



文化百科系列



探索发现

第四卷

辽海出版社

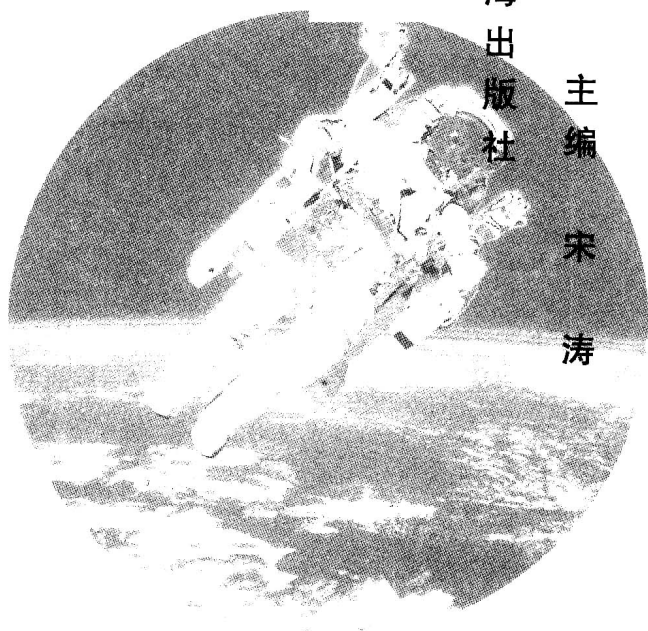
探索发现



文化百科丛书

辽海出版社

主编 宋涛



电磁理论的发现

英国剑桥大学的世界知名数学家霍普金斯教授连续几天来都感到很烦躁：接连几次到图书馆去借数学期刊和专著，都被人借走了。这些书刊很艰深，学生是不会借的。问过同事，也都说没有借。最后问到图书管理员，才知道被一名叫做詹姆斯·麦克斯韦（James Clerk Maxwell，1831~1879，伟大的英国物理学家，建立了电磁理论，将光、电、磁现象统一起来）的学生借走了。

霍普金斯由烦闷转为惊异，他要去见见这个学生。来到学生宿舍，科学家特有的直觉使霍普金斯对这位学生产生了浓厚的兴趣，他正埋头于作业，笔记本摊了一桌子，教授想借而没有借到的书刊展开在桌子上。

“小伙子，这些书不好啃呢，小心啃掉牙齿。”教授风趣地说。经过这次交谈，教授和学生成了忘年交。麦克斯韦的非凡才能引起了教授的重视。

1831年6月13日，詹姆斯·麦克斯韦生于苏格兰古都爱丁堡。幼时随父乡居，在父亲的诱导下学习科学，不满10岁就随父到爱丁堡皇家科学院听演讲。9岁那年，母亲不幸得了重病，扔下小麦克斯韦撒手归西。从此以后，小麦克斯韦和父亲相依为命，度过了艰难困苦的少年时代。他自幼对数学、物理学产生了浓厚兴趣，尤其喜欢钻研数学。当麦克斯韦还不满15岁时，他写的一篇数学论文就发表在《爱丁堡皇家学会会报》上，并且获得了行家们的好评。这是一门数学和物理学相互交叉渗透的学科，运用数学理论来解决物理方面的问题。

麦克斯韦16岁时进入爱丁堡大学，3年后转入剑桥大学投师霍普金斯教授门下研习数学。霍普金斯教授是剑桥的著名科学家，他学识渊博，功底深厚，培养过不少世界知名的学者、科学家，在科学技术上有多方面成就的威廉·汤姆逊（即著名的开氏温标的创始人开尔文勋爵）和著名数学家斯托克等人，都出自霍普金斯教授的门下。霍普金斯教授对麦克斯韦要求极其严格，对他进行了系统的训练。俗话说，名师出高徒。麦克斯韦的学习和科学研究进步很快，仅仅3年时间就掌握了当时欧洲所有先进的数学物理方法。

1854年以优异成绩毕业于该校三一学院数学系，留校任职两年。一次，他阅读了法拉第的《电学的实际研究》一书，读着读着就被书中的奥秘给迷住了。它记录了法拉第一生从事电磁学研究的全部实验结果，其中也包含了法拉第深邃的思考。

麦克斯韦受到这位电磁学先驱的深刻启示，日夜刻苦研读法拉第的著作，通过与法拉第著作的思想交流，麦克斯韦悟出了电磁力线思想的宝贵价值，同时也看到

了法拉第定性表述电磁现象方面的弱点。初出茅庐的青年数学家麦克斯韦决心用数学定量表述来弥补这一缺陷。

1855年，24岁的麦克斯韦发表了学术论文《论法拉第的“力线”》。这是麦克斯韦第一篇关于电磁学理论方面的论文，麦克斯韦向电磁学理论的纵深领域挺进。

这年秋季，因公来到伦敦的麦克斯韦特意前来拜访法拉第，这是一次历史性的会见。年轻的物理学家恭敬地递上名片，连同他4年前发表的学术论文交给了仆人。过了一会儿，法拉第满脸笑容地走了出来。这时，这位电磁学实验大师已年届70岁，两鬓斑白，智慧的眼睛闪着和善的目光。虽然宾主二人年龄相差40多岁，在性情、爱好、志趣、特长等方面也迥然各异，但是在探索自然科学之谜上，他们却产生了共鸣。

