

象显技术为复杂系统的演化过程、细部构造提供了无与伦比的逼真图象，直接模拟客观世界的现象与规律。按照理论的设计来进行各种数值计算与模拟，方便地改变控制参数以观察动态结果，还可以在空间与时间大、中、小诸尺度上进行仿真研究。因此，元胞自动机开创了复杂性研究的新途径，是流体动力学最重要的研究方法之一。

过去难于问津、望而却步的实验研究，如今在功能强大的计算机面前变得轻而易举。非线性造成的计算复杂性是过去无法解决的，但现在已不存在不可逾越的障碍了^[1]。研究者在计算机显示屏上直接观看这些无法预测的动态结

果时，一种创造性的思想便油然而生，难道事实不正是这样吗？

人们已找到了探索复杂性的方法——元胞自动机，因而也就找到了描述大自然的最好方法。

- [1] 吴江航、韩庆书，计算流体力学的理论、方法及应用，科学出版社，(1988)，12—13。
- [2] 郝柏林、张淑誉，漫谈物理学和计算机，科学出版社，(1988)，93—95；199—202。
- [3] E. Jackson, Perspectives of Nonlinear Dynamics, Cambridge University Press, New York, 2(1990), 454—504.
- [4] S. Wolfram, 科学, No. 1(1985), 85—96.
- [5] 赵松年，非线性科学：它的内容、方法和意义，科学出版社，(1993)，68—75。

法拉第——提出波粒二象性概念的先驱者¹⁾

阎康年

(中国科学院自然科学史研究所, 北京 100010)

很多史料表明，在爱因斯坦提出波粒二象性概念之前，在波粒二象性概念的起源上还有一个发展过程，例如法拉第在这个问题上曾经作出了重要的贡献，而且与爱因斯坦在提出该概念的说法上极其相似，却长期以来被人们忽视或遗忘了。

笔者在1991年8月曾经在《物理》杂志上发表过《法拉第的原子论思想转变和场概念的起源》^[1]一文，分析和归纳了关于法拉第提出场概念及其时间的四种说法，并且提出了两种看法：力场是法拉第在1832年3月交给皇家学会存档的一封密封信中提出的，在文中他说磁力存在于磁铁周围的空间中，并有传递的时间和过程^[2]，这就意味着力场的存在。爱因斯坦曾经说过：“磁力线就是磁场”，“场是物体周围的物理空间”；实体场是法拉第在1844年1月给R. 泰勒(R. Taylor)的信中提出的，在这封公开发表的信中他提出了一个新的原子模型：原子由力心及其周围的力组成，而力是物

质的，所以分布在力心周围空间中的力物质实际上是物质的一种特殊形态——场，我们可以称之为“实体场”。爱因斯坦实际上沿着这样的思路，在1905年提出了质量和能量等当的概念和表示式，并且约在1920年又提出场是实在和粒子不过是场的凝聚^[3]。这样，就形成了场概念的三个发展阶段：力场—实体场—实在场，前两者已取得公认，后者得到一些物理学家的赞同却仍存在歧议。

众所周知，爱因斯坦通过对场的不连续性分析，在1909年提出了波粒二象性概念。这个概念是为了解释光和辐射时从奇点及其周围的场的波动性共存的观点提出的。但是，类似的想法在法拉第于1846年5月给R. 菲利普斯(R. Phillips)的信中曾经明确地说明过，对此可详细说明如下。

1) 该文是作者根据他在1993年8月26日在西班牙萨拉戈萨举行的第19届国际科学史大会的物理史组会议上宣读的文稿经修改和补充后写成的。

一、波粒二象性概念的萌芽

什么是波粒二象性？有几种答案或说法。按照爱因斯坦的看法，它意味着波动和粒子同时共存于场中，可用以解释光和辐射的机理与传播。按照德布罗意 (Louis de Broglie) 的看法，微观物质以波或基本粒子的形式存在，它们可用波动方程来描述。按照玻恩 (Max Born) 的看法，粒子以几率波形式存在，即粒子出现的几率呈波动状态。无论后来的看法如何，爱因斯坦的看法被广泛认为波粒二象性概念，并且他也被公认为波粒二象性概念的最早提出者。因此，拟从这一认识出发进行如下的论述。

在法拉第给菲利浦的公开信《关于射线振动的思考》中，他抛弃了以太并用力线取而代之。由于力心和力线充满其发射体周围的空间，他提出了

所以，我极其冒昧地提出，把辐射视为力线中的高级振动，已知它与粒子并也与大块的物质联系在一起。我们试图抛弃以太却不抛弃振动……，对我而言，可以把两条以上的力线的合成产生的运动看作与横向振动相当，似乎是合适的。在这种情况下，象以太这样的均匀介质看来并不合适，或者比空气和水更不合适^[4]。

他进而提出，辐射是力线的高级振动和几个力心周围的不同力线的相互作用导致它们的合成，因而发生了横向振动或波动。他继续说，“光的传播，因之可能所有辐射的传播，会占有时间。并且，用力线的振动可说明辐射现象，这样的振动也会占有时间，这是必要的。”^[4]这就是说，场由力心和力线组成，场的波动传递光和辐射。在1852年，他发表了《论磁力线的物理特性》一文，他明确地提出了一个颇有趣的猜测：

