

# 广义相对论与黎曼几何系列之五

## 相对性原理

张天蓉<sup>†</sup>

2015-08-31 收到

<sup>†</sup> email: tianrong1945@gmail.com

DOI: 10.7693/wl20150909

牛顿和爱因斯坦，是物理学史上的两座丰碑。物理学终究不同于数学，在数学中，欧几里德可以根据五条公理建立欧几里德几何。数学家们将其中的平行公设作些许改变，又建立了包括双曲几何和球面几何的非欧几何。物理理论的建立却需要以实验观察为基础。实验观察都是在一定的“参考系”下面进行的。改变参考系，或者换个参考系时，观察到的物理规律会变化吗？哪些会变化？哪些不会变化？牛顿和爱因斯坦都是在这一类问题上思考和做文章，才发展出来各种物理理论。

回顾物理学史，科学家为了科学而战斗、甚至献身的例子有不少。哥白尼在垂危之际才敢于发表和承认他的日心说理论；伽利略晚年时也因为坚持科学而受到罗马天主教会的迫害，被教会关押过；最为令人惊心动魄的莫过于布鲁诺为了反对地心说而被教会活活烧死。这几个物理学家所坚持和捍卫的是什么？从物理的角度看，实质上也都与物理观察所依赖的参考系有关。

人类自有了文化、会思考之后，便认定自己所在的世界——地球，应该是宇宙的中心。这似乎是顺理成章、理所当然的，这种以人为本的原始观念，也与当时粗略的天文观测结果相符合。太阳、星星和月亮等，每天周而复始地东升西落，很容易使人得出“一切都围着

地球这个宇宙中心而旋转”的结论。当然，人们对天象的这点直观认识还建立不了科学，地心说是在公元二世纪时希腊著名天文学家托勒密(Claudius Ptolemaeus)根据观察资料而建立和完善的数学物理模型。换言之，从物理“参考系”的角度看，地心说认为地球是一个坚实、稳定、绝对静止的参考系。

中国古时候对宇宙也有类似的认知，以东汉天文学家张衡为代表的“浑天说”所描述的“浑天如鸡子，天体圆如弹丸，地如鸡子中黄，孤居于天内”，便是一个地球居于世界中心的“鸡蛋宇宙”图景。追溯历史，几乎在每一项科学理论的发展过程中，中国人都能洋洋得意地找出古人的某种说法，这样说过或那样说过，清晰表达或是模模糊糊，总之，往往是在远远早于西方发现的历史时间，中国就有某某古人预测或发现了某个科学理论(之萌芽)，正如有些人说的：易经中蕴含了二进制，乌龟背上驮着现代数学；更有甚者要将佛教与现代物理扯上关系，还有人断言算命卜卦的法则里面也包涵了很大的科学道理。笔者并不想与持这些观点的人辩论，但实在不希望看到“科学”这个名字被随意玷污。事实上，中国古代也的确有过几位杰出的科学家，但令人深思的是，西方古人的原始想法，往往能发展成某种学说，并由后人继续研究而终成正

果，进而使科学成为了西方文化中的一部分。但科学却并不是中国文化的一部分，恰恰相反，中国貌似“博大精深”的“文化”中充斥着大量不科学、伪科学、反科学的成分。这种风气延续至今，在“信仰自由”等外衣的掩盖下，似乎有过之而无不及。其实，与其对我们祖先的智慧津津乐道，不如致力于学习和宣传真正的科学，摒弃伪科学，让科学的思想、理念和方法真正融入到中国文化中。

托勒密的地心说统治欧洲长达一千多年之久，直到十六世纪初波兰天文学家哥白尼(Nicolaus Copernicus)提出日心说为止。

哥白尼将宇宙的中心从地球移到了太阳，这个理论并不是他故意要与教廷的宗教思想作对，而是从物理学的角度出发得到的科学结论。因为地心说解释不了越来越精确的天文观测结果。举个最简单的例子，最初的地心说认为所有的星球都以地球为中心、按照“正圆”转圈。那么，每颗行星在圆周运动的过程中，与地球的距离应该是一个常数，这样的话，从地球上看起来的每颗行星应该总保持相同的亮度。但这点显然不符合观测到的事实，大多数星星的亮度都是不断变化的。因此，托勒密地心说理论的主要架构是，认为行星以偏心点为圆心绕本轮和均轮两个正圆转动。如图1所示，每个行星除了绕地球