法拉第和麦克斯韦一见如故，很快就亲切热烈地交谈起来。这对奇妙的一老一少，彼此堪称天造地设、相得益彰。法拉第快活、和蔼，麦克斯韦严肃、机智。老师待人如一团温暖的火，学生处事像一把锋利的剑。麦克斯韦说话不善辞令，但一针见血；法拉第演讲娓娓动听，却主题鲜明。一个不很懂数学，另一个则应付自如。

1856年，麦克斯韦到苏格兰阿伯丁的马里沙耳学院任自然哲学教授，两年后和院长的女儿K. M. 杜瓦结婚。1860年向其母校爱丁堡大学申请自然哲学教授职位未成，同年秋季去伦敦任国王学院的自然哲学及天文学教授，并和M. 法拉第时有往来。

麦克斯韦最大的功绩是建立了电磁理论，将光、电、磁现象统一起来。1864年12月8日，麦克斯韦在英国皇家学会的集会上宣读了题为《电磁场的动力学理论》的重要论文，在这篇论文中，他为他的力学模型，找到了明确的电磁学依据，对前人和他自己的工作进行了概括，位移电流作为和电荷守恒定律相容的一个前提。在此基础上提出了联系着电荷、电流和电场、磁场的基本微分方程组。他用一组方程表示电磁场的连续性，另一组方程表示电磁场变化及其相互影响，使电磁学以优美的数学形式表达出来。这一方程组经过后人的整理和改写，成为经典电动力学主要基础。

正是通过这样的数学推论，麦克斯韦预见了电磁波的存在：电磁场的变化以波的形式在空间传播。他还运用方程组推算出电磁波的速度和光速大体相同。

按照麦克斯韦的理论，电磁波在真空中的传播速度，是仅仅通过电磁学的测量就能确定下来的一个恒量。测量的结果表明这一恒量和真空中的光速十分接近。在这种量值符合性的启发下，麦克斯韦提出了光的电磁理论，即认为光是频率介于某一范围之内的电磁波。这是光的波动学说的一种新形式，它避免了旧的光学理论中一些根本性的困难，而且在很大范围内得到了实验的证实。因此，尽管新理论也还

有它自己的困难，但是这种理论的提出却被认为是人类在认识光的本性方面的一大进步。正是在这样的意义上，人们才说麦克斯韦把光学和电磁学“统一”起来了。这一发展被认为是在 19 世纪科学史上最伟大的综合之一。

1865 年他辞职回乡，专心治学和著述。1871 年受聘为剑桥大学实验物理学教授，负责筹建该校的第一所物理学实验室——卡文迪许实验室，1874 年建成后担任第一任主任。1873 年，麦克斯韦出版了集电磁学大成的划时代著作《电磁学通论》，全面总结 19 世纪中叶以前对电磁学的研究成果，建立了完整的电磁理论体系。这是一部可与牛顿的《自然哲学的数学原理》、达尔文的《物种起源》相媲美的里程碑式的不朽名著。

由于这部著作一般人读不懂，而且十几年间一直没有人证实电磁波的存在，所以许多物理学家怀疑麦氏的理论。

1879 年 11 月 5 日，麦克斯韦在剑桥逝世。他的功绩生前未受重视，直到 1888 年，即他逝世九年以后，物理学家赫兹通过一系列实验证实了电磁波的存在，人们开始惊羨麦克斯韦的天才预想。至此，由法拉第开创、麦克斯韦完成的电磁理论终于取得了决定性的胜利！

相对论的发现

一次不寻常的日全食观测

1919 年 5 月 29 日，发生了人类历史上一次不寻常的日全食观测。

两支日食观测队，一支由天文学家爱丁顿带队，一支由天文学家克劳姆林带队，从英国出发，飘洋过海，分别来到了非洲西部的普林西比岛和南美的索布腊尔，他们严阵以待，等待着一个盼望了多年的庄严时刻的到来。

中午，太阳一点点被月亮遮住了，天渐渐暗了下来。天文学家们用早已准备好的精密照相设备，抓紧 302 秒的日全食机会，一张接着一张紧张地拍照。不过，他们不是像通常那样拍摄日食时太阳的日珥、日冕的照片，而是拍摄太阳及其附近星星的照片。

还在 1911 年，爱因斯坦根据相对论预言，由于太阳的引力场作用，星光在接近太阳表面时将发生偏转，1915 年，他又更精确地把偏转角度更正为 1.7 秒角度。

怎样才能检验爱因斯坦的预言呢？白天，阳光照耀，看不见星星，夜晚，星星出来了，太阳又下山了，只有在日全食时，才有可能看到紧挨着太阳的星光。现在这个时刻来了。如果观测的结果真的像爱因斯坦预言的那样的话，那么 200 多年以前，伟

大的科学家牛顿所提出的万有引力定律就必须修正了，难怪科学家们如此激动。

11月6日，英国皇家学会和皇家天文学会在伦敦举行联席会议，听取两支日食队的正式报告。他们的观测结果表明，星光在路过太阳附近时真的拐弯了，一个队的观测结果是偏转了 1.61 ± 0.30 秒，另一个队的结果是偏转了 1.98 ± 0.12 秒，与爱因斯坦的预言相当吻合。

整个会场沸腾了。英国皇家学会会长、电子的发现者汤姆孙致词，他说：“爱因斯坦的相对论是人类思想史上最伟大的成就之一……这不是发现了一个孤岛，而是发现了科学思想的新大陆。”

