

时空平权理论 - 爱因斯坦的探索性科学假设在科学研究中的重要性

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

Abstract: 早在古希腊时代, 著名的哲学家、形式逻辑的创始人亚里士多德就提出了归纳和演绎这两种逻辑方法, 并认为演绎推理的价值高于归纳推理。而古希腊名声最大的数学家欧几里得, 在《几何原本》中把几何学系统化了, 这部流传千古的名著就是逻辑演绎法的典范。牛顿在建立他的力学理论体系时虽然运用了归纳法, 但其集大成著作《原理》的叙述方法却采用的是演绎法。

[Li X. 时空平权理论 - 爱因斯坦的探索性科学假设在科学研究中的重要性. *Academ Arena* 2017;9(16s): 163-173]. (ISSN 1553-992X). <http://www.sciencepub.net/academia>. 5. doi:[10.7537/marsaa0916s1705](https://doi.org/10.7537/marsaa0916s1705).

Keywords: 物理学; 力学; 因果; 分析; 数学; 方法

早在古希腊时代, 著名的哲学家、形式逻辑的创始人亚里士多德就提出了归纳和演绎这两种逻辑方法, 并认为演绎推理的价值高于归纳推理。而古希腊名声最大的数学家欧几里得, 在《几何原本》中把几何学系统化了, 这部流传千古的名著就是逻辑演绎法的典范。

牛顿在建立他的力学理论体系时虽然运用了归纳法, 但其集大成著作《原理》的叙述方法却采用的是演绎法。

爱因斯坦认为, 物理理论分为“构造理论”和“原理理论”。按照他的观点, 原理理论“应用分析而不是综合的方法。其出发点和基础不是假设的要素, 而是经验上观察到的现象的一般性质、一般原理; 从这些性质和原理导出这样一些数学公式, 使其用于每一自身出现之处。”“原理理论的优点, 是它们逻辑上的完善, 和它们基础的稳固。在爱因斯坦看来, “相对论是一种原理的理论。爱因斯坦的探索性的演绎法绝不是这种古老的演绎法的简单照搬。他根据自己的科学研究实践, 顺应当时理论科学发展的潮流, 对演绎法作了重大发展, 赋予了新的内容。也许是为了强调他的演绎法与传统的演绎法的不同, 他在“演绎法”前面加上了限制性的定语——“探索性的”, 这个定语也恰当地表明了他的演绎法的主要特征。与传统的演绎法相比, 爱因斯坦的探索性的演绎法是颇有特色的。这主要表现在以下三个方面。

第一, 明确地阐述了科学理论体系的结构, 恰当地指明了思维同经验的联系问题, 充分肯定了约定在建造理论体系时的重要作用。爱因斯坦把科学理论体系分为两大部分, 其一是作为理论的基础的基本概念和基本原理, 其二是由此推导出的具体结论。在爱因斯坦看来, 那些不能在逻辑上进一步简化的基本概念和基本假设, 是理论体系的根本部分, 是整个理论体系的公理基础或逻辑前提。它们实际上“都是一些自由选择的约定”; 它们“不能从经验中抽取出来, 而必须自由地发明出来”。谈到思维同经验的联系问题时, 爱因斯坦说: 直接经验 ϵ 是已知的, A 是假设或公理, 由它们可以通过逻辑道路推导出各个个别的结论 S; S 然后可以同 ϵ 联系起来(用实验验证)。从心理状态方面来说, A 是以 ϵ 为基础的。但是在 A 和 ϵ 之间不存在任何必然的逻辑联系, 而只有通过非逻辑的方法——“思维的自由创造”(或约定)——才能找到理论体系的基础 A。爱因斯坦明确指出: “物理学构成一种处在不断进化过程中的思想的逻辑体系。它的基础可以说是不能用归纳法从经验中提取出来的。而只能靠自由发明来得到。这种体系的根据(真理内容)在于导出的命题可由感觉经验来证实, 而感觉经验对这基础的关系, 只能直觉地去领悟。进化是循着不断增加逻辑基础简单性的方向前进的。为了要进一步接近这个目标, 我们必须听从这样的事实: 逻辑基础愈来愈远离经验事实, 而且我们从根本基础通向那些同感觉经验相联系的导出命题的思想路线, 也不断地变得愈来愈艰难、愈来愈漫长了。”

第二, 大胆地提出了“概念是思维的自由创造”、“范畴是自由的约定”的命题, 详细地阐述了从感觉经验到基本概念和基本原理的非逻辑途径。爱因斯坦指出, 象马赫和奥斯特瓦尔德这样的具有勇敢精神和敏锐本能的学者, 也因为哲学上的偏见而妨碍他们对事实做出正确的解释(指他们反对原子论)。这种偏见——至今还没有灭绝——就在于相信毋须自由的构造概念, 事实本身能够而且应该为我们提供科学知识。这种误解之所以可能, 是因为人们不容易认识到, 经过验证和长期使用而显得似乎同经验材料直接相联系的那些概念, 其实都是自由选择出来的。爱因斯坦认为, 物理学家的最高使命就是要得到那些普遍的基本定律, 由此

世界体系就能用单纯的演绎法建立起来。要通向这些定律，并没有逻辑的道路，只有通过那种以对经验的共鸣的理解为依据的直觉，才能得到这些定律。”为了从经验材料中得到基本原理，除了通过“以对经验的共鸣的理解为依据的直觉”外，爱因斯坦还指出可以通过“假设”、“猜测”、“大胆思辨”、“创造性的想像”、“灵感”、“幻想”、“思维的自由创造”、“理智的自由发明”、“自由选择的约定”等等。不管方法如何变化，它们都有一个共同点，即基本概念和基本原理只能通过非逻辑的途径自由创造出来。这样一来，基本概念和基本原理对于感觉经验而言在逻辑上是独立的。爱因斯坦认为二者的关系并不像肉汤同肉的关系，而倒有点像衣帽间牌子上的号码同大衣的关系。也正由于如此，从感觉经验得到基本概念和原理就是一项十分艰巨的工作，这也是探索性的演绎法的关键一步。因此，爱因斯坦要求人们“对于承担这种劳动的理论家，不应当吹毛求疵地说他是‘异想天开’；相反，应当允许他有权去自由发挥他的幻想，因为除此以外就没有别的道路可以达到目的。他的幻想并不是无聊的白日做梦，而是为求得逻辑上最简单的可能性及其结论的探索。”关于爱因斯坦所说的“概念是思维的自由创造”和“范畴是自由的约定”，其中的“自由”并非任意之谓，即不是随心所欲的杜撰。爱因斯坦认为，基本概念和基本原理的选择自由是一种特殊的自由。它完全不同作家写小说时的自由，它倒多少有点像一个人在猜一个设计得很巧妙的字谜时的那种自由。他固然可以猜想以无论什么字作为谜底，但是只有一个字才真正完全解决了这个字谜。显然，爱因斯坦所谓的“自由”，主要是指建立基本概念和基本原理时思维方式的自由、它们的表达方式的自由以及概括程度高低的自由，一般说来，它们包含的客观实在的内容则不能是任意的。这就是作为反映客观实在的人类理智结晶的科学之客观性和主观性的统一。诚如爱因斯坦所说：“科学作为一种现存的和完成的东西，是人们所知道的最客观的，同人无关的东西。但是，科学作为一种尚在制定中的东西，作为一种被追求的目的，却同人类其他一切事业一样，是主观的，受心理状态制约的。”

