

# 牛顿力学的新时空变换 ——Z变换（广义的伽利略变换）

*The New Transformation of Time and  
Coordinates for Newtonian Mechanics*

周 方 / 著

$$x' = \frac{1}{1 + \frac{u}{c}}(x - ut)$$

$$t' = \frac{1}{1 + \frac{u}{c}}t$$

$$0 < u < +\infty$$



经济科学出版社  
Economic Science Press

013052629

031  
149

# 牛顿力学的新时空变换 ——Z变换 (广义的伽利略变换)

*The New Transformation of Time and  
Coordinates for Newtonian Mechanics*

周方 / 著

$$x' = \frac{1}{1 + \frac{u}{c}} (x - ut)$$

$$t' = \frac{1}{1 + \frac{u}{c}} t$$

$$0 < u < +\infty$$



031  
149



经济科学出版社  
Economic Science Press



北航

C1659301

013025858

## 图书在版编目 (CIP) 数据

牛顿力学的新时空变换: Z 变换: 广义的伽利略变换/周方著. —北京: 经济科学出版社, 2013. 5  
ISBN 978 - 7 - 5141 - 3348 - 6

I. ①牛… II. ①周… III. ①牛顿力学 - 研究  
IV. ①O3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 089157 号

责任编辑: 周秀霞  
责任校对: 徐领弟  
版式设计: 代小卫  
责任印制: 李 鹏

## 牛顿力学的新时空变换

——Z 变换 (广义的伽利略变换)

周 方 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142

总编部电话: 010 - 88191217 发行部电话: 010 - 88191522

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

天猫网店: 经济科学出版社旗舰店

网址: [http://jjkxcbs. tmall. com](http://jjkxcbs.tmall.com)

北京季蜂印刷有限公司印装

880 × 1230 32 开 5 印张 120000 字

2013 年 5 月第 1 版 2013 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 3348 - 6 定价: 30.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换。电话: 010 - 88191502)

(版权所有 翻印必究)

沉舟侧畔千帆过  
病树前头万木春

谨以此书缅怀

人类伟大的科学泰斗

艾萨克·牛顿

对钟对尺，剥离相对运动；  
静系、动系时空轨迹相重。

——物质运动规律在“Z变换”下的不变性

# 序

《科技日报》2011年5月2日，刊载了一篇论述基础科学中的定律及理论的文章。从这篇通幽洞微的文章所提示的一些科学定律及科学理论，兹择其中已被实验验证无误并被科学界普遍确实认可之要者于次：(1) 物理学的基石：艾萨克·牛顿的万有引力定律，三大运动定律，以及质量守恒、动量守恒、能量守恒定律，成为三百多年来物理学及科学技术的基础；(2) 天文学基础：开普勒天体运动定律；(3) 热力学三定律；(4) 流体力学的基点：阿基米德浮力原理；(5) 查理斯·罗伯特·达尔文创立的进化论（进化与自然选择，适者生存学说）。诸如所列，堪为现代科学技术之基石。以上科学定律和理论可以称之为现代科学与技术的基础理论或“元理论”。这些“元理论”的渊源表达并非是一成不变而必须永远守经达权的“教条”，同样也可被后起达人以探赜索隐、穷神知化的精神予以充实、发展、修正或摒弃！本书恰恰就是敢于挑战权威、着意追求真理的学术精深之作！本书作者周方教授，是我的多年老友、挚友、益友和知友，也是一位富有创新

精神的智者。周方教授的这本专著乃倾心力作，她的问世必将因鞭辟入里，收到振聋发聩的效果。北宋理学家、教育家张载告诫后人在治学、兴理中应有抱负与情操。他说学者当“为天地立心，为生民立命，为往圣继绝学，为万世开太平”。艾萨克·牛顿是人类伟大的科学泰斗，堪称“科圣”！周方教授的著作，正应了张载所谓“为往圣继绝学”！自问早年留学苏联归来的周方教授哪来的精力和才华？引用南宋理学大家朱熹的《观书有感》：“半亩方塘一鉴开，天光云影共徘徊；问渠哪得清如许，为有源头活水来”，足以找到完满的答案。

