



# 空间、时间和运动着的物质

秦元勋 编著

# 空间、时间和运动着的物质

秦元勋 编著

贵州人民出版社

**空间、时间和  
运动着的物质**

秦元勋 编著

贵州人民出版社出版

(贵阳市延安中路5号)

贵州新华印刷厂印刷 贵州省新华书店发行

787×1092毫米32开本 2.75印张 63千字

1979年11月第1版 1979年11月第1次印刷

印数1—3,500

书号 13115·18 定价 0.45元

## 前 言

爱因斯坦的相对论，是现代物理学的两大基石之一。他勇敢地突破了前人对空间与时间的概念，把空时理论推进到一个新的阶段。本书在爱因斯坦空时理论的基础上，提出了一些探索性的看法与意见。其目的在于通过“百家争鸣”，推动读者进一步去发展空时理论及其应用。

“四个现代化”的关键是科学技术现代化。为了加速实现我国的“四个现代化”，完全有必要将爱因斯坦的相对论普及到广大读者中去，使之成为新时代的一种常识。

一九七六年元月，我在贵州的这些讲稿，在粉碎“四人帮”后的今天能够与广大读者见面，谨向对本书给予支持和帮助同志们致以衷心的感谢！

本书难免存在缺点和错误，欢迎读者批评指正。

秦 元 勳

1978年12月于北京

# 目 录

<b>一、等速运动</b> .....	( 1 )
1. 问题的提出.....	( 1 )
2. 爱因斯坦以前的空时理论.....	( 3 )
3. 爱因斯坦的空时理论——狭义相对论.....	( 9 )
4. 简单的小结.....	(23)
<b>二、变速运动</b> .....	(25)
1. 问题的提出和解决的线索.....	(25)
2. 牛顿的引力理论.....	(27)
3. 爱因斯坦的空时理论——广义相对论.....	(36)
4. 简单的小结.....	(54)
<b>三、问题与探讨</b> .....	(55)
1. 一般的空时对称理论.....	(55)
2. “黑洞”及有关问题.....	(59)
3. 最小质能空时参考系.....	(62)
4. 简单的小结.....	(80)

# 一、等速运动

## 1. 问题的提出

伟大革命导师列宁有一段深刻的论断：“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。”〔註〕这一段精辟的论述给我们以三方面的启发：

第一、空间和时间的理论牵涉到哲学上和科学上最根本的问题，因而对它的研究具有根本性质的意义。

第二、人类的时空观念是相对的，因此，应当历史地叙述这些观念过去的发展和它的现况。

第三、在辩证唯物主义哲学思想的指导下，在科学实验的基础上探索空时概念进一步发展的可能性。

本节先就几个重大的历史性争论作一些简略介绍，用以表明空时理论在哲学斗争方面的重要性。然后，转到自然科学和技术方面去进行论述和探讨。

五百年前，当西方资产阶级开始上升，封建宗教势力开始动摇的时候，发生了“日心说”与“地心说”的争论。伟大革命导师恩格斯对哥白尼（1473年—1543年）的《天体运行论》

---

〔註〕列宁：《唯物主义和经验批判主义》

“那本不朽著作的出版”被誉为“从此自然科学便开始从神学中解放出来。”〔註一〕伟大导师毛主席则把“哥白尼关于太阳系的学说”〔註二〕作为香花的代表。“日心说”与“地心说”争论的科学内容，是太阳系的空间座标原点选取问题。

一百四十年前，伟大革命导师马克思在《博士论文》（1839年—1841年）第四章《时间》中，对于希腊哲学的原子论提出了极为尖锐的意见。在那一章的开始，马克思便指出：

“既然在原子内部，作为纯粹自身关联的物质没有任何变易性和相对性；那末由此直接可以推出，时间必须从原子的概念、本质的世界中排除掉。因为只有从其中抽掉了时间的成分，物质才会是永恆的和独立的。”这是在科学上研究原子可分以前半个世纪，马克思就从唯物辩证法的角度指出了希腊原子论的一个致命问题：时间从原子的概念、本质的世界中被排除掉了。如原子可分，则原子应有内部矛盾和内部运动，因而有内部的时间概念。无怪乎恩格斯批评说：“有些自然科学家……把希腊哲学的残渣，例如原子论，当作永恆真理。”〔註三〕

