

$$= \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$E = mc^2$$

青年文库

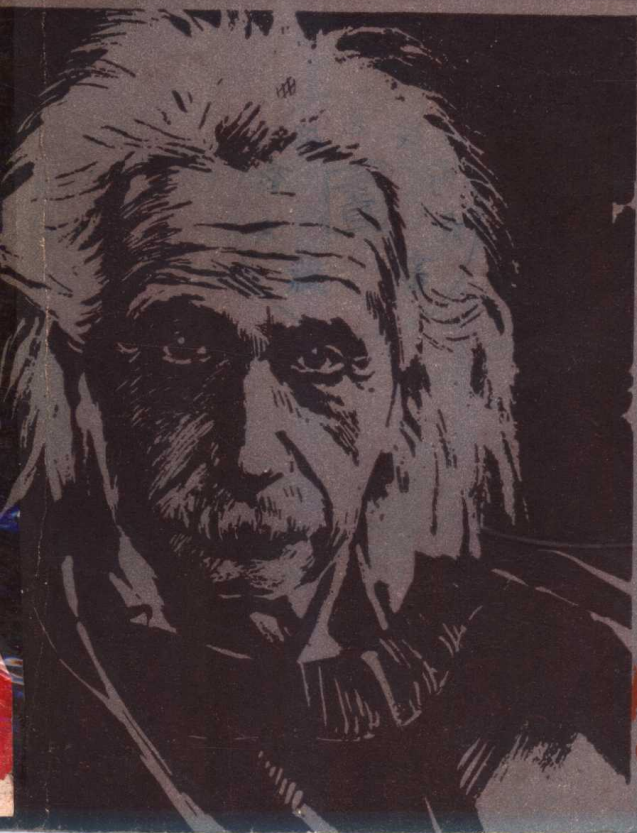


205238

邓乃平著

懂一点相对论

——空间和时间 的故事



中国青年出版社

懂 一 点 相 对 论

——空间和时间的故事

邓 乃 平 著

中国青年出版社

封面设计：胡 亦

懂 一 点 相 对 论
——空间和时间的故事
邓 乃 平 著

*

中国青年出版社出版
中国青年出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

787×1092 1/32 4印张 60千字
1965年3月北京第1版 1979年6月北京第2版
1979年6月北京第2次印刷
印数59,001—159,000册 定价0.31元

内 容 提 要

相对论是物理学的一块基石。要是没有狭义相对论，近代物理学就会没法存在。没有相对论，大量的物理现象就会得不到解释。这本书比较通俗地介绍了相对论的基本原理，只要有中等物理学和数学知识的读者都可以看懂。本书曾以《空间和时间的故事》的书名于1965年出版，这次重版作了修订和补充。

出 版 说 明

我们伟大祖国的社会主义革命和社会主义建设，已经进入新的发展时期。学习革命理论，完整地、准确地掌握马列主义、毛泽东思想体系，学习科学文化知识，极大地提高青年一代的科学文化水平，成为青年更加特别突出的任务。为了适应青年学习的迫切需要，我们决定出版一套《青年文库》。

《青年文库》包括哲学社会科学、自然科学和文学艺术各个方面的读物。它以中等文化程度的青年为主要对象，力求比较系统地、通俗地、简明扼要地介绍各门学科的基本理论和基础知识，帮助青年用马列主义、毛泽东思想和现代科学文化知识武装自己，在华主席为首的党中央领导下，为建设社会主义的现代化强国贡献自己的青春。

中国青年出版社编辑部

写在前面

相对论是关于空间和时间的理论，是自然界最基本的学说。它的建立是近代物理学最伟大的成就之一。

这是一本介绍相对论基础知识的书，作者向自己提出的任务，就是把这个理论尽量介绍得浅显一些，使具有中等物理学和数学知识的读者能够看懂。在写法上，根据历史发展的主线来组织全书，目的是使读者可以看到，人们在空间和时间的問題上是付出了怎样复杂、艰辛的劳动，克服了多少困难，认识才逐步深刻起来的；或者说，时空观念是经过怎样曲折的过程才得到进展的。

就是因为这样，所以我给这本书加上一个副题——《空间和时间的故事》。

虽然我把这本书写得尽量浅显，但是相对论毕竟是一个不大好懂的理论，所以要求读者一边看一边想，一下子看不懂就多想想，还要求顺着次序看下去。除了用小字排的部分，不愿意看的可以跳过去；以后愿意进一步去钻研的时候，回头再看。

