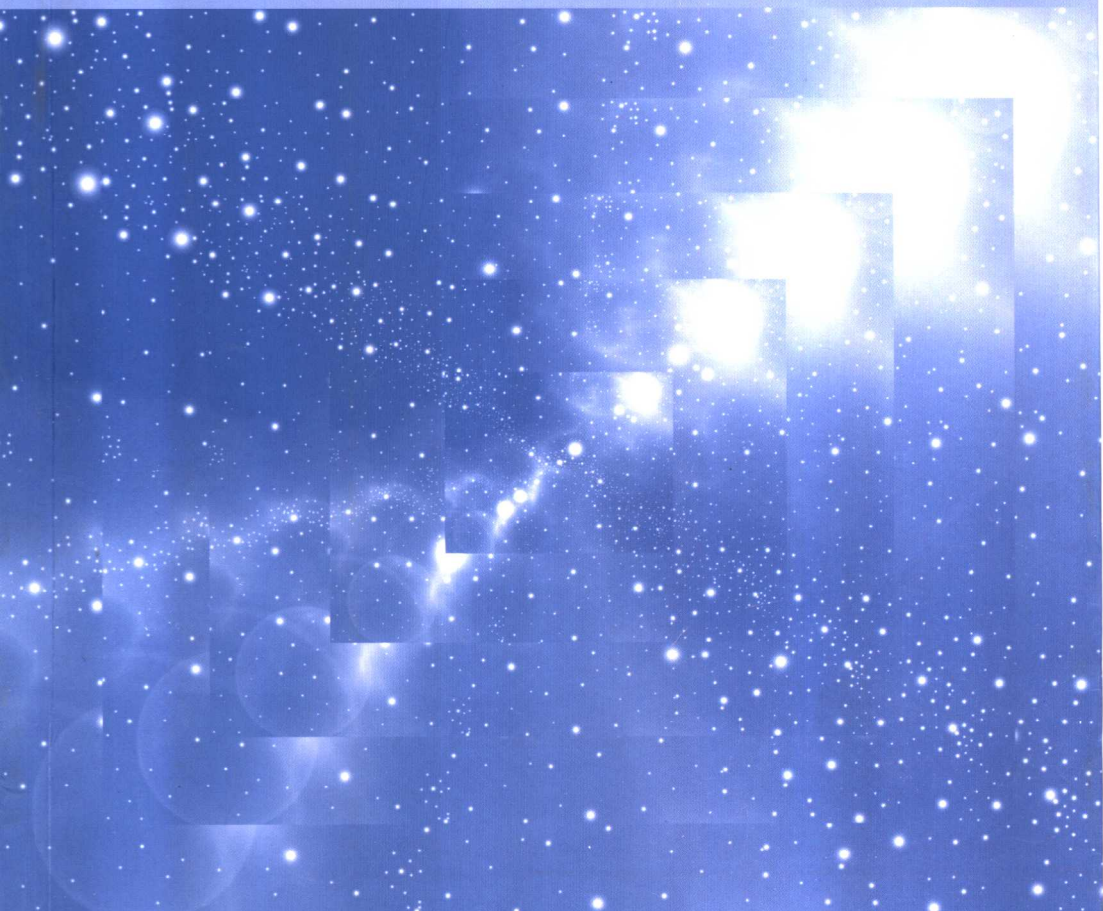




A Nature Publishing Group Supplement  
vol. 433, no. 7023, 20 January 2005

# 爱因斯坦与物理百年

**year of physics** a celebration in Chinese



A. Wright, K. Ziemelis, L. Sage & K. Southwell 编 刘 川 等 译

# nature



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS



A Nature Publishing Group Supplement  
vol. 433, no. 7023, 20 January 2005

# 爱因斯坦与物理百年

**year of physics** a celebration in Chinese



A. Wright, K. Ziemelis, L. Sage & K. Southwell 编 刘 川 等 译

**nature**



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

著作权合同登记 图字: 01-2005-6290

图书在版编目(CIP)数据

爱因斯坦与物理百年/A. Wright 等编;刘川等译. —北京:北京大学出版社, 2005. 11

ISBN 7-301-09843-X

I. 爱… II. ①A… ②刘… III. 物理学-论文集 IV. 04-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 120832 号

书 名: 爱因斯坦与物理百年

著作责任者: A. Wright K. Ziemelis  
L. Sage K. Southwell 编  
刘 川 等译

责任编辑: 孙 琰

标准书号: ISBN 7-301-09843-X/O · 0669

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62752021

电子信箱: [zpup@pup.pku.edu.cn](mailto:zpup@pup.pku.edu.cn)

