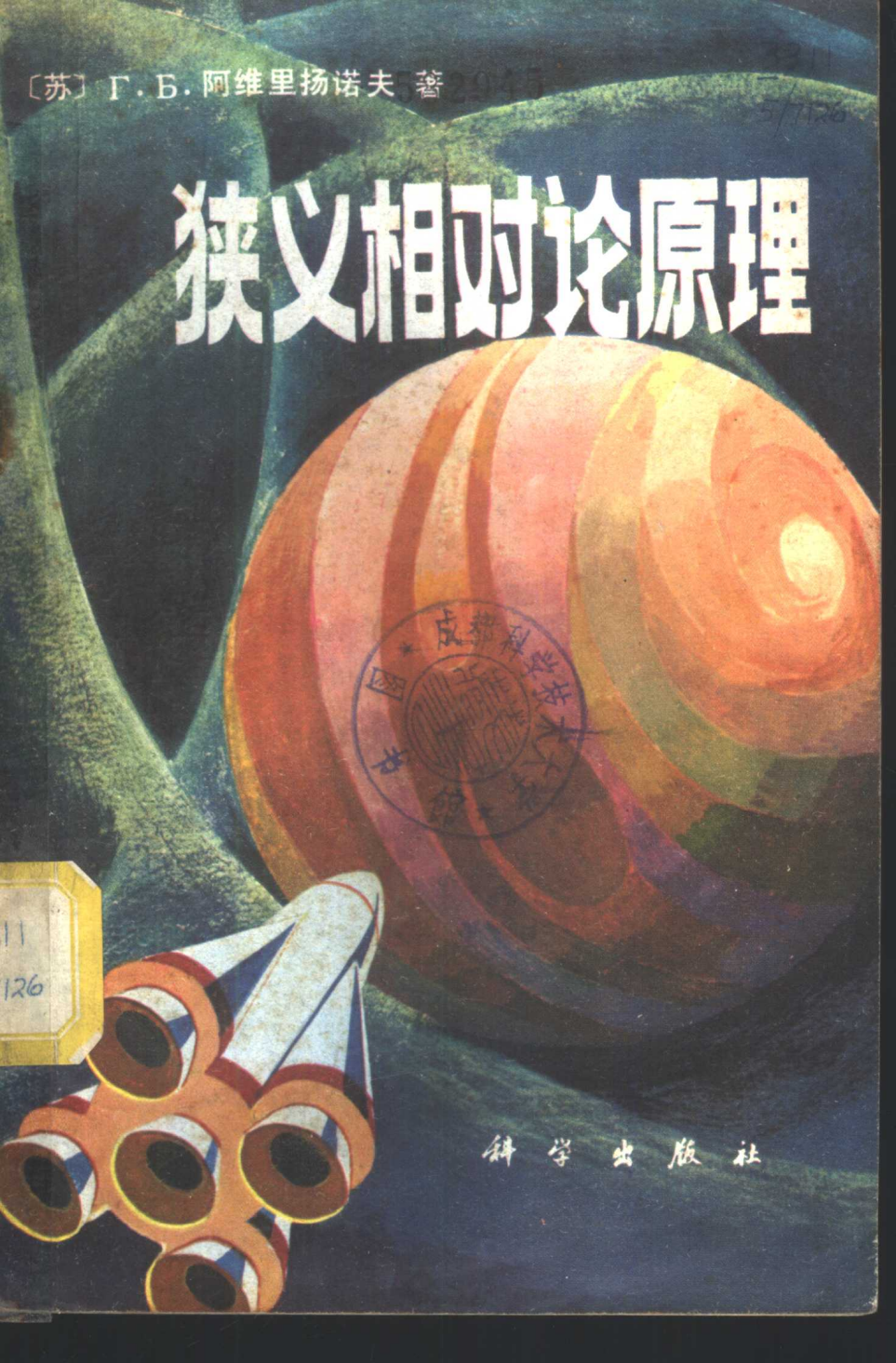
〔苏〕Г. Б. 阿维里扬诺夫 著

狭义相对论原理



成都科学技术图书馆

11
126

科学出版社

582945

5/7126

狭义相对论原理

〔苏〕Г. Б. 阿维里扬诺夫 著

倪鋆非 译

科 学 出 版 社

1980

内 容 简 介

本书对狭义相对论的一系列效应和基本原理作了简明扼要的普及性介绍。书中广泛运用假想实验的方法，使叙述直观、生动。同时，对基本公式也作了必要的初等推导，以加深读者的理解。书中还考察了某些实际应用。

