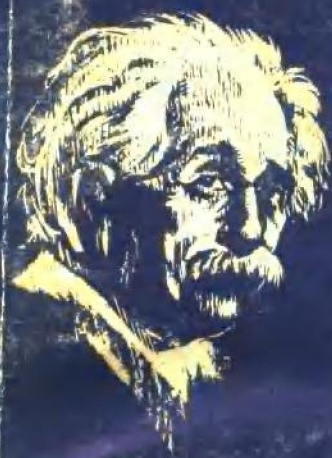


AI YIN SI TAN DE  
XIANG DUI LUN



M·玻恩著 彭石安译

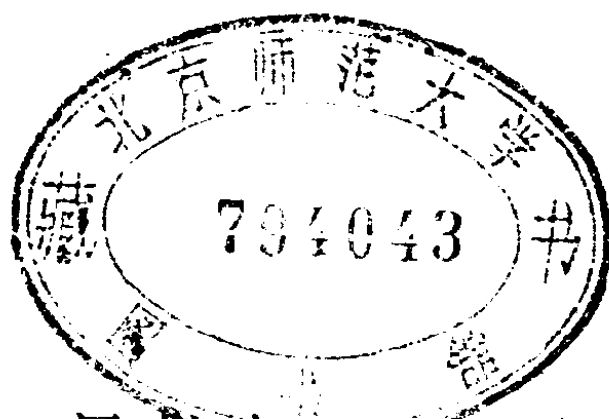
# 爱因斯坦的相对论

河北人民出版社

# 爱因斯坦的相对论

M·玻恩著 彭石安译 贺准城校

21153.103



河北人民出版社

一九八一年·石家庄

## 爱因斯坦的相对论

M·玻恩著 彭石安译 贺准城校

---

河北人民出版社出版 (石家庄市北马路19号)

河北新华印刷一厂印刷 河北省新华书店发行

---

787×1092毫米 1/32 13 1/2印张 275,000字 印数: 1—3,500 1981年6月第1版  
1981年6月第1次印刷 统一书号: 13086·77 定价: 0.93元

---

## 前 言

本书德文第一版出版于 1920 年, 英译本出版于 1924 年。当多维尔出版公司的商家建议我将此书再版时, 开始我不同意, 因为书中大部分章节此时已完全陈旧了。但是, 本书所独具的一些特点在我看来却是值得加以保留或更新的。本书起初是对一个讲座稿加工整理而成。这个讲座是我在美因河畔的法兰克福市为广大听众举办的。那时, 恰在爱因斯坦关于光线在太阳引力场作用下应该弯曲的预言, 被英国一科学远征队在日蚀观测中首次证实之后, 因而对相对论和爱因斯坦本人个性的普遍兴趣波及全世界的时候。相对论理论之耸人听闻, 固然可能是这种普遍兴趣的主要原因, 但确实也有着想理解它的相当强烈的真诚的愿望。我想尽可能满足这种愿望。主要障碍是听众的物理和数学知识水平太低。讲课时, 我采用准历史的讲述方法, 并且每一步都用一些简单的实验和绘图加以说明。至于出版书籍, 就只能借助于插图来描述实验了。在数学计算上, 我只限于使用最简单的代数知识, 除了一次方程和平方根外, 不再使用别的 (甚至连二次方程和三角函数也避免使用)。简言之, 把材料主要限制在高中低年级的教学大纲里。极个别地超出范围, 不可能完全避免, 但这些地方都表述得使借助于常识也能理解得了。

