

物理  
(二)

中学生探索学习丛书

# 走近混沌

主编 张世远

TAN SUO XUE XI

江苏科学技术出版社



物理(一)

# 走近混沌

TAN SUO XUE XI

中学生探索学习丛书

主编 张世远

江苏科学技术出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

物理 .1, 走进混沌/张世远主编. - 南京: 江苏科学技术出版社, 2000.9

(中学生探索学习丛书)

ISBN 7-5345-3201-9

I. 物... II. 张... III. 物理学-青少年读物

IV. 04-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 46577 号

中学生探索学习丛书·物理(一)

### 走近混沌

---

主 编 张世远

责任编辑 王永发

---

出版发行 江苏科学技术出版社  
(南京市湖南路 47 号, 邮编: 210009)

经 销 江苏省新华书店  
照 排 南京展望照排印刷有限公司  
印 刷 如 东 县 印 刷 厂

---

开 本 850×1168 毫米 1/32  
印 张 6.625  
字 数 170 000  
版 次 2000 年 9 月第 1 版  
印 次 2000 年 9 月第 1 次印刷  
印 数 1—6 000 册

---

标准书号 ISBN 7-5345-3201-9/O·137

定 价 9.00 元

---

图书如有印装质量问题, 可随时向我社出版科调换。

## 写在前面

“路曼曼其修远兮，吾将上下而求索”，几千年前，我们的先人就发出了如此体现人之生命价值的慨叹。综观人类历史的发展，每一个足迹，都是以探索为前提的。正是因为人有了探索之精神和勇气，人的生命才不同于一般生命，人才成为万物之灵。探索，使我们在有形的世界里，领略到了无限的风光。

如今的时代，是以人的素质发展为主题的，对人的探索精神提出了前所未有的要求。由传统因袭下来的“模式化”教育，已不能适应信息时代对人成长的需要。提高国民的素质，成为当务之急。素质的一个综合性的体现就是科学素养，即探索事物的心理品质。科学可以塑造人类思维和感觉的模式，并使他们的行为受到微妙的影响，而“微妙的影响”就是科学探索的精神。这种精神，应当从人的幼时开始培养。青少年更应当有意识地在探索学习中，塑造创新的个性，投入创新的世界，参与创新的竞争。

《中学生探索学习丛书》抖落“应试”的尘土，带着丝丝沁人心脾的清新，向中学生走来！

本套丛书立足课内知识,用心在课外探索,以中学各年级已开设的主要课程为线索,适应教育部关于中学各学科新教学大纲的思路,以“四新”(新材料、新观点、新视野、新发现)、百家争鸣、热门话题为基本架构,反映各学科研究领域多元化的、辩证的、前沿的观点、思想和方法等,为研究性学习提供了丰富的背景材料,从而引导学生进行知识创新、思想创新、方法创新。

博学资深的院士,才思敏捷的年轻博士,为中学生奉献了他们的学识、才华和智慧,也正因为他们的强强联手,还给本套丛书增加了知识含量和欣赏品味。

拥有《中学生探索学习丛书》,你一定会鼓起探索的勇气,进入课本之外的大千世界、未知天地!

我们期待着!

江苏科学技术出版社

江苏人民出版社

2000年9月

M215/1053

## 前 言

今天,科学技术已与你的生活、学习和工作息息相关,无论是家用电器、交通、通信、教学和办公设施,还是日常的衣、食、住等方面,总之,我们所看到的、听到的、触摸到的东西几乎都有高技术的产品。很难想象,一旦失去这些东西,我们的生活将会变得怎样。此时,我们不由得会想到给予我们如此恩惠的古往今来的那些献身于科学事业的人们,正是他们敢于探索、勇于创新的精神,科学技术才能不断进步、发展,才会有今天如此辉煌的成就。

人类文明史告诉我们,社会发展与科学技术的进步密不可分。近代科技史上发生的三次技术革命,即18世纪中叶以蒸汽机为代表的机器大工业代替传统的手工工场;19世纪70年代以电力、化工、自动化等为代表的产业代替机械化产业;20世纪40年代以原子能、计算机、新材料等一系列新兴产业代替传统产业。这三次技术革命都使生产力得到了飞速发展。我们不难看出,物理学在这三次技术革命中起了十分重要的作用。可以预料,物理学及物理学与其他学科相互渗透的交叉学科,将会在今后的技术革命中发挥更加重要的作用。因此,物理学各领域的研究现状及发展方向,物理学家在干些什么,受到人们的关注。为此,物理分册撷取了物理学各领域中具有前沿性的一部分新理论、新技术、新观点以飨读者,同时介绍物理学家在研究

