

发现同时性之相对性

爱因斯坦怎样迈出“关键一步”¹

约翰·诺顿 (John D. Norton)

匹兹堡大学科学史与科学哲学系

www.pitt.edu/~jdnorton

人们通常认为，爱因斯坦发现同时性之相对性，是通过思考如何能够通过光信号来使时钟同步。他1905年狭义相对论的论文就是这样分析的。然而这仅仅是推测。我们没有真实证据表明事实就是这样。在后来的回忆中，爱因斯坦强调了几个思想实验在思考得出最终理论中的重要性。它们包括他的追赶光速的思想实验以及磁体与导体的思想实验，并没有时钟同步的思想实验。我本文的目的是想表明，其他路径导致了同时性之相对性也是相当说得通的。爱因斯坦在好几处地方强调了恒星光行差以及斐索测量运动水中光速的实验，在其发现狭义相对论中的重要性。如果知道如何读懂它们，这些结果可

¹ 本文（有动画）可以在www.pitt.edu/~jdnorton/Goodies上观看。如需更多细节，如文章的参考文献，请参看John D. Norton, "Einstein's Investigations of Galilean Covariant Electrodynamics prior to 1905," *Archive for History of Exact Sciences*, **59** (2004), pp. 45-105; 以及John D. Norton, "Einstein's Special Theory of Relativity and the Problems in the Electrodynamics of Moving Bodies that Led him to it." in *Cambridge Companion to Einstein*, M. Janssen and C. Lehner, eds., Cambridge University Press, forthcoming. 版权：约翰·诺顿，2005年4月9日。2005年4月10日、14日曾有改动，2005年4月21日、11月6日有细微更正。

以看作是相对性的同时性的直接观察结果。爱因斯坦对洛伦兹1895《论运动物体的电学与光学现象之理论》一文的致谢，我会提出爱因斯坦确实知道如何理解它们，而且很有可能正是这些观察首先导致了爱因斯坦得出同时性之相对性。

1. “关键一步”

经过7年多的辛苦工作，爱因斯坦实现了狭义相对论的关键性突破。随后的5至6个星期是用来完成1905年的著名论文“论运动物体的电动力学”（On the Electrodynamics of Moving Bodies）。关键性的突破在于他认识到了同时性之相对性：事件同时性的判断将随着观察者的运动状态而不同。因为反思其重要性，爱因斯坦后来称这一发现为“关键一步”（The Step）。

这一步是新理论的关键。它使得爱因斯坦解决了新理论可能带来的悖论。一个以很快的速度追赶光波的观察者，怎么可能判断光波并没有慢下来？这个快速运动的观察者重构后的同时性判断，抵消了其运动在光速测量中的效应。

爱因斯坦在1905年狭义相对论的论文第一节中给出了同时性分析。通过使用自然规则研究时钟同步的行为，创立了同时性之相对性。这一分析是20世纪科学中最为著名的概念分析，已成为物理学及其它学科的理论研究的典范。