自那时以来，出现了很多讲相对论的书，或科学专著，或通俗读物。通俗读物，其中包括爱因斯坦本人所写的，一般都避开了所有的数学公式和图解，只用日常语言或哲学名词来叙述事实和概念。而采用这种方法，如我所担心的，则只能对相对论得到一个极肤浅的认识。但是，在我们今天，科学，特别是物理学，已经成为人类文明的基本要素，而那些希望理解科学理论实质的人也极大地增多了。现在，重读旧著，使我感到，书中所采用的叙述方式，对相当多的人，特别是对那些不懂得高等数学和现代物理但多少还记得一点中学所学的东西而又愿意认真思考一下的人来说，应该是颇具吸引力的。我相信他们从本书中所能得到的，一定比只是模糊地感到自然界秘密的伟大、渺茫和奥妙要多得多，因为他们在这里能够对现代科学思维的方法获得一个真正的理解。

出于这种考虑，只要能找到比较年轻一点的助手，我就着手准备一个经过彻底修订使之适合现代情况的新版。那时在哥廷根、现在在亚亨工作的列福里特教授同意与我合作。但因翻阅文献，编写一些新的章节，修改正文等工作需要很多时间而他又没有那么多，他便又从他的同事中给自己挑选了个合作者——比姆博士。

本书在结构上，我们仍采用1924年的英文版，但修订了全书，重新写了许多章节，又增加了一些新内容。主要的改动在第六章（狭义相对论）和第七章（广义相对论）。比如，在推导质能定律以及这两个量与速度的关系式上，由于把能量和动量守恒定律应用于非弹性碰撞的情况，而大为改

进。对广义相对论的实验验证，以现代水平给以概述，并指出了其进一步发展的前景。旧版中“微观宇宙和宏观宇宙”一节，已被“宇宙学”一节所取代，这一节对当前情况作了十分简略的概括。我愿提到两篇简短而给人印象深刻、很有教益的文章，一篇为盖克曼所写（“地球和宇宙”），另一篇是金兹堡在物理学的进展第五卷第16页（*Fortschritte der Physik*, Bd. V, S. 16）上所发表的。虽然作了现代内容的补充和修改，但本书在很多地方仍反映了四十年前的物理知识状况。如果完全采用现代的标准，就意味着写一部新书，而这并非我们的原意。

和上一版一样，书中未列出参考文献。

在单位制选取的麻烦问题上，也和上一版一样，我们决定采用古典高斯制。因为至今我仍认为，从逻辑学和认识论的观点上来看，这是最满意的一种单位制（虽然从实验物理学家和工程师的观点上看也许并非如此），所以在教学上都愿意采用它。

对于我的合作者们的不倦的工作，对于重画和改进了全部插图的莱曼博士，对于作了英文校对的我的孙子约翰普莱斯，对于菲丽丝塔·路德维希夫在技术上所给以的协助和多维尔公司的精心印制，我深致谢忱。

谨以此书献给我的妻子。

M·玻恩

1962

# 目 录

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| <b>绪论</b> .....            | ( 1 )  |
| <b>章I 几何学和宇宙学</b> .....    | ( 5 )  |
| 1 空间和时间测量技术的起源.....        | ( 5 )  |
| 2 长度和时间的单位.....            | ( 5 )  |
| 3 原点和坐标.....               | ( 6 )  |
| 4 几何学的公理.....              | ( 9 )  |
| 5 托勒密体系.....               | ( 10 ) |
| 6 哥白尼体系.....               | ( 11 ) |
| 7 哥白尼学说的发展.....            | ( 13 ) |
| <b>章II 古典力学的基本定律</b> ..... | ( 16 ) |
| 1 平衡和力的概念.....             | ( 16 ) |
| 2 运动的研究·直线运动.....          | ( 18 ) |
| 3 平面运动.....                | ( 27 ) |
| 4 圆周运动.....                | ( 28 ) |
| 5 空间里的运动.....              | ( 31 ) |
| 6 动力学·惯性定律.....            | ( 32 ) |
| 7 冲量.....                  | ( 34 ) |
| 8 冲量的效应.....               | ( 35 ) |
| 9 质量和动量.....               | ( 36 ) |

