

卿 众 著

当接近光速的时候

(狭义相对论简介)

当接近光速的时候

(狭义相对论简介)

师 众 编 著

江苏科学技术出版社

当接近光速的时候

(狭义相对论简介)

师 众 编 著

*

江苏科学技术出版社
江苏省新华书店发行
南通市东方红印刷厂印刷

1978年8月第1版

1978年8月第1次印刷

印数：1 — 22,000册

书号 13196·001 定价0.47元

前 言

提起相对论，许多人都会感到又熟悉又陌生。说熟悉，那是因为常常在书刊上看到这个名字；有时也会听到人谈一些相对论的问题，如在高速度的宇宙火箭中过一年等于地球上过几百年等等。说陌生，就是在听过上述这些奇怪而有趣的问题后，总会想进一步问一问：相对论的这些结论究竟是怎样得来的？相对论究竟是怎么回事？它又有哪些应用？本书将试图回答这些问题。

相对论是研究物质运动与时间、空间关系的理论。本世纪初，爱因斯坦第一个提出了相对论学说。它突破了牛顿的形而上学的时空观念，使物理学的时空观发生了根本的变革。它找到了质量、能量等物理学基本概念之间的相互联系，给物理学各领域带来了一系列巨大的新的发展，成为近代物理学的基础之一，在粒子加速、核能释放、天文观测等方面均有广泛应用。相对论的提出和量子力学的建立，突破了十九世纪以来形成的经典的科学理论体系，为现代科学技术的发展提供了新的理论基础，因此可以说，相对论是本世纪初基础科学领域中的一项重大成就。

为了使读者对相对论有个系统的认识，本书从经典力学的时空观说起，追述了经典力学时空观的困难和相对论的产生，并着重对相对论的原理及其应用作了通俗的介绍。对于相对论讨论的有关问题也作了归纳和评述。

本书可供具有初中以上文化水平的读者阅读参考。

编 者

1978年8月

目 录

第一章 经典力学的时空观念

一、电影票的启示·····	1
二、云中的月亮·····	4
三、公路上的小车·····	8
四、力学相对性原理·····	12
五、对时和测距·····	15
六、伽利略变换·····	17
七、经典力学的时空观·····	23

第二章 光的疑团

一、巨大而有限的光速·····	29
二、光速的测量·····	32
三、新的问题·····	37
四、实验的否决·····	39
五、有迷人的“魅星”吗？·····	46
六、十字路口·····	50

第三章 当接近光速的时候

一、新的起点·····	53
二、对得准吗？·····	55
三、一样长吗？·····	60
四、洛伦兹变换·····	61

五、变慢了的钟·····	63
六、百日千年·····	70
七、早和迟·····	74
八、缩短了尺·····	79
九、变了样的几何图形·····	86
十、 $\frac{1}{2} + \frac{1}{2} = ?$ ·····	87
十一、 $\triangle ABC$ 中, $\angle A + \angle B + \angle C \approx 180^\circ$ ·····	95
十二、比质子还重的电子·····	97
十三、新的力学·····	99
十四、质量消失了吗? ·····	101
十五、高速世界的电学·····	104
十六、在真空管里·····	105
十七、轰击原子核的“枪炮” ·····	107
十八、在高速火箭上照相·····	110
十九、变了“调子”的光·····	113
二十、多普勒雷达·····	119
二十一、星光带来的秘密·····	121
二十二、光子和电子碰撞·····	125
二十三、相对论和量子论的结合·····	128
二十四、经受考验和接受检验·····	132

第四章 相对论讨论综述

一、关于质能关系式·····	136
二、关于相对论的两条原理·····	146
三、关于同时性·····	155
四、关于时空的相对性·····	157
五、关于对相对论的评价·····	164