一百年前，当德国第一个工人阶级的政党刚成立，党内的机会主义代表人物杜林便跳出来制造理论上的混乱。恩格斯为此写了《反杜林论》一书，其中就有“自然哲学。时间和空间”一节。批判了杜林的“时间有开端”的谬论，指出：“‘第一次推动’只是代表上帝的另一种说法。”〔註四〕

七十年前，当俄国1905年的第一次革命失败以后，某些叛徒企图修正马克思主义理论，为此列宁写了《唯物主义和经

---

〔註一〕恩格斯：《自然辩证法》

〔註二〕毛泽东：《关于正确处理人民内部矛盾的问题》

〔註三〕恩格斯：《自然辩证法》

〔註四〕恩格斯：《反杜林论》

验批判主义》一书，捍卫和发展了马克思主义。书中就有《空间和时间》一节，批判波格丹诺夫等人所散布的马赫的唯心主义：“空间和时间是感觉系列的调整了的体系。”列宁指出：马赫对空间和时间的唯心主义观点是“向信仰主义敞开了大门。”〔註一〕正面阐明了关于“空间”、“时间”和“运动着的物质”的辩证唯物主义的观点。列宁进一步指出：“电子和原子一样，也是不可穷尽的。”〔註二〕

二十年前，当赫鲁晓夫叛徒集团散布“三无世界”谬论的时候，伟大导师毛主席指出：“事物都是一分为二的。”毛主席还将这一哲学思想运用到物理学上，指出：“基本粒子也是可分的”，〔註三〕预见到了近二十年来基本粒子的根本发展方向。

上面摘引的一些论点表明，由于空间和时间的理论涉及到马列主义哲学和自然科学的发展，因此，革命导师们都非常关心和重视。他们的哲学思想，为我们研究和发展空间和时间的理论指明了方向。

毛主席教导我们：马克思主义“只能包括而不能代替物理学中的原子论、电子论……。”〔註四〕

因此，我们的重点将转到自然科学的基本研究上去。

## 2. 爱因斯坦以前的空时理论

(甲) 我国古代的空时理论：我国古代人的空时观念中已

---

〔註一〕列宁：《唯物主义和经验批判主义》

〔註二〕同上

〔註三〕錢学森：《終身不忘毛主席的亲切教誨》

〔註四〕毛泽东：《在延安文艺座谈会上的讲话》



有朴素的唯物主义思想，如后期墨家就已给空间和时间的概念下了比较确切的定义。《淮南·原道》中写道：“四方上下曰宇，往古来今曰宙。”“宇”指的是东西、南北、上下这样三个方向构成的三维空间。“宙”指的是过去、现在、未来这样构成的一维时间。“宇”“宙”两字联用，表示“空间”和“时间”并提，这是非常根本的概念。在日常生活中，例如开会发通知，地点和时间缺一不可，这是人所共知的。但是，在对待“宇宙”一词的理解上，后来往往误认为只专指空间，而忘掉了时间的内容。例如“宇宙航行”一般便只理解为在“太空”中航行，而很少理解为在“空间和时间”中航行。这是与后来伽利略理论体系中将时间看作和空间无关的“绝对时间”的看法有关的。后面我们将介绍，爱因斯坦在更高级的基础上又重新恢复了空间与时间的统一体。

当然，古代的人主要是一些直觉，缺乏系统的科学研究。要深入理解空间与时间的性质，就必须涉及到现代的自然科学。

(乙) 伽利略的空时理论：首先，我们先形象地交代一下我们指的“空间”和“时间”的概念。

在一条铁道上面有一系列的车站，车站与车站的距离形成“空间”的概念。距离可以用标准的单位长度（例如米）去量它，以便定量。

“时间”则是要用周期的运动来加以度量。形象地说，人的胃的运动，可以用来度量时间，因为到一定的钟点，人会饿，要吃饭；但这种度量则是精确度很差的，例如误差用小时计。人的心脏的运动，也可以用来度量时间，因为每秒钟心跳高于2次或低于 $\frac{1}{2}$ 次，人就会严重地病倒。由此可见，用这种度量的精度可以提高到秒的量级。人的眼睛的视网膜可以感觉到 $\frac{1}{10}$ 秒量级的差别；例如每秒低于十片的速度，电影便成了

