

计算机在物理教学中的作用

计算机的大量使用,使物理学研究的途径发生了革命性的变化。但令人奇怪的是它并没有深刻地改变物理教学的方式。即使在计算机技术和普及程度均居世界领先地位的美国亦是如此。仅管用计算机教学的各种报告和文章充满了美国物理教师协会(American Association of Physics Teachers)的各种会议和杂志,但计算机在教室中的实际影响依然是很轻微的。情况之所以会如此,缺少适用的软件是一个重要原因。近二十年来的研究表明,计算机用于物理教学中,将有助于加强近代物理的教学,训练学生的物理学直觉,使他们对复杂系统有更深入的了解,同时也给他们一些做研究工作的经验等。今天有更多的人希望能将计算机用于物理教学上,许多物理学家也重新评价了计算机在物理教学中的作用。

计算机在物理教学中可以有各种用途,要实现这些用途需要有适用的软件。为此,美国一些大学和组织在这方面作了很多工作。本文主要介绍他们在推进将计算机用于物理教学方面所取得的进展。

一、作为教学辅助手段

当人们还没有全面了解计算机在物理教学中的作用时,通常他们首先想到的是将计算机作为教学辅助手段。这一工作早在1970年就已开始。被称为PLATO的软件就是为这一目的而设计的,加利福尼亚大学也作了类似的工作。这些软件从教育学的角度来看,存在着很多问题而没有被广泛接受。这些问题可以简单地称之为“计算机运动学生”。

为了设计这样的软件,必须有关于学生如何思考的模型,对他们将带着什么样的想法走进教室要作出预测。作者必须预计到学生可

能发生的错误,并给出纠正这些错误的回答。Alfred Bork制作了生产这类软件的智能化系统,尽管他作了很大努力,但也只有几个大学采用了他的材料或他的思想。

有些人则尝试借助特种语言而使这些软件设计更为简易。最初是为主计算机写成的PLATO软件派生了TUTOR特种语言,通过卡内基·梅隆(Carnegie Mellon)大学的工作,最终发展成微机语言CMU TUTOR(简称CT)。CT系统使没有程序设计背景的作者,也能作出用图形或鼠标器控制的用于教学辅助工作的系统。这种语言是基于C语言系统,它在Unix环境下工作,对IBM和Macintosh的标准Unix系统都适用。卡内基·梅隆大学的Bruce和Judy Sherwood正着手进行取消该语言对字符串输入、彩色运用、数据类型及文件结构方面的限制的工作。该大学的David Trowbridge用CT系统设计了被称为“图形与轨迹”的程序,该程序被认为是1988年最佳物理学软件。

二、人工智能

人工智能技术和专家系统一开始就被用在物理学研究中,但却很少用在物理教学中。由卡内基·梅隆大学的Allen Newell发展起来的人工智能推理机SOAR系统,是很有希望的,但目前还远没有被用在教学上。由于推理规则采用了AI结构,推理机与实际学习过程是平行的,故物理学课堂是发展AI结构的理想场所。

三、计算机模拟

计算机模拟的方法,从几年前开始就已十

分流行。美国许多学校都有立体投影系统，可进行整体的图形演示。反映了课堂绘图技术有了很大改进。斯坦福大学的 Blas Cabrera 制作了一些适用于 Macintosh 微机的计算机模拟软件，已在市场上作为商品出售。

学生通过用计算机模拟的方法，可直接研究物理模型的结构。Talor 生产了被称为“空时物理学”的软件，这软件使学生能进入狭义相对论的世界，被认为是 1988 年最优秀物理学软件之一。

MUPPET 小组在计算机模拟的基础上设计了一套研究物体间相互作用的工具。采用被称为“轨道”的程序，学生可以通过控制物体的个数、它们的尺度、位置及有心力的有关参数，来考察各物体间的相互作用。有的程序还可被编制成游戏的形式。例如，有一个游戏是从行星的一边发射一枚火箭到另一边，以截击在同一轨道上的另一枚火箭，借此来研究物体的轨道运动。

另一个称为“热”的程序，引导学生进入大量粒子占有的微观世界，学生可以控制粒子数、碰撞频率、相互作用性质（引力、电、磁等）及初始条件。屏幕的一部分用来显示粒子能量分布，这程序可以演示通过碰撞达到平衡的过程。

“映射机”是用来研究一维及二维非线性系统的各种形式的映射，其中包括 Mandelbrot 集合、Henon 映射及各种形式的牛顿法映射等。这些程序将帮助学生建立直觉的概念，特别是混沌和非线性系统，往往不容易被学生理解。在教学中采用计算机模拟，有助于解决这一问题。

计算机模拟也可以用在实验室代替学生需要用手做的工作。考虑到实验操作的训练对物理系学生来说，往往被忽略，而过多地用计算机模拟代替实际操作显然是不可取的。但对于那些过于危险、过于复杂的实验或需花费很大代价的实验，计算机模拟不失为一个良好的替代手段。

