

非线性科学促进科学观和科学方法的转变

单晓云 蒋建华*

非线性科学本身是研究自然界中复杂现象和规律的一门学科,被誉为与相对论、量子力学相齐名的20世纪三大科学理论之一。但在过去很长一段时间内,非线性并不被重视,直到20世纪60年代中期,随着科学家们在两个极端方向取得突破,一是发现了“孤子”是一类非线性方程的解,二是发现相对简单的系统中存在着对初值极为敏感的复杂运动,大大加快了非线性科学的研究步伐。目前非线性科学逐渐发展成为以混沌理论、分形理论、协同学等为代表的系统科学。其贯穿信息科学、生命科学、空间科学、地球科学和环境科学等研究领域。一方面非线性科学中各门学科空前地交叉与渗透,研究中解析、计算、实验三种方法并用,其研究方法达到空前地交互与综合。另一方面,非线性科学向我们展示了有序与无序的对立统一,

完全性与非完全性的对立统一,确定性与随机性的对立统一,自相似与非自相似的对立统一,一个充满辩证统一的世界。非线性科学促进并要求我们做好科学观与科学方法论的转变。

一、线性观到非线性观的转变

物质世界是非线性的,其要求我们用非线性的眼光去观察非线性的世界。长期以来,我们总是习惯用线性的观点和方法看待和处理问题,只要我们对物理的概念和规律进行审视就可发现,其深处充满非线性,见表1。

在经典物理中研究的主要是线性系统,物理学家总是以没有摩擦的理想摆,忽略了粘滞力的理想气体等理想模型为研究对象,且能够在忽略了非线性因素前提下建立线性模型为科学研究成功的标志,这种科学思想和方法论观点认为,线性系统为自然界的正常现象、正常状态、本质特征,所以线性现象有规律性,可以提出一般原理和普遍的研究方法,而把非线性系统视为特例、扰动、非本特性,因而认为非

河北理工学院基础部 唐山 063009

* 中国科学院高能物理研究所 北京 100039

算法有问题、程序指令间有逻辑错误或指令使用错误、程序被非法修改、部分功能模块被非法删除、移植性太差与新的操作系统或硬件不完全兼容、不正确地使用程序等。解决的办法一是要提高程序员的编程素质,建立标准的编程规范和过程,使程序自身尽量完善。二是请高级程序员对程序逻辑作进一步的调试,检查程序的算法,修正隐含错误。三是加强对源程序的管理,定期组织对程序的审计。

6. 质量控制点⑥用来控制“数据输出类错误”。产生输出类错误的原因一是由于数据处理时产生的错误常常只是在输出时才表现出来所致。二是输出操作本身的错误。对这类错误首先要检查程序中的相关处理模块,纠正程序中的错误,并要输入样本数据以检测其输出的

正确性和精确性。必要时还要检查中间结果。对由于输出操作错误造成的输出错误,要靠对用户的培训,使其能严格按照输出操作规程操作。

7. 质量控制点⑦用来控制“传输错误和传输泄密”。传输错误产生的原因也是多种多样的。例如,主机与通讯设备间的不匹配,通讯协议选用不当,电磁干扰等。对这类错误除解决硬件和协议的问题外,应采用包交换数据传输,并进行奇偶校验。对从传输线路上非法窃密的防范,可采用加密传输的方法解决。

当然,质量控制点的数量还可随质量控制精度的提高而增加,而且系统安全性与系统的质量控制必须紧密配合,才能保证计算机管理信息系统具有足够的可靠性。

表1

时 间	问 题	非线性特征
19世纪	伽利略——摆	刚体定点运动(二维——三维)
	牛 顿——天体运动	三体问题(二体——三体)
20世纪前半叶	非线性电路 非线性方程的定性理论	非线性振动理论
	耗散结构 协同论、突变论	分岔、自组织、斑图
20世纪后半叶	孤立子	有空间传播性能的波形不变的非线性现象
	混沌	决定性系统的内在随机运动对初值的敏感依赖性和长期行为的不可预测性
	分形	自相似性、分数维、无规则几何图形

线性现象没有普遍规律、一般原理和普适方法,遇到非线性问题就特殊处理。随着人们对混沌、分形耗散结构等非线性问题的深入研究,人们逐步认识到现实世界中,非线性特性是自然界的基本特征和本质存在,而线性问题才是非本质的、次要的,是非线性系统的简单近似。非线性现象是正常的、广泛的,线性问题是特例。非线性是动物园,线性是一种动物,不管它是多么庞大的大象或河马,但仍是一种动物。线性化使物理学的规律显得优美,而非线性才使物理学丰富、多彩、奇异、多变。做好从线性观到非线性观的转变,是建立非线性科学的必要的前提。

二、还原论到整体论的转变

在自然科学、工程技术中,非线性数学模型与线性模型相比,有了质的变化,特别是不能从线性模型稍加修正(摄动、微扰、展开)就能解决的问题,非线性问题的整体并不等于各部分的叠加,当代物理突出对物理系统的整体性研究,这要求我们从思想上要有一个从还原论到整体论的转变。

过去,由于线性系统满足叠加原理,整体等于部分的叠加,从伽利略、牛顿以来的经典物理学还原论占主导地位(如力的叠加、场的叠加),认为整体或高层次的性质可以还原为部分或低

