

世界经典名著（全译本）

$$E=mc^2$$

相对论

Relativity

[美] 爱因斯坦◎著 麦芒◎译

畅销
经典

天津出版传媒集团
天津人民出版社

Relativity

相对论

[美] 爱因斯坦◎著 麦 芒◎译

天津出版传媒集团

天津人民出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

相对论 / (美) 爱因斯坦著; 麦芒译. -- 天津:
天津人民出版社, 2018.1
ISBN 978-7-201-12700-2

I. ①相… II. ①爱… ②麦… III. ①相对论 IV.
①O412.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第292416号

相对论

XIANG DUI LUN

出 版 天津人民出版社
出 版 人 黄 沛
地 址 天津市和平区西康路35号康岳大厦
邮政编码 300051
邮购电话 (022) 23332469
网 址 <http://www.tjrmcbs.com>
电子信箱 tjrmcbs@126.com
责任编辑 刘子伯
印 刷 三河市华东印刷有限公司
经 销 新华书店
开 本 880×1230 1/32
印 张 6
字 数 138 千字
版次印次 2018年1月第1版 2018年1月第1次印刷
定 价 28.00元

版权所有 侵权必究

前言



阿尔伯特·爱因斯坦（1879—1955），是著名的德国犹太裔理论物理学家、思想家及哲学家。因为“对理论物理的贡献，特别是发现了光电效应”而获得1921年诺贝尔物理学奖，现代物理学的开创者、奠基人，相对论——“质能关系”的创立者，“决定论量子力学诠释”的捍卫者（振动的粒子）——不掷骰子的上帝。他创立了代表现代科学的相对论，为核能开发奠定了理论基础，在现代科学技术和他的深刻影响下与广泛应用等方面开创了现代科学新纪元，被公认为是自伽利略、牛顿以来世界最伟大的科学家、物理学家。1999年，被美国《时代周刊》评选为“世纪伟人”。

1879年，爱因斯坦生于德国乌尔姆一个经营电器作坊的小业主家庭。一年后，随全家迁居慕尼黑。父亲和叔父在那里办一个为电站和照明系统生产电机、弧光灯和电工仪表的电器工厂。在任工程师的叔父等人的影响下，爱因斯坦较早地受到科学和哲学的启蒙，为以后的科学研究工作打下了很好的基础。1900年爱因斯坦毕业于瑞士苏黎世联邦工业大学并入瑞士籍。1905年获苏黎世大学博士学位。1909年任苏黎世大学理论物理学副教授，1911年任布拉格大学教授。1913年任德国威廉皇家物理研究所所长、柏林大学教授，并当选为普鲁士科学院院士。1932年受希特勒迫害离开德国，1933年10月到美国定居，在普林斯顿大学任教，直到去世。

爱因斯坦早期的科学生涯从1900年开始，他把伽利略力学运动的相对性原理扩展开来，使之包括所有物理定律，又把观测和实验得来的光速不变提升为公理。通过洛伦兹变换，他推导出了任何物体的运动速度不能超过光速。自然现象与运动学方面显示出统一性，这就是“狭义相对论”。1905年9月，爱因斯坦在德国《物理学年鉴》发表了论文《论动体的电动力学》，这是一篇关于狭义相对论的第一篇文章。1912年，爱因斯坦又发表了另一篇论文，探讨如何将重力场用几何的语言来描述。至此，广义相对论的运动学出现了。到了1915年，爱因斯坦引力场方程发表了出来，整个广义相对论的动力学才终于完成。

1916年，爱因斯坦发表了《广义相对论的基础》，这标志着广义相对论的诞生。他发现，现实的有物质存在的空间，不是平坦的欧几里得空间，而是弯曲的黎曼空间，空间的弯曲程度取决于物质的质量及其分布状况，空间曲率就体现为引力场的强度。这就否定了牛顿的绝对时空观。广义相对论实质上是一种引力理论，它把几何学与物理学统一起来，用空间的几何性质来表述引力场。爱因斯坦提供了三个可供试验验证的推论：第一是水星近日点的进动，这在当时就得到完满解决。第二，在强引力场中，时钟要走得慢些，因此从巨大质量的星体表面射到地球上的光的谱线，必定显得要向光谱的红端移动（在1925年得到验证）。第三，光线在引力场中的偏转（在第一次世界大战结束后对日全食的观测中得到了验证）。正因为如此，广义相对论顷刻间闻名于世，并颠覆了牛顿的经典力学，开辟了现代理论力学的新纪元。