本书写于1964年，这次重版，补充了关于广义相对论的两个问题，黑洞和引力波。作者水平有限，希望读者提出宝贵意见，以便进一步修订。

作 者

1978年十一月

目 次

- 一 火车和车厢里的故事——经典物理学的空间和
时间 1
- 火车是在运动还是静止的?(2) 火车停在哪里?(3) 观察
者 O 和 O' 之间(5) 火车什么时候走到什么地方?(8) 不变
的尺和不变的钟(11) 车厢里的灯什么时候亮?(13) 火车走
得多快?(15) 速度怎样变化?(19) 车厢里的奇迹(22) 从
火车和车厢的故事得出的结论(25)
- 二 光的传播的故事——经典时空观的局限 29
- 光是什么?(29) 经典相对性原理对光的传播能成立吗?(32)
一个大难题(34) 矛盾怎样解决?(40)
- 三 高速世界的故事——狭义相对论 46
- 经典的时空观念是那样稳固吗?(48) 爱因斯坦的假定(51)
新的变换方程(54) 过去的事还能重见吗?(61) $3+3=3$ (63)
迎刃而解(65) 时间的延迟(67) “介子飞船”(71) 宇宙旅
行的故事(75) 到底谁大?(78) 标尺的收缩(80) 质量变化,
质能相关(84) 时空观念的改观(87)

四 引力场的故事——广义相对论91

引力和引力场(91) 惯性系和非惯性系之间有区别吗?(93)

什么叫协变性?(97) 时空的弯曲(98) 行星进动, 光线弯

曲, 谱线移动(101) 伽马射线的新贡献(104) 什么叫黑

洞?(109) 有引力波吗?(112)

结语115

— 火车和车厢里的故事

——经典物理学的空间和时间

我们研究自然科学，目的是为了认识自然现象，掌握自然界变化的规律，进一步去征服自然，改造自然。

当我们仔细研究自然界的时候，就会发现各种物质都在不断地运动变化，并且互相联系，互相影响。所以，要认识自然界，就要认识物质运动变化的规律。

最简单的物质运动形式是机械运动，就是物体位置的改变。在自然界，远的象日月星辰，近的象舟车机器，都在做机械运动。研究事物变化最好从最简单的开始，因此我们现在首先来研究机械运动。

火车的运行是机械运动的代表，要研究火车的运动应当知道火车怎样运行，什么时候从什么地方出发，什么时刻到达哪一站。换句话说，应当知道火车的空间位置随时间变化的关系。知道了这些，火车运行的规律就清楚了。

这个问题，表面看来好象很简单，可是仔细研究起来，就知道不那么简单，这里头牵涉到有关空间和时间的重大问题。

这一章，我们从火车的运动，先来研究经典物理学里的空间和时间观念。

火车是在运动还是静止的？

平时，我们说一列火车在运动，是指火车对于路轨或地面来说，随时随刻都在改变它的位置。例如，火车早晨八点半钟离开上海，十点钟开到苏州，在这一个半小时里，火车是运动着的。如果火车一直在上海站停着，位置不变化，火车就没有运动，或者说，是静止的。

火车是在运动还是静止的，是不是能够不相对于地面，而相对于别的东西来说呢？在物理学上，这是完全可以的。不过火车相对于地面是静止的，相对于别的东西就可能是运动的。例如，停在地面上的火车，如果相对于太阳来说，火车就和地球一起在绕着太阳运动了。

反过来，火车在地面上运动，相对于别的东西也可能是静止的。例如，两列火车同时在平行的直的轨道上以同样快慢并排行驶，第二列火车相对于第一列火车就是静止的。我们从这列火车跨到另一列火车上去，就跟在平地上走路一样。

这儿就看出一件重要的事情：火车的位置，只有相对于另外的物体，才能表达出来。火车是在运动还是静止的，也只有相对于别的物体，才能够确定。

不仅火车是这样，任何物体的位置也都是只有相对于另外物体，才能表达出来。一个物体的运动情况，只有相对于别的物体，才能够确定。比如，火车相对于地面运动，地球相对于太阳运动，太阳相对于其他恒星运动，等等。

所以，运动和静止都是相对来说的。要描述一个物体的

运动情况,必须事先选定另一个物体(或者是几个相对不动的物体)作参照。比如,用地面作参照描述火车的运动情况,用太阳作参照描述地球的运动情况,用其他恒星作参照描述太阳的运动情况,等等。

这种用作参照来表达物体(如火车)位置和描述物体运动情况的物体(如地面),通常叫**参照物体**,也叫**参照系**。

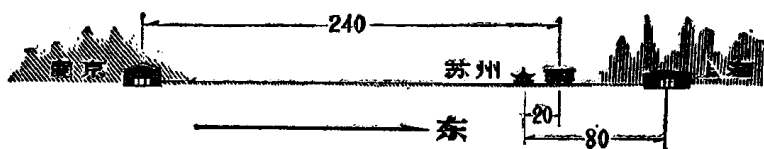
怎样选择参照系呢?如果只是为了描写物体怎样运动,可以任意选择参照系。任何物体都可以选来当做参照系,不过不同的参照系对同一个运动的描述是不同的。平常选取参照系总是看问题的性质和研究的方便。例如,当火箭起飞的时候,用地球做参照系来描述火箭的运动比较方便。当火箭进入宇宙空间,成了绕太阳运动的人造天体的时候,用太阳做参照系来描述火箭的运动,要比用地球做参照系方便。

火车停在哪里?