的“均轮”大圈之外，还有自己的“本轮”小圈。但随着天文观测资料越来越多，测量越来越精确，加在地心说模型上的本轮和均轮也越来越多，宇宙的托勒密图景变得非常复杂。再则，地心说也解释不了某些行星在运行中突然“倒行逆转”的现象。

哥白尼并非要反对宗教，但宗教却容不了他的科学。经过长期(近40年)的观测、研究和计算，哥白尼发展了日心说，但迫于教会的压力，他陷于犹豫和彷徨，直到在生命垂危之际，才终于发表了自己的理论。

对任何运动的描述，都是相对于某个参考系而言的。一个站在地上的人，和另一个坐在一辆向前行驶的火车上的人，如果进行测量的话，可能有些测量结果是不一样的，这是因为他们选择的参考系不同，一个是以地面为参考系，另一个以火车为参考系。科学家们认为某些参考系优于另一些参考系，那是指哪些方面更优越呢？比如说，在某些参考系中，时间均匀流逝，空间各向同性，描述运动的方程有着最简单的形式，这样的参考系被称为惯性参考系。从这个视角来看，托勒密的地心说是以地球作为惯性系，而哥白尼的日心说则认为，太阳是一个比地球更好的惯性参考系。然而，两者都仍然承认存在一个绝对的、静止的惯性参照系。布鲁诺在这方面则更进了一步，他不仅仅宣传日心说，而且发展了哥白尼的宇宙学说，他以其天

才的直觉提出了宇宙无限的思想。布鲁诺认为地球和太阳都不是宇宙的中心，无限的宇宙根本没有中心。布鲁诺这种追求科学真理的精神和成果，永远为后人所景仰。

1609年，一位荷兰眼镜工人发明了望远镜，意大利科学家伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642)用望远镜巡视夜空，观察日月星辰，发现了许多新结果。这些新结果启发伽利略思考一些最基本的物理原理，著名的相对性原理便是他的成果之一。

伽利略的相对性原理是说，物理定律在相对作匀速直线运动的参考系中应该具有相同的形式。伽利略在其1632年出版的*Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*一书(简称《对话》)<sup>[1]</sup>中的一段话描述了这个原理，其中的大意是：

把你关在一条大船舱里，其中有几只苍蝇、蝴蝶、小飞虫、金鱼等，再挂上一个水瓶，让水一滴一滴地滴下来。船停着不动时，你留神观察它们的运动：小虫自由飞行，鱼儿摆尾游动，水滴直线降落……，你还可以双脚齐跳，向哪个方向跳过的距离都几乎相等。然后，你再使船以任何速度前进，只要运动是均匀的，没有摆动，你仍然躲在船舱里，感觉不到船在行驶时，你将发现，所有上述现象都没有丝毫变化，小虫飞，鱼儿游，水滴直落……，你无法从任何一个现象来确定——船是在运动还是停着不动。即使船运动得相当快也是如此。

伽利略描述的这种现象，中国古书《尚书纬·考灵曜》上也有类似的记载：“地恒动而人不知，譬如闭舟而行不觉舟之运也。”中国古籍上的这段文字可追溯到魏晋时代，即公元220年—589年，要早于伽利略一千多年。但中国人仅仅到此为止便没有下文。伽利略却由此而广开思路，大胆提出相对性的假设：“物理定律在一切惯性参考系中具有相同的形式，任何力学实验都不能区分静止的和作匀速运动的惯性参考系”。这个假设继而发展成为经典力学的基本原理，称之为伽利略相对性原理。

物理定律不应该随参考系而改变，基于这点的相对性原理听起来似乎不难理解。伽利略在《对话》一书中所描述的现象，也是我们每个人在坐火车或飞机旅行时，都曾经有过的经验。伽利略的相对性原理中，时间仍然被认为是绝对的，空间位置则根据所选取参考系的不同而不同。两个在 $x$ 方向上相对作匀速运动 $u$ 的坐标参考系中，分别测量出来的时空坐标 $(t, x, y, z)$ 和 $(t', x', y', z')$ 将有不同的数值，这两套数值之间可以通过“伽利略变换”互相转换(见图2)。

从伽利略时代过了两百七十多年之后，爱因斯坦登上了历史舞台。他又重新思考这条“相对性原理”。当时，启发爱因斯坦思考的动力是来自于经典物理宏伟大厦明朗天空背景下的一片乌云。经典物理的宏伟大厦主要由经典力学和麦克斯韦电磁理论组成，两者各自都已经被大量实验事实所证实，正确性似乎毋庸置疑，但两者之间却有那么一点矛盾之处。

