

# 相对论

The Theory  
of Relativity

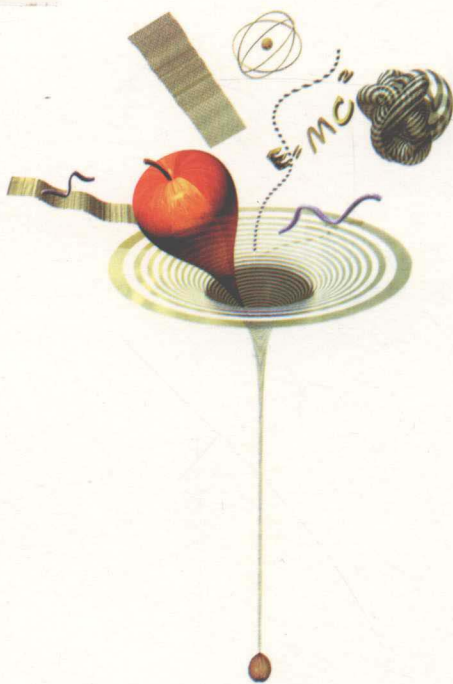
全新修订版

爱因斯坦创造了宇宙新秩序，他追问时间和空间，并揭示出宇宙超乎寻常的秘密

彻底颠覆人类宇宙观的创世之书

[美] 阿尔伯特·爱因斯坦 / 著

乌 蒙 / 译



四川人民出版社

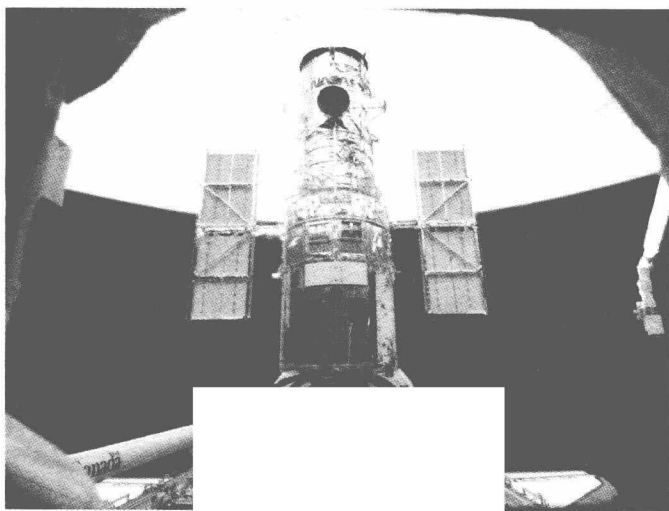
The Theory  
of  
Relativity

全新修订版

# 相对论

〔美〕阿尔伯特·爱因斯坦 / 著

乌 蒙 / 译



四川人民出版社

## 图书在版编目 ( CIP ) 数据

相对论 / (美) 阿尔伯特·爱因斯坦著; 乌蒙译.

-- 成都: 四川人民出版社, 2018.8

ISBN 978-7-220-10832-7

I. ①相… II. ①阿… ②乌… III. ①相对论 IV.

①0412.1

中国版本图书馆CIP数据核字 ( 2018 ) 第136807号

XIANGDUILUN

## 相对论

[美] 阿尔伯特·爱因斯坦 著 乌蒙 译

责任编辑  
封面设计  
版式设计  
责任印制

叶 驰  
日日新  
曲 丹  
李 剑

出版发行  
网 址  
E-mail  
新浪微博  
微信公众号  
发行部业务电话  
防盗版举报电话  
照 排  
印 刷  
成品尺寸  
印 张  
字 数  
版 次  
印 次  
书 号  
定 价

四川人民出版社 ( 成都槐树街2号 )  
<http://www.scpph.com>  
[scrmchs@sina.com](mailto:scrmchs@sina.com)  
@四川人民出版社  
四川人民出版社  
( 028 ) 86259624 86259453  
( 028 ) 86259624  
曲 丹  
重庆市国丰印务有限责任公司  
170mm × 240mm  
20  
370千  
2018年8月第1版  
2018年8月第1次印刷  
ISBN 978-7-220-10832-7  
68.00 元

■ 版权所有·侵权必究

本书若出现印装质量问题, 请与我社发行部联系调换  
电话: ( 028 ) 86259453

我们全都因他受益，  
他的教诲惠及全球，  
那本属于私有之物，  
早已传遍人间，  
他正如天际的明星，  
无尽的光芒与他永伴。

——歌德

在世界上所有的科学杂志中，最受收藏家欢迎的单本杂志是1905年第17卷《物理学年鉴》，因为这上面发表了爱因斯坦的三篇论文：对M.普朗克量子理论进行首次实验性证实的《关于光的产生和转化的一个启发性观点》、考察布朗运动的《关于热的分子运动论所要求的静止液体中悬浮小粒子的运动》，以及提出时空新理论的《论动体的电动力学》。前者因为“光电效应定律的发现”而获得1921年诺贝尔物理学奖；后者建立了狭义相对论，并由此推导出了那个著名的质能方程： $E=mc^2$ 。