第三，明确地把“内在的完备”作为评判理论体系的合法性和正确性的标准之一。在爱因斯坦看来，探索性的演绎法就是在实验事实的引导下，通过思维的自由创造，发明出公理基础，然后以此为出发点，通过逻辑演绎导出各个具体结论，从而构成完整的理论体系。但是，评判这个理论体系的合法性和正确性的标准是什么呢？爱因斯坦晚年在“自述”中对这个问题作了纲领性的回答。他认为，第一个标准是“外部的证实”，也就是说，理论不应当同经验事实相矛盾。这个要求初看起来似乎十分明显，但应用起来却非常伤脑筋。因为人们常常，甚至总是可以用人为的补充假设来使理论同事实相适应，从而坚持一种普遍的理论基础。但是，无论如何，这种观点所涉及的是用现成的经验事实采证理论基础。这个标准是众所周知的，也是经常运用的。有趣的是爱因斯坦提出的第二个标准——“内在的完备”。它涉及的不是理论同观察材料的关系问题，而是关于理论本身的前提，关于人们可以简单地、但比较含糊地称之为前提(基本概念和基本原理)的“自然性”或者“逻辑简单性”。也就是说，这些不能在逻辑上进一步简化的元素要尽可能简单，并且在数目上尽可能少，同时不至于放弃对任何经验内容的适当表示。这个观点从来都在选择和评价各种理论时起着重大的作用，但是确切地把它表达出来却有很大困难。这里的问题不单是一种列举逻辑上独立的前提问题(如果这种列举是毫不含糊地可能的话)，而是一种在不可通约的质之间作相互权衡的问题。其次，在几种基础同样“简单”的理论中，那种对理论体系的可能性质限制最严格的理论(即含有最确定论点的理论)被认为是比较优越的。理论的“内在的完备”还表现在：从逻辑的观点来看，如果一种理论并不是从那些等价的和以类似方式构造起来的理论中任意选出的，那么我们就给予这种理论以较高的评价。爱因斯坦看到了“内在的完备”这一标准不容忽视、不可替代的特殊作用。他指出，当基本概念和基本原理距离直接可观察的东西愈来愈远，以致用事实来验证理论的含义就变得愈来愈困难和更费时日的时候，“内在的完备”标准对于理论的选择和评价就一定会起更大的作用。他还指出，只要数学上暂时还存在着难以克服的困难，而不能确立这个理论的经验内涵：逻辑的简单性就是衡量这个理论的价值唯一准则，即使是一个当然还不充分的准则。爱因斯坦的“内在完备”标准在某种程度上是不可言传的，但是它在像爱因斯坦这样的具有“以对经验的共鸣的理解为依据的直觉”的人的手中，却能够有效地加以运用，而且预言家们在判断理论的内在完备时，它们之间的意见往往是一致的。在爱因斯坦创立狭义相对论和广义相对论的过程中，充分地体现了探索性的演绎法的这三个特色。前面我们已简单地涉及到这一点，这里我们只谈谈爱因斯坦从“内在的完备”这一标准的角度是如何对自己理论进行评价的。1906年，当德国实验物理学家宣称，他在1905年完成的关于高速电子(β 射线)质量和速度关系的数据支持亚伯拉罕和布赫尔的“刚性球”电子论，而同洛伦兹-爱因斯坦的理论(电子在运动方向的直径会随速度的增加而收缩)不相容，彭加勒立即发生了动摇，认为相对性原理不再具有我们先前赋予它的那种重要的价值。洛伦兹表现得更是十分悲观，他在1906年3月8日致彭加勒的信中说：“不幸的是，我的电子扁缩假设同考夫曼的新结果发生了矛盾，因此我必须放弃它，我已到了山穷水尽的地步。在我看来，似乎不可能建立起一种要求平移对电学和光学现象完全不产生影响的理论。”爱因斯坦的态度则截

然相反，他对自己的理论的“内在的完备”抱有信心。他在 1907 年发表的长篇论文中指出：考夫曼的实验结果同狭义相对论的“这种系统的偏离，究竟是由于没有考虑到的误差，还是由于相对论的基础不符合事实，这个问题只有在有了多方面的观测资料以后，才能足够可靠地解决。”他认为“刚性球”电子论在“很大程度上是由于偶然碰巧与实验结果相符，因为它们关于运动电子质量的基本假设不是从总结了大量现象的理论体系得出来的。”正由于狭义相对论的理论前提的简单性大，它涉及的事物的种类多，它的应用范围广，它给人的印象深，所以爱因斯坦才对自己的理论坚信不疑，要知道当时还没有确凿的实验事实证实这种具有思辨性的理论。谈到广义相对论的“内在的完备”，爱因斯坦说：“这理论主要吸引人的地方在于逻辑上的完整性。从它推出的许多结论中，只要有一个被证明是错误的，它就必须被抛弃，要对它进行修改而不摧毁其整个结构，那似乎是不可能的。”他甚至说过这样的话：当 1919 年的日蚀观测证明了他关于光线弯曲的推论时，他一点也不惊奇。要是这件事没有发生，他倒会是非常惊讶的。探索性的演绎法是爱因斯坦的主导哲学思想——唯物论的唯理论——的一个重要组成部分。可贵的是，爱因斯坦在这里并没有排斥或漠视经验归纳法在科学中的地位。一方面，他认为纯粹思维可以把握实在；另一方面，又认为从来也没有一种理论是靠纯粹思辨发现的，他对构造性的理论也给予了较高的评价。爱因斯坦敢于正视矛盾的两极，在唯理论和经验论之间保持了一种微妙的、恰如其分的平衡，这正是他的高明之处。他提出的探索性的演绎法，只是强调“要大胆思辨，不要经验堆积”罢了，这是理论科学在 20 世纪发展的必然趋势，爱因斯坦则是率先表达了这一时代要求。