第一章 经典力学的时空观念



一、电影票的启示

一部有意义的电影开始上映了，电影院门口贴着当场“客满”的布告，预售票处挤满了人，当你好不容易购到一张电影票的时候，是会情不自禁地把这一张简单的纸条看看去的。

其实，电影票的作用有两个，它既是作为入场的凭证，同时也为观众指定了座位和场次。

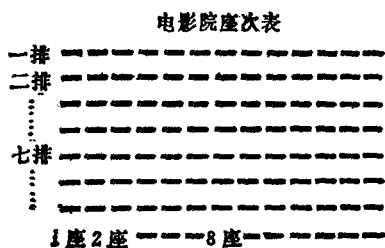


图1-1

如果你的座位是7排8座，那么先一排排地数下来，找到第7排，再一行行地数过去，找到第8座*，就找到了座位。（见图1-1）

假如我们用 x 表示排， y 表示座，就可以用图1-2的更普遍的形式来表示它。

习惯上常把图1-2中的 x 轴与 y 轴的方向转一个角度，变成图1-3

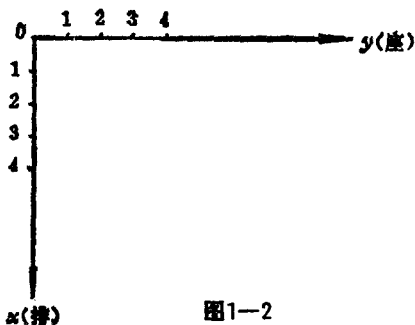


图1-2

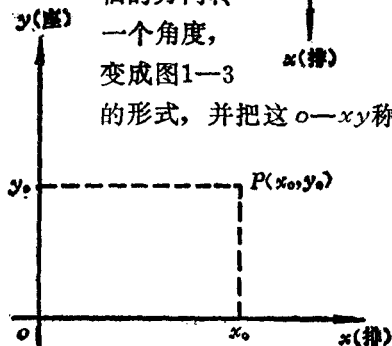


图1-3

的形式，并把这 $O-xy$ 称为坐标系。要找出电影院中的一个座位，只要分别在 x 轴（排）上和 y 轴（座）上找到相应的两个数字，就可以找到这个座位。

其实，不仅是电影

* 通常电影院中座号是从中间向两侧数开去的，这里为使讨论的问题简化，座号是从左到右数过去的。

院里的座位，一般地说，要在平面上确定某一个位置的问题，都可以采用上述的方法：在建立了坐标系 $o-xy$ 以后，只要有了两个数字 $x=x_0$ ， $y=y_0$ ，就可以在平面上找到确定的一点，反过来说，平面上任一点，都有两个数字 $x=x_i$ ， $y=y_i$ 与之对应。换句话说，我们总可以唯一地用两个数字来表示平面上的一个确定点。

如果电影院有楼的话，电影票上还要注明是一楼、二楼或是三楼，这时我们找座位就必须依据楼号、排号、座号三个数字。对于类似的普遍情况，即空间情况，可以建立空间的坐标系 $o-xyz$ ，在电影院的情况下， z 表示楼号， x 表示排号， y 表示座号。

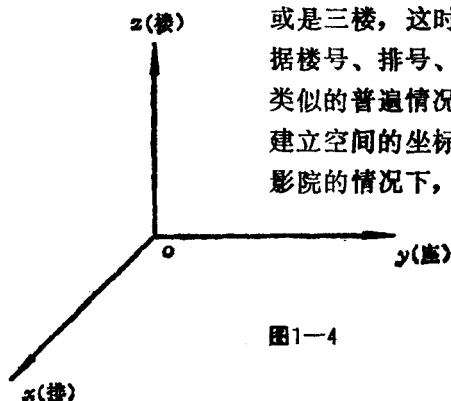


图1-4

坐标轴的交点称为原点，原点的位置相应于 $x=0$ ， $y=0$ ， $z=0$ 。

显然，当 x 、 y 、 z 可取负值时，整个空间中的点都可有三个数字与之对应。

总之，电影票上载明的楼号、排号、座号是帮助我们找到电影院中相应座位的。上面的分析说明：可以更一般

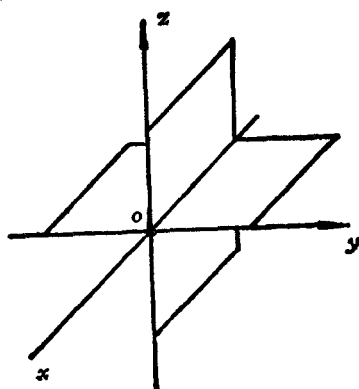


图1-5

地引进空间坐标系 $o-xyz$ 来方便地表示物体在空间的位置。

不要忘了电影票上还注明着时间，告诉我们应该何时进场。如果我们是守时的，在电影票上载明的那个时刻，我们正坐在那个确定的座位上等待着电影的开映。这一事实，用物理学的术语来说就是：物体（在这里就是观众）在某一确定的时刻有一个确定的位置。为了方便起见，时间可以用一个数字来表示，空间位置可以用三个数字来表示。