爱因斯坦（1879—1955年），现代物理学的开创者和奠基人。生于德国乌尔姆。1900年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。曾在瑞士联邦专利局工作。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月定居美国，到普林斯顿大学任教，直到去世。

爱因斯坦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也提升为公理。如果两者同时成立，

不同的惯性系的各个坐标之间必然存在一种确定的数学关系，这就是洛伦兹变换。通过这种变换，他推导出，运动的尺子要缩短，运动的钟要变慢，任何物体的运动速度都不能超过光速。自然现象在运动学方面显示出统一性。这就是“狭义相对论”。

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。爱因斯坦发现，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，用空间结构的几何性质来表述引力场。爱因斯坦提供了三个可供实验验证的推论。第一是水星近日点的运动，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。这在1925年得到观测验证。第三，光线在引力场中的偏转。这在第一次世界大战结束后的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。

“对不起，牛顿。”爱因斯坦幽默地说。1687年，牛顿出版了《自然哲学的数学原理》，推翻了神学千年的根基，建立了完整而严密的经典力学体系。两个多世纪以后，爱因斯坦建立了相对论。

“为核能开发奠定了理论基础，开创了现代科学的新纪元，被公认为是自伽利略、牛顿以来最伟大的科学家、物理学家。”1999年12月26日，爱因斯坦被美国《时代周刊》评为“世纪伟人”。

提及《相对论》，爱因斯坦曾不无自豪地说，世界上可能只有12个人能够看懂《相对论》，但是世界上却有几十亿人借此明白没有什么是绝对的。爱因斯坦一生都不赞成将《相对论》应用于物理学之外，但这是他的意志无能为力的，无论是他健在时还是逝世后，《相对论》都在不断被引向文学、艺术、哲学、宗教等几乎所有学科。

# 相对论简史（代序）

BRIEF HISTORY OF RELATIVITY

[英] 斯蒂芬·威廉·霍金

19世纪后期，科学界相信，他们对宇宙的完整描述已近尾声。在他们的想象中，一种叫“以太”的连续介质充满了宇宙空间，空气中的声波、光波和电磁信号，都是以“以太”<sup>[1]</sup>为传播介质的。

在同一时期稍后几年，一种与空间完全充满“以太”的思想相悖的理论出现了：根据“以太”理论，光线传播速度相对于“以太”应是一个定值。因此，如果你沿着与光线传播相同的方向行进，你所测得的光速应比你在静止时测得的光速低；反之，如果你沿着与光线传播相反的方向行进，你所测得的光速应比你在静止时测得的光速高。但造成光速差别的证据在实验中并未找到。

---

## □ 斯蒂芬·霍金 摄影 20世纪

斯蒂芬·霍金是英国物理学家，他用毕生精力研究时空领域和宇宙起源大爆炸原理。他提出的黑洞能发出辐射（现在叫霍金辐射）的预言，现在已是一个公认的假说。在科学界他的研究工作远不及他的畅销书《时间简史》出名。在这本销售量达2 500万册的畅销书中，他对量子物理学和相对论作了大量介绍。



---

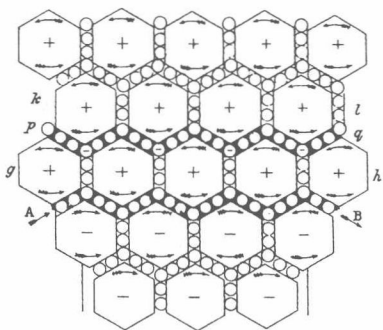
[1] 以太（英语为：Luminiferous aether、aether 或 ether）：或译为光乙太，是古希腊哲学家亚里士多德设想的一种物质，为五元素之一。

17世纪，法国哲学家笛卡尔最先将以太引入科学，并赋予它某种力学性质。

在笛卡尔看来，物体之间的所有作用力都必须通过某种中间媒介物质来传递，不存在任何超距作用。因此，空间不可能是空无所有的，它被以太这种介质所充满。以太虽然不能为人的感官所感觉，但却能传递力的作用，如磁力和月球对潮汐的作用力。

19世纪，科学家们发现光是一种波，而生活中的波大多需要传播介质（如声波的传递需要借助于空气，水波的传播借助于水等）。受经典力学思想影响，于是他们便假想宇宙到处都存在一种称之为以太的物质，也正是这种物质在光的传播中起到了介质的作用。