印刷者: 北京大学印刷厂

经 销 者: 新华书店

890×1240 A5 10.625 印张 266 千字 插页 4 页

2005 年 11 月第 1 版 2005 年 11 月第 1 次印刷

定 价: 24.00 元

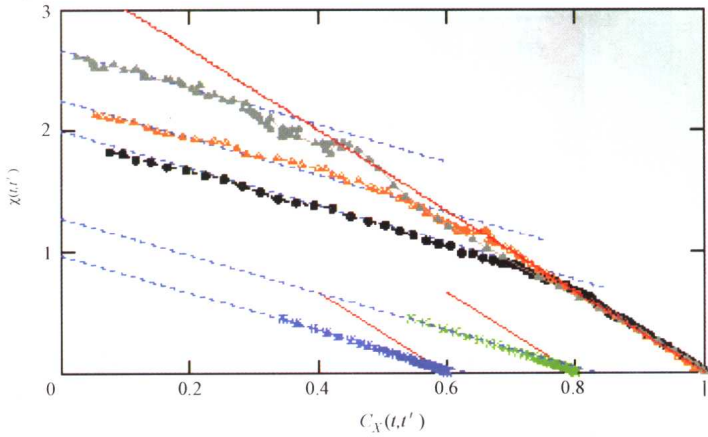


图1 受剪切的超冷液体的涨落-耗散曲线,摘自文献[5].结果来自对两种粒子混合物的模拟(见正文); $\chi(t, t')$ 是综合响应, $C_X(t, t')$ 是关联函数.黑色(实心圆)、橙色(空三角)和灰色(实三角)是结构因子傅里叶分量的关联函数,分别对应于波矢 $k=7.47$ ,  $k=11.22$ 和 $k=14.48$ .绿色和蓝色的十字形是负漂移对每种粒子自扩散的曲线(为便于比较,原点被移动了).实线对应于平衡值 $-1/T$ ,而虚线以相同的斜率( $\equiv -1/T_{eff}$ )相互平行.双温度模型看起来与数据符合得很好.(由于距离太小,在这张图中不直观,自扩散中不能看到快时间尺度.)

Figure 1 Fluctuation-dissipation plot for a sheared supercooled liquid, taken from ref. 5. The results are from a simulation of a mixture of two types of particle (see text);  $\chi(t, t')$  is the integrated response, and  $C_X(t, t')$  is the correlation function. Shown in black (filled circles), orange (open triangles) and grey (filled triangles) are the correlation of Fourier components of the structure factor for wave vector  $k=7.47$ ,  $k=11.22$  and  $k=14.48$ , respectively. The crosses in green and blue are plots of the negative of the mobility versus the self-diffusion for each type of particle (the origin is shifted for ease of comparison). The solid lines correspond to the equilibrium value  $-1/T$ , while the dashed lines are all parallel with the same gradient  $\equiv -1/T_{eff}$ . The two-temperature model seems to fit the data well. (The fast timescale is not visible in the self-diffusion, as it implies distances too small to be visible on this plot.)