既然物体的位置只能在选定了参照系以后才能确定,那么,当参照系已经选定了,物体在参照系里的位置又该怎样表示呢?

假定我们选定地面做参照系来研究火车的运动。如果问火车在哪里,回答火车在轨道上停着,这样的回答是不能令人满意的,因为火车在地面上的位置没有明确地表达出来。火车究竟是在北京到南京的轨道上停着,还是在南京到上海的轨道上停着?到底具体在哪一站停着?这些都不清楚。

如果回答:火车停在南京车站以东 50 公里的地方,这样



火车停在南京站以东 240 公里，苏州站以东 20 公里。

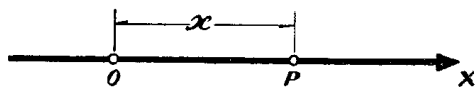
就准确多了。它把火车在参照系里的位置明确地表达出来了。

为了讨论方便，假设上海和南京之间的铁道是笔直的，从东到西。一个火车厢正停在如上图所表示的位置。这时候车厢的准确位置是：南京车站以东 240 公里。

这样我们就得到一个表达火车位置的方法：先选择一个车站当做出发点，然后再说火车在这车站的哪个方向，离车站多远。

用这一类方法，不仅能够表示火车的位置，也能够用来表示任何物体在参照系里的位置。

要描写一个物体(为了简单起见，假定它是一个点，并用 P 表示)的位置，必须在参照系上选择一个点(用 O 表示)当做出发点，叫做原点。从原点 O 通过物体 P 作一条直线 OX ，叫坐标轴，如下图。让 P 点和原点 O 的距离 OP 等于 x ，如果 P 点在 O 的这一方(比如是右方)， x 规定是正的，在 O 的



x 叫做 P 点的坐标。

另一方(比如是左方)， x 规定是负的。这时候的 x 就表示了 P 的位置。

这种用来表示物体在参照系里位置的一套数学系统和方法,叫**坐标系**, x 叫做 P 点的坐标。

这里说的是确定直线上一点的位置的方法。事实上,我们往往需要确定一点在平面上乃至立体空间中的位置。确定直线上一点,有一个坐标就够了。而确定平面上一点,需要有两个坐标。至于确定空间中一点,就需要三个坐标。

为使问题简化起见,以后我们的讨论,将尽可能举直线坐标系的例子,一般不提平面和空间坐标系。在必须使用平面和空间坐标系的地方,我们再介绍它们。

还应当说明,坐标系有好几种,本书所用的是直角坐标系,或叫笛卡儿坐标。

观察者 O 和 O' 之间

前页上图中的火车厢,把南京当做原点,车厢对于南京的位置用坐标 $x_{\text{南}}$ 表示, $x_{\text{南}}=240$ 公里。如果把苏州当做原点,车厢对于苏州的位置用坐标 $x_{\text{苏}}$ 表示, $x_{\text{苏}}=20$ 公里。可见同是一个参照系,由于坐标原点选择的不同,表示同一个物体的位置的坐标也就不同。

不论是哪个坐标,都可以看做是由观察的人量出来的。所以讨论坐标问题,离不开观察者。为了避免混乱,我们永远假定,观察者和参照系连在一起,并且处在坐标原点上,因此我们以后就用原点的名称来称呼观察者。象上面的例子里,假定我们把南京的原点用 O 表示,苏州的原点用 O' 表示,那么南京的观察者就叫 O ,苏州的观察者就叫 O' 。

