

和中学生谈谈 相对论

徐旭昭
黄微波



和中学生谈谈相对论

徐旭昭 黄微波 编著

广东教育出版社

和中学生谈谈相对论

徐旭昭 黄微波 编著

*

广东教育出版社出版

广东省新华书店发行

韶关新华印刷厂印刷

787×1092毫米32开本 3.75印张 72,000字

1986年6月第1版 1986年6月第1次印刷

印数1-1,700册

书号7449·132 定价0.65元

引言——为什么要写这本书

在学习物理的时候，牛顿力学使同学们认识了自然界中物体运动的很多规律，解决了不少的实际问题。不少同学还对研究物理学产生了极大兴趣，决心做一个自然规律的探索者。但是，把牛顿力学的知识用于解决高速运动和微观世界的运动的问题时，却非常困难。原来牛顿力学是有一定的适用范围的，它对于解决上述这些问题是无能为力的，只有根据相对论和量子力学，才能得出正确的、与实验一致的结论。因此，相对论是现代物理学的一块必不可少的基石。

可能有人会说：相对论是非常深奥的理论，没有较高深的数学和物理的理论知识，是没有办法看得懂的。

真的是这样吗？

当然，相对论是比较深奥的理论，要深入掌握并应用它，确实需要有一定的物理理论和数学知识为基础。但是，初步了解什么是相对论，学习一些有关相对论的理论和它的应用的知识，使我们在碰到有关的问题时，不至于感到陌生和茫无头绪，却是并不难做到的。

相对论有狭义相对论和广义相对论。在这本书里，我们将尽可能深入浅出地介绍狭义相对论(以后简称相对论)的知识以及考虑和研究问题的方法，广义相对论则只在介绍相对

论之父——爱因斯坦的时候提一下。我们希望同学们读了本书之后，对相对论有个初步的了解，并且以爱因斯坦为榜样，学习他献身科学，追求真理，勇于创新，百折不挠的精神，为祖国的科学事业作出贡献。

目 录

引言——为什么要写这本书	1
第一章 伽利略的相对性和牛顿的时与空	1
谁对，是乘客还是行人？	1
机车、小船和飞机在哪儿？	4
不变的尺和钟	6
能够判断是运动还是静止吗？	9
把别人的观察“翻译”成自己的“语言”	13
第二章 危机孕育着革命	
——相对论诞生的历史背景	19
真的无可置疑吗？	19
徘徊着的“以太”幽灵	22
一个巧妙实验的判决	26
左右为难，出路何在？	30
第三章 奇妙的高速世界	34
新的出发点	34
一个突破口	38
“语言翻译”的新“辞典”	41
天上方半月，世间十多年	45
这是真实的吗？	49
也能够说“世间方半月，天上十多年”	53

父亲比儿子年轻.....	57
运动的飞船缩短了.....	59
“缩地之术”的实现.....	63
质量是不变的吗?	66
$E = mc^2$ 的威力	68
物体能追上光吗?	72
相对论并不能推翻牛顿力学.....	77
第四章 相对论之父——爱因斯坦	79
丰功伟业.....	79
天才的成长.....	81
艰苦而又值得怀念的生活.....	88
划时代的1905年.....	91
描画宇宙.....	94
战斗不息	103
寄语未来	106
附录：爱因斯坦科学活动大事年表	111

第一章 伽利略的相对性 和牛顿的时与空

谁对，是乘客还是行人？

我们每个人都生活在时间和空间之中，每天都会提及时间和空间。在物理学中，时间和空间是描述物理现象必不可少的因素。相对论为什么能在科学技术上起这样重要的作用呢？简单地说，就是因为相对论从根本上改变了人们关于时间和空间的陈旧观念。相对论以前的物理学，对时间和空间是怎样看的呢？我们就先谈谈这个问题。

力学是研究物体的空间位置随时间变化的规律。这里讲的物体的“空间位置”应如何理解呢？如果我们向读者提出这样的问题，大家也许会感到奇怪：“这还算是问题么！物体所在的地方，不就是它在空间的位置么！”真的没有什么值得提出疑问的地方了吗？我们已经真正地理解了“空间位置”的概念了吗？

让我们设想有一辆在公路上匀速直线行驶的汽车，车上的一位乘客手里拿着一块石块，一个站在路旁的行人也可以看到这石块。对于这石块的“空间位置”，乘客说：“石块是

静止的，我一直把它拿在手里，它一直位于空间的同一位置上。”行人说：“石块正在从空间的一个位置连续地移到另一些不同的位置，它是随着车子在公路上离开我们而去的。”

