

Analysis on time and time dilation in special relativity

DaQing Li

China wood luoding cement co. LTD.,Guangdong luoding

Email: ldq921@sohu.com

Abstract

To have a better understanding of time and time dilation in special relativity, the time in any inertial frame of reference is based on the axiom of uniformity, the concept of time dilation has been defined rigorously in this paper, this paper has also discussed the nature of two different times resulting of time dilation, showing that there is no time dilation or contraction in two inertia reference frames of relative motion, which has been further verified according to the relative slowing of time for a light clock. The relativity of time and time interval measurement values has also been discussed in this paper. Finally, after demonstrating that no relative relationship among different inertia reference frames exists in the t-coordinate of the Lorentz Transformation, this paper has made aAnalysis on time and time dilation in special relativity reinterpretation of it.

Keywords

Time, Time Dilation, Light Clock, Relative Slowing of Time, Lorentz Transformation

SubjectAreas Math & Physics**狭义相对论中时间及其相对膨胀概念解析**

李大庆

中材罗定水泥有限公司, 广东 罗定

Email:ldq921@sohu.com

收稿日期: 2018年8月21日; 发布日期: 2018年8月22日

摘要

为理解狭义相对论中时间及其相对膨胀的意义, 在任何惯性参照系中的时间都具有均匀性这一公理基础上, 严格定义了时间的相对膨胀概念, 讨论了发生相对膨胀的两时间之间的性质. 证明了相对运动的两惯性参照系中时间未发生相对膨胀或收缩, 并在所获光子钟相对变慢结论基础上进一步证明相对运动的两惯性参照系中时间未发生相对膨胀或收缩, 讨论了时间及间隔侧量值的相对性; 还证明了t-坐标的洛伦兹变换并非不同惯性参照系中时间之间相对性关系, 并重新诠释其意义。

关键词

时间; 时间的相对膨胀; 光子钟; 时钟的相对变慢; 洛伦兹变换

1. 引言

1905年，爱因斯坦创立了狭义相对论 [1-2-3]（以下简称相对论）。该理论在对同时性概念分析基础上将时间定义为时钟的读数（用“我的钟的短针的位置”来代替“时间”……要点是，我们用静止在静止坐标系中的钟来定义时间…… [4]）。显然，这里所说的“用…钟来定义时间”只能是用钟的短针指示值或读数定义时间）、据此定义将两惯性参照系（即惯性系） K 及 K' 中的参数 t 与 t' 之间的洛伦兹变换（简称 t -坐标的洛伦兹变换）解释为 K 系及 K' 系中时间之间的线性关系 [5]、根据 t -坐标的洛伦兹变换证明了时钟的相对变慢 [6]，并由此推论出时间的相对变慢（膨胀）结论 [7-8]，对此，费曼的解释最具代表性 [9]。如今，相对论已被物理学家广泛接受，但需要特别指出的是，相对论中时间的相对膨胀结论并未经严格论证。其完整推理是：时间是时钟的读数（常被省略），且时钟相对变慢，故时间相对变慢（膨胀）；该推理为三段论，且其大前提“时间是时钟的读数”作为时间的定义是有问题的：因时钟是（存在于比其结构单元—运动着的原子乃至基本粒子—更基本的对象—时间、空间中的）复合结构体 [10]，故（完全由其钟摆或振子的周期性运动决定的）时钟的读数（依次而非同时显现的现象）必须预设时间（即以时间为前提、由时间决定，而非相反。因为假如没有时间，时钟的读数就不可能依次显现而是同时显现或无法显现，或甚至连时钟都不可能存在更没有意义）且意义也非唯一 [11]，所以该定义是循环（即时间=时钟的读数→预设-时间=时钟的读数→预设-时间……）、含混（时钟的读数同时具有时间的流逝及短针在钟面上的空间位置变化两种涵义）定义，而这在数理科学中显然是不允许的，且所有相关科学实验都只验证了时钟的相对变慢而并未（也无法）直接证实时间的相对膨胀 [12-13-14]，因而相对论中关于时间相对膨胀结论的推理其过程不严格、结论不可靠，从而需重新论证，并且其所有与时间有关的数学关系及概念如洛伦兹变换及闵可夫斯基四维时空等在理解上都有问题因而也需要重新诠释。本文假定时间是存在的（否则，各种哲学及自然科学文献中关于时间的讨论将毫无意义，特别是相对论中关于时间相对膨胀的结论也将不加证明而直接无效），对时间概念，本文用 t 表示且只简单说明；而后在此基础上对两惯性系中时间的相对膨胀概念进行定义，并将借助逻辑推理，讨论发生相对膨胀的两时间之间的相对性质；证明相对运动的两惯性系中时间未发生相对膨胀（或收缩），并在光子钟相对变慢基础上证明两相对运动的惯性系中时间未发生相对膨胀（或收缩）—相关科学实验也证明了这一点，还将讨论不同惯性系中时钟对同一时间（或间隔）测量值的相对性；在证明 t -坐标的洛伦兹变换并非两相对运动的惯性系中时间之间线性关系后讨论其意义。

