

空间与时间

秦元勋 著

B021

7

空间与时间

秦元勋著

科学出版社

1973

内 容 简 介

本书以三人对话的方式,讨论了古典的时空概念及狭义相对论中的各种关系。作者为了使只学过一些牛顿力学、初等数学的读者能够理解狭义相对论的时空本质,引入了“在等速条件下的时空对称理论”。这是作者的一种初步尝试。欢迎广大读者本着“百花齐放,百家争鸣”的方针展开讨论。

空 间 与 时 间

秦 元 勋 著

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

北 京 印 刷 二 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1973 年 12 月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1973 年 12 月第一次印刷 印张: 2

印数: 0001—49,000 字数: 36,000

统一书号: 13031·177

本社书号: 307·13-1

定 价: 0.18 元

只 限 国 内 发 行

毛主席语录

马克思主义者承认，在绝对的总的宇宙发展过程中，各个具体过程的发展都是相对的，因而在绝对真理的长河中，人们对于在各个一定发展阶段上的具体过程的认识只具有相对的真理性。无数相对的真理性之总和，就是绝对的真理。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

序 言

伟大的无产阶级革命导师列宁在《唯物主义和经验批判主义》一书中指出：“世界上除了运动着的物质，什么也没有，而运动着的物质只有在空间和时间之内才能运动。人类的时空观念是相对的，但绝对真理是由这些相对的观念构成的；这些相对的观念在发展中走向绝对真理，接近绝对真理。”

你想过空间和时间有什么关系吗？人类根据长期局限的日常生活，形成了一套绝对空间和绝对时间的观念。

爱因斯坦的相对论，突破了这一套绝对空间和绝对时间的古典时空观念，证实了列宁的教导：“**人类的时空观念是相对的**”。相对论这一理论成果，不仅有其重大的哲学意义，而且也是近代物理学的一块基石，并在科学技术中得到了直接的应用，如质量与能量的等效公式，不仅解释了太阳和亿万颗恒星亿万年来为什么燃烧不灭，而且也为原子堆释放出巨大的能量提供理论根据。空间和时间的相互关系将为未来的宇宙飞行提供了理论基础。

在这本小册子里，我们邀请读者和我们一起作一次有趣的旅行，讨论有关空间和时间的一些奇妙的性质。我们只求读者具有中学的物理和数学的知识，尽量利用图形来解释问题，避免复杂的计算，以便使更多的读者能接受它。

• • •

由于“**人类的时空观念是相对的**”，因此，爱因斯坦的时空观念及其理论体系也只能是一种相对真理。在这本小册子里，我们采取了三人对话的形式，不仅要叙述传统的时空观念，以及爱因斯坦在那些方面突破了传统的时空观念，而且还试图按事物的本质，从进一步的观点来理解时空观念，而又不必牵涉到有争议的“光速不变”的爱因斯坦假设。这样就引入了“在等速条件下的时空对称理论”。我的这种讲法与前人的讲法不完全相同，这只是我的一种初步尝试，我真诚地欢迎各方面的同志提出批评和指正。

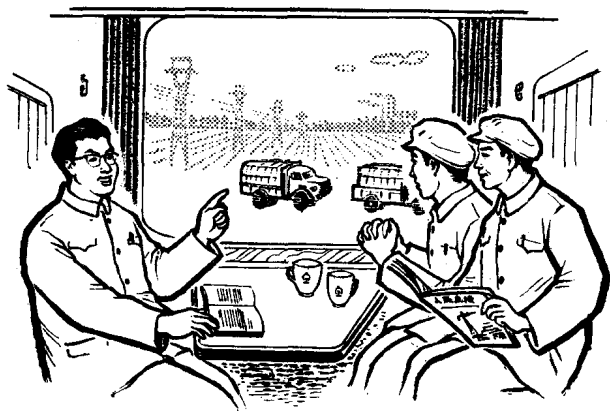
本书写于河南上蔡。插图的素材是李付元同志提供的，特致谢意。

目 录

序言	v
一次有趣旅行的开始	1
问题的提出	4
“空”“时”两字的含意	10
相对作等速运动的时空对称原理	19
“尺缩”“钟慢”是怎么回事	29
质量与能量的互相转化	39
附录	47
1. 时空对称原理的数学表述	47
2. 由时空对称原理推导洛伦兹变换	48
3. “双生子悖论”之解答	50
4. 质量与能量的互相转化过程	55
5. 明可夫斯基空间与四元轴“宇宙”	56

