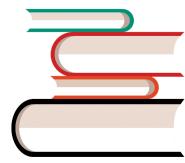


文章编号:1005-4642(2025)08-0021-06



课程·教材·教法

洛伦兹混沌系统实验课程思政教学探索

丁格曼^{a,b}, 刘红丽^a, 符斯列^{a,b}, 刘朝辉^{a,b}, 吴先球^{a,b}

(华南师范大学 a. 物理学院; b. 物理学国家级实验教学
示范中心(华南师范大学), 广东 广州 510006)

摘要:以洛伦兹混沌系统实验为例, 呈现渗透思政教育的实验教学实施过程, 从实验教学全过程全面探讨思政元素的切入点, 实现专业知识和思政教育的有机融合. 问卷调查结果表明: 学生经过洛伦兹混沌系统实验学习后, 在知识目标、能力目标、素质目标 3 个维度上均有较大程度提升.

关键词:课程思政; 思政元素; 近代物理实验; 洛伦兹混沌系统

中图分类号: G642.423; O415.5

文献标识码: A

DOI: 10.19655/j.cnki.1005-4642.2025.08.004

2020 年 6 月, 教育部印发了《高等学校课程思政建设指导纲要》^[1], 强调知识传授、能力培养与价值塑造是不可分割的统一体, 全面加强课程思政建设, 将价值观塑造寓于知识传授和能力培养中, 帮助学生形成正确的世界观、人生观和价值观, 这是人才培养的应有之义, 更是必备内容. 近代物理实验课程是物理学师范生必修的专业基础课程, 对培养学生的实践能力、创新精神和科学素养等有着重要的作用. 同时, 近代物理实验蕴含着丰富的物理学史和坚持不懈、勇攀高峰的科学家精神, 紧密联系前沿科技发展, 所以近代物理实验也是高等院校课程思政的主要平台.

混沌理论在自然科学和社会科学均有广泛应用, 自洛伦兹采用计算机数值模拟研究混沌现象以来, 关于混沌的研究不断深入^[2]. 研究者将混沌理论与相对论、量子理论并称二十世纪三大科学革命^[3], 其重要性不言而喻. 为实现实验教学与思政元素的有机融合, 贯彻“知识传授、能力培养、价值塑造”三位一体的教学理念, 本文以洛伦兹混沌系统实验为例, 深度挖掘实验所蕴含的思政元素, 探索思政元素融入实验各个环节的实践应用.

1 洛伦兹混沌系统实验课程思政的教学实施

1.1 实验背景及教学目标

洛伦兹混沌系统是由美国著名的气象学家洛伦兹于 1963 年提出的非线性动力学模型, 用于描述大气对流运动的现象. 洛伦兹混沌系统可以用含 3 个变量的常微分方程组来表示:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = ay(t) - ax(t), \\ \frac{dy}{dt} = r(t)x(t) - y(t) - x(t)z(t), \\ \frac{dz}{dt} = x(t)y(t) - bz(t), \end{cases}$$

其中, x 正比于对流运动的速度, y 正比于水平方向温度的变化, z 正比于垂直方向温度的变化, $a=10, b=8/3, r(t)=r_0+r_0\cos(\omega t)$. 式(1)的求解过程演示了混沌吸引子的形成过程. 初值敏感性是混沌运动的基本特征, 洛伦兹混沌系统对初始条件非常敏感, 即微小的初始差异可能会导致系统演化出完全不同的结果^[4]. 除此之外, 洛伦兹混沌系统中的参数对系统的演化也有重要影响. 通过改变参数值, 可以观察系统的不同行为,

收稿日期: 2024-07-06; **修改日期:** 2025-04-03

基金项目: 2024 年教育部实验教学和教学实验室建设研究项目(教高司函[2024]6 号); 2023 年教育部产学研合作协同育人项目(No. 230706071130525); 2022 年广东省高等教育教学改革项目(粤教高函[2023]4 号)

作者简介: 丁格曼(1992—), 女, 广东潮州人, 华南师范大学物理学院实验师, 硕士, 研究方向为物理课程与教学论、物理实验教学与研究. E-mail: dinggm@m.scnu.edu.cn

通信作者: 吴先球(1968—), 男, 广东平远人, 华南师范大学物理学院教授, 博士, 研究方向为物理教育. E-mail: xqwu@scnu.edu.cn

