

# 物理学史中的一月



大约 1961 年 1 月: Lorenz 和蝴蝶效应  
(译自 *APS News*, 2003 年 1 月)

萧如珀 杨信男 译

对于一般门外汉来说,混沌的概念带给他们的是一种完全任意性的印象,但对于科学家来说,它却是表示因果系统中的随机行为,也就是说,系统对于测量太敏感,以致产生的结果虽然有着根本的秩序,但看起来却很随机。这个表面上很矛盾的观点是由数学家改行成为气象学家的 Edward Lorenz 所提出的,他在一次意外发现了此现象,随即孕育出现代混沌理论的领域,并永远改变了我们检视天气等非线性系统的方式。

Lorenz 小时候就对天气非常着迷,常在 Connecticut 州 West Hartford 父母家的屋子后面观察温度计,记录气温的高低;他也对数学感兴趣,经常和父亲一起解数学难题。1938 年, Lorenz 自达特茅斯大学毕业后,计划步入数学领域,但爆发了第二次世界大战,他在陆军航空兵担任气象预报员,使计划出现了变化。后来,他决定就此钻研气象学,发表过一般大气循环等议题的文章,所以很早就成名。

Lorenz 对气象预报特别感兴趣,当时的预报虽能借助于科学仪器,但大部分仍是直觉性的猜测。由于计算机的问世, Lorenz 看到了将数学和气象学结合的机会,所以他开始建造一个气象的数学模型,利用微分方程式来代表气温、气压、风速等的变化。20 世纪 60 年代初期, Lorenz 用 12 个微分方程式建立起一个气象系统的架构;他持续地在极原始的计算机上模拟天气变化,每分钟可以模拟一天的天气。此系统在模拟天然发生的天气型态时算出的数据相当成功,完全不会重复,但却明显有着潜在的秩序。

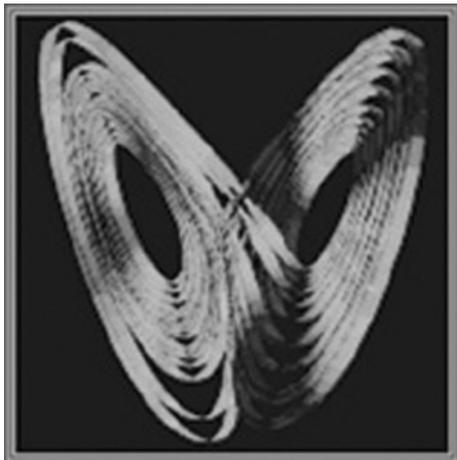
1961 年的一个冬日, Lorenz 想要检验一个特定演变的详细内容,但是他决定采取快捷方式,不想整个重头算起,而是从中途开始,所以就直接输入计算机先前得到的结果做为初值。之后他下走廊去喝咖啡,当他 1 小时后回来,却有了意想不到的发

现。计算机并未重复之前的计算,新结果显示出虚拟的天气和先前的型态很快就出现了差异,以致在模拟的短短几个“月”中,两个型态中的相似度竟完全消失了。

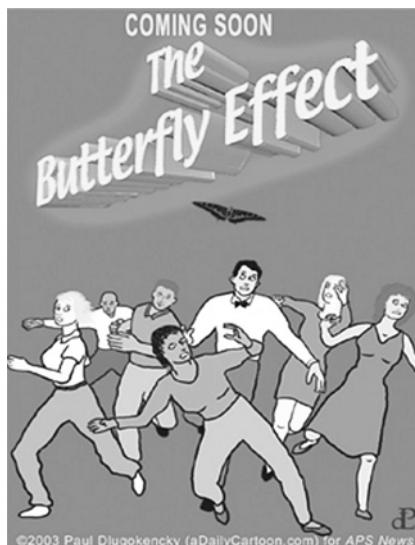
Lorenz 起先以为计算机的真空管变差了,那是一部 Roy McBee,以现在的标准来说速度极慢,又简陋。但令他惊讶的是,计算机的功能没问题,问题出在他所输入的数字上。计算机内存中储存的数值到小数点后面六位数字: .506127,但为了输出时节省空间,只显示出三位数字: .506, Lorenz 输入的是小数点后面三位数字,他以为舍掉了千分之一是不重要的。