这一评价毫不过分。爱因斯坦的相对论结束了牛顿经典物理学的统治，开创了现代物理学的新纪元。它从根本上改变了人们对空间、时间和宇宙的认识。相对论已成为现代物理学的两大基石之一，对现代科学的发展产生了巨大的影响。

爱因斯坦是怎样发现相对论的呢？

物理学上空的两朵乌云

19世纪末，在许多物理学家的眼中，物理学已发展到了登峰造极的地步，不会再有什么大的突破了。在迎来20世纪第一个春天时，久负盛名的物理学家、英国的开尔文爵士在他的《新年献辞》中就踌躇满志地宣布：“科学的大厦已经建成，后辈物理学家能做的仅仅是一些零星的修补工作”。

不过，开尔文毕竟是一位有眼力的科学家，他指出：“在物理学晴朗上空的远处，还存在两朵令人不安的小小乌云。”他所指的两朵乌云与当时用经典物理学无法解释的两个实验有关，一个是黑体辐射实验，一个是迈克尔逊——莫雷实验。

在开尔文的心目中，这两朵乌云很快就会散去，他完全没有料到，竟是这两朵小小的乌云酿成了物理学上的大革命，前一个促成了量子论的诞生，后一个迎来了相对论的问世。

提起迈克尔逊——莫雷实验，我们还要从寻找神秘的以太谈起。

以太这个词是古代希腊人创造的。他们认为天空和宇宙中充满着以太。随着元素说的兴起，以太说渐为人们所淡忘。

17世纪，法国科学家笛卡尔把以太这个词引到了物理学中。他认为宇宙空间充满着以太，物体之间的相互作用就是通过以太为媒介传递的。

光的波动学说的成功使以太说更加兴盛起来。声波要靠空气才能传播，水波要靠水来传播。太阳光穿过宇宙空间照到地球上也要靠媒质来传递，这个媒质就是以太。

法拉第和麦克斯韦建立的电磁理论中又一次引入了以太，电磁波要靠以太来传递。

那么以太究竟是什么样的呢？谁也没有见过。科学家们赋予了以太种种奇特的性质：它是无色、透明、静止的，充满整个宇宙空间；由于光波是一种横波，而只有固体媒质才能传播横波，因此以太必须是固态的；行星在以太中运行，没有受到任何影响，因此，以太是没有任何质量和摩擦阻力的……

这些性质本身就是相互矛盾的，看来以太简直是太玄了。可是科学家们仍然不愿意放弃以太，不仅因为它是光和电磁波传播的媒质，而且因为它是牛顿绝对空间的化身。

牛顿认为，存在一个与外界事物无关，永远相同和不动的绝对空间。宇宙万物包括太阳系、银河系等等都相对于这个绝对空间而运动。以太是静止的，充满了整个宇宙空间，它正是牛顿绝对空间的化身。

物理学家们做了种种实验和天文观测，想要验证以太的存在，并确定它的属性，但是都没有能够得到确切的结论。

迈克尔逊实验引起的风波

1879年3月，在美国航海历书局进行合作研究的美国年轻物理学家迈克尔逊偶然看到了麦克斯韦写来的一封信。信中提到的测量地球相对以太运动的想法给了他很大启示。迈克尔逊想出一个巧妙的办法来测定地球相对于以太的运动：既然地球绕着太阳以每秒约30公里的速度运转，那么朝地球运动的方向和与它垂直方向同时各射出一束光，从离光源相同距离的反射体反射回来，前者走过的路程将比后者短一些，两束光相遇应当形成干涉条纹。迈克尔逊用他发明的干涉仪做了多次实验，始终没有看到他预期的干涉条纹。

1887年，迈克尔逊在化学家莫雷的帮助下，进一步改进了实验装置，他们把干涉仪安装在一个很重的石板上，石板悬浮在水银液面上，仪器可以十分平滑地随意转动。这个仪器是那样灵敏，甚至可以测出植物每一分钟的生长量，一根条纹百分之一的移动变化。

实验开始了，为了免除种种可能因素造成的误差，他们使光束射出的方向与地球运动的方向成各种角度，在一年中的各个季节、白天和黑夜的不同时间进行了许多观测，结果每一次都没有出现干涉条纹，也就是说，地球相对于以太的运动是零。

实验的零结果公布后，在物理学界引起了震动，它表明了根本不存在以太。那么牛顿所说的绝对空间也不复存在，经典物理学面临着严重的危机。

为了拯救岌岌可危的以太，以支撑行将倒塌的经典物理学大厦，物理学家们提出了各种各样的假说。

爱尔兰物理学家斐兹杰惹提出了收缩说，认为当物体在以太中运动时，它的长

度会在运动方向上发生收缩，这样迈克尔逊的仪器在指向地球方向时会缩短，正好抵消了互相垂直的两束光的光程差。

荷兰物理学家洛伦兹不仅提出了收缩论，还推导出了后来相对论中使用的基本公式洛伦兹变换公式。不过洛伦兹是以以太这一绝对空间的存在为前提，为了弥补旧理论和新的实验事实之间的裂纹，他不得不人为地提出了好几个假设。