2. 时间的相对膨胀及性质

首先，具有连续性的时间显然是存在于任何参照系中的、可用规定了原点、正方向及单位时长从而每一点都对应于一个时刻 t 而任意两个不同时刻 t_1 、 t_2 之差为时间间隔 Δt ($=t_2-t_1$ ，以下简称间隔) 的时间轴 t 表示的、与牛顿力学及相对论如闵可夫斯基四维时空中的时间维度（通常用时间轴 t 表示）所指对象完全相同的、用于描述物质变化过程的时间性及顺序性的基本物理量 t 。在此，时间 t 、时刻 t 及间隔 Δt 显然是密切关联而又完全不同的概念：时间 t 及间隔 Δt 由时刻 t 构成、时刻 t 及间隔 Δt 无法脱离时间 t 而存在且两者之值一般由时间 t 的单位时长决定。

其次，因狭义相对论所及参照系 K 及 K' 均为惯性系，故 K 系及 K' 系中的时、空结构—四维闵可夫斯基时空—可看作是四维欧几里得空间 [15-16]，换言之，其时间、空间维度具有“平直”性 [17]，即 K 系及 K' 系中的时间（而非时刻） t 及 t' 都必须具有均匀性 [18-19]。而所谓时间的膨胀是指时间（轴）上任意两点均相互远离或任意两时刻之间间隔均增大，因而时间 t' 相对于 t 的膨胀必须且只能是 t' （确切地说 t' 上任意的时间间隔，显然也包括其单位时长）相对于 t 的整体的、各向同性的、按确定倍数的均匀“伸展”，如图 1 所示

(图中, 时间 t 与 t' 间显然有 $t' = t/k$ 及 k 的绝对值大于 1, 并且两者的单位类型相同, 如均为“秒”); “时

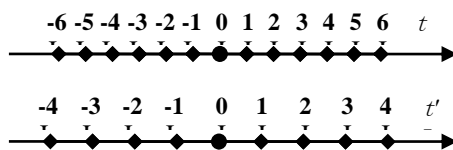


Fig.1 Time t' relative to the expansion of the t

图 1 时间 t' 相对于 t 的膨胀

间 t' 相对于 t 的收缩”情况则恰好相反。而由狭义相对论可知, 时间 t' 与 t 之间只能是线性关系 [20], 且 t' 相对于 t 的膨胀完全由两者之间的线性关系所决定, 由此, 时间的相对膨胀可定义如下:

定义: 一维空间中任意两惯性系 K 及 K' 的时间 t 及 t' 间总有关系 $t' = t/k + bx$ (其中 x 为固定在 K 系中的坐标系 $t-O-x$ 的空间坐标, k 、 b 均为常数, $k \neq 0$; 且时间 t 及 t' 的单位类型相同, 如均为“秒”), 若其 k 、 b 值由客观原因所决定 (以下同), 那么 K' 系中 t' 相对于 K 系中 t 及观者: 当 $|k| > 1$ 则发生膨胀; 当 $|k| = 1$ 则未膨胀收缩; 当 $|k| < 1$ 则发生收缩。

该定义显然可以推广至三维空间的情况。由于定义中常数 k 不会因 bx 的不同取值而发生变化, 故相对于 K 系中 t 及观者而言 t' 的膨胀 (或收缩) 与 bx 无关 (或者与 t 轴及 t' 轴原点的坐标值无关)。因而为讨论 (时间的相对膨胀) 问题的方便, 我们可令 $b=0$ 而不失一般性。该定义显然与相对论中时间的相对膨胀概念所要表达的涵义完全相同, 虽然相对论对其没有明确定义。以下是惯性系 K 与 K' 中时间 t 与 t' 之间关系的公理及性质, 因相关证明很简单, 就不加赘述。

公理: K' 系中时间 t' 相对于 K 系中时间 t 及观者的膨胀 (或收缩) 具 (间接) 可观测性。

性质 1: 时间 t (t') 相对于所在惯性系中时间 t (t') 及观者未膨胀收缩, 即时间的膨胀 (或收缩) 具有相对性。

推论 1.1: K' 系中的时间 t' 相对于 K 系中任意空间位置上的观者都按同一倍数发生膨胀。

性质 2: 若 $t' = t/k$, 则相对于 K 系中时间 t 及观者而言时间 t' 的单位时长 (简称单位) 是时间 t 的单位的 k 倍。

推论 2.1: 相对于 K 系中 t 及观者而言: 若时间 t 的单位为 1, 则时间 t' 的单位为 k , 即时间 t' 的单位随时间 t' 同步膨胀 (或收缩) 至 k 倍; 且 t' 上任意两时刻 t'_1 、 t'_2 之差 (间隔) $\Delta t'$ 也随时间 t' 同步膨胀 (或收缩) 至 k 倍。

推论 2.2: 若 Δt (K 系中观者读取的所在参照系中相对静止的时钟短针的两个读数之差) 及 $\Delta t'$ (K' 系中观者读取的所在参照系中相对静止的时钟短针的两个读数之差) 各为时间 t 及时间 t' 上之间隔, 则 Δt 在时间 t 上之值为 Δt , $\Delta t'$ 在时间 t' 上之值为 $\Delta t' / k$ 。

推论 2.3: 若时间 t' 的单位 (或任意间隔) 按确定倍数发生膨胀, 则时间 t' 也按相同倍数发生膨胀, 前者是后者的充要条件。

性质 3: 若 $t' = t/k$, 且时间 t' 上的 $\Delta t'$ 与时间 t 上的 Δt 时长相等, 则相对于 K 系中时间 t 及观者而言: $\Delta t'$ 在时间 t' 上之值为 Δt 在时间 t 上之值的 $1/k$ 。

