# 关于狭义相对论的理解之最简版

现在让我们尝试给出关于狭义相对论的最简描述。

c

b

d

a

已知地面惯性系上的观察者，以及和其相对运动速度为的火车惯性系上的观察者，正在做一次关于相对运动的观测实验。用手电筒垂直地面向上发射一个光子，在天花板上有一个镜子，可以将光子原路送回。不难想到，这个过程中，光子所走过的路径如图所示：在地面惯性系中的看到光子走过的路径为图中黄色箭头所示的，即等腰三角形的两条腰边。而对于火车惯性系中的而言，他所看到的光子运动的路径，就只能如红色的双向箭头所示的，也就是直上直下的。这时候问题就出现了，同样的一个光子，在不同惯性系中看上去，却出现了两个不同的路径，这个问题应该怎么理解呢？在讨论这个问题之前，我们可以先根据平面几何中直角三角形三条边的关系，写出不同路径长度之间的数量关系。

容易看出，对于这个等腰三角形的路径，我们只需要考虑它的一半，也就是直角三角形中的长度关系即可，根据勾股定理，

即可得到，

由于我们认定了光速在任何惯性系中都是不变的，且勾股定理假定了对于任何惯性系来说，长度单位都是一样的，那么能够出现差异的，就只能是光子所走过的时间了。但我们也知道，如果光速不变必须保持，那么实际上我们也可以写出

也就是火车内部惯性系里面的长度，和地面惯性系中的长度也是不同的：可是我们不是说过，长度相同是勾股定理能够成立的基础吗？确实如此，长度是相同的，但长度单位可以是不同的。比如以0.2为单位（这就是长度单位），重复10次（这就是长度）；和以0.5 为单位，重复10次，“重复次数”是相同的，但长度单位是不同的，所以最终长度是不同的。

我们从上面的推导过程，发现火车里面和外面的时间是不同的，然而时间不同实在让人难以理解。可是我们又发现，若光速不变必须成立，那么里面和外面的长度单位就必须是不同的，这就比时间不同更容易理解了。而且不难看出，长度单位的不同可以有效的替代时间单位的不同造成的效果。也就是说，若我们不再考虑时间单位是否相同，只是考虑长度单位不同，就足够解释光子在不同惯性系中表现为不同运动路径的问题。

那么，怎么理解这句话呢？我们可以试着对两条路径各自进行在垂直和平行地面方向上的正交分解。在垂直地面的方向上，两条路径经过的位移是一样的。而在水平方向上，两条路径经过的位移则大相径庭。

在看来，光子在水平方向上经历的路径为；而对于来说，光子在水平方向上经历的路径为，也就是说，相当于一个没有长度的线段。换句话说，在两个惯性系之间做长度的投射，就可以得到，

看上去这个解释很好，但是无论有多长，在水平方向的长度都是0，如果用比例方式比较二者，则总是会出现0为分子（结果是0），或者0为分母（结果不明）的情况。所以显然，我们干脆就用减法来算，而这时候，我们就得到了在这段时间的相对位移，也就是相对速度。这就回到伽利略变换中讨论的惯性系的关系的情况了。

可是有没有可能我们看错了地方呢？

现在假设我们的光速是可变的，而时间对于两个惯性系是一样进行的；时间一样进行的情况，我们容易理解，那么现在剩下的，就是对于两个惯性系来说，单位长度是不同的。对于两个惯性系的长度单位来说，

也就是光速的比例就是单位长度的比例，而时间的比例不变。此时，

其中为系中的光速，为系中的光速。所以在这一段时间里面，在水平方向上，就有

而这个位移，对应的中的长度为0，可是，这个0并不是真正的0，而是将光速认为是周期前提下获得的一阶无穷小（周期的倒数），也就是说，比例关系是

我们可以假定这个比例为，则可以得出，

如果使用比例常数（的平方），则可以得到，

因为时间对于单位长度也有效，所以单位时间为1的时候，我们就相当于可以得到，

恢复到单位时间下的情况，则得到，

因为我们几乎都是讨论单位时间的情况，所以总是可以替换为，而总是可以替换为，也就是说，单位长度和单位时间上的速度总是可以混用。

一般来说，和总是相近，我们可以写出，

为了让为实数，我们使用了

形式，也就是说，左右两边关于的符号是调换的，如果按照一致的方向，则是

此时必须为负数，则必须含有虚数单位，也就是说，此时，

大多数情况下，和总是相近，则可以得到，

也就是说，我们可以用光速自身的虚数单位性质来消除的虚数单位性质造成的影响。

不难看出，当我们写出，

以及，

我们似乎就看到了，

也就是说，磁导率和介电常数的乘积倒数的平方根。

至此我们讨论的是和总是相近的情况，我们知道，在求相对速度的过程中，

也就是我们不应当指望，而是应当指望必须大于0（这是内在性质，如同其长度单位必须大于0），而小于。换句话说，绝对速度越小（且不为0），相对于给定惯性系的绝对速度而造成的相对速度就越大。现在考虑，如果相对速度非常之大呢？以至于非常之小，接近于0，那么，