层次的性质,认识了部分或低层次通过分析累加,即可认识整体或高层次。而非线性系统把各部分搞清楚了,并不等于了解了整体情况。整体不再等于部分的简单叠加,就象牛不等于牛肉加牛骨加牛内脏。混沌是系统的一种整体行为,混沌运动本质上不能还原为部分特性,当然不能用分析——累加的方法处理。再则,还原论认为理想系统的长期行为是由短期行为累加构成的,那么由短期行为的可预测性理应推断长期行为的可预测性。而事实上洛仑兹发现气象变化长期行为是不可预见的,而其短期行为的可预见性并不能导致长期行为的可预见性。

在混沌研究中重视几何方法,倡导定性描述,如庞家莱相图法,考虑的是相轨道的整体而不是它的片断,定性描述撇开测度问题而集中考察系统的结构,几何方法较之分析方法,定性描述较之定量描述,需要更多的整体性观点,这有利于我们从整体上理解动力系统行为的复杂性,为理解混沌等非线性现象,我们需要用一种新的方式来考虑问题,完成从还原论到整体论的转变。

三、简单性向复杂性的转变

经典物理研究的对象主要是线性的、平滑的、平衡的、规则的、有序的、确定的、可逆的,可以严格的逻辑分析的对象,反映的是事物的简单性。非线性科学注意的则是非平衡的、非解析表达的、不规则的、无序的、不确定的、不可逆的、不可严格逻辑分析的对象,不仅看到事物简单性一面,还看到事物复杂性一面。

普利高津指出,科学的兴趣正在从简单性转向复杂性,新的科学观和方法并不否定和取消对研究对象做简单化处理的必要性,但要在保留非线性、不规则性、不确定性等产生复杂性的根源的前提下简化。传统的观点认为,简单的原因只能产生简单的结果,复杂的结果必然来自复杂的原因。混沌研究表明,简单的原因可以产生复杂的结果。研究混沌的目的不是要引起混乱和复杂性,正是要找到引起复杂性的原因,简单性和复杂性没有明显的界限,是可以

相互转化的。

四、确定论到确定论与随机论对立统一的转变

从牛顿创立经典力学至 20 世纪初, 确定论观点占绝对主导地位, 统计物理和量子力学建立后, 概率论观点才逐步形成, 进而确定论和概率论成为物理学中描述自然世界的两套完全不同的方法。确定论和概率论的争论却长期困扰我们。拉普拉斯宣称只要给定“初始条件”就可以预言太阳系的未来, 爱因斯坦说“上帝不是在掷骰子”, 自称为混沌传教士的福特回答是上帝的确是在掷骰子, 但是骰子灌了铅的。混沌理论的意义在于突破盛行于经典力学的确定性, 揭示了在确定性非线性动力系统中存在的对初值敏感的依赖行为, 产生貌似随机的混沌运动。随着混沌等非线性科学研究的深入, 牛顿力学退却到了一做缓慢运动的宏观物体的非混沌的轨道, 现实世界中这样的轨道较少, 而混沌轨道却无处不在, 即使是描述三体运动的方程组也是“不可积分”, 更谈不上解析解; 即使是确定性的牛顿力学, 从计算和预测的观点来看, 实际上具有内秉随机性, 这就是微观层次上的混沌。混沌研究揭示了在初始条件也是确定的确定系统中, 存在着内在的随机性, 确定与随机性两种对立倾向存在于同一系统中。如具有周期性外力作用下的单摆, 既有周期运动又有混沌运动, 在周期区及周期窗口处是确定性的, 在其它地方是随机性的。

完整的世界是确定性与随机性的辩证统

一, 混沌是随机性与确定性的辩证统一, 混沌的研究有助于消除对统一的自然界的确定性和概率论两套对立描述之间的鸿沟。

造成确定论和概率论两套描述对立的原因是经典科学以某种“无穷”过程为前提的, 实际上测量和计算都是有限过程。有限的测量精度就不能排除过程含有随机成份, 同样有限长的随机数序列只能以有限精度, 通过随机性检验。现代算法信息论指出, 如果一个输出数字序列不能用任何信息容量比输出要少的算法来计算, 它就是随机的。新定义的随机性是在有限性原则基础上的, 是混沌意义上的随机性。只要我们承认有限性原则, 回到实际有限过程中, 确定性和概率性描述的鸿沟就可消失, 实现两种描述从对立到有限性原则下的沟通的转变。

五、研究方法的转变

在研究处理线性问题时, 通常强调定量、分析、纯逻辑的方法, 而在非线性问题研究中强调确定性的、几何形象分析的, 数值解法等非解析方法。除了庞加莱的几何方法外, 斯梅尔、柯尔莫哥洛夫发展了拓扑方法和统计方法, 芝德布罗建立了研究混沌分形等复杂性专门的语言和技术——分形论。

非线性科学的开拓者们费根鲍姆、洛仑兹、埃农等把数值解法提升为与解析法同样价值, 虽然线性问题也使用计算机数值模拟方法, 但非线性问题对计算机数值模拟法依赖性更强。引导我们从崇尚、熟悉解析方法到重视、学会非解析方法的转变。

短 新 闻

根据英国物理研究所杂志《物理世界》的调查, 在 100 名著名物理学家中, 选出 10 名最伟大的物理学家, 结果, 爱因斯坦排名第一, 以下依次为牛顿、麦克斯韦、玻尔、海森伯、伽利略、费恩曼、狄拉克、薛定谔和卢瑟福。

中微子与光子不同, 它可以毫无阻碍地穿过宇宙。天文学家们认为, 中微子能提供观测宇宙的一种全新的理想方法。目前正在南极安装一台宇宙-中微子望远镜, 它能看到常规望远镜所看不到的东西。