性质 4: 若 $t' = t/k$, 且 $\Delta t'$ 在时间 t' 上之值与 Δt 在时间 t 上之值相等, 则相对于 K 系中时间 t 及观者而言: $\Delta t'$ 的时长是 Δt 的时长的 k 倍, 即 $\Delta t' = k\Delta t$ 。

性质 5: 若 $t' = t/k$, 且时间 t' 上的 $\Delta t'$ 与时间 t 上的 Δt 时长相等、 $\Delta t'$ 在时间 t' 上之值与 Δt 在时间 t 上之值也相等, 则相对于 K 系中时间 t 及观者而言: 时间 t' 未膨胀收缩。

性质 6: 若将用时间轴 t 表示的时间沿原点分为左右两部分, 左半部分为时间 T 、右半部分为时间 T' , 则

T' 相对于 T 未膨胀收缩。

性质 7: 将相对于 K 系中观者以速度 V 做匀速直线运动的物体的运动行程分为长度各为 L 及 mL 的 a 、 b 两段, 且物体在行程 a 及 b 中运动时 K 系中时间各为 T 及 T' ; 若该物体完成 a 的位移所需时间 (即经历的时间, 以下同) 为 Δt , 则其完成 b 的位移所需时间为 $m\Delta t$, 即 $L/\Delta t = mL/(m\Delta t) = V$, 且 T' 相对于 K 系中 T 及观者未膨胀收缩。

性质 7 中的时间 t 具有均匀性显然是等式 $L/\Delta t = mL/(m\Delta t) = V$ 成立的充要条件。该性质体现了时间 t 在物体运动过程中的均匀性 (即时间 t 的任何部分相对于其他部分均未膨胀收缩) 及物体匀速直线运动的性质, 是运动学的前提条件。

3.光子钟的相对变慢及原因

在相对论中, 时钟的相对变慢与时间的相对膨胀有密切关系, 因此, 为理解时间的相对膨胀, 我们必须详细讨论时钟的相对变慢及原因。因以下所及光速不变原理及相对性原理 [21-22] 在任何 (狭义) 相对论相关文献中都有论及, 这里就不赘述。下面就分别固定在以速度 V 相对运动的不同惯性系中的结构最简单的时钟—光子钟内光子在两镜面间周期性往返运动的理想实验进行分析。相关分析虽然可借助洛伦兹变换 [23-24] 进行, 但这种分析会掩盖其本质特征, 为直观其意义在此结合图形进行分析。以下所及光子钟由两平行放置、间距为 L 的理想镜面 P 、 Q 及运动方向与镜面垂直且不断被其反射的单个光子和对光子的往返周期进行计数的装置构成, 显然, 光子被镜面反射的过程是不断重复同一路径的理想周期变化过程。

3.1.光子钟的镜面与运动方向平行

将结构尺寸全同的两光子钟分别固定在以速度 V 相对运动的 K 系及 K' 系中, 使两光子钟镜面均与两参照系间相对运动的方向平行, 图 2 为 K' 系中光子钟内光子相对于 K 系中观者的运动情况。

则相对于 K 系中观者: K 系中光子钟内光子从镜 P 到镜 Q 再返回镜 P 的每个周期的行程为 $2L$, 该光子钟的周期为 $T = 2L/C$ (C 为光速)。

图 2 中, 相对于 K 系中观者: K' 系中光子钟内光子从镜 P' 到镜 Q' 的行程为 L' , 因而 K' 系中光子钟

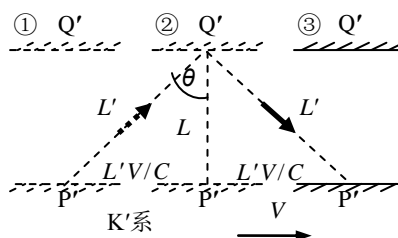


Fig.2 K' of photon minutes photon relative to the K of the movement of the viewer
图 2 K' 系中光子钟内光子相对于 K 系中观者的运动

内光子相对于 K 系中观者的每个周期的行程为

$$2L' = 2L/\sqrt{1-V^2/C^2} \quad (1)$$

由此该光子钟的周期为

$$T' = 2L'/C = T/\sqrt{1-V^2/C^2} \quad (2)$$

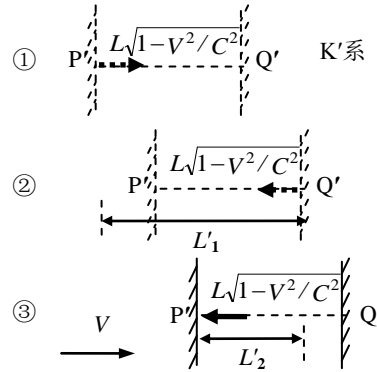
3.2.光子钟镜面与运动方向垂直

将结构尺寸全同的两光子钟分别固定在以速度 V 相对运动的 K 系及 K' 系中, 使两光子钟镜面均与两参照

系间相对运动的方向垂直，图 3 为 K' 系中光子钟内光子相对于 K 系中观者的运动情况。

则相对于 K 系中观者： K 系中光子钟内光子从镜 P 到镜 Q 再返回镜 P 的每个周期的行程为 $2L$ ，该光子钟的周期为 $T = 2L / C$ (C 为光速)。