一张小小的电影票就必须写明这起码的四个数字，这说明时间、空间与物体运动的关系是多么密切。恩格斯指出：

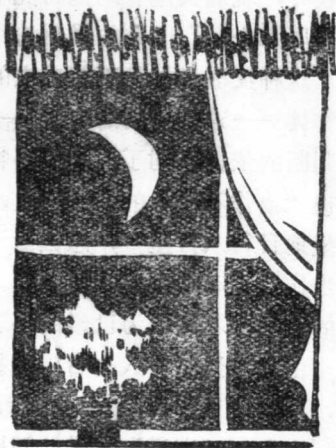
“因为一切存在的基本形式是空间和时间，时间以外的存在 and 空间以外的存在，同样是非常荒诞的事情。”因此，一切自然科学（物理学也一样），所研究的物体运动特点和规律，也离不开时间和空间。从这里我们应该得到启示：时间和空间的概念，在日常生活中，我们是处处、时时要与之打交道的。但绝不要对之熟视无睹，研究时间、空间与物质运动的关系，认识时空的特点是一个带有根本性的问题。

二、云 中 的 月 亮

在晴朗的月夜，皎洁的月色使一切星星相形见拙，间或飘来的几朵淡淡的白云，使这月明星稀的朴素天空，淡装素裹更添异彩。

我们抬头仰望，会忽而看见白云不动月亮在飞快地穿云急驰，忽而又仿佛是月亮在端庄静坐，而薄云却在轻飘急渡。如果这是眼睛的错觉吧，那为什么大家都会有这种体验？倘若果真没有看错，那到底是那个在运动呢？

我们还是不要急着回答这个问题，而是仔细地再看一看天空。当白云已经飘走，月亮周围的星星也都隐而不见，在视野中除了月亮，什么也没有的时候，我们能否说月亮是动还是不动呢？经典物理学认为这个问题是无从回答起的，因为缺少对比，只看到一个月亮，无从比较。讲到某物体是运动还是静止的时候，总是对比着另一个物体说的。



如果此刻又飘来一朵薄云，我们盯住薄云看，就会看到薄云不动，而月亮在动；要是我们盯住月亮看，就又会看到月亮不动，而薄云在动。这是因为当我们盯住薄云看的时候，就是把薄云当作是不动的，这就看到月亮相对于薄云在动。而当我们盯住月亮看的时候，就是把月亮当作是不动的，这就看到薄云相对于月亮在动。两次结论之所以不同，是因为两次判断的依据不同，因此两种说法并不矛盾。

有人还是想问：到底是那个在动？

经典物理学认为这个“到底”是不好回答的，因为不预先指明判断的标准，不预先交待讨论问题的条件，就不好说物体的动与静的问题。用不同的物体作标准，条件变了，所得的结果也要变，离开讨论的条件，孤立的问“到底”的问题是没有意义的。

有人会提出如下的反驳意见：站在大树下面，望着树上，

的枝叶，就确实地看到是月亮不动，而薄云在动，这就是“到底那个动”问题的最后答案。

这种反驳意见是不能成立的。因为这次被“当作不动”的物体——这是判断的依据——已经换成“枝叶”，与前两次判断的依据不同了。这里要特别注意的是：“枝叶”也仍是被“当作不动”的，实际上，它也在随着地球一同运动。

“坐地日行八万里”，怎么能说它不动呢，只是我们把它“当作”不动的罢了。所以用“枝叶”来判断并没有什么绝对的意义，不能认为已经回答了“到底”的这个问题。

由此，当然有人会希望能找到某一个确实是不动的物体，只要一旦找到，最后的判断就能做出了。这些“真的”，“到底”，“究竟”之类的问题就能回答了。可惜，这一点是办不到的。因为宇宙中的万物都在不停地运动着。恩格斯指出：“整个自然界，从最小的东西到最大的东西，从沙粒到太阳，从原生生物到人，都处于永恒的产生和消灭中，处于不间断的流动中，处于无休止的运动和变化中。”既然没有什么绝对不动或确实不动的物体，所以最后的判断是没有的，最后的答案也是没有的。