中的探索过程,使读者不仅学到物理学理论知识,还能学习科学研究方法。

物理分册在编写过程中得到了王业宁和张淑仪两位中科院院士及南京大学原教务长欧阳容百教授的积极支持、关怀和指导,并亲自撰文。在组织和编写过程中,南京大学物理系主任张世远教授、电子科学与工程系主任高敦堂教授和原系主任孙广荣教授、东南大学物理系主任黄洪斌教授、南京师范大学物理系主任童培庆教授和袁启荣副教授等给予了有力支持。江苏省物理学会副理事长陈坤基教授,秘书长王永新副教授、副秘书长张尧培副教授,常务理事、学会静电专业委员会主任吴宗汉教授和常务理事、学会科普工作委员会主任杨松龄教授等积极参与本书各项工作。在此,我谨向他们表示衷心的感谢。

徐龙道

2000年9月

---

丛书策划：苏教言

物理分册策划：李 容

物理分册科学顾问(中科院院士)：

王业宁 张淑仪

物理分册编委会主任：徐龙道

物理分册编委会：

欧阳容百 张世远 孙广荣 张尧培

袁启荣 李 容



# 目 录

绮丽的非线性世界·····	1
混沌探谜·····	11
奇特而有魅力的耗散结构·····	24
物理学的一件大事·····	33
物理学中一个老大难问题·····	39
初识孤子·····	45
浅谈超流·····	52
光学中的魔方·····	60
奇妙的X光·····	67
多彩多姿的激光·····	78
奇异的铁电体·····	86
合金也会记忆·····	94
纳米将和你共舞·····	104
物质结构的新层次·····	117
希罕的稀土·····	132
非晶开新宇·····	142
寻求高转变温度超导体的机遇·····	154
到正常态探索高温超导电性之谜·····	159
让我们迎接第四个“超导热”·····	162
高温超导材料的新热点·····	166

室温磁制冷能实现吗·····	170
磁电子学的基石·····	178
电子排队过隧道·····	183
真的能隐身吗·····	193
水的奥秘·····	200

## 绮丽的非线性世界

人们很习惯于一种思考方式：完全相同的电炉加上完全相等的电压时将会产生完全相等的热量，用一个电炉可以产生一份热量，用两个电炉则产生两份热量，天经地义！按这种规律行事的范畴属于线性世界。那么，在现实生活中有没有不按这种规律的情况？有，那就属于非线性世界了。在非线性世界中，有很多现象看起来简直不可思议，但它们确实存在，而且服从一套新的规律。

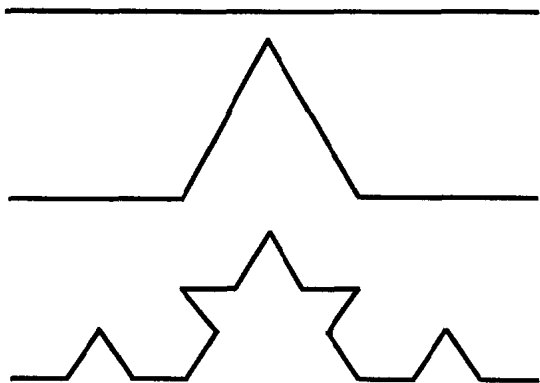
### 海岸线有多长？

美国数学家芒德波罗提出了一个貌似简单但又十分有趣的问题：英国的海岸线有多长？答案是它的长度并不确定，长度和测量它的直尺的长度有关。粗看起来，好像很荒唐，然而仔细想来并非没有道理。我们知道，海岸线是自然界的产物，它曲曲弯弯，蜿蜒多姿，形成了无数的港湾。当我们用一根 10 千米长的直尺测量某一段海岸线时，会得到某个长度，但是如果用一根长 1 千米的直尺测量同一段海岸线时，你就会发现，它的长度变大了。乍一看，一定是测量有误。其实，这一结果并没有错，因为海岸线是曲折的。假定一段海岸线两个端点间的长度正好是 10 千米，当人们用 10 千米长的直尺测量时，就会说这段海岸线