如混沌系统的倍周期运动。

实验利用计算机数值模拟方法求解洛伦兹方程,通过编写 C 语言程序和改变实验参数和迭代次数,分别验证洛伦兹混沌系统中的混沌吸引子、初值敏感性和倍周期运动。结合洛伦兹混沌系统实验的特点,贯彻“知识传授、能力培养、价值塑造”三位一体的教学理念,在实验课堂贯穿、融入思政元素,实验课堂的教学目标和思政育人目标如表 1 所示。

1.2 实验教学实施

传统的实验教学以教师讲授、学生动手实验为主,学生在纸质的实验报告上完成实验预习、数据分析处理和思考题等内容。为了提高学生的自主学习能力,培育卓越的物理师范生,华南师范大学于 2018 年对近代物理实验教学进行了改革,引入了“预习汇报+实验结果答辩”的教学模式,学生被赋予更多的主体地位,以便他们能够自主整合知识、融合技术,积极参与课堂的全过程,并将课程思政润物细无声地融入实验的各个环节。以洛伦兹系统混沌实验为例,实验教学的实施如图 1 所示。

1.2.1 自主预习

正式实验课前,课程团队教师统一讲解实验教学任务的安排及要求,并将课程学习资料发布在学校的砺儒云课程学习网站。学生组成 2 人小组分工协作,进行个性化的自主预习,通过阅读教材、查阅文献等方式,深入了解计算机数值模拟的发展史,混沌理论的发展及应用,洛伦兹混沌系统

实验的背景、目的和原理等。此时,学生学思结合,并将学习内容知识整合,在完成预习汇报 PPT 的过程中,领会科学家实事求是、勇于探索的精神。

表 1 洛伦兹混沌系统实验的教学目标

教学目标	内容
知识目标	1)学习计算机数值模拟方法,了解混沌系统的定义和特点;
	2)理解混沌系统相关物理概念、蝴蝶效应、无序中的有序、倍周期运动;
	3)了解混沌理论的发展历史、科研成果和应用。
能力目标	1)培养学生理论联系实际、实验操作技能和实验结果分析能力;
	2)培养学生团队协作能力,提高问题解决能力;
	3)能够利用计算机模拟洛伦兹系统的混沌吸引子,验证洛伦兹混沌系统中的初值敏感性和倍周期运动。
素质目标	1)通过混沌理论发展史,学生领会科学家实事求是、勇于探索的精神;
	2)结合中国科学家的实例,激发学生的家国情怀和责任担当意识;
	3)培养学生分析和解决问题的能力,发展批判性思维;
	4)培养学生耐心、细心、一丝不苟的实验品质和实事求是的科学态度。