四、计算机数据采集

计算机数据采集系统有助于提高实验技术，但必须注意不要让计算机成为一个“黑盒子”¹⁾。技术教育研究中心的 Robert Tinker 和马里兰大学的 John Layman 开创了在教学实验室用微机作为数据采集系统的计划。

很容易建立一个微机系统，以便从诸如热敏电阻、光电二极管、压力换能器以至超声测距仪这样的输入设备中采集数据。超声测距仪可以用来测量物体的位置、速度和加速度。慕尼黑大学的一个组建立了一个用摄像机来测定黑色背景上单个白色物体位置的计算机接口。在 Dartmouth 的另一个组建立了一个更为精巧的适用于 Macintosh 计算机的电视系统，可用数字显示复杂的二维运动。数千人参加了美国物理教师协会举办的有关将微机用于实验室装备的接口的学习班，并且建立或购置了数据采集系统。这些设备再配以适当的教学辅助手段，能帮助学生理解有关速度、加速度、温度、热量等概念以及一些学生往往感到很困难的领域。

五、程序设计和模型化

程序设计和模型化是物理教学中最早使用计算机的领域，至今仍然是一个十分有用的工具。物理系学生在通过专业课程考试时往往需要进行一些程序设计和建立计算机模型的工作。而在大学普通物理课程中，却很少有这样一些内容。

普通物理课程内容的选择，在很大程度上是由这些内容所要求的数学知识决定，很多领域由于学生不具备所需要的数学工具而被排除。对物理系学生来说，计算能力是十分重要的，因而必须给学生一些新的数学工具。有了这些数学工具，由于数学上的复杂性而被排除的一些领域的知识，学生会感到很容易接受。

1) 黑盒子指的是只了解输入及输出信息，而不知道中间发生了什么样的变化的体系。

物理系的数学体系包括代数、几何、三角、计算方法、微分方程、概率统计和偏微分方程等。整个体系是一个串接系统。线性代数与概率论可在各不同阶段按不同要求讲授，其余部分则构成一个台阶式的排列。而数值方法课程，如果有的话，则安排在学生学习的后期进行。

教师通常将学生的数学水平与他们接受物理概念的水平同等看待。很多领域由于需用到高深的数学而被略去了。我们通过选择一套学生在数学上可以接受的领域，作为物理概念循序发展所必须的范围。

上面所给出的数学体系，很长时期以来都是相同的。的确，物理系学生需要掌握这些领域，但对今天的物理学家来说，这些不是全部甚至不是最重要的领域。今天的物理学家越来越依赖于求解问题的数值方法和计算机技术。一个新的领域——“计算物理”在过去几年里已崭露头角。在一些传统的物理领域：凝聚态物理、核物理、粒子物理和天体物理等，理论和实验两者都逐渐增加了对数值方法的依赖性，而只靠原有的解析方法可以解决的有意义的课题越来越少。这不是说这些解析技术已不再是重要的了，解析技术现在仍广泛地用于将问题转化成计算上可以求解的形式方面。

如果我们一开始就假设，学生在学习物理课程时，作为预修或必修课程，学习一些有关数值计算方法，我们将得到完全不同的结果。新的领域成为可以接受的，旧的问题可以用不同的方法处理。微分方程可以用差分方程来代替。虽然计算物理有其本身的高深的数学技术，这些技术甚至比一些解析方法更不易理解，但很多问题则可以用简单的欧拉法或高阶龙格-库塔法来求解。

以力学为例，如果学生仅通过解析技术来学习物理学，他们将被局限于和谐的力学模型中，耗散力和非线性系统超过了他们的数学能力。他们所学到的无摩擦的牛顿力学与他们习惯了的高度耗散的实际世界是如此的不同，以致于很多学生将客观世界分成“物理学”的和

“实际”的两类，这显然是不正确的。需要给学生一个关于物理学的更完整的图象，这一点并不很难做到。

目前，美国有许多小组正在探索近代物理的哪些领域可以包括在普通物理的课程中。许多这样的小组将“近代物理”一词看成是量子力学、相对论以及一些特殊领域（如粒子物理、超导等领域）的同义语。的确，近代物理包括这些领域，但它亦应包括解决问题和认识世界的现代途径，这就是几率性、不确定性、非线性和问题的复杂性。

普通物理课程中几乎总是被忽略的，属于近代物理的一个方面，是来自于体系的量子极限和复杂性的不确定性。讲解非线性系统有助于学生了解为什么客观世界并不是象我们从牛顿力学所预期的那样是决定论性的。非线性问题还远没有形成一个完整的体系，但却是重要的没有教过的内容。根据 MUPPET 的经验，这些领域是有意义的，并且普通物理水平的学生是可以接受的。他们在学生进入专业课之前，引进了这些领域，其中包括混沌、分维、分岔、相空间的运动和奇异吸引子等问题。在学生选课时，非线性现象成为热门的内容。