幻灯，动作便不连续了。利用周期摆动的机械钟的精确度，可以提高到万分之一秒。利用电子振动的周期运动的原子钟，又可以再提高到万倍的精确度。

总之，凡有物质的地方必有运动（例如原子中电子的运动），因而可以利用周期性的运动加以计时。但是，另一方面也可以看出，任何物质的计时器，不论如何精密都有误差。误差量级则随着技术不断发展而逐步减少，但决没有绝对准确的计时器。

交代了“空间”和“时间”的度量，现在进一步来谈“空时系统”。为了定量地研究，必须建立“空时系统”。形象化地说，要研究一条铁道上列车的运动，必须首先建立铁道上的“空时系统”。从“空间”看，铁道上一系列的车站，不妨设它们是等距离分布的，这些车站的全体便可以形成一个可供测定距离的“空间系统”。其次是建立“时间系统”。每个车站有一个“钟”，假设它们构造一致，这些“钟”的全体便可形成一个可供测定时间的“时间系统”。但是，对于“时间系统”要注意两点：

第一，各个钟原则上必须快慢相同，亦即假设它们内部构造一致，所处的外部物理环境一致。

第二，它们有共同的起点，即所谓“对钟”的问题。例如假设电波每秒传三十万公里，则通过电讯号（即光速讯号）和距离可以“对钟”。

这两点基本上（而不是绝对的）满足后，“时间系统”便建立起来了。一条铁道上这样建立起来的“空间系统”和“时间系统”合并起来便构成一个“空时系统”： $\Sigma(x, t)$ 。其中  $x$  表示空间座标， $t$  表示时间座标。将  $(x, t)$  画在一个平面上，这个平面便称为“空时平面”。在它上面可以画出“空时座标”，描述运动过程。

下面我们开始研究运动。最简单的运动是等速运动。形象地说，例如一列火车在铁道上做等速度  $v$  的运动，将这列火车看成一个点（因为它比铁道短得太多），则运动可以用公式表示。例如：

$$x = vt$$

即  $t=0$  时由  $x=0$  站出发，以  $v$  速度运行，这在空时图（即  $x=t$  图）上是一条过原点（ $x=t=0$ ）的直线。

现在要谈到一个空时系统对另一个空时系统的运动。对于一列火车不再看成一个点，而是看成另一个空时系统。火车上一个坐位到另一个坐位之间有距离，一系列坐位便构成一个空间系统。当然必须假定，当列车停在铁道上时，列车上用的尺与铁道上用的尺一样长，每个坐位上的乘客的手表（只要有物质，就有计时的方法已如前述），便构成一个时间系统。当然这里同样要假设两点：

第一，各个表原则上必须快慢相同，如果把它们和铁道上的钟放在一起时，也应当快慢相同。

第二，它们已经“对表”了，即有了共同的起点，例如用光对表。

一列火车上这样建立起来的“空间系统”和“时间系统”，合併起来又构成另一个空时系统： $\Sigma^*(x^*, t^*)$ ，其中  $x^*$  表示空间座标， $t^*$  表示时间座标。

这样，研究一列火车在铁道上的运动的问题，便化为研究两个空时系统  $\Sigma(x, t)$  与  $\Sigma^*(x^*, t^*)$  之间的关系。

现在，在铁道上某地  $x$  某时  $t$  发生了一个事件，从运动的列车上观测，则是在某地  $x^*$  某时  $t^*$  发生的。同一客观事件的发生，由于观测系统的不同，铁道上报告为在  $(x, t)$  发生，火车上报告为在  $(x^*, t^*)$  发生。这样，就要研究  $(x, t)$  和  $(x^*, t^*)$  的关系。