2. 爱因斯坦的时钟同步方法

这是爱因斯坦分析的简化版。我们有两个时钟——时钟A和时钟B——分隔得很远。我们的目的是检查它们是否正好同步。要这么做，我们让两个时钟都在时间读数为0时闪一下光。

一个观察者位于两个时钟中点的，等待光信号的到来。如果信号如图1所示，同时到达，那么相对时钟静止的观察者将判断时钟A与B的闪光是同时事件，两个时钟正好同步。

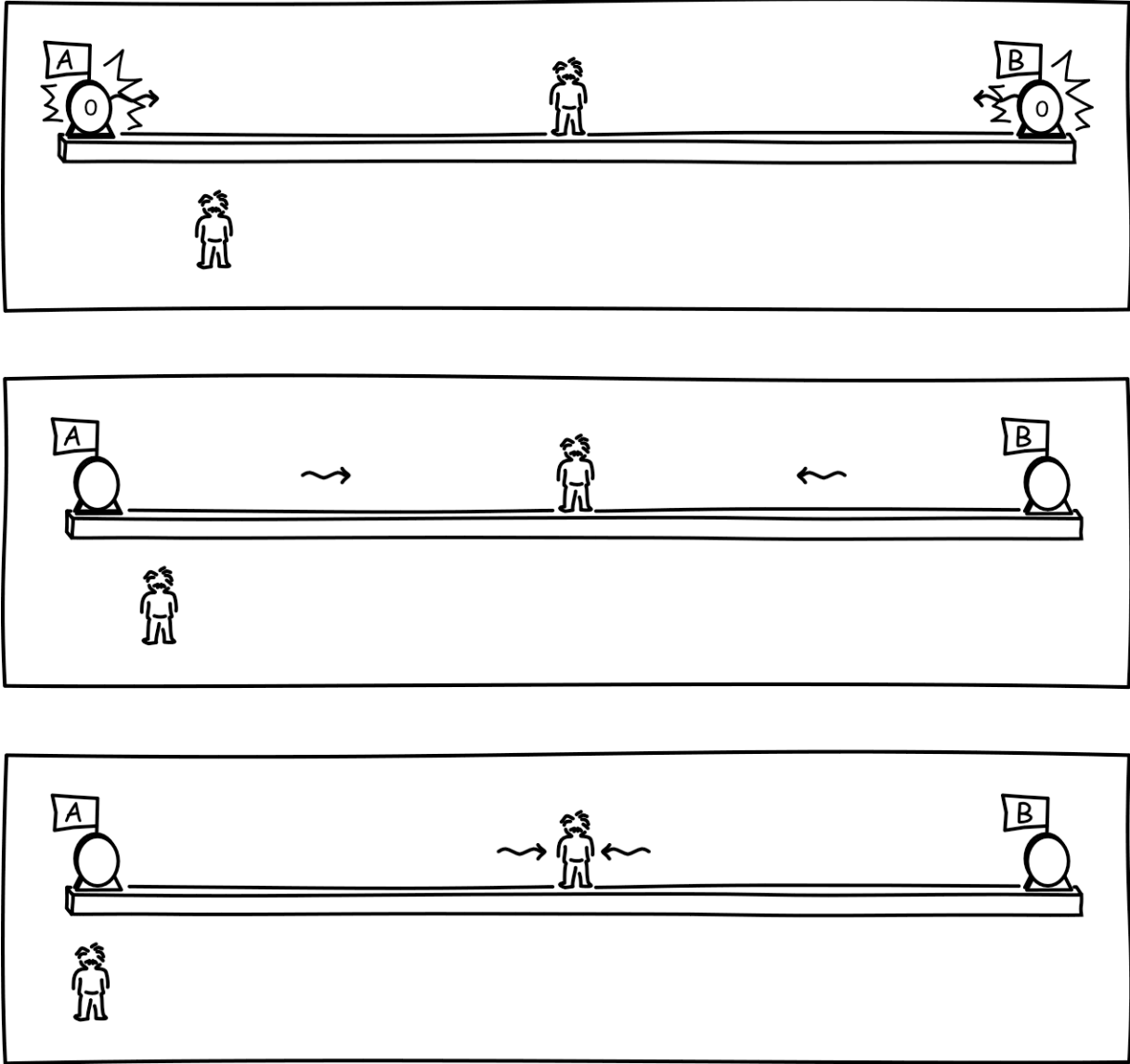


图 1. 静止时钟的同步检查

现在想象一下，有第二个观察者（如图1所示左下角）相对时钟匀速移动。这个观察者将如何判断同步实验呢？在第二个观察者看来，如图2所示，两个时钟与第一个观察者及其承载平台将作为一个整体，向时钟B方向作匀速移动。

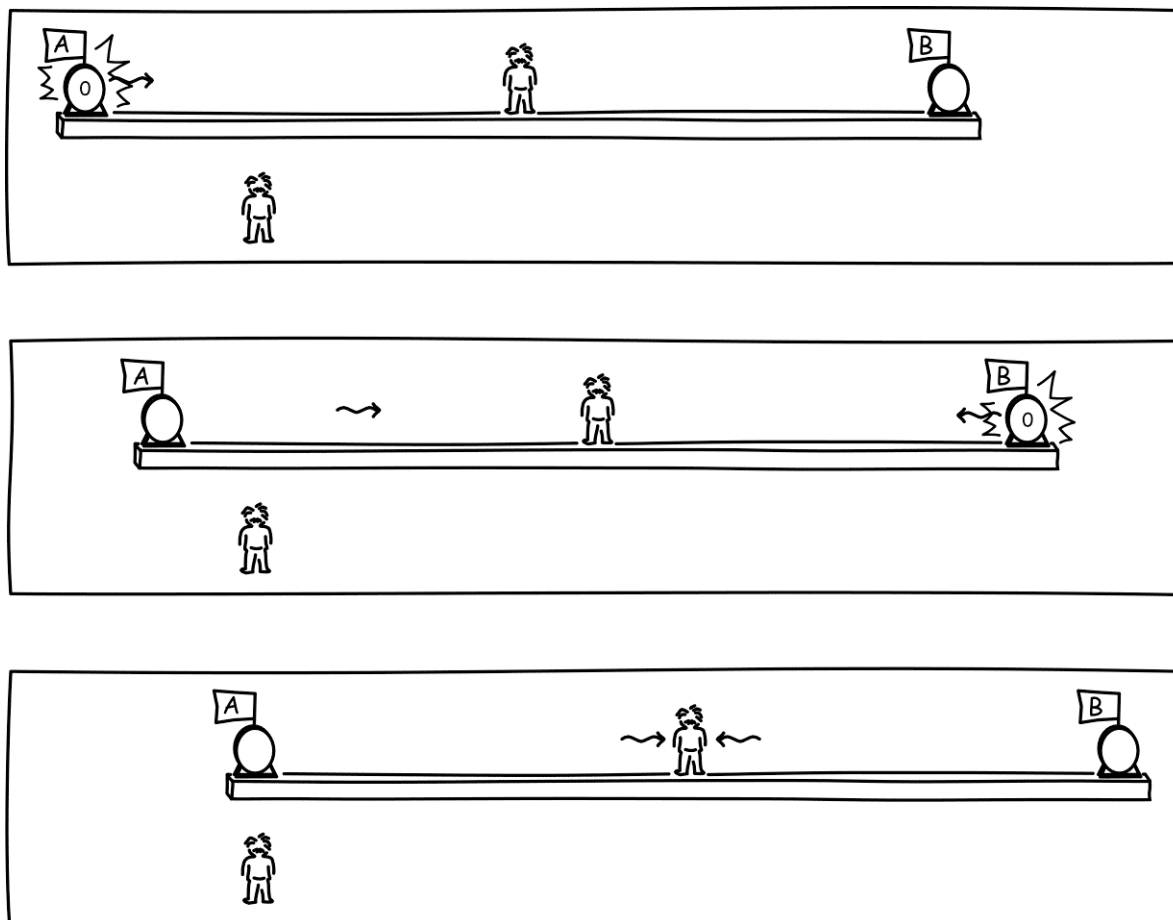


图 2. 运动时钟的同步检查

因此，就第二个观察者而言，时钟A发出的光信号到达平台的中点要通过更长的距离，因为中点在离它而去。而时钟B发出的光信号将通过更短的距离，因为平台中点正朝它靠近。

然而，两个光信号将同时到达移动的中点。这怎么可能呢？时钟A发出的信号要通过更长的距离，因此可能会更快些？我们必须排除这一可能性。狭义相对论是建基于光速恒定的假说之上，认为所有惯性运动的观察者判断光速是一样的。所以对第二个观察者而言（对第一个也是如此），两个信号以同样的速度运行。

要想两个光信号同时到达移动的中点，只能是时钟A的闪光更早发生，这样就可以给时钟A发出的信号更多的时间来通过那段更长的距离；以及时钟B的闪光更晚发生，以便它只要更少的时间来完成到移动中点的距离。

3. 同时性之相对性

在此，我们看到了同时性之相对性。相对于时钟静止的第一个观察者，判断两个闪光是同时的，两个时钟正好同步。第二个观察者判断A的闪光更早，时钟A的设定比B更早。广而言之，事件的时间必须根据由以上方法来同步化的时钟的读数。既然这一方法导致了不同参照系的不同判断，对于两个事件是否同时就不再有绝对的事实。判断可以随参照系而不同。