|           |                       |        |
|-----------|-----------------------|--------|
| 10        | 力和加速度·····            | ( 39 ) |
| 11        | 例: 弹性振动·····          | ( 41 ) |
| 12        | 重量和质量·····            | ( 44 ) |
| 13        | 分析力学·····             | ( 48 ) |
| 14        | 能量守恒定律·····           | ( 50 ) |
| 15        | 力和质量的动力学单位·····       | ( 55 ) |
| <b>章Ⅲ</b> | <b>牛顿的世界 体系</b> ····· | ( 59 ) |
| 1         | 绝对空间和绝对时间·····        | ( 59 ) |
| 2         | 牛顿的引力定律·····          | ( 63 ) |
| 3         | 万有引力·····             | ( 66 ) |
| 4         | 天体力学·····             | ( 70 ) |
| 5         | 古典力学的相对性原理·····       | ( 74 ) |
| 6         | 受到限制的绝对空间·····        | ( 77 ) |
| 7         | 伽利略变换·····            | ( 79 ) |
| 8         | 惯性力·····              | ( 84 ) |
| 9         | 离心力和绝对空间·····         | ( 86 ) |
| <b>章Ⅳ</b> | <b>光学的基本 定律</b> ····· | ( 94 ) |
| 1         | 以太·····               | ( 94 ) |
| 2         | 粒子说和波动说·····          | ( 95 ) |
| 3         | 光速·····               | (100)  |
| 4         | 波动说初步·干涉·····         | (106)  |
| 5         | 偏振和光波的横向性·····        | (114)  |
| 6         | 以太——弹性固体·····         | (119)  |
| 7         | 运动物体的光学·····          | (130)  |
| 8         | 多普勒效应·····            | (133)  |

|            |                         |              |
|------------|-------------------------|--------------|
| 9          | 物质对光的拖曳·····            | (141)        |
| 10         | 光行差·····                | (154)        |
| 11         | 回顾与发展·····              | (157)        |
| <b>章V</b>  | <b>电动力学的基 本定律</b> ····· | <b>(161)</b> |
| 1          | 静电学和静磁学·····            | (161)        |
| 2          | 伏打电和电解·····             | (172)        |
| 3          | 电阻和电流的热效应·····          | (176)        |
| 4          | 电磁学·····                | (179)        |
| 5          | 法拉第力线·····              | (182)        |
| 6          | 位移电流·····               | (191)        |
| 7          | 磁感应·····                | (193)        |
| 8          | 麦克斯韦的间距作用理论·····        | (196)        |
| 9          | 光的电磁理论·····             | (202)        |
| 10         | 电磁以太·····               | (209)        |
| 11         | 运动物体的赫芝理论·····          | (212)        |
| 12         | 洛仑兹的电子论·····            | (220)        |
| 13         | 电磁质量·····               | (229)        |
| 14         | 迈克尔逊—莫雷实验·····          | (236)        |
| 15         | 收缩假说·····               | (241)        |
| <b>章VI</b> | <b>爱因斯坦的狭义相对论</b> ····· | <b>(249)</b> |
| 1          | 同时性概念·····              | (249)        |
| 2          | 爱因斯坦的运动学和洛仑兹变换·····     | (257)        |
| 3          | 爱因斯坦力学的几何表示法·····       | (264)        |
| 4          | 运动的量尺和时钟·····           | (272)        |
| 5          | 表观与实在·····              | (278)        |