一次有趣旅行的开始

夏初的一天清晨,我乘坐一次特快列车,离开我们伟大的首都北京,到中原某地去工作。上车后,发现对面的二位同志,是我中学的同学老张和老王,多年不见,今日巧遇,更加亲热。他们都是科学工作者,现在到某地去执行任务,虽然不是到同一地方,但可以同车到郑州,旅途上有二位老同学作伴,就不会寂寞了。



特快列车飞驰在辽阔的华北大平原上,窗外麦田一片葱绿,长势喜人,丰收在望。平行于铁路有一条公路,一辆解放牌汽车满载着夏收用的农具在公路上飞奔,这是首都工人支

援人民公社的物资。

从窗口向外看去,我看到汽车总在窗口当中,好象没有移动,但是,立在铁道边上的电线杆却好象会动似的,从窗口一闪而过。我漫不经心地随口说了一句话:“哈哈!栽着的电线杆跑得比飞奔的汽车还快哪!”想不到这句无心的话引起了我对面坐的两位老同学的兴趣,这样,我们就结束了闲谈,开始了一场有趣的讨论。

性急的老张立刻回我一句话说:“老李,你还记得中学的物理和数学中谈到的逆水行船和顺水行船的问题吗?”

我说:“从中学毕业后,我很少用到数学和物理,许多东西都快忘记了。但是,我还记得,顺水行船,从岸上站着的人看来,船是以水流的速度加上船在静水中的速度向下流驶去。逆水行船,从岸上站着的人看来,船是以船在静水中的速度减去水流的速度向上流驶去。总之,顺水行船快,逆水行船慢,这是人所共知的。我大概就记得这些。”

老张说:“对,你说的话是对的。顺水行船快,逆水行船慢,这是人所共知的。但是,还应当说得清楚一些。应当说对于岸上站着的人来说顺水行船快,逆水行船慢;而对于船上的人来说船并不在运动。因此物体的运动和静止,运动的速度快慢都与观察的人所在的系统有关。就拿你看到的电线杆和汽车为例吧!站在地上的人看来,电线杆是栽在地上的,当然是不动的。汽车则和特快列车用同样的速度在大地上飞奔。但是,从特快列车上坐着的你看来,汽车却是以汽车在大地上的速度减去火车在大地上的速度行驶,也就是以零的速

度行驶。因此，从列车的窗口看出去，汽车老是在窗口的当中，不进也不退；而栽在地上的电线杆，却以

（电线杆在大地上的速度）－（列车在大地上的速度）

$= 0 - (\text{列车在大地上的速度})$

$= - (\text{列车在大地上的速度})$

前进，也就是说电线杆的速率等于列车的速率，但前进的方向与列车行进的方向相反。因此，在列车上的人看来，汽车不动，电线杆向后飞奔；站在地上的人看来，电线杆不动，汽车则向前飞驰。这就是你从窗口看到的现象的解释。”

我打断了老张的话说：“老张，对不起，有些东西我已忘记了，例如你讲到速度，又讲到速率，我有些搞不清楚，你简单解释一下吧！”

老张说：“速率是指单位时间走多少距离，例如列车每小时走 100 公里。速度不仅讲到速率，而且还包含着方向，例如由北京向郑州开的列车和由郑州向北京开的列车，速率大小相等，而方向则相反，因此，速度就不相同。”

老张还补充说：“科学的态度就是实事求是，不懂就是不懂，有疑问就提出，但我也不一定都能回答，至少大家可以讨论讨论。老王！你说对吗？”

一声不响的老王点了点头，看着窗外飞驰的大地，继续沉思着。

火车在一个车站停了几分钟，有些人上，有些人下，我头脑里闪现出一些问题，没有注意到这是什么车站，也没有注意停了多少时间。不一会，火车又重新开动了。

问题的提出

“不懂就是不懂,有疑问就提出”,对!我想起了过去没有解决的一些问题,不妨趁这个机会提出来。我说:“老张、老王,我们都是老同学,你们也知道,我中学毕业后就很少用过数学和物理;有些东西,中学学过的也忘记了。但是,有时我也看一些通俗的科学普及小册子,有些问题看懂了,有些问题却还是弄不清,好在你们都是学科学的,我随便提一个问题吧!希望你们帮助我弄得更清楚些。”