2、经典力学中的时空对称性问题

一切物理现象都发生在时空之中，时空的对称性必然会影响物理现象的特性，因此在研究物理理论时，往往要研究时空的对称性。牛顿力学的方程是关于时间反演不变的，也就是说在牛顿的宇宙中，一切动力学过程都是可逆的，因此无法找出一个标度时间向前演化的物理量。量纲不仅规范了物理量的物理意义，而且包含了不同物理量之间的关联性，隐含着客观存在着的物理规律。

Galileo 相对论指出，不存在“静止状态的”绝对意义，所以“在不同时间的空间的同一点”是没有任何意义的。在 18 世纪末年，达兰贝尔 (J. L. d'Alembert) 和拉格朗日 (J.-L. Lagrange) 等在他们的著作中，提出了把时间想象为第四个纬度的建议。例如拉格朗日写到：“这样以来，我们就可以把力学看成是一种四维几何学，而把分析力学难看成是解析几何的一种推广。”文献【1】在‘引论’中就预先指出，对于牛顿力学的背景时空，即伽利略时空，有着下述对称性：

- (N1), 所有的空间点都是平权的，所有的瞬时也都是平权的；
- (N2), 所有的空间方向都是平权的；
- (N3), 所有作相对匀速直线运动的惯性参照系都是平权的。

从时空角度上看，“实数是空间的数量关系，纯虚数是时间的数量关系，复数则是时空的数量关系”。在普利高津看来，在近代科学的经典——牛顿力学中，时间作为一个描述运动的参数，是反演对称的，把时间换为空间有相同的结果，这意味未来和过去看来没有实质性的区别。

天气预报主要是通过对大尺度空间（水平和垂直）气象条件的探测，来预报未来的天气情况。如果预报未来的时间越长，就要求对空间探测的尺度越大。可以说：对时间尺度的预报，依赖于对空间尺度的了解。考古学家就是通过对地层的研究来推断以前的历史情况。地层越深，可推断出该年代就越久远。上述是

space-time 平权理论的实际应用，用公式表示： $\int_0^x f(x)dx = -K \int_0^t \varphi(t)dt$ ，上式的物理意义是：对某一物质而言，若其空间量有了变化（如体积变化），那么该物质必然会产生某一过程；反之，若某一物质产生了某一过程，其结果必然存在空间量的变化。时和空在变换中它们之积是个不变量，时空是不均匀的，但时空却应该是连续的，物体的运动速度、质量、动量和能量也应该是连续的。数学中几何概型的计算时，当几何测度为时间和长度时运算是一致的，时间用长度表示，也是时空平权的反应。你问某人从巴尔的摩到华盛顿有多远，得到的回答可能是“45 分钟”：你问的是距离，但回答却是时间。如果你遵守交通规则，即不会有意外情况打乱交通，而在速度有限的情况下，这两个概念是可以联系在一起的。在宇宙中，距离和时间通过永远恒定的光速联系在一起。

参考文献：

- 【1】 福克。 1965，“空间、时间和引力的理论”，周培源等译，科学出版社，北京。

3、狭义相对论中的时空对称性问题

Weinberg 在他的著名著作《引力论与宇宙论》1 一书中用了专门一章，标题为“对称空间”，来讨论时空

的对称性。爱因斯坦说过一句话：“过去、现在和将来之间的区别只不过是一种幻觉。”时间不能完全脱离和独立于空间，而必须和空间结合在一起形成所谓的时空的客体。

对称与李群在物理学中有许多应用，在物理学中的应用在极大刺激了群论的发展。对称可以在物理学中从多个层面上观察到，例如在牛顿力学中，包括万有引力定律在内的许多定律都在平移，旋转和反射下保持不变；狭义相对论的一个重要特征就是空间与时间的观念是对称的。

对称性在现代科学中的中心地位，从狄拉克对爱因斯坦的评价也可看出，他在 1982 年询问杨振宁，什么是爱因斯坦对物理学最重要的贡献？杨振宁回答说：“1916 年的广义相对论。”狄拉克说：“那是重要的，但不如他引入的时空对称的概念那么重要。”对狄拉克这个与众不同的观点，杨振宁事后评论说：“狄拉克的意思是，尽管广义相对论是异常深刻的和有独创性的，但是空间和时间的对称对以后的发展有更大的影响。的确，与人类的原始感受如此抵触的时空对称，今天已与物理学的基本观念紧密地结合在一起了。”庞加莱的“回归论”：“任何孤立体系在一个足够大的时间间隔内，将回到它的初始状态。时间不是对称的，甚至可能是循环的。”

在相对论中，时间和空间座标没有真正的差别，犹如任何两个空间座标没有真正的差别一样。譬如可以选择一族新的座标，使得第一个空间座标是旧的第一和第二空间座标的组合。例如，测量地球上一点位置不用在伦敦皮卡迪里圆环以北和以西的里数，而是用在它的东北和西北的里数（1 英里=1.609 公里）。类似地，人们在相对论中可以用新的时间座标，它是旧的时间（以秒作单位）加上往北离开皮卡迪里的距离（以光秒为单位）。将一个事件的四座标作为在所谓的时空的四维空间中指定其位置的手段经常是有助的。

对于狭义相对论的背景时空，即洛伦兹时空，则有着下述对称性：

(S1), 所有的时空点都是平权的；

(S2), 所有的时空方向都是平权的。

这里所谓‘平权’是指“物理影响相同，没有谁表现特别”。这里的伽利略时空和洛伦兹时空都是 1+3 维时空，1 维是时间，3 维是空间。洛伦兹时空中的时空点是 4 维时空点，时空方向是 4 维矢量方向。所有的时空方向都是平权的对称性包含着所有的空间方向都是平权的对称性和所有作相对匀速直线运动的惯性参考系都是平权的对称性。

伽利略时空的对称性对应着伽利略坐标变换，这个变换具有 10 个参数(其中 N1 对称性 4 个，N2 对称性 3 个，N3 对称性 3 个)；在此变换下，牛顿力学的规律保持不变。洛伦兹时空的对称性对应着洛伦兹坐标变换，这个变换也具有 10 个参数(其中 S1 对称性 4 个，S2 对称性 6 个)；在此变换下，狭义相对论的物理规律保持不变。空间是相对时间的空间，时间是相对空间的时间，统一在速度这个概念上。

狭义相对论是四维时空的数学框架，其本质和牛顿的三维绝对对空间加一维时间相同。它只是对客观物理时间和空间的理论抽象，仅仅是一种数学合理化的抽象，是研究工作所利用的工具。Einstein 在狭义相对论中的论断：“将自然界定律表示成四维时空连续区域里的定律，则采取的形式是逻辑上最满意的。”【1】1908 年，德国数学家赫尔曼·闵可夫斯基在科隆的演讲中说：“我想展现在你们面前的关于空间和时间的看法是从实验物理学土壤中萌芽的，而这正是他们力量之所在。他们是彻底的。从今以后，单独的空间和单独的时间都注定如同阴影般消失，只有他们的某种联合能维持一种独立的实在。”【2】这一新见解为狭义相对论的形成和广义相对论的发展提供了场地和线索，米是通过秒来定义的。

