



四色全彩

看得见的 相对论

〔日〕飞车来人/著

李隽 佟海宁/译

弯曲的
时间和空间，
让你身临其境！



$$R_{\mu\nu} = \frac{4\pi G}{c^4} (2T_{\mu\nu} - T\delta_{\mu\nu})$$



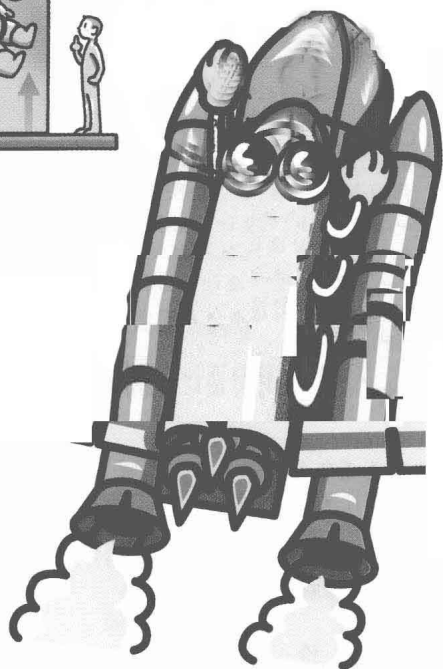
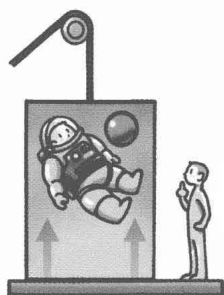
科学出版社



看得见的 相对论

〔日〕飞车来人/著

李隽 佟海宁/译



科学出版社

北京

图字: 01-2011-4284 号

内 容 简 介

我们生活的世界有形形色的事物和现象,其中都必定包含着“科学”的成分。在这些成分中,有些是你所熟知的,有些是你未知的,有些是你还一知半解的。面对未知的世界,好奇的你是不是有很多疑惑、不解和期待呢?“形形色色的科学”趣味科普丛书,把我们身边方方面面的科学知识活灵活现、生动有趣地展示给你,让你在畅快阅读中收获这些鲜活的科学知识!

相对论总是让人好奇又有些困惑,光、能量、质量、空间、时间,还有重力……这本书把这些概念用百余幅精彩的图片、生动有趣的讲解贯穿起来,让你轻松地理解狭义相对论和广义相对论。给你的思想插上翅膀,同物理学家们一起畅游在相对论的缤纷世界吧!

本书适合青少年读者、科学爱好者以及大众读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

看得见的相对论/(日)飞车来人 编著;李隽,佟海宁译
—北京:科学出版社,2011.8
(“形形色色的科学”趣味科普丛书)
ISBN 978-7-03-031882-4
I. 看… II. ①飞…②李…③佟… III. 相对论-普及读物
IV. O412.1-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 142561 号

责任编辑:唐璐 张丽娜 赵丽艳 / 责任制作:董立颖 魏谨
责任印制:赵德静 / 封面设计:柏拉图创意机构
北京东方科龙图文有限公司 制作
<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京美通印刷有限公司 印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年8月第 一 版 开本:A5(890×1240)
2011年8月第一次印刷 印张:6 1/4
印数:1—6 000 字数:198 000

定 价:32.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



拥抱科学，拥抱梦想！

伴随着20世纪广域网和计算机科学的诞生和普及，科学技术正在飞速发展，一个高度信息化的社会已经到来。科学技术以极强的渗透力和影响力融入我们日常生活中的每一个角落。

“形形色色的科学”趣味科普丛书力图以最形象生动的形式为大家展示和讲解科学技术领域的发明发现、最新技术和基本原理。该系列图书色彩丰富、轻松有趣，包括理科知识和工科知识两个方面的内容。理科方面包括数学、理工科基础知识、物理力学、物理波动学、相对论等内容，本着“让读者更快更好地掌握科学基础知识”的原则，每本书将科学领域中的基本原理和基本理论以图解的生动形式展示出来，增加了阅读的亲切感和学习的趣味性；工科方面包括透镜、燃料电池、薄膜、金属、顺序控制等方面的内容，从基本原理、组成结构到产品应用，大量照片和彩色插图详细生动地描述了各工科领域的轮廓和特征。“形形色色的科学”趣味科普丛书把我们生活和身边方方面面的科学知识，活灵活现、生动有趣地展示给你，让你在畅快阅读中收获这些鲜活的科学知识！