以太的假设事实上代表了传统的观点：电磁波的传播需要一个“绝对静止”的参照系，当参照系改变，光速也改变。



## □ 以太合成

如果以太存在且静止不动，那么地球上测量到的光速就会因为地球运动的方向而有快慢之别。此图是麦克斯韦以太理论的图解。

1887年，美国俄亥俄州克里夫兰的凯斯研究所的阿尔伯特·迈克耳孙和爱德华·莫雷完成了最准确的实验<sup>[1]</sup>测量。他们测量了两束成直角的光线的传播速度。根据“以太”理论推理，由于自转和绕太阳的公转，地球应在“以太”中穿行，因此，上述两束光线应因地球的运动而测得不同的速度。但是莫雷却发现，无论是昼夜或冬夏，都未引起两束光线速度的变化。不论你运动与否，光线似乎总是以相同的速度传播。

爱尔兰物理学家乔治·费兹哥立德和荷兰物理学家亨卓克·洛伦兹最早认识到，相对于“以太”，运动中的物体在运动方向上的尺寸会收缩，而时钟会变慢。但他们同时又认为，“以太”是一种真实存在的物质。

这时，就职于瑞士专利局的年轻的阿尔伯特·爱因斯坦，却大胆否定了“以太”说，并一次性解决了光传播速度的问题。

1905年，爱因斯坦在论文中第一次指出，由于人们无法探测出自己是否

[1] 阿尔伯特·迈克耳孙和爱德华·莫雷的实验：1881—1887年，阿尔伯特·迈克耳孙和爱德华·莫雷为测量地球和以太的相对速度，进行了著名的迈克耳孙—莫雷实验。实验结果显示，不同方向上的光速没有差异。这实际上证明了光速不变原理，即真空中光速在任何参照系下具有相同的数值，与参照系的相对速度无关，这说明以太其实并不存在。后来又有许多实验支持了上面的结论。

同时，根据麦克斯韦方程组，科学家也发现电磁波的传播不需要一个“绝对静止”的参照系，因为该方程里两个参数都是无方向的标量，所以在任何参照系里光速都是不变的。

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} c$$

其中 $\epsilon_0$ 是真空电容率， $\mu_0$ 是真空磁导率。

因此，爱因斯坦大胆抛弃了以太学说，认为光速不变是基本的原理，并以此为出发点之一创立了狭义相对论。现在也有人推测，以太可能是由一种宇宙的暗物质所构成，又称“光引力行为”，光引力行为是一种只有属于光的万有引力，发光者借由暗物质的聚合而产生光，可是这些也只是在构想的阶段。

相对于“以太”运动，因此，关于“以太”的整个概念都毫无意义。爱因斯坦认为，科学定律应该赋予所有自由运动的观察者相同的形式，无论观察者如何运动，他们都应该测量到同样的光速。

在这一思想中，爱因斯坦要求人们放弃所有时钟普适的时间概念，确信每个人都应当有他自己的时间值：如果两个人是相对静止的，他们的时间就是一致的；如果他们存在相互的运动，那他们观察到的时间就会有差异。

实验证明，爱因斯坦是正确的。一个绕地球旋转的精确时钟与存放在实验室中的精确时钟比，前者与后者会有时间指针上的差别。如果你想延长你的生命，你可以乘飞机向东飞行，这样，叠加上地球旋转的速度，你就可以延长零点几秒的生命，也可借此弥补你因食用航空食品带来的损害。

爱因斯坦认为，对所有自由运动的观察者而言，自然定律都是相同的，这个前提是相对论的基础。因为，这个前提隐含了只有相对运动是重要的。虽然相对论的完美与简洁折服了许多科学家和哲学家，但是疑问仍然多多。爱因斯坦摒弃了19世纪自然科学的两个绝对化观念：“以太”所隐含的绝对静止和所有时钟测得的绝对或普适时间。

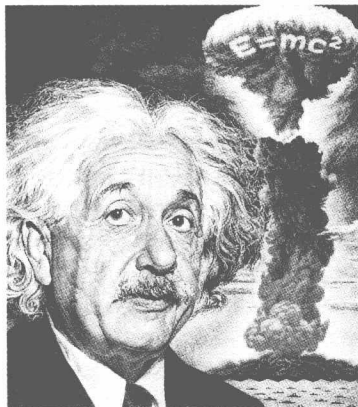
人们也许会问，相对论是否隐含了这样的意思：任何事物都是相对的而不会再有概念上绝对的标准？

这种疑问从20世纪20年代一直持续到30年代。1921年，由于对光电效应的贡献，爱因斯坦获得了诺贝尔物理学奖，但由于相对论的复杂难解及面临的种种争议，瑞典皇家科学院的诺贝尔奖颁奖词只字未提相对论。