O 和 O' 处在不同的原点上,由于地位不同,他们观察同一个车厢的位置,结果就不一样,也就是说 O 和 O' 量得的车厢的坐标 $x_{\text{南}}$ 和 $x_{\text{苏}}$ 是不同的。它们相互之间当然存在一种关系。由 $x_{\text{南}}=240$ 公里, $x_{\text{苏}}=20$ 公里,用 $x_{\text{苏南}}$ 来表示南京和苏州间的距离,也就是苏州对于南京的坐标,

$$x_{\text{苏南}}=240 \text{ 公里}-20 \text{ 公里}=220 \text{ 公里}。$$

这三个坐标的关系也可以写成这样:

$$240 \text{ 公里}=20 \text{ 公里}+220 \text{ 公里},$$

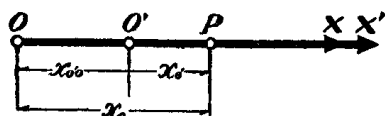
可以看出,这关系应当是:

$$x_{\text{南}}=x_{\text{苏}}+x_{\text{苏南}}。$$

就是:火车对于南京的坐标,等于火车对于苏州的坐标加上南京和苏州之间的距离(就是苏州对于南京的坐标)。

从上面所表达火车在不同坐标系里的位置的坐标关系,还可以推广到任何物体在不同坐标系里的位置的坐标关系。

假定在同一个参照系里有两个坐标系 S 和 S' ,它们的坐标轴 OX 和 $O'X'$ 是重合的,如下图。用 x_o 表示在 O 看来物体 P 对于 O 的坐标, x_o' 表示在 O' 看来物体 P 对于 O' 的坐标,



$x_o'o$ 表示 O 和 O' 之间的距离(就是 O' 对于 O 的坐标),它们之间的关系就是:

两个坐标系的坐标之间的关系。

$$x_o = x_o' + x_o'o, \quad (1-1)$$

或者写成:

$$x_o' = x_o - x_o'o. \quad (1-2)$$

(1-1)和(1-2)这两个式子就表示了观察者 O 和 O' 所量得的 P 点的坐标之间的关系。

拿(1-2)式来说,这关系就是:物体 P 在坐标系 S' 里对于 O' 的坐标,等于物体 P 在坐标系 S 里对于 O 的坐标减去 O 和 O' 之间的距离(就是 O' 对于 O 的坐标)。

这个关系是从坐标系 S 到坐标系 S' 之间的一种转换关系。

这种从一个坐标系向另一个坐标系的转换,叫做坐标变换。联系两个坐标系里的坐标的式子叫变换方程,简称变换式。

(1-1)式和(1-2)式就是变换式的一种,它们的特点是其中不包含时间的因素。

变换式(1-1)和(1-2)的用处是,知道了物体在一个坐标系里的位置坐标,可以通过变换式求出物体在另一个坐标系里的位置坐标。

例如,已知南京和上海之间的距离是300公里,一列火车停在南京以东100公里的地方,求火车对于上海站的位置。

已知 x_o = 火车对于南京站的坐标 = 100 公里,

$x_o'o$ = 南京和上海之间的距离 = 300 公里,

求 火车对于上海站的坐标 x_o' 。

解 由变换式(1-2),

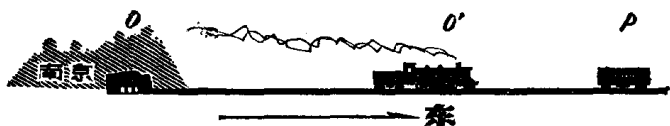
$$\begin{aligned}x_o' &= x_o - x_o'o \\&= 100 \text{ 公里} - 300 \text{ 公里} \\&= -200 \text{ 公里}.\end{aligned}$$

结果告诉我们,火车距上海站200公里,前面出现负号说明火车在

上海站以西。

火车什么时候走到什么地方？

前节谈到的两个坐标系属于同一个参照系。实际上两个坐标系也可以跟两个不同的参照系连结在一起。观察者 O 在南京站，用地面做参照系，观察者 O' 在机车上，用机车做参照系，这台机车正停在苏州站。机车和南京站两个参照系没有相对运动。这时候，(1-1)式和(1-2)式就代表两个彼此相对静止的参照系(地面和机车)里的观察者，来看同一个物体的位置之间的关系了。



要是机车走起来， O 和 O' 看到的 P 的位置之间的关系就变得复杂了。

O 在南京站， O' 在机车上，一同来看车厢 P 。现在要是机车走起来， O 和 O' 看到的 P 的位置之间的关系就变得复杂了。因为 P 对于 O 来说还是静止的，可是对于 O' 来说却是在运动的了。 P 对于 O' 的位置每时每刻都在改变。

假如最初机车也在南京， P 对于 O 和 O' 的位置是相同的。当机车匀速向东开去，机车上的 O' 就看到车厢 P 向西走起来。开始 P 离 O' 越来越近，然后经过 O' ^①又离开 O' 越来越

① 当然这里只是想象中 O' 能够穿越 P 而继续前进，因为这里只是谈坐标变换关系，这样想象不影响所谈的问题实质。