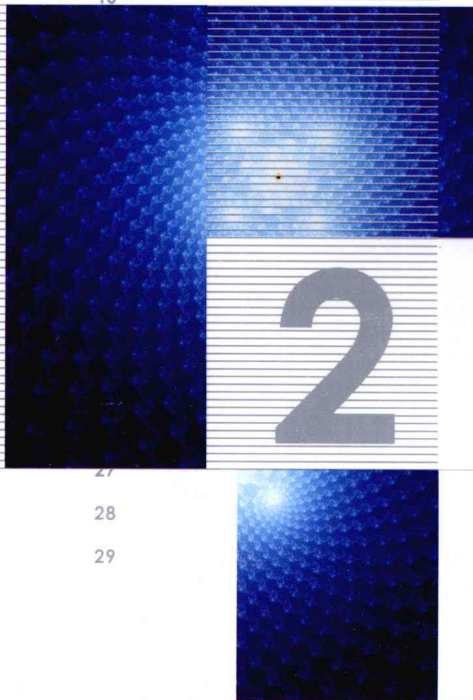


科学的睿智与美妙

数蕴玄学与面对复杂

Wisdom and Elegance of
Science

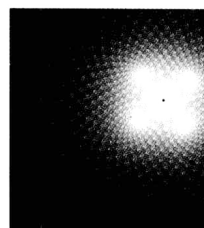
The Hidden Patterns of Numbers from
Simple to Complex



师汉民 著



高等教育出版社



科学的睿智与美妙

数蕴玄学与面对复杂

Wisdom and Elegance of Science

The Hidden Patterns of Numbers from
Simple to Complex



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

图书在版编目(CIP)数据

科学的睿智与美妙. 数蕴玄学与面对复杂/师汉民著.

—北京: 高等教育出版社, 2010. 10

ISBN 978 - 7 - 04 - 030918 - 8

I. ①科… II. ①师… III. ①散文—作品集—中国—
当代 IV. ①1267

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 189247 号

策划编辑	刘占伟	责任编辑	刘占伟	封面设计	刘晓翔
版式设计	刘晓翔	责任印制	毛斯璐		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 18.25
字 数 360 000

购书热线 010 - 58581118
咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010 年 10 月第 1 版
印 次 2010 年 10 月第 1 次印刷
定 价 39.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 30918 - 00

内容简介

本书由29篇科学散文组成，分为“数蕴玄学”和“面对复杂”两篇，探数学之奇景，究复杂之渊源。这些文章在传授科学知识时注意揭示其背后的哲理；在介绍科学成果时注意说明其秉持的方法；在讲述科学史实时注意阐发其所包含的情趣。

此书适合具有高中以上文化水平的读者阅读；适合作为各专业大学生的课外读物。

与此书配套出版的还有另一本书：《科学的睿智与美妙——天地之间与物含妙理》，该书由21篇科学散文组成，分为“天地之间”和“物含妙理”两篇。

作者希望以这两本书向高中生、大学生及社会大众提供一份获取科学知识、学习科学方法、领略科学旨趣的“知识套餐”。

“路漫漫其修远兮，吾将上下而求索。”

——屈原《离骚》



师汉民，华中科技大学机械科学与工程学院教授，博士生导师。1962年华中工学院机械工程系机械制造专业本科毕业，1965年该校研究生毕业。曾在英国伯明翰大学进修两年，在美国密歇根大学任访问教授一年，香港科技大学任访问教授两个月。

曾任国家自然科学基金委员会机械制造学科发展战略研究组组长，中国振动工程学会理事，《振动工程学报》、《机械工程学报》等刊物编委。

发表论文330余篇，其中数十篇被SCI、EI及ISTP检索、收录，出版专著、教材和科普书籍5部。获19项国家级或省部级奖励。已培养博士、硕士生70余名。

近年致力于科普工作，曾经应邀在本校、外校、电视台或广播电台作过多次科技讲座、人文讲座及各种专题讲座。主持或参与过一些大型科技馆的策划与设计工作，其中有的已经建成并对外开放。应邀撰写并出版了科普书籍《人间巧艺夺天工——当代先进制造技术》，获得湖北省优秀科普著作一等奖。