目 录 Contents

第一部分 狭义相对论

※ 一、几何命题的物理意义	2
※ 二、坐标系	5
※ 三、经典力学中的空间和时间	8
※ 四、伽利略坐标	10
※ 五、相对性原理（狭义）	12
※ 六、经典力学中的速度相加定理	16
※ 七、光的传播定律与相对性原理的表面抵触	17
※ 八、物理学的时间观	20
※ 九、相对性的同时性	23
※ 十、距离概念的相对性	26
※ 十一、洛伦兹变换	28
※ 十二、量杆和钟在运动时的行为	37
※ 十三、速度相加法则斐索实验	39



※ 十四、对相对论启发作用的评估	43
※ 十五、一般相对论的普通结果	45
※ 十六、经验和狭义相对论	49
※ 十七、闵可夫斯基的四维空间	54

第二部分 广义相对论

※ 一、狭义和广义相对性原理	60
※ 二、重力场	63
※ 三、惯性质量和引力质量相等 是广义相对性公设的论据	67
※ 四、经典力学和狭义相对论的基础 有哪些不能令人满意的方面	71
※ 五、对广义相对性原理的几个推论	73
※ 六、在旋转的参考物体上钟和量杆的行为	77
※ 七、欧几里得和非欧几里得连续区域	80
※ 八、高斯坐标	83
※ 九、狭义相对论的空间—时间连续区 可以当作欧几里得连续区	87



※ 十、广义相对论的空间—时间连续区

不是欧几里得连续区 89

※ 十一、广义相对性原理的精确表述 92

※ 十二、以广义相对性原理为基础

解决地心引力问题 95

第三部分 对整个宇宙的思考

※ 一、在宇宙论中牛顿理论的困难 100

※ 二、“有限”而“极大”的宇宙的可能 102

※ 三、以广义相对论为依据的空间结构 107

※ 四、对“以广义相对论为依据的空间结构”

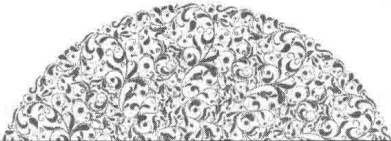
的补充 109

※ 附录一 爱因斯坦讲述《相对论》 111

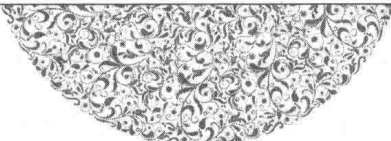
※ 附录二 广义相对论的实验证实 149

※ 附录三 相对论与空间问题 158

※ 附录四 爱因斯坦年表 172



第一部分 狭义相对论





一、几何命题^①的物理意义

欧几里得几何学的宏伟大厦，是阅读该书的大多数读者在学生时代就很熟悉的，在这建筑的高高的楼梯上，认真的教师逼迫你们花了不知多少时间。对这座宏伟的大厦，你们的敬畏之心或许会多于热爱之心。凭着往昔的经验，如果有人说这门科学中的命题，哪怕是最冷僻的都是不真实的，你们一定会嗤之以鼻。但是，如果有人问：“既然这些命题是真实的，那么你们究竟是如何理解的呢？”或许你们的这种理所当然的骄傲态度就会马上消失。现在，让我们来考虑一下这个问题。

“平面”“点”和“直线”之类的概念引出了几何学，在大体上我们有确定的观念和几何学的一些简单的命题（公理）相联系，在这些观念的影响下，我们倾向于把简单的命题当作“真理”接受下来。然后以我们认为的合乎逻辑的方法，即用我们不得不认为是