在此，谨庆贺这本专著的出版。

是为序。

张启人

2013年5月于广州

# 引 言

17 世纪，荷兰物理学家惠更斯（Huygens C.）提出了光的波动学说。然而，牛顿（Newton I.）与惠更斯不同，提出了光的粒子学说：根据光的直线传播规律及光的偏振现象，于 1675 年提出假设，认为发光体发出的光线是作直线运动的微粒子流，在均匀媒质中以一定的速度传播。18 世纪，光的粒子说是主流学说，而在 19 世纪，光的粒子说让位于光的波动学说，后者成为主流。此时以太学说及电磁理论均得到蓬勃发展。麦克斯韦（Maxwell J. C.）提出了电磁理论，完善了光的波动学说。

在麦克斯韦以前，电磁学实验总结出各种经验规律，如库伦定律、法拉第定律、安培定律等，而麦克斯韦则总合了这些经验定律，建立了统一的电磁场方程——著名的麦克斯韦电磁场方程组。麦克斯韦、赫兹（Hertz H.）等人对以太学说及电磁理论都作出了巨大贡献，认为电磁波的传播是：某处电场的变化在其邻近产生磁场，这个变化的磁场又在其邻近产生电场，这样依次地相互变化，从而形成电磁波动。此外，麦克斯韦、赫兹等人还将光和电磁现象统一起来，认为光就是电磁波，是电场与磁场互相感生并向外传播的结果，将光的波动理论与电磁场理论结合起来。

19 世纪末，经典电磁理论的正确性已被大量的实验证实。根据麦克斯韦方程组及很多的实验，人们发现在任何场合下光速总是一



个恒定值，于是人们认为可能存在一种传播光的介质——静止以太，光的速度就是相对以太而言的。人们猜想如果真的有以太，光速就应当遵循速度合成叠加法则，“光速不变”就是错误的。但是，迈克耳孙—莫雷实验（Michelson A. A. , Morley E. W. ）并没有发现以太（实验得到“零结果”），因而“光速不变”是正确的。科学家们恰恰也发现无论怎么测量光速都是恒定值。人们发现麦克斯韦方程组不涉及坐标系问题，但在经典力学的伽利略变换下却不具有协变性，而经典力学的伽利略相对性原理却要求一切物理定律在伽利略变换下具有不变性。以麦克斯韦电磁场方程组为基础的电动力学显然与经典力学相抵触。为了消除这一矛盾及解释迈克耳孙—莫雷实验的“零结果”，菲茨杰拉德（FitzGerald G. F. ）提出了长度收缩假设，认为有质量的物体在以太中运动时在运动方向上长度将收缩。荷兰物理学家洛伦兹（Lorentz H. A. ）也提出了长度收缩假设，他指出在以太中运动的物体，在运动方向上长度会发生收缩，收缩程度恰好抵消各个方向上以太造成的光速差异，以此解释迈克耳孙—莫雷实验的“零结果”。人们将这个长度收缩假设称为“洛伦兹—菲茨杰拉德收缩”。此外，洛伦兹还假设以太可以影响在其中运动的钟，钟在运动中变慢，从“钟慢尺缩”及“静止以太”假说导出了洛伦兹变换的雏形（柏格曼，1961）。拉莫尔（Larmor J. ）研究了以太与物质的相互联系，从而得到了洛伦兹变换的时间变换公式。阿伯拉罕（Abraham M. ）试图用麦克斯韦方程组为核心的电动力学取代牛顿力学来作为物理学的基础。但是，1904年洛伦兹指出电磁场作用是独立于整个运动体系而存在的，即电磁场作用与运动并无关系。洛伦兹发表了著名论文《速度小于光速运动系统中的电磁现象》，总结出了一个从静止以太系到运动系的变换公式——洛伦兹变换的最终形式，并且证明了麦克斯韦方程组在洛伦兹变换下保持形式不变，但他对洛伦兹变换的解释仍依赖于以太假设。与此

同时，庞加莱（Poincare H.）提出了“相对性原理”的概念，并将洛伦兹提出的公式正式命名为“洛伦兹变换”。洛伦兹变换为爱因斯坦创立狭义相对论提供了线索，后来被爱因斯坦引入他的狭义相对论，作为狭义相对论的理论基础与核心。