写在前面

“天地玄黄，宇宙洪荒。日月盈昃，辰宿列张。”的确，太空浩淼，宇宙深邃，发人深思，耐人寻味。

自然女神羞于展现她的真容，总是将自己深锁在重重迷雾之中，以致事物的表象往往与它的实质迥异；自然女神超凡脱俗，特立独行，她的行为往往大异于世俗的“常理”或一般人的“常识”而出人意料，令人惊愕。

古今中外，多少能人志士穷毕生精力以探求宇宙的奥妙，顽强地追索隐藏在森罗万象背后的科学道理与自然规律。

科学已经不只是少数专家学者的殿堂或领地。时至今日，我们平民百姓无论在工作上，或是在生活里，比任何时候都需要科学知识。令人遗憾的是，今人或碌碌于衣食，或汲汲于名利，对于自己的生存环境反倒十分漠然；今天，人造的文明像一个茧壳，将我们包围，使我们与大自然隔离，让我们远离自然，以至对于创生我们和养育我们的大自然反倒十分陌生；社会专业分工的细化，使我们终身囿于一个十分狭窄的专业领域，知识面的狭窄往往导致思路的闭塞、思想的僵化和兴味的索然。这是非常不幸的事。

人类已经远征太空，已经能够克隆动物，已经建立覆盖全球的计算机网络。今天，科学技术已经高度发达，可是，一个现代人对于自然知识或博物知识的了解却未见得一定优于我们的前辈或古人。不信的话，不妨来试试回答下列问题，这些绝对不是什么高深的科学问题，也不属于什么专门的技术领域，而是非常非常普通的科学常识，其中有些问题，在几百年前，甚至几千年前就已经有了正确的答案：

■ 月亮为什么会有月相的变化，即周期性圆缺的变化？如果你说：那是由于地球的阴影挡住了部分月亮的缘故，那你就错了。

■ 人造地球卫星在围绕地球不停地飞行，是否也像飞机在天上飞行一样需要不断地消耗燃料？如果你说需要消耗燃料，那你就错了。

■ 大西洋两岸的非洲大陆和南美大陆是否有可能曾因相互漂移而分

离?如果你说这不可能,那你就错了。

■ 一大一小两个铁球从同一高度同时释放,哪个先落地?如果你说当然是大的先落地,那你就错了(当然,如果你说小的先落地,也不对)。

■ 一个物体没有受到力的作用,是否也会运动?如果你说物体不受到力的推动,当然就不会运动,那你就错了。

■ 白光和色光(如红色、绿色、蓝色等)哪个更单纯、更简单?如果你说当然是白光单纯,白光简单,那你就错了。

■ 我们知道,1乘以1等于1,而“-1”乘以“-1”也等于1,有没有哪个数自己乘以自己,结果等于-1?如果你说没有,那你就错了。

■ 我们知道,直线是一维的,平面是二维的,立方体是三维的,这些都是整数维;那么,有没有非整数维的形体?比如1.262维的形体,如果你说没有,那你就错了。

■ 两点之间什么样的连线最短,如果你说一定是直线最短,或沿直线最快捷,那你就错了。

■ 部分能否等于全体?如果你说那不可能,因为部分总是小于整体的,那你就错了。

.....

看看你是否能够正确地回答这些问题。若否,我希望你能认真地阅读本书及其姐妹篇《科学的睿智与美妙——天地之间与物含妙理》,与我共同切磋,共同提高,共同获取科学知识,学习科学的方法,领略科学的旨趣,让科学知识帮助我们启迪思维,开拓眼界,增长才干,以便更好地适应这个正在急剧变化的世界。

今天,我们尤其需要思考。信息爆炸,无穷无尽的选择,生活之途歧路交错,机遇和陷阱并存。浑浑噩噩,无思无虑,殆矣!