图 3 中，相对于 K 系中观者而言： K' 系中光子钟的两镜面间距收缩至 $L\sqrt{1 - v^2/c^2}$ (C 为光速)，且 K'



系中光子钟内光子从镜 P' 到镜 Q' 的行程 L_1 及从镜 Q' 返回镜 P' 的行程 L_2 分别为

Fig.3 K' of photon minutes photon relative to the K of the movement of the viewer
图 3 K' 系中光子钟内光子相对于 K 系中观者的运动

$$L_1 = L\sqrt{1 - v^2/c^2} / (1 - v/c) \tag{3}$$

及

$$L_2 = L\sqrt{1 - v^2/c^2} / (1 + v/c) \tag{4}$$

因而 K' 系中光子钟内光子相对于 K 系中观者的每个周期的行程为

$$L_1 + L_2 = 2L / \sqrt{1 - v^2/c^2} \tag{5}$$

由此该光子钟的周期为

$$T' = (L_1 + L_2) / C = T / \sqrt{1 - v^2/c^2} \tag{2a}$$

对分别将结构尺寸全同的两光子钟随意固定在相对运动的惯性系 K 及 K' 中（光子钟镜面与惯性系间相对运动方向的夹角为 θ ， $0^\circ < \theta < 90^\circ$ ）时光子钟内光子在两镜面间周期性往返运动的理想实验，若将 K' 系中光子钟及光子的运动分解为与惯性系间相对运动方向垂直及平行两个方向进行分析，可得与上述理想实验完全相同的结论 [25]，即 K' 系中光子钟的周期及其光子的每个周期行程相对于 K 系中观者的增大与光子钟在 K 系及 K' 系中放置方式无关而具各向同性。因任何相关科学实验中对时钟位置、方向均无特殊规定，故该结论与科学实验要求及相对性原理一致。由以上分析可得

结论 1：将镜面间距为 L 、结构尺寸全同的两光子钟分别固定在以速度 v 相对运动的惯性系 K 及 K' 中，则相对于 K 系中观者而言：因 K 系中光子钟内光子每个周期的行程为 $2L$ ，故该光子钟的周期为 $T = 2L / C$ ；并且因 K' 系中光子钟内光子每个周期的行程为 $2L\sqrt{1 - v^2/c^2}$ ，故该光子钟的周期为 $T' = T / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ ，即 K' 系中的光子钟变慢——在光速不变前提下其唯一原因是该光子钟内光子每个周期的行程按确定倍数的增大（而非时间的膨胀）。

若理想实验 2.1 及 2.2 的 K 系及 K' 系中光子钟用由以平均速度为 U 及每个行程为 $2S$ 周期摆动（或振动）的钟摆（或振子）构成的、周期（ $T = 2S / U$ ）及精度与之相同的普通时钟替代，则由相对性原理， K' 系中的时钟周期 $T' = T / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ 相对于 K 系中观者增大、时钟变慢 [26-27]；而由相对论速度叠加公式可知， K' 系中时钟钟摆（或振子）摆动（或振动）的平均速度相对于 K 系中观者减小（ $< U$ ） [28]，即普通时钟相对

变慢的原因（与光子钟的情况有所不同）是时钟钟摆（或振子）摆动（或振动）的平均速度相对减小（而非由时间的相对膨胀所致），在此不做深入讨论。

4.时间不因时钟相对变慢而发生相对膨胀且其测量值具有相对性

以上对时钟相对变慢现象的分析中显然未涉及到时间及其相对膨胀概念，但由于任意结构的时钟（包括光子钟）都存在于时间中，而时间的相对膨胀（或收缩）必然会对任意的间隔（ Δt 或 $\Delta t'$ ）产生相对影响，故时钟的相对变慢现象显然也要受到时间的相对膨胀（或收缩）的影响，同时据此显然还可以验证时间是否发生相对膨胀，下面就此进行讨论。

4.1.不同惯性系中的时钟相对变慢而时间未发生相对膨胀

性质 8：若分别从以速度 V 相对运动且时间各为 t 及 t' （ $=t/k$ ）的惯性系 K 及 K' 中发射出的光子 A 及 B 相对于所在参照系中观者发生的位移 CD 及 $C'D'$ 均为 L 、所需时间（间隔）各为 $\Delta t = \delta t$ 及 $\Delta t' = \delta t'$ ，且光速不变，则相对于 K 系中观者而言：光子 B 发生的位移 $C'D'$ 若为 mL 、所需时间则为 $\Delta t' = m\delta t$ ，并且 t' 相对于 K 系中 t 及观者未膨胀收缩。

证明：因 $t' = t/k$ ， Δt （光子 A 相对于 K 系中观者发生位移 CD 所需时间）是 t 上之间隔、 $\Delta t'$ （光子 B 相对于 K' 系中观者发生位移 $C'D'$ 所需时间）是 t' 上之间隔，且相对于 K 系中观者而言：光子 B 发生的位移 $C'D'$ 和完成该位移所需时间 $\Delta t'$ 均增大至 m 倍以及（由性质 2 的推论 2.1） $\Delta t'$ 随时间 t' 同步膨胀（或收缩）至 k 倍，则光子 A 及 B 各自完成位移 CD 及 $C'D'$ 所需时间相对于 K 系中 t 及观者分别为 δt 及 $km\delta t$ 。而光速不变，即 $L/\delta t = mL/(km\delta t) = C$ ，故 $k=1$ 、 t' 相对于 K 系中 t 及观者未膨胀收缩。