读者对象：高中、中等技术学校的学生，大学生，物理教师以及对狭义相对论感兴趣的广大科技人员。

Г. Б. Аверьянов
НАЧАЛА СПЕЦИАЛЬНОЙ
ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
Минск
«Вышэйшая школа»
1978

狭义相对论原理

〔苏〕Г. Б. 阿维里扬诺夫 著
倪锄非 译

*

科学出版社出版
北京朝阳门内大街137号
中国科学院印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行　各地新华书店经售

*

1980年4月第一版　开本：787×1092　1/32
1980年4月第一次印刷　印张：2 1/2
印数：0001—15,470　字数：46,000

统一书号：13031·1233
本社书号：1714·13—3

定价：0.25元

序　言

有关相对论的科普书籍大体上可以分为两类．仅仅讲讲相对论而不作任何证明的书籍属于第一类．在这一类书籍中，通常没有（或者几乎没有）公式和图线．这种书就象引人入胜的小说那样容易阅读．读了这种书后，读者对于相对论便有了一个粗略的（通常是十分肤浅的）了解．

可是还有第二类书籍，不仅叙述相对论，而且还合乎逻辑地论证了相对论基本原理的根据．在这类书籍中有公式和图线．并且，这些公式是推导出来的，而不是现成给出的．阅读这种书要困难得多．然而，读了这种书，读者就会获得更正确、更深入的有关相对论的知识．哪一种书好呢？这个问题或许是没有意义的．每一本书都有一定的读者对象．

本书属于第二类，也就是说，不是为了轻松地浏览而写的．

要想理解相对论，困难不在于它的复杂性，而在于它的结论似非而是．相对论的许多结论是如此不寻常，以致达到了同"正当想法"相抵触的地步．在我们的时代．相对论的基本原理毕竟比二、三十年前容易理解了．这或许是由于：近年来，我们成了不久前还被认为是幻想的事件的见证人．二、三十年前，关于到月球和其它行星上去的飞行，只能在 J．凡尔

TA059/08

纳*、H. 威尔斯**、A. 托尔斯泰***的幻想小说中读到. 而现在我们在报纸上就读到了这些消息.

我们这一代的人已习惯于"奇迹",所以,甚至连双生子佯谬(长期遨游宇宙归来的宇航员, 变得比他的同庚更年轻)也已经显得不像从前那样离奇了.

为了确保直观性, 书中在推导公式时采用了用宇宙飞船的假想实验的方法. 这种方法并不是创新. 二十世纪最伟大的物理学家——A. 爱因斯坦 (Einstein)、N. 玻尔 (Bohr)、W. 海森伯 (Heisenberg) 等人——在解释最复杂的问题时就采用过了.

本书只讨论狭义相对论;狭义相对论研究在惯性参考系, 即在作匀速直线运动的参考系中进行的物理现象. 另外还有广义相对论, 它研究在任何参考系中进行的现象. 讲述广义相对论,超出了本书的范围.

现在, 相对论在电动力学、光学、核物理学和核力能学中有着多方面的实际应用. 其中有些应用本书将加以考察.

---

* Jules Verne (1828—1905): 法国小说家, 被誉为"科学幻想小说之父". 一生中写了 104 本科学幻想小说, 被译成五、六十种文字出版. 如《格兰特船长的儿女》、《海底两万里》、《神秘岛》、《地心旅行记》、《从地球到月球》、《月球旅行记》等等. ——译者注

** H. G. Wells (1866—1946): 英国作家,尤以科学幻想小说而享盛名. 著有《时间机器》、《隐身人》、《宇宙的斗争》等. ——译者注

*** Алексей Н. Толстой (1883—1945): 俄罗斯苏维埃卓越的作家, 俗称"小托尔斯泰". 除著有《苦难的历程》三部曲、《彼得大帝》(三卷)等许多知名小说外,还著有《艾莉塔 (Аэлита)》、《加林的双曲线体》等科学幻想小说. ——译者注

