



经典力学协变性的伽利略相对论探研

李学生 (山东大学教授)

摘要: 近半个多世纪以来, 物理学的缓慢发展甚至停滞不前, 逼迫我们去思考整个物理学的宏观形势及其发展战略。

[李学生. 经典力学协变性的伽利略相对论探研. *Academ Arena* 2024;16(4):143-146]. ISSN 1553-992X (print); ISSN 2158-771X (online). <http://www.sciencepub.net/academia>. 03.doi:[10.7537/marsajl160424.03](https://doi.org/10.7537/marsajl160424.03).

关键词: 经典力学、伽利略、相对性、牛顿、爱因斯坦

【0、引言】

中国是四大文明古国之一, 我国古代人民在生产劳动中总结出大量关于力学的智慧, 如东汉著作尚书纬·考灵曜》有句云: “地有四游, 冬至地上行北而西三万里, 夏至地下行南而东三万里, 春秋两分是其中矣. 地恒动不止, 而人不知. 譬如人在大舟中, 闭牖而坐, 舟行而人不觉也. ”, 这是我国古代对于相对性原理的描述。

《考灵曜》至少要比伽利略的相对性原理早大约 1500 年。

“把你和朋友关在一条大船下的主舱里, 让你们带着几只苍蝇、蝴蝶和其他小飞虫, 舱内放一只大水瓶, 其中有几条鱼, 然后挂上一个水瓶, 让水一滴一滴地滴到下面的一个宽口罐里, 船停着不动时, 你留神观察, 小虫都以等速向舱内各方向飞行; 鱼向各个方向随便游动; 水滴滴进下面的罐中, 你把任何东西扔给你的朋友时, 只要距离相等, 向这一方向不必比另一方向施更多的力. 当船以任何速度前进, 只要是匀速的, 你将发现, 上述观察的现象依旧, 你无法用任何现象判定船是运动还是不动……”——这是伽利略 1632 年《关于两种世界体系的对话》文章中话。

【1、从中国《墨经》到国外伽利略】

战国时期的《墨经》中记载: “力, 刑之所以奋也”. “刑”通“形”, 指物体, “奋”指物体从静止到运动, 或者从缓慢到快速, 代表产生了加速度, 此话大意是, 力是物体运动的原因。

再如东汉时期王充的《论衡·效力篇》中: “金铁在地, 焱风不能动, 毛芥在其间, 飞扬千里”——同样的风力, 改变物体运动状态难易程度是不同的, 与物体的轻重有关. 虽然这只是定性论述, 但比牛顿的定律早 1500 年. 自然语言中用语义的基本单元“词汇”来表示自然中的对象、状态或行为, 然后按照一定的法则组成句子来表达一段意思, 句子再通过

逻辑组织起来形成文章完成完整叙述. 物理语言也类似, 它的语义基本单元是用量化的方式来描述物体各种性质的物理量; 而由这些物理量通过数学法则构成的方程, 则表达了各种物理量之间的关系, 反映出各种自然的法则, 这就是物理定律。

物理学家努力将物理定律再进一步统合成物理理论, 以期实现用简洁、完备、精确地语言描绘自然. 伽利略说: “宇宙永远是放在我们面前的一部伟大著作, 哲学就写于其中. 但是, 如果不先掌握它的语言和符号, 就不能理解它”. 这里的哲学指自然哲学, 而物理正是从其中脱胎而来. 要通过物理认识世界, 自然也要先理解物理的“语法”. 社会生产的发展, 推动了自然科学的发展. 从而使力学从着重研究天体的运行发展到全面研究任意物体的运动. 于是, 建立完整的力学体系的任务就摆在了人们的面前。

最早创立完整的力学体系的, 是英国数学家、哲学家、物理学家牛顿 (Isaac Newton, 公元 1642.12.25~1727.3.20). 他在意大利物理学家、天文学家、数学家、科学革命家、“近代科学之父”伽利略 (Galileo Galilei, 公元 1564.2.15~1642.1.8) 的惯性、力、加速度、力学定律相对性原理等有关概念以及实验的基础上, 在荷兰物理学家、数学家、天文学家惠更斯 (Christian Huygens, 公元 1629.4.14~1695.7.8) 提出的新型质量概念的影响下, 在意大利著名画家、艺术家、科学家、哲学家、工程师列奥纳多·达·芬奇 (Leonardo da Vinci, 公元 1452.4.15~1519.5.2) 的“物体运动时对空气的压力等于空气对它的阻力”的观点的启发下, 建立起牛顿运动三定律。