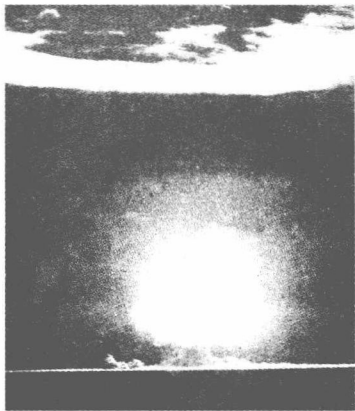
现在，相对论已经被科学界完全接受，无数实验也证实了相对论的预言，但

#### □ 爱因斯坦与质能方程

在爱因斯坦的物理理论中，有一个质量能量方程： $E=mc^2$ 。起初，很多人对这一理论不屑一顾，嗤之以鼻，后来原子弹爆炸的画面通过电视屏幕为人熟知后，人们这才叹服于任何物质在通常情况下蕴含其内的能量是这么巨大，越来越多的人开始相信爱因斯坦的质能方程所言不虚。于是很多人通过努力想找到反物质，找到普通物质释放能量的途径，用来造福于人类。







□ 原子弹爆炸 摄影

爱因斯坦关于能量与质量关系的理论—— $E=mc^2$ ，统一了以前的能量守恒定律与质量守恒定律，揭示了核能的存在。在爱因斯坦这个理论的基础上，美国率先制造出了世界上第一颗原子弹。

我每周仍然会收到两三封说爱因斯坦错了的来信。

相对论的重要结论之一，是质量与能量的关系<sup>[1]</sup>。对所有观察者而言，爱因斯坦假定光速是相同的，没有可以超过光速运行的事物。如若给粒子或宇宙飞船不断地供应能量，会发生什么现象呢？被加速物体的质量就会增大，使得更快的加速很难进行。把一个粒子加快到光速是不可能的，因为那需要无穷大的能量。质量与能量是等价的，它们的关系被爱因斯坦总结在著名的质能方程 $E=mc^2$ 中，这或许是迄今为止家喻户晓、妇孺皆知的唯一物理方程。

铀原子核裂变为两个小的原子核时，很小的一点质量亏损会释放出巨大的能量，这就是质能方程的众多推论之一。1939年，第二次世界大战阴云密布，一群意识到裂变反应在应用上十分

[1] 质量与能量的关系：在经典力学中，质量和能量之间是相互独立、没有关系的。但在相对论力学中，质量和能量只不过是物体力学性质的两个不同方面而已，爱因斯坦因而指出：“如果一物体以辐射形式放出能量 $\Delta E$ ，那么它的质量就要减少 $\Delta E/c^2$ ，至于该物体所失去的能量是否恰好变成辐射能，在这里显然无关紧要。于是我们被引到了这样一个更加普遍的结论上来，即物体的质量是它所含能量的量度。”他还指出，“这个结果有着特殊的理论重要性，因为在这个结果中，物体系的惯性质量和能量以同一种东西的姿态出现……我们无论如何也不可能明确地区分体系的‘真实’质量和‘表现’质量。把任何惯性质量理解为能量的一种储藏，看来要自然得多”。

在经典力学中彼此独立的质量守恒和能量守恒定律，在爱因斯坦的世界里被归在了一起，成了统一的“质能守恒定律”，它充分反映了物质和运动的统一性。

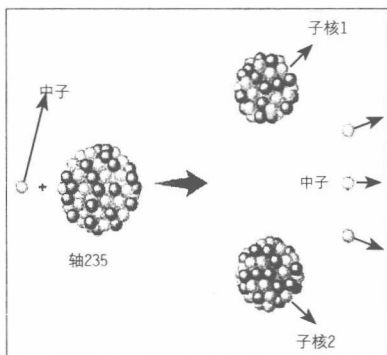
重要的科学家游说爱因斯坦，让他放弃自己是和平主义者的顾忌，给美国总统罗斯福写信，劝说美国开始核研究计划。于是有了“曼哈顿计划”<sup>〔1〕</sup>和1945年广岛的原子弹爆炸。有人因为原子弹的巨大伤害而责备爱因斯坦对质能关系的发现，这如同因为飞机遇难而责备牛顿发现了万有引力一样，是毫无道理的。事实是，爱因斯坦并未参与“曼哈顿工程”，而且他自己也惊惧于那巨大的爆炸。

相对论完美地结合了电磁理论的有关定律，但它与牛顿的重力定律并不相容。牛顿的重力定律表明，如果你改变空间的物质分布，整个宇宙的重力场将同时发生改变，这意味着你可以发送比光速更快的信号，同时需要绝对或普适的时间概念。这为相对论所不容。

早在1907年，爱因斯坦便意识到两者的不相容问题，那时他还在伯尔尼的专利局上班。直到1911年，迁到布拉格工作后，爱因斯坦才深入思考这一问题。他意识到加速与重力场的密切关系：在密封厢中的人，无法辨别他自己对地板的压力的来源——是由于地球的