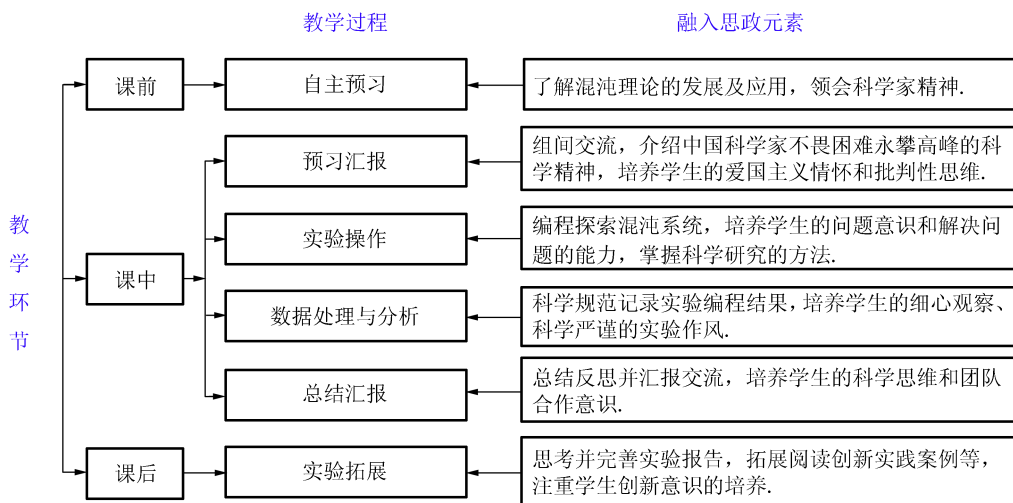


图 1 洛伦兹混沌系统实验教学实施简图

1.2.2 预习汇报

正式实验前,学生小组将预习的内容通过PPT的形式进行交流,以深入理解洛伦兹混沌系统的实验原理,理解和掌握计算机数值模拟方法,

同时了解混沌理论的实验背景和发展历史,如图2所示。此时,学生的预习汇报可以自然地融入思政元素内容,激发爱国主义情怀,弘扬科学家精神。

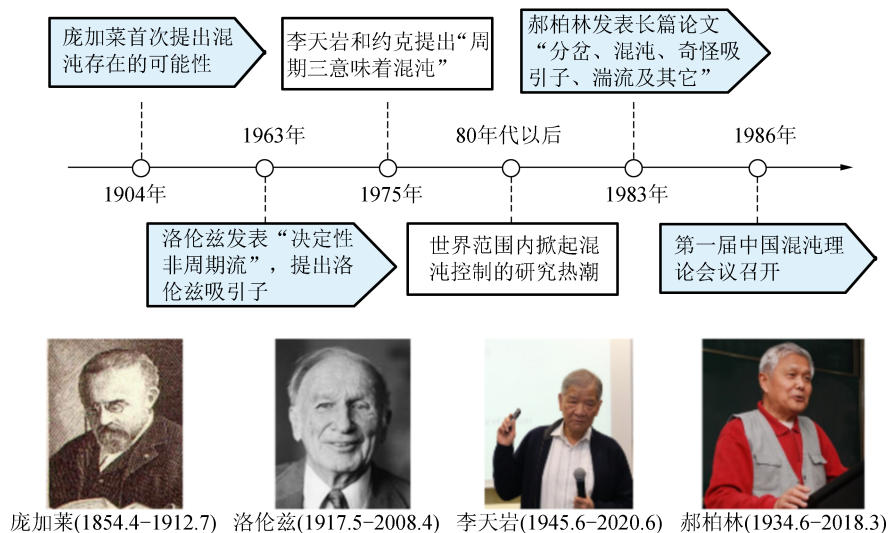


图2 学生预习PPT中混沌理论发展史示例

数学家李天岩和约克教授于1975年提出“周期三意味着混沌”的观点,这是首次将混沌的概念引入科学界。尽管李天岩长期遭受疾病的折磨,但他始终坚持在逆境中奋斗拼搏,以乐观的心态一次次战胜病魔,并在艰苦的环境中做出一流的研究工作^[5]。此外,郝柏林教授在混沌理论发展中也作出了重要的贡献,其综述论文比较系统地评述了这一领域的现状和问题^[6],在文革期间仍然做出较好的工作^[7],他的一生也顺乎历史潮流,坚持奋斗,在投身专业科学研究的同时,怀着高度的责任心关注国家科技发展^[8]。科学家贡献和其生平故事的引入,有助于激发学生的爱国主义情怀,培养其不畏困难、勇攀高峰的精神。

学生预习汇报后,教师与学生、学生组间继续进行讨论,深入了解洛伦兹发现“蝴蝶效应”的实验背景。爱德华·洛伦兹在验算大气系统时,因不放心只算了一次的结果,决定再做一次计算,但为了节约时间,他对计算过程稍作改变,利用一部分上次得到的结果,省略掉前部分的计算后继续演算,而2次结果却千差万别,最后他发现因输入数据与原始数据存在千分之一的变化,致使2次计算结果发生较大偏离。这个看似随机的结果,洛伦兹却一直深入研究,最后将气象预报模型里的上百个参数和方程简化为3个微分方程组,

即著名的洛伦兹方程。洛伦兹的发现源于偶然的一次结果,但并不满足于当时的确定性思想,打破固有思维的束缚,不断探索,最终开创了一门新科学^[3]。一方面,通过了解实验背景,学生可以深刻体验到科学研究的不确定性和探索的艰辛,从而培养学生对科学研究的尊重和敬畏之心^[9];另一方面,通过实验案例背景的挖掘,学生可以领会科学家实事求是、追求真理的科学精神,培养学生的批判性思维。