爱因斯坦坚信，以麦克斯韦方程组为核心的电磁理论是正确的，并肯定电磁场是一种物质的独立存在的特殊形式。但是，麦克斯韦方程对经典力学的伽利略变换却不具有协变性。这违反了经典物理学对物理规律所要求的伽利略变换不变性。

人们试图用各种方法和实验证明以太存在，但都失败了。爱因斯坦于是放弃以太理论及绝对时间的观念，接受了相对空间与相对时间的概念。爱因斯坦认为麦克斯韦方程既然在真空中有效，它也应当在运动物体坐标系中有效，而为了使麦克斯韦方程在运动物体坐标系中有效，就必须假设光速不变，即光速不依坐标系而变。然而这与经典力学中的速度合成叠加法则相违背。爱因斯坦猜想光与电磁波理论的电动力学定律同牛顿力学定律一样，对时空变换都应该具有协变性。他还认为同时性不是绝对的。

1905年6月，德国《物理学年鉴》刊物接受了年仅26岁的爱因斯坦为创立“狭义相对论”所撰写的论文《论动体的电动力学》<sup>①</sup>（Einstein, 1987），并于当年9月发表了这篇论文。这篇论文阐述了狭义相对论的基本思想、原理和内容，是狭义相对论的奠基性文章。

尽管爱因斯坦在这篇论文中没有提到洛伦兹和庞加莱的工作，但显然他已经注意到了洛伦兹和庞加莱等人的工作。爱因斯坦坚信，以麦克斯韦方程为核心的电磁理论是正确的，既然麦克斯韦方

<sup>①</sup> A. Einstein, On the Electrodynamics of Moving Bodies, The Collected Papers of Albert Einstein, Edit. John Stachel, Vol. 2, pp. 140 - 171, The Princeton University Press, 1987.

程在洛伦兹变换下保持形式不变，那么牛顿力学的运动定律也应该同光与电磁波理论的电动力学定律一样，对洛伦兹变换具有协变性。爱因斯坦把洛伦兹变换当成对所有物理定律普适的时空变换，对洛伦兹和庞加莱早前依据经验，通过假设总结出的那个形式十分优美的能使光与电磁波动传播方程（麦克斯韦方程组）具有协变性的洛伦兹变换十分青睐，因而致力于把洛伦兹变换引入他的狭义相对论，作为狭义相对论的理论核心。然而，爱因斯坦并不接受洛伦兹提出洛伦兹变换所作的推出过程，而是自己另搞一套，在论文《论动体的电动力学》中根据“相对性原理”及“光速为常值原理”（The principle of the constancy of the velocity of light (Einstein, 1987)，按数学方程所表述的形式，此原理的确切内容应当是“互作匀速直线相对移动的两坐标系的原点相重合时从原点发出的光波阵面在两坐标系内按同一规律传播”，因此我们将它称为“光传播方程不变原理”），用自己的方法推导出了一组与洛伦兹变换相同的数学公式。爱因斯坦就这样把“洛伦兹变换数学式”塞入了狭义相对论。从此，爱因斯坦就把只能使光与电磁波传播方程保持不变的洛伦兹变换当作了狭义相对论的时空变换。另外应当指出，爱因斯坦在论文《论动体的电动力学》中所作的那种推导实际上是得不出洛伦兹变换的数学公式的。

一个与洛伦兹和庞加莱等人早前依据经验通过假设总结出的那个洛伦兹变换相同的数学公式就这样成为了爱因斯坦狭义相对论的理论核心。爱因斯坦狭义相对论的一系列悖论，都源自这个数学公式。

1905年爱因斯坦论文《论动体的电动力学》发表以来，狭义相对论既被广泛宣传，同时也受到不少物理学家的质疑、批评和抨击。对狭义相对论的批评，并没有随狭义相对论的宣传而减少。有些学者撰写了长篇论著，对爱因斯坦狭义相对论进行抨击；出现了

不少质疑和挑战狭义相对论的文章、网站及学术刊物。人们越来越多地发现狭义相对论本身存在着众多的悖论，狭义相对论至今没有得到任何真实的实验验证。

对狭义相对论的评价出现如此巨大的反差，在科学发展史上实为罕见。科学理论总是在不断检讨与扬弃错误之中向前发展，因此，深入研究并缜密审视爱因斯坦狭义相对论，对物理学的发展前途具有十分重要的意义。