法国物理学家彭加勒更激进，他大声疾呼，应该建立一门崭新的力学，在这门力学中光速将成为一个不可逾越的障碍，物理定律对于洛伦兹变换应具有不变的形式。

这一切表明产生狭义相对论的历史条件已经成熟了。洛伦兹、彭加勒已经走到了相对论的大门口，但是由于他们没有摆脱牛顿绝对时空观的束缚，因而没能叩开相对论的大门。

1905年，一个默默无闻、既无名师指点，又不在专门研究机构工作的26岁的年青人打开了相对论的大门，他就是后来被人们誉为20世纪哥白尼、牛顿的伟大科学家爱因斯坦。

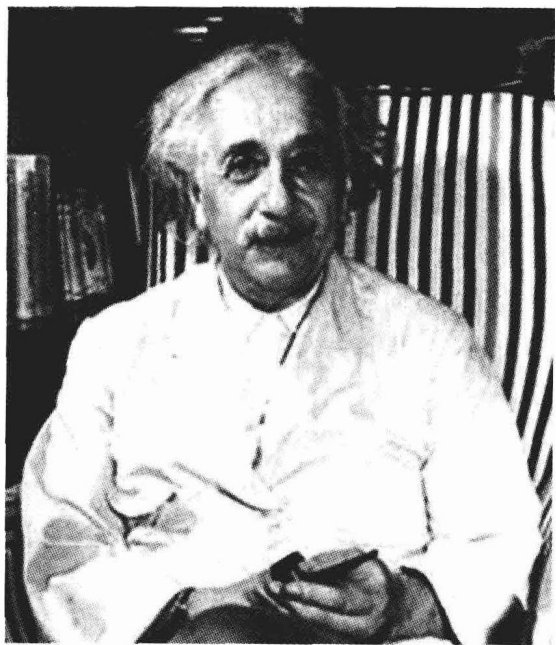
爱因斯坦为什么能战胜许多物理学界的前辈而捷足先登呢？让我们循着他的成长道路看一看吧。

另类学生

爱因斯坦于1879年3月14日出生在德国南部的一个古老小城乌尔姆。他的父母都是犹太人，父亲和叔父一起开了一家小工厂。

爱因斯坦小时候不但不是一个神童，而且还被人看作是一个笨拙的、反应迟钝的孩子。他4岁才学会说话，小学时功课也不出色。有一次他的父亲问校长，这孩子长大应该选择什么职业，校长回答：“干什么都一样，反正他决不会有什么成就。”

爱因斯坦的叔叔是一个精明的工程师，曾把毕达哥拉斯定理（勾股定理）告诉爱因斯坦。12岁的爱因斯坦虽然从没学过几何，但他苦思冥想，竟然独立地把这个两千多年前哲人提出的定理证明出来了，他第一次尝到了发现真理的快乐。



中学时代，爱因斯坦的数学和物理知识远远超过了同年级的孩子们，其他各科却成绩平平。他特别讨厌德国中学那种把人当做机器、强迫训练的教学方式，他的许多知识都是靠家庭中自学学到的。有一个叫塔尔梅的大学生，非常喜爱这个长着棕色大眼睛的小弟弟，经常和他讨论问题，并借给他许多自然科学与哲学的书籍。爱因斯坦发现，在人类之外，有一个巨大的独立的世界存在着，它像一个永恒的谜，吸引着爱因斯坦去探索。

17岁时，爱因斯坦进入了瑞士苏黎士联邦工业大学。他的兴趣由数学转向了物理学。他利用课余时间，阅读了当时的物理大师基尔霍夫、亥姆霍兹、赫兹、洛仑兹、麦克斯韦的主要著作，还学习了著名哲学家马赫、休谟、斯宾诺沙的著作，他们的怀疑批判精神深深影响了爱因斯坦的哲学思想。

爱因斯坦不是一个循规蹈矩的好学生，他常惹得老师大发雷霆。一次上实验课，大家都在按部就班地操作，突然“砰”的一声响，爱因斯坦的手被炸伤了。原来，他又是把写有规定操作步骤的纸揉成一团塞在衣袋里，按照自己的想法去做。有的课，爱因斯坦认为不重要就不去听，而是自学他自己认为重要的东西。因此，他的物理老师韦伯曾批评他：“爱因斯坦，你绝顶聪明，可惜你有一个缺点，你不让人教你！”数学老师闵克夫斯基因他常缺课，骂他是“一条懒狗”。

幸亏爱因斯坦有一个好朋友格罗斯曼，他与爱因斯坦的不修边幅相反，是一个兢兢业业的好学生，笔记记得非常详细。爱因斯坦靠借他的笔记，才应付了许多考试。

奥林匹亚研究院院长

尽管爱因斯坦才华横溢，成绩优异，但由于他是犹太人，更因为他的直率、不谄事和独立性格，讨不到老师和权威们的欢心，因此他大学毕业就失业了。

还是他的好朋友格罗斯曼帮助了他。格罗斯曼的父亲介绍他去伯尔尼专利局工作。在等待专利局位置空出来的一段时间，爱因斯坦不得不当家庭教师。

1902年，爱因斯坦登了一则广告，招收听物理学的学生。在伯尔尼大学学哲学的索洛文找到爱因斯坦。他们一见如故，谈起哲学、物理学，是那样投机，早把教课、挣钱的事一古脑儿忘了。

以后每天晚上，他们都聚在一起，读书、讨论和研究。后来另外两个年青人哈比希特和贝索也加入进来。他们轮流到各人家里聚会，有时也到一家叫奥林匹亚的小咖啡馆聚会，因此，开玩笑地把他们这个小团体叫奥林匹亚研究院，“院长”自然是学识超人的爱因斯坦。