总之，课程内容的这些改革是大部分传统图象被保留，将附加一些新的内容，特别强调了单位、量纲分析、标度、数值技术的使用，其中包括了作为学习物理学重要部分的程序设计，以其引入比现有内容带有更大复杂性的问题。

六、复杂性与简单性

复杂性与简单性的关系是物理教学中十分重要而又有争议的问题之一。大部分物理学家都认为在复杂情况下找到一个简单模型的能力是物理学的最大挑战之一。毫无疑问，学生将学习如何建立一个简化模型，并用传统的解析技术去求解它。问题是下述两种途径哪一种更好？先列出简化模型，几年后再将各种复杂因素加进去；或者先列出带有各种复杂因素的实际问题，去求解它，然后将其变成传统的简化模

型。

在计算机用于物理教学之前，由于受数学技巧的限制，第一种途径只能是唯一的选择。但实际上用数值方法去解决复杂问题比传统的解析技术更为容易。MUPPET 小组的研究说明，如果首先处理实际问题，然后将问题简化成一个有用的模型，这模型解释了有关物理现象的基本图象，这对培养学生将会更有利。因为这是物理学家解决问题的真实途径。我们不能给学生这样的印象，所有物理问题已经去掉了感兴趣的细节。

以单摆为例，通常在普通物理中，描写它的运动是先写出牛顿第二定律，作小角度近似，然后解简谐振动的微分方程。如果有学生问，大角度时会发生什么现象？若有阻尼力或外加一个策动力时又会发生什么现象？由于学生不具备考虑这些问题的数学背景，教师必须回避这些问题。回答只能等到学生学了更高深的数学之后进行。事实上，甚至简谐振动的微分方程亦已超过了当时大部分学生的数学水平。

用数值方法我们可以写下求解这个问题的简单的迭代程序。这个程序可以写成数据表的形式，在表中时间、角度、角速度和角加速度排成纵行的形式，每一列的数值是前一列经过小的时间间隔后的值。另一种方法，也可将程序写成 FOR 或 DO 循环结构的形式，每次迭代的增量是 Δt 。

在数值方法中，外加策动力和阻尼力很容易加进去。学习普通物理的学生，也可以考虑有关摆的整个物理现象，而所需要的数学工具比传统方法少得多。时间上“一步接一步”的近似也是求解这个问题的更具体的方法，它不如传统的小角度微分方程分析那样抽象。

对摆的这种近似方法，使学生可以去探究以前普通物理教材中没有讲过的现象，这就是共振和混沌。当学生调节外加策动力频率时，很快可以发现共振及系统的响应。对混沌运动有时更难一些。当外加驱动项振幅增加时，摆可以进入新的振动区。这一过程将学生引入运

动的相空间分析，这是在以后课程中一个十分重要的概念。摆的真实路径敏感地依赖于初始条件，这是很难预言的，这就是混沌的一个例子。

在马里兰大学建立了回转摆的模型，在这个系统中，存在两种吸引流域。将这系统给学生看，要求他们做计算机模型，考察这一物理系统的行为。

1988年8月在北卡罗来纳州立大学召开的计算机在物理教学中的应用的会议上，参加者从教育学角度对复杂性的作用进行了讨论。华盛顿大学的 Arnold Arons 认为，在太短的时间内给学生引进过多的复杂问题是得不偿失的；他也认为过早地引进近代物理，将会导致死记硬背式的学习，而不是对物理的更深的理解。其他人则认为，虽然这样做有一定危险性，但有利的方面将占上风。因为，这个方法可以使学生更好地结合到他们实际的环境中去，因而学生将会加深对物理学的理解。

从上述介绍可以看出，将计算机用于物理教学，无论在教学内容的安排上还是教学方法上，都会对传统的体系产生重大变革。美国物理学会为了推进方面的工作，自1988年1月起，出版了《物理学中的计算机》(COMPUTERS IN PHYSICS) 杂志。该杂志内容主要包括三部分：第一部分刊登将计算机用于实验室及教室的技术及有关的新闻等；第二部分则是物理学、天文学和有关领域(如地球物理、医学物理等)的重要研究工作以及计算机在实验、理论、计算和教育中应用的评论文章；第三部分则是用于实验室及教学中的各种软硬件的新产品介绍。

在我国，近十年来计算机的使用已相当普及，一般高等学校均拥有相当数量的微机。根据我国的实情，适当移植及制作有关的软件，将计算机用于物理教学中，将是一个十分有意义的课题。

(张先蔚根据 Physics Today 1989年
第1期第34至41页编译)