Einstein 把三维的空间和一维的时间合并到一起，在笛卡儿坐标基础上，四维时空坐标创立了。狭义相对论揭示了作为物质存在形式的空间和时间在本质上的统一性，space-time 不能截然分开而是统一的整体，但是没有指明时间与空间的本质。不同时刻的三维 Euclid 空间被分开，把这些空间合并在一起构成了完整的四维 space-time 图。在狭义或广义相对论的情形下，时间应当是同时性空间或类空表面。在空间——时间中进行匀速直线运动的粒子历史是一条直线——世界线。不变的不是时间间隔和空间间隔，而是 space-time 线元长度，即 $\Delta s = \Delta s'$ ，其中 $\Delta s^2 = \Delta l^2 - \Delta c^2 \Delta t^2$ ， $\Delta s'^2 = \Delta l'^2 - \Delta c^2 \Delta t'^2$ 。前人借用这个概念，把“真空光速不变的原理”表述成“ $dS=0$ ”，即“由真空光速不变的原理，我们可以断定，假如两个事件的间隔在某一个坐标系内为零，那么，它在所有其他系统内均为零”【3】。前辈通过对“时空”、“运动”进行分析与观察，把真空光速不变的原理（ $dS=0$ ）推广到了 dS 为非零值的情形：“我们得到一个很重要的结论：两个事件的间隔在所有的惯性参考系统里都是一样的，即当由一个惯性参考系统变换到任何另一个惯性参考系统时，它是不变的。这种不变式也就是真空光速不变的数学表示”【4】——这就是“时空间隔的不变性”。

Minkowsk 指出：“我要向你们提出的空间时间观念是在实验物理学的土壤上产生出来的……从此，单独的空间和单独的时间注定要消退得只剩下一些影子，只有两者的一种联合才会保持为一项独立的实在。Minkowsk 空间里时间纬度取虚值，反映了时间和空间的本质差别，因此洛伦兹变换的不变量不是“椭

圆型”（空间坐标的平方和时间坐标的平方符号相同）而是“双曲型”（空间坐标的平方和时间坐标的平方符号不同）的，由此产生了光锥内外及光锥前后几个互相不能靠洛伦兹变换到达的区域。

参考文献:

【1】林为民编译《图说相对论》，内蒙古人民出版社 2003 年 3 月版 218 页。

【2】[英]约翰·格里宾著、黄磷译《大宇宙百科全书》，海南出版社 2001 年 8 月版 276 页）。

【3】见《场论》L12-13, P6.

【4】见《场论》L21-23, P7.

4、广义相对论中时空对称性

对于广义相对论，由于引力场使得时空弯曲，在全时空中彼此作相对匀速直线运动的惯性参照系是不存在的（在时空的局部范围内可以存在匀速直线运动，也可以存在局部惯性参照系）。由于这个原因，广义相对论中的时空的对称性，一般要低于伽利略时空的对称性和低于洛伦兹时空的对称性，即其所对应的保持规律不变的坐标变换之参数要减少。在广义相对论中，时空的对称性往往随所研究的具体问题而异。在经典广义相对论的实时 space-time 中，因为时间只沿着一位观察者的历史增加，不象空间那样可以沿着历史增加或减少，时间和空间方向可以区分开来；在广义相对论中，对称性由洛伦兹群（或庞卡莱群）所支配。

一般认为，以广义相对论为理论基础的宇宙学中的时空对称性是【1】：

(C1)，所有的空间点都是平权的；

(C2)，所有的空间方向都是平权的。

为什么说所有的空间点都是平权的？如果空间之内点与点不是平权的，则在空间某些部分，物质会堆积得很多，而在另外一些部分，物质则分布得很少，这不符合天文观察。

天文观测的事实表明：大尺度空间内星系或星系团的分布以及射电源的计数，大体上是均匀的，而微波背景辐射的分布，均匀程度更高。为什么说所有的空间方向都是平权的？如果空间之内各个方向彼此不是平权的，会引发什么现象呢？整个宇宙绕轴旋转就是一个例子，在这种情况下，旋转轴就是一个特殊方向，它跟其它方向不是平权的。Godel 曾研究过旋转的宇宙，得出了在这种宇宙中，测地线可能相交的推论。这意味着，从‘现在’可以返回到‘过去’，从‘现在’也可以提前到达‘将来’；这将对因果律造成极大的紊乱。旋转宇宙的问题还有不少，虽然在引力理论和宇宙学中，旋转宇宙也可以作为一个课题来进行研究，但由于它本身的缺点和问题，多数学者并不采纳这种宇宙。比较(C1)、(C2)和(N1)、(N2)，可以看出，以广义相对论为理论基础的宇宙学中的时空对称性同牛顿力学背景时空的对称性都认为所有的空间点都是平权的和所有的空间方向都是平权的。这就是，在一定条件下，可以用牛顿力学来研究宇宙学的理论根源。比较(C1)和(N1)，还可以看出，在以广义相对论为理论基础的宇宙学中的时空中，缺乏所有的瞬时也都是平权的对称性，正是由于这种缺乏，使得宇宙时空出现弯曲，必须用广义相对论来进行研究。对称性(C1)说明宇宙空间是均匀的，对称性(C2)说明宇宙空间是各向同性的，这就是宇宙学原理。显然，宇宙学原理并不是毫无根据的人为假定，它是宇宙对称性的合理推论。

广义相对论具有宇宙因子项重力场方程的普遍形式 $R_{uv} - 0.5g_{uv}R + g_{uv}\lambda = -kT_{uv}$ ，式中 R_{uv} 是二阶曲率张量； g_{uv} 是度规张量；而 T_{uv} 是物质的能量—动量张量； k 为常数，可由泊松方程求得， λ 为宇宙因子，等式的左边是描述空间几何性质的几何量，而右边是物质张量。该式把物质和 space-time 紧密联系在一起，表明空间——时间的几何性质与物质的分布及其运动密切相关，物质的分布和运动决定四维空间的曲率，而这个弯曲空间又决定物质的运动状态。广义相对论进一步揭示空间与时间的统一性，指出空间和时间不可能离开物质而独立存在，空间的结构与性质取决于物质的分布，因此时间与空间相结合的 space-time 才是物理实在，时间与空间分别是 space-time 的投影。时间不过是纵向的空间，空间则是横向的时间；空间是静止的时间，时间是运动着的空间，二者实为一体的东西。在物理学中，在任何惯性参考系中观察任意两个事件，其时间的先后次序都具有绝对的意义，space-time 中任意两点间的内禀距离只能是一个旅行者从一点到另一点所花费的固有时间。对于绝对时间与绝对空间而言，事物在空间上的分布规律是其在时间上分布规律的反映，例如宇宙间天体系统的空间分布是其时间演化层次的横向分布，现在空间上的宇宙是历史上宇宙的一个缩影。