他们的活动往往从吃晚饭开始，一边吃着简单的食品，一边就开始闲谈马赫、斯宾诺沙、黎曼、彭加勒的著作，哲学、数学、物理学、文学无所不包。有时，一

本书刚念不到一页，就展开了热烈的讨论。爱因斯坦讨论起来是那样专注，有一次朋友们为他准备了他早就想吃的鱼子酱，爱因斯坦一边吃，一边大谈牛顿的惯性定律，鱼子酱吃完了，同伴们问他刚才吃的是什么，爱因斯坦回答：“不知道呀。”当别人告诉他那是鱼子酱时，爱因斯坦好惋惜呀，连味都没有品出来。

这样的活动持续了三年半。正是这种不同思想的碰撞、共振，引发出一系列创造性思维的火花，爱因斯坦的许多科学思想，都是在奥林匹亚研究院孕育和形成的。

那时，爱因斯坦已在伯尔尼专利局担任三级技术员。对付专利局的工作，爱因斯坦的才能绰绰有余，他有许多时间可以驰骋在他所喜爱的物理学天地中。在伯尔尼的岁月，是爱因斯坦科学生涯中最富有创造性，成果也最多的几年。就在1905年3月到9月的短短半年中，爱因斯坦在量子论、分子运动论、相对论三个领域齐头并进，同时取得了重大突破。

3月，他提出了光量子论，阐明了光电效应的理论，爱因斯坦1921年就是因此而获得诺贝尔物理奖。

4月，发表《分子大小的测定方法》，5月完成了布朗运动理论的研究，从理论上解释了布朗运动，提出测定分子大小的新方法。

6月，发表《论动体的电动力学》，正是这篇不到9000字的论文，宣告了狭义相对论的诞生。

9月，提出质能转换公式，为40年后的原子能的利用开辟了道路。

他的学生兰佐斯评论说，爱因斯坦一生理应获得5个诺贝尔奖，指的就是以上4项成果再加广义相对论。在这些成就中，影响最大的还是相对论。

创立狭义相对论

爱因斯坦建立狭义相对论依据了两个基本原理，一是相对性原理，即在任何惯性参考系中，所有的自然规律都相同；二是光速不变原理。

早在17世纪，伽利略就发现了相对性原理。比如，在一个匀速行驶的火车上向上抛出一个小球，小球将垂直落地，与在地面上向空中抛出一个小球的情况一样，也就是说在没有受到外力作用的惯性系中，所有的力学定律都相同。伽利略还提出了伽利略变换，通过这一变换，不同惯性系描写力学规律的方程式都具有相同形式。

可是，电磁学的发展向相对性原理发出了挑战，描写电磁运动的麦克斯韦方程，用伽利略变换去套，不再保持不变的形式。结论只能是麦克斯韦方程只适合于静止的以太坐标系。

电磁学的实验事实与经典物理学的矛盾也深深困惑着爱因斯坦，难道真的存在

一个特殊优越的以太坐标系吗？难道相对性原理对电磁规律就不普遍适用了吗？爱因斯坦的哲学思想使他坚信，世界不是杂乱无章的，而是简单的、和谐的、有规律的，应该可以找到一些规律，对世界加以统一的描写。

爱因斯坦综观了当时有关以太和光速测定的实验，毅然否定了以太这个特殊优越坐标系的存在，确认相对性原理不仅对力学规律，而且对任何自然规律，包括电磁规律也是适用的，这就是狭义相对论的第一个原理。

但是，要确定电磁规律满足相对性原理，就必须引出光速不变的原理，即光在真空中传播的速度与光源的速度无关，与观察者的速度也无关。这显然和经典力学相矛盾。在经典力学中，一个人站在以速度 V_0 行驶的火车上，向着列车行进的方向开枪，子弹速度为 V ，那么地面上观察者看到的速度应是 $V_0 + V$ 。何以解释光速与光源速度无关呢？这成了横在爱因斯坦前的一大难关，使他大伤脑筋。

1905 年暮春的一个夜晚，爱因斯坦正躺在床上，突然一个思想闪过他的脑海：“对于一个观测者来说是同时发生的事件，对另一个观测者不见得是同时。”他一骨碌从床上爬起来，抓住这个灵感不放，终于找到解决问题的钥匙，那就是时间的相对性。

爱因斯坦设想了这样一个实验，有一列匀速行驶的火车开进车站，当车头 A' 和车尾 B' 分别通过 A 柱和 B 柱时，有两道闪电击中了 A 柱和车头 A' ，B 柱和车尾 B' 。那么怎么知道这两个闪电是不是同时发生的呢？如果站在 AB（或 $A'B'$ ）的中点，同时看到从 A 和 B（或 A' 和 B' ）传来的光信号，那么这两道闪电就是同时发生的。对于站在站台 AB 中间的铁路工人来说，他看到两个光信号同时到达中点，因此，他说这两道闪电是同时发生的。可是对坐在火车中点的乘客来说，由于火车是从 B 开向 A 的，那么他将先看到 A' 闪电的光，后看到 B' 闪电的光，假如火车是以光速前进的话，那么他将永远也看不到 B' 闪电，因为 B' 闪电发出的光永远也追不上乘客。对乘客来说，这两个闪电不是同时发生的。我们把这个火车叫爱因斯坦火车。

可见，同时性的概念是相对性的，每一个惯性系有它自己的同时时间。这是对牛顿绝对时间观念的大胆挑战。牛顿认为，世界上有一个绝对时间，它均匀的流逝着，与任何事物无关。全宇宙只有一个标准“时钟”，两个事件的发生时间与这个标准时钟比是同时的，这两个事件就是同时发生的。