的长度就是 10 千米!他们没有办法用这根直尺去测量海岸线的弯曲部分。但如果用长度为 1 千米的直尺测量时,这段海岸线的长度一定大于 10 千米,完全正确。要是用长为 100 米的直尺测量,它的长度会不会更长呢?会,一定会,因为还有很多海岸线的弯曲部分没有被测出来。于是,可以想象,直尺越短,这段“10 千米”长的海岸线长度会越长。那么,当测量的直尺长度越来越短时,那段海岸线的长度会越来越长吗?看来一定是这样。只有当测量时在直尺的范围内海岸线不再弯曲,和直尺一样完全直,这时测得的长度不会再增加,即使用长度更短的直尺来测量,结果也不会再改变。

上面的测量结果既合理又有点奇怪,在道理上能够解释吗?数学家芒德波罗仔细研究了这个问题。在现实生活中,人们很容易理解:我们生活的空间是三维空间(简单地说,由长、宽、高构成的空间就是一个三维空间,我们所看到的物体是立体的),那么一个面呢?显而易见,它是二维的(例如,一帧照片,它只有长和宽,没有高)。至于一条非常细的线,它只有长度,因此它是一维的。这些线、面、体的维数都是整数,但是那段海岸线是一维的吗?芒德波罗认为问题没有那么简单,海岸线并不是光滑变化的,它往往是支离破碎的、不规则的。对这种情形,芒德波罗称之为分形。这种海岸线不是一维的,但也不是二维的,它的维数介于 1 和 2 之间,究竟是多少,要依海岸线的破碎程度而定,因此分形的维数不是整数。看来整数维和非整数维所描绘的是两个不同的“世界”。如果线虽然支离破碎但又服从一定规则,它可能是分形吗?结论是可能的。有一种“曲线”叫做科赫曲线(见图),它是分形的。作法规则如下:先作一段单位长的直线,而后把它三等分,抽去中间一段,用两段长度为原直线三分之一长的直线,作成图中第二行那样,再按上述方法作成图中

第三行……一直作下去。不难看出,它既是支离破碎但又有规则,而且维数大于1小于2。



科赫曲线

维数可能小于1吗?可能!那就是康托尔集,它有各种奇怪的结构,下图是最简单的一种。它的生成方法如下:先取一段单位长度的“线”,然后把它中间的三分之一长度去掉,剩下两段的长度均为原长度三分之一。如法炮制,一直可以做下去。不难发现,黑短线的总长度越来越短,最后趋于零。它的维数可以计算出来,近似为 $0.66\dots$ ,小于1。

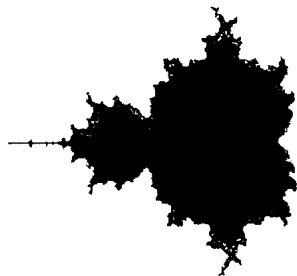


康托尔集

利用各种各样的画图规则可以画出具有分形性质的美丽的图形(目前,它们已经用于纺织工业,有些绚丽多彩的地毯、窗帘的图案就是用分形方法作成的),甚至可以模仿出自然界中的树叶、雪花、地形、云彩等,这是为什么?是否是一种自然界运动内在规律?有没有更深的涵义?

## 这是什么图形?

左图是一种奇怪的图形,一个大黑盘有点像人的心脏,它的左边有一系列的黑色圆盘,一个比一个小,它的上面和下面也有很多大小不等的圆盘。各种大小的圆盘上又有比它小的各种不



芒德波罗集



芒德波罗集(精细)

[引自《皇帝新脑》,罗杰·彭罗斯著,许明贤、吴忠超译,湖南科学技术出版社]

同的圆盘。在图中的边缘处还有很多形状各异的弯曲状枝条,它们又是什么?为了看得清楚一些,可以再画一张比较精细(分辨率较高)的图形(右图)。啊!原来有很多像海马尾巴一样的卷曲着的线,而中心部位正好是上图的形状,它像个外表并不光滑的葫芦,真有意思。人们会说,这一定是用复杂的数学关系得

到的。其实不然,数学家芒德波罗用复数二次代数方程经过迭代算法得到了这种有趣的图形。过程如下:先任意给定复数二次代数方程中的复数常数,解出方程中的未知数(也是复数),然后把解出的复数当做方程中的常数,再一次解出方程中的未知数,这种做法可以一直继续下去。如果发现该结果趋向于某个定值(人们称之为收敛),就在那个复数平面上点上一个黑点(复数平面的横轴代表实数部分,纵轴代表虚数部分,那个黑点的位置对应方程中第一次给出的复数常数)。于是可以任意给出非常多的初始的复数常数,把经过无数次迭代后收敛的那些初始的复数常数用黑点标在复数平面上,就可以得到上面的图形。这种黑点的集合就叫做芒德波罗集。一个简单的复数二次代数方程,经过迭代算法竟然能得到如此美妙的图形,真有点不可思议!事实上,只要提高作图的分辨率,可以把图形作得越来越精细。一种简单的数学运算,竟能得到如此复杂的结果,这就是科学家正在研究的复杂动力学系统、复杂性理论。