我们可以立即发现，同时性之相对性消解了悖论。似乎两个观察者都可以判断光以同样的速度传播。要明白为什么会这样，需要回想一下，光的速度必须要测量光信号通过某段距离所用的时间。这些测量是由起点与终点的时钟来完成的，时钟的同步是必不可少的。

如果两个测量的观察者使用的是不同的同步时钟，他们的结果如何比较，就不再那么清楚了。实际上，他们可能采用不同的协定来同步其时钟，二者都是仔细选定，以确保两个观察者测量的光速相等。只有很少的回顾表明，爱因斯坦同步时钟的方法就是这样的协定。实际上它是对同步时钟的规定，以确保所有观察者得到同样的光速。²

² 有人要问，就算这样，这是否意味着爱因斯坦的光速假说只是同步时钟协定所要求的约定？即光速假说是否并不含有事实陈述？不是这样。定义通常预设了一定的事实条件，这些条件可能并非任意的。例如，我们可能定义宇宙的年龄为大爆炸后所经的时间。但这假定了大爆炸的存在。同样的，爱因斯坦对同时性的定义建基于非任意的事实假定。它假定了无论时钟A和B的速度是多少，同步方法总是可以应用的。实际上它违反了相对性原理。因为如果它不适用，我们将会分出一些特别的运动，即在这些运动中爱因斯坦定义是可以适用的。定义可应用于所有匀速运动的时钟，意味着这些时钟不能快过光速。因为如果一旦如此，时钟发出的光信号将不能用爱因斯坦的定义来同步时钟。这一定义的事实预设已然表明我们是在经典[力学]领域之外了，因为在经典领域时空的属性并不排除理想化的时

4. 一项应用：横向运动中的旋转物体

同时性之相对性贯穿整个狭义相对论。它可以导致任何需要同步时钟来测量的量发生让人意想不到的变化。最为熟悉的例子是运动物体的长度，因为长度是由物体在某一时刻的两端距离给出的。

一个不那么熟悉的例子是运动物体的定向。我们会看到，如果观察者在某个方向改变其运动状态，朝该方向横向移动的物体会发生旋转。

图3表明，一根垂直运动的杆，通过标着1、2、3的水平线？？这根杆的方向与这些线平行。其方向判断包括了同时性判断。因为它等于是说杆的两端在同一时刻通过了每条水平线。因此每一端通过标着“1”的线时，两端的同步时钟都读的是时间“1”。

钟可以超出光束。当然，爱因斯坦的定义可以用于经典语境，如果光符合这样的传播理论：光发射体的速度矢量叠加到光速上。在这一情况下，爱因斯坦的定义又回到了经典理论的绝对同时性。但这一传播理论在狭义相对论中是禁止的，因为光速假说表明了光的速度是独立于其发射体的。这一部分的光速假说是独立于任何同时性判断的。要理解这一独立性，想象一个静止发射源与一个移动发射源，当它们向一个方向发出闪光时，每时每刻都是重合的。这一部分的光速假说蕴含了闪光在其传播中保持重合。我们不需要同时性判断，就可以确定这一重合。为了完备，我要特别指出，我撇开了关于同时性的约定性的讨论中产生的问题。我只预设，同步规则将在空间中对称地适用。