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

本书的读者对象可望是广泛的。首先是高年级中学生、中等技术学校的学生和大学生。物理教师可能对相对论的叙述方法(例如公式的推导)感到兴趣。

(下略)

作　者

* * *　　* * *

本书译稿承中国科学院物理研究所朱保如同志校订，谨此志谢。

译　者

目　　录

参考系…… 1
惯性参考系、经典相对性原理 …… 4
爱因斯坦的相对性原理、光的异常性质 …… 5
时间变慢、时钟佯谬 …… 8
长度缩短……14
多普勒效应……19
同时的相对性、再论时钟佯谬 ……24
桥与列车的佯谬……39
相对论性速度合成法则……41
比光还快……47
质量对速度的依赖关系……51
加速器……55
质能关系、原子核能 ……58
结束语……69
参考文献……74

参　考　系

莫斯科—海参崴列车上的一个旅客，下午 3 点钟在餐车吃的午饭，而晚上 9 点钟在同一餐桌吃的晚饭．这两个事件是在同一地点发生的呢，还是不在同一地点发生的？如果向餐车服务员提出这个问题，他的回答将是肯定的，甚至他还会把那个旅客吃午饭和晚饭的桌子指给你看．不过，在站在地球上的观察者看来，这两个事件是在不同地点发生的．实际上，从午饭到晚饭经历了六小时．在这段时间里，以 80 公里/小时的速度行驶的列车走了 480 公里．因此，那个旅客是在相距 480 公里的两个不同的地方吃的午饭和晚饭．

哪一个人正确：是餐车服务员呢，还是站在地球上的观察者？大多数读者或许会说地面上的观察者正确：要知道列车在运动，而地球是静止不动的．不过，果真是这样的吗？可以认为地球是静止不动的吗？事实上，它在绕自己的轴自转还绕着太阳公转，并且它的转动速度比列车的速度大得多．

让我们来考察一下地球绕太阳的运动．我们取一直角坐标系，其原点与太阳的中心重合，而 X，Y，Z 轴指向三颗遥远的恒星(图 1)．这样的坐标系称为日心坐标系．在这个坐标系中，地球以 30 公里/秒的速度运动．在 6 小时里它走过 $30 \times 60 \times 60 \times 6 \approx 650000$ 公里的距离．因此，在日心坐

标系中的观察者看来，那个旅客吃午饭和吃晚饭的地点之间相距 650000 公里.

这样，在餐车服务员看来，那个旅客是在同一个地点吃的午饭和晚饭，也就是说，这两个事件发生的地点之间的距离等于零. 由站在地球上的观察者看来，这个距离等于 480 公里，而在日心坐标系中的观察者看来则等于 650000 公里.这就产生了一个问题：这个距离实际上究竟等于多少？可是这个问题是没有意义的，因为还没有指定参考系，也就是说，还没有指定据以确定事件地点的物体.

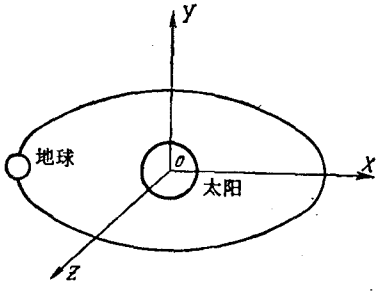


图 1.

如果以车厢作为参考系，那么可以认为：那个旅客在同一地点吃午饭和晚饭. 如果地球是参考系，那么这两个事件发生的地点相距 480 公里. 在日心坐标系中这个距离却等于 650000 公里.

因此，“在同一地点”、“在不同地点”的概念是相对的，它们依赖于参考系. 切莫忘记这一点，否则必然要犯大错误.在一个古老的故事* 里讲述了这样一个可笑的错误.