形象地说，例如某甲由北京乘火车去郑州，他的朋友某乙在北京站送行。对于某乙而言，由于他站在地上，他和郑州的距离是  $x$ ，即按  $\Sigma(x, t)$  系统来测量。某甲是在火车上，他和郑州的距离是  $x^*$ ，即按  $\Sigma^*(x^*, t^*)$  系统来测量，并且  $x^*$  和  $x$  有关系：

$$x^* = x - vt$$

这里  $v$  为列车运行速度。这个关系对于一般的等速运动都是成立的，只要在  $t=0$  初始时刻，将两个系统  $\Sigma$  及  $\Sigma^*$  的空间坐标原点  $x=0$  和  $x^*=0$  对齐即可。

另一方面，关于两个系统  $\Sigma$  及  $\Sigma^*$  的时间  $t$  及  $t^*$  的测定，则根据日常低速短距离运动的实践经验，伽利略不自觉地假设了：

$$t^* = t$$

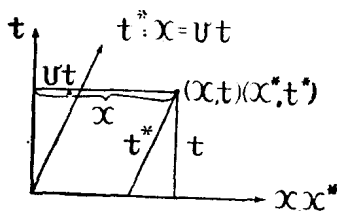
不仅如此，他连记号都不加区分，只有一个时间  $t$ 。在日常生活中，例如铁道时刻表中的时间，并不区别是铁道系统的时间  $t$ ，还是列车系统的时间  $t^*$ ，统统用同一个  $t$ ，便是明证。

这两个关系合在一起，便把相对作等速运动的两个空时系统  $\Sigma(x, t)$  和  $\Sigma^*(x^*, t^*)$  联系在一起，即：

$$\begin{cases} x^* = x - vt \\ t^* = t \end{cases}$$

这个变换称为伽利略变换。由于  $x^* \neq x$ ，我们称之为“空间相对性”，即空间坐标读数随系统不同而不同，即空间坐标读数对于系统有相对性。另一方面，按伽利略假定  $t^* = t$ ，我们称之为“时间绝对性”，即时间坐标读数与系统无关，时间坐标读数对于系统有绝对性。或者说，时钟达到了绝对时间。

用图形表示，在空时图上可以画出  $\Sigma(x, t)$  与  $\Sigma^*(x^*, t^*)$  的关系（如图1）。



(图 1)

这里  $t^*$  轴，即  $x^*=0$ ，即列车上坐在  $O^*$  号位的乘客的表在记录列车上的时间，由于列车以等速  $v$  运动，因此，由伽利略变换第一式， $x^*=0$  相当于  $x-vt=0$ ，亦即相当于  $x-t$  图上的直线： $x=vt$ 。故  $t^*$  轴在  $x-t$  图上是一条倾斜的线。 $t$  轴则是  $x=0$ ，即铁道上  $O$  号座标的时钟在记录铁道上的时间，这在  $x-t$  图上也是一条直线。 $x=0$  和  $x=vt$  两直线分离，故知  $t$  轴和  $t^*$  轴分离，这是“空间相对性”的图形表示。

至于  $x$  轴和  $x^*$  轴，则由于  $x^*$  轴即  $t^*=0$ ，但按伽利略假定， $t^*=t$ ，故  $t^*=0$  相当于  $t=0$ ，而  $t=0$  即  $x$  轴。由此可见， $x^*$  轴与  $x$  轴重合。这是“时间绝对性”的图形表示。所有这些都可由图 1 形象化地看到。