#### □ 铀原子核裂变

核裂变，又称核分裂，是指由重原子核（一般为铀核或钚核），分裂成质量差不多的轻原子的一种核反应形式。原子弹以及裂变核电站的能量都来自核裂变。其中铀裂变在核电站最常见，加热后铀原子放出2到4个中子，中子再去撞击其他原子，从而形成链式反应。



〔1〕曼哈顿计划：为了先于纳粹德国制造出原子弹，1941年12月6日，美国正式制定了代号为“曼哈顿”的绝密计划。罗斯福总统赋予这一计划以“高于一切行动的特别优先权”。

“曼哈顿”计划规模大得惊人。由于当时还不知道分裂铀235的三种方法哪种最好，只得用三种方法同时进行裂变。这项复杂的工程成了美国科学的熔炉。当时，在“曼哈顿”工程管理区内，汇集了以奥本海默为首的一大批来自世界各国的最优秀科学家。科学家人数之多简直令人难以想象，在某些部门，带博士头衔的人甚至比一般工作人员还要多，而且其中不乏诺贝尔奖得主。

“曼哈顿”工程在顶峰时期曾经起用了53.9万人，总耗资高达25亿美元。这是在此之前任何一次武器实验所无法比拟的。1945年7月16日成功地进行了世界上第一次核爆炸，并按计划制造出两颗实用的原子弹。整个工程取得圆满成功。

重力场中的引力，还是由于在无引力空间中加速的结果（这些设想都发生在“星际旅行”的时代之前，估计当时爱因斯坦把密封厢设想为电梯轿厢，而不是宇宙飞船中）。

但我们知道，如果不想让电梯碰撞的事情发生，你便不能在电梯中加速或自由坠落许久；如果地球是完全平整的，人们可以说苹果因重力落在牛顿头上，与因地球表面加速上升造成牛顿的头撞在苹果上是等价的。

但是，当地球是圆形的，这种加速与重力的等价便不再成立，因为同一时刻，在地球相反一面的人将会被反向加速，而两面观察者之间的距离却不会更改。

1912年回到苏黎世后，获得灵感的爱因斯坦意识到，如若将真实几何进行适当调整，重力与加速的等价关系就能成立。如果三维空间加上第四维的时间所形成的空间—时间实体是弯曲的，那结果会怎样呢？他认为，质量和能量将造成时空弯曲，这在某些方面已经被证明，比如行星和苹果。物体趋向于直线运动，它们的运动轨迹会被重力场弯曲，因为重力场弯曲了时空。

在马歇尔·格罗斯曼的帮助下，爱因斯坦潜心学习弯曲空间<sup>[1]</sup>及表面的理论，这些抽象的理论被玻恩哈德·瑞曼发展起来时，从未想到与真实世界会有联系。1913年，爱因斯坦与格罗斯曼合作发表文章，他们提出了一个思想：我们所认识的重力，只是时空弯曲的事实的一种表述。但是，由于爱因斯坦的一个失误，他们当时未能找出时空弯曲的曲率以及能量与质量的关系方程。

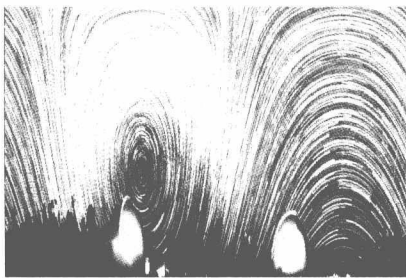
在柏林，爱因斯坦避开家庭的烦扰和战争的影响，继续研究这一问题。1915年11月，他最终发现了联系时空弯曲与蕴涵其中的质能关系方程式。1915年夏天，在访问哥廷根大学期间，爱因斯坦曾与数学家戴维·希尔伯特

---

[1] 弯曲空间：初等平面几何所研究的对象是欧几里得空间（欧氏空间）。这种几何的最重要性质之一就是平行线公设：通过给定直线之外的任一点，可作一条直线与给定直线平行。这个公设在弯曲空间中并不适用。天体物理中常遇到的弯曲空间是黎曼空间。它的一种特例是黎曼弯曲空间。

黎曼曲率 $K$ 等于常数1、-1和0的空间分别叫黎曼球空间、罗巴切夫斯基空间和欧氏空间。所以，欧氏空间可看作黎曼空间的特例。局部黎曼空间可以看作由局部欧氏空间弯曲而来，而大范围的黎曼空间常常不可能从欧氏空间弯曲得到。

讨论过他的这个思想，希尔伯特早于爱因斯坦几天也找到了同样的方程式。尽管如此，希尔伯特承认，发现这种新理论的荣誉理应归于爱因斯坦，因为正是爱因斯坦将重力与弯曲时空联系起来；这还应感谢当时文明的德国，因为在那里，即使在战争期间，这样的科学探讨及交流仍然一如既往地继续进行着，与20年后所发生的事情（指第二次世界大战）是多么巨大的反差！