愉快轻松的阅读、让你拿起放不下的有趣科学知识，尽在“形形色色的科学”趣味科普丛书！

前言

致亲爱的读者朋友

这是一本关于光、能量、质量、空间、时间以及重力的读物，它详细地介绍了狭义相对论和广义相对论。书中设计了很多“思考实验”，以说明物理学家如何制作模型和解答问题。这些“思考实验”的思考方式，爱因斯坦本人也频频使用。由此看来，我们可以以物理、几何的直观感觉来理解高深的理论。

虽然这里要介绍的复杂思考方法需要一定的想象力，但是理解所介绍的自然现象却并不需要高深的数学知识。物理学的优点就是我们“能够计算”自然现象。因此，我们准备了只需要简单数学知识就能理解的相对论方程式和至关重要的该方程式的精确解。表现时间与空间扭曲的广义相对论的“爱因斯坦重力方程式”也可以用简单的言语进行详细说明。或许，你会深切感受到这才是最容易理解的关于重力的理论。所以请不要再满足于“空间像球面一样扭曲”这类的道听途说，让我们从这本书开始迈出坚实的第一步吧！

第1章至第4章对狭义相对论进行了说明，明确了光与物质、空间、时间之间的关系。

- ① 第1章，从基础知识开始，说明质量与能量是等效的。
- ② 第2章，解释为什么时间与距离具有“相对性”。
- ③ 第3章，用普通的电线这种日常生活中的物品作为讲解相对性的实例。
- ④ 第4章，讲述为什么在学校里学的几何学在乘坐旋转木马时就不适用了。



第5章至第9章介绍了重力,也就是广义相对论。

⑤ 第5章,说明地球的“重力”并不是仅仅在“拉住”我们,它还会使时间与空间发生扭曲。

⑥ 第6章,详细讲述了时间与空间的扭曲所引发的效应。

⑦ 第7章,介绍了著名的爱因斯坦重力方程式,告诉你它为何是“最简单的”重力理论。

⑧ 第8章,用简单的语言详细介绍了爱因斯坦重力方程式精确求解的方法。

⑨ 第9章,介绍了应用这个精确解的广义相对论所引发的著名猜想。例如,通过太阳附近的光线的扭曲程度、黑洞的质量与大小、行星轨道为何扭曲,还有宇宙大爆炸、宇宙的不明未来等。

文中出现的关键词用蓝色标记。为了方便理解,公式中的变量有时也用彩色标记。

在进入相对论的世界前,让我们做一些准备吧。下面一节,我们将介绍对物理学中的考察和比较而言十分重要的工具——“单位”。

✿ 关于本书中的单位和符号

物理学会使用各种各样的“单位”。距离的单位通常用“米”,时间的单位通常用“秒”来表示,而不用“分”、“小时”、“天”等。质量的单位是“千克”。本书中出现的其他单位,均为这些组合而成的单位。例如速度的单位记为“m/s”(米每秒)。通过统一单位,就可以不考虑每次计算之前的单位换算。

本书有很多非常大的数字或者非常小的数字。例如,平时经常出现的“1000”,我们可以一下子读出,但是类似 1250000784 这样的数字就很难立刻读出,而且用于估算的话,我们只需要保留最前面的三位左右的数字。这时物理学家经常会数出从第二位开始的位数。在 1250000784 中,除了第一位的 1 还有九位数,因此将这个数字可以大致地写成:

$$1.25 \times 10^9$$

与此相似,像 0.000145 这样的小数,我们可以数出前面的 0,将它写成 1.45×10^{-4} 。通过这样的处理,就能够简单地进行大数和小数的乘法计算。例如,当计算 1.25×10^9 乘以 1.45×10^{-4} 时,就可以先将 1.25 与 1.45 相乘,结果大致为 1.81,然后再将指数相加。 $9 + (-4) = 5$,所以最后的结果约为 1.81×10^5 。

例如,光速的数值概算为如下所述。

$$\text{光速} \approx 3.00 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (1)$$

其他的自然常数数值可以参见表 11.1。

✱ 关于本书中的“足够”

最后,我们来说明一下本书中所使用的“足够”这一词语,例如“足够远的地方”、“足够快的速度”等。请思考下面的例子:

“如果宇航员在距离地球足够远处,那么他将可以忽略地球的重力对他的影响。”



但是事实上,无论距离地球有多远,地球的重力的影响都不会消失。尽管如此,如果这个宇航员进行的实验中,重力对结果的影响不到1%,且数据不受影响,那么,去满足上述条件的“足够”远的地方,就可以实施实验。如果希望进一步减小重力的影响,就应该去离地球更远的“足够”远的地方,以忽略重力的影响。