为了建立一个正确的适应于“两坐标系有相对运动且真空中光速为有限值”场合的时空变换，创立一个成功的时空理论，完全依赖于正确地解决如何认识“时间”的问题，而解决这个问题的关键则在于解决“两坐标系有相对运动且真空中光速为有限值”场合下如何对准不同地点的“时间”的问题。

为了实现经典力学（古典牛顿力学）的伽利略变换的时间转换，需要使用那种（从一点传至另一点无需花费任何时间的）瞬时信号。然而，在自然界不存在这样的信号。尽管目前已知传播最快的是光信号，而光信号的传播速率仍为有限值。因此，经典力学的伽利略变换所要求的时间变换在物理上是无法实现的。这也是经典力学（古典牛顿力学）的致命硬伤。这样，人们就只能放弃绝对时间的观念、利用传播速率为有限值的光或电磁波信号进行“异地对钟”。为此，就必须对“发生某个事件”与“异地观测到该事件”的“同时”作出定义。

直到1922年，爱因斯坦总算是已经认识到了上述这个问题，他在《相对论的意义》<sup>①</sup>一书中写道：

“为了测定时间，曾经假定在某处有时计  $U$ ，相对于  $K$  保持静

<sup>①</sup> 爱因斯坦：《相对论的意义》，郝建纲、刘道军译，上海科教出版社2005年版。

止。然而如果事件到時計的距离不应忽略，就不能用这只時計来确定事件的时刻；因为不存在能用来比较事件时刻和時計时刻的“即时讯号”。为了完成时间的定义，可以使用真空中光速恒定的原理。假定在  $K$  系各处放置同样的時計，相对于  $K$  系保持静止，并按下列安排校准。当某一时計  $U_m$  指着时刻  $t_m$  时，从这只時計发出光线，在真空中通过距离  $R_{mn}$  到時計  $U_n$ ；当光线遇着時計  $U_n$  的时刻，使時計  $U_n$  对准到时刻  $t_n = t_m + \frac{R_{mn}}{V}$ ，光速 ( $V$ ) 恒定原理于是断定这样校准時計不会引起矛盾。用这样校准好的時計就能指出发生在任何時計近旁的事件的时刻。”

可是，遗憾的是，爱因斯坦并没有将他的上述想法向前推进，而是就此止步了。实际上，沿着他的上述思路，只要再前进一步就可以推导出正确的时空变换的时间变换式。如果真是这样的话，那么他就不得不否定他在 1905 年的论文《论动体的电动力学》中为推导狭义相对论时空变换而建立的那个基本数学模型（参见论文《论动体的电动力学》的“运动学部分”），甚至就不得不否定他的《论动体的电动力学》论文，回归到重新思考与充实发展牛顿的理论。但是，爱因斯坦最终却没有走出这一步，其原因何在，至今不得而知，也就只能留待世人后代去思索了。

笔者在反复仔细阅读爱因斯坦狭义相对论奠基性论文《论动体的电动力学》及相关著作的基础上，理清了爱因斯坦在立论过程中的思维脉络与推演逻辑。

笔者另辟蹊径，采取了与爱因斯坦大相径庭的独特的思路，终于推导出唯一的适应于“两坐标系有相对运动且真空中光速为有限值”场合的时空变换。

笔者在准确理解文字表述的“相对性原理”的基础上，首次将变换方程组满足“相对性原理”之充分必要条件用数学语言完整地

表达出来，并实际运用于推导之中。

首先，笔者将论文《论动体的电动力学》中的“动系内闪光反射模型”改换为“动系内闪光模型”，经过严谨的推导，得出了（动系）时间  $t'$  与（静系）时间  $t$  之间正确的数学关系式——时空变换的时间变换式。然后，将这个时间变换式与待定的空间变换式组成联立方程组，运用“相对性原理”（“相似性原理”）之充分必要条件，成功地得出了唯一的适应于“两坐标系有相对运动且真空中光速为有限值”场合的时空变换。这个时空变换是笔者独辟蹊径，完全独立地推导出的，为笔者首次发现，故可称为“周方变换”，简称“Z变换”。