科学知识是现代文明的基础,它不仅带给我们丰厚的物质利益,而且净化我们的心灵世界,使我们能够于纷纷扰扰、熙熙攘攘的喧嚣之外领略到大自然的美妙与和谐,油然而生一份宁静和淡泊的情操。

作者曾经应邀在本校(华中科技大学)、外校、电视台或广播电台作过多次科技讲座、人文讲座及各种专题讲座,对象包括在校本科学生、硕士或博士研究生、专业教师以及社会大众。这些讲座受到听众的欢迎,引起听众的兴趣。此书将这些讲座的内容整理成篇,汇集成册。此外,书中还包括作者在长期的专业工作中的某些收获、体会、省思与感悟。对于这部分内容,都仔细地进行了“非专业化”和“去学术化”的处理。作者相信,经过这样的处理以后,剩下的恰好是问题中最本质、最核心的部分,而又适合于非专业人士和普通读者阅读与领会;作者相信这些内容对于提高在校大学生、研究生的科学素养或人文内涵会有所帮助。

作者近年来还主持或参与过一些大型科技馆、科技博物馆或科学中心的策划与设计工作,其中有的已经建成,在对外开放中出现了十分火爆的场

面。我深感广大群众对于科学知识的渴求，国家对于科普工作的高度重视，以及科学普及工作的重大意义。同时，对于科学的历史、科学的方法和科学的旨趣有了更进一步的体验和领会。作者注意将这些体验和领会融入本书的写作中。本书可作为一本普及科学知识、科学思想的科普书籍，而为社会大众所接受。

书中还有一些内容来自作者平日的杂学旁搜，作者渴望与读者分享在知识天地里徜徉和涉猎时的心得、感悟、惊异和激动。

本书由29篇科学散文组成，取材于数学、复杂性科学和系统科学等当代一些热门学科、新兴学科。全书分为“数蕴玄学”和“面对复杂”两篇。各篇文章互为参考，但又自成体系，其间并无严格的先后顺序。写作时，作者信马由缰，凭兴之所至，就兴味最浓而意味最深的地方着笔。读者可以从第一篇文章开始阅读，也可以进行跳跃式阅读。如果书中谈到的某些问题引起读者的兴趣，因而愿意继续钻研下去，就达到了本书目的。书后推荐了给读者进一步阅读的书籍，供读者选读。

国外科普大师早有警告：科普著作中出现一条数学公式，将会吓跑一半的读者。本书作者经过反复斟酌，仍然“冒读者之大不韪”，写入了某些数学公式，因为深感必要。不过，这些公式基本上局限在中学数学的范围；对于少数超出中学数学范围的公式都做了尽可能通俗的讲解。读者大可不必因为这些公式而退却。如果有的读者实在害怕这些公式，不妨跳过去，并不会影响对其它内容的阅读和理解。

书中内容涉及范围比较广，作者知识有限，远非“通才”，论述中难免有一些不规范、不严格、不妥当、甚至不正确的地方，或者，说了一些“外行话”。切望海内能人不吝指教。作者随时恭候来自各方的批评和建议。

科学绝不枯燥乏味。科学的发现和科学成果精美绝伦，充满了睿智与美妙，魅力无限，令人赏心悦目；科学的征途令人激情万端，心潮难平。科海之大，无垠；科海之深，莫测。今夜月白风清，海天空明，流光万里，何不与我一起泛舟中流，畅游科海，“纵一苇之所如，凌万顷之茫然”，其乐也融融，其趣也盎然，何乐而不为？

师汉民

2007年8月27日

电子信箱：hmsi2001@gmail.com

目 录

第一篇 数蕴玄学

003 1. 心中有数——人类计数体系的扩充

- 003 自然天成的自然数
- 005 比零还要小的负数
- 006 上帝创造的整数
- 007 译名欠妥的“有理数”
- 009 道是无理却有理的无理数
- 011 实实在在的实数
- 011 并不虚幻的虚数
- 012 虚实兼济的复数
- 013 “数”还在扩充

014 2. 悖论风云——一种深刻的“荒谬”

- 014 悖论种种
- 015 悖论和数学危机
- 017 几个有代表性的悖论
- 020 悖论的成因
- 021 悖论的消解

023 3. 无限风光——风光无限观无穷

- 023 一家奇怪的旅店

024 无穷集合的元素也有多少之别

- 025 可数基数，无穷集合的最小基数
- 027 连续基数，比可数基数高一级的基数
- 029 无限升高的基数
- 030 连续统假设
- 031 康托尔的不幸人生