老张说:“老李,你提吧!反正咱们都是老同学,答得出就回答,答不出就互相讨论,老王,你说对吗?”一声不响的老王点了点头。

我开始提出我的问题。刚才我们谈到顺水行船,速度相加;逆水行船,速度相减;这是小学四则应用题都学过的。但是,为什么光线在真空中走的速度(约每秒卅万公里)却总是一定的,不管测量者用什么速率与光同方向或反方向运动,都不需要用前面说的速度相减或相加的公式呢?说得更确切一些,例如:在火车上从车尾打开一个信号灯向车头放出一个光线的信号,假设火车的速度是每秒十五万公里,如果用速度相减的关系,则火车上的人测得这个光线的速度应当每秒为

$$300,000 \text{ 公里} - 150,000 \text{ 公里} = 150,000 \text{ 公里};$$

如果用速度相加的关系,则站在站台上的人测得这个光线的速度应当每秒为

300,000 公里 + 150,000 公里 = 450,000 公里。

但是，实际上在火车上的人和站在站台上的人所测得的这个光线都是以每秒卅万公里的速度前进，这不是和速度相减、速度相加的关系发生矛盾了吗？左想右想，我没有能解决这个矛盾，你们给我解答解答吧！

老张说：“老李，你提的这个问题是近代物理学的关键问题之一，它牵涉到时间、空间和运动等一系列的基本物理概念，因此，要说清楚是不容易的。现在我试图给你作一答复。

首先，在真空中光速不因光源和测量者之间的相对运动而改变，这是一个由实验得出的结论。我们是唯物论者，伟大领袖毛主席教导我们：**‘真理的标准只能是社会的实践。’**真空中光速不因光源和测量者之间的相对运动而改变，这是一个经过科学实验的实践反复证明了的结论，因此，它是一个真理”。

我打断了老张的话说：“老张，唯物论者承认社会实践作为判断真理的标准，但是，我前面说到的顺水行船速度相加，逆水行船速度相减的结论，也是经过人类几千年的实践证明了的结论啊！为什么这两个结论发生了矛盾？究竟哪一个结论是对的呢？”

老张说：“你这个问题提得好，但也容易解答。伟大领袖毛主席教导我们：**‘马克思主义者承认，在绝对的总的宇宙发展过程中，各个具体过程的发展都是相对的，因而在绝对真理的长河中，人们对于在各个一定发展阶段上的具体过程的认识只具有相对的真理性。无数相对的真理之总和，就是绝对**

的真理。’伟大革命导师列宁指出‘……力学是缓慢的实在运动的模写，新物理学是极迅速的实在运动的模写，……’你提到的顺水行船速度相加、逆水行船速度相减的关系是对于低速运动(每秒多少公尺)的情况而言的，而你问的关于光的速度问题，则是对每秒卅万公里的高速运动的情况而言的，条件发生了极大的改变，因此，在缓慢运动的实践基础上提升出来的速度相加或相减的理论只具有相对真理的性质，它不适用于接近于光速的运动的情形。爱因斯坦正是根据真空中光速不依光源与测量者的相对运动而改变的物理实验的事实出发，突破了过去低速运动所概括出来的规律和时间、空间的概念，提出了狭义相对论。狭义相对论不但适用于接近于光速的运动，而且在日常生活的低速运动的情况下，它的结论与古典的那种速度相加或相减的结论相差也是极小，以至一般人日常感觉不到两者之间的差别；所以一般人在日常生活中不会感到古典理论与实际有什么差别，也不会感到相对论的结论与古典理论的结论有什么差别，而在与光速可以比较的速度情形下，则两者的差别便由实验分辨出来了。也可以说，我们小学学的那种顺水行船速度相加的理论是一种相对真理，相对论是进一步的相对真理。在高速的情况下，当前一种理论不适用时，后一种理论则仍然可以适用。

为了说清楚这一点，我得给你写出数学的计算公式……。”

我打断了他的话说：“老张，你从哲学上给我作了解答，我感到很好。但是，我还想更具体一点了解问题的物理实质。

当然,必要的计算也是不可避免的,因为这毕竟是一个定量的结论,光速不变,而不是光速大约不变。过去我也曾看过一些书本上的公式,当我打开书时,似乎一个个公式都是言之成理的;可是,一合上书本,用我自己的语言,我就说不清事物的实质了,特别是许多书上还讨论所谓‘悖论’(Paradox),越解释这些所谓的‘悖论’,我就越感到糊涂。因此,我希望你用更直观一些的方式和语言给我说一说,为什么例如以光速一半的速度(即每秒 150,000 公里)去追光的运动,测出光的速度不是每秒 300,000 公里 $- 150,000$ 公里 $= 150,000$ 公里,而仍然是每秒 300,000 公里?”