性质 8 中时间 t' 相对于 K 系中 t 及观者未膨胀收缩显然是等式 $L/\delta t = mL/(m\delta t) = C$ 成立的充要条件。而若将位移 CD 及 $C'D'$ 置于同一直线上并首尾相连，该性质还可由性质 7 获得证明。

令 $m = 1/\sqrt{1-V^2/C^2}$ ，据结论 1，若分别将镜面间距为 L 、结构尺寸全同的两光子钟固定在以速度 V 相对运动且时间各为 t 及 t' （ $=t/k$ ）的参照系 K 及 K' 中，则相对于 K 系中观者而言： K 系中光子钟内光子每个周期行程为 $2L$ ，光子钟的周期 $\Delta t = 2L/C$ ； K' 系中光子钟内光子每个周期行程为 $2L/\sqrt{1-V^2/C^2}$ ，光子钟的周期 $\Delta t' = k\Delta t/\sqrt{1-V^2/C^2}$ ；故若 $\Delta t' > \Delta t/\sqrt{1-V^2/C^2}$ （即 $k > 1$ ），则时间 t' 发生了膨胀；若 $\Delta t' = \Delta t/\sqrt{1-V^2/C^2}$ （即 $k=1$ ），则时间 t' 未膨胀收缩；若 $\Delta t' < \Delta t/\sqrt{1-V^2/C^2}$ （即 $k < 1$ ），则时间 t' 发生了收缩。而

$$\begin{aligned} 2L/\Delta t &= (2L/\sqrt{1-V^2/C^2})/(k\Delta t/\sqrt{1-V^2/C^2}) \\ &= C \quad (6) \end{aligned}$$

故 $k=1$ 、时间 t' 相对于 K 系中观者未膨胀收缩。由此可得以下定理

定理 1：若固定在以速度 V 相对运动且时间各为 t 及 t' （ $=t/k$ ）的惯性系 K 及 K' 中、结构尺寸全同的光子钟的周期分别为 T 及 T' ，因相对于 K 系中观者而言 $T' = T/\sqrt{1-V^2/C^2}$ ，故时间 t' 未膨胀收缩。

可见，相对于 K 系中观者而言，完全因 K' 系中光子钟内光子每个周期行程 $2L/\sqrt{1-V^2/C^2}$ 的增加 [29] 而使得 K' 系中光子钟周期 $T/\sqrt{1-V^2/C^2}$ 按同一比例增大、光子钟变慢现象既非 t' 的膨胀所致也不造成 t' 的膨胀，且 K' 系中光子钟变慢的唯一结果是其计时单位的增大。而正如用时钟较大计时单位“分”代替其较小计时单位“秒”（或用钟摆较长、摆锤每个周期行程较大、周期较长的时钟代替钟摆较短、摆锤每个周期行程较小、周期较短的时钟）来计时未导致时间膨胀一样，用计时单位相对较大的 K' 系中光子钟代替计时单位相对较小的 K 系中光子来计时也不会导致 t' 相对于 K 系中观者发生膨胀。据相对性原理，定理 1 显然可以直接推广至普通时钟的情况，从而时钟的相对变慢并不导致时间的相对膨胀、时钟的读数只能量化而非等同于时间。而根据等效原理 [30]，定理 1 还可推广致广义相对论，因超出本文所限就不讨论。

4.2. 时间未发生相对膨胀的实验验证

K' 系中的时间 t' 相对于 K 系中的时间 t 及观者是否发生膨胀显然无法通过对时间 t' 及 t 的直接观测进行验证, 而必须借助存在于时间中的时钟的相对变慢规律的实验进行间接验证。由定理 1 可知, 时间 t' 是否发生相对膨胀完全可以通过对固定在 K' 系中的时钟相对于 K 系中的观者是否按 $T' = T / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ 的方式变慢的实验观测来验证 (其中 T 及 T' 分别为固定在以速度 v 相对运动的惯性系 K 及 K' 中结构尺寸完全相同的时钟的周期)。而实验物理学家从 1938 年至 1972 年期间共完成了 21 个严格意义上的相关科学实验, “实验中的“时钟”的速度范围很大, 从低速运动到接近光速的极高速运动。时钟的运动轨道有直线、圆周和振动等不同类型。实验所涉及的相互作用包括电磁作用和弱作用 (此外还涉及到引力作用)。”几乎所有实验都在误差范围内 (最高精度达到 0.4%) 证实了 K' 系中的时钟相对于 K 系中的观者按 $T' = T / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ 的方式变慢的结论 [31]。需要特别指出的是, 与我们日常生活息息相关的 GPS 导航系统正是在充分考虑了狭义及广义相对论效应对放置于同步轨道卫星上高精度的原子钟周期的影响所导致的误差基础上对原子钟的计时过程进行修正从而确保其为人类提供高精度的跟踪、定位服务, 也就是说 GPS 导航系统的正常运行每一天都在对“ K' 系中的时钟相对于 K 系中的观者按 $T' = T / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ 的方式变慢的结论”进行高精度的验证 [32]。综上所述, “相对于 K 系中的时间 t 及观者而言 K' 系中的时间 t' 未膨胀收缩”这一结论在误差范围内获得了实验验证。