这样,这个足够远处就是认为可以使实验成立的远处。这就是本书对于“足够”这一词下的定义。

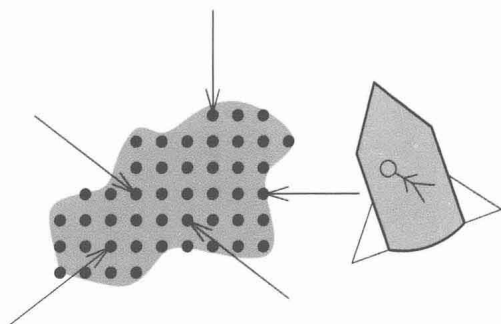
看得见的相对论

contents

弯曲的时间和空间，
让你身临其境！

目 录

第 1 章	光、物质和能量	1
1.1	光 线	2
1.2	相对性第一定律 匀速直线 运动没有绝对的意义	3
1.3	测量光速	4
1.4	相对性第二定律 光速是绝 对的常数	6



1.5	比光速还要快吗	7
1.6	理论与实际	9
1.7	质量与惯性	10
1.8	惯性与重量	11
1.9	能 量	12
1.10	质量与动能	13
1.11	静止质量与动能	14
1.11.1	内部运动的动能	14
1.11.2	单纯的能量	15
1.12	纯粹能量的质量	16
1.13	质量与能量的等效	18
1.14	信息需要能量	20
第 2 章	光、时间、质量与距离	21
2.1	光与时间	22
2.2	γ 系数	24
2.3	谁的时钟慢了	27
2.4	光、时间和距离	28
2.4.1	速度方向上的距离	28
2.4.2	速度的方向和与其垂直的方向上的距离	30
2.5	相同的时刻	31
2.6	时间与质量	33
2.7	速度的加法	36
第 3 章	光、电子和磁	39
3.1	电荷与速度	40
3.2	电荷与磁铁	41

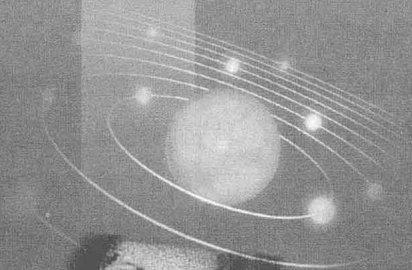
3.3	电场与磁场	43
3.4	电流产生的磁场	45
3.4.1	法拉第悖论	46
3.4.2	不符合相对论就不会有引力	47
3.4.3	符合相对论才会有引力	47
第4章	加速与惯性质量	51
4.1	导入加速度	52
4.2	旋转运动:双胞胎悖论 1	52
4.3	旋转运动:并非欧几里得几何学	54
4.4	直线运动	56
4.5	固有时间与惯性:双胞胎悖论 2	59
第5章	惯性与重力	63
5.1	惯性与重力的关系	64
5.2	重力并不是力	66
5.3	重力会扭曲时空	69
5.3.1	曲 面	70
5.3.2	扭曲的时空	72
5.4	测量时空的扭曲程度	74
第6章	等效原理	79
6.1	重力与时间	80
6.2	扭曲时空中的固有时间:双胞胎悖论 3	82
6.3	在弯曲的时空中做直线运动	84
6.4	受球体引力作用的长度	85
6.5	球体周围的引力	88

6.6	受到引力的质量	90
6.7	受到引力的光	91
6.8	对于黑洞的简单介绍	94
6.9	等效原理的总结	95
第7章	质量产生引力的方法	97
7.1	孤立的云彩的引力	98
7.2	爱因斯坦引力场方程	100
7.3	压力的参与	101
7.4	速度的导入	104
7.5	外部质量的介入	105
7.6	局部时空与整体时空	106
7.7	爱因斯坦引力场方程的解法	108
第8章	求解爱因斯坦引力场方程	113
8.1	引力造成的运动定律	114
8.2	球体中的引力	116
8.3	球形空洞中的平坦时空	119
8.4	球体外的引力	120
8.5	史瓦西精确解	123
8.6	牛顿的引力定律	126
第9章	广义相对性的应用	129
9.1	黑 洞	130
9.2	光线的弯曲:弱引力 1	132
9.3	开普勒定律	138
9.4	行星轨道的弯曲:弱引力 2	143

9.5	黑洞附近的强引力	147
9.6	引力波	150
9.7	引力的能量在哪里	152
9.8	宇宙大爆炸	155
9.8.1	宇宙中的小球形区域的质量	156
9.8.2	宇宙整体的球形区域的质量	158
9.9	真空的能量和引力	162
第 10 章	总 结	167
10	总 结	168
第 11 章	附 录	171
11.1	重要的数值	172
11.2	纯粹能量	173
11.3	小速度的相对性	176
11.4	从增加的质量得出速度加法定理	177
11.5	爱因斯坦引力场方程的张量	180
参考文献		182