现代标准宇宙学理论建立在爱因斯坦引力场方程和罗伯逊—沃克度规的基础上，按宇宙学原理，物质分布均匀和各向同性时，宇宙时空具有最大的对称性。而具有最大对称性的时空结构由罗伯逊—沃克度规描述，其形式为：

$$ds^2 = c^2 dt^2 - R^2(t) \left(\frac{d\bar{r}^2}{1 - \kappa \bar{r}^2} + \bar{r}^2 d\theta^2 + \bar{r}^2 \sin^2 \theta d\phi^2 \right) \quad 【2】$$

式中 $R(t)$ 是尺度因子, κ 是曲率常数, \bar{r} 是共动坐标. 如果尺度因子 $R(t)$ 不随时间而变, 表示的是膨胀速度为零的静态空间. 由于 $g_{00} = 1$, 罗伯逊—沃克度规表示的时空可以定义统一的时间. 事实上罗伯逊—沃克度规中不显含质量, 它代表的仅是一种几何性的四维时空框架. 物质存在对时空结构的影响是通过爱因斯坦引力场方程引入的. 因此我们即可以用罗伯逊—沃克度规来表示运动学意义上的, 没有物质和引力场存在的纯几何的时空结构. 也可以用它来表示有物质和引力场存在时的, 动力学意义上的时空结构.

天文观测的事实表明: 大尺度空间内星系或星系团的分布以及射电源的计数, 大体上是均匀的, 而微波背景辐射的分布, 均匀程度更高. 为什么说所有的空间方向都是平权的? 如果空间之内各个方向彼此不是平权的, 会引发什么现象呢? 整个宇宙绕轴旋转就是一个例子, 在这种情况下, 旋转轴就是一个特殊方向, 它跟其它方向不是平权的. Godel 曾研究过旋转的宇宙, 得出了在这种宇宙中, 测地线可能相交的推论. 这意味着, 从‘现在’可以返回到‘过去’, 从‘现在’也可以提前到达‘将来’; 这将对因果律造成极大的紊乱. 旋转宇宙的问题还有不少, 本博文不打算讨论这个问题. 只是指出, 虽然在引力理论和宇宙学中, 旋转宇宙也可以作为一个课题来进行研究, 但由于它本身的缺点和问题, 多数学者并不采纳这种宇宙.

比较(C1)、(C2)和(N1)、(N2), 可以看出, 以广义相对论为理论基础的宇宙学中的时空对称性同牛顿力学背景时空的对称性都认为所有的空间点都是平权的和所有的空间方向都是平权的. 这就是, 在一定条件下, 可以用牛顿力学来研究宇宙学的理论根源. 比较(C1)和(N1), 还可以看出, 在以广义相对论为理论基础的宇宙学中的时空中, 缺乏所有的瞬时也都是平权的对称性, 正是由于这种缺乏, 使得宇宙时空出现弯曲, 必须用广义相对论来进行研究. 对称性(C1)说明宇宙空间是均匀的, 对称性(C2)说明宇宙空间是各向同性的, 这就是宇宙学原理. 显然, 宇宙学原理并不是毫无根据的人为假定, 它是宇宙对称性的合理推论.

参考文献

- 【1】 Weinberg S. 1972, “Gravitation and Cosmology”, Wiley, New York.
 【2】 刘辽, 赵铮, 广义相对论, 高等教育出版社, 37,308,326 (2004).

5、量子力学中的时空对称性

在量子力学虚时间方向和空间方向一样, 可以增加或减少, 经常使用“将时间变为空间”的问题, 在任何情况下, 我们利用虚的时间和Euclid空间——时间可以认为仅仅是一个计算实空间——时间的答案的数学手段(或技巧), 在计算机技术中也存在这个问题. 对于我们的量子边界, 我们需要四维空间——而不是四维space-time——中的一个三维表面. 因而Stephen Hawking和James Hartle提出: 在量子宇宙学格局中, 通常的时间概念不再适用, 它变成了又一维的空间. 空间的几何学可以用来作为时间的量度. 在量子宇宙学中, 时间是宇宙中的物质成分及其位形的构成物. 在微观理论中, 特别是基本粒子理论中常取自然单位制, 其中把时间与空间的量纲取得相同, 并把质量量纲取为space-time量纲的倒数, 从而只剩下一个量纲, 至于单位的大小, 则取得使 $c=1$ 和约化普朗克常数等于1, 至于具体取什么单位, 则无统一规定, 在基本粒子理论中通常是取得使 μ 介子的质量数值为1. 倪光炯教授在量子力学基础上, 根据空间—时间反演等价于正反粒子变换这一基本对称性, 导出狭义相对论的质能关系式和洛伦兹变换. 从而说明高速粒子质量增大和运动钟变慢等相对论运动学效应有其普适的内禀动力学本质.

由 space-time 量的差别产生的效应, 总可以通过时间量的差别来完成. 反之由时间量的差别产生的效应, 总可以通过空间量的差别来达到. 比如, 光的干涉实验, 当只允许单个光子通过时(此 space-time 间量小), 短时间暴光, 则在底片上只产生几个光斑, 不能形成干涉图样. 若长时间暴光(时间量存在了差别), 则在底片上可产生干涉图样. 如果不增加时间, 只是允许大量光子(空间量存在差别)同时通过小空, 那么短时间暴光, 也得到了光的干涉图样. 后面我们可以看到量子力学中时空平权主要是电磁质量在引力空间——度量空间中运动.