爱因斯坦正是从大家认为没有问题的“同时性”中看出了问题，以此为突破口，引入了全新的空间和时间观念，通过数学推导，推出洛伦兹变换，经这个变换，无论是力学方程还是麦克斯韦方程在不同惯性系中都可以保持形式不变了。狭义相对论建立了。

几个重要的结论

根据狭义相对论，爱因斯坦还得出了一系列重要的结论：

1. 一把高速运动的尺子与静止状态相比，在运动方向上缩短了。比如一列长 100 米的火车，以 $\frac{1}{2}$ 光速前进，地面上的人就会发现它的长度只有 85 米。
2. 快速运动的钟，会走得慢了。比如一个乘高速宇宙飞船到太空旅行一年的人，回到地面时会比他的孪生兄弟年轻得多。

钟慢尺缩效应被称为相对论的两个著名佯谬。的确，用常人眼光来看这两个结论简直不可思议，荒诞无稽。关键是因为我们生活在低速世界中，而爱因斯坦讲的是高速世界的情况。

事实已为这两个结论做出了验证。1977 年，欧洲原子核研究中心的一个小组发现，近光速飞行的 μ 介子寿命比静止的 μ 介子寿命长。还有两个美国人，把原子钟放到喷气飞机上，绕地球飞行一周后回到地面，与地面静止的原子钟相比，时钟变慢效应与相对论预言在 10% 精度内相符。

狭义相对论还有两个重要结论：物体的质量会随着速度增加而变大。这已由加速器中高速运动的粒子所证实，并用在了加速器的设计中。

另一个是质量和能量能够互相转换，物体的能量等于其质量乘以光速的平方，即著名的质能转换公式 $E=mc^2$ 。它也已为实验所验证，正是这个关系式为人类打开原子能利用的大门提供了依据。

相对论发表后，许多物理学家，包括一些著名的物理学家对爱因斯坦的崭新时空观无法接受。洛伦兹这位曾在狭义相对论酝酿阶段起过重要作用的科学家，直到晚年还表示对没有以太无法理解。而迈克尔逊则说，没想到他的实验会引出相对论这个怪物。

但是，也有一批物理学家意识到了相对论的重大革命性意义。量子论的创始人之一普朗克赞誉爱因斯坦是 20 世纪的哥白尼，他指出，这篇论文发表后将要发生的战斗，只有为哥白尼学说进行过的战斗才能和之相比拟。

曾在联邦工业大学任过爱因斯坦数学老师、骂过爱因斯坦懒狗的闵可夫斯基深深为这一学说所打动，他不仅热情宣传相对论，而且对此进行了深入研究，引进了第四坐标即时间，赋予了相对论更完美的数学形式。

创立广义相对论

爱因斯坦建立狭义相对论，废除了以太这一特殊优越的参照系，可是却保留了一类特殊优越的参照系，这就是惯性系，只有在惯性系中，所有的物理定律才能成

立。这太不符合爱因斯坦的哲学思想了。他坚信，相对性原理不仅对惯性系成立，对作加速运动的非惯性系也应当成立。他朝着这一目标开始了新的攀登。

那么，怎样才能把相对性原理从惯性系推广到非惯性系呢？爱因斯坦又是从大家习以为常的事实中受到了启示，那就是惯性质量和引力质量相等。

惯性定律告诉我们，任何物体在不受外力的情况下，都将始终保持静止或匀速直线运动。例如汽车加速时，坐在车中的人后背会紧贴在椅子靠背上，汽车一拐弯，人的身体又会向相反方向倾斜，量度物体惯性大小的量就是惯性质量。

人在地球上，还有一种与人体质量相等的力，把我们拉向地球中心，与此相关的就是引力质量。

几百年来，人们理所当然地认为惯性质量等于引力质量，并且不加区别地把它统统称为质量。可是爱因斯坦偏偏要刨根问底，为什么惯性质量和引力质量恰恰相等呢？这是否意味着惯性与引力之间有着某种内在联系呢？

这次爱因斯坦又设计了一个实验，人们管它叫爱因斯坦升降机实验。他假设一个人，站在密闭的电梯中，当电梯静止或作匀速运动时，这就是一个惯性系，由于人受到地球引力的作用，这个人双脚和地板的压力正好等于他的体重。假设这个电梯脱离了地球的引力场，比如把它搬到太空中，让这个电梯以与重力加速度数值相等的加速度向上运动，此时电梯是一个加速系，人的双脚与地板之间的压力仍等于它的体重。在电梯中的人，无法判断他到底是在地球上作匀速运动还是在太空中作加速运动，也就是说，这两种状态是等价的。而当电梯的绳索断了时，电梯将在重力场中自由下落，此时电梯中的人将感不到引力的存在，处于失重状态，也就是说，可以通过选择某种坐标系，在一定范围内使引力完全消除了。

这是爱因斯坦一生中最高兴的时刻，他终于找到了解决问题的关键，那就是等价原理。在一个小的时空范围内，一个加速系可以等价于引力场中的惯性系，这样就有可能把相对性原理从惯性系推广到非惯性系了。