---

* 这个故事类似于我国的寓言“刻舟求剑”，见《吕氏春秋 · 察今》. ——译者注

……很久很久以前，在一个小城市的古老的教堂里挂着一个钟，它是那个小城市的主要名胜古迹．爆发了战争，并且小城市有被敌人入侵的危险，这时候，市民们（小城市的居民）决定把钟藏起来．但是藏到哪里去呢？有人提议将钟沉入湖底．于是就照此办理．市民们在市长的率领下把钟装上小船，把船驶到湖上并把钟推入水中．当钟沉到水下时，有人大声喊道："那我们以后怎么找到它呢?!"市长回答说："不用担心，一切我都预先考虑到了：在钟下沉的地方，我在船舷上刻下了记号．"

……几个月过去了．战争已经结束，敌人入侵的威胁不复存在了．市民们决定把钟打捞出来．他们仍把原来那只小船找来，将它驶到湖面上，并且在船舷上刻有记号的地方开始潜水打捞．但是他们找不到钟．

市长说道："真是不可理解，钟藏到哪里去了！我们可正是在沉钟的地方潜水打捞的呀．"

读者自然明白市民们为什么找不到钟：他们把参考系搞错了．在小船这个参考系里市民们是在同一地点潜入水中的，但是在湖底这个参考系里则不在同一地点；既然钟不是放在小船底上而是放在湖底，自然就无法找到它了．从这个例子可以作出下列结论：

1."在同一地点"和"在不同地点"的概念是相对的．只有在指明参考系的情况下它们才有确定的涵义．

2.只有物体（小船、列车、地球等等）才可以充作参考系．真空不能充作参考系：因为只有在物体上才能作出标记．

物理学中有许多概念和量值是相对的，也就是说，它们依赖于参考系．走过的路径、速度等等，就在此列．

假定一旅客在运动着的列车车厢中散步．他的速度如何？这与参考系有关．相对于车厢速度有一个数值，而相对于地球则有另一个数值．所以，在确定某一个物体的速度时，必需指明参考系．在没有指明参考系的情况下，通常把地球认作参考系．如果说汽车的速度是100公里/小时，那指的是它相对于地球的速度．

惯性参考系、经典相对性原理

假定我们呆在作匀速直线运动的列车车厢里．在这个车厢里（就像在地球上那样）惯性定律成立．放在行李架上的手提箱保持静止状态，等等．

惯性定律在其中成立的参考系称为*惯性参考系*．

不是所有的参考系都是惯性参考系．紧急刹车时的列车就是非惯性参考系的例子．在紧急刹车时，虽然并不存在促使手提箱获得加速度的力，但是手提箱还是会从行李架上滑下来．

实验表明：力学定律（牛顿定律）在所有惯性系中都成立．因此，如果在地面上做某一个力学实验（例如观察球的碰撞），然后在作匀速直线运动的车厢里重复这个实验，那么会得到同样的结果．这就是经典的（或者力学的）相对性原理．可以把经典相对性原理表述如下：*在所有惯性系中力学定律都一*

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

样．这里说的只是力学定律，因为这个原理是伽利略在300多年前总结出来的，当时物理学的其它分支根本还不存在。

爱因斯坦的相对性原理、光的异常性质

爱因斯坦把相对性原理推广到了一切自然现象．这就是说，一切自然规律(不仅仅是力学定律)在所有惯性系中都一样．换句话说，一切自然现象(不仅仅是物理现象)在所有惯性系中完全同样地进行．所以，哪一个惯性系在运动，哪一个原地不动，这样的问题根本回答不了．也就是说，所有惯性系都是等价的．

在日常生活中我们经常要从一个惯性参考系转移到另一惯性参考系．当我们站在地面上的时候，我们处在一个惯性系中；当我们乘上以100公里/小时的速度行驶的汽车时，我们处于另一惯性系中；而当我们乘坐具有1000公里/小时速度的飞机飞行时，则处在第三个惯性系中，等等。

假如相对性原理不成立，会怎么样呢？那就会：有一些自然规律在一些惯性系中有效，而另一些自然规律在另一些惯性系中有效．假定在汽车这个参考系里法拉第的电磁感应定律不再有效．这就会导致点火线圈点不着了，于是汽车就抛锚了．假如电磁感应定律在飞机这个参考系里不再有效，那就会发生惨祸。

从这些例子可以看出，生活在相对性原理受到破坏的世界里，不仅会是不方便和危险的，而且甚至看来是不可能的.