可见这个时候的的数值非常接近于1，也就是说，

我们知道这个时候，是一种高能粒子的高速运动状态，而它也意味着，

也就是说，我们看到的高能粒子的高速运动，实际上是超低光速运动的反向运动的速度绝对值的体现。这就是为什么，在洛伦兹变换中，出现

也就是说洛伦兹变换的比例常数发生颠倒的原因（这里的和上下文其它部分的无关）。因为无论从看还是从看，都看到的是对方反向运动的速度绝对值的效果。

由此我们知道了，当和相差较小的时候，

而如果两者相差较大的时候，

而和就是两个惯性系各自的绝对速度，所以这个的倒数，其实就是我们常用的光速。

比我们常用的光速小的，会和我们呈现我们熟知的相对速度，而若是比我们的光速大的，则可以认为，

里面的左右两端，减数和被减数交换位置，两边都变成负的，和没有变是一样的。所以并无区别。谁大就把谁当被减数，另一个当减数即可。由此来说，不管什么惯性系和另一个惯性系有什么关系，它的绝对速度，也就是它自己的光速有多大，在相对运动中，观察者观察到的光速，都是自己的绝对速度。那些绝对速度较小的，其绝对速度越小，相对速度越大。而那些绝对速度较大的，也会使得自身的绝对速度显得较小，而相对速度也很大。无论对方绝对速度大于还是小于自己的绝对速度，相对速度都一定小于光速。这便是光速不变以及光速上限的由来。

由此看来，绝对速度，或者说公共单位时间前提下的单位长度，确实可以非常大或者非常小，完全可以超越光速这个数值，但是相对运动关系，也就是

保证了无论如何都不可能超过或者或者我们认为的。但这并不是一个严重的问题。因为我们知道，绝对速度（表现为某种光速数值）越小，相对速度就越快。虽然到了某个相对速度的程度，作为相对速度的差并不能超越上限，但是绝对速度才是速度的本质，也就是说，惯性系的（公共）单位时间里面走过的位移才是判断惯性系运动快慢的根本依据，所以更小的绝对速度就意味着更快的相对速度，这一点总是适用的。所以我们回来看

而对于我们自己来说，

若是要更小，则更大，也就是和都变小就是了。

或者说，

则都变大就是了。

那么自身的绝对速度要变小到什么程度呢？

这里指的是环境的绝对速度，则是我们自己的绝对速度，如果达到

则可以实现，

换句话说，这时候两种惯性系中出现的单位长度差是一样的，也就没有了尺缩效应，这就是光子之间的关系。也就是说，我们的绝对速度若是下降到环境绝对速度的倒数的程度，就相当于我们的相对速度到达了光速。如果再下降呢？比如下降到环境绝对速度的倒数的一半，

可见，比例常数也是可以大于1的。作为纯数的时候的本质也可以代表单位长度的比值的平方根，所以说如果，

那么就意味着，

也就是说，单位时间走过的位移为的两倍，这就相当于两倍光速。

所以说，某惯性系绝对速度是当前环境绝对速度的倒数，就相当于达到了相对运动速度为光速，若是为当前环境绝对速度倒数的，就相当于达到了相对运动速度为光速的倍。

总结一下，光速并非真的不可超越：光速不可超越是因为我们做了绝对速度的减法运算，而我们自己的绝对速度就是我们认为的光速。而这个速度以及相对运动的概念限制了我们对速度的理解。我们不应当把绝对速度相减，而是应当把它们相比（相除），两个不为0的数的比值可以是无限大的而没有上限。因为在此，我们需要的，不是时间变快还是变慢，而是假定了共同的时间运行速度的前提下，惯性系能够实现更大的位移。