032 4. 思虑入微——微积分的睿智（上）

- 032 定积分，从“化整为零”到“集零为整”
- 036 微分，从区间平均变化率到瞬时变化率
- 038 曲线的走向和极值

039 5. 思虑入微——微积分的睿智（下）

- 039 高阶导数
- 040 瞬时速度和瞬时加速度
- 041 牛顿-莱布尼茨公式
- 042 求原函数，微分的逆运算

044 6. 公理体系——严密而优美的逻辑结构

- 045 直觉重要，但往往不可靠
- 045 公理方法的发端
- 046 第五公理起波澜

047	非欧几何的发现
049	现代公理方法
051	同构, 公理体系的解释、实现和模型
052	公理系统相容性的探讨
054	各种几何的真实性与正确性问题
055	7. 多维世界——感受不同维数的空间
056	二维王国
060	三维世界三维人
061	四维空间里的几何形体
065	超弦理论说: 空间不止三维
066	8. 乱极生治——出于混乱的规律性
066	两极相通
067	打麻将和“十三乱”的哲理
067	起源于赌博的一门学问
068	是谁在操控骰子?
070	随机现象中的误解和悖论
074	二项式分布
075	正态分布
076	概率控制着事物的走向
078	上帝到底掷不掷骰子?
079	9. 曲直之辨——直线未必是捷径
079	专走捷径的光线
081	泛函与变分
083	曲面上的最短路径
085	宇宙间根本没有直线路径
087	10. 一笔成画——图形的一种拓扑性质
087	哥尼斯堡七桥的故事
088	欧拉的研究方法与思路
089	图形能否一笔画出来的关键所在
090	考考你:
090	余兴, 一笔勾划出39位美国前总统的肖像
092	11. 遗传算法——生物进化机制的妙用
092	生物进化的机制

094	遗传算法的基本思想和方法
097	遗传算法的特点
099	遗传算法的改进
100	双目立体视觉系统参数标定
100	生产线上的零件排序优化
102	让动画人物自己学会走路
103	12. 神经网络—— 模仿大脑的新一代计算机（上）
104	人体的神经网络
106	人工神经元
109	人工神经网络
110	前向神经网络的应用
113	13. 神经网络—— 模仿大脑的新一代计算机（下）
113	霍普菲尔德网络
116	人工神经网络的特点
118	人工神经网络与人的神经网络
118	神经网络计算机与冯·诺依曼机的比较
120	神经网络计算机的局限性
121	14. 歧路亡羊——当代计算机面临的困境
121	组合爆炸的威力
124	算法的时间复杂性
127	指数复杂性是一个十分顽固的问题
128	一个计算问题的时间复杂性与算法有关
129	非确定性多项式复杂性（NP-问题）
130	悬赏100万美金的难题（ $P=NP?$ ）

第二篇 面对复杂

135 15. 复杂之源——非线性是导致复杂性的根源

135 山上有座庙

136 路上有道卡

136 系统分几类

137 线性系统的求解方法、叠加原理

139	累进税制与非线性	174	假如几何点也有智能……
140	非线性系统和非线性科学	176	天下兴亡多少事
141	16. 混沌莫测——确定性和可预见性的终结	181	20. 群英争辉——
142	决定论的思想		多智能体的智慧和行为（下）
142	混沌被发现，被逮住	181	结盟的势能理论
144	逻辑斯蒂方程和二次迭代	183	奇妙的自组织
144	这里有混沌	185	出人意料的突现行为
145	二次迭代的三种归宿	185	分布式的结构
146	无限漫游	186	多智能体研究的现状及其发展趋势
147	通向混沌之路	187	多智能体系统的启示和教益
149	混沌区的复杂图景		
151	奇异吸引子	188	21. 尺度效应——
			事物尺度变化带来的性质改变
152	17. 分形奇葩——破碎中的美	189	“小人国”和“大人国”真的可能吗？
153	海岸线到底有多长	192	工程结构中的尺度效应
153	美丽的雪花岛	194	“比表面积”与物性
155	秉性怪癖的鬼怪曲线	196	千万不要以为大小事物一定成比例
155	分形图形的非整数维		
157	充满整个平面的曲线	197	22. 逆向思维——
157	并非一无所有的康托尔尘埃		当正向思考遇到困难时……
158	丰富多彩的分形图形	197	篮中有几个鸡蛋
159	太空中物质分布的分形结构	198	一个玩牌的游戏
160	栩栩如生的分形仿真	199	分析数学问题要学会“退”
		201	一种倒过来思考的优化方法
162	18. 突然之间——突变论的思想和特征	202	工程问题中的逆向思维
162	势能曲线、平衡点及其稳定性		
163	结构稳定性和控制变量	204	23. 归纳天梯——开拓知识疆域的必由之路
164	齐曼的突变机器	205	归纳始于“猜想”
165	尖点突变的数学模型及其特征	206	数学也需要“猜想”
167	驾驭突变系统之难	209	数学归纳法
168	人生多歧路	212	科学真理的相对性
		212	合情推理
169	19. 群英争辉——		
	多智能体的智慧和行为（上）	214	24. 财富无形——信息时代话财富
170	智能体和多智能体系统	215	信息大爆炸
170	向右看齐！	218	从信息的侧面认识制造业
172	智能机器人和智能制造系统	221	知识经济，山雨欲来风满楼