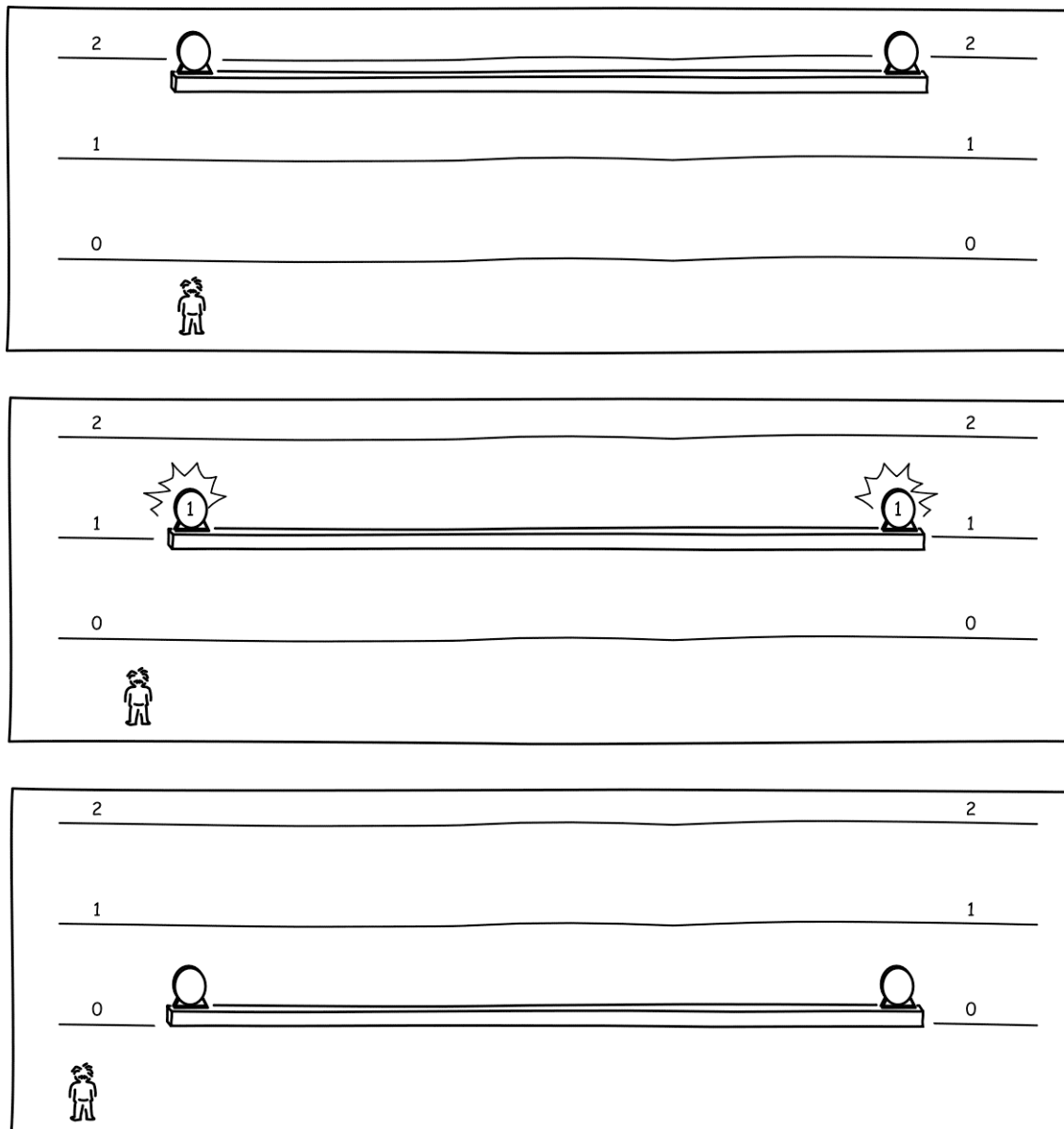


图3. 一根杆朝着观察者横向移动

现在设想，由水平运动的观察者来判断图3所示的同样运动。这个观察者将不再判断杆两端的时钟是正好同步的。实际上根据前面的分析，我们知道观察者将判断左端的钟（对应的是前面的时钟A）被设定成比右端的钟更早。

因此，观察者会判断杆的左端通过线1的时间比右端通过的时间更早。结果是水平移动的观察者会认为杆被轻微转动了，如图4所示。

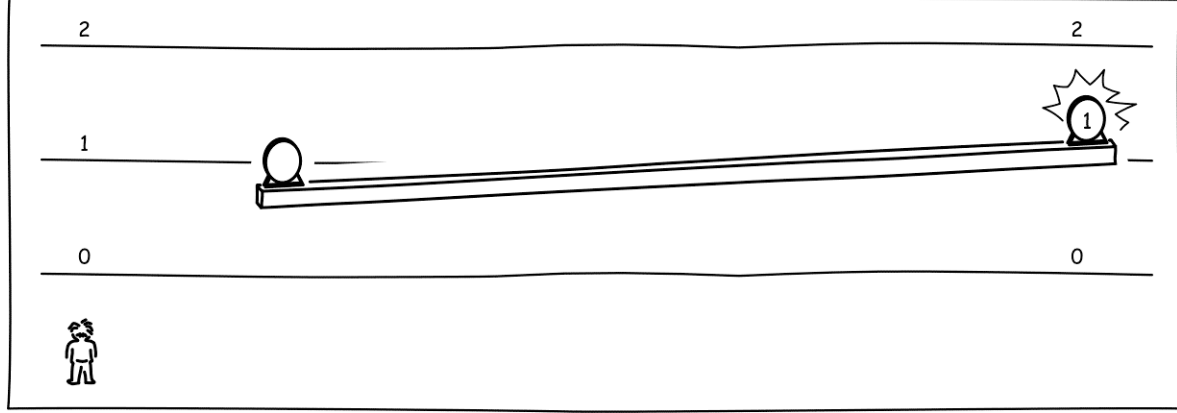
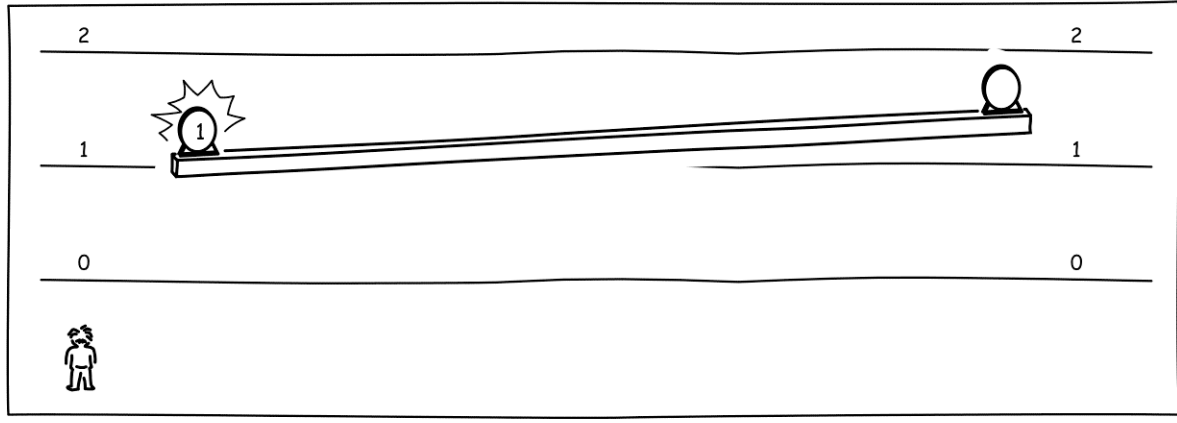
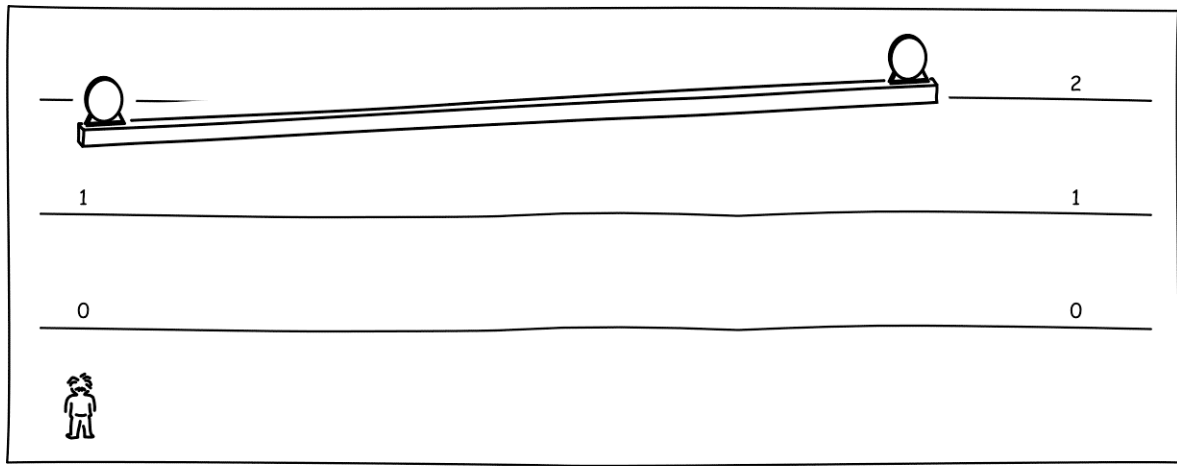


