近代自然科学的真正起点。倘若地球不是一个被赋予特权的参考物，倘若宇宙间根本就没有这种物体，这就表明空间中所有的点和所有的方向都是平等的，即空间是均匀的，各向同性的。这就是近代自然科学的中心思想，它发现于十七世纪并一直延续到今。爱因斯坦说过：“牛顿力学是整个物理学的基础，同时也是近代科学的基础，如果没有牛顿力学也就没有现代科学。牛顿是完整的物理因果关系创始人，而因果关系正是经典物理学的基石。人们不要认为牛顿的伟大工作真的能够被这一理论或者任何别的理论所代替。作为自然哲学（指物理学）领域里我们整个近代概念的结构的基础，他的伟大而明晰的概念，对于一切时代都将保持它的特殊的意义。”恩格斯曾经写道：“在力学中，……人们所关心的不是运动的起源，而只是它的作用。牛顿发现了三大运动定律，开创了科学运动力学的研究。”这说明三大运动定律曾经推动了科学的发展和进步，这将永远记录在科学史上。牛顿一生的重要贡献是集 16、17 世纪科学先驱们成果的大全，建立起一个完整的力学理论体系，把天地间万物的运动规律概括在一个严密的统一的理论之中，这是人类认识自然的历史中第一次理论的大综合。开耳芬勋爵在 1884 年宣称：“在我没有给一种事物建立起一个力学模型之前，我是永远也不会满足的。如果我能够成功地建立起一个模型，我就能理解它，否则我就不能理解。一切物理现象都能够从力学的角度来说明，这是一条公理，整个物理学就建造在这条公理之上。”这个“力学”不是简单的机械力学，而是某种运动、演化与某种相互作用间的因果关系的理论、学说。

参考文献

[1] Ricci L. Dante's insight into Galilean invariance [J]. Nature. 2005,434:717-718.

5/4/2017