|              |                        |              |
|--------------|------------------------|--------------|
| 6            | 速度的迭加.....             | (291)        |
| 7            | 爱因斯坦的动力学.....          | (297)        |
| 8            | 能量和惯性.....             | (310)        |
| 9            | 能量和动量.....             | (323)        |
| 10           | 运动物体的光学.....           | (331)        |
| 11           | 闵可夫斯基的绝对世界.....        | (340)        |
| <b>章 VII</b> | <b>爱因斯坦的广义相对论.....</b> | <b>(346)</b> |
| 1            | 任意运动情况中的相对性.....       | (346)        |
| 2            | 等效原理.....              | (350)        |
| 3            | 欧几里德几何学的破产.....        | (356)        |
| 4            | 曲面几何学.....             | (360)        |
| 5            | 二维连续域.....             | (367)        |
| 6            | 数学与实在.....             | (370)        |
| 7            | 空时连续域的度规.....          | (376)        |
| 8            | 新力学的基本定律.....          | (380)        |
| 9            | 力学效应及其验证.....          | (385)        |
| 10           | 新力学的预言及其验证.....        | (391)        |
| 11           | 光学结论及其验证.....          | (395)        |
| 12           | 宇宙学.....               | (406)        |
| 13           | 统一场论.....              | (416)        |
| 14           | 结语.....                | (419)        |

## 绪 论

科学的发展是一个连续的和稳定的过程。虽然如此，还是可以从其中划分出一些确定的时期，它们由一些卓越的实验发现或理论思想所标志。这些转折点之一约发生在1600年，是与伽利略的名字联系着的。伽利略以自己的力学研究奠定了实验方法的基础，并对五十年前诞生的哥白尼世界体系给出了令人信服的证据。这些事件表明以亚里士多德学说为基础的自然经院哲学的终结和现代科学的诞生。

另一个转折点是在1900年。它是由一系列新的实验发现——X射线，放射性，电子等等和两个基本理论——量子论和相对论的建立而引起的。量子论诞生在1900年，当时普朗克宣布了他的“能量子”的革命思想。这一事件对科学的进一步发展是如此地具有决定性，以致人们通常把它看成是古典物理学和现代（或量子）物理学之间的分界线。相对论实际上则不应与某一个人或某一日期相联系。据认为大约在1900年，一些大数学家和大物理学家——这里只稍提几位，如拉摩，斐兹杰惹，洛仑兹，彭加勒——就已经知道了相对论的许多内容。1905年，爱因斯坦则是把这个理论放到了最一般的哲学原理的基础上。几年后，闵可夫斯基给了这个理论以完整的逻辑和数学表述。相对论通常只与爱因斯坦一

个人的名字联系在一起，其原因仅在于他在1905年的工作乃是迈向更为基本的“广义相对论”的头一步；广义相对论包含了新的引力理论，在我们对宇宙结构的认识上开辟了新的境界。

1905年诞生的狭义相对论可以公正地看作是科学中古典时期的结束和新纪元的开始。因为一方面，它是以牢固确立的古典物质概念（认为物质在空间和时间上是连续分布的）和自然界因果律（或更确切些讲是决定论）的概念为出发点的，但另一方面，它却又导出了革命性的空间和时间概念，给了牛顿所建立的传统观念以决定性的批判。这样，狭义相对论就给我们开辟了一条认识自然现象的新途径。这在我们今天被看成是爱因斯坦最杰出的功绩，这个功绩把他的工作与他前人的工作区分开来，把现代科学同古典科学区分开来。

还在爱因斯坦之前，对物理世界的研究就已经突破了为人的感觉所局限的范围。科学家们已经知道有看不见的光线（紫外线，红外线），有听不见的声音，已经掌握了真空中的电磁场，而电磁场是感觉不到的，只能通过它对物质的作用而间接地加以观测，如此等等。当我们认识到直接的感觉印象其价值是很有限时，这一类的综合就成为可能的和必要的了。举个简单的例子：冷热感觉就不够精确，不足以根据它来建立热学理论，因此有温度计或其他类似的仪器来代替它，温度计使我们能以水银柱高度差的形式来观察到温度差。象这样一种感觉代替或至少是验证另一种感觉的情况是不胜枚举的。事实上，整个科学就是错综复杂的、形成为这

种纯几何结构<sup>①</sup>的相互联系。我们宁愿采用这种纯几何结构，因为它是由视觉和触觉所给出，因而是最可靠的。这一过程就是客观化的实质；客观化的目的是尽可能使观测与观察者个人无关。比如，用这种方法，就可以把人的任何一种感觉都不能直接觉察到的电磁场，通过把它化为能够在空间和时间上进行测量的力学量，而把它揭示出来。