图 4. 观察者判断杆被转动

这一转动是同时性之相对性的直接结果，它表现了同时性之相对性。这个例子表明了两端配钟的杆所发生的效应。导致这一效应的论证是很有普遍性的，可以适用于任何其它垂直运动的物体，包括传播中的波前。我们将很快看到这一事实的重要性。

5. 恒星光行差的规则

我将论证，爱因斯坦可能是在他认识到有两个实验结果都是同时性之相对性的直接观察显现时，忽然想到了同时性之相对性。它们是斐索（Hippolyte Louis Fizeau）[译者注：法国物理学家（1819-1896）]对运动水中的光速测量以及恒星光行差。在此我将只展开恒星光行差的例子。我认为斐索测量也可以作类似的展开，但我在此不会描述它，因为它很难像恒星光行差这样表示成简单的图示形式。

恒星光行差是布拉德利（James Bradley）[译者注：英国天文学家（1693-1762）]在1728年发现的，当时他发现伴随着地球围绕太阳的运行，遥远恒星的视位置会有所改变。

计算光行差的方法很简单。只要把光相对于恒星的速度矢量叠加到恒星相对于地球的速度上。得到的矢量方向就是我们在地球上测得的星光的视方向。“光行差角度”就是恒星的真正角度位置与视角度位置之差。图5表明了使用这一规则得到光行差角度最大的情形：地球移动的方向与星光方向垂直。

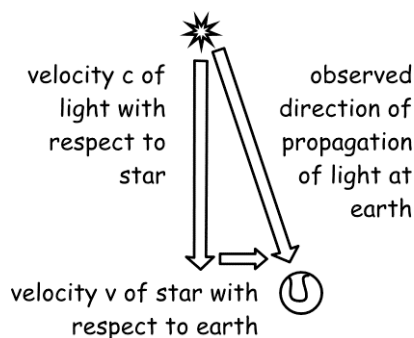


图 5. 计算恒星光行差的规则

在这一情形中，如果地球的速度是 v 而光速是 c ，显然可以从图5立刻得出光行差的角度是 v/c 弧度，在此对这一结果很重要是 v 比 c 小很多。

既然规则中提到的所有速度都是相对速度，[光行差计算]规则符合相对性原理。如果我们在牛顿的光的微粒说工作的，这并不稀奇。我们只要把光看作是牛顿力学中的微粒，这一效应是完全熟悉的。就像汽车司机在垂直下落的雨中驾驶时所经历的，汽车运动的效应使得从汽车司机的视野看，雨水像是直接打向挡风玻璃。实际上，雨水的偏差角度也可以用上述规则计算。

6. 波动理论中的恒星光行差

上述恒星光行差[计算]规则符合相对性原理。如果我们把光看成牛顿[光学]的小微粒，这似乎可行。但如果我们是在光的波动学说（如光的麦克斯韦电磁理论）的语境下分析恒星光行差，那又会怎样呢？该理论发展于19世纪，建基于静止以太[概念]，光相对于以太的传播速度为 c 。这一效应还会发生吗？它还会符合相对性原理吗？

让我们以一个简单情形作为开始。如果恒星在以太中静止而地球是运动的，那么我们通过图6所描述的广为人知的分析，来再现光行差效应。它选取的是恒星位置垂直于地球运动方向的情形。如果望远镜是直接指向恒星的，进入望远镜的星光将不能够完全通过望远镜。

因为望远镜的管身是向垂直于光线传播的方向移动的，望远镜的长管壁会进入到光的路径，使它不能到达人的眼睛。

要让光线可能进入人眼的权宜之计，是把望远镜歪向地球运动的方向。那么如图6所示，长管壁不再阻挡光线，因为望远镜沿光传播方向作横向运动。星光传播到人的眼睛。

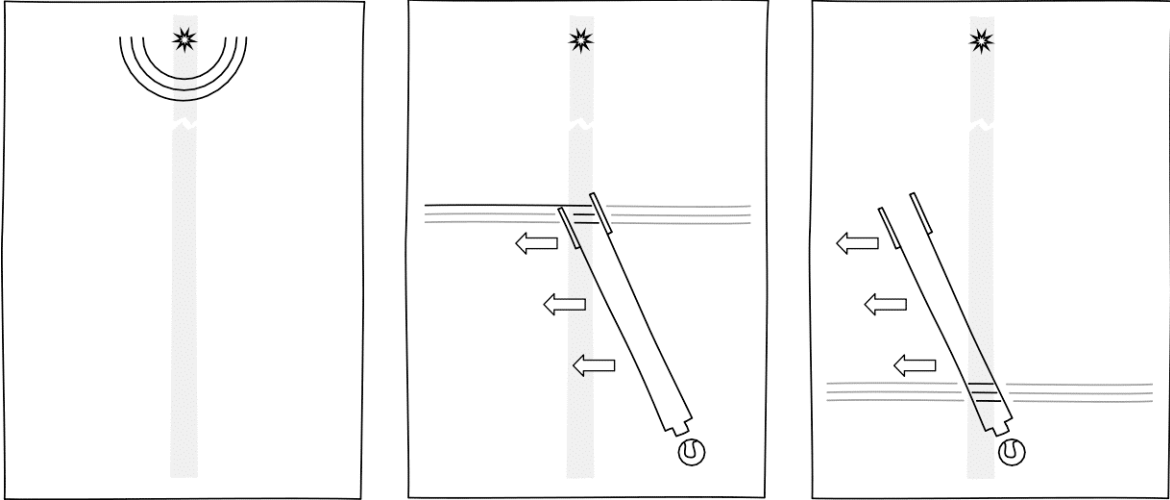


图6. 恒星静止地球运动情形下的恒星光行差

一个熟悉的类比是在垂直降雨中跑动的人，拿着一个高的、向上开口的帽子来盛雨。如果要让雨水通过帽子开口弄湿帽子底部，帽子必须是歪斜的。结果是上述计算光行差角度的规则给出的角度，正是望远镜必须倾斜的角度，以便让星光通过进入人眼。

注意，恒星距离地球非常遥远——这在图6中无法直接显示。当星光离开恒星时，它是个扩展的球面波。当它到达地球的时候，我们可以把到达望远镜的这样一小段球面波等效为水平的平面波。