6、时空平权理论

爱因斯坦认为: “如果一个想法在一开始不是荒谬的, 那它就是没有希望的. 在我看来, 现在有许多人——甚至包括科学家——似乎都只是见树不见林. 关于历史与哲学背景的知识, 可以提供给那些大部份正受到当代偏颇(偏向某一方面, 有失公允)观念所左右的科学家们一种不随波逐流的独立性. 这种由哲学的洞察力所

创造的独立性，依我来看，正是一个工匠或专家，与一个真正的真理追寻者之间，最大的区别。”法朗士讲：“最难得的是勇气，是思想的勇气。”

在物理学里，自然单位制 (natural units) 是一种建立于基础物理常数的计量单位制度。例如电荷的自然单位是单位电荷 e 、速度的自然单位是光速 c ，都是基础物理常数。纯自然单位制必定会在其定义中，将某些基础物理常数归一化，即将这些常数的数值规定为整数 1。

自然单位制的主要目标，是将出现于物理定律的代数表达式精致地简化，或者，将一些描述基本粒子属性的物理量归一化。物理学者认为这些物理量应该相当常定。但是，任何物理实验必需操作与完成于物理宇宙内部，所以，很难找到比物理常数更常定的物理量。假设某物理常数是单位制的基本单位或衍生单位，则不能用这单位制来测量这物理常数的数值变化，所以通常只能研究无量纲的物理常数的数值变化，否则必需另外选择一种单位制来研究这物理常数的数值变化，而这另外选择的单位制不能以这物理常数为基本单位或衍生单位^[1]。

自然单位制之所谓“自然”，是因为其定义乃基于自然属性，而不是基于人为操作，普朗克单位制时常会被直接地指称为自然单位制。事实上，很多种单位制都可以称为自然单位制，普朗克单位制只不过是学术界熟知的一种自然单位制。普朗克单位制可以被视为一种独特的单位制，因为这单位制不是基于任何物质或粒子的属性，而是纯粹从自由空间的属性推导出来的。如同其它种单位制，任何自然单位制的基本单位，必会包括长度、质量、时间、温度与电荷的定义与数值。有些物理学者不认为温度是物理常数，因为温度表达为粒子的能量每自由度，这可以以能量（或质量、长度、时间）来表达。虽然如此，几乎每一种自然单位制都会将玻尔兹曼常量归一化： $k_B = 1$ 。这可以简单地视为一种温度定义方法。

在国际单位制内，电量是用一种特别的基本量纲来计量。但在自然单位制内，电量则是以质量、长度、时间的机械单位来表达。这与厘米-克-秒制雷同。

自然单位制又可分为两类，“有理化单位制”与“非理化单位制”。在有理化单位制内，例如，洛伦兹-赫维赛德单位制 (Lorentz-Heaviside units)，麦克斯韦方程组里没有因子 4π ，但是，库仑定律和毕奥-萨伐尔定律的方程里，都含有因子 4π ；而在非理化单位制内，例如，高斯单位制，则完全相反，麦克斯韦方程组里含有因子 4π ，但是，库仑定律和毕奥-萨伐尔定律的方程里，都没有因子 4π 。

自然单位制最常见的定义法是规定某物理常数的数值为 1。例如，很多自然单位制会定义光速 $c = 1$ 。假设速度 v 是光速的一半，则从方程 $v = c/2$ 与 $c = 1$ ，可以得到方程 $v = 1/2$ 。这方程的含意为，采用自然单位制，测量得到的速度 v 的数值为 $1/2$ ，或速度 v 是自然单位制的单位速度的一半。方程 $c = 1$ 可以被代入任意方程。例如爱因斯坦方程 $E = mc^2$ 可以重写为采用自然单位制的 $E = m$ 。这方程的意思为，粒子的静能量，采用自然单位制的能量单位，等于粒子的静质量，采用自然单位制的质量单位。

与国际单位制或其它单位制比较，自然单位制有优点，也有缺点：1、简化方程：借着规定基础物理常数为 1，含有这些常数的方程会显得更为简洁，大多时候会更容易了解。例如，在狭义相对论里，能量与动量的关系式 $E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$ 似乎相当冗长，而 $E^2 = p^2 + m^2$ 显得简单多了。2、物理诠释：自然单位制已经自动具备了量纲分析功能。例如，在普朗克单位制的定义中，已经囊括了量子力学和广义相对论的一些性质。大约在普朗克长度的尺度，量子引力效应绝非凑巧地会开始变得重要。同样地，在设计原子单位制时，已经考虑到电子的质量与电量。因此，描述氢原子电子轨域的玻尔半径理所当然地成为原子单位制的长度单位。3、不需原器：“原器” (prototype) 是一种用来定义单位的真实物体，例如国际千克原器 (International Prototype Kilogram) 是一块存放于法国国际计量局的铂铱合金圆柱体，其质量定义为 1 公斤。依赖原器有很多缺点：不可能实际复制出完全一样的原器，真实物体会遭受腐蚀损坏，核对质量必需亲自到法国跑一趟。自然单位制不需要参照到原器，自然就不会被这些缺点拖累。4、计量精密度较低：当初设计国际单位制时，一个主要目标是能够适用于精密测量。例如，因为这跃迁频率可以用原子钟科技来精密复制，时间单位秒是使用铯原子的原子跃迁频率来定义。自然单位制通常不是基于可以在实验室精密复制的物理量。所以，自然单位制的基本单位所具有的精密位数会低于国际单位制。例如，普朗克单位制所使用的重力常数 G ，在实验室里只能测量至 4 个有效数字。5、意义过于笼统：设想采用普朗克单位制的方程 $a = 10^{10}$ 。假若 a 代表长度，则这方程的含意是 $a = 1.6 \times 10^{-25} m$ ；可是假若 a 代表质量，则这方程的含意是 $a = 220 kg$ 。所以，假若变量 a 缺乏明确定义，则这方程很有可能被误解。明显不同地，采用国际单位制，对于方程 $a = 10^{10}$ ，假若 a 代表长度，则这方程的含意是 $a = 10^{10} m$ ；假若 a 代表质量，则这方程的含意是 $a = 10^{10} kg$ 。从另一个角度来看，物理学者有时候会故意利用到这笼统性质。这时，自然单位制显得特别有用。例如，在狭义相对论里，时间与空间的关系非常密切，假若，能够不区分某变量所代表的是时间还是空间，或者，使用同一个矢量变量就可以一起代表时间与空间，这添加的功能会带给理论学者很大的便利。

注意到在任何单位系统内,为了不致造成定义冲突,只有一小部分的基础物理常数可以被归一化.例如,电子质量 m_e 与质子质量 m_p 不能都被归一化.