在德国天文学家、数学家、“天空的立法者”开普勒 (Johannes Kepler, 公元 1571.12.27~1630.11.15) 的行星运动三定律的基础上, 在英国物理学家、天文学家、仪器制造家胡克 (Robert Hooke, 公元 1635.7.18~1703.3.3) 的“力与距离的平方成反比”的思想指引下, 建立起牛顿万有引力定律——站在众多

巨人肩膀上的牛顿，于公元第 1687 年出版了传世杰作《自然哲学的数学原理》，建立起完整的力学体系。在这一过程中，牛顿按照他的绝对时空观，把力、加速度、质量、时间、长度等物理量都看成是绝对不变的。

因此，人们便把这套力学体系叫做绝对论力学。后来，许多人批判了牛顿的绝对时空观，提出了运动的相对性，定义了惯性系和非惯性系，把表示物体包含物质多少的质量，改成并分为表示物体本身惯性大小的惯性质量和表示物体产生引力大小的引力质量，形成了惯性论力学，并发展成经典力学。但是，由于惯性论力学或经典力学的主要内容都是牛顿的成果，并由于牛顿的名气太大，所以人们还是把牛顿的绝对论力学和众人的惯性论力学或经典力学统称为牛顿力学。

由于牛顿的绝对论力学（牛顿力学）的先进性和优越性，使它全面地指导了生产实践活动，奠定了第 18 世纪工业革命的思想基础和理论基础，从而将人类历史推向了一个崭新的阶段。

【2、物理学的一场新革命】

许多物理学家都相信，物理学需要一场新的革命，却找不到爆点在哪里。杨振宁教授在上海接受记者采访时，曾将他取得成功的奥秘归结为这样一句话：“要站在问题开始的地方，要面对原始的问题，而不要淹没在文献的海洋里”。

伽利略在反驳地心说的支持者提出的问题时，提出了力学相对性原理，他的相对性原理是一种朴素性的表达，即并没有体系性的概念支撑。伽利略之后，惠更斯把相对性原理作为基本假设之一研究了碰撞问题。在伽利略和惠更斯的工作基础上，牛顿基于绝对空间概念以及他的力学基本定律，把相对性原理处理为一个推论，即第五推论。

18 世纪 40、50 年代，参照框架随着运动的代数化表征方式的发展被引入。进而基于时间参量的绝对性，同一物理过程在两个相互作用匀速直线运动的参照框架中，对应的物理参量之间的变换关系被给出。此变换关系今天被称为伽利略变换。

同时，欧拉认识到动力学方程的形式（主要指牛顿第二定律）在伽利略变换下具有不变性。到这里，经典力学中与相对性原理有关的知识框架是基本形成。另外，欧拉否定了绝对运动，但保留了绝对空间与绝对时间。19 世纪中后期，路德维希·朗格受到卡尔·诺伊曼工作的启发，基于自由质点的概念对惯性定律进行了重新表述，提出惯性时间标度和惯性参照系的概念。因而，作为参照者的绝对空间被取消了，而力学定律被认为对于所有的惯性参照系都成立。

1904 年彭加勒把相对性原理，表述为物理学基本原理之一。另一方面，面对力学相对性原理与电磁理论的矛盾，基于坚持相对性原理的普遍有效性，并

假定光速不变性，爱因斯坦建立了新的理论框架，得到了与相对性原理对应的新的惯性系之间的变换关系：洛伦兹变换。更进一步，在处理引力理论时，通过广义相对性原理以及等效原理，爱因斯坦解决了引力问题。可以说，无论是经典力学还是相对论，处理相对性运动问题的核心原理都是相对性原理。

而要使得原理得以实施，则需要变换不变量或绝对量作为不同参照框架的共同基础。在经典力学里，这个不变量是同时的绝对性或称为绝对时间。相对论中的变换不变量则是光速，它的物理基础是电磁理论。从对称的角度看，相对性原理是最重要的对称性原理之一。