1.2.3 实验操作

通过实验学习新的科学思维方法。计算机数值模拟方法是指利用计算机进行模拟和计算来研究和探索物理现象的方法。在洛伦兹混沌系统实验中,运用计算机模拟方法,通过物理建模和编程,探索混沌系统的初值敏感性和倍周期运动。实验过程中,坚持“教师引导,学生自主”的教学原则,让学生独立完成实验探索。学生充分理解教材附录中Lorenz吸引子的C语言演示程序,编程获得 $x-t$ 图,验证混沌系统对初值的敏感性;编程获得 $x-y$, $x-z$, $y-z$ 图,观察混沌吸引子图;编程验证混沌系统的倍周期运动等。

首先,以初值敏感性探索过程为例,在设定不同初值观察系统经长时间迭代的时域图时,虽然计算机数值模拟可以任意调节参数,但如何选择

合适的参数进行实验探索并不是盲目的,学生需要从研究目的出发,根据初次调试结果,发现问题并分析时间分辨率对图像结果的影响,最终解决问题。其次,通过实验理解相图法这一非线性动力学最基本的方法。在洛伦兹混沌系统,通过3个变量即三维相空间来确定系统的状态,每个点 (x, y, z) 代表系统的1个特定状态,相图就是在相空间中绘制出系统在不同初始条件下随时间演化所形成的轨迹,通过这些连续的轨迹可以直观地观察洛伦兹混沌系统的状态,如奇异吸引子等。实验观察到三维相空间在某一平面的投影,即二维相图,都可观测到混沌吸引子的现象。此外,通过控制变量法,理解实验参数 Displayafter 设置的意义。此环节着重培养学生的问题意识、探索精神和良好的实验习惯。

1.2.4 数据处理与分析

实验过程中,小组学生应该独立完成实验,准确记录实验数据并保存洛伦兹混沌系统的实验图像。实验数据的记录要求真实,以培养学生追求真理、实事求是的科学态度。如在初值敏感性探索过程中,学生往往将前后2次运行结果分离,实验结果分析不够直观,引导学生考虑将其重叠,并进行对比分析,再现洛伦兹的实验结果分析过程(图3),直观探索混沌系统的初值敏感性。再如倍周期运动的观察和记录,编程的输出结果可能存在超出屏幕观察范围的现象,学生应善于观察实验结果,细致分析参数的选择和调试,培养科学严谨的作风和细心观察能力,从而实现实验的育人功能。

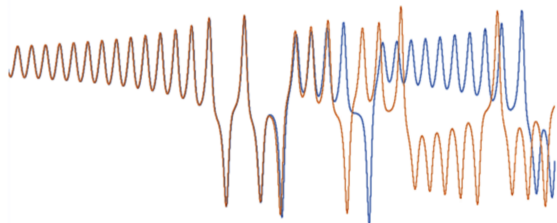


图3 洛伦兹混沌系统初值敏感性探索

基于编程结果,学生需对实验结果进行分析,得出实验结论。在此过程中,通过实验结果的分析,加深对混沌实验理论的理解,将实验结果与附录运行结果进行比较,进一步培养学生严谨的科学态度。

1.2.5 总结汇报

学生结合混沌系统的基本特征,进行实验的总结反思,并在总结汇报环节进行交流(图4),进一步深入了解前沿科技及应用。如2021年诺贝尔物理学奖获得者帕里西的相关工作,揭示了无序复杂系统中存在的普适规律^[10]。从计算机数值模拟作为研究范式角度,引导学生注重学科交叉,跨学科实践和应用。再如2024年诺贝尔物理学奖表彰了使用人工神经网络进行机器学习的基础性发现和发明,引发社会关于人工智能的热议,反映物理学的无处不在^[11],也说明21世纪学科交叉研究的重要性^[12]。此外,洛伦兹的混沌理论是研究课堂教学混沌现象的理论基础,研究课堂教学混沌有助于教师辩证地认识教学混沌,有利于课堂教学的改革与创新^[13]。课堂研究中可通过程序性探究与随机性探究的结合来创造教学的弹性空间,把握师生协作的催化效应,从混沌出发走向有序和协同^[14]。这种团队合作的学习方式不仅可以培养学生的合作精神和集体意识,也有助于提高学生思考问题的深度和广度,使他们更好地理解和应用洛伦兹混沌系统,进而培养学生的科学思维。