222	信息财富的实在性	244	网上生命
224	25. 以和为贵——“囚徒困境”的启示	246	一则离奇的“新闻”
224	“囚徒困境”，一场反映世态人心的博弈游戏	248	福耶？祸耶？
226	“重复囚徒困境”模型	249	28. 怪圈长转——当因果链闭合之后
227	启示与教益：以和为贵	249	怪圈，闭合的因果链
229	发生误动作或存在噪音情况下的合作问题	250	处处怪圈寻常见
230	跳出在合作问题上的思想误区	253	怪圈是事物发展的一种重要模式
232	26. 仿生制造——师法生命，回归自然	254	某些哲理上的思考
232	制造系统，急剧膨胀的复杂性	255	29. 他山之石——学科之间的沟通与交融
233	仿生制造的内在依据	255	学科之间的知识相通
235	制造科学应该向生命科学学习什么？	257	不同领域专家的合作产生重大成果
239	关于仿生制造的研究现状	258	发现事物的联系预示着进步与飞跃
240	27. 网络天下——网络时代的欣喜与忧虑	260	学科边区孕育出新的学科
241	一网打尽天下事	261	通才难再得
242	网络发展，无法抵挡的诱惑	262	时代需要新的综合
242	网上畅想	267	进一步阅读的书籍
244	网上战争	271	跋语

自从学会数数和识别图形以来，人类的数学知识就飞快地拓展，今天，数学已经发展成为一门博大精深，包罗万象的学问。数学之源，来自人们的生活实践；数学之用，遍及各行各业；数学之美，令人赏心悦目，滋润人们的头脑和心灵。数学是一门老老实实的学问。要想得数学之用，赏数学之美，唯一的方法是老老实实、循序渐进地学习，来不得半点虚假和浮躁。



心中有数 ——人类计数体系的扩充

自然天成的自然数——比零
还要小的负数——上帝创造的整
数——译名欠妥的“有理数”——
道是无理却有理的无理数——实
实在在的实数——并不虚幻的虚
数——虚实兼济的复数——“数”
还在扩充

“数”的概念和知识制约着人们对客观世界和自身的内在世界认识的深度和精度，影响人们的世界观，对于科学技术的发展和社会的进步具有至高无上的重要性。古希腊数学家毕达哥拉斯说：“数统治着宇宙”。在中文里，“数”字还用来表示客观规律和必然性，如“天数”、“在数难逃”等说法，连用于幼童教育的《三字经》中也要求“知某数，识某文”。可见，古今中外都强调“数”的重要性。

学会数数、计数和识数，能够从对象的各种特征中抽象出“数量”的特征来，做到“心中有数”，这应该是人类的智力和文明发展到相当高度的表现。人们首先学会了自然数，建立了自然数的体系，然后，扩充到整数、有理数、实数、复数以及超复数，再到向量、矩阵和张量等等。计数体系的每一次扩充，既是出于现实生活的需要，也是出于数学发展的内在必然性。而这种扩充的每一次实现都得益于对当时已有的计算规则中的某个“禁区”的突破。此文回顾人类的计数体系逐渐扩充的历史。