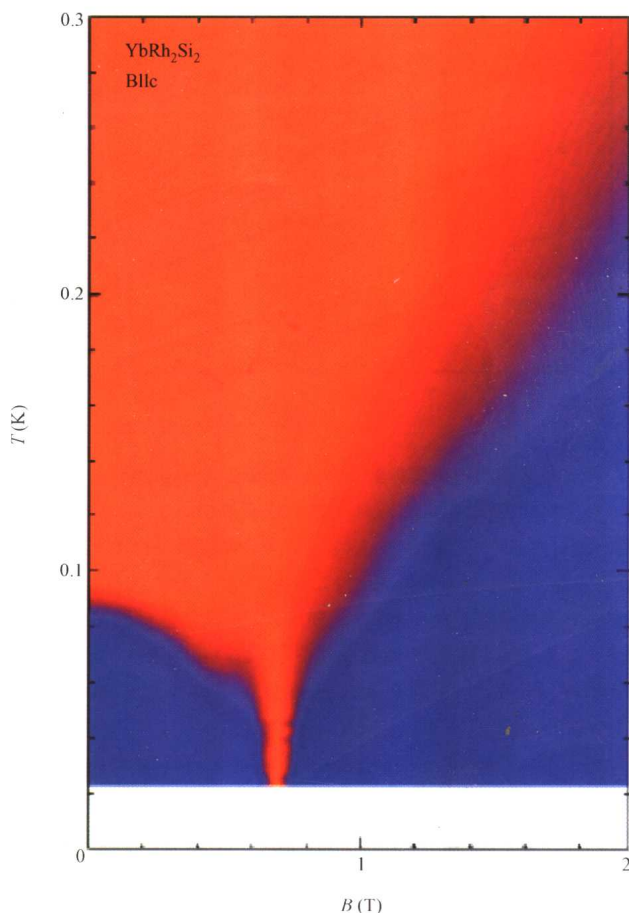
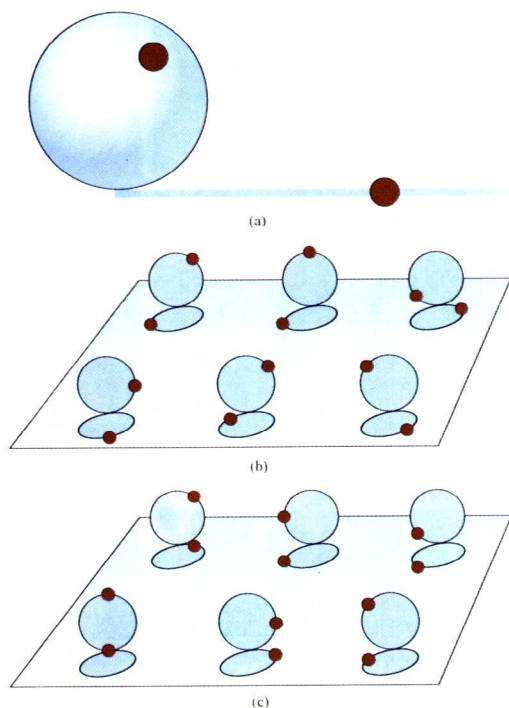


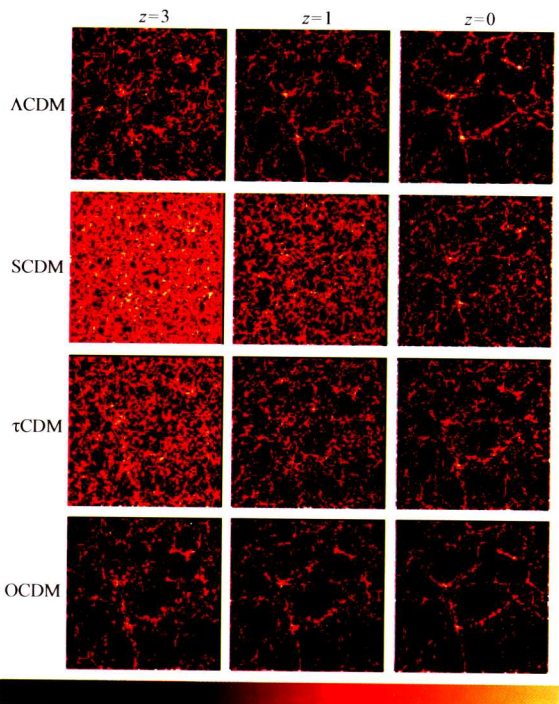
图 II 通过实验数据说明的“相图的奇异点”是从材料  $\text{Yb}_2\text{RhSi}_2$  得到的,这里量子相变点是通过调节磁场大小来得到的<sup>[25]</sup>. 蓝色区域表示正常金属的行为,橙色区域表示具有线性比热的反常金属的性质. 绝对零度的量子临界奇异点的存在和有限温度的金属反常特性有关.

Figure II ‘Singularity in the phase diagram’ illustrated by data taken from the material  $\text{YbRh}_2\text{Si}_2$  where an applied magnetic field tunes the material to a quantum critical point<sup>25</sup>. Blue regions indicate normal metallic behaviour. Orange regions indicate anomalous metallic behaviour with linear resistivity. The singular quantum critical point at absolute zero produces a wide region of unusual metallic behaviour at finite temperatures.