十分有趣的是，Z变换是一个“伽利略型”的时空变换。在“光速为无限大”（即存在物质间超距作用）时，或在“光速为有限值”而相对速度与光速相比是很小时，Z变换就直接退化为（经典的）伽利略变换。考虑到伽利略的伟大历史功绩及其在物理学中的重要地位，故可把Z变换同时也称为“广义的伽利略变换”。（经典的）伽利略变换作为特例被包含在Z变换之中。

Z变换揭示了“两坐标系有相对运动且真空中光速为有限值”场合下时间与空间的一系列十分美妙的性质：（1）“时间”是相对的；“时间”独立于“空间”而存在，即：“时间”影响“空间”，但“空间”不影响“时间”；（2）“两事件同时（不同时）”或表现出相对性，或表现出绝对性，依场合而定；（3）在相离运动中发生“动系时间间隔显大”，而在与相离运动方向相反的相向运动中发生“动系时间间隔显小”，因此不存在所谓的“双生子悖论”；（4）在相离运动中发生同等程度的“动系时间间隔显大”与“动系空间距离显大（沿相对运动方向）”，而在相向运动中发生同等程度的“动系时间间隔显小”与“动系空间距离显小（沿相对运动方向）”，因此，在Z变换下相对运动方向上速度的模是一个不变

量；(5) 速度合成服从叠加法则；(6) 物体的质量符合牛顿对质量的定义，物体的质量是绝对的，不随物体的运动状态而变，即不存在所谓的“质速关系”。

本书中，笔者接受了以下一组前提条件：

1. 时间均匀地单向流逝；空间是均匀的，各向同性及各点同性；否则，它们便是不可被度量的。

2. “真空中光传播速率为恒定值假设”：真空中光信号的传播速率为一个定值  $c$ ，与光源运动无关。爱因斯坦用文字表述为：“任何光线在‘静止的’坐标系中都是以确定的速度  $c$  运动着，不管这道光线是由静止的还是运动的物体发射出来的。”笔者根据上面这段文字，将这个假设的文字表述修改为：“物体发射出来的光线总是以确定的速度  $c$  传播着，不管这道光线是由静止的还是运动的物体发射出来的，光线传播速率的大小完全由空间的性质决定。”<sup>①</sup>

3. “相对性原理”（“相似性原理”）：物理定律（或物理量之间的数学关系式）在互作匀速直线平移相对运动的两坐标系内是相同的。爱因斯坦用文字表述为：

“物理体系的状态据以变化的定律，同描述这些状态变化时所参照的坐标系究竟是用两个在互相匀速移动着的坐标系中的哪一个并无关系。”<sup>②</sup>

由于笔者能够准确理解并在数学推导中恰当地实际运用这些前提条件，最终推导出的时空变换并不是与洛伦兹变换相同的数学式，而是地地道道的“伽利略型”的时空变换式，当然也不是那个基于超距作用的（经典的）伽利略变换，而是适应于“两坐标系

<sup>①②</sup> 爱因斯坦：《狭义与广义相对论浅说》，杨润殷译，北京大学出版社 2006 年版。

有相对运动且真空中光速为有限值”场合的“广义的伽利略变换”。

此外，本书还分出专门的章节，讨论了“双生子悖论”问题、多普勒效应及超高速飞船脉冲雷达测速问题。



# 目 录

引言 .....	1
第一章 “真空中光速为有限值” 场合下时空变换的 物理法则及数学描述 .....	1
一、时空变换的物理法则及数学描述 .....	1
二、变换方程组中诸变量的定义 .....	6
第二章 “真空中光速为有限值” 场合下“同时” 之概念及 变量 $\tau$ 和 $t$ 之定义 .....	9
一、“真空中光速为有限值” 场合下“同时” 之概念 .....	9
二、时间变换式中变量 $\tau$ 和 $t$ 之定义 .....	10
第三章 真空中光传播速率为恒定值假设 .....	14
一、“火车—地面” 相对运动思维实验 .....	14
二、相对速度及真空中光速——两坐标系共用的参数 .....	16
第四章 时空变换满足“相对性原理” 之充分必要条件 .....	18
一、“相对性原理” 的意义及内涵 .....	18