不过，从等价原理到建立广义相对论，还有漫长的路要走。爱因斯坦发现他的数学工具不够用了，在他的老同学、数学家格罗斯曼的帮助下，他找到了合适的数学工具——黎曼几何。1915年，爱因斯坦提出了广义相对论引力方程的完整形式，1916年3月完成了总结性论文《广义相对论基础》。历经10年的艰苦探索，相对论大厦的第二层楼房——广义相对论建成了。

爱因斯坦把建立广义相对论看作他毕生最重要的成就。他曾说过，建立狭义相对论的历史条件成熟了，即使不是他，别人也会建立狭义相对论。而建立广义相对论的情况却不是这样。的确，广义相对论的建立与爱因斯坦本人是一位天才科学家有很大关系。如果没有他的革命批判精神、敏锐的物理直觉和高超的数学技巧，是

不可能建立广义相对论的。因此，有的科学家评论，没有爱因斯坦，我们也许还要在黑暗中摸索。

广义相对论给人们带来了物质运动、时空、引力的全新概念。

在牛顿力学中，物体之间存在着万有引力，而且这种力是瞬时、超距作用的，两个星体无论相隔多远，它们相互之间的引力传递不需要任何时间。而狭义相对论指出，任何物体的运动速度都不可能超过光速，那么如何解释引力呢？

爱因斯坦的广义相对论给了引力之谜一个全新的解答。在这里牛顿假设的万有引力不再存在了，广义相对论认为物质和它的运动决定了时空的几何形式。物质分布得越密，时空弯曲得就越厉害，物质周围的引力场就越强。地球和其他行星之所以绕着太阳旋转，是由于太阳的巨大质量使太阳周围的空间发生了弯曲。

与传统的时间和空间观念完全不同，空间和时间是运动着的物质的存在形式。有一位记者曾问爱因斯坦什么是相对论，爱因斯坦半开玩笑地说：“如果把所有的东西都从世界中运走，人们过去认为残留下来的就是时间和空间，那么，现在人们知道了，单独的空间和时间根本不存在。”这表明了物质、运动、空间和时间的不可分割的关系。

三大验证

爱因斯坦在世时，曾有人说，世界上懂相对论的人不到几个人。的确，人们从日常经验出发，很难理解相对论。但是，这一学说很快便为实践所证实。

1915年，爱因斯坦应用广义相对论，成功地解决了历史上的一个悬案——水星近日点近动。

早在1845年，法国天文学家勒维烈发现，水星的近日点在不断前移。根据牛顿万有引力定律，在排除了金星和其他种种因素之后，每100年仍有43秒差异无法解释。于是勒维烈预言，还存在一颗尚未发现的星，正是这颗星的万有引力造成了这43秒差异。他给这颗星起名为火神星。勒维烈曾利用万有引力定律成功地发现过海王星。

可是，天文学家们花了几十年时间都没有找到这颗神秘的火神星。爱因斯坦用广义相对论最终揭开了火神星之谜。原来，由于太阳的巨大质量，使周围时空发生了弯曲，水星是离太阳最近的一个星，受这种影响最大，根据广义相对论计算，恰好每个世纪应该有43秒的近动，根本不存在什么火神星。其他行星离太阳较远，那里的时空性质相对改变较小，因此仍可以用万有引力定律较好描述。

火神星的错误预言暴露了牛顿万有引力的缺陷，证明了广义相对论是正确的。

广义相对论的第二个验证是光线在引力场中的偏移。1916年，英国天文学家爱丁顿得到了一本《广义相对论基础》，他一眼就看出了这篇论文的伟大意义。在其

中，爱因斯坦预言光线在经过太阳边缘时会发生 1.7 秒的偏转。为了验证这一理论，爱丁顿苦苦等了 4 年，终于等到了 1919 年 5 月 29 日的日全食机会，这就是本文开场那一幕。

广义相对论的第三个验证是引力频移。爱因斯坦预言，在引力场中，光的谱线将向红端移动。因为引力场越强，时空弯曲越厉害，时间就会变慢，光的频率也会变慢，而红光是可见光中频率最低的，所以，光的谱线要向红端移动。1925 年，美国天文学家亚当斯对天狼伴星光谱线的观测证实了引力频移。

60 年代以来，脉冲星的发现、黑洞的探索、河外星系的红移、大爆炸宇宙理论的提出，都表明了广义相对论是指导人们认识世界的有力武器。

但是，爱因斯坦当年预言的引力波，至今还没有找到，相对论是否真正是引力之谜的谜底还有待科学的验证。可以肯定的是，广义相对论把人们对引力的认识大大提高了一步。

爱因斯坦的预言

当科学界还在努力理解狭义相对论和广义相对论时，爱因斯坦已经对这两种理论感到不满意了。虽然狭义相对论把经典力学与电磁理论从基础上统一起来了，广义相对论又进一步把相对性原理从惯性系扩大到非惯性系，但是引力和电磁两大相互作用却没有统一起来，而爱因斯坦追求的目标是世界的统一性。

爱因斯坦又向新的更高目标攀登了。在完成广义相对论之后，他立即着手建立统一场论，试图把引力场与电磁场统一起来。他把建立统一场论看作是发展相对论的第三阶段。

爱因斯坦从 1923 年开始到 1955 年去世，把后半生的主要精力都投入到建立统一场论的工作中，但是最终没有成功。

不是统一场论的大方向错了，也不是爱因斯坦的个人智慧不够，而是客观历史条件还不具备，还缺乏经验和事实作为向导。

狭义相对论的建立依据了两个基本事实，即相对性原理和光速不变原理，广义相对论有惯性质量和引力质量相等的基本事实为依据。统一场论却没有事实作根据，爱因斯坦只能作一些数学上的简单努力，因而失败了。