有了  $\Sigma(x, t)$  与  $\Sigma^*(x^*, t^*)$  之间的伽利略变换，我们可以确定对于同一客观物体的运动速度，在两个系统中测出的不同的速度  $u^*$  和  $u$  的关系为：

$$u^* = \frac{x^*}{t^*} = \frac{x-vt}{t} = \frac{x}{t} - v = u - v$$

由此可见，某一物体的运动对于铁道系统测得的速度为  $u$ ，对于列车系统测得的速度为  $u^*$ ，则

$$u^* = u - v$$

这个简单的速度加减公式，在日常生活中经常遇到。例如“顺

水行船，速度相加；逆水行船，速度相减”，便是这一关系的应用。

伽利略的空时理论在物理科学中统治了三百年的时间，甚至在我们今天日常生活中的低速短距离运动中仍然在应用。小学、中学和大学低年级的课程中用的也是这一空时概念。其核心是伽利略假设  $t^* = t$ ，即时间绝对性。在伽利略、牛顿体系中，连记号都只用一个  $t$ 。

### 3. 爱因斯坦的空时理论——狭义相对论

上一个世纪末，科学实验揭示出光的运动，光速不服从上面已推出的简单的速度加减规律，亦即设两个空时系统  $\Sigma(x, t)$  和  $\Sigma^*(x^*, t^*)$  相对作等速运动  $v$ 。由  $\Sigma(x, t)$  和  $\Sigma^*(x^*, t^*)$  测得同一光讯号的速度分别为  $C$  和  $C^*$ ，实验结果是：

$$C^* \neq C \pm v.$$

这是对伽利略空时理论的一个疑问。面对这一实验事实，爱因斯坦提出了“光速绝对性”的假定：

$$C^* = C$$

来代替伽利略假定： $t^* = t$ 。这个“光速绝对性”的假定又称为“光速不变性”的假定，即光速与测定系统无关的假定。这样，爱因斯坦便突破了伽利略空时理论中“时间绝对性”的观念。爱因斯坦狭义相对论的实质可以用一个概念、两组公式、三条推论来加以概括。

#### (甲) 一个概念 时间相对性

现在我们要由“光速绝对性”的假定来推出“时间相对性”的观念。

利用“光速绝对性”的假定，我们引入新的变量  $T = Ct$ ,  $T^* = C^* t^*$ . 这里  $T$  和  $T^*$  都成了长度， $(x, t)$  图变为  $(x, T)$  图，或引入  $X = x$ ，则得到  $(X, T)$  图。同样引入  $X^* = x^*$ ，则  $(x^*, t^*)$  图便成为  $(X^*, T^*)$  图了。这样作的好处有三点：

(1) 前面画的空时图中，空间轴  $x$  轴可以用 1:1 的比例，但时间轴  $t$  轴画在纸上，比例尺没有确定，1 厘米可代表 1 秒，也可代表 1 小时。现在用了  $T = Ct$ ，则因光速约为  $3 \times 10^{10} \frac{\text{厘米}}{\text{秒}}$ ，因此， $T$  轴上一厘米，便相当于  $\frac{1}{3 \times 10^{10}}$  秒。

比例尺确定下来了， $T^* = C^* t^*$  也是如此。

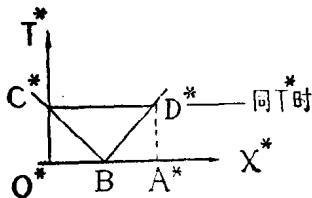
(2) 这样作实际上是把  $t$  轴拉伸，使得过去由于比例尺不恰当而掩盖了的现象得到突出。例如过去  $t$  轴上用 1 厘米代表 1 秒，则有些现象便不明显了。这点后面将会看到。

(3) 这样取定的比例尺下，光速线便成了  $\pm 45^\circ$  的倾斜线，亦即光速线在  $X-T$  图和  $X^*-T^*$  图上的斜率都是  $\pm 1$ ，作图计算都很方便，并且以后还可以看到光速线将成为空时关系的对称轴线。

现在，我们由“光速绝对性”的假定来推出“时间相对性”的观念。

● 设有一列车在铁道上行駛，先只看列车本身，由列车中点向车头和车尾，同时发出一个光讯号。我们来研究铁道系统  $\Sigma(X, T)$  和列车系统  $\Sigma^*(X^*, T^*)$  的关系。