7. 相对性原理的失效

我们会很快发现，这一光行差的具体观点并不符合相对性原理。而且我们也不该这样期待，因为这一观点来自于依赖静止以太的理论。要发现这一失效，我们只需要把视角从遥远的恒星转向地球。因此我们现在把地球当成静止的，恒星在运动。

牛顿物理学的基本原理告诉我们如何转换视角。地球将静止，而行星将以相反的方向移动。而最重要的是，垂直传播的波前仍将垂直传播。其结果是如图7所示，望远镜现在指向是与光通过整个望远镜管所不同的方向。要让星光通过，望远镜管必须直接指向恒星的实际位置。

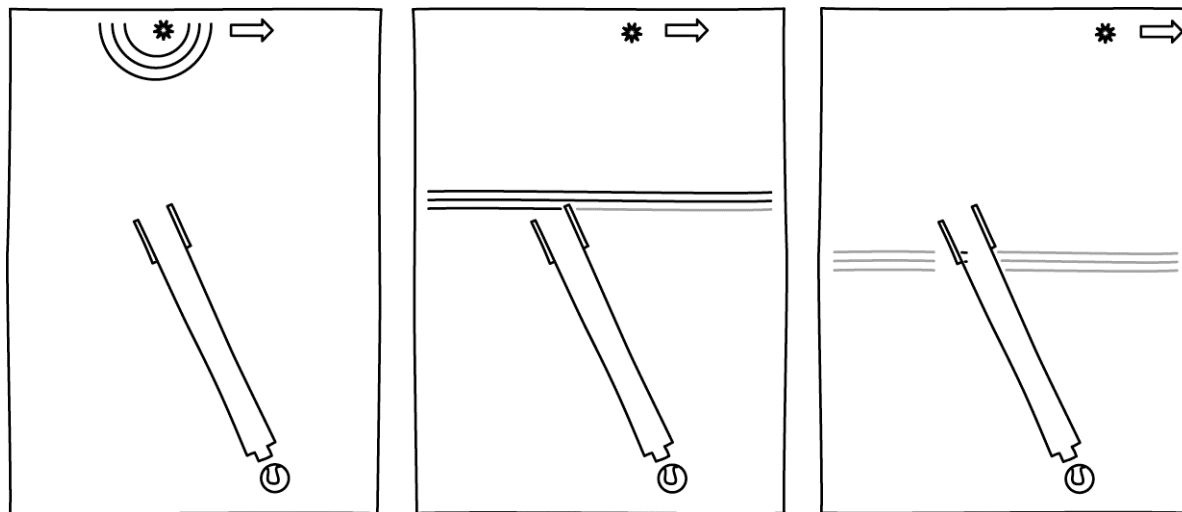


图 7. 如果地球静止就没有恒星光行差？

有人可能试图得出结论：恒星光行差给了我们一个简单的方法来决定我们在麦克斯韦光的电磁理论的以太中是静止的还是运动的。如果我们是在运动的地球上，就会有恒星光行差。如果我们所在的地球在以太中静止，就没有。光行差分析并未表明这一结论。它只是表明，麦克斯韦理论只能正确适用于一个参照系统——以太参照系统。不像牛顿力学，它不能同样好地应用于所有惯性参照系。因此根据麦克斯韦电动力学，如果行星在以太中运动而地球静止，将会怎样呢？

8. 洛伦兹1895的论文 及其对应态定理

洛伦兹 (H. A. Lorentz) [译者注：荷兰物理学家 (1853—1928)] 1895年的著名论文《论运动物体的电学与光学现象之理论》[译者注：德文全名为 *Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern*] 的一项伟大成就，是回答了上一问题。他表明恒星光行差会在麦克斯韦理论中出现，而且按某种方式相对性，至少就我们关心的所有可观察量而言。他强调，麦克斯韦理论确实依赖于优先选取的静止态以太。但恒星光行星中所观察到的东西不能揭示其静止态。

为了证明这一普遍结论，至少就恒星光行差的情形，洛伦兹 考虑了第二种情形。他设想地球在以太中静止，恒星运动，而其它都一样。他发现，对于这一情形，麦克斯韦电动力学预测到的效应与地球在以太中运动而恒星静止完全一样。在两种情形中，如果 v 比 c 小很多，光行差的角度仍是如前所述的 v/c 弧度。总之，麦克斯韦关于光的电动力学理论依赖于优先选取的静止态以太，因此违反了相对性原理。但就所关注的恒星光行差的观察而言，优先选取的静止态是看不出来的。无论是恒星或地球被设定在以太中静止，得到的是同样的可观察光行差角度。

在此，饶有趣味的不仅是这一结果，而在于它是如何计算得出的。洛伦兹克服地球在以太中静止而运动恒星发光这一系统的难题，并且得到了其麦克斯韦方程的解。但这是一个冗长的、艰苦的计算。洛伦兹提出了一个很巧妙的数学工具——他的对应态定理——使得他以最小的努力就得到了结论。

这一定理之所以做到这点，是因为它使得洛伦兹得到麦克斯韦方程的一个现有的解，并且通过采用一些简单的变换规则从它生成新的解。这些规则看起来像是把原始系统设为匀速运动的规则。然而，设定为运动的系统是以较奇怪的方式有所变形。这些变形必须被接受，因为如果导出的结果要能成为麦克斯韦方程的解，它们是必须的。洛伦兹在此采用了如前

所述的发射光的恒星在以太中静止而地球运动的原始情形。把它以适当的方法设定为作为整体运动，他生成了有轻微变化的新解，其中恒星在以太中运动而地球静止。

理论的关键是变换方程，洛伦兹把它应用到已知的解上，生成新的解。如前所述，这些变换可以使他转换恒星与地球在以太中的运动与静止。（那些已经了解这个故事会知道，这一变换现在被称为地球速度为 v 的“洛伦兹变换”。）但变换的是什么呢？最重要的是与洛伦兹的“局域时间”概念相联系的。根据这一概念，通过把在不同时间的旧解组合成在同一时间的新解，旧解就生成了新解。对于 v 比 c 小很多的情形，新解中 t 时刻的状态是由 $t - (v/c^2)x$ 时的状态组合而来，其中 x 是变换方向的空间坐标。