□ 时空弯曲

从物理学的角度看，时空的弯曲性质依赖于物质的分布和运动。爱因斯坦的广义相对论给出了时空与物质之间的关系和它们的运动规律。通常情况下，时空弯曲的量级是很小的，只有在黑洞或其他强引力场情况下，才有大的弯曲。

关于弯曲时空的新理论叫做“广义相对论”，以与原先不包含重力的“狭义相对论”相区别。1919年，人们以颇为壮观的形式证明了“广义相对论”：一支英国科学考察队远征西非，在日食期间观察到了太阳附近一颗恒星位置的微小移动。这证实了爱因斯坦的论断，恒星发出的光线在经过太阳附近时，由于引力而弯曲了。这一证明时空弯曲的直接证据，是在公元前300年欧几里得<sup>[1]</sup>《几何原本》之后，人类认识宇宙的最大的革新。

将“时空”由被动的时间发生转变为动态宇宙的主动参与者，“广义相对论”带来了居于科学前沿的一个巨大问题，这一问题到20世纪结束时仍未解决。物质充满着宇宙，同时又导致时空弯曲而使得物体相互聚集。用“广义相对论”解释静态的宇宙时，爱因斯坦发现，他的方程式是无解的。为适应静态宇宙，爱因斯坦变通了他的方程式，在其中加入了一个名为“宇宙常

[1] 欧几里得（前325—前265年）：古希腊数学家，被称为“几何之父”。他活跃于托勒密一世（前323—前283年）时期的亚历山大里亚，他最著名的著作《几何原本》是欧洲数学的基础，提出五大公设。“欧几里得几何”，被广泛地认为是历史上最成功的教科书。欧几里得也写了一些关于透视、圆锥曲线、球面几何学及数论的作品。

量”<sup>[1]</sup>的项。这个“宇宙常量”将再次弯曲时空，以使所有的物体分开。

“宇宙常量”引入的排斥效果将平衡物体的相互吸引作用，从而保持宇宙的长久平衡。

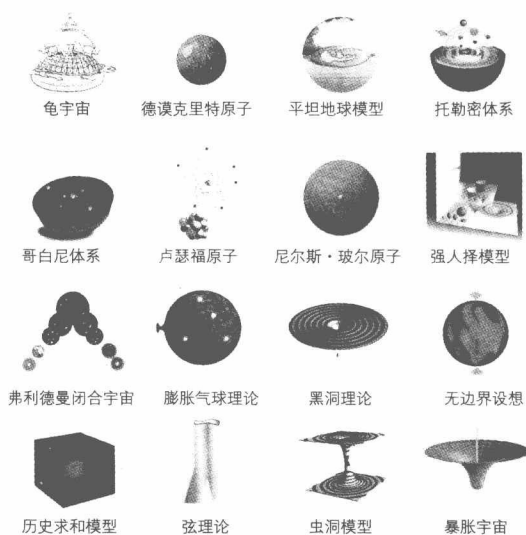
事实上，这是人类在理论物理历史上丧失的最大机遇之一。如果爱因斯坦继续在这一方向上不断研究，而不是变通地引入“宇宙常量”，他可能对宇宙是在扩张还是在收缩作出预言。然而，直到20世纪20年代，当威尔逊山

上的100英寸的天文望远镜观察到遥远的星系在以越来越快的速度远离我们时，宇宙依然正在随着时间的推移而稳定地膨胀。爱因斯坦后来才认识到，“宇宙常量”的提出是他一生中最严重的错误。

人们对于宇宙的起源及终结的研究方向，被“广义相对论”彻底改变。静止的宇宙可能会永远存在，或者说，在过去的某个时间，在这一静止的宇宙产生之时，也就已经是现在的形态了。从另一方面来说，如果现在

#### □ 世界图

这幅图描绘了物理学中一些尝试着解释宇宙的理论模型。这些理论模型都在着力采用某种“世界图”来解释宇宙。



[1] 宇宙常量：是对真空中的能量的数学表述，并用希腊字母的第11个字母“拉姆达”表示，这种神秘能量正在让宇宙不断加速膨胀。

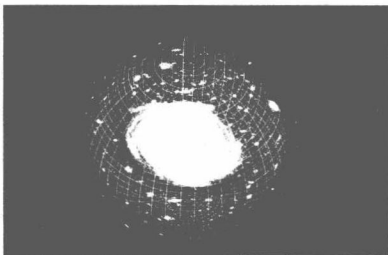
宇宙常量源自爱因斯坦在相对论中提出的一组引力方程式，方程式的结果预示着宇宙是在做永恒的运动，这个结果与爱因斯坦的宇宙是静止的观点相违背。为了使这个结果与宇宙是呈静止状态的观点一致，爱因斯坦又为方程式引入了一个项，这个项就是“宇宙常量”。