^① 命题：命题是一个非真即假（不可兼）的陈述句。一个命题具有两种可能的取值（又称真值）：为真或为假，且只能取其一。通常用大写字母 T 表示真值为真，用 F 表示真值为假有时也可分别用 1 和 0 表示它们。因为只有两种取值，所以这样的命题逻辑称为二值逻辑。

正当的逻辑推理过程，阐明其余的命题是公理的推论，也就是说这些命题已得到证明。于是，只要从公理中推导出的一个命题用的是公认的方法，那么这个命题就是正确的（“真实的”）。这样，各个几何命题是否“真实”就归结为公理是否“真实”。可是上述最后一个问题本身完全就没有意义，而且用几何学的方法无法解答。我们难道要问“过两点只有一条直线”是否真实吗？这当然不能。我们只能说，几何学研究的是称之为“直线”的东西，它说明每一直线唯一确定的性质是由该直线上的两点来确定。“真实”这一概念有由该直线上的两点来唯一确定的性质。与纯几何的论点不相符的是，“真实”在习惯上是指与一个“实在的”客体相当的意思；然而无论如何，几何学并不涉及其中所包含的观念与经验客体之间的关系，而只是涉及这些观念本身之间的逻辑联系。

不难理解，我们不得不将这些几何命题称为“真理”。几何观念与自然界中具有正确形状的客体相对应，而具有正确形状的客体无疑是产生那些观念的唯一原因。几何学应制止这一过程，以便使它的结构获得最大的逻辑一致性。例如，在我们的思想习惯中，通过一个可视为固定的物体上的两点来查看“距离”的办法是根深蒂固的。我们在观察三个点位于一条直线时，如果适当地选择观察位置，用一只眼睛观测，使三个点的视位置^①能够相互重合，我们也认为这三点位于同一直线。

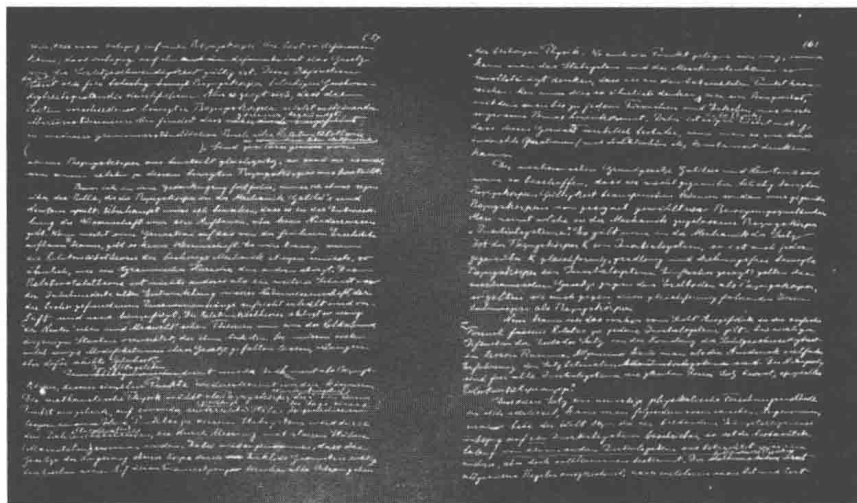
如果依照我们的思考习惯，我们可以在欧几里得几何学中补充如下命题：在一个可视为固定的物体上的两个点永远对应于同一距

① 视位置：在天文学上，指某一观测时刻相对于真春分点和真赤道的实际看到的天体位置。它是改正经过大气折射后天体的位置。



离（直线间隔），而与该物体的位置发生的任何变化无关，那么，欧几里得几何学的命题就可以归结为关于在所有固定物体的所有相对位置的命题。如此一来，几何学就可以看作是物理学的一个分支。现在，几何命题是否是“真理”的问题，我们能够提出合理的解释。我们有理由问，对于与几何观念相联系的那些真实的东西，这些命题是否已被满足。用精确的术语来表达，也可以这样说：我们把具有此种意义的几何命题的“真实性”理解为该几何命题对于用圆规和直尺作图的有效性。