一般认为相对性原理体现的是时空对称性，在经典力学与狭义相对论中，伽利略变换和洛伦兹变换关涉的是整体对称性，而在广义相对论中，对称性只在局域成立，因而相应的变换是局域性变换或无穷小变换。相对性原理给予我们一个启示，那就是也许我们永远不知道什么才是物理世界的真正规律，但或许可以肯定的是，理论的形式必不依赖于研究者所选取的参照框架间的相对运动。

【3、相对性原理等自然科学】

相对性原理、能量守恒定律、对称性原理和最小作用量原理，是力学中必须坚持的四项基本原则，任何时候都不能踩踏的红线。

力学相对性原理是指任何惯性系在牛顿动力学规律面前都是平等的，能量守恒定律是自然界中普遍存在的规律，从宏观低速物体到微观高速的微粒，都符合能量守恒定律，能量的形式多种多样，有动能、势能、核能、热能等等，因此能量守恒定律可以具体到某种形式的能量的守恒律，比如在机械运动中的机械能守恒定律，因此机械能守恒定律是动力学的普遍规律，是牛顿运动定律的直接推论，理应满足力学相对性原理，然而国内外力学界，对于这个问题并没有取得一致的观点。机械能守恒定律与力学相对性原理之间的关系，是一个古老而又宽泛的问题，至于从何时开始讨论，不好查证，文献[1~2]是笔者所能查到的国内最早文献。文献[3~5]已经认识到机械能守恒定律的表述与力学相对性原理之间的矛盾，不去修改机械能守恒定律的表述，而去修改相对性原理的表述，认为相对性原理和单独的协变性是两回事，提出所谓单独协变和联合协变等荒谬的观点。

基础科学以自然现象和物质运动形式为研究对象，探索自然界发展规律的科学，包括数学、物理学、化学、生物学、天文学、地球科学、逻辑学七门基础学科及其分支学科、边缘学科。对于基础科学的定义，著名物理学家李政道曾有一个形象的比喻，他认为自然界里的所有现象，虽然表面上都很复杂，可是它都有一些基本的原理，只要把最基本的原理抓住了，就找到了一个总的机关。

海森伯认为：“自然科学不是自然界本身，而是人与自然界关系的一部分”。自然科学是一个理论体系，它的客观性通常是通过如下原则来保证的：□在逻辑上，科学理论满足逻辑自洽性，或无逻辑矛盾；□在观测或测量上，科学理论满足实证原则，在科学事实的观察中，对观察事实有严格的要求，要求观察事实能够被其他观察者所重复，凡不能被重复的观察就不能作为科学的观察事实；□就理论本身来说，科学理论不仅要理解已知的科学事实，而且要能够预见新的未被观测到的事实。

【4、奥卡姆剃刀之谜】

除此之外，科学理论还有更严格的要求：如逻辑的简单性，科学理论的证伪性等。“美是一个感性具体的存在，它一方面满足一个合规律的存在，体现着自然和社会发展的规律，一方面它又是人的能动创造的结果。所以美是包含或体现社会生活的本质规律，能够引起人们特定情感反应的具体形象(包括社会形象、自然形象和艺术形象)”。

对于科学家，奥卡姆剃刀原理，还有一种更为常见的表述形式：当你有两个处于竞争地位的理论能得出同样的结论，那么简单的那个更好。这一表述也有一种更为常见的强形式：如果你有两个原理，它们都能解释观测到的事实，那么你应该使用简单的那个，直到发现更多的证据。对于现象最简单的解释，往往比较复杂的解释更正确。

如果你有两个类似的解决方案，选择最简单的。需要最少假设的解释，最有可能是正确的(或者以这种自我肯定的形式出现：让事情保持简单!)。注意这个原理，是如何在上述形式中被加强的。

严格的说，它们应该被称为吝啬定律(Law of parsimony)，或者称为朴素原则。最开始的时候我们使用奥卡姆剃刀，区分能够做出相似结论的理论；现在我们试图，选择做出不同结论的理论。