的星系正在彼此远离，那么，在过去的的时间里，它们彼此之间应该是十分临近的——在大约150亿年前，它们甚至可能彼此靠近，相互重叠，密度可能也是无穷大。“广义相对论”告诉我们，宇宙大爆炸标志着宇宙的起源、时间的开始。因此，爱因斯坦无疑是过去100年中最为伟大的人物，他应该得到人们更加长久的尊敬。

在黑洞中，空间与时间是如此弯曲，以至于黑洞吸收了所有的光线，甚至没有一丝光线可以逃逸。因此，“广义相对论”推测时间应终止于黑洞。但广义相对论方程并不适用于时间的开始与终结这两种极端情形。因此，这一理论并不能揭示大爆炸的结果，一些人认为这是上帝万能的一种象征，即上帝可以用自己的方式来开创宇宙。

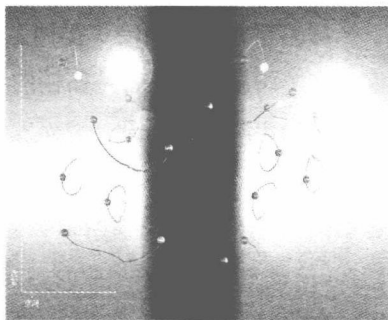
可是，另一些人（包括我自己）认为，宇宙的起源应该服从于一种普遍原理——它在任何时候都是成立的。在朝这一方向的努力中，我们取得了一些进展，但距完全理解宇宙的起源还相去甚远。广义相对论不能适用于大爆炸理论的原因是它与20世纪初另一伟大的观念性的突破——量子理论并不相容。量子理论的最早提出是在1900年。当时柏林

的马克斯·普朗克发现，从红热物体上发出的辐射，可以解释为“光线以特定大小的能量单元发出”，普朗克把这种能量单元称为量子。辐射好比超级



#### □ 宇宙的终结

关于宇宙的终结，目前有四种学说：第一种，宇宙内的所有恒星，消耗完自身的能量后，变成无数个黑洞，最终汇聚成一个大黑洞，宇宙变成一个混沌世界；第二种，宇宙不断膨胀；第三种，宇宙收缩，最终又变为一个奇点，反复爆炸、膨胀、收缩；第四种，宇宙在爆炸收缩中不断反复，既不会变为奇点也不会死亡。



#### □ 黑洞

黑洞是一种引力极强的天体，就连光也不能逃脱它的吸引。恒星会在一定条件下变成黑洞。在黑洞的视界邻近，虚粒子出现并相互湮灭。粒子对中的一员落入黑洞，而它的伴侣自由逃逸。从视界外面看，黑洞正把逃逸的粒子发射出来。在空虚的空间中，粒子对出现，引起简短的存在，然后再相互湮灭。

市场里的袋装白糖，并非你想要多少的量都行，相反，你只能买每袋一磅的包装。1905年，爱因斯坦在一篇论文中提及普朗克的量子假设可以解释光电效应。他也因此获得了1921年的诺贝尔物理学奖。

爱因斯坦对量子的研究延续至20世纪20年代。当时哥本哈根的华纳·海森堡、剑桥的保尔·狄拉克以及苏黎世的埃文·薛定谔提出了量子机制，从而展开了描述现实的新画卷。他们认为，小粒子不再具有确定的位置和速度，相反，小粒子的位置测得越精确，它的速度测量就越不准确；反之亦然。面对这种基本定律中的任意性和不可预知性，爱因斯坦十分惶惑。他最终没有接受量子机制。他的著名格言“上帝并不是在投骰子”表达的正是这一感受。虽然如此，全新的量子机制定律仍然为大多数的科学家所接受，并承认其实用性，因为这些定律不但吻合实验结果，而且可以解释许多以前不能解释的现象。这些定律成了当代化学、分子生物学以及电子学发展的基础，也是过去半个世纪铸造整个世界的科技基石。

1933年，纳粹统治了德国，爱因斯坦放弃了德国国籍，离开了这个国家。在美国新泽西州普林斯顿的尖端科学研究所，爱因斯坦度过了他生命中最后的22年时光。当时，纳粹发动了一场反对“犹太科学”以及犹太科学家的运动（大批科学家被驱逐出境，这也是德国在当时未能造出原子弹的原因之一）。这场运动的主要目标是爱因斯坦和他的相对论。得知一本名为《反对爱因斯坦的100位科学家》的书出版时，爱因斯坦说，为什么要100位？如果我真的错了，一位就足够了。

“二战”后，爱因斯坦敦促盟军设立一个全球性机构以控制核武器。1952年，爱因斯坦被的以色列政府聘任总统职务，但他拒绝了。他说：“政治是暂时的，唯有方程可以永恒。”广义相对论方程是他最好的纪念碑和墓志铭，它们与宇宙一起长存。