当然，以此断定几何命题的“真实性”，其基础是不大完整的经验。但我们目前暂且认定这种“真实性”。然后在后一阶段将会看到，这种“真实性”是有限的，那时再来讨论这种有限性的范围。



爱因斯坦手稿 摄影

爱因斯坦是20世纪伟大的科学家，他于1905年发表的《论动体的电动力学》是相对论诞生的标志。这篇文章是20世纪最伟大的论文。爱因斯坦在这篇论文中提出的狭义相对论，在很大程度上解决了19世纪末出现的经典物理学的危机，推动了整个物理学理论的革命。图为爱因斯坦的研究手稿。

——译者注

二、坐标系

根据对距离的物理解释，我们能够用测量“法确立一固体上两点间的距离。为达到这个目的，我们用“距离”（杆 S ）作为标准量度。如果 A 和 B 是一固体上的两点，按照几何学的规则，我们可以作一直线连接两点，然后以 A 为起点，直到到达 B 点为止，其间多次反复记取从 A 点到 B 点间的测量距离 S 。所需记取的 S 的次数相加就是 AB 距离的数值量度，这是一切长度测量的基础。

不仅在科学方面，而且对于日常生活来说，描述一切事件发生的地点或任一物体在空间中的位置的基础，都是参考在一固定物体上确定该事件或该物体的相重合点为根据的。比如“泰晤士广场”在空间中的位置。地球是能够参照的固体，“泰晤士广场”是地球上已明确规定的一点，现在所考虑的则是在空间上与“泰晤士广场”相重合的点。

这种标记位置的原始方法有两个限制：其一，它只适用于固

① 测量：一般指用仪表测定各种物理量的工作。在机械制造中，常指用量具或仪器来测定零件（或装配在一起的部件和机器）的尺寸、角度、几何形状或表面相互位置等一系列工作的总称。



体表面上的位置；其二，当固体表面不存在能够相互区分的点时，该方法便不适用。但在不改变位置标志的本质时，这两种限制是能摆脱的。例如有一朵白云飘浮在时代广场上空，我们可以在广场上垂直竖起一根长竿直抵白云，以此来确定白云相对于地球表面的位置，用标准量杆测量长竿的长度，结合长竿的位置标记，就能获得这朵白云的完整的位置标记。通过上述例子，我们能够看出关于位置的概念是如何改进发展的。

(a) 我们设想将确定位置所参照的固体加以补充，补充后的固体延伸到我们需要确定其位置的物体。

(b) 在确定物体的位置时，我们使用量杆量出来的长竿长度，而非选定的参考点。

(c) 即使未曾把直抵云端的长竿竖立起来，根据光学方法对云朵进行观测及考虑到光的传播特性，我们同样可以讲出白云的高度，并且能够确定升上云端的长竿的长度。

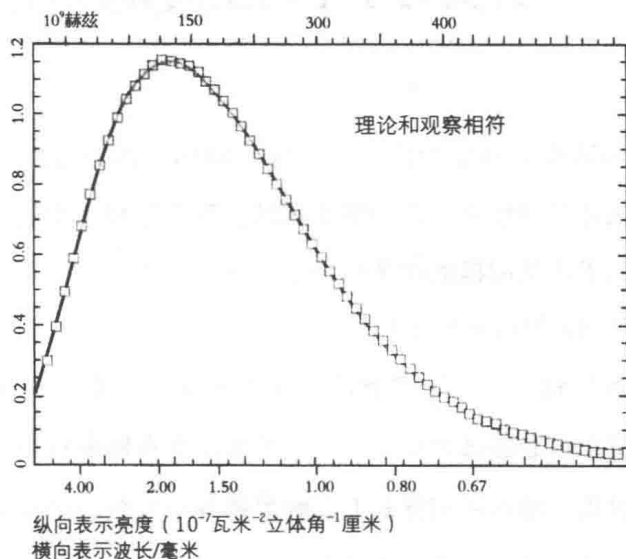
通过以上论述，我们看到了有利的一面，即如何在描述位置时，依靠数值量度，而不是固定参考物上存在的标定的位置，那就会比较方便。在物理测量中应用笛卡儿坐标系能达到此目的。