4.3. 不同惯性系中的时钟对同一时间 (或间隔) 的测量值具有相对性

将结构尺寸全同的两时钟分别放在以速度 v 相对运动的惯性系 K 及 K' 中, 那么相对于 K 系中观者而言: 若 K 系中时钟周期 $T=1$, 则 K' 系中时钟周期 $T' = 1 / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ 。若用 K 系及 K' 系中时钟分别对同一间隔 Δt 进行测量, 则相对于 K 系中观者而言: K 系中时钟所测值为 Δt , K' 系中时钟所测值为 $\Delta t \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ [33], 即对 Δt 的测量值具有相对性, 从而不同惯性系中时钟的测量无法改变 Δt 而只改变其测量值。而若以 K 系及 K' 系中时钟的每个周期为单位分别对 K 系中时间 t 进行标注, 即可获得两个具不同单位的时间轴 t 及 t' 。因 K' 系中时间 t' 相对于 K 系中时间 t 未发生相对膨胀, 故以不同惯性系中时钟周期为单位对时间的标注只改变时间刻度值并未改变时间。

5. 洛伦兹变换意义的再理解

在相对论中, 被认为描述了以速度 v 相对运动的惯性系 K 与 K' 中时间 t 与 t' 间线性关系的 t -坐标的洛伦兹变换 [34] 为

$$t' = (t - vx/c^2) / \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (7)$$

由定理 1 可知, 时间 t' 相对于 K 系中 t 及观者未膨胀收缩, 即时间 t' 与 t 间线性关系 $t' = t/k + bx$ 中 $k=1$, 而 $\sqrt{1 - v^2/c^2} \neq 1$, 故 t -坐标的洛伦兹变换并非时间 t 与 t' 间线性关系, 需重新理解, 下面将进行讨论; 而洛伦兹变换的时-空表述形式—闵科夫斯基四维时空 [35-36-37] 则是虚拟结构, 只有方法论意义。

由位移公式 $S = \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt$, 物体匀速直线运动的位移 $S = v \Delta t$, v —物体运动速度, Δt —物体完成位移 S 所需时间, 图 4 为惯性系 K' 相对于 K 运动时的运动情况。其中 t, t' 为时间坐标, x, x' 为空间坐标, $\Delta t = t_2 - t_1$ 为固定在 K' 系中的坐标系 $t' - O' - x'$ 随 K' 系从固定在 K 系中的坐标系 $t - O - x$ 所在位置运动至图示位置所需时间, $v \Delta t$ 为 K' 系相对于 K 系的位移, 故 K 系及 K' 系间 x -坐标的伽利略变换一般形式为

$$x' = x - v \Delta t \quad (8)$$

令两坐标系原点重合时刻为 0, 则 $t_1=0, t_2=t, \Delta t = t - 0 = t = t, x$ -坐标的伽利略变换为 $x' = x - vt$ (9) 或

$$x' = x - Vt \tag{10}$$

式中 τ 及 t 分别为时间 t 上特殊的间隔及时刻。在此，速度 V 与间隔 τ （或时刻 t ）之积定义明确而与时间 t 之

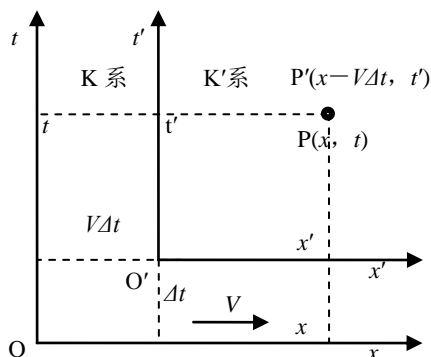


Fig.4 K ' is relative to the K system movement
图 4 K' 系相对于 K 系运动

积没有意义，确切地说间隔 τ （或时刻 t ）之值由 K' 系相对于 K 系的速度及位移量决定，而时间 t 则用可时间轴表示因而其值历遍整个区间（ $-\infty \sim +\infty$ ），但所有相关教材及文献中都将式（10）中时刻 t 等同于时间 t ，这显然违反逻辑学的同一律。

当 $V \ll C$ 时惯性系 K 及 K' 间 x -坐标的洛伦兹变换蜕变为 x -坐标的伽利略变换，故 K 系及 K' 系间 x -坐标的洛伦兹变换一般形式为

$$x' = (x - V\Delta t) / \sqrt{1 - V^2 / C^2} \tag{11}$$

若 K 系及 K' 系中坐标系重合时自 K 系的坐标原点发射一列光波，且经过一个间隔后光波到达空间中 P 点；令 K 系中观者所测光波行程 OP 为 x 、所需时间（即间隔）为 Δt ，则 $x = C\Delta t$ 、 K' 系相对于 K 系的位移为 $V\Delta t$ ；令 K' 系中观者所测光波行程 $O'P$ 为 x' 、所需时间（即间隔）为 $\Delta t'$ ，则 $x' = C\Delta t'$ ；将 $x' = C\Delta t'$ 、 $x = C\Delta t$ 及 $\Delta t = x / C$ 代入式（11），可得一般形式 t -坐标的洛伦兹变换