回到最初的问题，那光子到底是怎么走的呢？

它始终都是竖直向上走又竖直返回的。只是在水平方向上，系的单位长度比较短，相当于在水平方向上的两点之间的“宽度”比较窄，而系在水平方向上的“宽度”比较宽，也就是两点之间的距离比较长。所以那个光子在中的“宽度”看上去为0，其实是两系中一阶无穷小之差（的若干倍）；而它在系中的宽度，则可以用ab或者bd的长度来表示，就像是，

黄色和蓝色都是这个光子的路径微分（蓝色部分遮盖了黄色），都是上下方向的，只是对于来说其单位长度是较宽的黄色，而对于来说，单位长度则是较窄的蓝色。而长度数量（也就是通常说的长度）正好相反，的长度数量是较宽的黄色，而的长度数量则像是较窄的蓝色。在不同惯性系中的长度单位和长度单位的数量关系如下：

这个情况就像是同一点发出的两条射线构成夹角，只有夹角本身，没有哪个更大哪个更小。

现在，我们已经知道了，

换句话说，就是光速的倒数，它的倒数的平方就是光速的平方，

所以有

这就给出了相对运动过程中，观察者自身（其绝对速度为）和两个成相对运动的惯性系之间的绝对速度的关系（题目中给出的是，但区分和更好一些）。

这个的平方也是质能方程中的的平方。

观察，

不难理解它实际上就是，

考虑周期性，

可以得到，

我们知道任何物质，它都具有非0的内在运动，这就相当于具有（它是一个综合结果），而体现环境的是，所以物质具有内在能量，可以用和来表示，比如

此时就是一个数量。它和虚数单位的平方乘积之后也带有了周期性，这就使得它成为一个新的物理量。引入能量，这就修正了虚数单位带来的影响，进而导出了

我们把这个影响从转移给，则可以得到，

由此就可以认为，

也就是说，在（某种尚未说明的）周期性的前提下，能量是质量的补数，也就是说，

从上面的讨论可以发现，惯性系单位时间的位移长度一旦达到环境单位长度的若干倍的时候（这其实说明的是完全相反的情况），就可以实现多倍光速的运动。这实际上意味着惯性系本身的单位长度只有环境单位长度的若干分之一。从“疏密”程度理解，这个惯性系在长度属性上是更为密集的，我们称其为具有更高的“密度”，或者说“高密度空间”。我们加速一个惯性系，就是在提升其空间密度，进而使得它在更高密度的空间里面在同样的时间里面走得更远，也就叫做走得更快。

现在考虑一个光子，它显然已经是光速了。那么作为光速的它和另一个光子，哪一个走的更快呢？还是它们都一样快呢？

根据上面的讨论，不难发现，显然它们走的不是一样快，而是必须有快慢的差别。一个光子具有的能量为，

其中为普朗克常量，而为它的频率。根据上面的分析，

此时我们将当做纯数，

可见，

可见普朗克常量和单位长度具有密切的关系。这些结果中，

就体现了多倍光速的性质。正如

换句话说，不同频率的光，看上去都是光速，但是本质上具有完全不同的“速度”：单位时间可以实现位移的能力完全不同。频率越高的光子单位时间实现的位移越大，因为它存在于更高密度的空间里面；相反频率较低的存在于密度更低的空间里面。显然各种频率的光子都存在，也就是说，这意味着我们生活在各种密度都存在且叠加在一起的空间里。一个重要的推论在于：不要认为一个远方星系发出的高频光子到达地球需要遥远距离除以光速那么多的时间，它到达地球需要的时间其实少得多。越是高频光子，越是如此。

现在，让我们再次推导公式，

两个惯性系之间具有相对速度，它是两个惯性系的绝对速度和之差，于是可以写出，

这是在系中得知的情况，而在其对偶的系中同样的关系被写成，

我们知道和只是相同事件的两种描述方式

由此它们之间可以具有某种比例关系，并且方向是相反的，增加比例常数，这就可以得出，

带入两个表达式，

由于和的数量通常情况下总是相近，所以我们可以认为可以写成某个数值的平方，引入,

由此，

则可以写成，

以上新狭义相对论的方程和洛伦兹变换的构造是极为相似的。这里我们只考虑量子层面（光子），于是光速就相当于量子时间上的位移，所以也可以当做长度来理解。而量子时间对于光子来说不再是可变的：我们是作为观察者来理解相互作用的系统的时间是如何推进的，尽管所观之物可能具有其内在的时间规律，但是我们不关心这一点，事实上即便是关心这一点，也会得到经典狭义相对论所给出的尺缩钟慢的相类似的效应，但只是用这种形式来构造狭义相对论，我们将不再收到光速唯一和光速上限的限制。