这种假设似乎是合理的,科学家所被灌输的教育常常是,初始的小变动在任何一个物理系统中只会导致行为上的小变化,甚至到目前为止,通常气温都没有量到小数点第三位。Lorenz 的计算机使用了有纯粹因果性的方程式系统,因此输入一个特定的初值,“天气”就会每次都以完全相同的方式演变;使用些微不同的初值就会让天气的演变有一点点不同。Lorenz 认为一个数字上的很小差异就像一小阵风,不可能实际影响重要的大规模天气特性。但在 Lorenz 所采用的这一特定的方程式系统中,却证明如此小的错误竟引发了巨大改变。我们现在知道此现象是对初始状态的高度依赖。Lorenz 随即将他的发现称之为“蝴蝶效应”,说明决定天气的非线性方程式对于初始状态有着惊人的敏感性,以致在巴西的蝴蝶拍动翅膀就可能在美國德州引发龙卷风。所以他下结论说,长期的气象预报注定会失败的。在过去,像这种观察到的行为,即从完全具因果性的方程式组所出现的随机波动,都会被当成是单纯的计算错误而丢弃, Lorenz 是第一位认定这种不规律的行为不是错误,而是源自于随机而无可否认的秩

序。这不仅是第一个清楚地证明天气模型对初始状况的敏感依赖，而且 Lorenz 还说明此现象会发生于简单且与实际情况相关的模型中。



之后，Lorenz 建造了一套三个非线性微分方程式的新系统，这是一个简化的对流模型，被称为“Lorenz 吸子”（Lorenz Attractor）。Lorenz 以为他的运动模型所创造出来的图像会在达到平衡后停下来，或变成一个循环，最后会折返、重来，显示出反复的型态。但事实并非如此，他的图像显示出无限的复杂性，总是停在特定的范围内，但却绝不重复。它形成一个独特的双螺旋形，恰好与蝴蝶的两个翅膀相似。



继 Lorenz 的发现之后，计算机模型成功地将气象行业由艺术转变成科学，但若是超过两三天的话，即使是全球最好的预测都仍是推测，若是超过一星期，那么这些资料就毫无价值可言。这个谜团就是混沌。

进一步阅读资料：James Gleick（*Viking Penguin*, 1987），*Chaos: Making a New Science*

（本文转载自 2008 年 2 月《物理双月刊》，网址：<http://psroc.phys.ntu.edu.tw/bimonth/index.php>；萧如珀，自由业；杨信男，台湾大学物理系，Email: [snyang@phys.ntu.edu.tw](mailto:snyang@phys.ntu.edu.tw)）

## 科苑快讯

### BEPCII 直线加速器通过中国科学院基础局组织的工艺测试

BEPCII 直线加速器的改造工作已基本完成，设计指标已全部达到设计要求，并实现了长时间稳定运行，目前保证了对储存环调试的供束。

2007 年 12 月 23 日中国科学院基础科学局组织专家对 BEPCII 直线加速器的技术性能进行了现场测试。会议由基础局 大科学与核科学处彭良强研究员主持，工程经理陈和生在会上致欢迎词并讲话，电子直线分总体主任裴国玺及王书鸿分别做了 BEPCII 直线加速器工作报告及总体性能测试报告。

专家组经过讨论，确定了直线加速器总体性能参数的测试方法，根据拟定的测试内容，在直线加速器现场逐一进行了仔细、认真的测试。同时对直

线加速器分总体近年来的工作进行了认真考察，核对部分历史数据。

专家组测试结果表明，BEPCII 直线加速器的流强、能量、能散、发射度和重复频率均达到设计指标。在整个测试过程中，机器运行稳定可靠。储存环正负电子注入速率都超过了设计要求。BEPCII 直线加速器的总体和各系统的性能全面达到设计要求，建成后的近两年来的，运行稳定可靠。机器性能达到了同类装置的国际先进水平。

这是 BEPCII 的一个重要里程碑，电子直线分总体是 BEPCII 的四个分总体之一，率先全部达到设计指标，并通过了院基础局组织的专家测试，为 BEPCII 明年底达到验收指标奠定了良好基础。

（摘自中国科学院高能物理研究所 2007 年 12 月《高能新闻》）