## 伯格曼说相对论

几乎所有的物理学定律都着眼于对空间中物体的活动情况随时间而变化的描述。只有选定一个恰当的参照物，一个物体的位置，或者一个事件发生的地点才有可能被清晰表达出来。例如，在阿脱武德机实验中，重物的速度与加速度的参照物是该机本身，实际上也是相对于地球而言的。天文学家可以将太阳系的重心作为参照系，以此描述行星的运动。因此，所有的运动都可以描述为在某一参照系下的运动。

我们可以设想，有一个由杆构成的架子，它与参照物连接在一起，并且延伸至空间当中。如果将这个设想中的架子看成三维空间的笛卡儿坐标系，那么，我们就能够得到三个数来表示任一位置空间点的坐标。我们把这样与某参照物紧密连接的架子称为参照系。

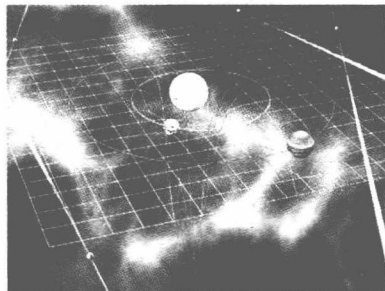
并不是所有的物体都适合作参照物。在相对论出现之前，人们就已意识到适当选择参照系的重要性了。17世纪后期的物理学之父伽利略，曾经为了让人们接受日心参照系这一学说，不惜冒着被监禁甚至烧死的危险也要将之广为传播。后来我们通过分析才明白，他与当时专制势力争论的主题正是对参照物的选择问题。

牛顿在后来的物理学概论中对此作出了详细描述，才使人们普遍接受了日心参照系这一学说。然而，牛顿并没有止步于此。为了证明有的参照系比其他参照系更适于描述自然形态，他设计了著名的水桶实验。首先他将水桶装满

### □ 太阳系的重心

引力的大小同引力源的质量成正比。太阳系里的一切天体都要受到太阳强大引力的支配。但据此说太阳系里的一切天体都在以太阳为中心公转，是与科学事实不吻合的。太阳系里的一切天体，包括太阳在内都围绕着太阳系里的所有天体的“共同重心”作旋转运动。

共同重心的位置会随太阳系里各行星所在的位置而变化，有时会进入太阳内部，有时会跑到太阳的外面。





水，然后拧转系着水桶的绳子，使得水桶旋转起来。这时会发现，当水与水桶同时进行旋转时，它的表面将会由平面变成一个抛物面。当水与水桶达到同等旋转速率后，将水桶停下来，就会发现水面也慢慢地恢复成平面。

很显然，上面水桶实验的参照系是地球。我们可以把水面的这种变化作这样的描述：水在不转动时呈现平面状态，转动时则为抛物面状态。这种状态的改变与桶的运动状态无关。

现在，我们设想一个以大小不变的角速度相对于地球转动的参照系，且这个角速度就等于水桶的最大角速度值。我们从这个参照系的角度来观察上面的整个实验：一开始，绳子、水桶以及水都以某一相等的角速度相对于这个参照系“转动”，水保持平面状态；接着，水桶与绳子慢慢停止“转动”，于是水面就变成了抛物面；然后再将水桶与绳子相对于这个参照系“转动”（对于地球这个参照系而言，水是静止的），水又会慢慢变回平面状态。对于

这个参照系，我们可以用这样的定律描述：只有当水按照一定角速度“转动”时，水面才会呈现平面状态，但一旦偏离这个特殊运动状态，水面就无法保持平面了。它偏移的角度将与这个运动的偏离程度成正比。也就是说，静止的状态也可能使水面呈现抛物面状态，同样，它与桶的转动也没有任何联系。

牛顿的水桶实验很恰当地让我们明白了什么叫做“恰当的”参考系。任何选定的参考系都可以用来描述自然以及自然界的定律。然而，在所有这些参考系中，只有一个或者说少数是可以让描述自然定律变得简单的。换

#### □ 水桶实验

水桶实验是牛顿为证明绝对空间的存在所做的实验。牛顿对于该实验的解释，后来遭到奥地利物理学家、哲学家马赫和爱因斯坦的颠覆。其实验方法为：

(a) 桶吊在一根长绳上，将桶旋转多次而使绳拧紧，然后盛水并使桶与水静止，此时水是平面的。

(b) 接着松开，因长绳的扭力使桶旋转，起初，桶在旋转而桶内的水并没有跟着一起旋转，水还是平面的。

(c) 转过一段时间，因桶的摩擦力带动水一起旋转，水就形成了凹面。直到水与桶的转速一致。这时，水和桶之间是相对静止的，相对于桶，水是不转动的。但水面却仍然呈凹状，中心低，桶边高。