爱因斯坦把相对性原理推广到一切自然现象，在 1905 年创立了相对论. 相对论是以下列两个假设(公理)为基础的:

第 1 个假设(相对性原理): *一切自然规律在所有惯性系中都相同.* 如果情况是这样的话，那么一切自然现象在所有惯性系中都应完全同样地进行. 因此，无论什么样的实验都不可能回答下列问题: 哪一个惯性系在运动，哪一个静止不动. 换句话说，所有惯性系都是等价的.

第 2 个假设(光速不变原理): *在所有惯性系中，光在真空中的速度与光源的速度无关并且为一常量* ($c = 300000$ 公里/秒).

第一个假设的正确性已为美国物理学家迈克耳逊 (A. Michelson) 的实验所证实. 迈克耳逊在 1881 年指出，地球的运动对光速没有影响. 因此，就连光的现象在所有惯性系中也是同样地进行的. 我们的日常生活经验也证实了第一个假设. 在运动着的列车和喷气式飞机里我们感觉到就象在"静止的"地球上一样. 因此，就连生物学过程在所有的惯性系里也是同样地进行的.

也有许多证明第二个假设的实验事实. 苏联学者邦奇-勃鲁耶维奇(А. М. Бонч-Бруевич) 的实验是光速不变性的最有说服力的证明. 他测量了从太阳赤道上两个对应点发出的光的速度. 众所周知，太阳绕自己的轴转动，并且太阳赤道上的点的线速度 $v \approx 2$ 公里/秒. 假如光速同光源的速度相合

成，如同炮弹的速度同安装在飞机上的炮的速度相合成那样，那么，从点 A（图 2）发出的光的速度就会等于 $c+v$，而从点 B 发出的光的速度就会等于 $c-v$. 在此情况下速度差为：

$$(c+v)-(c-v)=2v\approx 2\times 2=4\text{（公里/秒）}.$$

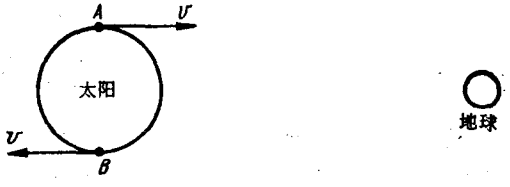


图 2.

邦奇-勃鲁耶维奇的实验装置虽则非常灵敏，就连这一速度差的 1/60 也能测出，可是他却没有发现从太阳赤道的两个对应点发出的光速有什么差别. 因此，邦奇-勃鲁耶维奇的实验，以及其它学者的实验，令人信服地证明了光速与光源的速度无关，并且为一常量.

光速的不变性使光速与所有其余的速度迥然不同. 这就产生了如下问题： 为什么声速在不同的参考系里是不同的（乘喷气式飞机甚至可以超过声音），而光速却永远不变？为什么不能超过光速？如果假定光速是极限速度，那么光的这些乍一看来十分异常的性质是可以解释的. 实际上，如果光速是自然界中存在着的速度的上限，那么，显然这个速度应当在所有惯性系中都相同，否则就破坏了相对性原理.

从经典物理学观点看来，相对性原理与光速不变原理是彼此尖锐地对立的. 为了使它们协调一致，必须对许多基本

概念加以修改．例如，必须摒弃绝对时间的概念．

时间变慢、时钟佯谬

1687 年牛顿的主要著作《自然哲学的数学原理》(Philosophiae Naturalis Principia Mathematica) 问世了．在这本书中，第一次对经典力学的基本原理作了合乎逻辑的论述．在书的开头部分牛顿叙述了自己对空间和时间的观点．我们把他的一些主张摘录如下："绝对的、真正的、数学的时间本身和按其自身的本性均匀地流逝着，与外界事物没有任何关系；也可以把时间称作延续……所有运动都可以加速或者减慢，而绝对时间的流逝却不可改变．事物存在的延续(或持续)都是相同的，不论它们的运动(据此测量时间)是快、是慢、还是完全不动……"．