科学的另一共同特征是相对化的原则。一个著名的例子是大地球形的发现。在从前把地球看成是扁平的圆盘时，“上下”或垂直方向在地球上每一处都具有绝对的意义。现在则把这个方向理解为指向地心，因此只有相对于观察者所处的地点，才能确定这个方向。空间中的方向或点，以及时间流逝中的时刻是某种绝对的东西吗？著名的牛顿公理给这个科学上的一般问题作了回答。从这些公理的表述上看，没有疑问，牛顿的回答是肯定的。但他的运动方程却与此有点矛盾——他的运动方程说：存在有无数个等效的参考系，它们处于相对运动之中，其中每一个都同样有理由可以认为是处于绝对静止。因此牛顿的空间只在有限的意义上才是绝对的。以后的研究，特别是电磁学和光学方面的研究，暴露了牛顿观点的其他更为严重的困难。

爱因斯坦批判地审查了当时流行的空间和时间概念，从而克服了这个障碍。他发觉传统的时空概念是不能令人满意的，从而用更好的来代替了它们。这时他遵循了科学研究中的两个主导原则：客观化和相对化。此外，他还使用了一个

---

① 所谓纯几何结构是指从时间和空间上去把握事物之间的联系。——译者注

原则。这个原则，无疑以前就被大家认识了，并且已被人们比如说被物理学家和哲学家恩·马赫所使用，不过马赫主要是把它用在逻辑批判上，而未用在科学研究上（马赫的著作给了爱因斯坦以深刻的印象）。这个原则说：概念和见解，若不能为经验所验证，则物理学理论中就不应有它们的位置。爱因斯坦分析了在空间不同地点上所发生的两个事件的同时性，从而发现，这恰恰就是一个不能被验证的概念。这一发现使他在1905年得出一个关于空间和时间基本性质的新表述。大约十年后，这个原则，在被用来研究引力作用下的运动时，又指导爱因斯坦建立了他的广义相对论。

这个原则，要求排除掉那些不能被观察到的事物，乃是哲学上长期争论的一个问题。人们称它为实证主义的原则，然而实际上它近于一种哲学，在这种哲学里马赫是最主要的一个代表人。实证主义只承认直接的感觉印象才是实在的，否则就都被看作是大脑的产物。它导致人们对外部世界持怀疑态度。但是没有什么比下面这个事实更远离爱因斯坦的信念：在后来一些年里，爱因斯坦坚决地宣布他本人反对实证主义。

这个被爱因斯坦如此成功地使用过的方法，应该看作是一个启发性的原则。它暴露了传统理论的弱点，而经验证明，传统理论是不够正确的。这个方法在现代物理特别是量子论的发展中，成为一个进行基本研究的杰出方法。正是由于这个事实，爱因斯坦的思维方法才不仅达到了古典时期的顶峰，而且开创了物理学的新纪元。

# 章 I 几何学和宇宙学

## 1. 空间和时间测量技术的起源

空间和时间给我们提出的物理学任务，是用数字来确定每个物理事件发生的地点和时刻，这就使我们能够将此一事件从同时存在和相继发生的混乱现象中识别出来。

摆在人类面前的第一个问题是在地面上找路。因此，在地面上进行测量的技术（大地测量学）就成了关于空间的科学——几何学的发源地。时间的测量，最初起源于昼夜、月亮的盈亏和四季等有规律的交替。这些现象受到人们的注意，从而把人们的目光引向了星球，于是又形成了宇宙学——关于宇宙的科学的发源地。天文学的方法，就是把在地球上经过检验的几何学原理应用于天体范围，使我们能够确定出天体的距离和轨道；并给了地球上的人们以星球的（即天文上的）时间尺度，这使他们学会区分过去、现在和未来，以及学会给每个事件一个相应的时刻。