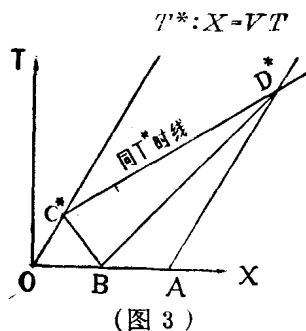
设在列车系统中， $T^* = 0$  时列车在  $O^* A^*$  位置，其中点在  $B$  (如图 2)。



(图 2)

由  $B$  点向车头和车尾同时发出一个光讯号，到达车头的空时点为  $D^*$ ，到达车尾的空时点为  $C^*$ 。则因光速线在  $X^*-T^*$  系统中的斜率为  $\pm 1$ ，故  $T_{C^*}^* = O^* C^* = O^* B = A^* B = A^* D^* = T_{D^*}^*$ 。这就是说，由于  $B$  点是  $A^* O^*$  的中点，光速又有绝对性，因此，由  $B$  点同时发出的光讯号，将同时到达车头和车尾，即  $T_{D^*}^* = T_{C^*}^*$ 。更确切一点是，由  $B$  发出的光线同  $T^*$  时到达车头和车尾。注意，这里强调了“同  $T^*$  时”，而不是抽象地讲“同时”，因为时间是同观测系统联系在一起。既然  $T_{D^*}^* = T_{C^*}^*$ ，故  $C^*$  及  $D^*$  的连线便是  $X^*-T^*$  图上的同  $T^*$  时线。

现在从铁道系统  $\Sigma(X, T)$  来考察这一现象。设空时点  $B$  在  $T=0$  时刻，这时  $T=0$  设车尾在  $O$  点，车头在  $A$  点， $B$  点是  $AO$  的中点（如图 3）。



为简便计，不妨设  $OB=AB=1$ 。车尾的运动轨迹为  $x=vt$ ，即  $X=VT$ 。此地  $V=\frac{v}{C}$  是无量纲化了的速度值。 $BC^*$  是光速线，故其轨迹方程为  $X-1=-T$ 。 $C^*$  是  $OC^*$  及  $BC^*$  的交点，故  $C^*$  的空时坐标  $(X_{C^*}, T_{C^*})$  由联立方程：



$$\begin{cases} X=VT \\ X-1=-T \end{cases}$$

解出得  $X_{C^*} = \frac{V}{1+V}$        $T_{C^*} = \frac{1}{1+V}$

$D^*$  是  $AD^*$  与  $BD^*$  的交点。 $AD^*$  是车头的轨迹，其方程即  $X-2=VT$ 。 $BD^*$  是光速线，故方程为  $X-1=T$ 。 $D^*$  点的空时座标  $(X_{D^*}, T_{D^*})$  应由联立方程

$$\begin{cases} X-2=VT \\ X-1=T \end{cases}$$

解出，得到  $X_{D^*} = \frac{2-V}{1-V}$ 。       $T_{D^*} = \frac{1}{1-V}$ 。

这里出现一个根本性的变化，即

$$T_{D^*} = \frac{1}{1-V} > \frac{1}{1+V} = T_{C^*}$$

因此  $T_{D^*} > T_{C^*}$ ，即  $D^*$  和  $C^*$  在  $\Sigma(X, T)$  空时系统中不同时，更确切地说， $D^*$  和  $C^*$  不同  $T$  时。亦即从铁道系统看，由  $B$  点同时发出的光讯号，先到车尾 ( $C^*$  空时点)，后到车头 ( $D^*$  空时点)。

由此可见，同  $T^*$  时的空时点  $C^*$ ， $D^*$  (即  $T_{C^*}^* = T_{D^*}^*$ ) 不同  $T$  时 (即  $T_{C^*} \neq T_{D^*}$ )。这就表明同时性与观测系统有关，时间与观测系统有关，这便称为“时间相对性”，亦即  $T \neq T^*$ 。这样，引入了爱因斯坦假设的“光速绝对性”，就必须放弃伽利略假设“时间绝对性”的观念，而承认“时间相对性”的观念。这是对空时观念的一个根本性的改变。这是爱因斯坦的根本性贡献之一。

定量地， $C^* D^*$  在  $X-T$  图上的联线的斜率为：