这一变换的效应是定时过程中发生位错。以传播中的平面波为例，与传播方向有横向速度的波会有波前转动的效应。对于 v 远小于 c ，转动的角度正好是 v/c 弧度。这一效应给出的光行差角度为 v/c 弧度，如图8所示。

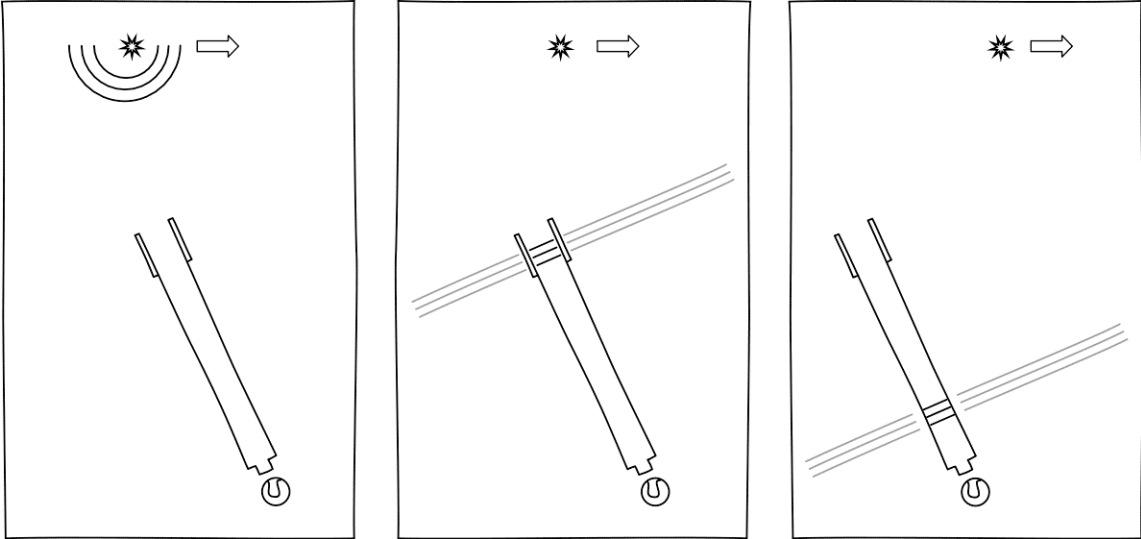


图 8. 地球在以太中静止的恒星光行差

9. 爱因斯坦对洛伦兹论文的早期了解

洛伦兹与爱因斯坦的工作显然是很相似的。洛伦兹的“局域时间”很像爱因斯坦的“同时性之相对性”。它们实际上使用的是同样的公式。它们都会使得移动物体的横向变换产生转动。然而，二者的物理解释很不一样。对爱因斯坦而言，同时性之相对性预示了未被认识的关于时间的物理事实。对洛伦兹而言，“局域时间”只不过是很好地解决了麦克斯韦方程寻找新解的计算问题的数学工具。

主要的问题是这些：爱因斯坦是否知道洛伦兹的分析？这一知识是否在其发现同时性之相对性中有重要作用？我们可以对第一个问题给出肯定的回答。爱因斯坦在很多地方都说他在发现狭义相对论之前读过洛伦兹的论文。他也特别回想了斐索实验与恒星光行差的重要性。他写道：

“……洛伦兹1895年的方法打破了电动力学对移动物体的研究，这是我在建立狭义相对论之前就知道的……我通往狭义相对论的直接路径，主要是确信磁场中的运动导体感应的电动力只不过是电场。但是斐索实验与光行差现象也启示了我。”³

“……最影响他的实验结果是恒星光行差的观察与斐索对运动水中的光速测量……”⁴

“爱因斯坦教授自己提出的一个很强的声明，他受斐索关于运动水中的光速效应的实验以及天文光行差（尤其是艾里[译者注：George Biddell Airy (1801

³ Einstein, 1952, *In Memory of Albert A. Michelson...* Document with Control Number 1 168, Einstein Archive. (Henceforth “EA 1 168”.)

⁴ Einstein reported by R. S. Shankland, “Conversations with Einstein,” *American Journal of Physics*, **31** (1963), pp. 47-57; **41**(1973), pp. 895-901; on p. 47.

- 1892), 英国天文学家]用注水望远镜的观察)的影响, 要比迈克尔逊 - 莫雷实验 (Michelson-Morley experiment) 大得多。”⁵

“……我有机会阅读了洛伦兹1895年的专题论文。洛伦兹在文中处理了电动力学的问题, 能够以一级近似完全解决它们。……

……然后我处理了斐索实验, 试图用洛伦兹给出的电子方程假说来进行, 这一假说在与其在运动物体参照系统中, 与在固定真空中一样成立……

……为什么这二者[光速恒定与经典速度叠加]彼此之前并不一致呢? 我感到正面临一个极为困难的问题。我怀疑洛伦兹的想法必须有所修正, 但花了几乎一年时间却没什么收获。我感到这是个不容易解决的谜。”⁶

10. 爱因斯坦可能如何使用这一知识

洛伦兹与爱因斯坦在反思光行差时, 都同样考虑了两种情形, 如图9所示。

⁵ Einstein as reported by Shankland, *op. cit.*, p. 897.