老张想了一想说:“好的,我试图不多用计算公式来达到这个目的。这里你也得耐心一点,我慢慢给你解答。

首先, $300,000$ 公里 $- 150,000$ 公里 $= 150,000$ 公里,这是正确的,可是用来测量这段路程的尺子本身随着运动却在缩短,用缩短了尺子去测路程,得出的数值不是就加大了吗?也就是说,量出来的结果,不再是 150,000 公里了。运动着的尺子在运动方向上收缩,这在一般物理书上叫做‘洛伦兹收缩’,这是物理学家洛伦兹提出的概念。……”¹⁾

我打断了他的话说:“这样,我似乎更接近于懂得为什么光速不变的道理了。但是定量地说,是不是,用来测量距离的尺子也缩短一半,因而用缩短一半的尺子去测减少到一半的路程,从而得到同一的数值即 300,000 公里呢?”

1) 读者暂时可以不必深究有关洛伦兹变换公式的问题。待看完“尺缩”“钟慢”是怎么回事一节以后,可以从附录 2 中读到这方面的推导。

老张立刻打断我的话说：“不是那样简单的，尺子这时收缩到

$$\begin{aligned}\sqrt{1 - \left(\frac{150,000}{300,000}\right)^2} &= \sqrt{1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \\ &= \frac{1.7321}{2} = 0.866\cdots\cdots\end{aligned}$$

即一尺收缩到 8 寸 6 分 6 厘……。”

我感到有些失望地说：“我原来以为，一尺缩短成了五寸，用五寸当一尺去量 150,000 公里就量出了 300,000 公里了。现在一尺只缩成为 8 寸 6 分 6 厘……，用 8 寸 6 分 6 厘当一尺去量 150,000 公里量出来还不到 200,000 公里！我看到开方就有些不想算下去，因为有些算法有点忘记了。不过，如果能解决问题，我还可耐着性子看你算下去，现在又不解决问题，你还是少用点公式，再给我讲一讲实质性的原因吧！”

老张看了看我，耐心地说：“当然，我还是少用一些计算式子，多说一点道理。其实，不仅运动着的尺子在缩短，而且运动着的钟也在变慢。在这个例子里，运动着的钟只走 0.866 秒而固定的钟却走了 1 秒。……”

我打断了老张的话说：“我也看过一些书，上面说到，运动着的尺子缩短，运动着的钟变慢。我曾这样想过，既然

$$\text{速率} = \frac{\text{距离}}{\text{时间}},$$

如果用作单位的尺子缩短了，那么距离的读数就加大了；如果用作单位的钟变慢了，那么时间的读数就减少了。一个分数

式中,分子加大,分母减少,这个分数式的值就加大了,还有什么不变呢?因此,我越想越不清楚了。”

老张打断我的话:“你等一等,我给你具体写出计算公式来证明,……。”

老张拿出一张纸在窗前的小桌上写出了下面的一批公式¹⁾

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}, \quad t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}},$$

$$\frac{x'}{t'} = \frac{\frac{x - vt}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}}{\frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}} = \frac{x - vt}{t - \frac{vx}{c^2}}$$

.....

老张一面写,一面自言自语说:“唔!洛伦兹收缩因子 $\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$ 销掉了,……。”

我发急了说:“老张,你不要写那么多的公式了,究竟为什么光速不变?你还是多给我讲一点道理吧!”

老张也发急了,他大声地说:“光速不变,这是物理实验

1) 读者暂时可以不必去管这些公式的推导,看完“尺缩”“钟慢”是怎么回事一节后,有兴趣的读者可参看附录1和2。

测出来的结果,或者我把实验过程重复给你看,或者我从洛伦兹变换公式推出光速不变给你看,两者你都不要,我怎么给你讲清道理呢?老李,你给我提出真正的难题了。”

这时,特快列车开进了石家庄车站,有一个熟人在站台上等我有点小事,我对老张说:“对不起,我得下车去几分钟,开车后请你们再给我作一点科学普及工作吧!我希望少用一点公式,但又要求具体一点,我看,最好多用点图解说明,也许更有效一些。老王,你还没有发言哩!你也得帮帮我的忙吧!”

说完这几句话,我就下车到站台上去找等着我的那个熟人去了。

“空”“时”两字的含意

特快列车由石家庄继续向南开去。我对老王说:“喂!老同学,你还没有发言哩!给我说说你的看法吧!”

老王拿出了一张纸放在窗前的小桌上,缓慢地对我说:“老李,你提的问题是一个非常基本的问题,牵涉到人类对空间和时间的认识这一基本问题,我也未必真正搞清楚了。你提的这些问题,我也曾经思索过。现在,你要求既不去重复实验,又不用许多计算公式,而又要定量地讲清实质,这的确也是一个难题。当然,在火车上也不好作实验,即使作出实验再一次验证光速的不变性,对你提出如何理解的问题还是没有回答。至于完全不用计算公式,要定量地解决问题,当然也很困难。幸好,你允许我多画几张图,用图来作示意性的解