如上所述，经典力学的规律满足伽利略的相对性原理，在伽利略变换下保持不变，但经典电磁理论的麦克斯韦方程在伽利略变换下却并不具有这种协变性。也就是说，对于经典力学现象所有相对作匀速

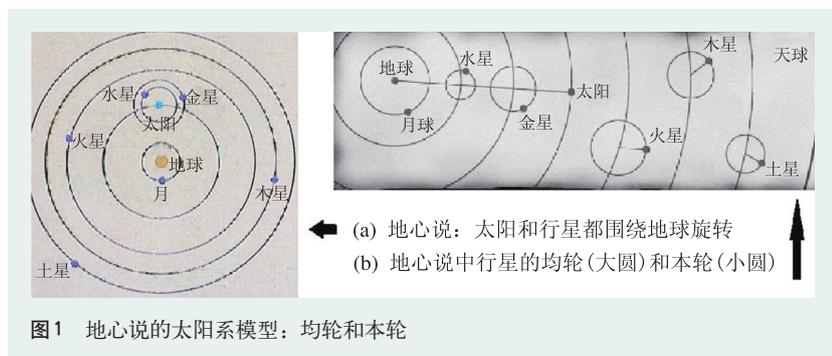


图1 地心说的太阳系模型：均轮和本轮

直线运动的惯性参考系都是等价的，但对电磁现象而言却不是这样，因为相对性原理不成立了。因而，对经典电磁理论来说，物理学家就只好假设存在一个特别的、绝对的惯性参考系，只有在这个特定的参考系中，麦克斯韦方程才能成立，这就是被称之为“以太”的参考系。

以太是被假设为“静止不动”的，因此地球相对于这个不动的惯性参考系的运动应该被观测到，但物理学家们在这方面并未发现任何蛛丝马迹。这就是本文前面所谈到的“经典物理宏伟大厦明朗天空背景下的一片乌云”，即探索“以太风”的迈克尔孙—莫雷实验得到的“零结果”。之后，爱因斯坦将相对性原理

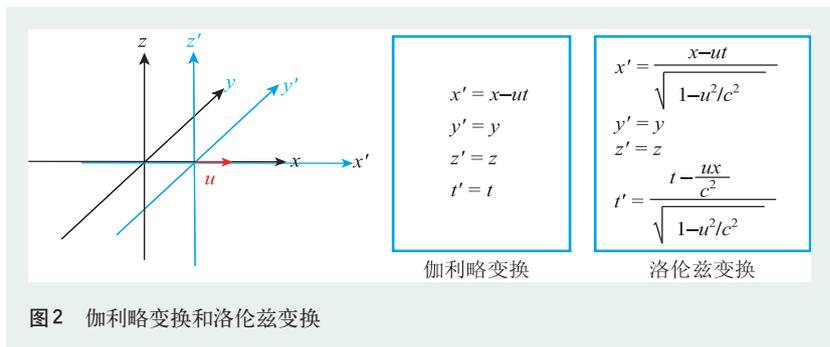


图2 伽利略变换和洛伦兹变换

从经典力学推广到经典电磁学，重新审视时间和空间的深层含义，建立了狭义相对论，解决了这个问题。再后来，爱因斯坦又把相对性原理从惯性参考系推广到非惯性参考系，将万有引力与时空的几何联系在一起，建立发展了引力的弯曲几

何论，即广义相对论。

### 参考文献

- [1] Finocchiaro M A. Retrying Galileo, 1633—1992, University of California Press, 2007



# 第12届“中国光谷”国际光电子博览会暨论坛

The 12<sup>th</sup> Optics Valley of China International Optoelectronic Exposition and Forum

# OVC EXPO

2015年11月12-14日 武汉国际博览中心

**展示范围**

-  激光
-  光学
-  3D打印
-  工业自动化

**2014 展会回顾**

-  420家参展商
-  50,000m<sup>2</sup>展出面积
-  2,1493名专业观众及买家
-  15个境外展团
-  15场行业高峰论坛
-  88家专业媒体全面推广

"中国光谷"国际光电子博览会暨论坛组委会

电 话: +86-27-87115260

传 真: +86-27-87115261

邮 箱: ovcexpo@ovcexpo.com.cn

展馆地址: 湖北省武汉市汉阳区鹦鹉大道619号

了解更多详情, 请登陆:

[www.ovcexpo.com.cn](http://www.ovcexpo.com.cn)

专业观众官网预登记, 即可享受免费住宿!



**20<sup>th</sup>**  
sungoal尚格会展  
—20年, 再出发!—  
扫二维码  
了解更多精彩