⁶ 选自1922年12月14日在京都的讲演。笔记是Jun Ishiwara用日文做的, 这里的翻译参考了不同的出版译本。

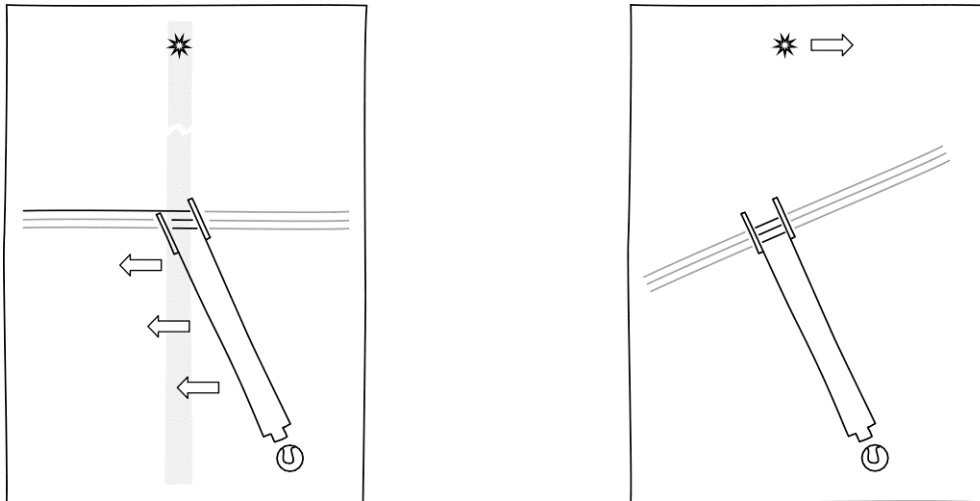


图 9. 两种情形：恒星静止地球运动；恒星运动地球静止

对洛伦兹而言，这是两种很不同的情形。“静止”意味着“在以太中静止”。因此在什么绝对静止什么绝对运动的基本事实上，这两种情形有所不同。Note

对爱因斯坦而言，他在1905年之前就相信相对性原理是正确的。他不相信有洛伦兹坚信用来区分两种情形的所谓绝对运动。所谓“静止”只不过是表明这是我们选来描述过程的参照系而已。对他而言，这两种情形完全是同样的物理系统，只不过是在不同的参照系中观看。

因此爱因斯坦把两种情形的变化，看成只不过是参照系变化的结果而已。我们从一个恒星在其中静止的参照系，换到另一个恒星运动的参照系。变化的一个结果是原本运动的地球现在是静止的了。

另一个变化也与参照系变化相关：传播中的平面波的波前被转动了。这只不过是参照系变化的人为结果。但是参照系的变化怎么会带来这种转动呢？我们已从第4节的运动杆的例子看到，这一效应是同时性之相对性的表现。洛伦兹的分析已给出了这一效应的数学描述。我们通过系统在老参照系中的情况，得到新参照系中的结果。但对于 v 比 c 小很多的情形，我们根据洛伦兹规则 $t' = t - (v/c^2) x$ ，在不同地方得到不同的时间。

这不是洛伦兹的理解方法。但这是爱因斯坦必须采取的方式，如果他坚持相对性原理。因为这两种情形并没有事实性的差别。任何差异必须是选择参照系所造成的人为结果。因此两种情形只是展现了关于时间的一个新的事实：同时性判断随描述所采用的参照系而不同。而洛伦兹规则就是相对运动的两个参照系的时间变换规则。

11. 结论：爱因斯坦怎样发现同时性之相对性？

这是一个极具魅力的问题，因为这一发现标志着爱因斯坦结束了七年以上的关于电动力学难题以及光的困惑，走向了时空的新理论。我们长期以来一直以为这一发现是按照1905年狭义相对论论文的同一路线：即爱因斯坦是通过对时钟的思考，以及它们如何可以通过光信号来同步，从而发现它的。

然而我们没有这一公认观点的直接证据。爱因斯坦从未说过这就是他如何发现同时性之相对性的。不幸的是，他关于发现狭义相对论背景的回忆并没有给出足够的细节，让我们确切知道他是如何做到的。然而，就我们掌握很少的回忆，令人吃惊的是它们并不和使用光信号——光的短脉冲——来设定时钟或甚至其它装置相一致。毋宁说，它们与电磁理论中的问题相匹配。而且如果光确实进入它们，它的进入方式正是电磁理论处理的方式，即传播的波前。

因此我们必须考虑这一可能性：爱因斯坦是通过其它途径发现了同时性之相对性，而1905年狭义相对论论文中的表达与描述是后来发现的。我的猜想是爱因斯坦的发现实际上是在考察斐索实验与洛伦兹论文语境中的恒星光行差中产生的。我不能向你保证事实就是如此。但我能向你确定，就我们从已有的残缺证据，这一切都符合得非常好。

我们知道爱因斯坦在发现[同时性之相对性]之前是把光当作传播波前处理的。在前面提出的两种情形的分析中，光的进入方式都是传播波前。我们知道爱因斯坦阅读了洛伦兹1895

年论文，而且他仔细考虑了那两个实验。论点是：爱因斯坦确信相对性原理，将必须以一种相当特别的方式来重新解释洛伦兹的工作——同时性之相对性相当直接地表现在恒星光行星的传播波前转动。虽然我在此没有综述细节，但是一个简短的代数分析表明，同时性之相对性同样清楚在表现在斐索测量运动水中光速的实验结果之中。我要提出的是，经过大量辛苦工作，爱因斯坦最终看到这一表现，因此发现了同时性之相对性。

所有这些都很好地符合前面所引爱因斯坦在京都讲演中的说法：“我怀疑洛伦兹的想法必须有所修正……”；也符合爱因斯坦1907年关于狭义相对论的文笔简练而人所熟知的描述：“人们只需认识到洛伦兹引入的辅助量，以及他所定义的‘局域时间’就是‘时间’。”

最后还有一项考虑使得上述建议很有吸引力。对洛伦兹而言，局域时间的引入最终是由麦克斯韦电动力学提供理据的。它的使用取决于他的对应态定理，其证明需要麦克斯韦理论文的全部内容。因此洛伦兹的推理过程如下：

| | | | | |
|----------|----|------------|----|---------------------|
| 麦克斯韦电动力学 | 得出 | 对应态定理，局域时间 | 得出 | 恒星光行差的可观察偏转符合相对性原理。 |
|----------|----|------------|----|---------------------|

而爱因斯坦的分析是以相反方向时展的，是从实验结果开始的：

| | | |
|---------------|----|-----------|
| 恒星光行差符合相对性原理。 | 得出 | 局域时间就是时间。 |
|---------------|----|-----------|

即洛伦兹的分析是依赖于麦克斯韦电动力学理论这预设。而爱因斯坦的重新分析却不用。他只需要预设相对性原理成立，并且把它与已知的实验——恒星光行差与斐索实验——结合起来，就可以得出同时性之相对性。这一决定性的结果是从实验或观察结果直接得出的。这当然使得这一结果很有说服力，因为它没有麦克斯韦电动力学问题的麻烦。可能它也有足够的说服力，鼓励爱因斯坦放弃科学史上最成功的时空理论，该理论统治了将近250年。