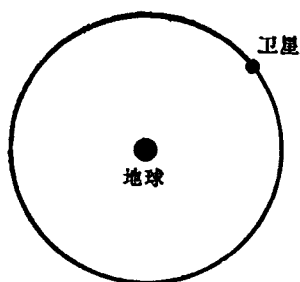
因此，经典物理学得出结论说，不参照其他的物体，一个物体运动与否的问题就无法回答；要表述物体的运动，必须预先指定一个“假定不动”的物体来作依据；这些被“假定不动”或“当作不动”的物体实际上都在运动，因此，以它们为依据所作的判断，只能是有条件的，相对的。这一认识，力学上称为运动的相对性。

力学上把这些被我们“假定不动”的物体称之为参照物，其他物体的运动即是相对于指定的参照物（参照系）的运动。

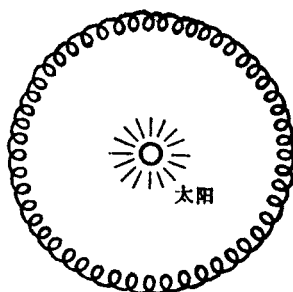
有人会联想到日心说与地心说的斗争，是否由于运动的相对性，日心说与地心说就没有什么原则的区别了呢？完全不是。日心说与地心说斗争的焦点是如下两个问题：地球究竟动不动？宇宙究竟有没有中心；日心说的重要意义恰恰在这两点上批判了地心说的错误。至于以地球为参照物来描述天体的运动这完全是可以的，但这与地心说完全是两回事，因为在这里，地球是被“当作不动”的。这儿还有一个问题，以地球为参照系和以太阳为参照系，二者是否有优劣之分。这个问题的答案是有的，它是在研究物体运动的规律基础上得到的，其结果将在以后的几节中叙述。

明白了物体的运动与否（动与静）是相对的，下面的两个问题也不难弄清楚。

物体运动的路径也是相对的 例如，在静止于路旁的人看来是垂直下落的雨滴，在汽车上运动的人看来却是倾斜着下落的，经典力学认为：孤立地发问“雨滴下落的路径究竟是垂直的还是倾斜着的”，是没有意义的。同样，人造卫星的轨道，以地球为参照物（不考虑地球自转）是椭圆形的，



以地球为参照系（不考虑地球自转），卫星的轨道是一个圆或椭圆



以太阳为参照系，卫星的轨道是一个环状的螺旋曲线

图1—6

而以太阳为参照系，则是一条有趣的螺旋曲线了。孤立地问卫星轨道究竟是什么形状也是没有意义的。

物体的空间位置也是相对的 拖拉机现在在那儿？指明了以地球为参照物，这问题是好回答的；指明了以某辆运动着的汽车为参照物，也好回答；不指明参照物就不好回答。

如前所述，任何物体都可以被选中来作为参照物。既然用不同的参照物，对同一物体运动的描述就不同，则我们能够通过适当的选择，挑出一些特殊的参照物，以使物体的运动被表述得比较简单些。建立了时间、空间坐标的参照物称为参照系。至于究竟选什么样的参照系对描述物体运动比较方便，回答这一问题需要对物体运动的规律加以分析和把握，为此，让我们暂先转入对物体运动规律的考察吧。

三、公路上的小车

一辆普通的小车，停留在平坦的公路上，要是谁也不去碰，它将永远地停留在公路上。这一显而易见的结果，用力学的语言来说就是：相对静止的物体在不受外力作用时，将一直保持它的相对静止状态。

我们用力推动小车，小车开始向前运动，如果我们不再用力，小车将怎样运动呢？

有人说：一旦停止用力，小车将立即停止不动。

有人说：一旦停止用力，小车稍过一会儿就会停止不动。

分歧只是在“立即”与“稍过一会儿”。认为是“立即”的人，举出地面上沙子较多的情况；认为是“稍过一会

儿”的人举出地面比较平坦的情况。当然在这两种情况下，他们的说法都可能是对的。

能否由此就得出结论，说任何运动的物体一旦外面的推力（或其他作用力）消失以后，物体的速度就会慢下来，以致停止？

不能这样说，因为我们刚才已经注意到路面的光滑程度对结论所发生的影响，由于路面总不是那么光滑，因而总存在着阻力，阻力的大小显然和地面的光滑程度有关。（对空气阻力等其他影响，这里暂不考虑）可以说车子停下来的快慢关键在于地面的阻力。若是阻力非常小，我们会看到小车将经过较长的时间，并经过较长的路程才会停下来。成书于春秋战国之际的《考工记》中指出：“马力既竭，辀犹能一取也。”就是说，马虽然停止拉车了，车还能向前跑一段路。这是世界科学史上关于惯性现象的一次较早的记载。