谁对，是汽车上的乘客还是公路旁的行人？

让我们再看，如果乘客在这匀速直线前进的汽车的窗口，轻轻地松手让石块落下，石块就会掉到地上。乘客说：“石块沿竖直方向的直线落到地上了，我看到的事实是这样的。”行人说：“石块是沿着抛物线落到地面上的，我看到的事实是这样的。”（图1）

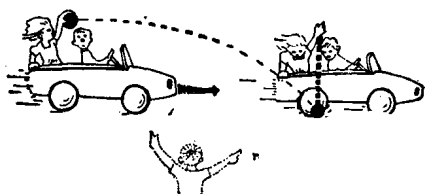


图1 是沿竖直线落下还是沿抛物线落下

又是谁对呢，是乘客还是行人？

对同一石块的“空间位置”以及它的位置随时间变化的轨迹，乘客和行人有不同的描述，得出不同的结果。

有人也许会说：事实只有一个啊！究竟哪一个说的是事实？

我们说：乘客和行人都对，他们说的都是事实。

为什么会是这样的呢？关键的问题在哪里呢？

读者经过思考以后就会发现，关键的问题是他们所选的

作为参考的物体不同。不是吗，当乘客手里拿着石块时，石块对他来说是静止的，对车厢来说也是静止的，的确是一直处在车厢中的同一空间位置上。而当他放手让石块落下时，相对于车厢来说，石块是沿竖直线落到地上，运动的轨迹是一条直线。行人说石块是不断地改变空间位置，那是相对地面来说的。他清清楚楚地看到，石块从公路上方的一个位置移到另一个位置，而当乘客放手让石块落下时，相对于地面，石块的运动轨迹是一条抛物线。

这就告诉我们，当我们要描述石块的空间位置和它的运动时，必须先指出是相对于那一个事先假定为不动的物体（例如车厢或地面）来说的。这一假定为不动的物体叫参照系。对于同一物体的运动，如果我们观察时采用的参照系不同，观察的结果就可能不同。“空间位置”和由于物体运动所形成的轨迹——空间位置的变化，只有相对于某一确定的参照系才有确定的意义。

这种相对性是不难理解的。在日常生活中，我们就经常和相对性打交道了。马路上，车辆应该靠右走。什么是左？什么是右？那是相对于车辆行驶方向而言的。一个物体放手后会沿着竖直线向下运动，氢气球放手后则会向上飞升。什么是竖直方向？什么是向下或向上？也是相对的。地球是球形的，竖直线方向随着地球上不同地点而不同。在



图2 两个小孩都说：爸爸，我的气球飞上天了。

某一地点，沿着竖直线离开地球表面的方向，就是向上，反之就是向下(图2)。如果不承认这种相对性，而把某处竖直向上的方向当成是绝对向上，那末在正对的另一处的人就会脚朝上、头朝下走路了。把地球上某一地点的竖直向上的方向认为是绝对的向上的说法显然是不恰当的，因为竖直方向和“上”、“下”都是相对的概念，不论在地球上任何地方，人走路时都是脚朝下、头朝上的。宇宙间并没有一个绝对的竖直方向。

以上例子告诉我们，不少概念，包括一些日常生活中经常应用的概念，都是相对的，这些概念只有当我们明确了观察条件时，才有确定的意义。“空间位置”、“静止”、“运动”就是属于这一类概念。

机车、小船和飞机在哪儿？

参照系是可以任意选择的。我们可以把地面、行走中的车厢或船，月亮、太阳或恒星等，选定为参照系。选定了参照系，我们又怎样定量地描述物体的位置和它的运动呢？

为了定量地描述物体相对于参照系的位置，通常要采用固定于参照系的数学系统——坐标系。

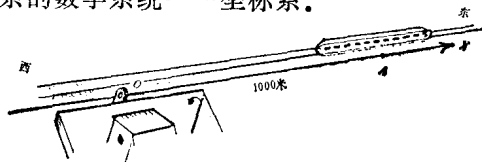


图3 机车的位置

设在东西向伸延的笔直的铁路上的A处停着一辆机车。要指出它的位置，可以以车站为参照系，以铁轨旁某一路标作坐标原点，沿着铁路轨道引坐标轴 OX ，规定从原点向东计算的坐标取为正值，从原点向西的坐标为负值。于是，机车的位置可以由它的坐标 $X = OA$ 表示出来。如果 $X = 1000$ 米，就表示机车是在铁轨上路标以东1000米处（图3）。如果 $X = -400$ 米，就表示它在铁轨上路标以西400米的地方。