基础物理常数	符号	量纲
光速	$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$	L T ⁻¹
磁常数	$\mu_0 = \frac{1}{\epsilon_0 c^2}$	Q ⁻² M L
电常数	$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2}$	Q ² M ⁻¹ L ⁻³ T ²
库仑常数	$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = \frac{\mu_0 c^2}{4\pi}$	Q ⁻² M L ³ T ⁻²
自由空间阻抗 (impedance of free space)	$Z_0 = \mu_0 c = \frac{1}{\epsilon_0 c}$	Q ⁻² M L ² T ⁻¹
重力常数	G	M ⁻¹ L ³ T ⁻²
约化普朗克常数	$\hbar = \frac{h}{2\pi}$	M L ² T ⁻¹
玻尔兹曼常量	k_B	M L ² T ⁻² Θ ⁻¹
基本电荷	e	Q
电子质量	m_e	M
质子质量	m_p	M

只有具有量纲的物理常数才可以被选为基本单位,才可以被归一化.无量纲的物理常数的数值不会因为单位系统的不同而改变.例如,精细结构常数 α 不具有量纲:

$$\alpha \equiv \frac{e^2}{\hbar c (4\pi\epsilon_0)} = \frac{1}{137.035999679} = 7.2973525376 \cdot 10^{-3}$$

由于 α 的数值不等于 1,自然单位制绝不能将 α 的表达式内的四个物理常数 e 、 \hbar 、 c 、 ϵ_0 都归一化.最多只能将其中三个物理常数归一化.剩下的物理常数的数值必需规定为能够使得

$$\alpha = \frac{1}{137.035999679}$$

普朗克单位制是一种独特的自然单位制,因为普朗克单位制不是以任何原器、物体、或甚至基本粒子定义.普朗克单位制只以物理定律的基本结构参数为归一化对向. c 、 G 涉及广义相对论的时空结构, \hbar 捕捉了,在量子力学里,能量与频率之间的关系.这些细节使得普朗克单位制特别有用与常见于量子引力理论或弦理论的研究.

有些学者认为普朗克单位制比其它自然单位制更为自然.例如,有些其它自然单位制使用电子质量为基本单位.但是电子只是许多种已知具有质量的基本粒子之一.这些粒子的质量都不一样.在基础物理学里,并没有任何绝对因素,促使选择电子质量为基本单位,而不选择其它粒子质量.

几何化单位制 (geometrized unit system) 不是一种完全定义或唯一的单位制。在这单位制内, 只规定光速与重力常数为 1。这留出足够空间来规定其它常数, 像玻尔兹曼常量或库仑常数: $k_B = 1$ 、 $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 1$ 。

有人认为尽管相对论中空间和时间是密不可分的, space-time 的类时性或类空性还是绝对的, 但是事件具有虚值时间坐标的空间——时间称为 Euclid 型的, 在 Euclid space-time 图中, 时间方向与空间方向没有不同之处, 空间与时间是一个问题的两个方面。Minkowski 方程反映了 space-time 平权问题, 他认为: “这种对称性在数学上可以用意义很深刻的神秘形式反映相对论的本质 (Minkowski 称为绝对世界的标准)。” 设光速 $c=3\times 10^8\text{m/s}$, 由于光从 A 点到 B 点走 1s 与走 $3\times 10^8\text{m}$ 是一样的, 因此若令光速为 1, 则得 $1\text{s}=3\times 10^8\text{m}$, 光的运动速度为 1。时间用空间的变化来测量, 空间用时间的变化来测量。光年既是时间单位, 也是长度单位。宏观世界里物体的运动速度很小, 仍可用 m/s 表示。这样便将国际基本物理量缩减为 6 个。若将光速定为 1, 则物体的速度称为物体的相对速度, 速度是物体在相对 space-time 中空间与时间的比值。我们称之为 space-time 的平权理论, 它是 space-time 对称的绝对性的表现形式。根据 space-time 平权理论, 四维 space-time 也可以称为四维空间或者四维时间。 $ds^2 = -c^2 dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$ 本身就反应了时空平权理论。明可夫斯基 (Minkowski) 于 1908 年指出, 时间与空间的变化互相补偿, 因此, 这两者的结合, 就是在这新世界里对于所有的观测者也都是是一样的。我们惯于想象的空间, 有长、宽、高三维, 而明可夫斯基指示, 我们必须把时间看做是“时空结合体”里的第四维, 一秒钟相当于 186,000 英里, 即光在这时间内所行的距离。狭义相对论的本质就是时空平权, 爱因斯坦从实证哲学的观点得出狭义相对论的主要成果经常遭到人们的非议原因在此, 他本人也曾经说过相对论的基础必将会得到深化。

笔者认为 $C=1$ 不仅仅是自然单位制的必然, 而且进一步表明 Minkowski 方程的正确性, 相对论与量子力学以及基本粒子理论都说明了 space-time 平权理论的正确。空间和时间本身就是一个数学定义的问题, 将两者合并为一个量, 整个物理学描述体系将发生改变。闵可夫斯基坐标系中 ct 轴也可以用 t 轴表示, 在宏观物体的运动中可以用 vt 轴表示。在数学的几何模型中时间、长度可以视为等价的几何度量, 也反映了时空平权的问题。在精密自然科学中, 一次冒险也不作, 便不会有真正的创新。

人们根据相对论认为空间与时间等价把国际基本物理量减少 1 个, 这早在 20 世纪中就这样规定了, 是用稳定铯原子波长来定义长度的, 世界各地的各种非铯和铯原子钟都要和巴黎的铯原子钟来校对时间长度 (即完成空间长度校对)。因为在相对论时空下, 空间是时间的函数, 从物理学讲它们的自由度是一, 其中一个变量完全可以替代另一个变量。唯物辩证法认为时间是指物质运动和发展过程中先后的顺序和持续性, 空间是指物质存在的广延性、伸张性, 是物体之间的排列角度与排列顺序, 分别是一维、三维的, 具有一定的时代局限性。

有人认为光速等于 1 是自然单位制的结果, 没有深刻的含义, 这不由得想起了爱因斯坦当年认识到惯性质量与引力质量的相等是必然的结果, 进而建立了广义相对论。类似的实例还有很多, 例如虽然在那个决定命运的 1900 年, 普朗克鼓起了最大的勇气做出了量子的革命性假设, 但随后他便为这个离经叛道的思想而深深困扰。在黑体问题上, 普朗克孤注一掷想要得到一个积极的结果, 但最后导出的能量不连续性的图象却使得他大为吃惊和犹豫, 变得畏缩不前起来。如果能量是量子化的, 那么麦克斯韦的理论便首当其冲站在应当受置疑的地位, 这在普朗克看来是不可思议, 不可想象的。事实上, 普朗克从来不把这当做一个问题, 在他看来, 量子的假设并不是一个物理真实, 而纯粹是一个为了方便而引入的假设而已。普朗克压根也没有想到, 自己的理论在历史上将会有着多么大的意义, 当后来的一系列事件把这个意义逐渐揭露给他看时, 他简直都不敢相信自己的眼睛, 并为此惶恐不安。一直要到 1915 年当玻尔模型取得了空前的成功后, 才在普朗克的脑海中扭转过来。

7、时空平权与多普勒效应

著名的哲学家维特根斯坦说: “创造新概念的思维劳作是痛苦的。”利用时空对称性可以判断某些理论是否可行。例如, 宇宙学原理常受到非难, 若放弃宇宙学原理, 仅用广义相对论来研究宇宙又很困难; 那就用牛顿力学来研究吧。可是, 放弃宇宙学原理就相当于否定所有的空间点都是平权的和所有的空间方向都是平权的; 使用牛顿力学, 又相当于肯定所有的空间点都是平权的和所有的空间方向都是平权的; 这岂不是自相矛盾? 这样建立的理论必然要导致不自洽。