车难道一定会停下来吗？设想一下路面是十分光滑以致没有阻力的情况，不难想见，此时小车将不再会停下来，而是一直沿着原先的方向，并保持着原先的运动快慢，永远运动下去。

没有外力作用的物体将如何运动的问题，历史上曾进行过激烈的争论。亚历士多德（公元前384～前322年）等哲学家曾用“终极的原因”来解释物体的运动，他们认为每一物体都有一个“天然处所”，寻求各自的“天然处所”的目的和趋势，规定着各个物体往什么地方去，支配着各个物体的天然发生和进行的运动。因此他们认为如果马不继续用力去拉车，车就要立刻停下来，物体速度的大小是由它所受力的大小直接决定的。这个唯心主义的运动学说直到十六世纪以前一直被教会奉为金科玉律，不允许有丝毫怀疑。

到了十六世纪，布鲁诺勇敢地提出：物体根本没有什么天然处所。坚持必须用实验考察一切传统结论的伽利略，根据对实验的具体分析认识到静止和匀速直线运动是不需要有任何外界作用来加以维持的状态。他写道：“物体沿水平面运动时，如果不遇到任何阻力，那么，……它的运动将是匀速的，并将无限继续下去，如果这平面在空间中无限地伸展的话。”（《关于两门新科学的谈话》）

牛顿在前人积累的大量实践材料和动力学知识的基础上，又通过自己大量的观察实验，明确地总结出著名的牛顿第一定律（也称为惯性定律）：任何物体都保持静止或匀速直线运动状态，直到其他物体所作用的力迫使它改变这种状态为止。

物体保持自己作匀速直线运动或静止状态的性质称为物体的惯性。惯性大小可用质量来度量，质量大的物体，惯性也大；质量小的物体，惯性也小。例如，在速度相同时，满载货物的卡车将比空载的同型号的卡车较难刹住，因为前者质量较大，因而惯性较大。

上述牛顿第一定律其实是一种理想情况，即没有外力作用的情况。实际情况中，外力是经常起作用的。对此，我们还需作进一步的讨论。

设想两种情况：第一种情况，地面是十分光滑的，以致没有阻力，原先静止的小车一直受到一个恒定的外力被推向前。经验告诉我们：小车将从静止开始运动，并且越走越快。第二种情况，如果地面阻力不可忽视，当外力撤消后，在地面阻力作用下，运动小车的速度将越来越慢。

从中我们看到，在外力（无论是推力还是阻力）的作用下，小车的运动快慢就会发生变化，或者说小车的速度将会

改变。第一种情况下，推力的方向与小车速度方向相同，小车速度越来越大。后一种情况下，阻力的方向与小车速度方向相反，小车速度越来越小。精细的实验还指出：单位时间内速度的改变与外力的大小成正比。

单位时间内速度的改变，力学上称为加速度。例如，在一秒钟内物体的速度由1米/秒变为3米/秒（速度的方向没有变化），则在这一秒钟内物体速度的改变率为： $(3\text{米/秒} - 1\text{米/秒}) \div 1\text{秒} = 2\text{米/秒}^2$ ，即加速度为2米/秒²。

总结和归纳了与上述类似的大量实验，经典力学得出了牛顿第二定律：

$$F = m \cdot a$$

上式中 F 表示作用于物体的外力， m 表示物体的质量， a 表示物体的加速度。

如果外力作用的时间很短，或者对于一段较短的时间而言，上述公式可以近似地写成：

$$F = m \cdot \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

上式中 V_2 表示时刻 t_2 的速度。 V_1 表示时刻 t_1 的速度。

两个各自以恒定速度运动的物体，尽管两者的速度各不相同，但是它们的速度差总是不变的。如果我们分别以这两个物体为参照系，从这两个参照系测量同一个物体运动的速度虽然是不同的，但测量物体速度的改变却是相同的。换句话说，以不同的匀速运动的物体作参照系，其他物体运动的加速度将不会因为选择参照系中的那一个而改变。

在日常生活的范围内，质量也具有这样的性质。在不同的参照系上看来，物体的质量是相同的。