► 思考与感悟



图4 学生总结汇报示例

1.2.6 实验拓展

实验及汇报交流结束后,学生完善最终的实验报告。除课堂教学内容外,布置课外拓展阅读,并将“利用洛伦兹水车研究混沌现象^[15]”“基于弦振动的混沌实验装置研制^[16]”“蔡氏混沌电路实验的改进设计^[17]”等例子与现有实验内容相结合,并结合广东省大学物理实验竞赛选题,通过学生们实践创新的真实案例,开拓学生视野,拓展学生思维,注重学生创新意识的培养。

2 洛伦兹混沌系统实验课程思政的教学效果

为了解洛伦兹混沌实验课程思政的实施情况,采用网络问卷调查的方式,向选做过该实验的96位学生发放问卷,回收有效问卷数86份,有效问卷回收率为89.58%。问卷结合洛伦兹混沌系数实验的教学目标,调查学生经过实验学习后,在知识目标、能力目标和素质目标3个维度自我报告的学习成果提升程度。

2.1 知识目标层面

知识目标层面的调查结果如图5所示,在目标1(了解混沌系统的定义和特点)方面,有88.4%的学生表示提升较多;目标2(理解混沌系统相关物理概念)方面,87.2%学生自我报告提升较多;目标3(了解混沌理论的发展历史和应用)方面,84.9%学生认为提升较多。整体上,近8成学生在知识目标的3个方面均有较大提升。

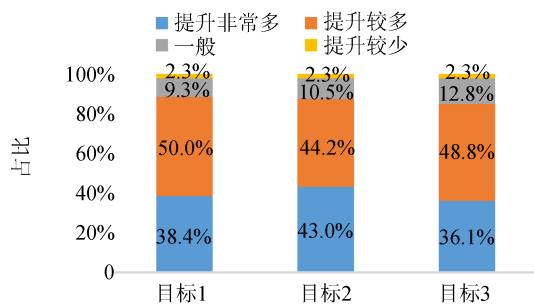


图5 知识目标选项占比图

2.2 能力目标层面

能力目标层面的调查结果如图6所示,在目标1(理论联系实际、实验操作和结果分析能力)方面,77.9%学生表示有较大提升;目标2(团队协作、问题解决能力)和目标3(实验探索能力)方面,88.4%学生表示提升较大。整体上,仅有4%的学生表示提升较少,约96%学生在能力目标的3个方面均有所提升。

2.3 素质目标层面

素质目标层面的调查结果如图7所示,在目标1(领会实事求是、勇于探索的科学家精神)方面,80.20%的学生有较大幅度的提升;目标2(激发学生的家国情怀和责任担当意识)方面,82.6%的学生表示提升较多;目标3(培养学生分析和解决问题的能力,发展批判性思维)方面,87.6%的

学生有较大程度提升;目标4(实事求是的科学态度)方面,86.0%学生提升较多。综上所述,近80%学生在素质目标上有较大程度提升,进一步表明洛伦兹混沌系统实验课程思政的有效实施。