第1章

光、物质和能量



艾萨克·牛顿

(Isaac Newton, 1642~1727年)

建立了“万有引力定律”、
“运动三定律”的英国物理
学家、数学家

1.1 光线

飘浮在宇宙中的宇航员打开手中的手电筒,手电筒发出的光的速度为

$$299792458\text{m/s} \quad (1.1)$$

这就是“精确的光速”。

这个光速是怎么验证的呢?首先需要有一台记录光速的仪器。

图 1.1 右边的红色箱子,就是测速器。左边的具有右侧开口的箱子,是手电筒或激光笔等能够发出光线的“发光器”的简图。

黄色线代表光线。我们不用考虑装置的制作方法,只是设想“存在这样的装置”即可。

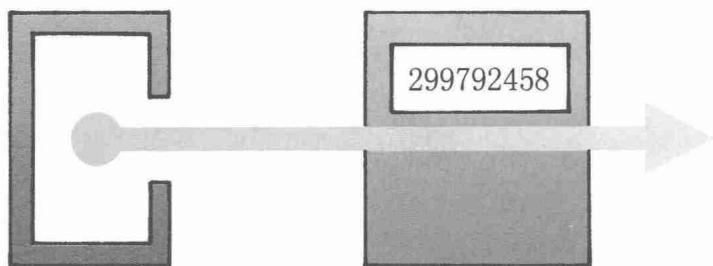


图 1.1 左侧的箱子为发光器,右侧的红色箱子为测速器,黄色箭头代表光线。



相对性第一定律

1.2 匀速直线运动

没有绝对的意义

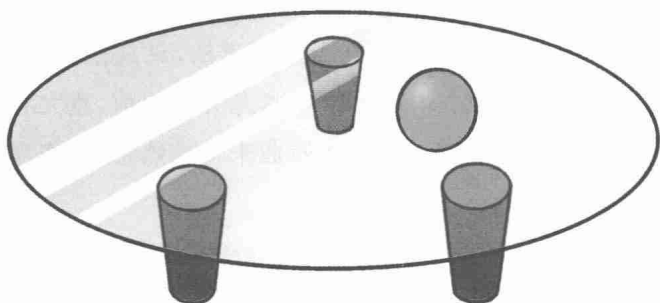


图 1.2 在以匀速直线运动行驶的车厢内,放在玻璃桌子上的球相对于玻璃桌是静止的,不会发生运动。

例如,相对于“移动打开着的手电筒,光速会发生改变吗”这样的提问,我们会产生“相对于什么移动”这样的疑问。乘坐在高速行驶的列车上移动,但在车上却“感受不到”列车的速度。

我们只能感受到速度的“不稳定部分”。例如在图 1.2 中,在做匀速直线运动的车厢中放置有桌子。放在桌子上的红球,相对于桌子来说是静止的,不会发生运动。通常我们在家中触摸到桌子时,会感觉到它在高速运动吗?

到底什么样的速度是高速呢?例如地球以极快的速度在太阳周围运动、太阳系在银河系中高速运动、银河系自身也在某处高速运动等。但是,在几分钟这样的很短的时间内,对于我们来说这些运动几乎与匀速直线运动一样,因此我们感受不到这些速度。

到了中世纪末期,人们了解到这样的匀速直线运动原则上是观测不到的,绝对观测不到。

如果,我们坐在匀速直线运动的火车上,在接近车站的时候,我们可以认为:“我们是静止的。车站及其周围的土地在移动,并且向我们靠近。”但是,从站在站台上的人们来看,“当然是列车在向车站方向靠近,车站和周围的土地不可能是运动着的”。

谁的意见是正确的呢?双方的意见都是正确的。

我们可以以站台上的人处于静止状态为前提,也可以以其处于运动状态为前提。火车与车站都不是在做绝对运动,只是在做“相对”运动。这就是成为相对论基础的“第一定律”。这是几百年前,意大利物理学家伽利略发现的定律。伽利略这个名字听起来比较熟悉,在物理学中我们经常会听到他的名字。

匀速直线运动,只有在相对于其他物体的运动时,才能进行测量。自然定律不被匀速直线运动所支配。



测量光速

使用图 1.3 所示的发光器测量光相对于地面的相对速度。地面用灰色表示。发光器以相对于地面 10000m/s 的速度向右侧移动,测速器相对于地面是静止的。