图Ⅲ 规范对称性和希格斯凝聚。(a) 最小希格斯二重态取值于内空间, 它是一个三维球和一条射线(用栗色点表示)的乘积。(b) 为了抓住要点, 可以把几何图形简化为两个圆周, 规范变换可以在垂直的(A)或者平行的(B)圆周内独立地旋转方向。(c) 这种情况与图 1(c)类似: 它代表形成这种更复杂、更普遍的超导性的凝聚的本性。凝聚允许整体方向(A+B)上的自由振动, 但是固定每一对圆周内的相对方向。

Figure III Gauge symmetry and the Higgs condensate. a, The minimal Higgs doublet takes values in an internal space that is the product of a three-dimensional sphere and a ray (indicated by the maroon points). b, To bring out the essential point, it is useful to simplify this geometry to two circles. Gauge transformations can rotate orientations within the vertical (A) or the horizontal (B) circles independently. c, This situation is analogous to Fig. 1c: it represents the nature of the condensation responsible for this more intricate, universal superconductivity. This condensation allows the free variation of an overall orientation (A+B), but locks the relative orientation within each pair of circles.



图Ⅳ 由处女座小组 (Virgo consortium) 模拟的大尺度结构形成<sup>[63]</sup>. 图中显示了四种 CDM 的红移演化: 调和的  $\Lambda$ CDM 模型在顶部, 紧随其后的是 20 世纪 80 年代成熟的标准 CDM (SCDM;  $\Omega_m = 1$ );  $\tau$ CDM 和 OCDM 模型分别是高密度的但经过修正的初始功率谱的一种理论以及低密度的但没有宇宙常数的基本理论变形. 在这些模型中, 唯一符合现有星系成团测量和其他宇宙学限制的是  $\Lambda$ CDM 模型. 图中的色标代表暗物质的密度, 暗的区域是低密度区域.

Figure IV Simulations of large-scale structure formation made by the Virgo consortium<sup>63</sup>. The figure shows the redshift evolution of four variants on the theme of CDM; the concordance  $\Lambda$ CDM model is at the top, followed by the 1980s vintage standard CDM (SCDM;  $\Omega_m = 1$ ); the  $\tau$ CDM and OCDM models are variants of the basic theory with, respectively, a high density but modified initial power spectrum, and a low density without a cosmological constant. The only one of these models that fits available galaxy clustering measurements and the other cosmological constraints is  $\Lambda$ CDM. The colour scale indicates the density of dark matter, with dark regions representing low density.

## 中文版前言

陈佳洱<sup>①</sup>

由欧洲物理学会首先提出,2004年6月10日联合国第58次会议通过决议,确定2005年是“世界物理年”(World Year of Physics)。为了庆祝“世界物理年”暨纪念爱因斯坦发表五篇具有划时代意义的论文100周年,英国《自然》(nature)出版集团出版了专集 year of physics a celebration。其中,来自多个国家的著名物理学家以评论、随笔、论文、综述等形式回顾了自1905年以来物理学改变社会的重要贡献,并展现了物理学对未来科学发展的光明前景。现在呈现给读者的是它的中文版,为方便阅读,也收录了英文原文。

作为现代科学的基石,物理学在科学文化和创立现代世界的技术文化的过程中扮演了重要角色,从而成为文化不可分割的一部分。

在中国,早在2300年之前,有关物理的名词就出现了。与今日其含义相比较,那时的含义要宽泛得多,泛指人类对自然界及人类自身的理性认识。中国古代思想家认为自然界的规律和人文社会的规律是统一的,人文社会的法则也应该归结为天地、自然的法则;后来有人把这个观点概括为“天人合一”。从这一点来看,当时

---

<sup>①</sup> 陈佳洱,中国科学院院士、北京大学物理学院教授、核物理学家、北京市科学技术学会主席,曾任北京大学校长、国家自然科学基金委员会主任、中国物理学会理事长、亚太物理学会联合会主席。