这样，牛顿认为存在着对于所有观察者都是同一的、绝对的或者真正的时间．绝对时间流逝的速率与任何事物都没有关系．

必须指出：光速不变原理是同绝对时间的概念相矛盾的．

首先我们考虑如何测量时间．莫斯科的列车在 12 点到达某城车站，而列宁格勒的列车在 17 点到达．显然，这两个事件之间的时间间隔为 5 小时．并且，既然这两个事件在同一个地点发生，所以只要一个时钟，就足以测量它们之间的时间间隔了．

现在考虑两个事件发生在不同地点的情形．两列车分别从莫斯科和海参崴开出，其间相差多少时间？显然，在此情况下，列车从莫斯科开行的时刻按莫斯科的钟确定，而列车从海参崴开行的时刻按海参崴的钟确定．因此，为了确定在不同地点发生的事件之间的时间间隔，必须要有两个钟，并且这两个钟应该是同步的．（在第 25—26 页上将详细考察钟的同步问题．）

考虑这样一个有意思的实验．假定宇宙飞船“甲”（图 3）是一个惯性系．于是相对于“甲”以速度 v 作匀速直线运动的飞船“乙”也是惯性系．飞船“乙”上的点 A 处的灯突然在某时

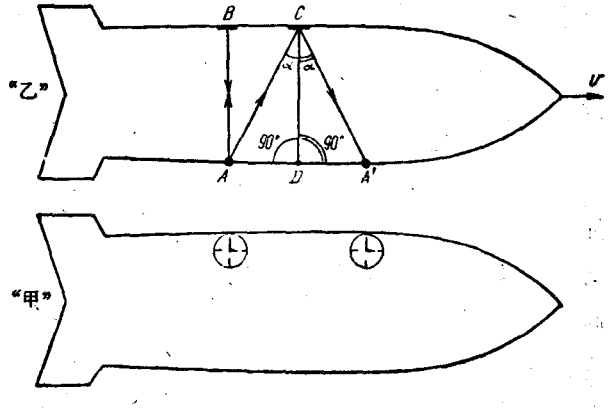


图 3.

刻闪亮．被点 B（点 A 和点 B 位于同飞船的行进方向垂直的直线上）处的镜子反射回来的灯光由位于点 A 处紧靠着灯的光电管记录．从闪光瞬刻到光电管记录光的瞬刻之间经过了多少时间？

在飞船“乙”中的宇航员看来这两个事件之间的时间间隔

$$t_0 = \frac{2AB}{c},$$

其中 c 为光速.

我们从飞船“甲”中的宇航员的观点来考虑这个现象. 当光到达镜子时,镜子已随同飞船移动到点 C.在反射光到达光电管这段时间里, 光电管随同飞船移动到点 A'. 在参考系“甲”中,光线的轨迹为 ACA'. 既然入射角等于反射角,所以直角三角形 ACD 与 $A'CD$ 全等. 因此, $AC = CA'$. 在参考系 “甲” 中光线的路径长度为 $AC + CA' = 2AC$, 并且 $2AC > 2AB$ (斜边大于直角边). 但是, 如果在参考系“甲”中光走过了较大的路径, 那么这就意味着经过了较多的时间(光速在所有的惯性系中都相同). 因此, 在“甲”中的宇航员看来,在灯闪光与光电管记录到这个闪光之间的时间间隔

$$t = \frac{2AC}{c}.$$

显然, $t > t_0$.因此,不存在对于所有观察者都是同一的、绝对的(真正的)时间. 时间是相对的.

时间的相对性乃是光速不变性的直接结果. 应当注意: 在参考系“甲”中灯闪光和光电管记录到这个闪光是发生在不同地点. 所以,为了测量这两个事件之间的时间间隔,“甲”中的宇航员要利用分别位于点 A 和点 A' 的两个同步的钟.

这就产生了一个问题: 是否可以用上述方法来测量时间? 如果运动是均匀的,那是可以的.请看一看自己的表. 分针沿均匀刻度的表盘以恒定速度运动. 设分针的速度为 1 毫

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com