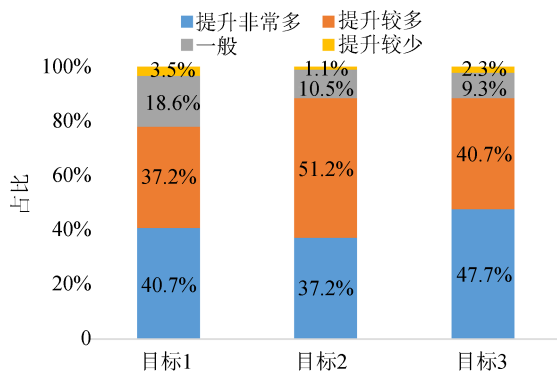


图6 能力目标选项占比图

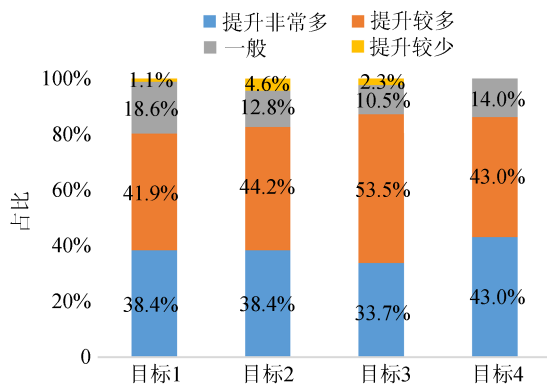


图7 素质目标选项占比图

3 结束语

本文以洛伦兹混沌系统实验为例,分别从自主预习、预习汇报、实验操作、数据处理与分析、结果汇报、实验拓展等环节中探索了如何将课程思政融入实验教学的全过程,以实现实验育人与思政育人的有机融合。同时,问卷调查结果也表明学生经过洛伦兹混沌系统实验学习后,在知识目标、能力目标、素质目标等方面均有较大幅度的提升。未来,近代物理实验课程也将从教学方式、多元化评价、师资队伍建设等方面持续改进。

参考文献:

- [1] 教育部. 关于印发《高等学校课程思政建设指导纲要》通知[EB/OL](2020-06-01)[2024-04-15]. <http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202006/>

- t20200603_462437.html.
- [2] 刘玉颖,金仲辉,李顺烨. 谈谈混沌[J]. 物理与工程,2018,28(5):59-62.
- [3] 詹姆斯·格雷克. 混沌:开创一门新科学[M]. 楼伟珊,译. 北京:人民邮电出版社,2021:2-23.
- [4] 吴先球,熊予莹. 近代物理实验教程[M]. 2版. 北京:科学出版社,2013:311-318.
- [5] 丁玖. 数学家李天岩的治学之路[J]. 高等数学研究,2021,24(4):60-65.
- [6] 郝柏林. 分岔、混沌、奇怪吸引子、湍流及其它:关于确定论系统中的内在随机性[J]. 物理学进展,1983(3):329-416.
- [7] 刘寄星. 历史的回顾与漫谈:中国学者与统计物理学[J]. 物理,2023,52(9):591-604.
- [8] 厚宇德. 郝柏林论基础研究的重要性与管理得失[J]. 科学文化评论,2022,19(5):72-88.
- [9] 庄娟,李雪春,秦颖,等. “近代物理实验”教学过程中的课程思政[J]. 物理与工程,2021,31(S1):99-102.
- [10] 江少钦,余雪佳,徐莉梅. 无序复杂系统中的序:2021年诺贝尔物理学奖解读[J]. 大学物理,2022,41(2):7-14,62.
- [11] 严粒粒. 诺贝尔物理学奖爆冷背后物理学无处不在[J]. 科学大观园,2024(21):24-25.
- [12] 陆成宽. 学科交叉研究为人工智能开辟新天地[N]. 科技日报,2024-10-09(03).
- [13] 陆丽莉,李如密. 课堂教学混沌的特点、价值及其转向[J]. 中国教育科学(中英文),2021,4(4):67-75.
- [14] 王娟. 从强制秩序到混沌秩序:“混沌”的教学意义探究[J]. 教育理论与实践,2018,38(2):3-5.
- [15] 成乃涵,程敏熙,李春兰,等. 利用洛伦兹水车研究混沌现象[J]. 大学物理,2020,39(1):66-70.
- [16] 丁格曼,徐颂华,林垠炯,等. 基于弦振动的混沌实验装置研制[J]. 物理通报,2021(2):76-79.
- [17] 戚慧珊,杨明健,刘百钊,等. 蔡氏混沌电路实验的改进设计[J]. 大学物理实验,2019,32(2):66-71.

Exploration of the teaching of curriculum ideology and politics in Lorentz chaotic system experiment

DING Geman^{a,b}, LIU Hongli^a, FU Silie^{a,b}, LIU Zhaohui^{a,b}, WU Xianqiu^{a,b}

(a. School of Physics; b. National Demonstration Center for Experimental Physics Education (South China Normal University), South China Normal University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Taking the Lorenz chaotic system experiment as an example, the implementation process of experimental teaching that integrates ideological and political education was demonstrated. It comprehensively explored the entry points for incorporating ideological and political elements throughout the entire experimental teaching process, aiming to achieve an organic integration of professional knowledge and ideological education. Survey results indicated that after learning through the Lorenz chaotic system experiment, students had shown significant improvement in three dimensions: knowledge objectives, competency objectives and quality objectives.

Key words: curriculum ideology and politics; ideological and political elements; modern physics experiments; Lorentz chaotic system

[编辑:郭 伟]