的物理学与哲学是混为一体的。

中国古代学者很重视对自然现象的观察和理解。在儒家经典著作之一的《大学》中,曾把对人的教育过程描写为“物格而后知至,知至而后意诚,意诚而后心正,心正而后身修,身修而后家齐,家齐而后国治,国治而后天下平。”意思是说,人首先要尽力探求世界万物的道理,深入理解所得到的各种知识;有了对世界的深刻理解,才会有坚定的信念,修养好个人的品德;每个人有了崇高的品德,就能处理好家族关系;进而治理好国家,达到天下太平。

中国古代学者对物理现象和规律的探究,不仅深刻地影响着人们的价值观,还导致了一系列的技术发明,极大地促进了我国社会经济和文化的发展。例如天文方面,我国很早就建立了先进的天象综合观测技术,获得了一批珍贵的记录,包括最早的超新星爆炸的天象记录。通过长期观测,中国创造了与农业经济相结合的农历并沿用至今。又如声学方面,在乐器制作、声音传播规律的掌握以及具备完美听觉的音乐殿堂的建造上都取得了突出的成就。中国历史上各种各样的发明创造,包括火药、纸张、指南针、印刷术以及冶金术、航海术等,在相当长的一个时期里,特别是 15 世纪之前,为人类文明的发展作出了巨大的贡献,对物理现象的研究和相关成果起到了十分重要的作用。

物理学在欧洲文艺复兴之后得到了迅速发展。从伽利略到牛顿,从麦克斯韦到爱因斯坦,在这些物理学大师的努力下,物理学领域中的伟大变革接踵而至:万有引力、电磁理论、相对论、量子力学……这一切不仅使人类对自然界的认识空前深入,而且彻底改变了人们对宇宙、时间和物质的认识。

20 世纪以来,以相对论和量子论为代表的现代物理学的革命性发展形成了人类新的时空观、运动观和物质观,不仅使人类的科学文化与人文文化发展到一个新的高度,还引发了技术文明的巨大飞跃。现代高科技,如微电子技术、半导体技术、激光技术等,都

紧密地根植于现代物理学发展的沃土之中。航空航天、生物工程、地质勘探、天文气象、医疗卫生等领域中的各种尖端应用设备也都是基于物理学的发展。纵观整个 20 世纪,物理学已成为整个科技的先行者、现代技术的基础和理性文明的基本组成部分。可以说,如果没有物理学和科学技术,现代世界将失去它的色彩和未来。

新世纪中,物理学将以新的思维方法和新的仪器设备更加深入数学、化学、生命科学、材料科学、信息科学以及社会科学,特别会在纳米技术和量子信息技术中大放异彩。我相信,物理学会继续对科技、军事和社会发展作出重大贡献。

我希望,纪念“世界物理年”的一系列活动能重新唤起公众对物理的关注,让公众理解物理,支持物理,特别是吸引更多年轻人投身物理学研究。这也正是纪念“世界物理年”的重要目的之一。

陈佳洱  
于北京大学  
2005 年秋

## 目 录

|                                     |                                                                                    |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 编者前言 .....                          | A. Wright 等, 刘川译, 朱宇华校(1)                                                          |
| 1905 年及其他 .....                     | John Stachel, 刘川译, 朱宇华校(3)                                                         |
| 作为图标的爱因斯坦 ...                       | John D. Barrow, 刘川译, 朱宇华校(12)                                                      |
| 布朗运动 .....                          | Giorgio Parisi, 马中水译, 刘川校(17)                                                      |
| 平衡态和偏离平衡态 .....                     | J. Kurchan, 马中水译, 刘川校(21)                                                          |
| 量子临界现象 .....                        | Piers Coleman 和 Andrew J. Schofield,<br>李定平译, 刘川校(32)                              |
| 百岁快乐, 光子 .....                      | Anton Zellinger Gregor Weihs,<br>Thomas Jennewin 和 Markus Aselmeyer, 刘玉鑫译, 刘川校(44) |
| 寻找失去的对称性 .....                      | Frank Wilczek, 朱宇华译, 刘川校(71)                                                       |
| 宇宙的状况 .....                         | Peter Coles, 马伯强、朱宇华译,<br>刘川、徐仁新校(100)                                             |
| 一个万有理论? .....                       | 郑汉青译, 刘川校(131)                                                                     |
| year of physics a celebration ..... | A. Wright <i>et al</i> (142)                                                       |
| 1905 and all that .....             | John Stachel(144)                                                                  |
| Einstein as icon .....              | John D. Barrow(156)                                                                |
| Brownian motion .....               | Giorgio Parisi(162)                                                                |
| In and out of equilibrium .....     | J. Kurchan(167)                                                                    |
| Quantum criticality .....           | Piers Coleman<br>& Andrew J. Schofield(183)                                        |
| Happy centenary, photon .....       | Anton Zeilinger,<br>Gregor Weihs, Thomas Jennewein & Markus Aspelmeyer(200)        |