## 2. 长度和时间的单位

空间和时间测量的基础是确定单位。我们说“长多少多

少米”，就意味着所测长度与1米之比。说“多少秒时间”就意味着所测量的时间长短与1秒之比。这样，我们总是要涉及到一个与单位相比的数字。单位本身在很大程度上是任意的，它的选择要考虑到容易复制，容易交流，可靠性等因素。

物理学中长度的单位是厘米(*cm*)——保存在巴黎的米尺的百分之一。这根米尺最初是体现与地球圆周长的简单比例关系，数值为一个象限<sup>①</sup>的一千万分之一。但在稍后的测量中发觉这种规定很不精确。

物理学中时间的单位是秒。众所周知，它反映的是与地球自转一周的时间关系。

根据地球周长与自转时间来规定单位，后来被证明是很不方便的。今天我们用的是根据物质的原子性质更容易复制出来的单位。比如，现在这样来定义米，说它含有镭原子发出的波长一定的电磁辐射的确定倍数。秒可以定义为某些分子振荡时间的确定倍数<sup>②</sup>。

### 3. 原点和坐标

如果我们想确定的不仅是长度和时间间隔，而且还有位

---

① 即地球子午线的四分之一。——译者注

② 现在普遍采用国际单位制。在国际单位制中，米和秒的精确定义如下：米等于氪-86原子的  $2p_{10}$  和  $5d_5$  能级之间跃迁的辐射在真空中的 1650763.73 个波长的长度。秒等于铯-133 原子基态的两个超精细能级之间跃迁所对应的辐射的 9192631770 个周期的持续时间。

——译者注

置和时刻，那就必须再作进一步的约定。对于时间，我们认为其形态是一维的，因此只要给它确定一个起始时刻或零点就行了。历史学家们确定日期，是从“耶稣诞生”开始计年。天文学家则根据他们的研究对象来选择另外的起始时刻或零点，他们把它叫历元。一旦单位和零点确定了，那么给每个事件一个相应的数字，就可以把它识别出来。

几何学上要确定地球上的位置，按严格的定义，需要给出两个数才能确定一个点。说“我的家在贝克尔大街”是不足以确定它的，还必须给出门牌号。在美国许多城市里，街道本身都给依次编了号。地址“第 13 街 25 号”就是由两个数字组成的。这正是数学家们所说的“坐标定位法”。地球的表面就是用一个相互交叉的线网覆盖起来的，这些线或者按顺序编号，或者用一个数——自一条确定的起始线即零线算起的距离或角度——来确定其位置。

地理学家通常用的是地理经度（自格林威治向东或向西）和纬度（自赤道向南或向北）（图 1）。这两个规定同时也就确定了这两个坐标起算的零线：对于经度是格林威治子午线，对于纬度是赤道。在研究平面几何时，我们通常用直角（笛卡儿）坐标  $x, y$ （图 2, a），这两个坐标表示的是到相互垂直的两条坐标轴的距离。有时也

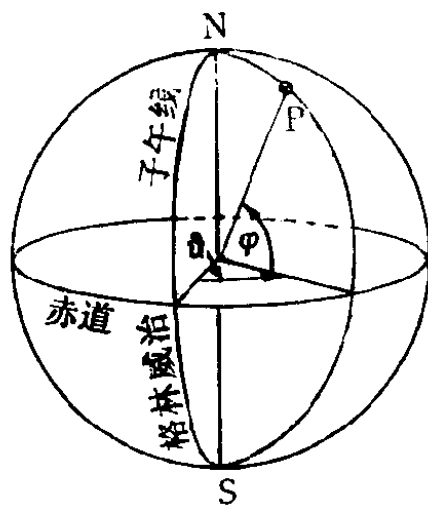


图 1 地面上一点 P 的地理经度  $\theta$  和纬度  $\varphi$ 。 $\theta$  是由格林威治子午线算起， $\varphi$  是由赤道算起。N 和 S 是北极和南极。