$$\Delta t' = (\Delta t - Vx / C^2) / \sqrt{1 - V^2 / C^2} \tag{12}$$

令 K 系及 K' 系的坐标原点重合且光波开始传播的时刻为 0 ，则 $\Delta t = t - 0 = \tau = t$ ， $\Delta t' = t' - 0 = \tau' = t'$ ，因而 t -坐标的洛伦兹变换

$$\tau' = (\tau - Vx / C^2) / \sqrt{1 - V^2 / C^2} \tag{13}$$

或

$$t' = (t - Vx / C^2) / \sqrt{1 - V^2 / C^2} \tag{7a}$$

式（13）中 τ 、 τ' 及式（7a）中 t 、 t' 分别为 K 系及 K' 系中的观者使用所在参照系中相对静止的时钟测得的、于 K 系及 K' 系坐标原点重合时自 K 系坐标原点发出的一列光波经一个间隔后到达空间中另一点所需的、完全由该光波的速度及相对行程决定的、（ K 系及 K' 系中时间 t 及 t' 上）特殊的间隔及时刻，仅对正在空间中传播的光波有意义，这里的时刻 t 及 t' 显然分别为 K 系及 K' 系中观者读取的所在参照系中相对静止的时钟的读数。显然，式（7a）中的 t 及 t' 只能是（特殊）时刻而非时间；否则，若假定其为时间，一者因（时间） t 及 t' 分别为 K 系及 K' 系中时钟的读数且由该式可证明 K' 系中时钟相对于 K 系中观者变慢，故 K' 系中时间 t' 相对于 K 系中观者变慢（膨胀）一此即相对论中关于时间相对膨胀结论的证明过程；再者因该式中 $\sqrt{1 - V^2 / C^2} < 1$ ，则由时间相对膨胀的定义，（在任意一个确定的空间坐标 x 上） K' 系中时间 t' 相对于 K 系中观者均按同一倍数收缩，两者显然矛盾，该矛盾是“时间是时钟的读数”这一时间的循环、含混定义的必然结果及具体体现；而由于“时刻”无法脱离“时间”而存在，故必定存在与时刻 t 及 t' 完全不同的（具有整体性

的) 时间 t 及 t' , 且结合洛伦兹变换还可证明 K' 系中时间 t' 相对于 K 系中时间 t 及观者并未膨胀收缩, 故 t -坐标的洛伦兹变换并非如相对论所说是 K 系及 K' 系中时间 t 及 t' 之间(固有)的相对性关系, 相对论的解释是将光波从空间中一点到达另一点的时刻 t 与时间 t 混淆的结果。因洛伦兹变换同样适用于在空间中运动的物体, 故若以上解释中光波用运动物体替代则结论相同。

6. 结论

基于相对论中时间的相对膨胀结论未经严格论证, 本文以时间概念为出发点, 在所有惯性系中的时间都具有均匀性公理、时间的相对膨胀定义、相对性及光速不变原理等基础上给出了①若以速度 V 相对运动的 K 系及 K' 系均为惯性系, 则 K' 系中的时间 t' 相对于 K 系中的时间 t 及观者未膨胀收缩; ②若以速度 V 相对运动的 K 系及 K' 系均为惯性系, 则相对于 K 系中观者而言: K' 系中光子钟的周期若为 K 系中的钟光子钟周期的 $1/\sqrt{1-V^2/C^2}$ 倍, K' 系中的时间 t' 则未膨胀收缩; ③不同惯性系中的时钟对同一时间或间隔的测量值具有相对性; ④ t -坐标的洛伦兹变换并非不同惯性系中时间的相对性关系, 而是不同惯性系中观者所测光波从空间中一点到达另一点所需时间及时刻之间关系等结论。因此, 相对论中与时间有关的所有概念必须重新审视以厘清其含义。从方法论角度, 在相对性及光速不变原理正确前提下狭义相对论的数理体系毋庸置疑, 但若不考虑时间内涵而将其无限推广, 则会造成诸多误解。

致谢

在此谨向成都前锋实业集团股份有限公司的陈涌先生、中央电视台 10 套编导曲新志先生、我尊敬的朋友陶冶先生、同学郭卉敏先生及河南信息工程学校的陈子聪先生的帮助表示最诚挚的谢意。

参考文献(References)