|                                  |                    |
|----------------------------------|--------------------|
| In search of symmetry lost ..... | Frank Wilczek(235) |
| The state of the Universe .....  | Peter Coles(276)   |
| A theory of everything? .....    | (317)              |
| 后记.....                          | 朱星(331)            |

## 编者前言<sup>①</sup>

刘川<sup>②</sup> 译 朱守华<sup>③</sup> 校

1905 年,爱因斯坦(Albert Einstein)向《物理年鉴》(Annalen der Physik)投了五篇论文,它们包含三个方面的内容:光电效应、布朗运动和狭义相对论.虽然这些论文涉及的物理内容十分宽泛,但它们都成为相应领域中里程碑式的论文,同时也是爱因斯坦的天赋留下的遗产.为了纪念这些论文发表 100 周年,2005 年被指定为“世界物理年”.《自然》为庆祝这一盛事,特出版本期增刊.

在本刊中,我们提供了一系列总结、回顾性的文章,这些文章都受到爱因斯坦 1905 年工作主题的启发:热力学、量子物理,当然,还有相对论.

向前看,这里讨论的主题有:涨落-耗散定理、量子临界现象、量子光学、对称性破缺与希格斯(Higgs)粒子、宇宙学前沿.同时,我们也向后看,回顾 1905 年——所谓“爱因斯坦奇迹年”(Einstein's annus mirabilis)中的重要事件,在更广的内涵中考察爱因斯坦贡献的独特性及其对后来的影响.最后,包括 Steve Weinberg 和彭罗斯(Roger Penrose)在内的众多物理学家给出了

---

① 重印自 2005 年 1 月 20 日出版的《自然》第 433 卷第 7023 期.

② 北京大学物理学院理论物理研究所教授.

③ 北京大学物理学院理论物理研究所教授.



他们对于“万有理论”(theory of everything)的看法;爱因斯坦曾经追寻这种理论,但没有成功。

此外,《自然》对世界物理年的另外一个贡献也值得一提:2005年10月,《自然》出版集团推出《自然·物理》(Nature Physics)这一新的物理月刊。《自然·物理》将和《自然》共同出版研究、评论和分析的论文,这些文章涵盖整个物理学领域,包括纯物理学和应用物理学。

我们希望您能够享受“世界物理年”!

Alison Wright<sup>①</sup>

Karl Ziemedis<sup>②</sup>

Leslie Sage<sup>③</sup>

Karen Southwell<sup>④</sup>

---

① 《自然·物理》编辑。

② 《自然》物理科学编辑。

③ 《自然》高级编辑。

④ 《自然》高级编辑。

## 1905 年及其他

John Stachel<sup>①</sup>

刘川 译 朱守华 校

**爱因斯坦如何在其“奇迹年”确立自己的位置并改变物理学全貌.**

1904 年底,如果读者恰巧翻开《物理年鉴》(当时德国的顶级物理学杂志),寻找一个在瑞士专利局工作的叫爱因斯坦的年轻职员的文章,只能找到五篇,其中第一篇发表于 1901 年,那时作者只有 22 岁. 这些论文就是爱因斯坦当时的全部作品,其中没有一篇是足够有分量的. 任何人也想不到,爱因斯坦 1905 年在《物理年鉴》上随后发表的五篇论文<sup>[1~5]</sup>会构成他本人的“奇迹年”.

对于与爱因斯坦个人关系密切的人,例如他的同学和妻子 Mileva Marić,或者他在专利局的朋友兼同事 Michele Besso,他们的心里是有一定准备的. 他们知道,早在瑞士联邦理工(Swiss Federal Polytechnic)上学期间(1896—1900),爱因斯坦就在关心理论物理的基础问题. 他一直在探索他的前辈所构建起来的物理学大厦,考察它坚实的一面,也考察它脆弱的一面;并且,他已经开

---

<sup>①</sup> Department of Physics and Director of the Center for Einstein Studies, Boston University, Boston, Massachusetts 02215, USA. E mail: stachel@physics.bu.edu.