自然天成的自然数

现在已经无从查考人类是在什么时候开始学会数“1”、“2”和“3”的，可以肯定的是，从那时开始，一个提高计数能力，扩充计数体系的漫长过程就拉开了帷幕。

自然数产生于数数的需要

“自然数”（natural number）1, 2, 3...是为了数某些对象的数目，例如猎获的动物的头数，部落里的人数等等，而被创造出来的。因此，自然数又叫做“计数数”（counting number）。所谓“数数”（前一个“数”念上声，后一个念去声），实质是在顺序排列的自然数和某个集合中元素之间建立起一一对应的

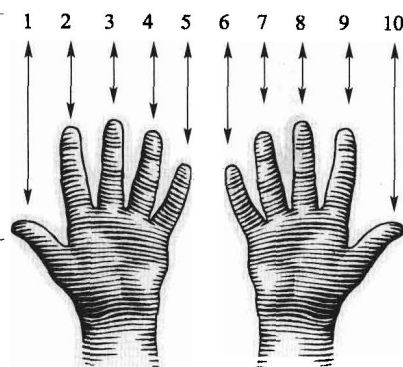


图1-1 自然数与指头的数目

关系,这种对应中最大的(数到最后的)自然数就是该集合中元素的数目。图1-1表示数一双手上的指头时,在自然数和指头之间的对应关系,其结果是,原来一双手上共计有10个指头。这个看似简单的概念和方法的建立,可能在人类的文明进化过程中花了上百万年时间。

10个手指便于“携带”,是非常方便的“计数工具”,人们数数时往往在被数对象和自己的手指之间建立一一对应的关系,这就是所谓的“屈指一算”,而西方至今将数字称为“手指”(digit),将数字计算机称为“手指计算机”(digital computer)可能也是源于这种远古的习惯。自然数就像手指一样与我们常相伴,为我们所用,与我们的日常生活密切相关,也像我们的手指一样自然天成,看不到人工雕琢的痕迹。

“0”的作用决不是零

如果面对的集合是一个“空集”,即没有任何元素,人们就创造了一个“0”(零)来表示空集的元素数目。此外,在数字的位置表示法中,“0”还用来表示“占位符”,其作用是绝对不可忽略的,如数字“2008”中的两个“0”就不可略去。

“0”算不算自然数,一直存在争论。不过,现在倾向于将它包括在自然数当中。于是,就有自然数的集合: $N=\{0, 1, 2, 3, \dots\}$,这当然是一个无穷的集合,因为自然数有无穷多个,永远不可能数到尽头。

自然数并不简单

千万不要以为自然数简单明了,一览无遗。其实关于自然数的理论——“数论”就是一门很深的学问,也是庞大的数学体系的基础。许多数学大师,例如欧几里得(Euclid, 约前330年—前275年)、丢番都(Diophantus, 246—330)、费马(Fermat, 1601—1665)、欧拉(Euler, 1707—1783)、勒让德(Legendre, 1752—1833)、高斯(Gauss, 1777—1855)、狄利克雷(Dirichlet, 1805—1859)和黎曼(Riemann, 1826—1866)都对数论的发展做出了重要贡献。高斯说:“数学是科学的女皇;数论是数学的女皇。”由此可见,数学家是何等强调数论的重要性,强调自然数的重要性。

在自然数领域有好多世界性难题,引起了许多数学家的兴趣和参与。例如所谓“费马大命题”就是其中一个。这个命题说:当指数 n 是大于2的正整数时,不定方程 $x^n+y^n=z^n$ 没有非零的正整数解,就是说,找不到三个自然数($x>0$, $y>0$, $z>0$)使该等式成立。我们知道当 $n=2$ 时, $x^2+y^2=z^2$ 就是关于直角三角形的两个直角边长度 x , y 与斜边长度 z 之间关系的毕达哥拉斯定理,也叫勾股弦定理,有很多自然数组 (x, y, z) 满足这个方程。例如, $(3, 4, 5)$, $(5, 12, 13)$, $(6, 8, 10)$, $(7, 24, 25)$ 等等。可是,当 $n>2$ 时,这个方程就没有非零的正整数解了。这个命题是法国律师、数学界的“业余王子”费马于1637年提出的。他在一张书页的旁边写道:“关于此,我确信已发现一种美妙的证法,可惜这里空白