由此可见，在一条直线上运动的物体，它的位置可以由一个坐标来决定。

湖上的一只小船，可以在整个湖面上自由运动。如果我们要说清楚小船的位置，可以取湖边水面上某一固定物体（如石块）为坐标原点

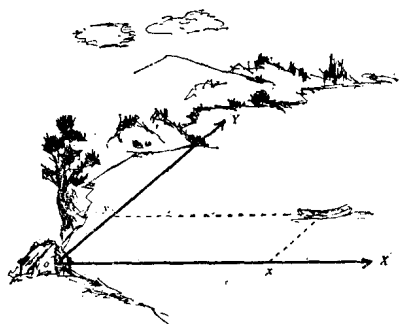


图4 湖面上小船的位置

O ，沿湖面引出两个互相垂直的坐标轴 OX 和 OY ，小船的位置就可以用两个坐标 x 、 y 来确定（图4）。

但是，当我们要描述飞机在哪里的时候，光指出它的东、南、西、北方位是不够的，还有一个高度变化的问题，必须同时指出它的高度。这时只引入两个坐标就不够了。应该通过参照系的坐标原点引三个相互垂直的坐标轴 OX 、 OY 、 OZ 。飞机的位置由三个坐标 x 、 y 、 z 来描述（图5）。

不变的尺和钟

时间和空间的观念是物理学的根基。牛顿对时间和空间是怎样看的呢？

前面已经指出，描述物体的位置和物体的运动，必须先说明是相对于什么参照系。行驶着的汽车相对于地面运

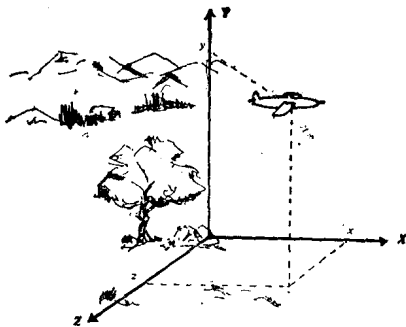


图5 飞机的位置

动，地球相对于太阳运动，太阳相对于银河系的中心运动，这些都是相对运动。如果再一直追问下去，那么银河系的中心又相对于什么运动呢？

为了解决这个问题，牛顿在他的力学中引入了绝对静止的空间概念。牛顿认为，绝对空间好比某种无限大的容器，是分布物体和发生事件的场所。绝对空间本身的性质，和外界任何事物无关，不依赖充斥其间的物体，不依赖于物体的运动，是永远相同和静止不动的。要是将所有物体都从空间中取出，绝对空间也丝毫不会因此发生什么变化，就象从一只无限大的箱子里面拿出了所有东西以后，箱子不会发生变化一样。

从存在绝对空间的观点出发，牛顿在相对运动之外，又提出了绝对运动的概念。物体相对于绝对空间的运动，牛顿称它为绝对运动。宇宙中各个不同物体之间作相对运动，同时它们又在绝对空间中作绝对运动。

测量长度的基本工具是尺。尺有许多种，有一定长度的东西都可以当作尺使用。现在，要测量一个运动的车厢的长度。在车上的观察者和地面的观察者，分别使用各人自己手里拿着的结构完全相同的尺（也可以认为这两个观察者用的是同一把尺，是地面上的观察者用后，交给车上的观察者的）。他们所测得的结果是一样的吗？

按照牛顿的观点，物体的长度是绝对的，它等于物体的两端在绝对空间中所处的两点之间的距离。因此，同一物体的长度，不论在什么参照系中进行测量，都和绝对空间中测量一样，不会有什么不同。测量一个运动车厢的长度，车上的观察者和地面的观察者所测得的结果，是完全一样的。车厢的长度是如此，尺的本身的长度也是如此。也就是说，我们用来测量的尺，它的长度不会因它是不是在运动而有所改变。

测量时间要用钟。这里所讲的钟是一些广义的钟。任何物理过程，只要它是周期性变化的过程，都可看作是一个钟。取这个钟的一个循环时间作为时间的单位，重复这个过程，就可测出任何时间间隔。所有的钟，从最简单的到最精密的，都是以这个观念为基础的。自然界中有许多周期性的过程，其中一些我们早就把它们作为计时单位。如地球自转