始尝试改变物理学的一些核心假设<sup>[6]</sup>。

### 牛顿的遗产受到置疑

在 19 世纪,机械世界观首先受到光学的挑战,其次受到了运动物体的电动力学的挑战.机械世界观建立在牛顿(Issac Newton)关于物质粒子的运动学和动力学基础之上,这套理论的描述出现在《原理》(Principia, 1687)<sup>①</sup>一书中,并且由于它惊人成功的引力理论而备受推崇.到 19 世纪中叶,牛顿关于光的“粒子说”再也无法自圆其说.为了能够解释斯涅耳(Snell)折射定律,这个理论必须假设光粒子进入高折射率的介质时速度会变快.但是在 1849 年,傅科(Léon Foucault)和菲佐(Hippolyte Fizeau)证实,在进入高折射率的介质后光实际上会变慢,这一点正好与光的“粒子说”的竞争者——光的“波动说”的预言吻合.光的“波动说”是由与牛顿同时代的惠更斯(Christian Huygens)所倡导的.这样一来,问题就变为如何将光的“波动说”嵌入到牛顿的机械世界观中.的确,以太这种不同于一般物质的特殊介质,作为光波传播的特殊载体,似乎可以提供牛顿的绝对空间.但是,阐明以太和一般介质的关系的研究却导致了严重的问题:当一个普通物体运动时,以太会完全地或部分地被牵引着一起运动,亦或维持不动?关于运动物体的所有光学实验结果似乎无法协调上面的任何一种假设.到 19 世纪的中后期,许多物理学家都敏锐地意识到了这个问题<sup>[7]</sup>.

到 1865 年,麦克斯韦(James Clerk Maxwell)阐明了光可以解释为电磁场的波动,它遵从我们现在称为麦克斯韦方程的描述.于是人们意识到,上述光学所揭示的矛盾只不过是运动物体的电

---

① 即《自然哲学的数学原理》(Philosophiae Naturalis Principia Mathematica).——译者注

动力学与牛顿运动学和动力学之间矛盾的一种特殊情况。但到了 19 世纪末,洛伦兹(Hendrik Antoon Lorentz)似乎找到了克服这些问题的方法,需要重新解释麦克斯韦方程。他假定电磁以太完全是不动的,也就是说,以太不会被牵引。

尽管在牛顿力学中无法区分一个优先的惯性系(这一点常常被称为伽利略相对性原理),但在电动力学与光学中似乎情况不同。以太静止的参照系提供了一个优先的惯性系,相对于它的运动应当是可以探测的。但是,所有试图探测地球相对于以太平动的光学、电学和磁学实验都得到了否定的结果。洛伦兹能够成功地解释这些实验的否定结果:根据他的理论,如果实验的精度只能达到  $(v/c)$  的数量级,任何探测都一定会得到否定结果,这里  $v$  是运动物体的速度, $c$  是在该介质中的光速。直到 1880 年,没有任何实验能达到更高的精度,因而洛伦兹关于这些实验否定结果的解释也成为他的理论的成功检验。

至此,牛顿力学似乎已经成功地面对了光学和电动力学的挑战,但失败的种子也已种下。洛伦兹的理论要求对每个相对于以太运动的惯性系引入一种新的变换,这种变换涉及一个新的时间变量。由于绝对时间变量与这个新的时间变量之间的关系会随地点的不同而不同,洛伦兹称之为该惯性系的“局域时间”,并且认为这仅仅是一个纯粹形式的表达式而已。但是,对物理学十分关注的大数学家庞加莱(Henri Poincaré)却给出了这个新的时间变量在牛顿力学框架内的物理解释:它就是惯性系中各地静止的时钟的读数——假定不考虑该参照系相对于以太的运动;同时,这些时钟是用光信号校准了的。这是一个非常重要的启示,它说明运动物体的电动力学和光学与时间的概念是密切相连的。但是,我们将看到,正是爱因斯坦最终打破了绝对时间的概念;他认为:任何惯性系中的局域时间都是有物理意义的,因为根本就不存在一个绝对的时间可以与之比较。