观测者与波源之间有相对运动时，观测者测得的波频率与波源发出的波频率不同的现象。这一普遍物理现象是奥地利物理学家 J. C. 多普勒在 1842 年首先发现的。多普勒效应引起的频率变化称为多普勒频移。多普勒频移的大小与媒质、波源和观测者运动的速度有关。

经典多普勒效应在静止的媒质中，如观测者不动，而波源以匀速 v_s 沿与观测者的连线，向观测者运动，观测者测得的波频率为 $f^D = f c_s / (c_s - v_s)$ ，式中 c_s 是媒质中波传播的速度， f 是波源发出的波的频率。这个公式指出，测得的波频率 f^D 与源的波频率 f 不同。多普勒频移为 $\Delta f = f^D - f = f v_s / (c_s - v_s)$ ，即测得的波频率大于源的波频率。如波源沿与观测者连线相反的方向运动时， v_s 为负，即测得的波频率小于源的波频率。如果波源不动，观测者，沿与波源连线以匀速 v_r 向波源运动，测得的波频率为 $f^D = f (c_s + v_r) / c_s$ ，多普勒频移为： $\Delta f = f^D - f = f v_r / c_s$ ，测得的波频率也大于源的波频率。如观测者，沿与波源连线相反的方向运动时， v_r 为负，测得的波频率小于源的波频率。

当媒质、波源和观测者都在运动时，测得的波频率为 $f^D = f (c_s + v_M + v_r) / (c_s + v_M - v_s)$ ，式中 v_M 为媒质沿波源指向观测者的方向运动速度。如果波源或观测者的运动速度不沿着两者的连线方向，则上面各式中的 v_s 和 v_r 分别表示波源和观测者的速度在连线上的投影。

相对论性多普勒效应：在各向同性媒质中，无论什么参照系，电磁波（包括光波）都以确定的波速 c 传播， c 是真空中光速除以媒质的折射率（见狭义相对论）。因此它与声波的多普勒效应（属于经典的）有所不同。主要有以下三个方面。

①对声波，源运动引起的多普勒频移一般与观测者以同样速度运动引起的频移不同；而对电磁波，多普勒频移仅与两者相对运动速度有关，而不论是源还是观测者在运动。

一个电磁波辐射源 S 以速度 v 相对观测者 O 沿与连线 SO 成 θ 角的方向运动，观测者测得的频率为 $f^D = f \sqrt{[1 - (v/c)^2]} / [1 - v \cos \theta / c]$ 式中 f 是源的波频率。

②当波源和观测者运动的方向与两者之间的连线成直角时，声波没有多普勒频移；对于电磁波，由公式可知，是存在多普勒频移的。

③与声波不同，电磁波在媒质中传播时，观测到的波频率不受媒质运动的影响。

日常生活中容易观察到的多普勒效应如鸣着汽笛的火车快速驶过时，路旁的人所听到汽笛的声调，由低变高，然后又由高变低。又例如用光谱仪观测行星的光谱时，因行星与地球间的相对运动，可以看到行星的谱线，因多普勒效应而产生的频移。

多普勒效应有很多应用，如利用多普勒效应制成的流量计，可以测量人体内血管中血液的流速或工矿企业管道中污水或有悬浮物的液体的流速。还可以用多普勒效应测量人造卫星运行的速度和高度等。

笔者认为“多普勒效应”的本质就是时空平权的表现形式（距离的增加相当于时间的延长）：静止的观察者所接收到的发自运动光源的光频率 γ 与该光的固有频率 γ_0 的关系如下：①当光源的速度与观察方向之间的夹角为 90° 度时（横向多普勒效应）：

$r = r_0 \sqrt{1 - \beta^2}$ ，“狭义相对论”理论认为此效应起因于运动光源的振动周期比静止光源增大。②当光源的速度与观察方向之间的夹角为 0° 度（相互远离）或 180° 度（相互

接近）时：第一种情况（红移）： $r = r_0 \sqrt{\frac{1 - \beta}{1 + \beta}}$ 第二种情况（紫移）： $r = r_0 \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}}$ 。

8、space-time 平权的相对性

根据狭义相对论时间空间是不等价的，相对论只是揭示了时空是一个整体，时间和空间有联系。Einstein 的狭义相对论虽然把空间和时间统一起来，但是没有抹杀空间和时间的差别。对于四维 space-time，尽管 space-time 间隔的度规方程是按照空间度规为标准的，但符号的正负不定，是可变的，所以叫做符号不定的度规。狭义相对论的 space-time 就是符号不定的度规的 space-time。史蒂芬·霍金在《果壳中的宇宙》中说道：“我应该说，对于相信额外的维，我本人一直犹豫不决。但是，对于我这样的一名实证主义者而言，‘额外维的确存在吗？’的问题是没有意义的。人们最多只能问：具有额外维的数学模型能很好地描述宇宙吗？我们还没有不用额外维便无法解释的观测。然而，我们在日内瓦的大型强子对撞机存在观察到它们的可能性。但是，使包括我在内的许多人信服的，必须认真地接受具有额外维的理由是，在这些模型之间存在一种所谓对偶性的意外的关系之网。”【1】

时间与空间既是对称的，又是不对称的，这是 space-time 对称性的相对性的表现形式。 $ds^2 = -c^2 dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$ 本身也反映了时空平权的相对性的问题，时间与空间并不完全对称，符号不同。遗传和变异分别是 space-time 对称的绝对性与相对性的表现形式。构成我们世界的 4 维不是完全

对称的。我们都知道时间维和空间维是不一样的，时间只能不断向前，而空间上我们可以向任何一个方向运动。如果它们是完全对称的，我们就可以马上写下我们世界的距离公式： $d^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2$ 。但因为这种不对称性，我们好象不能这么写。考察所有已知的物理实验的结论和事实，似乎暗示我们正确的距离公式应该是： $d^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 - x_4^2$ 。在理性上完全无法解释为什么我们必须生活在一个4维不完全对称的世界中。在现实物理学中，时间与空间是两个完全不同概念的物理度量。如果我们用其中一个量替代另一个量，则从数学角度讲函数关系没有了，函数也就不存在了，从物理学角度讲没有了时间也就不存在空间的概念，同样，没有空间也无所谓时间了，所以它们是不能相互替代的。《自然杂志》19卷4期的‘探索物理学难题的科学意义’的97个悬而未决的难题：9. 为什么时间具有方向性？10. 宇宙时是不均匀时间流吗？

参考文献:

- 【1】 吴忠超译〈果壳中的宇宙〉湖南科学技术出版社2002年8月版54页。

5/6/2017