在现时，谁不了解在光和辐射性质的发展上明显的发展，谁不了解借助发射和波动二者所取得的进步的程度^[5]？

这里，法拉第提出了用发射说 (emission) 和波动说 (undulation) 研究光和辐射所取得的进步。为了解释光和辐射的性质，他巧妙地提出了将发射和波动两者相结合的猜测，而这个猜测意味着力心和波场共存，尽管他当时对此还未敢肯定而仅仅给予高度的评价，但是却实际上说明了他对后来所说的波粒二象性认识的意向，这个意向与爱因斯坦在1909年的说法是极其相似的。根据何在？让我们进一步看一下爱因斯坦在1909年9月21日在第89届德国自然科学家大会上发表的讲话《论我们关于辐射组成看法的发展》中的说法：

还有，对我而言，最自然的图像是光的静电场的产生与奇点 (singular point) 有关，就象电子论中静电场的产生那样。人们不能够排除这样的可能性，在该理论中，电磁场的总能量可看作局部化在这些奇点 (singularities) 中，正象在旧的超距作用理论中那样。我假设，每个这样的奇点被力场所包围，它在本质上具有平面点的特性。如果有许多这样的奇点在比一个奇点的力场的范围要小的距离上存在，那么这些力场将搭接并共同组成力的波场……。我就是应用该例指出存在两种结构的属性 (波动结构和量子结构)，按照普朗克的公式两者可用以描述辐射，而勿需把两者作为相互不协调来考虑^[6]。

按照爱因斯坦的意见，包围各奇点的场相互搭接或干扰而产生了波场，波场传播光和辐射。他同法拉第一样，都否定了以太的存在，并用力线或场取而代之。所以，他说波动结构和量子结构共存。这时，他说的量子结构显然指场中的奇点而言，而不是他后来说的场的量子化，也就与法拉第说的力心相当。派斯 (A. Pais) 在他的《上帝是微妙的》一书中提到爱因斯坦在1909年9月给索末菲的信中说：“围绕以光速运动的分立的点的光能量序列”，说明奇点指的是点或粒子。此外，爱因斯坦在这次讲话中还

说：“我的意见是在理论物理上的下一步发展将带给我们一种光理论，这个理论可说明为波动理论和发射理论。”^[1]既然研究爱因斯坦的著名物理学家认为奇点指点或最小的粒子和波场意味着波，则两者的溶合就是波粒二象性，于是他被认为是波粒二象性概念的提出者。

如果把上面说的法拉第和爱因斯坦的说法予以比较，就可以看出爱因斯坦的奇点相当于法拉第的力心，前者说的场相当于后者说的力线，波场相当于力线的振动，两者分别传播光和辐射。他们都否定了以太并分别以场和力线取而代之。众所周知，法拉第是场概念的提出者，并且是从磁铁周围空间中分布的力线或物质的力引伸出来的，所以他的力线分布的空间就是场，他甚至将它推广到电力场和引力场。所以，在这个概念上，他与爱因斯坦没有什么不同。总之，在这些说法上二者是吻合的，甚至在用词上也是对应的。因此，我们可以得出法拉第已经有了波粒二象性概念的萌芽。

二、法拉第是波粒二象性概念的先驱者

爱因斯坦的波粒二象性概念是否来自法拉第还是偶然的巧合？没有史料可查，也许是两者沿着同一思路进行工作的缘故而得出相似的

结论吧？

德布罗意明确地说，他在1923年之前知道爱因斯坦的波粒二象性概念。1964年春天，在德布罗意给库布利克(E. Kublic)的信中，他说：“在1922—1923年期间，当我开始取得波动力学的基本概念时，推广波和粒子共存是我的意图。”^[2]但是，像几乎所有的有关物理学家一样，他未提及甚至也不知道法拉第的波粒二象性概念的萌芽。如果说，法拉第的先驱性工作属于从实验出发进行的科学猜测，爱因斯坦的属于科学思想，德布罗意的则属于科学理论并由光和辐射扩展到电子和其他基本粒子。所以，当我们谈到波粒二象性概念及其来源时，应当牢记法拉第的历史功绩。

或许有的人会提出这样一个问题：法拉第、爱因斯坦和德布罗意的观点是有区别的。的确，法拉第和爱因斯坦讨论的是场的结构和光与辐射传播的机理，可是两者却是彼此相像的。至于德布罗意，他探讨的是微观物质的本质并提出它们可用波或粒子予以描述。但是，不论如何，史料却表明它们之间存在某种联系，甚至相继地有所启发(见表1)。表1清楚地表示了法拉第和爱因斯坦在波粒二象性概念上的相似性，也表示了他们与德布罗意在概念上的区别。

表1 波粒二象性概念比较表

项目 人名	原子	场	相互作用	波粒 二象性	波	对以太 的看法	理论的 结合	性质	表现
法拉第	力心	力线	力线的 合成	力心+ 力线	振动	抛弃以太	发射 + 波动	猜测和萌芽	波粒共存
爱因斯坦	奇点	不连续 的场	场的搭接	奇点+场	波	否定以太	发射理论 + 波动理论	科学思想	波粒共存
德布罗意	粒子			粒子+波	波	废弃以太	物质波	科学理论	两者之一

[1] 阎康年,物理,20-12,(1991),750.

[2] J. Agassi, Faraday as a Natural Philosopher, University of Chicago, (1971), 106.

[3] 许良英等编译,爱因斯坦文集,第一卷,商务印书馆,(1976),128.

[4] M. Faraday, Experimental Research in Electricity, Dover Publication, New York, Vol. III, (1965), 451.

[5] 同[4], 408.

[6] L. Motz and D. AcAdoo, The World of Physics, New York, (1987), 308—309.

[7] A. Pais, The Subtle Is God, Oxford, (1982),404.

[8] J Mehra, The Historical Development of Quantum Theory, Springer-Vorlag, New York, Vol. I, Part 2, (1982), 586—587.