一周表示一天，地球公转一周表示一年。日常生活中所用的挂钟，是利用钟摆的周期性运动(振动)来测量时间的。

设想有两个构造完全相同的钟，站在运动车厢窗口的观察者拿着其中一个，这个钟随着他在运动，是个运动的钟。铁路旁的观察者拿着另一个，是相对于地面为静止的钟。两个观察者分别用各自所持的钟来测量同一石块从放手到落地的时间。这两个钟测得的时间一样吗？

关于时间，牛顿是这样说的：绝对的、真正的和数学的时间自己在度过，并且由它的本性而均匀地、与它之外的任何东西都没有关系地流逝着。

既然时间“与它自己以外的任何东西都无关地流逝着”，这两个观察者手里拿着的钟测出的这一段时间应是完全一样的。比方说，铁路旁的观察者拿着的钟测得这段时间是0.7秒，车上的观察者拿着的钟测得这段时间也是0.7秒。这就说明这两个构造相同的钟尽管它们的运动状态不同，它们的快慢是相同的。或者说，钟的快慢不会因为它是运动而有所改变。某一事件发生的时刻，与另一事件发生的时刻比较，是“同时”发生呢，还是“较迟”或“较早”发生，那是绝对的，是与测量用的钟的运动状态无关的。

这就是牛顿的绝对时空观，它是牛顿力学的根基。牛顿是根据人们的实践经验提出这样的时空观念的。一只钟的快慢和一把尺的长度，把它们带上火车，当火车行驶的时候，与它们在地面上静止的时候并没有差别，在我们的日常生活经验里，看不出这有什么可疑的地方。

能够判断是运动还是静止吗？

我们开始学习牛顿力学时，首先就要学习牛顿第一定律——惯性定律。惯性定律是这样陈述的：

一切物体在没有受到外力作用时，总保持静止状态或匀速直线运动状态，直到有外力迫使它改变这种运动状态为止。

这一定律没有严格的数学证明，经对老师或课本举出来的多个例子的分析，我们于是相信了它的真理性，并开始应用它去解决我们遇到的各种问题。

然而，惯性定律总是正确的吗？

设想有一位科学家，他产生了怀疑，并给自己提出如下任务：用实验来验证惯性定律。他把自己的实验室设在一个没有窗户、与外界隔绝的火车车厢中，车厢原来是静止在车站上，或者沿着铁路的轨道作匀速直线运动。车厢的地板是水平的和光滑的。科学家自己则穿上一双没有摩擦的滑轮鞋子。在实验中，如果他原来相对于车厢是静止的，他发现他将继续保持静止；如果他相对于车厢有一初速度，他发现他自己将继续保持这个速度。他分析自己所受到的作用力，发现只有两个竖直方向的力——重力和地板的弹力，而这两个力相互平衡，合外力为零。实验结果符合惯性定律。当他正要宣布他已经用实验验证了惯性定律的时候，司机却刚好开动火车，或者使火车从匀速运动变为加速运动。科学家

与外界隔绝，既看不见外面的东西，也听不见外面的声音，完全不知道车厢运动状态的变化。可是，他突然看到从某一时刻开始，自己相对于车厢有了一个加速度。他四周一看，没有任何其他物体作用于他。这真使他大惑不解了：没有外力作用，自己为什么却突然改变了运动状态！

怎么办呢？这个科学家如果放弃惯性定律，必须同时放弃牛顿力学中的所有定律，因为惯性定律是牛顿力学的出发点。如果他不放弃惯性定律，他又不能指出是什么外力在迫使他改变自己改变运动状态。

关键的问题又在哪儿呢？

在学习惯性定律的时候，我们往往不明确很重要的一点，就是惯性定律在哪一种参照系中才是正确的，这样，我们的知识就好像悬在半空，也就经不起推敲。从这个科学家的实验我们可以看到，如果火车相对于地面是静止或做匀速直线运动的话，则相对于车厢实验室来说，惯性定律是成立的；如果火车有了加速度，则相对于这样的车厢来说，惯性定律就不成立了。

惯性定律在其中能够成立的参照系，称为惯性系。凡是相对于某一惯性系静止或做匀速直线运动的参照系都是惯性系。

现在，让我们又提出一个问题。如果一个人处在一个惯性系中，他能否通过在这个惯性系内进行一些力学实验，判定自己所处的惯性系是处于静止状态还是处于匀速直线运动状态呢？