- [1] 【美】阿尔伯特·爱因斯坦.论动体的电动力学[A].【美】约翰·施塔赫尔.爱因斯坦奇迹年-改变物理学面貌的五篇论文[C].范岱年, 许良英译.上海: 上海科技教育出版社, 2001, 81.
- [2] 戴又善, 宋孝同.无需光速不变假设的狭义相对论新推导[J].浙江大学学报(理学版), 2016, 43(2): 247-252.
- [3] 黄志洵.论狭义相对论的理论发展和实验检验[J].中国工程科学, 2003, 5(5): 7-18.
- [4] 【美】阿尔伯特·爱因斯坦.论动体的电动力学[A].【美】约翰·施塔赫尔.爱因斯坦奇迹年-改变物理学面貌的五篇论文[C].范岱年, 许良英译.上海: 上海科技教育出版社, 2001, 99-100.
- [5] 【美】阿尔伯特·爱因斯坦.论动体的电动力学[A].【美】约翰·施塔赫尔.爱因斯坦奇迹年-改变物理学面貌的五篇论文[C].范岱年, 许良英译.上海: 上海科技教育出版社, 2001, 109.
- [6] 【美】阿尔伯特·爱因斯坦.论动体的电动力学[A].【美】约翰·施塔赫尔.爱因斯坦奇迹年-改变物理学面貌的五篇论文[C].范岱年, 许良英译.上海: 上海科技教育出版社, 2001, 108-110.
- [7] 【美】阿尔伯特·爱因斯坦.论动体的电动力学[A].【美】约翰·施塔赫尔.爱因斯坦奇迹年-改变物理学面貌的五篇论文[C].范岱年, 许良英译.上海: 上海科技教育出版社, 2001, 109-110.
- [8] 刘佑昌.狭义相对论及其佯谬[M].北京: 清华大学出版社, 2011, 44.
- [9] 【美】R·P·费曼著.费曼讲物理: 相对论[M].周国荣译.长沙: 湖南科学技术出版社, 2012, 64-68.
- [10] 【美】哈佛·R·布朗和奥利弗·普利.时空度规的起源: 贝尔的“洛伦兹教学法”及其在广义相对论中的重要性[A].【美】克雷格·卡伦德, 尼克·赫盖特.物理与哲学相遇在普朗克尺度[C].李红杰译.长沙: 湖南科学技术出版社, 2013, 265-266.
- [11] 李大庆.论时间及其本质[M].西安: 西安交通大学出版社, 2014, 297-303.
- [12] 张元仲.狭义相对论实验基础[M].北京: 科学出版社, 1979, 59-88.
- [13] 【英】保罗·戴维斯.关于时间-爱因斯坦未完成的革命[M].崔存明译.长春: 吉林人民出版社, 2002, 56-60.
- [14] 金煜(新京报记者)编译.科学家造有史以来最精确钟验证时空扭曲理论[OL].[2010-10-10]. <http://www.sina.com.cn>.

- [15] 【美】阿尔伯特·爱因斯坦.相对论[M].易洪波, 李智谋译.南京: 江苏人民出版社, 2011, 177.
- [16] 闫沐霖.与爱因斯坦宇宙学常数相关的狭义相对论: 评介德西特不变和反德西特不变狭义相对论[J].科学通报, 2017, 62 (12): 1241-1255.
- [17] 张元仲.为什么说狭义相对论是近代物理学的一大支柱[J].物理与工程, 2017, 27 (2): 3-5.
- [18] Л. Д. 朗道 E. M. 栗弗西兹.力学(第五版)[M].李俊峰鞠国兴译校.北京: 高等教育出版社, 2015, 4-5.
- [19] 邓魁英, 楚天广.洛伦兹变换的几何导出[J].力学与实践, 2017, 39 (1): 82-86.
- [20] 【美】阿尔伯特·爱因斯坦.论动体的电动力学[A].【美】约翰·施塔赫尔.爱因斯坦奇迹年-改变物理学面貌的五篇论文[C].范岱年, 许良英译.上海: 上海科技教育出版社, 2016, 89.
- [21] 魏益焕, 崔萧, 李微.洛伦兹变换与二维旋转变换[J].渤海大学学报(自然科学版), 2017, 38 (1): 19-21.
- [22] 邓魁英, 楚天广.洛伦兹变换的几何导出[J].力学与实践, 2017, 39 (1): 82-86.
- [23] 【美】阿尔伯特·爱因斯坦.相对论[M].易洪波, 李智谋译.南京: 江苏人民出版社, 2011, 79.
- [24] 吴大猷.理论物理(第四册)相对论[M].北京: 科学出版社, 2012, 27-28.
- [25] 王金顺.物理学前沿-问题与基础[M].北京: 科学出版社, 2013, 167-168.
- [26] 倪光炯.关于狭义相对论的本质[J].复旦学报(自然科学版), 1996, 35 (3): 325-334.
- [27] 钟季康, 胡盘新.相对论效应对 GPS 的影响[J].大学物理, 2017, 36 (2): 55-57.
- [28] 王爱芬.相对论时钟讨论[J].哈尔滨师范大学自然科学学报, 2005, 21 (2): 33-36.
- [29] 【美】阿尔伯特·爱因斯坦.相对论[M].易洪波, 李智谋译.南京: 江苏人民出版社, 2011, 75-77.
- [30] 赵展岳.相对论引论[M].北京: 清华大学出版社, 2002, 102-103.
- [31] 张元仲.狭义相对论实验基础[M].北京: 科学出版社, 1979, 59-89.
- [32] 钟季康, 胡盘新.相对论效应对 GPS 的影响[J].大学物理, 2017, 36 (2): 55-57.
- [33] 刘佑昌.狭义相对论及其佯谬[M].北京: 清华大学出版社, 2011, 46.
- [34] 张元仲.狭义相对论洛伦兹变换的推导及其他[J].物理与工程, 2016, 26 (3): 3-8.
- [35] 【美】阿尔伯特·爱因斯坦.相对论的意义[M].郝建纲, 刘道军译.上海: 上海科技教育出版社, 2001, 26-28.
- [36] 【美】阿尔伯特·爱因斯坦.相对论[M].易洪波李智谋译.南京: 江苏人民出版社, 2011, 117.
- [37] 邓魁英, 楚天广.洛伦兹变换的几何导出[J].力学与实践, 2017, 39 (1): 82-86.