这个坐标系由三个与一固体牢固地连接起来的相互垂直的平面组成。在一个坐标系中，任何事件发生的地点（主要部分）由事件发生点向该三个平面所作垂线的长度或坐标 (x, y, z) 来确定，这三条垂线的长度可以按几何学确立的规则和方法，用刚性测量杆经过一系列操作来确定。

从习惯来看，构成坐标系的刚性平面一般是不大用的；此外，坐标的构成不是由刚杆结构确定，而是用间接法确定的。如果物理

学和天文学要保持其清楚明确的结果，就必须以上述考虑来寻求位置标示的物理意义。

我们因而得到下面的结果：在空间中，对事件位置的每一种描述都必须围绕所参照的刚体^①展开。所得出的关系以假定欧几里得几何学的定理适用于“距离”为依据；而一刚体上的两个标记是“距离”在物理上的习惯表示。



微波背景谱的测量 示意图

宇宙微波背景谱，是典型的热体辐射谱。为了使辐射处于平衡状态，物质必须将它多次散射。

——译者注

① 刚体：在外力作用下各部分体积和形态都不会发生变化的物体。刚体是力学中的一个科学抽象概念。实际物体都不是真正的刚体，但在很多场合，物体大小和形状的变化对整个运动过程影响很小，把它看作刚体可使问题大为简化。



三、经典力学中的空间和时间

描述物体在空间中的位置如何随“时间”而改变是力学的目的。假如未经认真思考，以语焉不详的言辞来解释力学的目的，那么，违背力求清楚明确的神圣精神的严重过失将使我们难以心安。现在，让我们来揭示这些过失。

“位置”和“空间”究竟应如何理解呢？这里不是很清楚。设一列火车正沿着路基匀速行驶，一乘客站在车厢窗口松手丢下，而非用力投掷一块石头到路基上。如果撇开空气阻力影响不谈，车厢窗口的乘客看见石头沿直线落下，而人行道上的行人则看到石头沿抛物线^①落下。现在有一问题，从车厢丢下的做匀速运动的石子所经过的各个“位置”是“的确”在一条直线上，还是在一条抛物线上呢？另外，“在空间中”的运动在此究竟是什么意思呢？根据“坐标系”中的论述，答案将不言自明。首先，“空间”一词非常

① 抛物线：平面内与一个定点F和一条定直线l的距离相等的点的轨迹叫作抛物线。定点F作做抛物线的焦点。定直线z叫作抛物线的准线。即 $\frac{MF}{MN}=1$ ，则点M的轨迹是抛物线。

模糊，我们丝毫无法构成概念，因此我们以“相对于实际上可看作刚性的一个参考物体的运动”这句话代之。火车车厢或铁路路基是参考物体，“坐标系”是有利于数学描述的观念，如果引入“坐标系”来代替“参考物体”，对石块位置的描述我们就可以说：石块相对于与车厢连接在一起的坐标系走过的是一条直线，但相对于与路基连接在一起的坐标系则是一条抛物线。借助此例，我们清楚地知道独立存在的轨线不会存在，存在的是相对于特定参考物体的轨线。

为了完整地描述运动，物体的位置如何随时间的改变而改变是必须要说明的。这也是对物体在何时位于轨线上的每一点的一个说明。为了能更好地阐述，我们必须补充一个关于时间的定义，借助这个定义，时间值在本质上可以看作是可观测量，即测量的结果。根据经典力学观点，我们设想有两个构造完全相同的钟，在车厢窗口的乘客拿着其中一个，人行道上的观察者拿着另一个，当每一滴嗒声响起时，两个观察者随聆听到的声响来确定石块相对于他们各自参考物所处的位置。至于因光的传播速度的有限性而造成的不准确性，我们在此没有计入。我们将在以后详细讨论这点，以及该处的另一主要困难。