当爱因斯坦独自一人、埋头于统一场论研究的时候，从他身边奔驰而过的是量子物理学、原子物理学、固体物理学的时代洪流。许多科学家对爱因斯坦脱离了物理学的发展主流深感惋惜，但爱因斯坦却始终坚持对统一场论的研究是有意义的。他在晚年时对他的老朋友索洛文说：“我完成不了这项工作了，它将被遗忘，但是将来会被重新发现。”

历史正像爱因斯坦所预言的那样。

人们后来发现，宇宙中不只有电磁相互作用和引力场相互作用，还有强相互作用和弱相互作用。1961年到1968年，物理学家格拉肖、温伯格和萨拉姆提出了弱相互作用和电磁相互作用的统一模型，并得到了实验的验证，他们因此获得了1979年诺贝尔物理学奖。

四种相互作用的大统一研究，今天重新成为理论物理研究的前沿课题之一，人们正在朝着大统一的目标不懈地努力。

镭的发现

居里夫人对贝克勒尔的发现很重视，当时人们对新的射线知之甚少。为了揭开这一秘密，居里夫人积极探索，进行着卓有成效的工作。在实验设备非常简陋的条件下，她着手进行铀射线性质的研究工作。

居里夫人借助于一个简易的游离室、一个测电器和一个压电石英静电计，运用电学测量手段，测定铀的辐射强度。经过几个星期的紧张工作，取得了初步成果。她在实验中发现，铀的辐射强度与所用铀的数量成正比，与铀所处的状态没有关系，不因铀与其他元素相结合而受到影响；另外，这种辐射也不受光照和温度变化的影响，与周围环境无关。

除了铀盐以外，居里夫人在研究中还发现，钍的化合物也能够自发地向外放射出像铀盐辐射的射线。在当时人们已知的元素中，钍元素是仅次于铀的最重的元素之一。除铀和钍元素以外，在已经生产或在实验中使用的诸多元素当中，还尚未发现任何其他天然元素能够放射出这种射线来。

有一天，居里夫人在检查沥青铀矿的样品时，她测量到有些混合物的放射性强度比铀和钍强很多倍，这使她感到很奇怪。这种强有力的放射性来自何处呢？经过深入思考，她认为只有一种可能的解释：在这些矿物的样品中，一定还含有某种数量很少



的、然而其放射性非常强的物质。由此，居里夫人预感到，在这些混合物里，存在着尚未被人们认识到的新的放射性元素。居里夫人的这一想法；对居里也是一个鼓舞，进而居里决定放下手边的工作，与夫人一起从事新元素的探索工作。他们试图从放射性最强的沥青铀矿中提取这种物质。

然而，要从沥青铀矿中把这种元素分离出来，可不是一件容易的事情。他们做过预测，在以往最严密的化学分析中，总是从化学家眼皮底下溜过去的这种元素，其含量最多也只是占沥青铀矿的百分之一。对于居里夫妇来说，他们做的预测实在是太乐观了。他们哪里会想到，他们需要寻找的这种新元素占沥青铀矿竟然还不到百万分之一，这项工作简直犹如大海捞针。

为了分离出这微量的元素，需要大量的沥青铀矿石。为了解决原料问题，他们想方设法争取支持。铀盐是制造玻璃的原料，而沥青铀矿是从奥地利的约希姆斯塔尔开采出来的，但价格昂贵。不过提取了铀之后的矿渣是很便宜的。居里夫妇从矿山得到废渣的样品之后，经测定果然如他们所猜测，其放射性如同原铀矿石一模一样。这样他们去询问奥地利的有关方面，能不能以较低的价格购进。矿山董事会的回答是令人鼓舞的，他们决定免费送给居里夫妇矿石的废渣，但要他们自己付运费。

下面的问题就是要找一个简易的实验室，可到哪里去找呢？他们想来想去，只有把一个破木棚做临时实验室。这个木棚很简陋，玻璃棚顶连雨都挡不住，地面铺着沥青，家具只有两张厨房用的旧桌子，还有一块黑板，一个生了锈的旧炉子。冬天，这间木棚简直就是一个大冰箱；可到了夏天，玻璃顶棚使这间木棚又变成了一个闷热的大暖房。这对年轻的夫妇就是在这样艰苦的条件下，开始了他们的伟大事业。

最初，他们对废矿渣的成分进行了仔细的分析。他们以其惊人的毅力，按照化学分析的程序，把组成沥青的各种元素分开，然后对各种元素的放射性进行精确的测定。在这些过程中，他们观察到了那种放射性很强的物质，它隐藏在矿石的某几个部分中，而且不只一种，是两种不同的元素。居里夫人把第一种确认的元素命名为钋，用以纪念她的祖国——波兰。把后来确定的另一种放射性更强的新元素取名为镭（Ra），这是用拉丁文中“放射”（Radiation）一词命名的。

当时人们认为，原子是不可分的，是构成万物的最基本单位。钋和镭的发现，动摇了长期以来学者们所信守的基本理论和已经建立起来的概念。但是，许多物理学家和化学家对这一重要的发现却保持着非常谨慎的态度。居里夫妇为了让人们亲眼目睹钋和镭的真相，他们决心要把这两种新元素从废矿渣中分离出来。为此，他们又开始了新的征程。他们知道路走对了，至于还有多少路程要走，他们还