## 美丽的花纹与非线性振荡

在化学世界里,有一种奇特的化学反应,在反应器皿中,随着时间的推移,它能够形成多姿多彩的花纹。在20世纪50年代末人们发现当用铈作催化剂时,在硫酸溶液中丙二酸被溴酸盐所氧化,这种反应在时间上会交替出现还原状态和氧化状态,原来这是一种非线性化学振荡,它使反应皿中出现了美丽的花纹,表现出空间自组织特性。下图是这种化学反应(称为别洛乌索夫-扎博京斯基反应)的图形(不同时间),有套在一起的圆圈状,也有螺旋状。诺贝尔奖获得者普里高津对上述反应作了仔细研究,发现了形成这种过程的原因,原来这是一种非线性的反

应过程,其中存在非线性反馈,形成了非线性振荡。



### 别洛乌索夫-扎博京斯基反应

[引自《时间之箭》,彼得·柯文尼、罗杰·海菲尔德著,江涛、向守平译,湖南科学技术出版社]

这种非线性振荡是否只存在于化学反应中?非也,在生态界也有这种现象存在。最明显的例子是狐狸与野兔的关系。当在某个地区的野生动物只有狐狸和野兔时,它们数量间的关系会基本呈现一种非线性振荡:狐狸以野兔为食,大量野兔被狐狸吃掉了,由于野兔数量众多,狐狸的食源丰富,于是它们的数量大增,结果,使野兔不但增殖率下降而且数量也下降。这样狐狸面临着饥荒,它们增殖率随之下降而且饿死者众。结果野兔的数量得以慢慢恢复,增殖率也开始上升。科学家们发现这种情况周而复始,显然是一种振荡。但它有个特点,即狐狸数量的变化总是落后于野兔数量的变化,这种有趣的现象称为滞后。其实非线性振荡在很多地方都存在,在人体内就有!你相信吗?

非线性振荡在正常人身上是存在的,不论是呼吸还是心跳等等都绝少表现出绝对的周期性,医学界研究发现,它们的不均匀性比最初想象的大得多。高德伯格等人提出,正常的、健康的动力学特性是“混沌”的,而疾病倒是与周期性性态有关联。为此,科学家已把和这种以异常周期活动为特征的疾病称之为“动



态病”，在临床医学上，建立这种病的生物学模型，用来进行诊断和治疗。

## 奇特的水波

19世纪中叶，有一位英国工程师，名叫拉塞尔。一天，他闲来无事，骑马沿一条河流走去，河中来来往往的船只引起了他的兴趣。他发现，有一条船突然停驶，但是船舷两侧的水流并没有停止，而是继续向前流去，它们形成一个水堆，大约10米长，近1米高，这水堆继续向前方流着，形状基本不变。他感到非常惊奇，于是就骑马跟着水堆走了很长一段路，使他百思不得其解的是：什么力量使水堆在没有依托的情况下竟然能运动那么远的距离而基本保持不变？这是一个令人深思的奇怪现象。于是有一些科学家对此现象进行了研究，他们用一个水槽做实验，发现果真如此！科学家经过研究，发现水堆运动速度与水堆幅度和水槽深度有关，由此导出了所谓KdV方程，它不仅能够描绘这种水堆的运动，而且还给出了水堆运动能够保持形状基本不变的机理。

一个水堆，在没有任何依托的情形，一般不可能在运动中保持形状不变。什么力量有这么神奇的效果？原来是非线性在起作用。一个运动水堆会散开以致消失，这是正常现象，这种散开在物理上可以叫做色散。但是从KdV方程的理论分析发现，它除了色散作用外，还有一种作用：水堆的幅度越高，这高的部分运动速度越快，结果会产生所谓头重脚轻（“头”在前而“脚”在后）的现象，按理这水堆应当跌碎，但是由于同时存在色散作用，当这两种作用正好达到平衡时，就会出现上面所讲的情形。科学家把这种现象称为孤立现象，这种水堆就叫做孤立子。孤立