这不是奥卡姆剃刀的本意。我们不用检验这些结论吗？

显然最终不是这样，除非我们处于理论的早期阶段，并且还没有为实验做好准备，我们只是为理论的发展寻求一种指导。

这个原理最早至少能追溯到亚里士多德的“自然界选择最短的道路”，亚里士多德在相信实验和观测，并无必要上走得太远。

朴素原理是一个启发式的经验规则，但是有些人引用它，仿佛它是一条物理学公理，它不是。它在哲学和粒子物理中使用的很好，但是在宇宙学和心理学中就不是特别好，这些领域中的事务往往比你想象的还要复杂。或许引用莎士比亚的一句话，要胜过引用奥卡姆剃刀：“天地之大，赫瑞修，比你所能梦想到的多出更多”。

近些年来科学技术的创新研究取得了十分伟大

的成果，极大地丰富了人类对物质世界的认识，有力的促进了人类文明的进展。物理学是所有科学的基础，物理学的发展对所有科学的发展都有重要推动作用，因此保证物理学沿着正确科学的方向发展，是人类必须遵循的基本原则。然而，十分遗憾的是，现在仍有许多脱离实际违反基本科学原则的物理研究泛滥存在，这些不科学的物理研究，引导物理学走向了错误的方向，阻碍了物理学的发展。

北京大学物理系王竹溪教授说：“自然科学是一座完整的大厦，不能轻易去否定，随便抽掉一块砖，大厦将倾”。

麦克斯韦方程组不满足力学相对性原理，但是它们不是从牛顿力学定律推导出来，不能说明经典力学体系存在问题。

如果机械能守恒定律(以及由此得出的伯努利方程)、角动量(动量矩)守恒定律和声波运动方程不服从力学相对性原理，牛顿力学满足力学相对性原理，那么它们应当从牛顿力学中独立出来，这样力学结构体系将会发生改变。牛顿定律服从力学相对性原理，故由牛顿定律推导出的一切规律都应服从力学相对性原理。可是为何从满足力学相对性原理的牛顿力学导出的机械能守恒定律(以及由此得出的伯努利方程)、角动量(动量矩)守恒定律和声波运动方程，不服从力学相对性原理，问题的症结出现在哪里？动量守恒定律对于惯性系协变，对于非惯性系不协变，为何动量守恒定律不满足广义相对性原理——物理规律对所有参照系都相同？

【5、结束语】

诺贝尔物理学奖得主肖洛普鼓励研究生：你不必知道所有的物理，但你必须知道别人不懂的物理。

北大任定成教授指出：“所谓的科学元典，是指科学经典中最基本、最重要的著作，是在人类智识史和人类文明史上划时代的丰碑，是理性精神的载体，具有永恒的价值……在科学元典里，有讲述不完的传奇故事，有颠覆思想的心智波涛，有激动人心的理性思考，有万世不竭的精神甘泉……科学元典是时读时新的”。

近半个多世纪以来，物理学的缓慢发展甚至停滞不前，逼迫我们去思考整个物理学的宏观形势及其发展战略，问一问物理学是否遭遇了发展瓶颈或者“卡脖子问题？”

参考文献

- [1]熊秉衡，在不同惯性系中的机械能守恒定律[J]，物理通报，1964(6)：261~264；
- [2]熊秉衡，“在不同惯性系中的机械能守恒定律”一文的更正与补充[J]，物理通报，1965(3)：116~117；
- [3]朱如曾，相对性原理及其对自然界定律的协变性要求——机械能守恒定律协变性疑难的解答，大学

- 物理, 2000 (2): 15~19, 26;
- [4]朱如曾, 相对性原理对普遍定律和非普遍定律参考系变换性质的不同要求---关于协变性疑难的进一步讨论, 大学物理, 2002 (3): 19~23;
- [5]赵凯华, 编者的话, 大学物理, 2002 (3): 18;
- [6]郑永令, 流体的运动状态与伯努利方程[J], 大学物理, 1994, 13 (8): 1~4;
- [7]许忠诚, 伯努力方程的使用条件, 河池师专学报, 1987年第一期(理总第五期): 37~41;
- [8]凌寅生, 王宗谟, 陈兆, 伯努力方程在伽利略变换下的协变性, 物理教师, 第23卷第4期, 2002 (4): 40~41;
- [9]高炳坤, 用伽利略变换审视牛顿力学, 大学物理, 2010年第29卷第6期: 1~2, 8;
- [10]易双萍, 不同惯性系中的力学规律, 工科物理(现名: 物理与工程), 1998年第8卷第5期: 18~22。

4/22/2024